

**TUGAS AKHIR  
( KP 1701 )**

**ANALISIS PENGARUH PEMBERIAN POTENSIAL  
PERLINDUNGAN KATODIK PADA KEKUATAN  
TARIK BAJA SS-41**



PERPUSTAKAAN I T S	
Tgl. Terima	10 - 8 - 2000
Terima Dari	H
No. Agenda Frp.	21.1730

RSPe  
620.11223  
Set  
a-1  

---

2000

**OLEH :**

**BAMBANG SETIAWAN**

**NRP. 4193 100 011**

**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2000**





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

Kampus ITS - Sukolilo, Surabaya 60111 Telp. 5047254, 5004251-5 Pes. 1173 - 1176 Fax 5047254

**SURAT KEPUTUSAN TUGAS AKHIR**

**No. : 65 a / K03.4.2/PP/2000**

Nama Mahasiswa : Bambang Setiawan  
Nomor Pokok : 4193100011  
Tanggal diberi tugas : 01 Pebruari 2000  
Tanggal selesai tugas : 31 Juli 2000  
Dosen Pembimbing : 1. Wing Hendro Prasetyo Akbar Putera, ST, M.Eng  
2. Ir. Andjar Suharto

Uraian / judul tugas akhir yang diberikan :

#ANALISA PENGARUH PEMBERIAN POTENSIAL PERLINDUNGAN KATODIK PADA  
KEKUATAN TARIK BAJA SS.41#

Surabaya, 28 Pebruari 2000

Jurusan Teknik Perkapalan



Tembusan :

1. Yth. Dekan FTK-ITS
2. Yth. Dosen Pembimbing
3. Arsip

Dr. DJAIHAR MANFAAT, MSc, Ph.D.  
Telp. 51 651 444.

**“ Maka sesungguhnya tiap ada kesulitan pasti akan diikuti oleh kelapangan, kemudahan dan keringanan. Sesungguhnya tiap ada kesukaran pasti akan ada jalan keluar daripadanya. Apabila seseorang bersifat sabar dan tawakal benar benar menyerah kepada Allah. Maka jika kau telah selesai melakukan tugas beramal maka tegaklah menghadap Tuhanmu dan sholat yang menjadi hiburanmu. Dan tetaplah berharap kepada rahmat Allah “ (Alam Nasyrah : 5-8)**

*“Aku persembahkan tugas akhir ini kepada :  
Ibunda, Mbak End dan Mas Farid tercinta,  
untuk semua perhatian & dukungan  
yang telah aku dapatkan  
selama ini”*



**“ Tuhanlah yang telah menjadikan kapal-kapal berlayar mengarungi samudera, agar kamu dapat mencari karunia-Nya. Sesungguhnya Dia penyayang kepadamu. Dan jika kamu sedang menghadapi bahaya di lautan, sia-sialah segala yang kau sembah sebelumnya; kecuali Allah”**

**(Q.S Al-Isra' : 66-67)**

**KATA PENGANTAR**

## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrahim.*

*Alhamdulillahirrabbi alamin*, puji syukur penulis kehadirat Allah SWT atas karunia dan inayah-Nya yang sangat besar sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan judul:

### **ANALISA PENGARUH PEMBERIAN POTENSIAL PERLINDUNGAN KATODIK PADA KEKUATAN TARIK BAJA SS-41**

Laporan tugas akhir ini penulis lakukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penyelesaian tugas akhir ini, yang tentunya tidak bisa kami sebutkan satu persatu. Terima kasih khusus penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS.
2. Bapak Wing Hendro Prasetyo A.P, ST, M.Eng, selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Almarhum Bapak Ir. Andjar Soeharto, selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

4. Bapak Ir. P. Eko Panunggal, Ph.D, selaku Dosen Wali dan para Dosen serta Karyawan Teknik Perkapalan ITS lainnya yang telah banyak memberikan bantuan dan dorongan selama penulis menimba ilmu di ITS.
5. Bapak Hardiman yang telah membantu membuat material uji.
6. Bapak Mudjito yang telah memberikan bantuan, bimbingan dan arahan dalam pelaksanaan uji tarik
7. Mas Fendi dan Mas Slamet yang banyak memberikan bantuan kepada penulis selama melakukan penelitian di laboratorium D-3 Teknik Kimia.
8. Ibu dan Kakak yang telah memberi perhatian dan dukungan selama ini.
9. Keluarga Bapak Suhandrianto yang telah memberi dukungan, khususnya Maya.
10. Teman-teman seperjuangan di Teknik Perkapalan ITS, Ulum, Fauzi, Rian, Ali Singo, Wiyarto, Riyanto dan rekan rekan P33, Gede, Wahyu, Iwan, Fiko dan rekan-rekan P34, dan komunitas lantai 4 lainnya atas bantuan dan kebersamaannya.

Tugas akhir ini tentunya masih jauh dari sempurna, namun penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan manfaat kepada penulis khususnya dan kepada teman-teman semuanya.

Surabaya, 25 Juli 2000

Penulis

**“ Dialah yang telah mengatur lautan, supaya dapat kamu makan daging ikannya yang segar, dan kamu ambil mutiara-mutiaranya guna kamu pakai. Kau lihat kapal-kapal terapung berlayar hilir mudik menyibak permukaan air, agar kamu bisa mencari karunia Tuhan dan supaya kamu bersyukur kepada-Nya “ (Q.S An-Nahl : 14)**

**ABSTRAK**

## ABSTRAK

Baja SS-41 adalah material yang biasa digunakan pada struktur bangunan lepas pantai yang tidak dicat. Struktur-struktur tersebut dilindungi dari korosi dengan perlindungan katodik, yaitu menggunakan sistem anoda tumbal atau sistem arus terpasang. Selama masa penggunaannya baja mengalami kerusakan karena hidrogen yang dihasilkan dari reaksi korosi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pemberian potensial perlindungan katodik yang terlalu negatif pada sifat-sifat mekanis baja. Spesimen uji tarik dibuat dari material dasar baja SS-41. Material uji tarik dialiri potensial perlindungan sebesar : -850 mV SSC, -900 mV SSC, -950 mV SSC, dan -1000 mV SSC, setelah itu dilaksanakan pengujian.

Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa terjadi penurunan yang berarti pada *elongation* (14,29%) dan *reduction of area* (11,13%). Sedangkan penurunan tegangan *yield* dan tegangan *ultimate* terlalu kecil dan tidak berarti (masing-masing 7,33% dan 3,3%).



## ABSTRACT

*Structural steel SS-41 is the most common material to be used in uncoated offshore structures. Such structures should be protected from corrosion by cathodic protection, either sacrificial anodes cathodic protection or impressed current cathodic protection. During its life time, the steel may suffered from hydrogen damage due to corrosion reaction. Experiments were carried out to know the effect of cathodic overprotection to mechanical properties of the steel. Some tensile specimen were fabricated for the purpose. The specimens were impressed by -850 mV SSC, -900 mV SSC, -950 mV SSC, and -1000 mV SSC for a couple of days and were tested.*

*It was apparent that there were significant decrease in elongation (14,29%) and reduction of area (11,13%), while decreasing in yield strength and ultimate strength were not significant (7,33% and 3,3% respectively).*

**“ Tuhan menganugerahkan hikmah kebijaksanaan kepada orang yang dikehendaki-Nya. Dan barang siapa yang mendapat anugerah hikmah kebijaksanaan itu, berarti telah mendapat keberuntungan yang besar. Tetapi tidak ada yang dapat mengambil pelajaran, kecuali orang-orang yang berfikir “ (Q.S Al-Baqarah : 269)**

## **DAFTAR ISI**

## DAFTAR ISI

Kata Pengantar .....	i
Abstrak .....	iii
Daftar Isi .....	v
Daftar Gambar .....	vii
Daftar Tabel .....	ix
<b>BAB I      PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
I.1    Latar Belakang Penelitian .....	2
I.2    Perumusan Masalah .....	2
I.3    Tujuan Penelitian .....	3
I.4    Manfaat Penelitian .....	3
I.5    Batasan Masalah .....	3
I.6    Metodologi .....	4
<b>BAB II     TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
II.1    Pendahuluan .....	5
II.2    Faktor Penyebab Terjadinya Korosi .....	6
II.3    Jenis-Jenis Korosi .....	12
II.4    Pengendalian Korosi .....	15
II.5    Potensial Perlindungan Katodik .....	17
II.6    Pengujian Tarik .....	21

<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>24</b>
III.1	Pembuatan Material Uji .....	24
III.2	Pengujian Elektrokimia Sel-Tiga Elektroda .....	25
III.3	Pengujian Tarik .....	28
<b>BAB IV</b>	<b>ANALISIS DATA .....</b>	<b>33</b>
IV.1	Hasil Pengujian Tarik .....	33
IV.2	Analisis Data .....	34
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP .....</b>	<b>43</b>
V.1	Kesimpulan .....	43
V.2	Saran .....	43

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

**“ Dia Maha Mengetahui apa yang sedang maupun sudah dikerjakan oleh mereka. Sedikitpun mereka (manusia) tidak dapat menyingkap suatu pengetahuan Allah secara menyeluruh, kecuali dengan kehendak-Nya. Kursi Allah (ilmu-Nya) itu meliputi seluruh jagad semesta alam langit dan alam bumi “ (Q.S Al-Baqarah : 255)**

**DAFTAR GAMBAR**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Hubungan antara kedalaman dengan temperatur, kandungan oksigen, pH dan salinitas .....	8
Gambar 2.2	Hubungan antara kandungan oksigen dan laju korosi dengan kedalaman air laut .....	9
Gambar 2.3	Hubungan antara salinitas dengan laju korosi dari mild steel .....	10
Gambar 2.4	Pengaruh temperatur terhadap korosi besi dalam air laut .....	10
Gambar 2.5	Pengaruh kecepatan aliran air laut terhadap laju korosi besi .....	11
Gambar 2.6	Variasi potensial katodik terhadap kerapatan arus untuk baja dalam air laut serta hubungannya dengan laju korosi yang diukur dari berat yang hilang .....	18
Gambar 2.7	Diagram skematik difusi atom hidrogen kedalam logam .....	20
Gambar 2.8	Bentuk material uji .....	21
Gambar 3.1	Rangkaian alat uji sel-tiga elektroda .....	27
Gambar 3.2	Hubungan antara waktu dengan perbandingan	

	hidrogen masuk dan ruang kosong .....	28
Gambar 4.1	Hubungan antara potensial yang dialirkan dengan $\sigma_y$ .....	36
Gambar 4.2	Hubungan antara potensial yang dialirkan dengan $\sigma_u$ .....	37
Gambar 4.3	Hubungan antara potensial yang dialirkan dengan <i>elongation</i> .....	38
Gambar 4.4	Hubungan antara potensial yang dialirkan dengan <i>reduction of area</i> .....	40

**“ Apa kau tidak lihat perahu-perahu yang berlayar dilautan dengan rahmat Allah, agar bisa kamu saksikan daripada pertanda-pertanda-Nya. Dalam hal ini menjadi pertanda buat orang-orang yang sabar dan bersyukur “ (Q.S Luqman : 31)**

## **DAFTAR TABEL**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi senyawa kimia dalam air laut (g/kg) .....	8
Tabel 2.2	Keterangan gambar dan ukuran material uji .....	21
Tabel 3.1	Dimensi terukur material uji .....	25
Tabel 4.1	Data hasil pengujian tarik .....	33
Tabel 4.2	Hasil pengolahan data uji tarik .....	35
Tabel 4.3	Persentase penurunan $\sigma_y$ dan $\sigma_u$ .....	41
Tabel 4.4	Persentase penurunan $\epsilon$ dan $R_A$ .....	41

**“Niscaya Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat.”  
(Q.S Al-Mujaadilah : 11)**

## **BAB I PENDAHULUAN**

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

Pembangunan di Indonesia dilaksanakan untuk mencapai tujuan nasional yaitu pembangunan Indonesia seutuhnya yang menyangkut semua aspek di segala bidang. Indonesia memiliki sumber daya alam yang begitu besar, maka pelaksanaan pembangunan dititikberatkan pada bidang yang berpotensi sehingga dapat mendukung pembangunan lainnya agar tujuan pembangunan dapat tercapai secara maksimal.

