16.450 /H /02

ITS

TUGAS AKHIR
KL 1702

MANAJEMEN PEMELIHARAAN STRUKTUR JAKET LEPAS PANTAI BERBASIS RESIKO KOROSI

RSKe
627.98
Soe
m-1
2002

Oleh :

MIYUKI SOEWEIFY
4397.100.001

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

PERPUSTAKAAN ITS
Tgl. Terima 05/09/02
Terima Dari H
No. Agenda Prp. 21.629

LEMBAR PENGESAHAN

MANAJEMEN PEMELIHARAAN STRUKTUR JAKET LEPAS PANTAI BERBASIS RESIKO KOROSI

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan

Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Ir. Jusuf Soetomo,M.Sc	Ir. Hasan Ikhwani,M.Sc
NIP . 131 287 547	NIP . 132 048 145

SURABAYA
2002

ABSTRAK

ABSTRAK

Semua offshore structure mempergunakan steel sebagai bahan dari strukturnya, dan apabila terkontaminasi dengan air laut akan terjadi korosi, hal ini tidak dapat dielakkan. Untuk memperlambat proses korosi diperlukan perlidungan katodik secara anoda dikorbankan maupun impress current. Perancangan untuk mencapai korosi yang minimum biasanya dicapai dengan jalan manajemen korosi. Tugas akhir ini membahas perencanaan perlindungan katodik protection yang sedang berjalan pada KODECO Energy, Co.Ltd. Dianalisis juga kelemahan dan kebaikan perencanaan sistem katodik protection tersebut. Dari hasil analisis diperoleh kesimpulan bahwa sitem manajemen yang paling optimum untuk KODECO adalah dengan cara memperhatikan beban yang diterima oleh struktur, dimana daerah yang menerima beban yang paling besar dan merupakan daerah yang kritis maka perlu diberikan penambahan, dengan diperhatikan MPCnya . Apabila MPC rendah maka laju korosi akan tinggi, dan hal ini bisa dilihat dari hasil prosentase reduksi pengurangan ketebalan pipa yang telah diberi penambahan anode, yang bertujuan untuk memperpanjang life time dari struktur bangunan lepas pantai tersebut.

KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb

Puji syukur kehadirat Allah S.W.T, karena atas rahmat dan hidayahNya, maka tugas akhir berjudul " Manajemen Pemeliharaan Struktur Jaket Lepas Pantai Berbasis Resiko Korosi" ini dapat terselesaikan. Tugas akhir ini dikerjakan guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi kesarjanaan strata-1 (S1) di Fakultas Teknologi Kelautan, Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.Tugas akhir ini disusun berdasarkan data dari KODECO Energy,Co.Ltd, yang berada di Gresik.

Penulis sadar bahwa masih sangat banyak kekurangan dari tugas akhir ini. Untuk itu, penulis mengharap kritik dan saran yang membangun. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi siapapun yang membutuhkan.

Wassalamualaikum Wr. Wb

Surabaya, 6 September 2002
Miyuki Soeweify

UCAPAN TERIMA KASIH

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada semua pihak yang telah berperan dalam membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, terutama kepada :

1. Papa dan Mama Weify, atas segala dorongan, doa dan kasih sayang yang telah diberikan.
2. Papa Bayu, atas semua kesempatan, dorongan, doa dan segalanya yang tidak bisa diungkapkan.
3. Mill, teman setiap saat di segala suasana.
4. Bapak Ir. Jusuf Sutomo, M.Sc selaku dosen pembimbing pertama dan Bapak Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc selaku dosen pembimbing kedua, yang dengan sabar memberikan asistensi kepada penulis.
5. Teman-teman angkatan 97, terutama Awang, Dien, Pradin, Koko (cepet lulus ya)....
6. Anakku tersayang Rizki.....walaupun kadang-kadang merepotkan , tapi hal itu yang membuat semangat mengerjakan T.A.
7. Pak Suharyadi Suharjan dan seluruh staf KODECO Energy,Co.Ltd, atas waktu dan data yang diberikan.
8. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL..... i

LEMBAR PENGESAHAN..... ii

ABSTRAK iii

KATA PENGANTAR..... iv

UCAPAN TERIMA KASIH..... v

DAFTAR ISI vi

DAFTAR TABEL ix

DAFTAR GAMBAR xi

BAB I PENDAHULUAN.....

I.1 Latar Belakang..... I-1

I.2 Perumusan Masalah..... I-2

I.3 Tujuan..... I-2

I.4 Manfaat..... I-3

I.5 Batasan Masalah..... I-3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....

II.1 Lingkup Bahasan..... .....II-1

II.1.1 Proses Korosi II-5

II.1.2 Potensial Korosi dan Laju Korosi.....II-6

II.1.3 Komposisi Kimia Air Laut II-8

II.1.4 Faktor-faktor yang mempengaruhi korosi II-8

II.1.5 Pasivitas II-13

II.1.6 EMF dan Deret Galvanis II-14

II.1.7 Bentuk-bentuk Korosi II-18

II.2 Pencegahan Korosi.....II-20

II.2.1 Proteksi pada anjungan II-22

II.2.2 Kriteria pemilihan material..... .....II-27

II.3 Manajemen pemeliharaan bangunan lepas pantai.....II-27

II.3.1 Bentuk pemeliharaan..... .....II-28

II.3.2 Pemeliharaan pencegahan..... .....II-29

II.3.3 Pemeliharaan korektif..... .....II-30

II.3.4 Pemeliharaan darurat..... .....II-30

II.3.5 Pemeliharaan peramalan..... .....II-31

II.4 Manajemen pemeliharaan..... .....II-31

II.4.1 Konsep manajemen pemeliharaan..... .....II-32

II.4.2 Dasar pertimbangan..... .....II-32

II.4.3 Sistim pemeliharaan terencana..... .....II-33

II.4.4 Faktor yang berpengaruh dalam pemeliharaan II-35

II.5 Corrosion monitoring pada KODECO Energy,Co.Ltd.....II-36

II.5.1 Perawatan pada sistem pipa dasar laut.....II-36

II.5.2 Perawatan pipa external.....II-41

II.5.3 Pengujian contoh fluida di dalam laboratorium.....II-42

II.5.4 Pelaksanaan pigging II-42

BAB III METODOLOGI PENELITIAN III-1

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN IV-1

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN V-1

DAFTAR PUSTAKA .....

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

Halaman

TABEL 1. Komposisi Air Laut II-8

TABEL 2. Deret Elektromotiv Force II-16

TABEL 3. Energy Capabilities and Consumption Rates of Galvanic Alloys..... .....II-23

TABEL 4. Tebal awal pada *leg* IV-1

TABEL 5. Tebal awal pada Horizontal *Brace*..... IV-1

TABEL 6. Tebal awal pada Diagonal *Brace* IV-1

TABEL 7. Perhitungan MPY pada *Leg* IV-2

TABEL 8. Perhitungan MPY pada *Horizontal Brace section* 1 ..... IV-3

TABEL 9. Perhitungan MPY pada *Horizontal Brace section 2*..... IV-3

TABEL 10. Perhitungan MPY pada *Horizontal Brace section* 3 .....IV-3

TABEL 11. Perhitungan MPY pada *Horizontal Brace section* 4.....IV-4

TABEL 12. Perhitungan MPY pada *Diagonal Brace section* 1.....IV-4

TABEL 13. Perhitungan MPY pada *Diagonal Brace section* 2..... .....IV-4

TABEL 14. Perhitungan MPY pada *Diagonal Brace section* 3..... .....IV-5

TABEL 15. Perhitungan MPY pada *Diagonal Brace section* 4..... .....IV-5

TABEL 16. Tegangan maximum pada struktur..... .....IV-6

TABEL 17. MPC EXISTING dan MPC NACE pada *Leg* IV-8

TABEL 18. MPC EXISTING dan MPC NACE pada Horizontal Brace ...IV-8

TABEL 19. MPC EXISTING dan MPC NACE pada Diagonal Brace IV-8

TABEL 20. Perhitungan MPC dengan penambahan anode pada Leg.....IV-9

TABEL 21. Perhitungan MPC dengan penambahan anode pada Horizontal Brace..... IV-9

TABEL 22. Perhitungan MPC dengan penambahan anode pada DiagonalBrace.....IV-9

TABEL 23. Reduksi tebal pipa apabila memakai penambahan anode pada Leg setelah pemakaian 9 tahun IV-10

TABEL 24. Reduksi tebal pipa apabila memakai penambahan anode pada Horizontal Brace setelah pemakaian 9 tahun IV-10

TABEL 25. Reduksi tebal pipa apabila memakai penambahan anode pada diagonal brace setelah pemakaian 9 tahun IV-11

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

Halaman

GAMBAR 1. Pembagian Daerah Pengaruh Beban Lingkungan II-4

GAMBAR 2. Pengurangan Ketebalan Pelat Menurut Zonanya. II-5

GAMBAR 3. Pengaruh kadar garam terhadap laju korosi II-9

GAMBAR 4. Laju korosi stainless steel yang dipengaruhi temperatur..... II-10

GAMBAR 5. Hubungan PH dengan laju korosi..... II-11

GAMBAR 6. Hubungan O_2 dengan laju korosi II-12

GAMBAR 7. Hubungan kecepatan dengan laju korosi II-12

GAMBAR 8. Potensial korosi dan laju korosi korosi..... II-14

GAMBAR 9. Gejala pasivitas..... II-14

GAMBAR 10. Sel Tembaga Zinc II-15

GAMBAR 11. Prinsip kerja anoda termakan II-22

GAMBAR 12. Grafik MPY pada offshore struktur KODECO IV-2

BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

Laut yang melingkupi 2/3 dari bumi mempunyai sumbangan yang cukup besar terhadap korosi, dimana banyak bangunan yang dibuat, baik tetap maupun tidak tetap, seperti pelabuhan, *jacket*, pipa-pipa dasar laut, dan bangunan-bangunan di pinggir pantai tidak luput dari serangan korosi. Masalah korosi ini sangat penting untuk diketahui karena sebagian besar kegagalan struktur yang dioperasikan di laut disebabkan adanya korosi yang tidak tertangani. Daerah pengoperasian struktur mempunyai pengaruh yang berbeda-beda terhadap penyerangan korosi. Beberapa kandungan air laut yang mempengaruhi tingkat korosi antara lain : salinitas, temperatur, dan zat-zat yang terkandung di dalamnya seperti gas-gas yang terlarut. Yang terpenting dari air laut adalah kandungan garam yang lebih dikenal dengan istilah salinitas. Salinitas ini sangat dipengaruhi oleh pencairan es, air sungai, penguapan secara umum. Salinitas pada perairan terbuka ini adalah $33^0/_{00}$ - $38^0/_{00}$ dengan harga rata-rata sekitar $35^0/_{00}$.

Temperatur permukaan air laut bervariasai terhadap lintang antara -2^0 C di kutub hingga 35^0 di khatulistiwa yang dipengaruhi oleh musim, cuaca, maupun area. Secara umum temperatur di lautan maupun di industri meningkatkan laju reaksi kimia yang berarti juga mempercepat proses korosi.

I. 2 PERUMUSAN MASALAH

Seperti yang telah diketahui, *offshore structure* merupakan suatu bangunan apung yang terdiri dari besi yang tercelup pada media air laut, dengan demikian maka mutlak diperlukan suatu sistem yang menjaga agar bangunan tersebut tidak mengalami kerusakan (dalam hal ini korosi) walaupun berinteraksi dengan lingkungan korosif (air laut).

Masalah yang diangkat dalam penulisan tugas akhir ini adalah menganalisis sistem manajemen pada Kodeco Energy, CO.Ltd. *Offshore structure* yang terdiri dari berbagai *chord, brace,* dan *leg,* dimana pada masing-masing tempat menerima beban yang berbeda (seperti beban struktur) dan memerlukan penanganan (dalam hal ini perawatan dan juga pemberian *sacrificial* anoda) yang berbeda juga. Untuk itu dilakukan suatu analisis untuk meneliti kekurangan dan kelebihan dari sistem yang sudah ada. Dari hasil analisis ini, diketahui kekurangan dan kelebihan dari sistem, dan dibuat suatu sistem manajemen yang baru yang diharapkan dapat memperpanjang umur dari *offshore structure* tersebut.

I.3 TUJUAN

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Menganalisis sistem manajemen korosi pada *offshore structure* di KODECO Energy, co Ltd.
2. Membuat suatu sistem manajemen korosi yang baru yang bertujuan memperpanjang *life time* dari *offshore structure* tersebut.

1.4 MANFAAT

Dari penulisan tugas akhir ini diharapkan dapat diketahui kelemahan dan kelebihan dari sistem KODECO Energy,CO.Ltd yang sedang berjalan pada saat ini. Selain itu diharapkan dapat membuat suatu manajemen pemeliharaan bangunan lepas pantai dengan cara mengendalikan laju korosi yang disesuaikan dengan resiko kegagalan struktur yang seminimum mungkin, yang disebut dengan sistem manajemen korosi terpadu untuk pemeliharaan struktur *jacket* lepas pantai berbasis resiko korosi, yang bertujuan untuk meningkatkan *lifetime* dari struktur. Hasil penanganan dengan menggunakan sistem ini, diharapkan dapat digunakan pada penanganan *offshore structure* ditempat lain dengan sedikit modifikasi disesuaikan dengan dan perubahan kondisi lingkungan dan struktur setempat.

1.5 BATASAN MASALAH

Dalam penulisan tugas akhir ini perlu adanyan batasan-batasan sebagai berikut :

a. Manajemen korosi hanya pada lingkungan KODECO Energy CO LTd.
b. Aspek ekonomi tidak diikutsertakan.
c. Analisis hanya pada struktur anjungan, tidak pada sistem perpipaan yang lainnya.
d. Beban yang digunakan hanya beban lateral (gelombang, salinitas ,temperatur).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

II.1 LINGKUP BAHASAN

Korosi adalah reaksi kimia/elektrokimia antara logam dengan media lingkungan yang menghasilkan perusakan pada logam tersebut. (ARCO, 1996)

Pada dasarnya, korosi menurut terjadinya dapat disebabkan 3 hal, yaitu :

A. Secara Kimia

Suatu korosi yang terbentuk di permukaan logam, biasanya terdiri dari oksida berupa suatu lapisan film yang terjadi karena perusakan kimia. Dalam beberapa keadaan, lapisan film ini mampu mencegah perusakan lebih lanjut pada lapisan logam dibawahnya, dengan kata lain lebih pasif terhadap media lingkungannya. Sifat lapisan ini selalu terbentuk, sukar ditembus dan elastis sehingga mampu menahan kerusakan karena korosi lebih lanjut.

Kemampuan pembentukan kembali lapisan film ini pada logam setelah terkelupas berkaitan erat dengan ketahanan logam/paduan terhadap korosi. Suatu contoh ialah membuat pasif stainless steel dengan perlakuan asam nitrat dan penggunaan paduan aluminium membentuk lapisan film untuk mencegah korosi.

B. Secara Elektrokimia

Terjadi pada logam yang berhubungan langsung dengan media elektrolit yang berisi ion-ion bebas. Dalam hal ini atom dalam permukaan logam yang berhubungan dengan larutan elektrolit masuk ke dalam larutan sebagai ion dan meninggalkan sejumlah ekivalen elektron pada logam. Kecenderungan atom suatu logam masuk kedalam larutan elektrolit sebagai ion, menentukan tegangan elektrokimia dari logam tersebut. Tegangan elektrokimia dari suatu logam menunjukkan suatu emf (*electrical motion force*) yang harus digunakan diantara logam dan larutan elektrolit untuk mencegah terlepasnya ion logam. Makin negatif tegangan elektrokimia suatu logam, semakin cenderung bahan terpengaruh oleh korosi oleh elektrolit yang bersangkutan. Aspek lain dari korosi elektrokimia adalah terjadinya korosi karena dua buah logam yang berbeda saling dihubungkan dan tertutup dalam larutan elektrolit dengan perbedaan tegangan tertentu. Aspek ini lebih dikenal dengan "galvanik couple"

Suatu susunan galvanik couple dalam suatu larutan tertentu akan terjadi perusakan-perusakan spontan pada logam yang mempunyai tegangan elektroda yang lebih negatif, yang kemudian bersifat sebagai anoda. Sedangkan logam kedua yang tidak terlalu negatif tegangan elektrodanya menjadi katoda dan tidak akan terpengaruh oleh korosi selama logam yang pertama masih berada di dalam medium elektrolit. Reaksi ini lebih dikenal sebagai "galvanik corrosion". Proses korosi pada galvanik couple tidak saja berlaku pada 2 macam logam yang dihubungkan dengan tegangan elektroda yang sama, tetapi dapat juga terjadi pada antar kristal suatu paduan jika paduan tersebut berbeda komposisi dan sifat

fisisnya. Jika suatu paduan yang strukturnya tidak homogen dimasukkan kedalam suatu larutan elektrolit, maka suatu daaerah anoda dan katoda akan terbentuk pada permukaan logam, galvanik sel yang terbentuk ini akan menimbulkan perusakan pada paduan sepanjang batas kristal.

Dari uraian diatas maka dapat disimpulkan bahwa dasar kondisi yang mengakibatkan terjadinya korosi elektrokimia adalah :

1. Kedua logam berada dalam satu medium elektrolit.
2. Daerah-daerah yang terjadi pada permukaan logam yang sama mempunyai kristal yang berbeda sifat fisiknya berada dalam medium elektrolit.
3. Dua buah logam yang sama berada pada medium elektrolit yang berbeda.
4. Dua buah logam yang berbeda berada dalam medium elektrolit yang berbeda.
5. Dua logam yang sama / berbeda pada perbedaan konsentrasi Oksigen antara katoda dan anodanya.

B. Karena lingkungan yang korosif, misalnya :

- Lingkungan udara beruap air segar, destilasi bergaram dan air mineral
- Udara yang bersifat atmosfir industri, yang meliputi uap air, gas-gas CL_2, H_2SO_4, asam-asam organik dan lain-lain.
- Solven/pelarut.
- Minyak-minyak

Telah diketahui bahwa lingkungan yang korosif juga merupakan suatu faktor penyebab terjadinya korosi. Di bawah ini akan dipaparkan pembagian daerah pengaruh pada bangunan lepas pantai.

Daerah pengaruh beban lingkungan dibagi menjadi 3 bagian, yaitu :

- Daerah Atmosfir

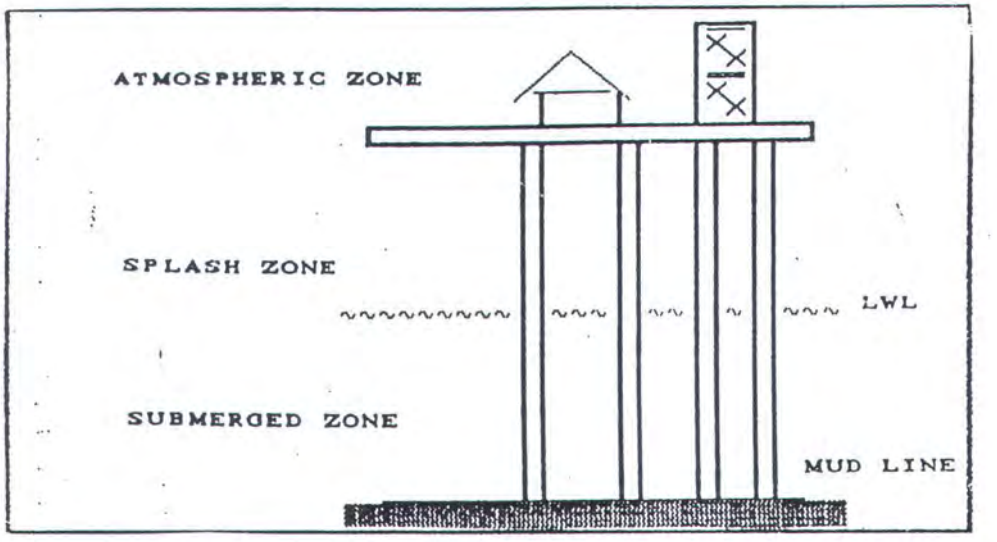
  Adalah suatu daerah, dimana struktur terbuka terhadap berbagai keadaan, baik terhadap sinar matahari, hujan, embun, uap garam dan lain-lain.

- Daerah Splash Zone

  Adalah suatu bagian bangunan yang bisa dibasahi oleh air laut melalui gerakan pasang surut, gelombang, dan angin yang mengandung uap garam. Korosi banyak terjadi pada bagian splash zone.

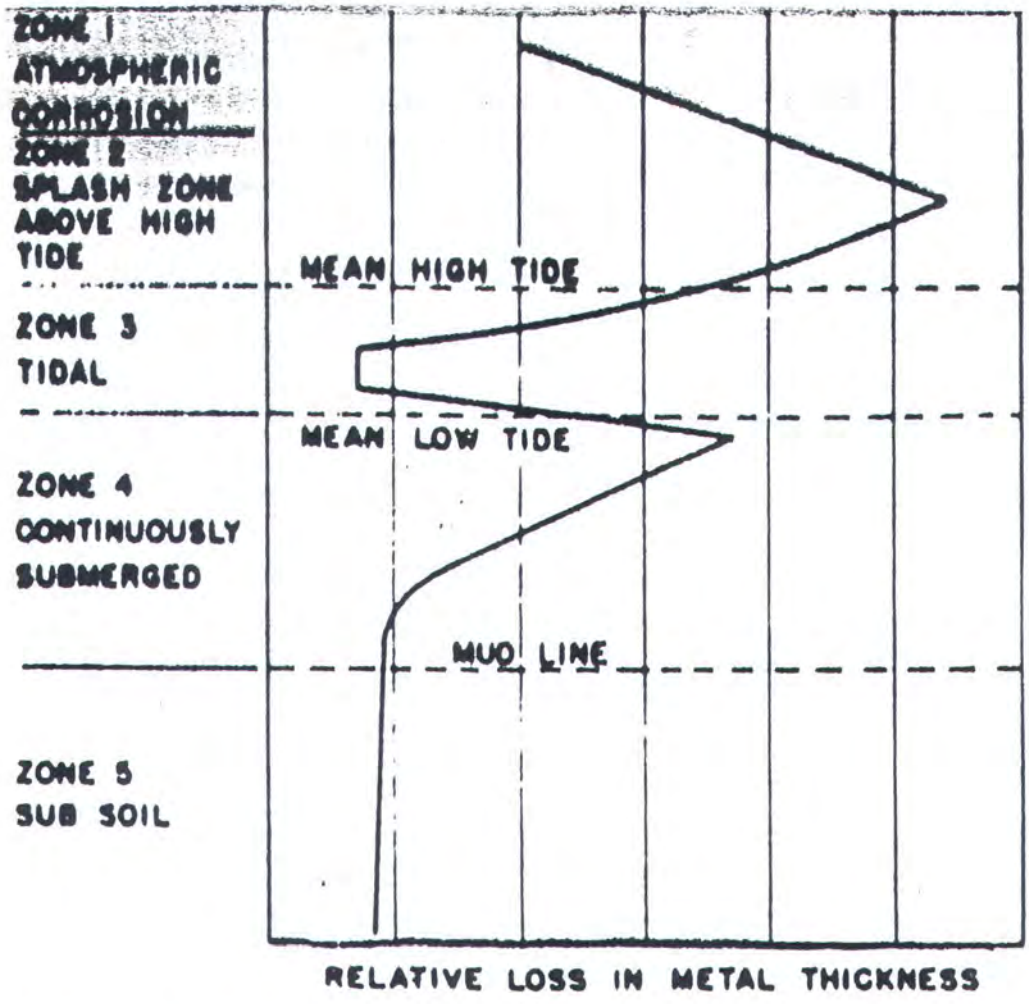
- Daerah Terbenam

  Adalah bagian bangunan yang berada dibawah daerah hempasan, dimana selalu tercelup air, termasuk yang terletak dibawah garis lumpur.



Gambar 1. Pembagian Daerah Pengaruh Beban Lingkungan (Chandler, 1981).

Pengurangan ketebalan pipa pada tiap zona berbeda-beda, karena dipengaruhi oleh salinitas dan kadar O2 yang berbeda-beda. Berikut ini adalah gambar pengurangan ketebalan pelat menurut zonanya.



Gambar 2. Pengurangan ketebalan plat menurut zonanya. (Laque, 1980).

II. 1.1 PROSES KOROSI

Kesetimbangan dan konsep potensial

Apabila suatu bahan konstruksi logam M kontak dengan medium elektrolit, atom-atom M terionisasi menjadi ion-ion M yang terlarut ke dalam medium elektrolit tersebut, peristiwa dissolusi/pelarutan ini diikuti oleh pelepasan sejumlah elektron yanng tertinggal dalam struktur logam, yang menyebabkan logam tersebut kelebihan muatan negatif. Setelah selang waktu tertentu, peristiwa sebaliknya

terjadi. Ion-ion M terdisposisi di permukaan logam dengan mengambil elektron-elektron, sehingga terbentuklah kesetimbangan reaksi elektrokimia.

$$M + ne^- \rightarrow M^{+n} \qquad (2.1)$$

Kesetimbangan ini terjadi pada potensial Eo yang harganyan spesifik untuk sistem yang bersangkutan. Pada potensial di atas Eo, yang dalam keadaan stabil adalah ion-ion M. Sebaliknya pada potensial di bawah Eo, yang dalam keadaan stabil adalah potensial sistem reaksi pada kondisi di atas Eo.

II.1.2 POTENSIAL KOROSI DAN LAJU KOROSI

Pada kesetimbangan reaksi $M + ne^- \rightarrow M^{+n}$ (2.1), reaksi ke kanan disebut reaksi katodik karena terjadi reduksi ion M dan reaksi ke kiri disebut reaksi anodik karena terjadi oksidasi atom M. Kesetimbangan reaksi ini adalah kesetimbangan yang dinamik. Artinya, pada kondisi potensial Eo, laju reaksi sama dengan laju reaksi anodik. Begitu pula halnya dengan kesetimbangan yang lain, misalnya:

$$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2 \qquad (2.2)$$

Apabila kedua sistem kesetimbangan benda bekerjasama, sistem campuran yang baru akan membentuk kesetimbangan reaksi elektrokimia sebagai berikut :

$$M + 2H^- \rightarrow M^{+2} + H_2 \qquad (2.3)$$

Dan kesetimbangan ini terjadi pada kondisi potensial Ecor yang biasa disebut sebagai potensial korosi. Harga potensial korosi ini juga spesifik untuk sistem yang bersangkutan.

Ecor terletak diantara Eo kesetimbangan reaksi yang pertama dan Eo kesetimbangan reaksi yang kedua. Sama halnya seperti pada Eo, pada Ecor tidak terdapat arus listrik netto. Tetapi logam M terkorosi dengan laju reaksi tertentu. Laju dissolusi logam M inilah yang lazim disebut sebagai laju korosi yang dapat dinyatakan dalam kuat arus (I). Hubungannya dengan kecepatan, kehilangan massa atau kehilangan berat, diberikan oleh Hukum Faraday sebagai berikut :

$$\Delta W / \Delta t = e.\mathrm{I} \qquad (2.4)$$

Berdasarkan konsep kesetimbangan reaksi dan potensial campuran, tampak dengan jelas bahwa potensial korosi sesungguhnya tidaklah rumit. Reaksi korosi pada dasarnya adalah reaksi anodik dan hanya terjadi pada salah satu sel saja dan hanya terjadi satu macam reaksi saja, yaitu pelarutan atom-atom logam menjadi ion-ionnya.

$$M \rightarrow M^{+n} + ne^{-} \qquad (2.5)$$

Sebaliknya pada reaksi katodik, dapat terjadi lebih dari satu macam reaksi. Namun demikian masih dapat dikelompokkan menjadi 5 macam saja, yaitu reaksi-reaksi :

- Pembentukan Hidrogen

$$2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_2 \qquad (2.6)$$

* Reduksi O_2 dalam suasana asam

$$O_2 + 4H^{+} + 4e^{-} \rightarrow 2H_2O \qquad (2.7)$$

* Reduksi O_2 dalam suasana basa (alkali)

$$O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-} \qquad (2.8)$$

- Reduksi ion logam

$$2M^{+} + 2e^{-} \rightarrow 2M \qquad (2.9)$$

II.1.3 KOMPOSISI KIMIA AIR LAUT

Kadar garam, oksigen, harga PH, temperatur merupakan unsur-unsur yang berpengaruh pada komposisi kimia air laut. Kadar garam pada daerah tropis adalah lebih besar terutama pada kolam tertutup, dimana penguapan sangat membantu. Berikut ini tabel komposisi unsur-unsur air laut.

Tabel 1. Komposisi air laut (Laque, 1980)

Senyawa	Konsentrasi (g/l)
NaCl	24,53
MgCl	5,2
CaCl	1,1
KCl	0,69
NaHCO	0,21
KBr	0,1
H2BO	0,27

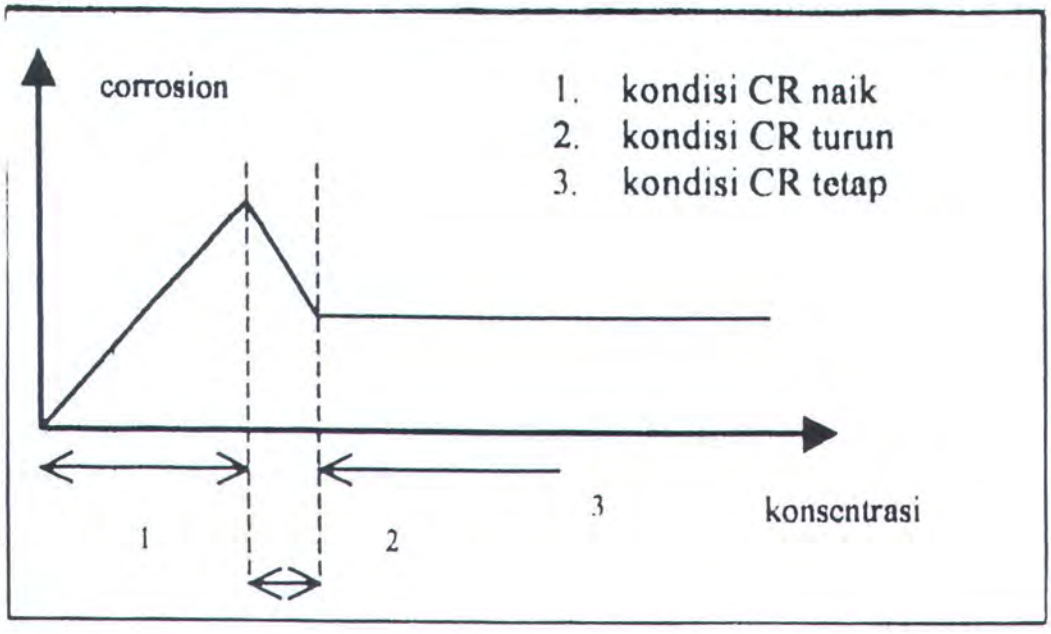
Dalam pandangan segi korosi, karakteristik utama dari air laut jika dibandingkan dengan ait tawar adalah konduktivitas listrik air laut yang tinggi memungkinkan makin luasnya daerah yang terkena pengaruh korosi. Terutama hal ini penting dalam penyebaran efek galvanis korosi dimana daerah anoda dan katoda meluas sepanjang hubungan keduanya.

II.1.4 FAKTOR - FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KOROSI

A. KADAR GARAM

Kandungan garam dalam air laut merupakan karakteristik paling penting pada proses terjadinya korosi pada perairan terbuka, kadar garam bervariasi antara 32

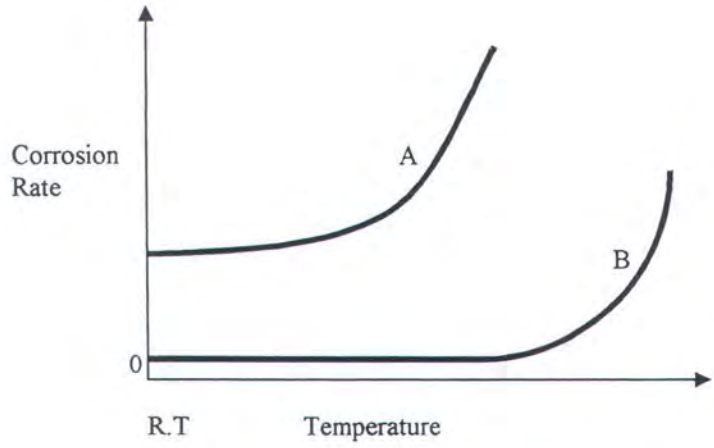
dan 36. Terlihat disini pengaruh temperatur terhadap kandungan garam . Selain itu temperatur sangat berpengaruh terhadap O2 yang terkandung serta harga PH air laut pada pengamatan sepanjang tahun seperti pada gambar :



Gambar 3. Pengaruh kadar garam terhadap laju korosi.(Fontana, 1978)

B. TEMPERATUR

Temperatur udara suatu tempat dipengaruhi oleh jumlah sinar matahari yang diterima dan lintangnya. Menurut keadaan geografisnya, laut Indonesia tergolong korosif. Temperatur memegang peranan penting dengan menaikkan aktivitas korosi, dimana diketahui bahwa secara teoritis korosi akan naik dua kali di sela-sela struktur atau celah struktur bisa mempercepat terjadinya korosi dengan memperpanjang waktu basah struktur. Gambar berikut memperlihatkan laju korosi *stainless steel* yang dipengaruhi oleh temperatur.



MILIK PERPUSTAKAAN
ITS

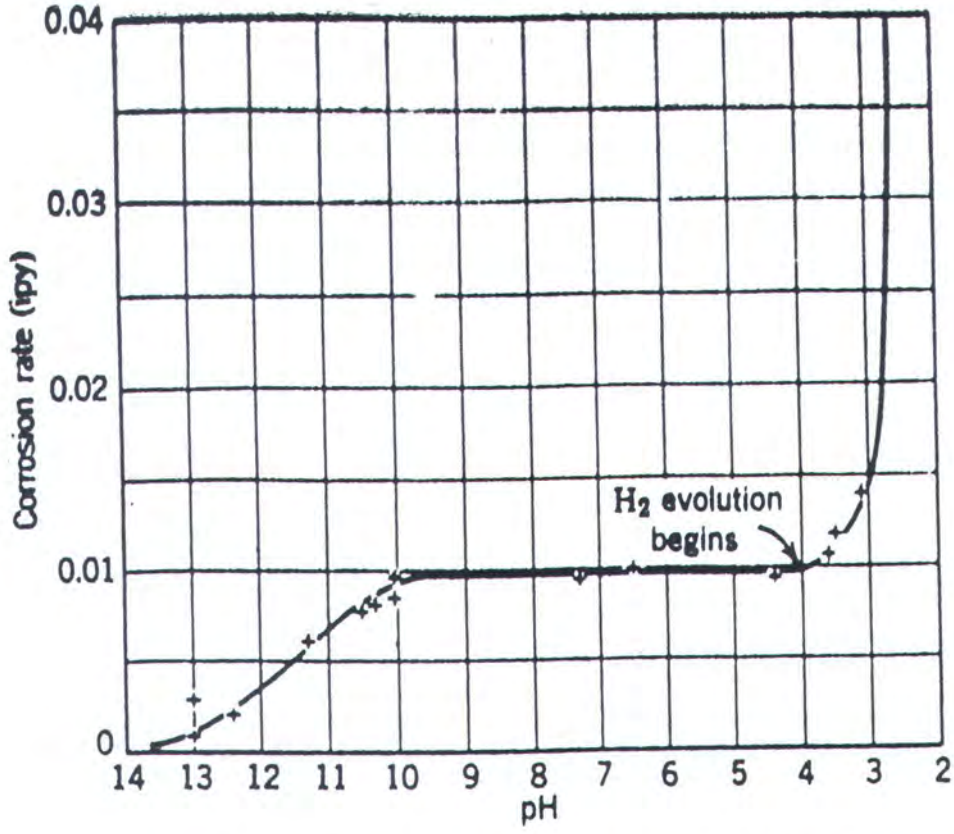
Gambar 4. Laju Korosi Stainless Steel yang dipengaruhi temperatur (ARCO,1996)

*Keterangan : Kurva A : Stainless steel dalam H_2SO_4

Kurva B : Stainless steel dalam HNO_3

C. EFEK PH

Konsentrasi ion hidrogen dari air laut normal biasanya berkisar 8,1 – 8,3 ini menunjukkan keseimbangan antara ion-ion dalam air dan karbondioksida dari atmosfir. Pemisahan organisme dalam air laut menghasilkan kehilangan oksigen dan menumbuhkan hidrogen sulfid serta menurunkan PH sampai dibawah 8. Kandungan oksigen yang lebih rendah memperlihatkan kemampuan yang lebih besar untuk mengurangi terjadinya korosi. Uap air yang mengembun dari cairan asam dengan PH yang relatif rendah sekitar dan adanya kandungan oksigen menjadikan sangat korosif terhadap besi dan beberapa paduan non ferrous.



Gambar 5. Hubungan PH dengan laju korosi (Laque, 1980)

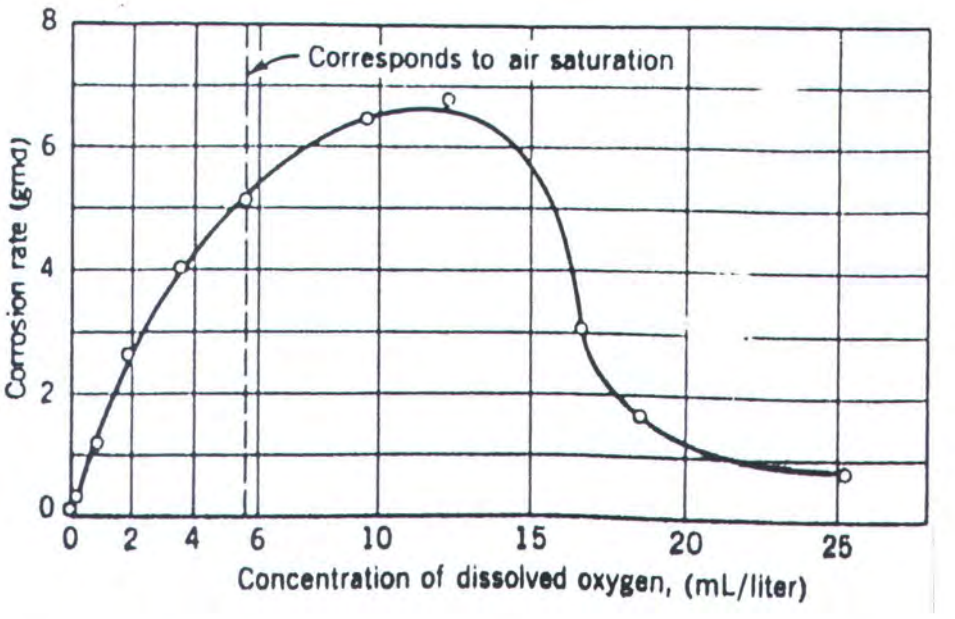
D. OKSIGEN

Konsentrasi oksigen dalam air laut dalam keseimbangan dengan atmosfir normal bervariasi tergantung pada temperatur dan kadar garam. Oksigen yang rendah untuk logam pada umumnya pada daerah air laut yang dalam terserang korosi dengan kecepatan yang lebih rendah pula (lihat gambar 6).