Indonesia dengan dua pertiga wilayahnya adalah perairan mengembangkan pembangunan kelautan yang didayagunakan dan dimanfaatkan untuk kesejahteraan rakyat. Laut berperan sebagai sumber pemenuhan kebutuhan pangan, sumber energi, media kegiatan industri, dan media transportasi. Sebagai media transportasi laut digunakan untuk meningkatkan kegiatan perekonomian dan penjagaan pertahanan keamanan bangsa.

Laut sebagai media transportasi untuk memperlancar perekonomian, sehingga diperlukan sebuah alat transportasi (kapal) untuk mendukung hal tersebut. Kapal pada umumnya terbuat dari baja, dan baja merupakan logam yang bagaimanapun akan mengalami korosi bila berada pada media korosif air laut. Untuk mengurangi terjadinya korosi tersebut dilakukan perlindungan pada logam, salah satunya adalah perlindungan katodik.

## I.1 LATAR BELAKANG PENELITIAN

Korosi diartikan sebagai kerusakan, keausan atau penurunan mutu logam atau material yang diakibatkan oleh terjadinya reaksi elektrokimia dengan lingkungan yang didukung oleh faktor-faktor tertentu [Trethewey dan Chamberlain, 1988]. Peristiwa korosi dapat terjadi pada besi maupun logam jenis lainnya. Korosi yang terjadi akan dapat menimbulkan kerusakan dan mengakibatkan kerugian baik secara ekonomis maupun keselamatan. Karena itu dibutuhkan suatu cara untuk memperlambat laju korosi. Salah satu cara untuk mengurangi laju korosi dari suatu bahan atau material adalah dengan pemberian potensial negatif atau biasa disebut perlindungan katodik. Semakin besar potensial negatif yang diberikan pada logam akan memperlambat laju korosi pada logam tersebut. Namun disisi lain pemberian potensial negatif yang terlalu besar dapat menyebabkan terjadinya pembentukan atom-atom tunggal hidrogen yang akan berakibat pada terjadinya perapuhan hidrogen (*hidrogen embrittlement*).

## I.2 PERUMUSAN MASALAH

Permasalahan dalam tugas akhir ini adalah pemberian potensial perlindungan katodik yang semakin negatif akan memperlambat laju korosi, namun disisi lain dapat menyebabkan masuknya atom-atom tunggal hidrogen kedalam logam yang mengakibatkan penggetasan logam.

### **I.3 TUJUAN PENELITIAN**

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh potensial perlindungan katodik yang terlalu negatif terhadap kekuatan tarik baja SS-41.
2. Untuk memperoleh perbandingan data kekuatan tarik antara baja SS-41 yang diberi perlindungan katodik secara bertingkat (potensial yang semakin negatif).

### **I.4 MANFAAT PENELITIAN**

Manfaat yang diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai bahan referensi dalam pembangunan konstruksi, semisal : bangunan kapal dan bangunan lepas pantai, yang menggunakan baja SS-41 sebagai material dasarnya dan perlindungan katodik sebagai upaya untuk memperlambat proses laju korosi.

### **I.5 BATASAN MASALAH**

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Baja yang digunakan adalah baja SS-41 yang tidak dicoating.
2. Pengaruh suhu dan aliran air diabaikan.
3. Salinitas air yang dipakai dalam pengujian adalah 30.
4. Perubahan struktur kristal logam dan jarak antar elektroda tidak dibahas secara mendalam.

## I.6 METODOLOGI

Urutan pengerjaan yang dilakukan dalam melaksanakan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur

Penulisan tugas akhir ini didasarkan literatur-literatur yang mendukung dan punya relevansi dan korelasi dengan permasalahan yang ada.

2. Pengujian elektrokimia sel-tiga elektrode.

Pengujian ini dilakukan untuk memodelkan pengaruh pemberian potensial perlindungan katodik pada baja SS-41 serta absorpsi atom-atom tunggal hidrogen kedalam material tersebut.

3. Pengujian tarik.

Pengujian ini dilaksanakan untuk mengetahui kekuatan tarik baja SS-41 yang telah dialiri arus perlindungan dalam pengujian elektrokimia sel-tiga elektrode dan pengaruh difusi hidrogen pada logam.

**“Minta tolonglah dengan sabar dan sholat. Dan sesungguhnya yang demikian itu sungguh berat, kecuali bagi orang-orang yang khusyu’. (yaitu) orang-orang yang menyakini, bahwa mereka akan kembali kepada-Nya.” (Q.S Al-Baqarah : 45-46)**

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1 PENDAHULUAN

Secara umum korosi diartikan sebagai suatu proses kerusakan atau keausan material akibat terjadinya reaksi dengan lingkungan. Lingkungan yang menyebabkan kerusakan pada material disebut lingkungan korosif yang terbagi dalam beberapa bagian [Fontana, 1986]:

1. Lingkungan udara beruap air dan air yang mengandung mineral.
2. Polutan industri yang terdiri dari uap air, gas-gas seperti amoniak, hidrogen sulfida, klorin, asam-asam organik.
3. Minyak.
4. Lingkungan bersuhu tinggi.

Korosi terjadi akibat adanya reaksi reduksi-oksidasi (redoks) antara material dengan lingkungannya sebagai contoh adalah proses korosi pada baja dalam atmosfer atau yang tercelup dalam air. Terjadinya korosi pada baja yang dicelupkan dalam air laut dikarenakan atom-atom logam mengalami pelepasan elektron sehingga terbentuk ion logam.