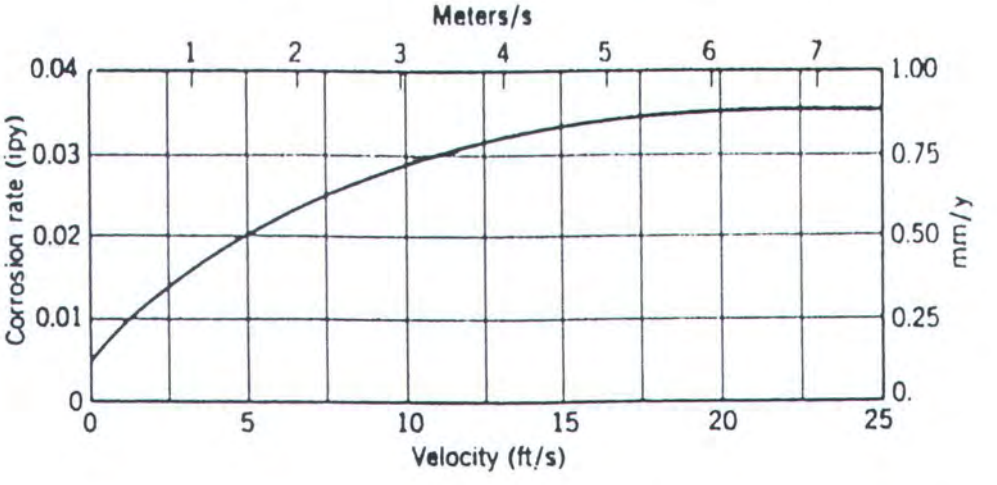
E. EFEK KECEPATAN AIR LAUT

Kecepatan gerak air laut pada struktur dan komponen-komponen yang terendam dalam air bervariasi dari nol pada permukaan yang ditumbuhi oleh organisme sampai lebih dari 100 feet/sec pada hidrofoil dan propeler. Tergantung pada

kualitas bahan, kenaikan kecepatan aliran/turbulensi dapat mempercepat/ memperlambat terjadinya korosi.



Gambar 6. Hubungan oksigen dengan laju korosi (Laque, 1980)



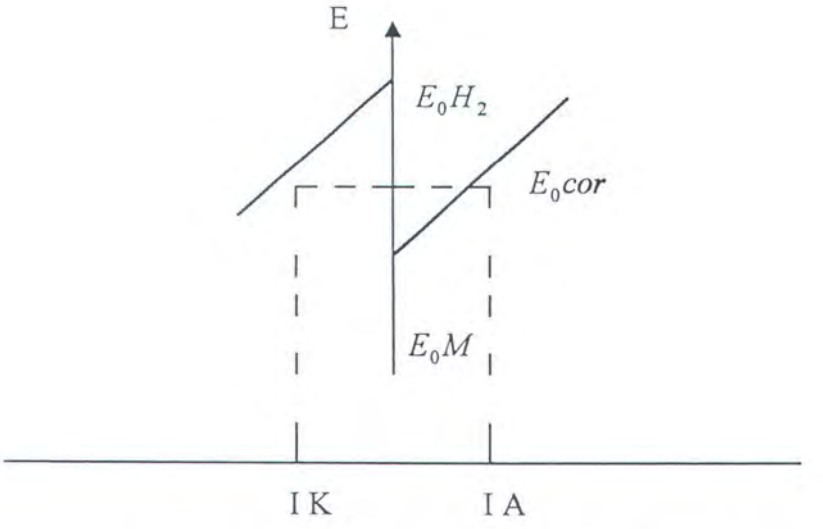
Gambar 7. Hubungan kecepatan dengan laju korosi (Laque, 1980)

II.1.5 PASIVITAS

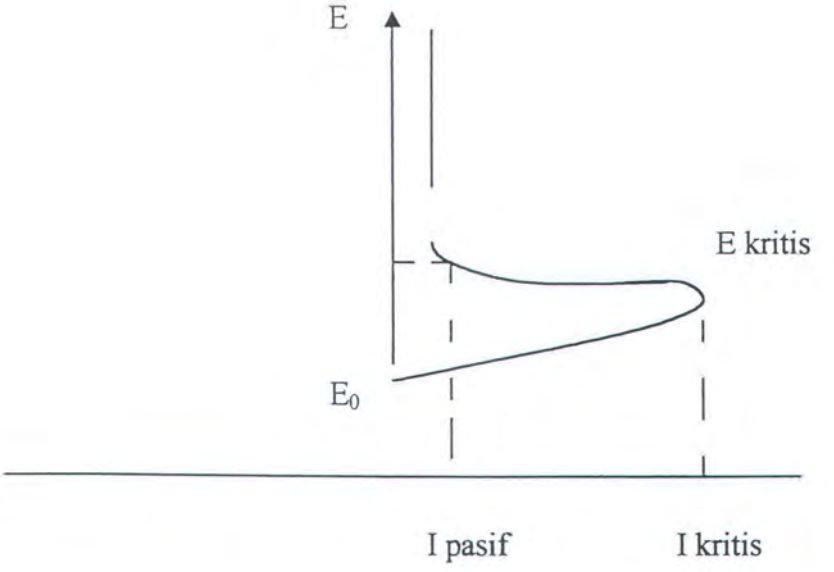
Apabila kesetimbangan reaksi $M^{+n} + ne^{-} \rightarrow M$, pada Eo digeser/dipolarisasikan ke arah positif, laju korosi akan berubah seperti ditunjukkan pada gambar. Dari grafik ini terlihat bahwa pada harga potensial tertentu (potensial kritis E kritis), laju korosi turun secara drastis sehingga seolah-olah bahan konstruksi logam menjadi pasif. Gejala ini disebut pasivitas, yang disebabkan karena terbentuknya lapisan pelindung (film) yang mampu mencegah larutnya atom-atom logam M lebih lanjut.

Tidak semua logam memiliki sifat seperti ini. Secara alamiah hanya aluminium, chronium dan paduan-paduan yang mengandung unsur-unsur itu yang mudah menjadi pasif. Hal itu disebabkan karena kelompok bahan logam tersebut mempunyai Eo yang harganya dibawah harga Eo dari O_2. Tetapi meskipun demikian tidak berarti bahwa bahan konstruksi logam tersebut akan menjadi pasif dengan sendirinya. Sering kali diperlukan tambahan untuk mencapai keadaan pasif tersebut. Usaha tersebut ada 2 macam, yaitu :

- Secara listrik , Ecor digeser ke arah anodik sampai ke daerah pasif dengan menggunakan satu arus dari luar.
- Secara kimia, Ecor digeser ke arah anodik sampai kedaerah pasif dengan menggunakan oksidasi agen.



Gambar 8. Potensial korosi dan laju korosi (Threthewey, 1991).



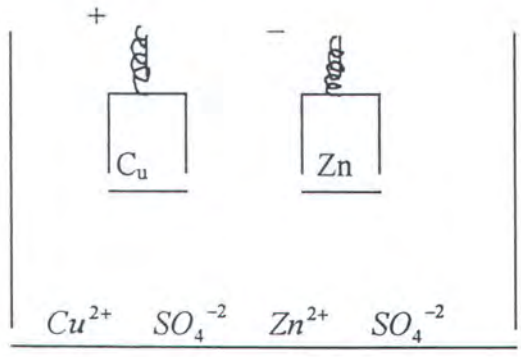
Gambar 9. Gejala Pasivitas (Threthewey, 1991)

II.1.6 EMF DAN DERET GALVANIS

Deret galvanis merupakan deret potensial dari reaksi reduksi suatu logam yang diukur relatif terhadap potensial reaksi reduksi hidrogen. Potensial ini dihitung

berdasarkan Persamaan Nersnt. Dan semakin negatif nilai potensial suatu logam dalam deret galvanis semakin mudah logam tersebut mengalami korosi. Bila 2 buah logam yang berbeda saling dihubungkan dengan sebuah kawat konduktor dan berada dalam suatu larutan elektrolit akan terjadi sel galvanis. Dimana logam yang memiliki potensial lebih negatif dalam deret galvanis akan bertindak sebagai kutub anoda sedang yang lain akan bertindak sebagai kutub katoda.

Pada anoda akan terjadi oksidasi sedang pada katoda akan terjadi reaksi reduksi. Sehingga logam yang bertindak sebagai anoda akan mengalami korosi dan sebaliknya logam yang bertindak sebagai katoda akan terlindungi dari ancaman korosi. Sebagai contoh, logam tembaga Cu dihubungkan secara listrik dengan logam Zinc Zn dalam larutan tembaga sulfat, seperti pada Gambar 10. Besarnya Emf sel tersebut dapat dihitung dengan Persamaan Nersnt sebagai berikut :



Gambar 10. Sel tembaga – Zinc (Fontana , 1983)

Pada anoda terjadi reaksi oksidasi :

$$Zn \rightarrow Zn + 2e^- \qquad \text{Eo} = -0{,}762 \text{ V} \quad (2.10)$$

Dan

$$E_{Zn} = -0{,}763 - 0{,}0592 \log[Zn^{2+}]^{-1}$$

Pada katoda terjadi reaksi reduksi :

$$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu \qquad \text{Eo} = +0{,}337 \text{ V} \quad (2.11)$$

Dan

$$E_{Cu} = +0{,}337 - \frac{0{,}0592}{2}\log(Cu^{2+})$$

Kedua reaksi di atas dijumlahkan menjadi :

$$Cu^{2+} + Zn \rightarrow Cu + Zn^{2+} \qquad (2.12)$$

Dan

Emf = EZn - ECu

$$= -1{,}110 - \frac{0{,}0592}{2}\log\left[\frac{Cu^{2+}}{Zn^{2+}}\right]$$

Jika aktivitas ion Cu = ion Zn maka

Emf = -1,100 - 0,0592/2 .1

= - 1,13 V

Tabel 2. Deret *Electromotiv Force* (Uhlig,1984)

Reaksi Elektrode	V standard (25^0C)
$Pt^{2+} + 2e^- \rightarrow Pt$	+ 1,2
$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$	+0,05
$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$	+0,337
$2H^+ + 2e^- \rightarrow H$	- 0,126
$Pb^{2+} + 2e^- \rightarrow Pb$	- 0,44
$Fe^{2+} + 2e^- \rightarrow Fe$	- 0,126
$Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn$	- 0,44

$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$	- 0,763
$Mg^{2+} + 2e^- \rightarrow Mg$	- 1,66
	- 2,37

Faktor yang mempengaruhi terjadinya korosi

Faktor-faktor utama yang mempengaruhi terjadinya korosi untuk konstruksi di lingkungan laut karena sifat efektivitas penyerangan adalah

1. Heterogenitas struktur logam/paduan.
2. Variasi kekasaran permukaan.
3. Adanya goresan dan kikisan setempat.
4. Perbedaan konsentrasi/komposisi larutan dari media di sekelilingnya.
5. Kontak dengan logam yang berbeda.

Kondisi tersebut diatas dapat dipercepat proses terjadinya korosi oleh beberapa sebab, yaitu :

a. Korosi tegang:

   Yaitu korosi yang merupakan kombinasi antara tegangan yang terjadi dengan korosi yang timbul.

b. Korosi lelah :

   Yaitu kombinasi antara kelelahan bahan dengan korosi yang timbul.

c. Kavitasi/impemen:

Yaitu perusakan permukaan film diikuti oleh korosi elektro.

II.1.7 BENTUK-BENTUK KOROSI

1.Uniform Corrosion (general attack).

Adalah pengkaratan yang terjadi pada seluruh permukaan logam atau sebagian besar permukaan logam terserang. Logam yang mengalami pengkaratan bentuk ini akan menipis , yang akhirnya kekuatannya akan berkurang.

2. Galvanic Corrosion

Adalah jenis korosi yang banyak menyerang material logam. Terjadinya korosi ini apabila dua logam terjadi kontak satu sama lain, maka logam yang mempunyai tahanan lebih rendah menjadi anodik dan tahanan yang lebih tinggi menjadi katodik.

3. Crevive Corrosion

Adalah pengkaratan setempat yang hebat dan sering kali terjadi pada rongga-rongga atau pelapisan permukaan logam.

4. Pitting

Adalah bentuk penyerangan setempat dan sangat tajam yang akan menyebabkan terjadinya pada logam. Pitting juga dapat dikatakan fase antara pengkaratan yang terjadi pada seluruh permukaan dan keadaan tanpa pengkaratan sama sekali, dimana fase ini disebut sebagai *intermediate stage.*

5. Intergranular Corrosion

Adalah penyerangan setempat pada atau dekat grain boundary dari logam dengan pengkaratan yang relatif kecil. Intergranular corrosion akan mnyebabkan hancurnya paduan logam sehingga logam tersebut akan kehilangan kekuatannya.

6. Selective Leaching

Adalah perpindahan daripada suatu elemen daripada solid alloy oleh proses pengkaratan, kejadian ini juga disebut desincification. Pada umunya hal ini terjadi pada kuningan yang terdiri dari 30% seng dan 70% tembaga.

7. Erosion Corrosion

Adalah kerusakan permukaan logam yang disebabkan oleh karena penggabungan antara pengkaratan dan erosi. Pengkaratan terjadi karena adanya gaya elektrokimia, sedangkan erosi terjadi karena gaya mekanik.

8. Stress Corrosion

Adalah korosi yang diakibatkan oleh adanya tegangan mekanik dengan pengkaratan. Pengaruh yang paling utama adalah adanya tegangan internal apaliba dibandingkan dengan adanya tegangan eksternal pada waktu pemakaian.

9. Korosi Lokal *(Local Corrosion)*

Korosi lokal terjadi pada bagian suatu permukaan logam yang mempunyai laju korosi lebih tinggi dari permukaan bebas lainnya. Korosi lokal, lubang, dan sumuran (*crevice* dan *pitting*), biasanya menjadi penyebab untuk korosi selanjutnya. Walaupun pada material yang dipilih untuk suatu struktur tahan terhadap korosi dan disesuaikan dengan lingkungan kerjanya, tetapi kenyataannya pada material masih mungkin untuk terjadi korosi lokal.

Penyebab umum adalah ketidakstabilan lingkungan kerja akibat mekanisme anodik dan katodik pada permukaan logam, di mana terjadi perubahan dominasi katodik dari anodik atau sebaliknya. Korosi ini biasanya kompleks dan sulit diprediksi tempat awal terjadinya.

II.2 PENCEGAHAN KOROSI

Suatu material akan mengalami pengkaratan bila material tersebut bertindak sebagai anode dalam sel galvanis, sedangkan material yang bertindak sebagai katode tidak akan mengalami pengkaratan. Dengan demikian pencegahan pengkaratan dapat dilakukan dengan cara membuat material pipa bertindak sebagai katode. Cara pencegahan seperti di atas adalah pencegahan pengkaratan dengan menggunakan pertindungan katodik atau *Cathodic protection.* Logam pada umumnya akan mengalami pengurangan ketebalan yang besar apabila tidak dilindungi dengan proteksi katodik ataupun dengan pelapisan *(coating).*

Pada dasarnya pencegahan dengan cara chatodic protection ada dua macam, yaitu:

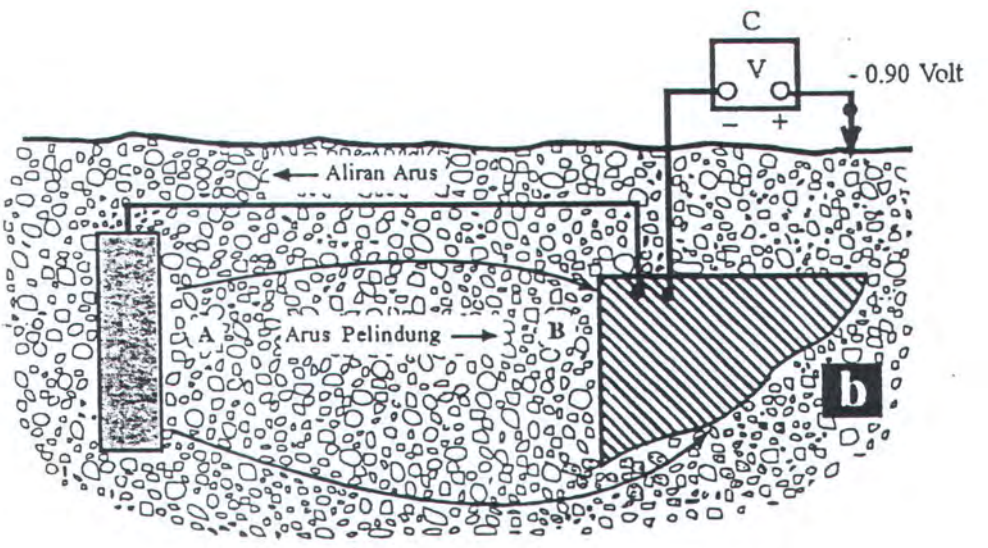
1. Sacrified anode, metode perlindungan katodik ini mempergunakan prinsip karat galvanis dimana dua benda/logam yang berbeda potensial dihubungkan satu dengan lainnya atau logam lain yang mempunyai sifat kemuliaan logam lebih rendah dibanding material untuk pipa tersebut. Dengan logam A lebih anodik daripada logam B, maka akan terjadi aliran arus dari A ke B melalui zat penghantar (tanah basah/air) apabila A dan B dihubungkan dengan kawat/kabel penghantar. Akibatnya akan terjadi karat pada logam A. Proses ini berjalan terus

selama permukaan logam A tetap relatif bersih. Jika permukaan logam A berkerak, maka kerak tersebut akan bekerja sebagai isolator dan mengurangi tingkat pengkaratan yang terjadi dipermukaan tersebut. Karena logam A sengaja dikorbankan untuk melindungi logam B, maka sistem ini disebut anoda yang dikorbankan. Logam B biasanya berupa baja dan logam A biasanya seng, aluminium atau magnesium.

2. Impressed current sistem, yaitu pemindahan elektron-elektron pipa tersebut kepermukaan baja (material pipa) dengan pertolongan sumber arus listrik searah. Pemindahan elektron ini dengan menggunakan bantuan listrik dari luar. Elektron yang diberikan pada material pipa berasal dari anode baik yang terbuat dari logam termakan maupun dari logam yang permanent. Pengoperasian sistem impressed current ini memerlukan operator yang ahli dan mengerti dengan masalah ini agar dapat melakukan pengontrolan arus sesuai yang dibutuhkan.