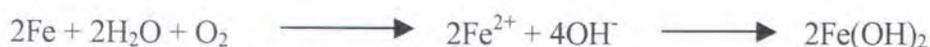
Reaksi ini dinamakan reaksi anodik atau oksidasi. Sedangkan apabila baja tersebut berada pada udara terbuka yang mengandung uap air maka udara dengan air akan mengalami reaksi katodik yang disebut reduksi oksigen seperti dibawah ini:



Dalam larutan asam, reaksi reduksinya adalah evolusi hidrogen:



Pada baja-baja yang tercelup dalam air laut, ion-ion  $\text{Cl}^-$  dan  $\text{Na}^+$  tidak ikut bereaksi, sebagai hasil adalah penggabungan antara reaksi anodik dan katodik sebagai berikut:



Senyawa hasil reaksi diatas disebut senyawa karat atau garam ferro. Kondisi ini menurut teori kimia tidak akan stabil jika terus menerus berada di udara terbuka atau di air laut. Senyawa ini akan bereaksi lebih lanjut membentuk garam ferrit yaitu:



Dari reaksi diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa jika baja mengalami korosi maka akan berlanjut hingga habis.

## II.2 FAKTOR PENYEBAB TERJADINYA KOROSI

Setiap logam maupun paduannya bila tercampur dan bereaksi dalam suatu lingkungan korosif akan mengalami korosi. Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya korosi pada logam-logam atau paduannya adalah sebagai berikut:

### 1. Struktur material

Homogenitas struktur suatu material ditentukan oleh susunan kimia, perlakuan panas dan perlakuan mekanis dari material. Bila struktur mikro material tersebut kurang atau tidak homogen, akan terjadi apa yang



dinamakan dengan sel korosi mikro galvanis. Pekerjaan mekanis dapat menyebabkan butiran dalam material mengalami perubahan bentuk dan susunannya, sehingga apabila logam berada dalam larutan elektrolit akan terjadi aliran listrik karena sebagian kristal akan menjadi katoda bagi kristal lainnya.

2. Deformasi plastis dan elastis.

Hampir semua logam dalam pembuatannya terdeformasi, akibatnya permukaan logam mempunyai struktur yang sifatnya berbeda. Adanya struktur kristal permukaan yang berbeda menyebabkan pengkaratan.

3. Bentuk permukaan logam.

Permukaan logam mempunyai struktur tersendiri mengenai keaktifannya membentuk lapisan oksida logam yang fungsinya menghambat pengkaratan.

4. Pengaruh beda potensial.

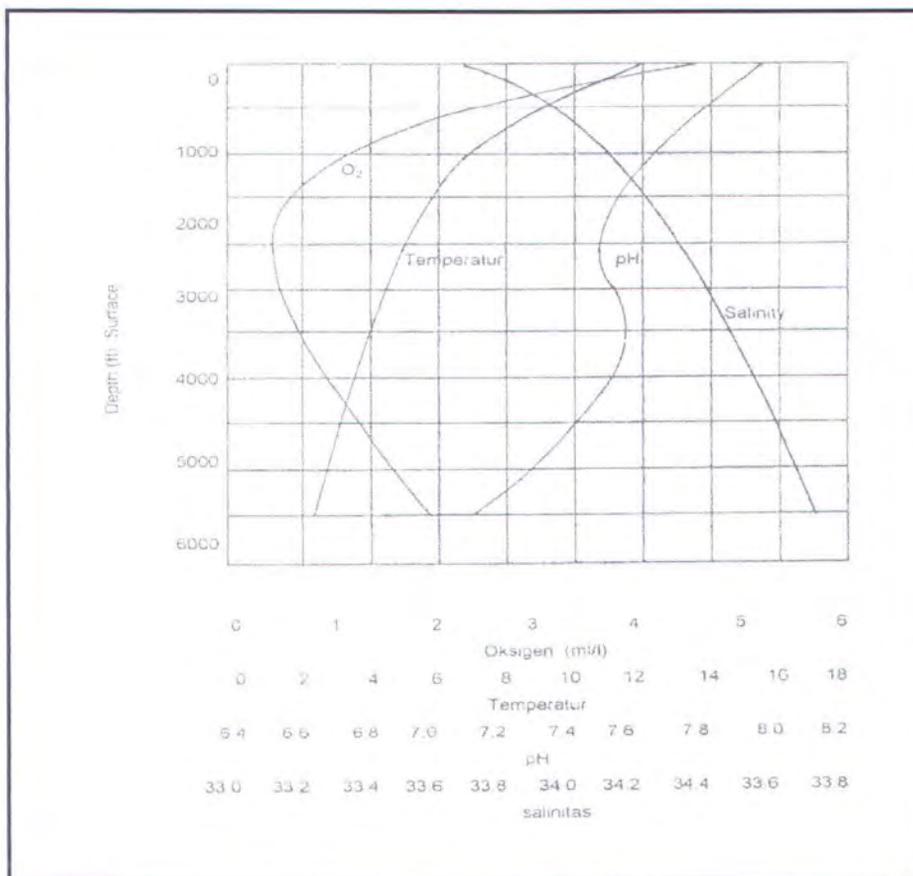
Dua logam yang mempunyai beda potensial tidak sama bila digabungkan dan dimasukkan kedalam larutan elektrolit akan terjadi pengkaratan.

5. Komposisi air laut.

Air laut merupakan campuran senyawa kimia dan masing-masing senyawa memiliki sifat yang berbeda-beda secara sistematis. Akibat dari sifat-sifat itu akan menyebabkan terjadinya korosi dari beberapa logam yang tercelup kedalam air laut. Di bawah ini adalah senyawa-senyawa yang terdapat dalam air laut menurut tabel 2.1 [K. A Chandler, 1985].

SENYAWA	g/kg
Sodium	12,77
Magnesium	1,30
Kalsium	0,409
Potassium	0,338
Strontium	0,010
Chloride	19,37
Sulfat (SO <sub>4</sub> )	2,71
Brom	0,065
Boric acid (H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> )	0,026
<b>Total salts</b>	<b>35,1</b>

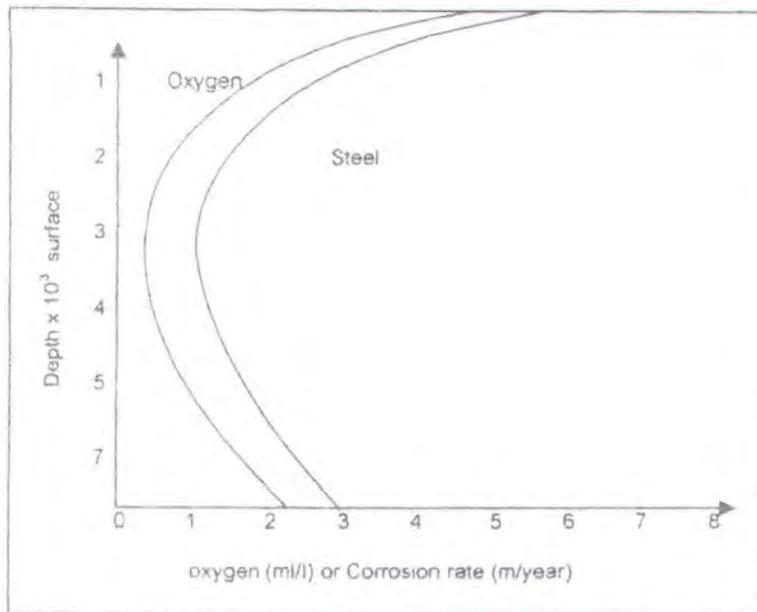
Tabel 2.1. Komposisi senyawa kimia dalam air laut (g/kg)



Gambar 2.1. Hubungan antara kedalaman dengan temperatur, kandungan oksigen, pH dan salinitas menurut F. L. L Laboratory at Harbor Island, North Carolina [Francis I. Laque, 1975].

#### 6. Pengaruh oksigen.

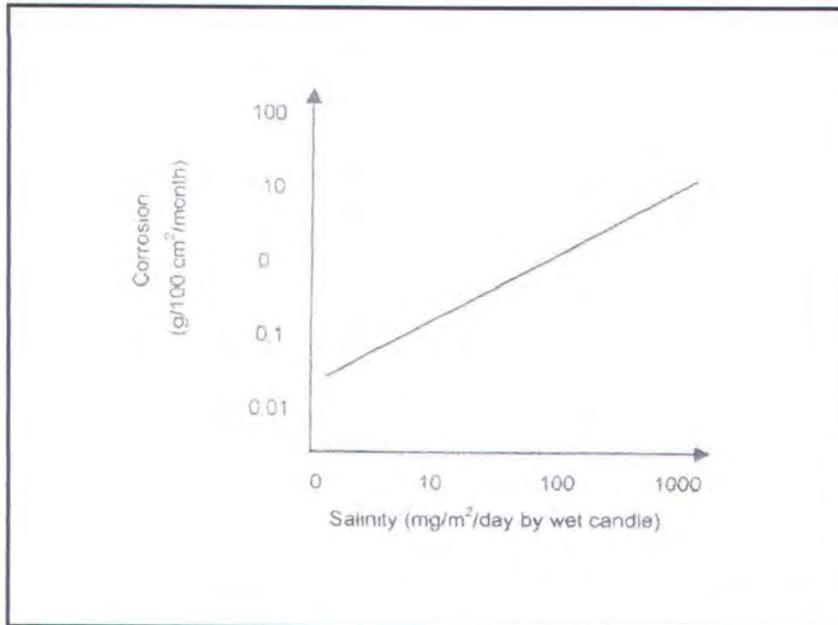
Kandungan oksigen maksimum pada tekanan 1 atm temperatur  $25^{\circ}\text{C}$  adalah  $10\text{ mg O}_2/\text{l}$ . Oksigen pada proses korosi dapat membentuk lapisan pelindung oksida pada permukaan logam yang menimbulkan sifat pasivitas pada logam tersebut.



Gambar 2.2. Hubungan antara kandungan oksigen dan laju korosi dari besi dengan kedalaman air laut. [Francis I. Laque, 1975].

#### 7. Salinitas.

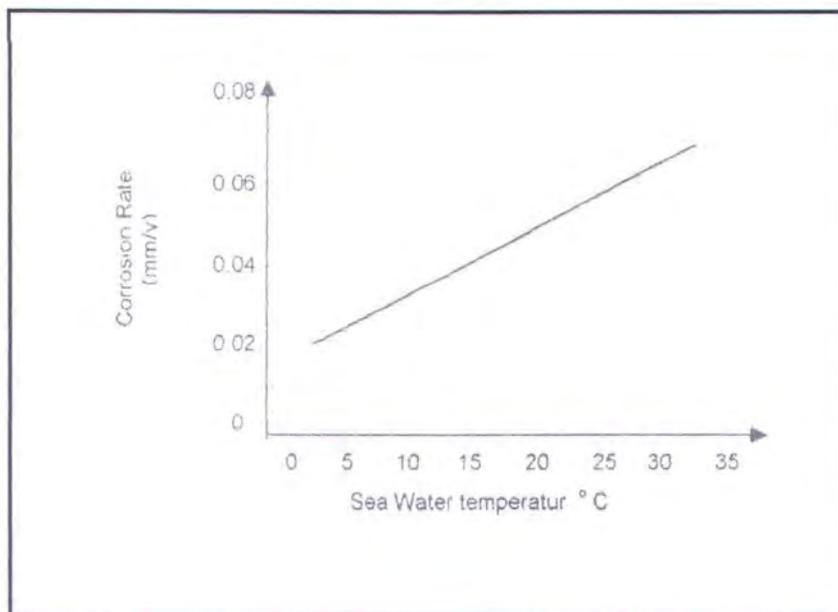
Total kandungan garam yang terdapat dalam air laut disebut salinitas yang didefinisikan sebagai banyaknya kadar garam dalam gram per liter. Untuk berbagai wilayah perairan dunia salinitas berkisar antara 32 sampai 38, sedang perairan Indonesia berkisar antara 30 sampai 35. Salinitas sangat berpengaruh terhadap laju korosi, semakin tinggi salinitas maka semakin cepat laju korosi seperti tampak dalam gambar 2.3 [Francis I. Laque, 1975].