1. Selain dengan cara proteksi katoda, ada juga dengan cara elektroplating (pelapisan logam tahan korosi) ataupun dengan coating.

Cathodik protection selain berfungsi sebagai pencegah pengkaratan pada struktur, juga dapat mempertahankan permukaan struktur tetap halus. Dengan demikian akan tetap mengurangi tahanan aliran fluida. Perlu diperhatikan bahwa adanya suatu katode didalam air laut akan menghasilkan ion OH- yang dapat merusak lapisan pelindung pada struktur. Maka dibutuhkan cat khusus yang tahan terhadap pengaruh OH-, seperti cat jenis coaltar apoxy. Kejadian ini menunjukkan bahwa antara pencegahan pengkaratan dengan pengecatan dan dengan anoda termakan tidak dapat dipisahkan.



Gambar 11. Prinsip kerja anoda termakan (Widharto, 1999)

II.2.1 PROTEKSI PADA ANJUNGAN

Pada proteksi pada anjungan yang perlu diperhatikan adalah :

1. Besar arus proteksi.

Perhitungan total protective current cathodic protection yang dibutuhkan tergantung pada :

- Resistivity elektrolit
- Beda potensial antara platform dan anode
- Luas permukaan total struktur yang terendam (*submerged*) dan luas permukaan pile dibawah mudline.
- Minimum protective current perluasan dibedakan menjadi 2 :
  a. Typical water zone current density untuk struktur sebesar 6mA/sqft.

b. Typical mud zone current density untuk struktur sebesar 1 mA/sqft. Efisiensi distribusi arus proteksi, umumnya efisiensi distribusi arus dapat diperbaiki dengan menggunakan jumlah yang besar tetapi mempunyai output individu yang lebih rendah. Untuk mendapatkan distribusi arus tersebut dapat dilihat kesamaannya dengan kapabilitas energi seperti yang ditunjukkan dibawah ini.

Tabel 3. Energy capabilities and consumption rates of galvanic alloys (NACE RP-01-76)

Galvanic Anode Rates Alloy	Energy Capability (Amp.hr/lb)	Consumption (lb/Amp.yr)
Aluminium Zinc Mercury	1250 – 1290	7.0 – 6.8
Aluminium Zinc Indium	760 – 1090	11.5 – 8.0
Aluminium Zinc Tin	420 – 1190	20.8 – 7.4
Zinc (MIL-A-18001H)	370	23.7
Magnesium (H-1-Alloy)	500	17.5

1. *Data from field test at Key West, Florida, by Naval Research Laboratory, Washington D.C.*
2. *Data from 1 above have indicated that some of these types of Alloys hava shown decreasing current outputs with time.*
3. *Data from 1 above and from manufacturers long term field test.*

Dalam tabel diatas dapat diketahui kemampuan proteksi yang dapat diberikan oleh jenis anode yang bersangkutan. Perkiraan arus proteksi sebenarnya :

Contoh : aluminium alloy

Kapabilitas energi 2740 – 2830 Amp.hr/lb

Consumption rate 3,1 – 3,2 kg/Amp.yr.

Kapabilitas energi menunjukkan kemampuan memberikan proteksi sebesar 2740 hingga 2830 ampere jam setiap pound beratnya, sedangkan consumption rate adalah kecepatan penyusutan anode karena termakan selama memberikan proteksi arus listrik terhadap konstruksi terkorosi, dinyatakan dengan penyusutan sebesar 3,1 hingga 3,2 tiap ampere tahun.

Untuk menghitung minimum protection yang ada digunakan persamaan (Sumbogo, 1993):

$$MPC\ exist = A \times D \times t$$

Dimana :

A = Luas Permukaan pile (sqft)

D = density untuk struktur (mA/sqft).

T = n tahun (year)

Untuk perhitungan ini, batasan yang dipakai permukaan yang dihitung adalah asumsi bahwa setiap bagian konstruksi mempunyai kontribusi yang serba sama jenis materialnya. Selai itu, meterial yang berada dibawah permukaan tanah (mudline) tidak dihitung, karena bagian mudline tidak diberi katodik ptotection. Perhitungan MPC exist ini untuk menghitung MPC (minimum protection current) atau arus minimum yang diperlukan untuk melindungi struktur.

Untuk optimisasi anode, maka digunakan MPC menurut standart NACE RP-01-76, dimana dalam hal ini NACE Standart bekerja sama dengan API untuk merumuskan dan menentukan pasal-pasal yang harus dipatuhi dalam perencanaan cathodic protection.

$$\delta \leq \frac{x.e.W}{A.t}$$

Dimana :

δ = Minimum protective current density (mA/sqft)

x = Jumlah anode

e = Kapabilitas (energi ump.hr/lbs)

W = berat anoda (lbs)

A = luas permukaan pile (Sqft)

T = Asumsi umur anode yang dipergunakan.

PERHITUNGAN LAJU KOROSI

Pada perhitungan laju korosi kita menggunakan metode MPY, yaitu metode penghitungan korosi dengan kecepatan dalam mills per tahun.

Rumus :

$$MPY = \frac{534.\ W\ (mg)}{p(g/cm^3).A(in^2).t(hr)}$$

Dimana :

W = kehilangan berat selama proses (mg)

P = berat jenis sampel (g/cm^3)

A = luas sampel (in^2)

T = waktu pengujian (jam)

Dari pengukuran kecepatan korosi dengan MPY, penggolongan kecepatan korosi merata ini dapat dikategorikan (ARCO, 1996):

a. Sangat baik

   Kecepatan kurang dari 5 MPY

   Logam dengan kategori ini sesuai untuk membuat bagian-bagian yang kritis.

b. Cukup memuaskan

   Kecepatan korosi antara 5 s/d 50 MPY

   Untuk bagian-bagian yang tidak kritis, kecepatan ini masih dapat ditolerir.

c. Kecepatan korosi diatas 50 MPY, tidak memuaskan.

   Sebaiknya logam jenis ini tidak digunakan.

Selain dengan MPY, laju korosi juga dapat dihitung dengan menggunakan IPY (Inch per year). Perbedaan antara satuan dari MPY dan IPY adalah :

1 mills = 0,001 inch

PERHITUNGAN KETEBALAN PELAT

Ketebalan pelat setelah melewati periode tertentu dapat diperkirakan dengan cara :

$$Tn = To \times (1 - 1)^n$$

Dimana :

Tn = Tebal pipa sampai periode waktu ke-n (inch)

To = Tebal pipa mula-mula (inch)

I = Prosentase weight loss

n = Masa / periode waktu (tahun)

II.2.2 KRITERIA PEMILIHAN MATERIAL

1.Tahan terhadap korosi umum maupun lokal seperti pitting, kecepatan tinggi, stagnasi, turbulensi tinggi, suhu tinggi, turbulensi lokal.

2.Tahan terhadap efek galvanik karena adanya dua metal yang bersinggungan misalnya valve dengan casing pompa.

3.Bebas dari Mikro dan makro organisme laut yang menggerombol dan menempel.

4.Mudah dibentuk/dikerjakan termasuk bending, welding dan brazing.

II.3 MANAJEMEN PEMELIHARAAN BANGUNAN LEPAS PANTAI

Pemeliharaan adalah suatu kombinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu peralatan dalam kondisi yang bisa diterima (Corder, A.1992). Maksud dari kondisi yang bisa diterima adalah suatu standart yang ditetapkan oleh suatu organisasi yang melakukan pemeliharaan atau dapat juga standart tersebut ditetapkan oleh peraturan perundangan yang harus ditaati.

Tujuan pemeliharaan yang utama adalah :

- Untuk memperpanjang usia peralatan

Dengan melakukan pemeliharaan akan membantu untuk mengurangi besarnya biaya yang harus dikeluarkan apabila dilakukan pergantian peralatan, meskipun kadang-kadang dalam suatu kondisi tertentu akan lebih ekonomis mengganti peralatan daripada memelihara.

- Menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat. Peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat ini seperti peralatan pemadam kebakaran, *safety system*, unit cadangan. Oleh karena itu penting pula diadakan pemeriksaan ulang setiap bulan peralatan-peralatan darurat
- Menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat. Peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat ini seperti peralatan pemadam kebakaran, *safety system*, unit cadangan. Oleh karena itu penting pula diadakan pemeriksaan ulang setiap bulan peralatan-peralatan darurat.
- Memperkecil kerusakan darurat yang dapat mengakibatkan hilangnya produksi dan membahayakan keselamatan tenaga kerja.

II.3.1 BENTUK PEMELIHARAAN

Berdasarkan *Glosarry of Terms Used in Maintenance Organization* yang dikeluarkan dalam BS3811:1974 (Corder, 1992) pemeliharaan dibedakan menjadi dua kelompok yaitu pemeliharaan terencana *(plannned maintenance)* dan tidak terencana *(unplanned maintenance)*. Sedangkan pemeliharaan terencana

Dengan melakukan pemeliharaan akan membantu untuk mengurangi besarnya biaya yang harus dikeluarkan apabila dilakukan pergantian peralatan, meskipun kadang-kadang dalam suatu kondisi tertentu akan lebih ekonomis mengganti peralatan daripada memelihara.

- Menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat. Peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat ini seperti peralatan pemadam kebakaran, *safety system*, unit cadangan. Oleh karena itu penting pula diadakan pemeriksaan ulang setiap bulan peralatan-peralatan darurat
- Menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat. Peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat ini seperti peralatan pemadam kebakaran, *safety system*, unit cadangan. Oleh karena itu penting pula diadakan pemeriksaan ulang setiap bulan peralatan-peralatan darurat.
- Memperkecil kerusakan darurat yang dapat mengakibatkan hilangnya produksi dan membahayakan keselamatan tenaga kerja.

II.3.1 BENTUK PEMELIHARAAN

Berdasarkan *Glosarry of Terms Used in Maintenance Organization* yang dikeluarkan dalam BS3811:1974 (Corder, 1992) pemeliharaan dibedakan menjadi dua kelompok yaitu pemeliharaan terencana *(plannned maintenance)* dan tidak terencana *(unplanned maintenance)*. Sedangkan pemeliharaan terencana

dibedakan lagi menjadi pemeliharaan pencegahan *(preventive maintenance)* dan pemeliharaan korektif *(corective maintenance)*.

MILIK PERPUSTAKAAN ITS

Pemeliharaan terencana adalah pemeliharaan yang terorganisir yang dilakukan dengan adanya pemikiran ke masa depan, pengendalian dan pencatatan sesuai dengan rencana yang telah dilakukan sebelumnya. Adapun pemeliharaan tidak terencana didefinisikan sebagai pemeliharaan yang harus segera dilakukan meskipun tanpa jadwal, karena peralatan mengalami kerusakan serius.Dengan adanya pemeliharaan terencana ini, masalah kerusakan peralatan yang berada diluar kemampuan/ darurat dan tidak terduga sebelumnya dapat menjadi sekecil mungkin atau dalam arti lain pemeliharaan tidak terencana dapat dikurangi.

II.3.2 PEMELIHARAAN PENCEGAHAN

Pemeliharaan pencegahan adalah pekerjaan pemeliharaan yang bertujuan mencegah terjadinya kerusakan atau cara pemeliharaan yang direncanakan untuk mencegah kerusakan pada peralatan. Kegiatan-kegiatan pemeliharaan dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu :

1. Pemeliharaan waktu berjalan *(Running Maintenance)*, yaitu pemeliharaan yang dilakukan dengan kondisi peralatan tetap berjalan misalnya inspeksi peralatan, pelumasan dan penyetelan kecil, pemantauan getaran.
2. Pemeliharan waktu berhenti *(Shutdown Maintenance)* yaitu pemeliharaan yang dilakukan ketika kondisi peralatan berhenti, misalnya penggantian komponen dan pembersihan *(pigging)*.

II.2.3 PEMELIHARAAN KOREKTIF

Pemeliharaan korektif merupakan pekerjaan pemeliharaan yang dilakukan untuk memperbaiki suatu perlatan. Pemeliharaan korektif dapat dibagi menjadi dua yaitu:

1. Pemeliharaan waktu berhenti *(shutdown Maintenance)* yaitu pemeliharaan dengan kondisi peraltan dijadwalkan untuk berhenti, misalnya overhaul terencana, pembangunan kembali. Pemeliharaan ini memerlukan rencana kegiatan, tenggang waktu untuk memperoleh material.
2. *Breakdown Maintenance* yaitu pemeliharaan yang dilakukan ketika terjadi kerusakan kecil yang dapat mengganggu proses produksi namun belum dapat dikategorikan membahayakan keselamatan pekerja. Misalnya reparasi minor.

II.3.4 PEMELIHARAAN DARURAT

Pemeliharaan darurat merupakan perbaikan yang segera dilakukan karena adanya kerusakan atau berhentinya peralatan utama pada saat operasi normal. Dalam perbaikan ini juga mencakup perbaikan yang harus dilakukan untuk mencegah keadaan yang berbahaya bagi tenaga kerja, terjadinya kerusakan yang lebih parah pada peralatan maupun kehilangan produksi yang cukup besar. Pekerjaan yang telah dijadwalkan harus dihentikan dan penanganan kerusakan harus segera dilakukan.Pemeliharaan darurat ini dapat ditekan intensitasnya atau dapat dihindari dengan melakukan pemeliharaan pencegahan secara disiplin. Melakukan

pemeliharaan pencegahan yang dapat dikategorikan sebagai pemeliharaan kecil akan bisa mencegah terjadinya reparasi pemeliharaan darurat yang mahal.

II.3. 5 PEMELIHARAAN PERAMALAN

Pemeliharaan peramalan merupakan teknik penggantian peralatan pada waktu yang sudah ditentukan sebelum terjadi kerusakan baik kerusakan total maupun titik yang menunjukkan peralatan bekerja dibawah standar yang ditetapkan. Pemeliharaan peramalan merupakan bentuk pengembangan dari pemeliharaan terencana. Meskipun sebuah peralatan telah mengalami pemeliharaan

II.4 MANAJEMEN PEMELIHARAAN

Manajemen pemeliharaan dapat diartikan sebagai suatu lembaga yang terkoordinasi (organisasi) terdiri dari beberapa orang yang berfungsi melakukan kegiatan pemeliharaan. Suatu organisasi yang baik, sistem dan prosedur yang baik serta peralatan/fasilitas yang modern, tidak menjamin pelaksanaan pekerjaan yang efisien. Suatu program pemeliharaan yang tepat dan mampu mencapai sasaran dengan cepat, banyak sekali tergantung pada sikap dan usaha manajemen, serta sumber daya manusia terkait. Semua yang berkepentingan dalam pemeliharaan harus bekerja sama, mencari penyelesaian masalah yang timbul dan terus mencari cara meningkatkan perencanaan penjadwalan dan pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan.

II.4.1 KONSEP MANAJEMEN PEMELIHARAAN

Secara umum konsep manajemen pemeliharaan adalah merupakan serangkaian tindakan yang dilakukan dalam organisasi yang melaksanakan pemeliharaan (Davis, 1997) yaitu:

1. Perencanaan

   Merencanakan program-program pemeliharaan sesuai peraturan yang berlaku.

2. Pengorganisasian

   Penyusunan struktur organisasi serta menetapkan wewenang dan tanggung jawab untuk melaksanakan program pemeliharaan.

3. Penusunan Staf

   Pemilihan dan pelatihan tenaga kerja untuk bekerja dalam organisasi.

4. Pengkoordinasian

   Penjadwalan program pemeliharaan dalam urutan yang tepat.

5. Pengarahan

   Pemberian pedoman, pengarahan dan motivasi dalam organisasi.

6. Pengendalian

   Pengukuran prestasi dan penyimpangannya dari rencana serta pengaturan dan pembenahan program pemeliharaan.

II.4.2 DASAR PERTIMBANGAN

Adapun dasar pertimbangan yang mendasari perlunya manajemen pemeliharaan adalah:

1. Pemeliharaan adalah mahal dan biaya pemeliharaan merupakan bagian besar dari seluruh anggaran suatu perusahaan.
2. Pemeliharaan telah mengambil peranan semakin penting dalam kaitan semakin menuanya fasilitas.
3. Walaupun terdapat fasilitas dengan jenis yang sama, namun setiap fasilitas mempunyai ciri khas tersendiri dalam pemeliharaannya.
4. Untuk jumlah fasilitas yang banyak atau daerah operasi pemeliharaan yang luas, maka pemeliharaan dilakukan dalam waktu yang lama.
5. Pekerjaan pemeliharaan membutuhkan beberapa jenis keterampilan sehingga perlu adanya koordinasi antara para ahli keterampilan ini.
6. Perlunya menyesuaikan dengan teknologi pemeliharaan yang semakin berkemban, maka diperlukan pekerja pemeliharaan dengan keterampilan tinggi.

II.4.3 SISTEM PEMELIHARAAN TERENCANA

Sistem pemeliharaan terencana mengelola kebijaksanaan pemeliharaan yang menyediakan alat-alat yang secara teknis dan finansial mengarahkan dan mengendalikan operasi pemeliharaan dengan tujuan meningkatkan standar pemeliharaan dan mempertinggi efektifitas biaya. Pekerjaan terncana memerlukan lebih sedikit tenaga kerja, dapat diselesaikan dengan waktu berhenti yang singkat dan pekerjaan akan terlaksana lebih efektif.

Pada bangunan lepas pantai, peningkatan standar pemeliharaan dilakukan juga dengan cara inspeksi. Inspeksi ini wajib dilakukan oleh bangunan-bangunan lepas pantai untuk mendapat sertifikat kelaikan. Macam Inspeksi ini adalah :

a.Inspeksi minor

b. Inspeksi Mayor

c. Inspeksi Complete

Dari inspeksi ini ditentukan apakah struktur tersebut masih layak dipakai atau sudah harus diadakan perbaikan dan ditarik ke pantai, dan sudah ada batasan-batasan yang tertulis.

Inspeksi korosi mempunyai tiga hal yang penting, yaitu :

1. Untuk mengetahui corrosion protection sistem yang bekerja
2. Untuk menemukan dan meyakinkan adanya kerusakan
3. Untuk membantu perencanaan perbaikan dari sistem korosilaut offshore, apakah struktur tersebut masih layak dipakai atau sudah harus diadakan perbaikan dan ditarik ke pantai, oleh karena itu harus dipahami batas-batas layak pakai (batas toleransi pipa terhadap korosi) dan harus diketahui sebab-sebab terjadinya korosi dan cara memperpanjang umur pipa agar tidak mudah terkena korosi.

Inspeksi korosi mempunyai tiga hal yang penting, yaitu :

1. Untuk mengetahui corrosion protection sistem yang bekerja. Hal ini bisa diketahui lewat pembacaan wall thickness dan juga lewat pemeriksaan pembacaan potensial anodik.
2. Untuk menemukan dan meyakinkan adanya kerusakan. Kadang-kadang tanpa diduga, ada kerusakan pada struktur yang tidak terlihat tapi *significant* seperti

keretakan karena kelelahan struktur. Dari hasil inspeksi ini bisa diyakinkan adanya keretakan tersebut.