Gambar 2.3. Hubungan antara salinitas dengan laju korosi dari mild steel.

#### 8. Temperatur.

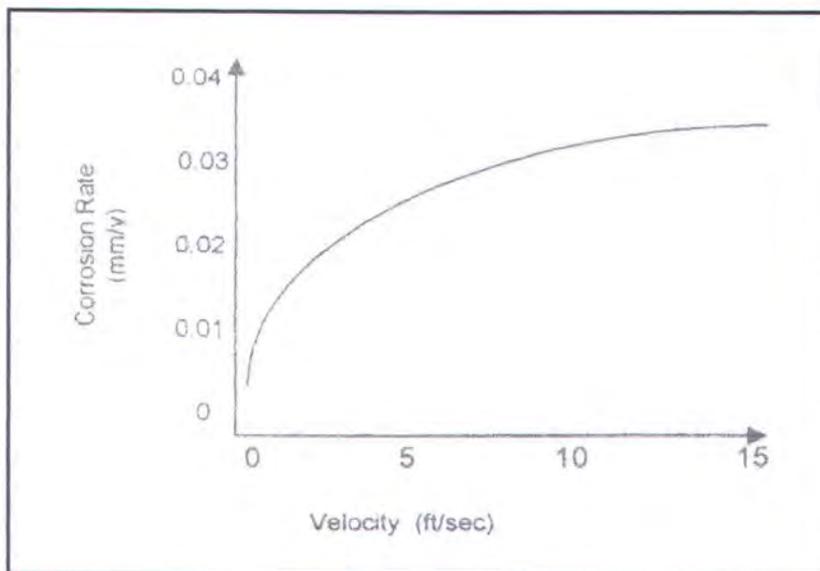
Semakin tinggi temperatur maka laju korosi akan semakin cepat, seperti tampak dalam gambar 2.4 [Francis I. Laque, 1975].



Gambar 2.4. Pengaruh temperatur terhadap korosi besi dalam air laut.

## 9. Kecepatan

Kecepatan gerakan air laut sangat berpengaruh terhadap laju korosi logam, hal ini sebagai akibat pengaruh pertambahan reaksi oksigen di permukaan logam. Semakin tinggi kecepatan aliran, maka laju korosi semakin cepat. Hal ini ditunjukkan dalam gambar 2.5 [Francis I. Laque, 1975].



Gambar 2.5. Pengaruh kecepatan aliran air laut terhadap laju korosi besi.

## 10. Unsur-unsur halogen.

Unsur Cl, Br dan I dalam suatu media korosi akan menyebabkan rusaknya pasivitas suatu material atau ketahanan pengkaratan akan hilang. Dengan adanya hasil reaksi antara logam dengan unsur-unsur halogen tersebut, akan mempercepat terjadinya korosi.

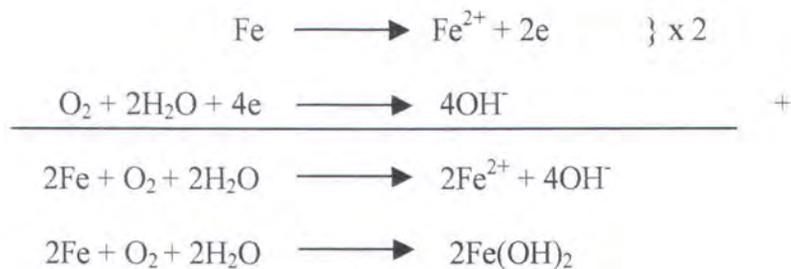
### II.3 JENIS-JENIS KOROSI

Jenis-jenis korosi bisa bermacam-macam yang tergantung dari banyak faktor seperti jenis material, kondisi lingkungan, proses pembentukan atau fabrikasi material dan sebagainya. Untuk mempermudah membedakan macam korosi yang terjadi, berikut ini diklasifikasikan secara garis besar jenis-jenis korosi:

#### 1. Korosi homogen (*uniform corrosion*)

Jenis korosi yang sering dan umum terjadi pada konstruksi logam. Korosi jenis ini mengakibatkan pengkaratan pada seluruh bagian material yang terekspose dalam atmosfer. Korosi homogen biasanya mudah diprediksi dan diukur, dimana berkurangnya ketebalan logam merupakan fungsi waktu.

Misal: baja yang terekspose dalam atmosfer yang lembab.



Proses korosi logam besi dalam air menghasilkan karat besi  $2\text{Fe}(\text{OH})_2$  yang berwarna coklat dan menyebabkan menipisnya permukaan besi.

#### 2. Korosi galvanis (*galvanic corrosion*)

Terjadi karena adanya perbedaan potensial antara dua logam atau lebih yang digabungkan dalam suatu elektrolit. Logam yang mempunyai potensial rendah atau tahanan korosi rendah akan terkikis, dan yang potensialnya lebih tinggi atau tahanan korosinya tinggi mengalami

penurunan tahanan korosinya. Logam yang tahanan korosinya kecil disebut anodik dan menjadi logam aktif, sebaliknya logam yang tahanan korosinya tinggi bersifat katodik dan menjadi logam pasif. Proses korosi diawali dengan mengalirnya elektron diantara dua logam. Semakin besar beda potensial antara dua logam dalam larutan elektrolit akan semakin cepat pula aliran elektron yang terjadi dan laju korosi akan semakin cepat.

3. Korosi lubang (*pitting corrosion*)

Merupakan bentuk pengkaratan yang terpusat pada satu titik dengan kedalaman tertentu. Serangan yang kecil dan dalam akan sulit untuk dideteksi. Banyak logam yang terkorosi relatif kecil dibanding berat logam seluruhnya. Proses korosi berjalan cepat dan bentuk mengarah ke arah gravitasi.