3. Untuk membantu perencanaan perbaikan dari sistem korosi.

II.4.4 FAKTOR YANG BERPENGARUH DALAM PEMELIHARAAN:

Dalam merencanakan pemeliharaan terencana ada beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan yaitu faktor utama, faktor pendukung dan faktor eksternal (Suryo, 1996). Penjelasannya adalah :

a. Faktor Utama

Yang dimaksud faktor utama dalam hal ini adalah :

1. Sumber daya manusia (SDM)

   SDM merupakan elemen aktif didalam kegiatan pemeliharaan, karena SDM memegang peranan yang sangat penting. Hal ini tidak hanya terkait dengan teknik pemeliharaan semata, namun juga menyangkut attitude yang dimiliki SDM tersebut.

2. Alat pendukung dan fasilitas yang dimiliki

   Faktor ini erat kaitannya dengan kebutuhan waktu yang disediakan didalam melaksanakan pemeliharaan. Kapasitas dan kemampuan alat pendukung serta fasilitas yang ada akan mempengaruhi jumlah jam orang (JO) yang dikonsumsi untuk pelaksanaan suatu proses pemeliharaan.

3. Ketersediaan suku cadang yang dibutuhkan

   Persediaan (stock) dari suatu komponen juga harus dipertimbangkan, hal ini penting terhadap kemungkinan terjadinya suatu kondisi impending

failures dari peralatan yang terpasang. Dimana ketersediaan komponen tertentu akan menghambat jadwal produksi secara umum. Metode penyediaan suku cadang lazimnya tergantung dari umur/jam operasi komponen tersebut.

4. Prosedur pemeliharaan

   Suatu perencanaan operasi pemeliharaan yang secara terencana tidak akan dapat berlangsung dengan baik tanpa diketahuinya prosedur pemeliharaan yang benar. Sehingga hal ini membutuhkan pendiskripsian terhadap setiap single maintenance activity, yang biasanya dituangkan dalam kartu-kartu kerja.

5. Anggaran biaya (*budgeting*)

   Tentunya dalam menyusun rencana, kegiatan pemeliharaan dari suatu peralatan, perlu juga diketahui besarnya budget yang dianggarkan oleh perusahaan yang bersangkutan. Besarnya budget yang terserap dalam proses produksi jasa pemeliharaan ini dapat digunakan untuk mengecek efisiensi dan efektifitas dari pelaksanaan kegiatan.

II.5 *CORROSION MONITORING* PADA KODECO ENERGY,CO.LTD

II.5.1 PERAWATAN PADA SISTEM PIPA DASAR LAUT (CPP-ORF)

Perawatan jaringan pipa transportasi dibagi menjadi 2 bagian utama yakni :

A. Perawatan pipa bagian luar.

Perawatan pada bagian ini meliputi beberapa jenis kegiatan pemeliharaan pipa. Pemeliharaan pada bagian ini perlu mendapatkan perhatian yang intensif karena

kondisi lingkungan sekitarnya sangat besar pengaruhnya terhadap timbulnya kerusakan pada jaringan pipa yang mungkin salah satunya disebabkan oleh terjadinya korosi pada badan pipa.Kegiatan pemeliharaan bagian luar ini meliputi antara lain:

1.Pengecatan

Jaringan pipa yang diletakkan dipermukaan luar, permukaannya harus dicat sesuai dengan standart yang ada, serta perlu diperhatikan juga dalam hal pemilihan cat yang tetap, dan juga dalam hal teknik pengecatannya yakni ketebalan cat antara *primer coat, intermediet coat*, dan *top coat*. Langkah awal sebelum pipa dicat, pipa tersebut harus benar-benar bersih dari kotoran apapun dan umumnya dipakai cara *Sand Blasting* yaitu menyemprotkan pasir besi/kuarsa dengan tekanan yang tinggi ke permukaan pipa yang akan dicat dengan maksud agar bisa menahan laju korosi yang ada.

2.Pelapisan dengan semen (*concrete coating*)

Pelapisan ini digunakan pada pipa yang akan dipasang pada daerah air laut, dimana ketebalan semen diharapkan akan dapat menghindarkan kontaminasi secara langsung antara air laut dengan permukaan pipa dan juga selain itu lapisan semen ini juga digunakan sebagai pemberat pipa yang akan diletakkan didasar laut sehingga tidak memerlukan lagi pemberat. Namun kelemahan dari pelapisan semen pada jaringan pipa dasar laut adalah sulit sekali untuk melakukan pemeliharaan atau melakukan inspeksi dengan peralatan yang sederhana, hal ini disebabkan jaringan pipa tersebut sudah tertutup lumpur di dasar laut. Peralatan yang sekarang ini umum digunakan adalah dengan menggunakan *intelegent pig*

yang dimasukkan dalam jaringan pipa dan didorong oleh fluida yang mengalir pada jaringan pipa tersebut. Dengan pekerjaan yang relatif sederhana *intelegent pig* dapat memberikan informasi tentang cacat yang ada pada jalur pipa transportasi cukup akurat, baik jenis cacatnya maupun lokasi dimana cacat itu berada. Sehingga sangat memudahkan bagi kita untuk memperbaikinya.

3. Pemeliharaan Cathodic Protection

Selain pipa sudah dibalut untuk menjaga terjadinya korosi pada pipe line perlu juga dipasang *cathodic protection* pada daerah-daearah tertentu. Pada pipe line 14 inchi dari KE-5 ke pelabuhan gresik dipasangkan *current cathodic protection*, yaitu dengan memberikan umpan logam yang lebih lunak dibanding dengan jenis logam pipanya. Pemilihan *Sacrificial anode* jenis aluminium cukup efektif untuk memproteksi pipeline yang ditanam didaratan serta dipasang didelapan lokasi yang terpisah, sedangkan pipeline yang berada didasar laut digunakan *sacrificial anode* jenis magnesium sebanyak 8 buah masing-masing seberat 50 lbs, yang dipasang sepanjang pipeline. Untuk memonitor *anodes system* dari *cathodic protection* pipeline yang didarat dilakukan dengan peralatan khusus setiap bulan sekali. Tetapi yang dilaut tidak dilakukan pemeliharaan karena anode yang terpasang pada pipa sudah diperhitungkan akan habis dalam jangka waktu sekitar 20 tahun.

4.Inspeksi tata letak pipeline

Pekerjaan pemeliharaan pipeline yang berada didasar laut yang biasa dilakukan baik menggunakan peralatan khusus atau tidak antara lain:

A. Memonitor posisi dari pipeline yang terletak didasar laut, apakah mengalami pergeseran dari posisi semula yang disebabkan karena arus laut. Pekerjaan ini

dilakukan bersama-sama dengan petugas dirjen perhubungan laut (diperlakukan) setiap bulan sekali. Tetapi karena peralatan harus disewa dari perusahaan tertentu, maka hal ini tidak bisa dilakukan secara rutin, sehingga Kodeco melakukannya bila dianggap perlu.

B. Mengembalikan posisi pipeline yang telah bergeser karena tanah longsor atau karena pergerakan lapisan tanah ke posisi semula, atau sekurang-kurangnya memproteksi pipeline jangan bergerak lebih jauh. Untuk mengetahui pergeserannya bisa digunakan alat yang disebut *Pipe Locater.*

C. Pemeliharaan Bagian Dalam Jaringan Perpipaan

Agar tidak cepat terkikis atau korosi karena aliran fluida dalam pipa, perawatan bagian dalam pipa juga harus dilakukan. Pemeliharaan yang dilakukan untuk merawat pipa yaitu *Corrosion Control Metod*, dengan cara :

1. Bagian dalam pipa

a. *Corrosion Coupon Survey*

Untuk mengamati tingkat korosi pada bagian dalam pipa digunakan test coupon yang dipasang dibagian dalam pipa sehingga bersinggungan langsung dengan aliran fluida. Test coupon terlebih dahulu ditimbang dengan alat ukuran khusus dan jenis material yang digunakan sebagai test coupon harus sama dengan material pipeline tersebut.test coupon ini dipasang pada beberapa tempat yaitu tiga buah dipasang di *inlet pipeline* CPP dan dua buah dipasang di outlet pipeline ORF gresik. Setiap 6 bulan sekali test coupon ini dicabut dan diteliti dengan menimbangnya, berapa berat yang berkurang dibanding dengan waktu pemasangan. Dari hasil ini akan dapat diketahui laju korosi pada dinding bagian

dalam sistem perpipaan dan juga dapat pula ditentukan frekuensi untuk diadakan inspeksi selama sistem perpipaan itu beroperasi

b. *Iron Counts Analysis.*

Yaitu penghitungan kadar besi yang terkandung pada aliran fluida dimana apabila kandungan besi tinggi, maka banyak terjadi penggerusan pada pipa, apabila sedikit, maka korosi internal pipa yang terjadi juga sedikit. Hal ini dilakukan setiap bulan.

c. Residual Inhibitor Analysis.

Yaitu melihat kadar inhibitor dalam cairan atau fluida.

2. Bagian Luar Pipa

a. Potential measurement

Yaitu pemeriksaan potensial pada sacrifisicial anode. Dapat dilakukan dengan cara pembacaan melalui kotak-kotak potensial check. Dimana apabila potensial rendah melebihi dari standart yang telah ditentukan, maka harus diadakan penggantian sacrificial anode.

b. Visual check.

Yaitu pemeriksaan dengan cara melihat pipa secara visual .

c. Thickness measurement

Yaitu pemeriksaan dengan cara mengukur ketebalan pipa. Dimana apabila lebih kecil dari standart yang telah dilakukan, maka perlu dilakukan penggantian pipa.

3. Gas Composition monitoring

a. H_2S

Yaitu pemeriksaan dengan cara memeriksa kadar gas H2S. Pelaksanaannya diadakan setiap bulan.

b. CO_2

Yaitu pemeriksaan dengan cara memeriksa kadar gas CO2. Pelaksanaannya dilakukan setiap bulan.

4. Corrosion Protection

a. Internal .

Yaitu dengan *injeksi Chemical Inhibitor.* Tujuan daripada diinjeksikannya chemical ini adalah supaya aliran fluida tidak bersinggungan langsung dengan dinding pipa. Prosesnya adalah bahan *chemical* yang diinjeksikan tersebut kedalam fluida akan bercampur dengan fluida tersebut didalam pipa dan mengalir bersama fluida tersebut. Lapisan *chemical* ini akan membentuk lapisan film yang menempel pada dinding bagian dalam dari pipa. Jenis daripada cairan kimia yang diinjeksikan ini adalah INR 787 dengan volume sekitar 1,2 liter untuk setiap aliran fluida sebanyak 1 MMSCFD. Cairan kimia ini akan dapat menahan ataupun mengurangi laju korosi didalam pipa khususnya pada daerah elbow/tikungan.

I.5.2 PERAWATAN PIPA EXTERNAL

Pada pipa 14 " offshore P/L : Galvallum (aluminium anode) III anode design. Pada pipa 14 ", 10", 4" P/L dan ORF Farlyti dengan magnesium anode design 20 tahun.

II.5.3 PENGUJIAN CONTOH FLUIDA DIDALAM LABORATORIUM

Laju korosi pada sistem perpipaan dapat diketahui melalui contoh dari campuran air dan kondensat yang diambil baik dari lapangan KE-5 CPP maupun di ORF Gresik, cairan contoh ini akan diperiksa kandungan besinya di Laboratorium. Dari hasil pengujian di Laboratorium ini akan diperoleh keuntungan antara lain :

- Tingkat korosi yang terjadi dapat diketahui
- Dapat menentukan upaya penanggulangan dari laju korosi yang terjadi.
- Dapat menekan biaya pemeliharaan untuk program jangka panjang.

II.5.4 PELAKSANAAN PIGGING

Pigging adalah pekerjaan peluncuran pig yang juga merupakan salah satu perawatan bagian dalam pipa. Kegiatan ini untuk membersihkan kotoran yang menempel pada dinding pipa, juga untuk mengeluarkan liquid yang terjebak disepanjang pipa agar tidak menghalangi aliran gas pada pipeline tersebut. Ada beberapa macam pig yang biasa digunakan sesuai dengan kebutuhan, seperti : Brush pig, foam pig, ball pig (sphere), displecement pig, bididectional pig, intelligent pig, dan lain-lain.

Pelaksanaan pigging pada setiap lokasi akan berbeda-beda, tergantung kondisi operasional lapangan masing-masing. Bila fluida yang mengalir banyak mengandung liquid, maka peluncuran pig akan lebih sering dilakukan. Selain itu

dapat kita monitor dari beda tekanan yang timbul antara inlet dan outlet pipeline, jika tekanan jatuhnya (drop pressure) cukup besar berarti sudah banyak cairan yang terjebak pada pipeline tersebut.

Di Kodeco hal ini merupakan kendala yang harus dipikirkan, karena kondensat yang seharusnya dialirkan terpisah dengan gas dari CPP menuju ORF, terpaksa dicampurkan lagi dengan gas 14 inchi pipeline untuk dialirkan ke gresik. Sehingga kandungan kondensat pada pipeline tersebut cukup tinggi, dan bila hal ini dilakukan peluncuran pig akan membawa permasalahan di ORF, karena kapasitas dari slug catcher yang ada tidak mampu menampung liquid yang terjebak di pipeline, sehingga program pigging yang seharusnya dilakukan secara rutin tidak terealisasikan. Hal lain yang menghambat diluncurkannya pig adalah adanya beberapa sambungan elbow yang seharusnya minimum radiusnya 5 x diameter pipa, ternyata yang terpasang jenis short radius (1,5 x diameter pipa), hal ini bisa mengakibatkan berhentinya pig didalam pipeline. Karrena jaringan pipa 14 inchi ini adalah satu-satunya transportasi gas dari CPP ke ORF, maka ini menjadi bahan pertimbangn yang sangat sulit. Satu-satunya program yang dapat dilaksanakan adalah peluncuran pig jenis busa (foam pig), meskipun hasilnya tidak bisa optimum, tetapi resiko pignya tertinggal didalam pipeline itu kecil. Karena jenis foam pig ini mudah sekali pecah bila terjadi sesuatu didalam pipeline. Sedangkan untuk jenis pig yang lain sudah tidak mungkin lagi dilakukan, kecuali diadakan penggantian beberapa elbow tipe short radius menjadi long radius.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

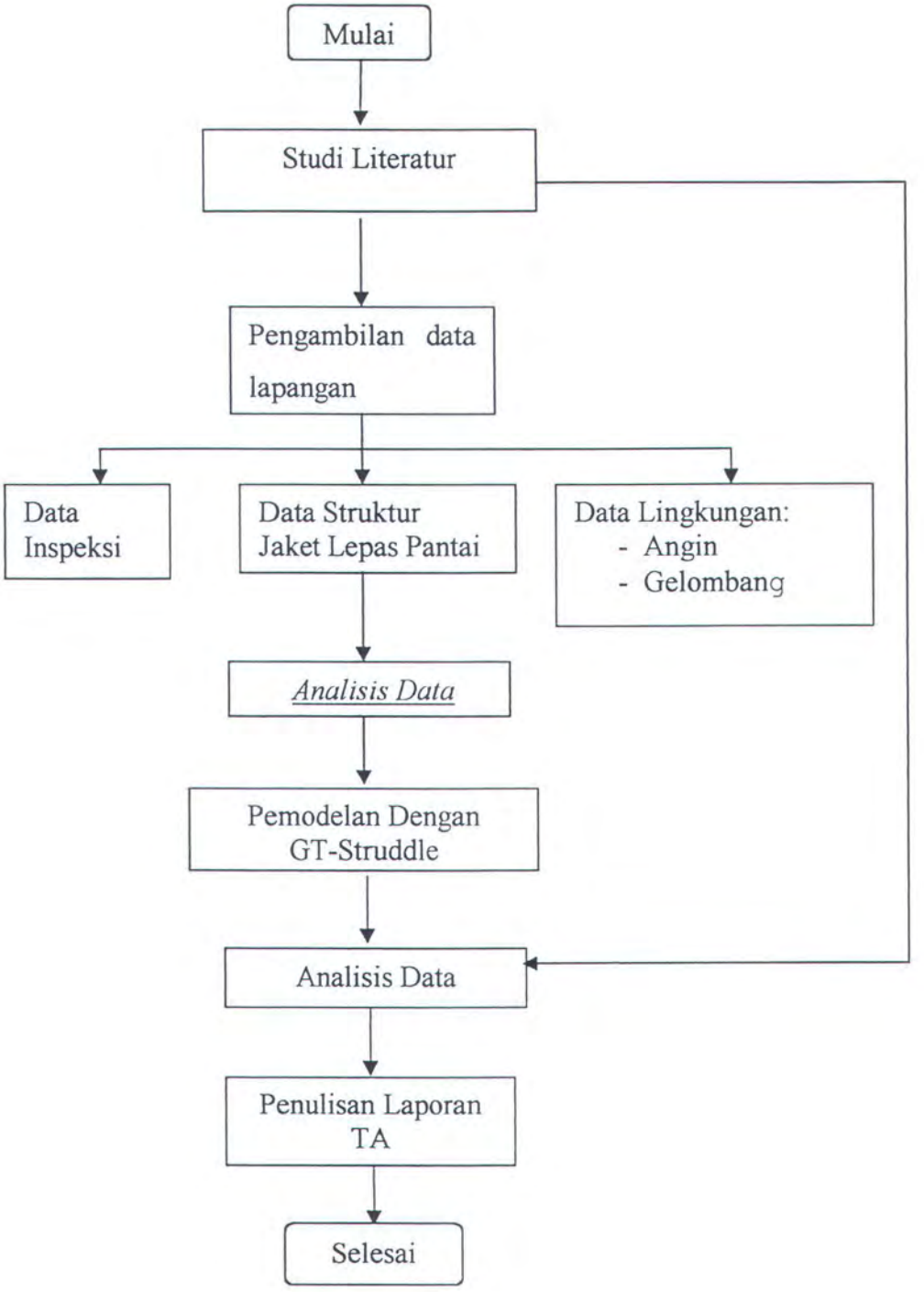
Untuk memperoleh analisis data yang mempunyai validitas, dalam penyusunan tugas akhir ini dilakukan metode atau langkah-langkah pelaksanaan analisis data yang terstruktur dan dibantu dengan literatur-literatur.

Garis besar dari penyusunan tugas akhir ini meliputi langkah-langkah sebagai berikut :

1. Studi literatur, mengambil bahan acuan teori dari jurnal dan literatur yang berkaitan dengan korosi dan manajemen pemeliharaan.
2. Penyiapan data-data dari KODECO Energy,co baik data lingkungan, data struktur maupun data management korosi yang ada.
3. Mengolah data dari KODECO Energy co, dan didapatkan data pengurangan ketebalannya selama operasi. Kemudian dilakukan analisis pada sistem monitoring korosi KODECO Energy, CO.Ltd, baik analisis berapa jumlah sacrifisial anode yang memenuhi persyaratan dan juga manajemen pemeliharaan pada *offshore structure* .
4. Melakukan analisis struktur dengan menggunakan bantuan GT-Struddle, dari sini didapatkan tempat-tempat yang mempunyai tegangan kritis, yaitu daerah yang menerima beban yang paling besar. Data dari tegangan kritis ini bisa dilihat dari output GT-Struddle.

5. Setelah itu diadakan penghitungan ulang untuk mendapatkan jumlah anode yang memenuhi syarat (analisis perhitungan MPC dengan standart NACE RP-01-76.). Dalam analisis ini dibandingkan jumlah anode yang ada saat ini (yang sudah terpasang) dengan penghitungan anode standart NACE RP-01-76, dan diberi tambahan anode agar memenuhi persyaratan.
6. Membuat suatu manajemen korosi yang baru berdasarkan data dari KODECO Energy, Co.Ltd dan melakukan studi banding dengan KODECO Energy,Co Ltd yang bertujuan untuk meningkatkan *life time* anjungan .

Tahapan-tahapan yang dilakukan dapat dijelaskan dengan menggunakan diagram alir sebagai berikut :



BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui laju pengurangan ketebalan pada struktur, terlebih dahulu kita harus mengadakan perhitungan data pada KODECO Energy, Co.Ltd. Hal-hal yang berpengaruh pada perhitungan ini adalah :

a. Ketebalan awal pelat

Yaitu ketebalan pada saat pengukuran ketebalan struktur pada saat selesai diinstal. Dibawah ini diberikan tabel tebal pelat dari saat pertama kali diinstal sampai pada tahun ke-9.

Tabel 4. Tebal awal pada leg :

Section	Panjang (m)	Tebal	Diameter (m)
I	15.01	0.127	0.864
II	15.01	0.127	0.864
III	15.01	0.127	0.864
IV	15.01	0.127	0.864

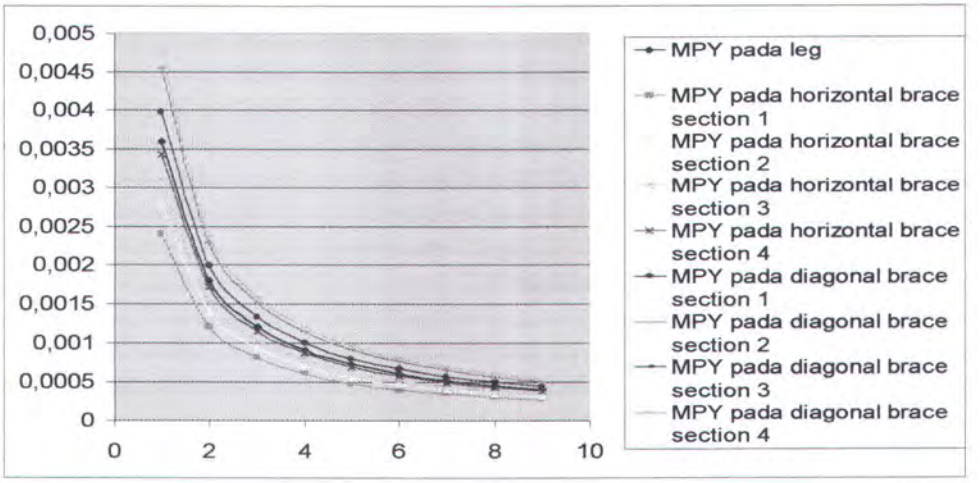
Tabel 5. Tebal awal pada horizontal brace:

ITS

Section	Panjang (m)	Tebal	Diameter (m)
I	10	0.0127	0.356
II	11.6	0,095	0.356
III	12.9	0.095	0.356
IV	14.3	0.095	0.356

Tabel 6. Tebal awal pada diagonal brace :

Section	Panjang (m)	Tebal	Diameter (m)
I	16.59216984	0.095	0.356
II	18.96997891	0.095	0.406
III	19.79166744	0.095	0.457
IV	18.09820709	0.095	0.406



Gambar 1. Grafik MPY pada *offshore* struktur KODECO.

Dari data yang didapatkan dari KODECo Energy, Ltd, didapatkan gambar ketebalan pelat versus tahun , dimana y sebagai sumbu ordinat merupakan fungsi dari ketebalan pelat dan x sebagai absis merupakan fungsi waktu (tahun). Gambar 1 diatas dikondisikan pada keadaan awal yaitu keadaan dimana belum terjadi penambahan anoda. Dalam gambar 1, kita melihat ketebalan pelat pada leg, horisontal brace dan diagonal brace pada tahun ke tahun mengalami penurunan, hal ini terjadi karena reaksi antara logam (pelat) dan air laut (media korosif) yang menyebabkan terjadinya korosi.

Tabel 7. Perhitungan MPY pada leg

To	MPY	MPY (Meter)	Tahun	Tn
0.0254	0.36023352	0.0036023	1	0.021798
	0.18011676	0.0018012	2	0.019996
	0.12007784	0.0012008	3	0.018796
	0.09005838	0.0009006	4	0.017895
	0.0720467	0.0007205	5	0.017175
	0.06003892	0.0006004	6	0.016574
	0.05146193	0.0005146	7	0.01606
	0.04502919	0.0004503	8	0.015609
	0.04002595	0.0004003	9	0.015209

Tabel 8. Perhitungan MPY pada horisontal bracing section 1

To	MPY	MPY (Meter)	Tahun	Tn
0.0127	0.23999569	0.0024	1	0.0103
	0.11999784	0.0012	2	0.0091
	0.07999856	0.0008	3	0.0083
	0.05999892	0.0006	4	0.0077
	0.04799914	0.00048	5	0.00722
	0.03999928	0.0004	6	0.00682
	0.0342851	0.0003429	7	0.006477
	0.02999946	0.0003	8	0.006177
	0.02666619	0.0002667	9	0.005911

Tabel 9. Perhitungan MPY pada horisontal bracing section 2

To	To – Tn	MPY	MPY (Meter)	Tahun	Tn
0.095	0.00671	0.278395	0.0027839	1	0.092216
	0.012945	0.1391975	0.001392	2	0.090824
	0.01874	0.09279833	0.000928	3	0.089896
	0.024126	0.06959875	0.000696	4	0.0892
	0.029132	0.055679	0.0005568	5	0.088643
	0.033784	0.04639917	0.000464	6	0.088179
	0.038108	0.03977071	0.0003977	7	0.087782
	0.042126	0.03479937	0.000348	8	0.087434
	0.04586	0.03093278	0.0003093	9	0.087124

Tabel 10. Perhitungan MPY pada horisontal bracing section 3

To	MPY	MPY (Meter)	Tahun	Tn
0.095	0.30959443	0.0030959	1	0.091904
	0.15479722	0.001548	2	0.090356
	0.10319814	0.001032	3	0.089324
	0.07739861	0.000774	4	0.08855
	0.06191889	0.0006192	5	0.087931
	0.05159907	0.000516	6	0.087415
	0.04422778	0.0004423	7	0.086973
	0.0386993	0.000387	8	0.086586
	0.03439938	0.000344	9	0.086242

Tabel 11. Perhitungan MPY pada horisontal bracing section 4

To	To – Tn	MPY	MPY (Meter)	Tahun	Tn
0.095	0.00671	0.34319383	0.0034319	1	0.091568
	0.012945	0.17159692	0.001716	2	0.089852
	0.01874	0.11439794	0.001144	3	0.088708
	0.024126	0.08579846	0.000858	4	0.08785
	0.029132	0.06863877	0.0006864	5	0.087164
	0.033784	0.05719897	0.000572	6	0.086592
	0.038108	0.04902769	0.0004903	7	0.086101
	0.042126	0.04289923	0.000429	8	0.085672
	0.04586	0.03813265	0.0003813	9	0.085291

Tabel 12. Perhitungan MPY pada Diagonal brace section 1

To	MPY	MPY (Meter)	Tahun	Tn
0.095	0.39815284	0.0039815	1	0.091018
	0.19907642	0.0019908	2	0.089028
	0.13271761	0.0013272	3	0.087701
	0.09953821	0.0009954	4	0.086705
	0.07963057	0.0007963	5	0.085909
	0.06635881	0.0006636	6	0.085245
	0.05687898	0.0005688	7	0.084676
	0.04976911	0.0004977	8	0.084179
	0.0442392	0.0004424	9	0.083736

Tabel 13. Perhitungan MPY pada diagonal bracing section 2

To	MPY	MPY (Meter)	Tahun	Tn
0.095	0.45503182	0.0045503	1	0.09045
	0.22751591	0.0022752	2	0.088175
	0.15167727	0.0015168	3	0.086658
	0.11375795	0.0011376	4	0.08552
	0.09100636	0.0009101	5	0.08461
	0.07583864	0.0007584	6	0.083852
	0.06500455	0.00065	7	0.083202
	0.05687898	0.0005688	8	0.082633
	0.05055909	0.0005056	9	0.082127

Tabel 14. Perhitungan MPY pada diagonal brace section 3

To	MPY	MPY (Meter)	Tahun	Tn
0.095	0.474951462	0.004749515	1	0.09025049
	0.237475731	0.002374757	2	0.08787573
	0.158317154	0.001583172	3	0.08629256
	0.118737865	0.001187379	4	0.08510518
	0.094990292	0.000949903	5	0.08415527
	0.079158577	0.000791586	6	0.08336369
	0.067850209	0.000678502	7	0.08268519
	0.059368933	0.000593689	8	0.0820915
	0.052772385	0.000527724	9	0.08156377

Tabel 15. Perhitungan MPY pada Diagonal bracing section 4

To	MPY	MPY (Meter)	Tahun	Tn
0.095	0.474951462	0.004749515	1	0.09025049
	0.237475731	0.002374757	2	0.08787573
	0.158317154	0.001583172	3	0.08629256
	0.118737865	0.001187379	4	0.08510518
	0.094990292	0.000949903	5	0.08415527
	0.079158577	0.000791586	6	0.08336369
	0.067850209	0.000678502	7	0.08268519
	0.059368933	0.000593689	8	0.0820915
	0.052772385	0.000527724	9	0.08156377

b.Kondisi lingkungan

Yaitu kondisi yang terjadi pada struktur, berupa data lingkungan, beban lingkungan yang menimpa struktur, hal ini bisa dilihat dari hasil output GT-Struddle,(Lihat Lampiran Output GT-Struddle). Dari data output yang ada, didapatkan daerah yang menerima beban yang paling besar (tegangan kritis).

Tabel 16. Tegangan maximum pada struktur

No	Tegangan max	No member	Nama member
1	1162090	23	Leg
2	1181725	22	Diagonal bracing
3	1398114	24	Horizontal bracing
4	1566546	35	Horizontal bracing
5	2719506	25	Horizontal bracing
6	3677585	48	Leg
7	3849448	51	Leg
8	3917948	46	Horizontal bracing
9	3925153	15	Leg

Dari data yang ada diatas diketahui bagian struktur yang menerima tegangan paling besar adalah :

1.*Leg* (kaki anjungan)

Leg menerima beban yang besar karena *leg* merupakan tumpuan dari anjungan, karena merupakan tumpuan dari anjungan , maka distribusi dari beban yang paling besar diterima oleh *leg*.

2.Horizontal bracing

Horizontal bracing menerima beban yang besar karena menerima beban dari arus yang paling besar.

c. Besar Arus Proteksi

Perhitungan total Arus Proteksi yang dibutuhkan. Hal ini tergantung pada

- Luasan dari struktur yang dilindungi
- Energy capabilities dan consumption rate dari anoda.

Pada perhitungan dipakai magnesium ,maka yang dipakai sebagi perhitungan magnesium dengan deskripsi :

1. Energy Capability : 500 (Amp.hr/lb)

2. Consumtion rates : 17,5 (Lb/Amp.Year)

- Typical water zone current density untuk struktur sebesar 6 mA/sqft

Pada perhitungan MPC, pertama kali diadakan perhitungan MPC exist .

Rumusan MPC Exist (Sumbogo, Bagus 1993):

MPC exist = A x d x t

Dimana :

A = Luas Permukaan pile (sqft)

D = density untuk struktur (mA/sqft).

T = n tahun (year)

Data yang ada pada KODECO, dianalisa dengan menggunakan perhitungan MPC exist dan perhitungan MPC NACE menurut standart NACE RP-01-76. Dalam hal ini digunakan standart NACE karena standart NACE umum dipakai pada *offshore structure*. Pada NACE perhitungan mengenai MPC disebutkan dengan jelas.

Dengan rumusan : $\delta \leq \frac{x.e.W}{A.t}$

Dimana :

δ = Minimum protective current density (mA/sqft)

x = Jumlah anode

e = Kapabilitas (energi ump.hr/lbs)

W = berat anoda (lbs)

A = luas permukaan pile (Sqft)

Tabel 17. MPC Existing dan MPC NACE pada leg

Section	Anode	MPC Existing (mAmp)	MPC NACE (mAmp)	Selisih Arus (mAmp)	Syarat
I	0	10505.95754	4297.481006	-6208.476538	not OK
II	0	10505.95754	4297.481006	-6208.476538	not OK
III	0	10505.95754	4297.481006	-6208.476538	not OK
IV	0	10505.95754	4297.481006	-6208.476538	not OK

Tabel 18. MPC Existing dan MPC NACE pada horizontal bracing

Section	Anode	MPC Existing (mAmp)	MPC NACE (mAmp)	Selisih Arus (mAmp)	Syarat
I	0	3702.178947	1219.529192	-2482.649755	not OK
II	0	3345.408792	1349.585531	-1995.823261	not OK
III	0	3720.325295	1213.580787	-2506.744507	not OK
IV	1	4124.081528	1094.768682	-3029.312846	not OK

Tabel 19. MPC Existing dan MPC NACE pada diagonal bracing

Section	Anode	MPC Existing (mAmp)	MPC NACE (mAmp)	Selisih Arus (mAmp)	Syarat
I	8	9570.274286	7548.231392	-2022.042894	not OK
II	10	6239.274434	7236.282596	997.0081622	OK
III	16	7327.229452	9858.930347	2531.700895	OK
IV	8	11905.09292	6067.877445	-5837.215474	not OK

Pada perhitungan MPC dengan standart NACE RP-01-76, diketahui bahwa MPC exist yang ada tidak memenuhi syarat. Dalam perhitungan laju korosi, parameter yang digunakan disini adalah MPC (Minimum Protective Current), yaitu arus minimum yang diperlukan untuk melindungi struktur. Dari tabel diatas didapatkan hasil : 1. Kurangnya arus untuk melindungi struktur.

2. Tidak semua bagian mendapatkan anoda.

Oleh karena itu untuk management korosi yang baru diperlukan perhitungan ulang untuk mendapatkan berapa banyak anoda yang harus ditambahkan pada struktur

Tabel 20. Perhitungan MPC dengan penambahan anode pada leg.

Section	Anode	MPC Existing (mAmp)	MPC NACE (mAmp)	Selisih Arus (mAmp)	Syarat
I	3	10505.95754	12892.44302	2386.485474	OK
II	3	10505.95754	12892.44302	2386.485474	OK
III	3	10505.95754	12892.44302	2386.485474	OK
IV	3	10505.95754	12892.44302	2386.485474	OK

Tabel 21. Perhitungan MPC dengan penambahan anode pada Horizontal brace

Section	Anode	MPC Existing (mAmp)	MPC NACE (mAmp)	Selisih Arus (mAmp)	Syarat
I	2	2883.973097	3131.038431	247.0653347	OK
II	3	3345.408792	4048.756592	703.3478002	OK
III	4	3720.325295	4854.323149	1133.997855	OK
IV	4	4124.081528	4379.074729	254.993201	OK

Tabel 22. Perhitungan MPC dengan penambahan anode pada diagonal bracing

Section	Anode	MPC Existing (mAmp)	MPC NACE (mAmp)	Selisih Arus (mAmp)	Syarat
I	12	9570.274286	11322.34709	1752.072802	OK
II	9	6239.274434	6512.654337	273.3799026	OK
III	12	7327.229452	7394.19776	66.96830856	OK
IV	16	11905.09292	12135.75489	230.6619707	OK

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan MPC standart NACE RP-01-76, dilakukan trial dan error penambahan jumlah anode yang diperlukan agar syaratnya terpenuhi. Setelah syarat dapat terpenuhi, maka dapat diketahui penambahan anode yang diperlukan oleh struktur.

Setelah diketahui berapa anode yang diperlukan, maka didapatkan MPC yang memenuhi standart NACE, maka dianalisa berapa pengurangan/reduksi yang terjadi pada pipa setelah diberikan anode

Tabel 23. Reduksi tebal pipa apabila memakai penambahan anode pada leg setelah pemakaian 9 tahun.

Section	MPC Awal	MPC Akhir	Perb. Dimensi Awal	Perb. Dimensi Akhir	% Reduksi Dimensi
I	4297.481006	12892.44302	2.03607648	0.67869216	33.33333333
II	4297.481006	12892.44302	2.03607648	0.67869216	33.33333333
III	4297.481006	12892.44302	2.03607648	0.67869216	33.33333333
IV	4297.481006	12892.44302	2.03607648	0.67869216	33.33333333

Tabel 24. Reduksi tebal pipa apabila memakai penambahan anoda pada Horizontal Brace setelah pemakaian 9 tahun.

Section	MPC Awal	MPC Akhir	Perb. Dimensi Awal	Perb. Dimensi Akhir	% Reduksi Dimensi
I	1219.529192	3131.038431	7.1749	2.7946	38.94967177
II	1349.585531	4048.756592	6.483472	2.161157333	33.33333333
III	1213.580787	4854.323149	7.210068	1.802517	25
IV	1094.768682	4379.074729	7.992556	1.998139	25

Tabel 25. Reduksi tebal pipa apabila memakai penambahan anode pada Diagonal Brace setelah pemakaian 9 tahun.

Section	MPC Awal	MPC Akhir	Perb. Dimensi Awal	Perb. Dimensi Akhir	% Reduksi Dimensi
I	7548.231392	11322.34709	9.273695567	6.182463711	66.66666667
II	7236.282596	6512.654337	4.836737584	5.374152871	111.1111111
III	9858.930347	7394.19776	3.550080868	4.733441157	133.3333333
IV	6067.877445	12135.75489	11.53615917	5.768079583	50

Dari tabel reduksi tebal pipa yang terjadi setelah penambahan anode pada Leg, Horizontal Brace dan Diagonal Brace, maka menurut analisa yang dihasilkan akan dapat mereduksi pengurangan tebal pada pipa. Pengurangan reduksi ini didapatkan dari hasil perbandingan antara dimensi awal dari pipa dengan dimensi akhir dari pipa. Dengan demikian terbukti bahwa apabila struktur anjungan KODECO yang ada diberi penambahan anode, maka akan mengurangi laju korosi dan hal ini dapat memperpanjang umur dari struktur itu sendiri.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Dari hasil analisis data yang didapatkan pada sistem monitoring KODECO Energy,Co.Ltd, dapat dilihat bahwa kelemahan dari sistem monitoring KODECO Energy,Co.Ltd adalah sacrifisial anode yang telah dipasang, dan menurut NACE Standart RP 01-76, jumlahnya tidak memenuhi syarat. Hal ini bisa dilihat dari perhitungan MPC (minimum protective current) yang memerlukan penambahan jumlah anode. Oleh karena itu, dalam mendesain anoda yang terpasang, maka perlu diperhatikan perhitungan MPCnya. Karena apabila MPC rendah maka laju pengurangan ketebalan akan tinggi karena arus yang digunakan untuk memproteksi struktur kurang sesuai, sehingga mengakibatkan percepatan laju pengurangan ketebalan. Dengan bantuan GT-Struddle, dapat diketahui daerah mana saja yang memerlukan penambahan anode. Dari pembacaan output struddle, maka didapatkan kesimpulan bahwa laju korosi juga dipengaruhi oleh beban yang diterima oleh struktur, karena itu perlu diperhatikan dalam mendesain perlindungan sacrified anode dan juga perlu diperhatikan ketebalan pelatnya setiap tahun.
2. Dalam mendesain anoda yang terpasang, perlu diperhatikan perhitungan MPCnya. Karena apabila MPC rendah maka laju pengurangan ketebalan akan tinggi sehingga arus yang digunakan untuk memproteksi struktur kurang sesuai, yang mengakibatkan percepatan laju pengurangan ketebalan tinggi. Pada perhitungan kembali anoda yang terpasang pada Kodeco Energy, digunakan standart NACE RP-01-76, dimana bagian-bagian yang mendapat

arus sedikit diberikan tambahan anoda. Dengan penambahan anode, akan memberikan arti yang significant terhadap pengurangan ketebalan . Berikut ini prosen dari pengurangan laju ketebalan pelat setelah 9 tahun setelah diberikan tambahan anoda:

* Pada Leg struktur KODECO :

  Section 1: 33,33%, Section 2 : 33,33%, Section 3 : 33,33 % dan Section 4 33, 33 %.