4. Korosi celah (*crevice corrosion*)

Sering menyerang pada celah dan permukaan tertutup lainnya dari suatu logam yang terletak dalam media korosif. Perusakan korosi selalu dalam skala kecil dari larutan yang terperangkap lewat lubang, kotoran permukaan logam, baut atau kepala keling dan celah dibawah mur. Korosi ini disebut juga korosi deposit atau *gasket corrosion*, dan merupakan korosi lokal dengan serangan hebat dan sulit terdeteksi karena tidak tampak dari luar. Celah logam pada media korosi bersifat anodik akan terkena korosi, sedangkan bagian logam lainnya bertindak sebagai katodanya.

5. Korosi tegangan (*stress corrosion*)

Korosi ini muncul saat material mendapat perlakuan pembentukan baik *cutting* maupun *bending*. Karena perlakuan tersebut maka akan muncul perbedaan tegangan yang mengakibatkan terjadinya aliran elektron dalam material dan menyebabkan terjadinya korosi pada bagian material yang mendapat perlakuan *cutting* dan *bending* tersebut.

6. Korosi lelah (*fatigue corrosion*)

Terjadi pada tegangan dibawah *yield point* akibat adanya pembebanan *cyclic*. Retak merambat sampai luas penampang melintang dari logam berkurang sampai pada suatu titik dimana *ultimate strength* dilalui hingga *brittle fracture* terjadi secara cepat. Korosi ini didefinisikan sebagai penurunan ketahanan *fatigue* akibat adanya media yang bersifat korosif.

7. Korosi batas butir (*intergranular corrosion*)

Terjadi pada daerah batas butir (*grain boundary*) akibat adanya kekosongan unsur atau elemen pada kristal logam setelah mengalami proses pembentukan. Korosi ini sulit diamati dengan mata telanjang karena tidak terjadi di permukaan logam melainkan pada butiran kristal. Terkadang tanpa ada perubahan pada kristalnya baik secara kuantitatif maupun geometri. Serangan pada butir atau batas butir menyebabkan perubahan susunan kristal logam yang berakibat renggangnya ikatan antara kristal. Hal ini akan mempengaruhi sifat ketangguhan (*toughness*) atau kekerasan (*hardness*) material.

#### 8. Korosi erosi

Disebabkan karena adanya gerakan relatif antara fluida korosif dengan permukaan logam. Korosi ini mengakibatkan terkikisnya lapisan film pada permukaan logam yang berfungsi sebagai pelindung logam dari serangan korosi. Penambahan kecepatan gerakan relatif antara logam dengan media korosif mengakibatkan bertambahnya pengikisan lapisan pelindung logam.

#### 9. Korosi biologi

Diakibatkan secara langsung maupun tidak langsung dari aktifitas organisme hidup seperti ganggang atau bakteri. Aktifitas organisme hidup menimbulkan korosi dengan cara mempengaruhi secara langsung terhadap reaksi anodik dan katodik, lapisan pelindung dan menciptakan kondisi korosif.

### II.4 PENGENDALIAN KOROSI

Proses korosi tidak dapat dihilangkan, namun hanya dapat dikendalikan sehingga umur dari struktur atau komponen menjadi lebih lama. Setiap komponen mengalami tiga tahapan utama dalam suatu pembentukan struktur yaitu perancangan, pembuatan dan pemakaian. Pengendalian korosi memainkan peranan penting dalam tiap tahapan tadi, ketidakberhasilan salah satu dari aspek-aspek pengendalian korosi ini bisa menyebabkan komponen mengalami kegagalan prematur.



Pengendalian bisa dilakukan dengan berbagai cara tetapi yang paling utama dilakukan dalam usaha pengendalian korosi adalah [Trethewey dan Chamberlain, 1991]:

- Modifikasi disain
- Modifikasi lingkungan
- Pemberian lapisan pelindung
- Pemilihan bahan
- Perlindungan katodik atau anodik

Untuk proses pengendalian korosi yang terjadi pada bangunan kapal, khususnya dibawah garis air, sering dilakukan dengan cara:

- Pemberian lapisan pelindung (*Coating*)

Pemberian lapisan pelindung pada permukaan logam berfungsi untuk memisahkan lingkungan korosif dengan logam dan mengendalikan lingkungan mikro pada permukaan logam. Cara pelapisan yang digunakan misalnya cat, selaput organik, vernis, lapisan logam dan enamel. Yang paling umum adalah pelapisan dengan menggunakan cat.

- Anoda tumbal (*sacrificial anodes*)

Pengendalian korosi dengan cara mengorbankan logam yang bersifat anodik untuk melindungi logam katoda yang merupakan bahan logam utama konstruksi. Dalam hal ini, logam yang ditumbalkan harus mempunyai potensial yang lebih rendah dari logam utama sehingga yang terkorosi adalah logam tambahan, dan logam utama terhindar dari korosi.

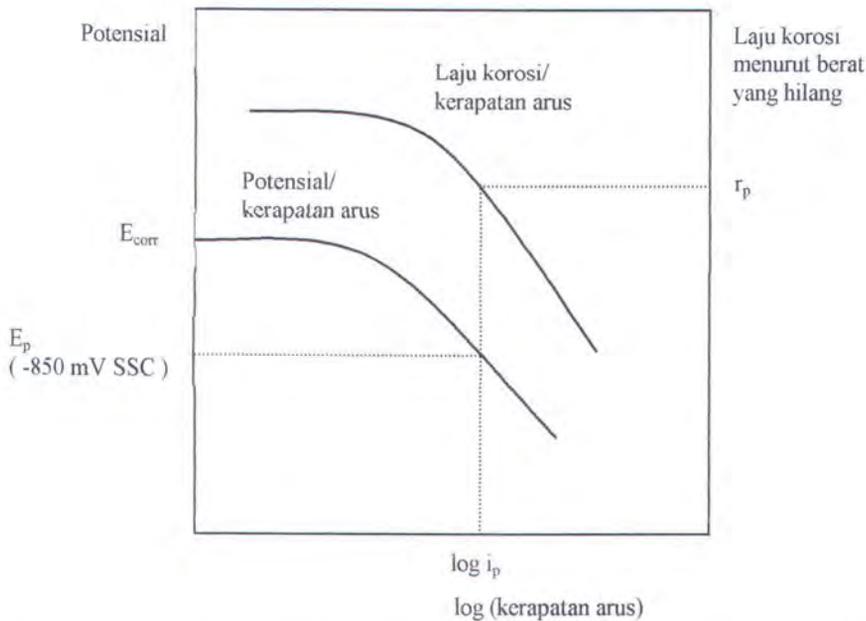
- Pemberian potensial perlindungan katodik (*impressed current*)