* Pada Horizontal Brace struktur KODECO :

  Section 1: 38,95 %, Section 2 : 33,33%, Section 3 : 25% dan Section 4 25%

* Pada Diagonal Brace struktur KODECO :

  Section 1: 66,66%, Section 2 : 111,11%, Section 3 :133,33 dan Section 4 50%.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

ARCO, 1996, **Professional Education Services Basic Metallurgy Course.**

Chandler, K.A, 1981, **Marine and Offshore Corrosion**, Butterworths, London.

Corder, A. dan Hadi, , 1992, **Teknik Manajemen Pemeliharaan**, Cetakan kedua, Erlangga, Jakarta.

Bagus Sumbogo, 1993, **Perhitungan Laju Korosi Tiang Pancang**, Surabaya.

Davis, Gordon B & Adiwardana, Andreas S., 1997, **Kerangka Dasar Sistem Informasi Manajemen**, PT. Pustakaka Binaman Pressindo, Jakarta.

Francis L Lague, 1980, **Marine Corrotion Cause and Prevention**, London.

Fontana, 1978, **Corrosion Engineering**, McGraw-Hill Book Company, Japan.

Herbert H. Uhlig, 1984, **Corrosion and Corrosion Control**, Third Edition, John Wiley & Sons, United States of America.

John Morsan, 1987, **Cathodic Protection**, Houston.

NACE, 1979, **Corrosion Basic An Introduction**, 1440 South Creek Drive Houston, Texas 77084.

Rogers, T. Howard, 1968, **Marine Corrosion**, William Clowes and Sons , Great Britain.

Sri Widharto, 1999, **Karat dan Pencegahannya**, Pradnya Paramita Jakarta.

Tretheway, Kenneth R. and . Chamberlain, 1991, **Corrosion for Student of Science Engineering.** Alih bahasa Alex Tri Kantjono Widodo, Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

W.A. Suryo, 1996, **Model Sistem Peningkatan Kemampuan Manajemen Pemeliharaan Kapal,** FTK ITS, Surabaya.

LAMPIRAN

Mencari Umur Korosi (MPY)

No	To	To - Tn	L	O D	I D	I D + Tn	A	Rho	Length	MPY	MPY (Meter)	Tahun	Tn
Leg	0.0254	0.001794	15.01	0.864	0.8386	0.862206	0.031517	7.86	15.01	0.36023352	0.0036023	1	0.021798
Sec 1 2 3 4		0.003461	15.01	0.864	0.8386	0.860539	0.029263	7.86	15.01	0.18011676	0.0018012	2	0.019996
		0.005011	15.01	0.864	0.8386	0.858989	0.027171	7.86	15.01	0.12007784	0.0012008	3	0.018796
		0.006451	15.01	0.864	0.8386	0.857549	0.025231	7.86	15.01	0.09005838	0.0009006	4	0.017895
		0.007789	15.01	0.864	0.8386	0.856211	0.02343	7.86	15.01	0.0720467	0.0007205	5	0.017175
		0.009033	15.01	0.864	0.8386	0.854967	0.021759	7.86	15.01	0.06003892	0.0006004	6	0.016574
		0.010189	15.01	0.864	0.8386	0.853811	0.020209	7.86	15.01	0.05146193	0.0005146	7	0.01606
		0.011263	15.01	0.864	0.8386	0.852737	0.01877	7.86	15.01	0.04502919	0.0004503	8	0.015609
		0.012262	15.01	0.864	0.8386	0.851738	0.017434	7.86	15.01	0.04002595	0.0004003	9	0.015209
											0.0011323		

H brace	To	To - Tn	L	O D	I D	I D + Tn	A	Rho	Length	MPY	MPY (Meter)	Tahun	Tn
Sec 1	0.0127	0.000897	10	0.864	0.8513	0.863103	0.015885	7.86	10	0.23999569	0.0024	1	0.0103
		0.001731	10	0.864	0.8513	0.862269	0.014756	7.86	10	0.11999784	0.0012	2	0.0091
		0.002505	10	0.864	0.8513	0.861495	0.013707	7.86	10	0.07999856	0.0008	3	0.0083
		0.003225	10	0.864	0.8513	0.860775	0.012734	7.86	10	0.05999892	0.0006	4	0.0077
		0.003894	10	0.864	0.8513	0.860106	0.01183	7.86	10	0.04799914	0.00048	5	0.00722
		0.004516	10	0.864	0.8513	0.859484	0.01099	7.86	10	0.03999928	0.0004	6	0.00682
		0.005094	10	0.864	0.8513	0.858906	0.010211	7.86	10	0.0342851	0.0003429	7	0.006477
		0.005632	10	0.864	0.8513	0.858368	0.009487	7.86	10	0.02999946	0.0003	8	0.006177
		0.006131	10	0.864	0.8513	0.857869	0.008814	7.86	10	0.02666619	0.0002667	9	0.005911
											0.0007544		

H brace	To	To - Tn	L	O D	I D	I D + Tn	A	Rho	Length	MPY	MPY (Meter)	Tahun	Tn
Sec 2	0.095	0.00671	11.6	0.864	0.769	0.85729	0.112715	7.86	11.6	0.278395	0.0027839	1	0.092216
		0.012945	11.6	0.864	0.769	0.851055	0.104353	7.86	11.6	0.1391975	0.001392	2	0.090824
		0.01874	11.6	0.864	0.769	0.84526	0.096636	7.86	11.6	0.09279833	0.000928	3	0.089896
		0.024126	11.6	0.864	0.769	0.839874	0.089511	7.86	11.6	0.06959875	0.000696	4	0.0892
		0.029132	11.6	0.864	0.769	0.834868	0.08293	7.86	11.6	0.055679	0.0005568	5	0.088643
		0.033784	11.6	0.864	0.769	0.830216	0.07685	7.86	11.6	0.04639917	0.000464	6	0.088179
		0.038108	11.6	0.864	0.769	0.825892	0.071229	7.86	11.6	0.03977071	0.0003977	7	0.087782
		0.042126	11.6	0.864	0.769	0.821874	0.066031	7.86	11.6	0.03479937	0.000348	8	0.087434
		0.04586	11.6	0.864	0.769	0.81814	0.061224	7.86	11.6	0.03093278	0.0003093	9	0.087124
											0.0008751		

H brace
Sec 3

To	To - Tn	L	O D	I D	I D + Tn	A	Rho	Length	MPY	MPY (Meter)	Tahun	Tn
0.095	0.00671	12.9	0.864	0.769	0.85729	0.112715	7.86	12.9	0.30959443	0.0030959	1	0.091904
	0.012945	12.9	0.864	0.769	0.851055	0.104353	7.86	12.9	0.15479722	0.001548	2	0.090356
	0.01874	12.9	0.864	0.769	0.84526	0.096636	7.86	12.9	0.10319814	0.001032	3	0.089324
	0.024126	12.9	0.864	0.769	0.839874	0.089511	7.86	12.9	0.07739861	0.000774	4	0.08855
	0.029132	12.9	0.864	0.769	0.834868	0.08293	7.86	12.9	0.06191889	0.0006192	5	0.087931
	0.033784	12.9	0.864	0.769	0.830216	0.07685	7.86	12.9	0.05159907	0.000516	6	0.087415
	0.038108	12.9	0.864	0.769	0.825892	0.071229	7.86	12.9	0.04422778	0.0004423	7	0.086973
	0.042126	12.9	0.864	0.769	0.821874	0.066031	7.86	12.9	0.0386993	0.000387	8	0.086586
	0.04586	12.9	0.864	0.769	0.81814	0.061224	7.86	12.9	0.03439938	0.000344	9	0.086242
										0.0009731		

H brace
Sec 4

To	To - Tn	L	O D	I D	I D + Tn	A	Rho	Length	MPY	MPY (Meter)	Tahun	Tn
0.095	0.00671	14.3	0.864	0.769	0.85729	0.112715	7.86	14.3	0.34319383	0.0034319	1	0.091568
	0.012945	14.3	0.864	0.769	0.851055	0.104353	7.86	14.3	0.17159692	0.001716	2	0.089852
	0.01874	14.3	0.864	0.769	0.84526	0.096636	7.86	14.3	0.11439794	0.001144	3	0.088708
	0.024126	14.3	0.864	0.769	0.839874	0.089511	7.86	14.3	0.08579846	0.000858	4	0.08785
	0.029132	14.3	0.864	0.769	0.834868	0.08293	7.86	14.3	0.06863877	0.0006864	5	0.087164
	0.033784	14.3	0.864	0.769	0.830216	0.07685	7.86	14.3	0.05719897	0.000572	6	0.086592
	0.038108	14.3	0.864	0.769	0.825892	0.071229	7.86	14.3	0.04902769	0.0004903	7	0.086101
	0.042126	14.3	0.864	0.769	0.821874	0.066031	7.86	14.3	0.04289923	0.000429	8	0.085672
	0.04586	14.3	0.864	0.769	0.81814	0.061224	7.86	14.3	0.03813265	0.0003813	9	0.085291
										0.0010788		

D brace
Sec1

To	To - Tn	L	O D	I D	I D + Tn	A	Rho	Length	MPY	MPY (Meter)	Tahun	Tn
0.095	0.00671	16.59	0.356	0.261	0.34929	0.042298	7.86	16.59	0.39815284	0.0039815	1	0.091018
	0.012945	16.59	0.356	0.261	0.343055	0.038909	7.86	16.59	0.19907642	0.0019908	2	0.089028
	0.01874	16.59	0.356	0.261	0.33726	0.035814	7.86	16.59	0.13271761	0.0013272	3	0.087701
	0.024126	16.59	0.356	0.261	0.331874	0.032985	7.86	16.59	0.09953821	0.0009954	4	0.086705
	0.029132	16.59	0.356	0.261	0.326868	0.030397	7.86	16.59	0.07963057	0.0007963	5	0.085909
	0.033784	16.59	0.356	0.261	0.322216	0.028026	7.86	16.59	0.06635881	0.0006636	6	0.085245
	0.038108	16.59	0.356	0.261	0.317892	0.025854	7.86	16.59	0.05687898	0.0005688	7	0.084676
	0.042126	16.59	0.356	0.261	0.313874	0.023861	7.86	16.59	0.04976911	0.0004977	8	0.084179
	0.04586	16.59	0.356	0.261	0.31014	0.022032	7.86	16.59	0.0442392	0.0004424	9	0.083736
										0.0012515		

D brace

Sec2

To	To - Tn	L	O D	I D	I D + Tn	A	Rho	Length	MPY	MPY (Meter)	Tahun	Tn
0.095	0.00671	18.96	0.406	0.311	0.39929	0.049229	7.86	18.96	0.45503182	0.0045503	1	0.09045
	0.012945	18.96	0.406	0.311	0.393055	0.04535	7.86	18.96	0.22751591	0.0022752	2	0.088175
	0.01874	18.96	0.406	0.311	0.38726	0.0418	7.86	18.96	0.15167727	0.0015168	3	0.086658
	0.024126	18.96	0.406	0.311	0.381874	0.038549	7.86	18.96	0.11375795	0.0011376	4	0.08552
	0.029132	18.96	0.406	0.311	0.376868	0.035567	7.86	18.96	0.09100636	0.0009101	5	0.08461
	0.033784	18.96	0.406	0.311	0.372216	0.032832	7.86	18.96	0.07583864	0.0007584	6	0.083852
	0.038108	18.96	0.406	0.311	0.367892	0.03032	7.86	18.96	0.06500455	0.00065	7	0.083202
	0.042126	18.96	0.406	0.311	0.363874	0.028012	7.86	18.96	0.05687898	0.0005688	8	0.082633
	0.04586	18.96	0.406	0.311	0.36014	0.025889	7.86	18.96	0.05055909	0.0005056	9	0.082127
										0.0014303		

Data Anode :

Material	Magnesium	**Syarat :**	MPC Existing < MPC NACE
Energi	500 mAmp/h		
Rate	17.5 lb/Amp.h		
Waktu	20 tahun		
Jumlah	24		
Berat	350 kg		
Densitas	64.49879 mAmp / m^2		

MPC Struktur :

LEG

Section	Panjang (m)	Diameter (m)	Luas (m^2)	Anode	MPC Existing (mAmp)	MPC NACE (mAmp)	Selisih Arus (mAmp)	Syarat
I	15.01	0.864	40.7215296	0	10505.95754	4297.481006	-6208.476538	not OK
II	15.01	0.864	40.7215296	0	10505.95754	4297.481006	-6208.476538	not OK
III	15.01	0.864	40.7215296	0	10505.95754	4297.481006	-6208.476538	not OK
IV	15.01	0.864	40.7215296	0	10505.95754	4297.481006	-6208.476538	not OK
					42023.83018	17189.92402	-24833.90615	

H BRACE

Section	Panjang (m)	Diameter (m)	Luas (m^2)	Anode	MPC Existing (mAmp)	MPC NACE (mAmp)	Selisih Arus (mAmp)	Syarat
I	10	0.457	14.3498	0	3702.178947	1219.529192	-2482.649755	not OK
II	11.6	0.356	12.966944	0	3345.408792	1349.585531	-1995.823261	not OK
III	12.9	0.356	14.420136	0	3720.325295	1213.580787	-2506.744507	not OK
IV	14.3	0.356	15.985112	1	4124.081528	1094.768682	-3029.312846	not OK
					14891.99456	4877.464192	-10014.53037	

D BRACE

Section	Panjang (m)	Diameter (m)	Luas (m^2)	Anode	MPC Existing (mAmp)	MPC NACE (mAmp)	Selisih Arus (mAmp)	Syarat
I	16.59216984	0.356	18.54739113	8	9570.274286	7548.231392	-2022.042894	not OK
II	18.96997891	0.406	24.18368792	10	6239.274434	7236.282596	997.0081622	OK
III	19.79166744	0.457	28.40064694	16	7327.229452	9858.930347	2531.700895	OK
IV	18.09820709	0.406	23.07231833	8	11905.09292	6067.877445	-5837.215474	not OK
					35041.87109	30711.32178	-4330.549311	

MPC Struktur untuk kondisi setelah mengalami Penambahan Anode minimum :

LEG

Section	Panjang (m)	Diameter (m)	Luas (m^2)	Anode	MPC Existing (mAmp)	MPC NACE (mAmp)	Selisih Arus (mAmp)	Syarat
I	15.01	0.864	40.7215296	3	10505.95754	12892.44302	2386.485474	OK
II	15.01	0.864	40.7215296	3	10505.95754	12892.44302	2386.485474	OK
III	15.01	0.864	40.7215296	3	10505.95754	12892.44302	2386.485474	OK
IV	15.01	0.864	40.7215296	3	10505.95754	12892.44302	2386.485474	OK
					42023.83018	51569.77207	9545.941896	

H BRACE

Section	Panjang (m)	Diameter (m)	Luas (m^2)	Anode	MPC Existing (mAmp)	MPC NACE (mAmp)	Selisih Arus (mAmp)	Syarat
I	10	0.356	11.1784	2	2883.973097	3131.038431	247.0653347	OK
II	11.6	0.356	12.966944	3	3345.408792	4048.756592	703.3478002	OK
III	12.9	0.356	14.420136	4	3720.325295	4854.323149	1133.997855	OK
IV	14.3	0.356	15.985112	4	4124.081528	4379.074729	254.993201	OK
					14073.78871	16413.1929	2339.404191	

D BRACE

Section	Panjang (m)	Diameter (m)	Luas (m^2)	Anode	MPC Existing (mAmp)	MPC NACE (mAmp)	Selisih Arus (mAmp)	Syarat
I	16.59216984	0.356	18.54739113	12	9570.274286	11322.34709	1752.072802	OK
II	18.96997891	0.406	24.18368792	9	6239.274434	6512.654337	273.3799026	OK
III	19.79166744	0.457	28.40064694	12	7327.229452	7394.19776	66.96830856	OK
IV	18.09820709	0.406	23.07231833	16	11905.09292	12135.75489	230.6619707	OK
					35041.87109	37364.95407	2323.082984	

MPC Struktur :						
	LEG					
	Section	MPC Awal	MPC Akhir	Perb. Dimensi Awal	Perb. Dimensi Akhir	% Reduksi Dimensi
	I	4297.481006	12892.44302	2.03607648	0.67869216	33.33333333
	II	4297.481006	12892.44302	2.03607648	0.67869216	33.33333333
	III	4297.481006	12892.44302	2.03607648	0.67869216	33.33333333
	IV	4297.481006	12892.44302	2.03607648	0.67869216	33.33333333
		17189.92402	51569.77207			
	H BRACE					
	Section	MPC Awal	MPC Akhir	Perb. Dimensi Awal	Perb. Dimensi Akhir	% Reduksi Dimensi
	I	1219.529192	3131.038431	7.1749	2.7946	38.94967177
	II	1349.585531	4048.756592	6.483472	2.161157333	33.33333333
	III	1213.580787	4854.323149	7.210068	1.802517	25
	IV	1094.768682	4379.074729	7.992556	1.998139	25
		5223.454216	16413.1929			
	D BRACE					
	Section	MPC Awal	MPC Akhir	Perb. Dimensi Awal	Perb. Dimensi Akhir	% Reduksi Dimensi
	I	7548.231392	11322.34709	9.273695567	6.182463711	66.66666667
	II	7236.282596	6512.654337	4.836737584	5.374152871	111.1111111
	III	9858.930347	7394.19776	3.550080868	4.733441157	133.3333333
	IV	6067.877445	12135.75489	11.53615917	5.768079583	50
		20933.38119	34672.34496			

ACTIVE UNITS M N DEG DEGF SEC

--- LOADING - Load 1 Wave ---

RESULTANT JOINT LOADS SUPPORTS

JOINT		/----------FORCE----------//----------MOMENT----------					
		X FORCE	Y FORCE	Z FORCE	X MOMENT	Y MOMENT	Z MOMENT
5	GLOBAL	-125263.2109375	-56866.2539062	-795030.0625000	-4326.7485352	-78748.5156250	5313.2509766
6	GLOBAL	-180973.7656250	56897.1250000	794738.8750000	1269.9436035	-68174.9375000	4909.7387695
7	GLOBAL	-181972.8125000	-56798.2421875	794465.0000000	-4008.1044922	-76388.6015625	-5250.8354492
8	GLOBAL	-124068.0156250	56767.3671875	-794173.8125000	1649.1953125	-67365.9218750	-4561.9394531

RESULTANT JOINT DISPLACEMENTS FREE JOINTS

JOINT		/----------DISPLACEMENT----------//----------ROTATION----------					
		X DISP.	Y DISP.	Z DISP.	X ROT.	Y ROT.	Z ROT.
1	GLOBAL	0.0039971	-0.0000448	0.0003065	-0.0000284	0.0016450	-0.0000491
2	GLOBAL	0.0039972	-0.0000469	-0.0000320	-0.0000303	0.0012653	0.0000479
3	GLOBAL	0.0040046	-0.0000469	-0.0000223	-0.0000256	0.0017149	-0.0000212
4	GLOBAL	0.0040047	-0.0000448	0.0003155	-0.0000274	0.0013312	-0.0001277
9	GLOBAL	0.0035181	-0.0000295	0.0003167	0.0002476	0.0030504	-0.0000723
10	GLOBAL	0.0023956	0.0000484	0.0003216	0.0000599	0.0046645	0.0001297
11	GLOBAL	0.0010889	0.0000012	0.0001918	-0.0002093	0.0055011	0.0003145
12	GLOBAL	0.0011844	0.0000016	-0.0001084	-0.0001219	0.0056285	0.0002292
13	GLOBAL	0.0024288	0.0000490	-0.0000722	0.0000767	0.0042496	0.0000960

14	GLOBAL	0.0034555	-0.0000307	-0.0000606	0.0002537	0.0029418
0.0000780						
15	GLOBAL	0.0010874	0.0000007	-0.0001155	-0.0001825	0.0052659
0.0003610						
16	GLOBAL	0.0023272	0.0000480	-0.0001578	0.0000791	0.0046197
0.0002338						
17	GLOBAL	0.0035070	-0.0000311	-0.0000684	0.0002532	0.0032237
0.0000212						
18	GLOBAL	0.0034448	-0.0000290	0.0003054	0.0002562	0.0031232
0.0001603						
19	GLOBAL	0.0023614	0.0000494	0.0002442	0.0000813	0.0042264
0.0002251						
20	GLOBAL	0.0011834	0.0000021	0.0001918	-0.0001062	0.0054950
0.0002724						
21	GLOBAL	0.0000521	-0.0000035	0.0000361	0.0000226	0.0008304
0.0000516						
22	GLOBAL	0.0000245	0.0000001	-0.0001908	0.0000281	0.0026888
0.0000279						
23	GLOBAL	0.0000520	-0.0000016	-0.0000087	0.0000326	0.0008542
0.0000544						
24	GLOBAL	0.0000112	0.0000002	0.0001909	0.0000255	0.0027273
0.0000522						
25	GLOBAL	0.0040043	-0.0000487	0.0001566	-0.0000313	0.0019764
0.0000034						
26	GLOBAL	0.0040018	-0.0000468	-0.0000272	0.0000637	0.0014829
0.0000410						
27	GLOBAL	0.0039968	-0.0000485	0.0001269	-0.0000338	0.0019893
0.0000051						
28	GLOBAL	0.0040016	-0.0000447	0.0003111	0.0000601	0.0014807
0.0000412						

1

ACTIVE UNITS M N DEG DEGF SEC

INTERNAL MEMBER RESULTS

MEMBER MAXIMUM STRESS FOR EACH LOADING

--- MEMBER 1 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	374327.7	1.000 FR	-375859.6	1.000 FR

--- MEMBER 2 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	1725280.	1.000 FR	1183656.	1.000 FR

--- MEMBER 3 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	-1160547.	0.000 FR	-3943202.	0.000 FR

--- MEMBER 4 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	258729.1	0.000 FR	-221185.9	0.000 FR

--- MEMBER 5 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	421015.4	1.000 FR	-422717.2	1.000 FR

--- MEMBER 6 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	1926014.	1.000 FR	988878.9	1.000 FR

--- MEMBER 7 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	-971955.2	0.000 FR	-4131659.	0.000 FR

--- MEMBER 8 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	218799.4	0.000 FR	-196294.5	0.000 FR

--- MEMBER 9 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	79511.52	0.000 FR	-84396.99	0.000 FR

--- MEMBER 10 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	38871.05	0.000 FR	-44491.16	0.000 FR

--- MEMBER 11 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	488957.2	0.000 FR	-496497.1	0.000 FR

--- MEMBER 12 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	525497.6	0.000 FR	-531637.6	0.000 FR

--- MEMBER 13 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	489321.0	0.000 FR	-473343.5	0.000 FR

--- MEMBER 14 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	1882076.	1.000 FR	1473339.	1.000 FR

--- MEMBER 15 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	3925153.	1.000 FR	1158586.	1.000 FR

--- MEMBER 16 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	-408609.4	0.000 FR	-1079095.	0.000 FR

--- MEMBER 17 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	-362984.0	1.000 FR	-1120924.	1.000 FR

--- MEMBER 18 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	321172.9	0.000 FR	-319506.5	0.000 FR

--- MEMBER 19 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	-1408136.	0.000 FR	-1961615.	0.000 FR

--- MEMBER 20 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	534826.1	1.000 FR	-556367.2	1.000 FR

--- MEMBER 21 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	473912.5	0.000 FR	-471297.0	0.000 FR

--- MEMBER 22 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	1181725.	0.000 FR	292765.8	0.000 FR

--- MEMBER 23 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	1162090.	1.000 FR	318102.2	1.000 FR

--- MEMBER 24 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	4182336.	1.000 FR	908068.8	1.000 FR

--- MEMBER 25 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	2719506.	1.000 FR	166866.9	1.000 FR

--- MEMBER 26 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	132965.9	0.000 FR	-110151.2	0.000 FR

--- MEMBER 27 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	-219511.0	1.000 FR	-2683400.	1.000 FR

--- MEMBER 28 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	112353.6	0.000 FR	-134775.7	0.000 FR

--- MEMBER 29 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	1398114.	0.000 FR	-304998.2	0.000 FR

--- MEMBER 30 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	185508.7	0.000 FR	-156904.2	0.000 FR

--- MEMBER 31 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	298263.2	0.000 FR	-1424765.	0.000 FR

--- MEMBER 32 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	88205.18	1.000 FR	-115487.0	1.000 FR

--- MEMBER 33 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	-767421.9	0.000 FR	-1490766.	0.000 FR

--- MEMBER 34 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	143982.7	1.000 FR	-129526.7	1.000 FR

--- MEMBER 35 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	1566546.	1.000 FR	677381.1	1.000 FR

--- MEMBER 36 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	127157.2	1.000 FR	-142693.8	1.000 FR

--- MEMBER 37 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	-1317272.	0.000 FR	-1597621.	0.000 FR

--- MEMBER 38 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	531720.8	0.000 FR	-525580.9	0.000 FR

--- MEMBER 39 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	-1098102.	0.000 FR	-1810834.	0.000 FR

--- MEMBER 40 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	507139.3	0.000 FR	-499599.5	0.000 FR

--- MEMBER 41 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	214562.0	1.000 FR	-247053.1	1.000 FR

--- MEMBER 42 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	93899.93	1.000 FR	-88292.98	1.000 FR

--- MEMBER 43 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	211146.9	1.000 FR	-238250.0	1.000 FR

--- MEMBER 44 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	44687.36	1.000 FR	-39480.14	1.000 FR

--- MEMBER 45 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	-3420088.	1.000 FR	-3912300.	1.000 FR

--- MEMBER 46 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	3917948.	0.000 FR	3233967.	0.000 FR

--- MEMBER 47 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	-4415424.	0.000 FR	-5174096.	0.000 FR

--- MEMBER 48 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	3677585.	0.000 FR	3305713.	0.000 FR

--- MEMBER 49 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	102057.0	0.000 FR	-187635.2	0.000 FR

--- MEMBER 50 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	259126.4	1.000 FR	-177026.1	1.000 FR

--- MEMBER 51 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	3849448.	1.000 FR	3280646.	1.000 FR

--- MEMBER 52 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	-3343574.	0.000 FR	-3979314.	0.000 FR

--- MEMBER 53 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	5062849.	0.000 FR	4249300.	0.000 FR

--- MEMBER 54 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	-3421064.	0.000 FR	-3762513.	0.000 FR

--- MEMBER 55 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	227575.5	0.000 FR	-129153.1	0.000 FR

--- MEMBER 56 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	186432.8	1.000 FR	-285189.2	1.000 FR

--- MEMBER 57 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	154465.8	1.000 FR	-153486.5	1.000 FR

--- MEMBER 58 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	110337.3	0.000 FR	-135557.3	0.000 FR

--- MEMBER 59 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	65357.69	1.000 FR	-108268.0	1.000 FR

--- MEMBER 60 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	74581.27	1.000 FR	-116115.3	1.000 FR

--- MEMBER 61 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	185272.4	0.000 FR	-200924.3	0.000 FR

--- MEMBER 62 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	119242.9	1.000 FR	-103474.3	1.000 FR

--- MEMBER 63 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	164323.5	1.000 FR	-168250.4	1.000 FR

--- MEMBER 64 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	128524.9	0.000 FR	-100483.9	0.000 FR

--- MEMBER 65 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	80650.50	1.000 FR	-41789.82	1.000 FR

--- MEMBER 66 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	164210.5	1.000 FR	-120727.4	1.000 FR

--- MEMBER 67 ---

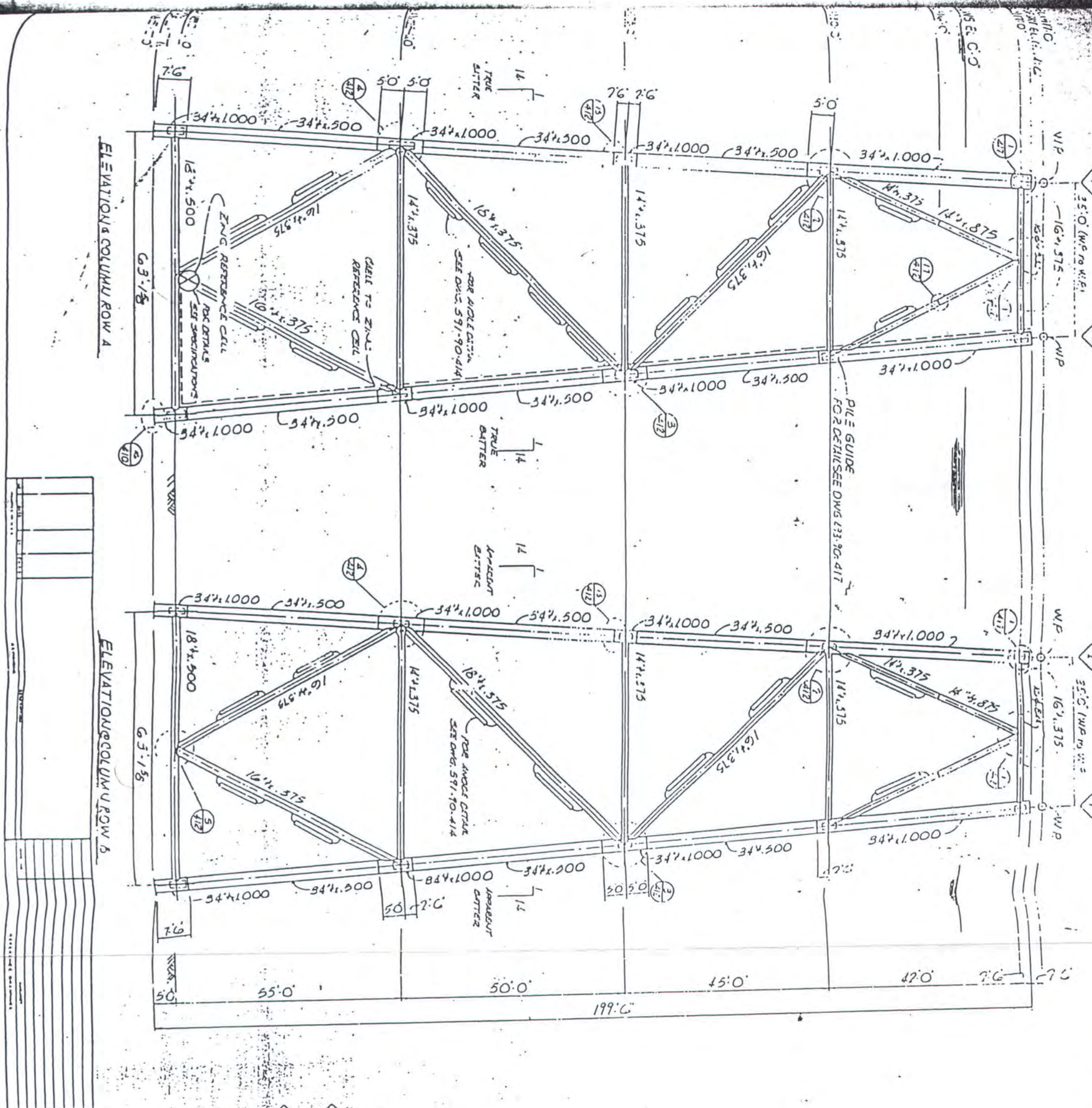
/---------- STRESS ----------/

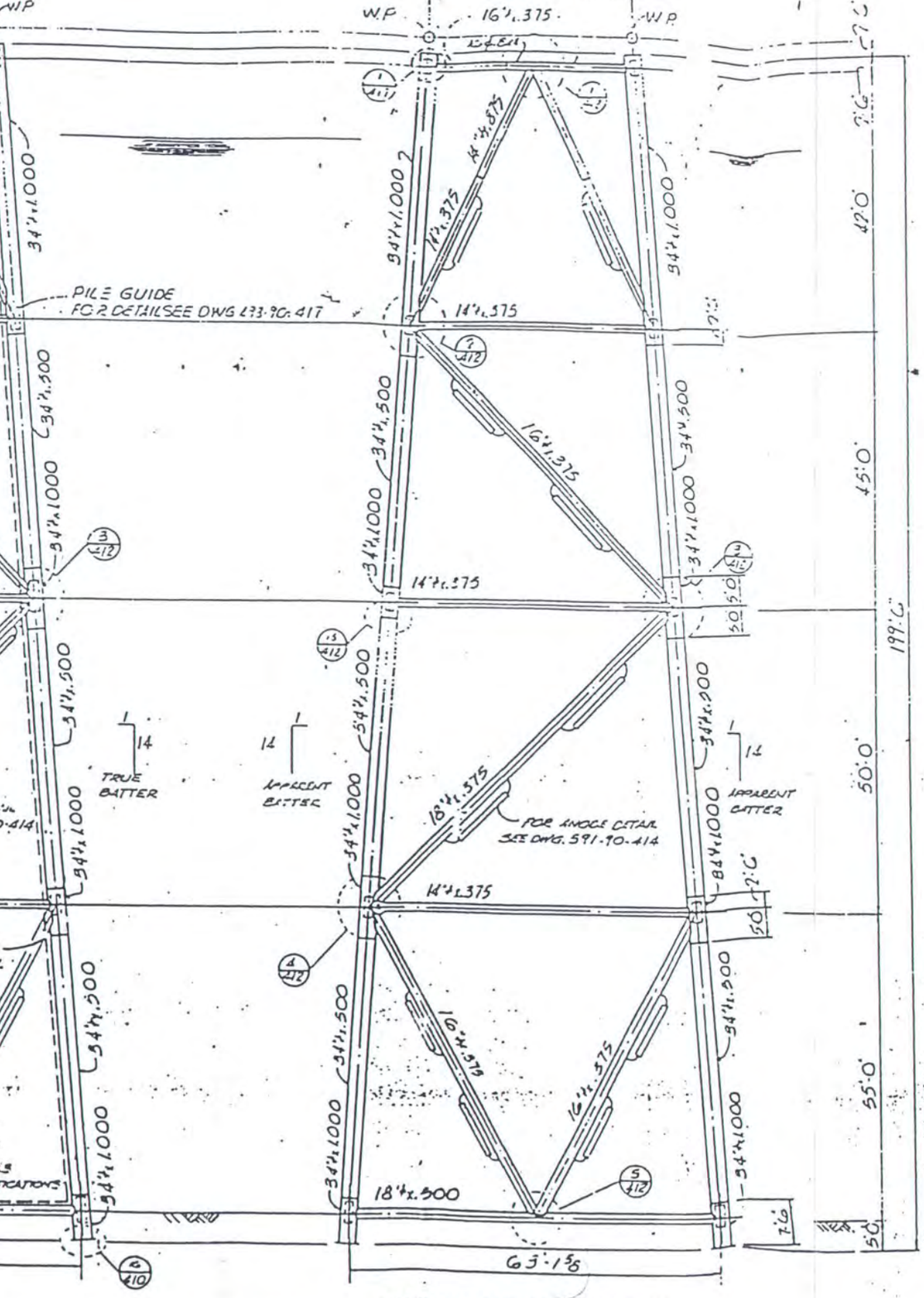
LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	176158.7	0.000 FR	-162052.0	0.000 FR

--- MEMBER 68 ---

/---------- STRESS ----------/

LOADING	MAX NORMAL	AT SECTION	MIN NORMAL	AT SECTION
Load 1	129364.6	1.000 FR	-143589.2	1.000 FR


ELEVATION @ COLUMN ROW A
ELEVATION @ COLUMN ROW B
PILE GUIDE
FOR DETAILS SEE DWG 133-90-417
TRUE BATTER
APPARENT BATTER
ZINC REFERENCE CELL
SEE SPECIFICATIONS
FOR ANGLE CLIP SEE DWG 591-90-414
55'-0"
50'-0"
45'-0"
42'-0"
199'-6"

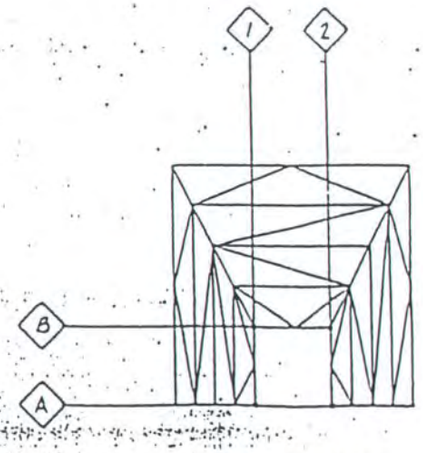


ELEVATION @ COLUMN ROW B

2-9160

NOTE:

1. GRIND LONGITUDINAL WELD SEAM SMOOTH INSIDE TOP OF ALL 34 ⌀ LEGS A DISTANCE OF 2'-0 FROM END.
2. ELEVATIONS ARE REFERENCED FROM MEAN LOW WATER SURFACE (M.L.W.S.).
3. WELDING DETAILS FOR TUBULAR JOINTS TO BE IN ACCORDANCE TO DWG. 591-90-412



KEY PLAN

JACKET
ELEVATIONS AT ROW A & ROW B

POLENG FIELD - REMOTE WELL PLATFORM "B"

JAVA SEA

INDONESIA-CITIES SERVICE, INC.

CREST OFFSHORE, INC.

TULSA, OKLAHOMA
U. S. A.

591-90-40

401