Pengendalian korosi ini dilakukan dengan cara memasok sejumlah arus yang dibutuhkan oleh suatu konstruksi. Anoda yang digunakan dalam sistem ini dapat berupa anoda termakan atau permanen. Logam yang mempunyai kerapatan arus tinggi apabila digunakan sebagai anoda harus dikelilingi dengan lapisan pelindung arus (*protective shields*). Lapisan pelindung ini dimaksudkan untuk menghindari terlalu tingginya kerapatan arus katoda di sekitar anoda. Pengendalian ini dilengkapi dengan transformator dan sistem pengendali untuk mengatur jumlah kebutuhan arus listrik pada konstruksi.

## II.5 POTENSIAL PERLINDUNGAN KATODIK

Suatu material akan mengalami pengkaratan bila material tersebut bertindak sebagai anoda dalam sel galvanis, sedangkan material yang bertindak sebagai katoda tidak akan mengalami pengkaratan. Dengan dasar tersebut pencegahan pengkaratan dapat dilakukan dengan cara memberikan atau mengalirkan potensial negatif pada logam. Cara pencegahan seperti ini disebut sebagai pencegahan pengkaratan dengan menggunakan perlindungan katodik (*impressed current cathodic protection*). Semakin negatif potensial yang diberikan pada material maka reaksi anodik yang terjadi akan semakin lambat namun sebaliknya reaksi katodik menjadi lebih cepat sehingga logam menjadi lebih katodik. Dengan lambatnya reaksi anodik maka laju korosi yang terjadi semakin lambat pula. Hal tersebut ditunjukkan dalam gambar 2.6:





Gambar 2.6. Variasi potensial katodik terhadap kerapatan arus untuk baja dalam air laut serta hubungannya dengan laju korosi yang diukur dari berat yang hilang [Trethewey dan Chamberlain, 1988].

Gambar tersebut memperlihatkan korosi yang dialami oleh logam semakin sedikit bila potensial dibuat lebih negatif [Trethewey dan Chamberlain, 1998].  $E_{\text{corr}}$  merupakan potensial dimana logam mengalami korosi. Pada kondisi ini kerapatan arus yang dihasilkan kecil dan laju korosi yang dihitung dari berat yang hilang besar.  $E_p -850 \text{ mV SSC}$  adalah potensial perlindungan katodik yang diberikan pada logam, dimana pada kondisi ini kerapatan arus yang terjadi menjadi lebih besar dan korosi yang dialami logam semakin sedikit.

Dengan demikian pencegahan pengkaratan pada suatu konstruksi dapat dilakukan dengan jalan membuat material konstruksi bertindak sebagai katode. Langkah yang harus dilakukan untuk memenuhi hal tersebut adalah dengan mengalirkan arus potensial negatif kepada material. Perlindungan katodik memerlukan jumlah arus yang sesuai agar dapat berfungsi dengan baik. Ada

beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya kerapatan arus, faktor-faktor tersebut adalah:

a. Luas permukaan material.

Lebih besar permukaan material yang berhubungan dengan air laut, maka semakin besar pula elektron yang harus diterima oleh permukaan material tersebut.

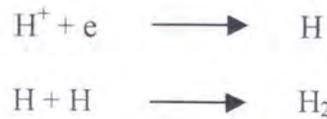
b. Kecepatan aliran.

Bertambah besarnya kecepatan aliran fluida maka akan memperbesar kepadatan arus yang diperlukan. Dengan bertambah cepatnya aliran air laut maka memungkinkan oksigen yang mencapai permukaan material semakin banyak.

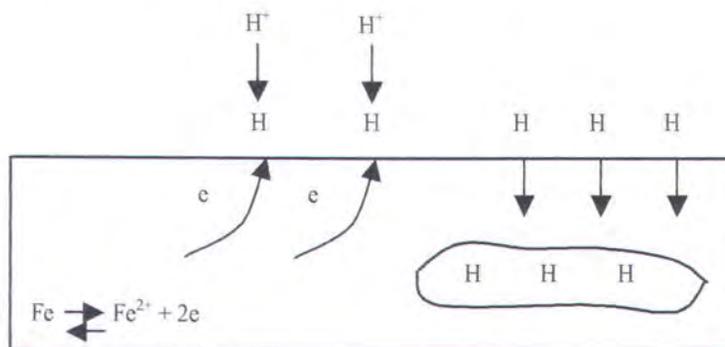
c. Temperatur air laut.

Temperatur air laut berbeda untuk daerah perairan satu dengan lainnya. Kenaikan temperatur akan menyebabkan semakin besarnya oksigen yang mencapai permukaan logam. Kenaikan oksigen ini akan menyebabkan bertambah besarnya kepadatan arus yang dibutuhkan.

Seperti yang telah disebutkan diatas bahwa reaksi anodik yaitu proses berubahnya logam menjadi ion logam menjadi lebih lambat, tetapi reaksi katodik semakin cepat bila potensial perlindungan katodik yang diberikan semakin negatif (*cathodic overprotection*). Dengan semakin cepatnya reaksi katodik ini akan mempercepat pula terjadinya evolusi hidrogen, yaitu proses pembentukan gas hidrogen:



Pada atom hidrogen hanya ada satu proton dalam intinya, sehingga atom hidrogen sangat kecil, hal tersebut menyebabkan atom hidrogen dengan cepat berpindah melalui struktur kristal logam [Jones, 1992]. Jadi, penggunaan perlindungan katodik yang semakin negatif selain mampu memperlambat proses pengkaratan juga menyebabkan terjadinya difusi atom hidrogen kedalam logam.



Gambar 2.7. Diagram skematik difusi atom hidrogen kedalam logam [Jones, 1992]

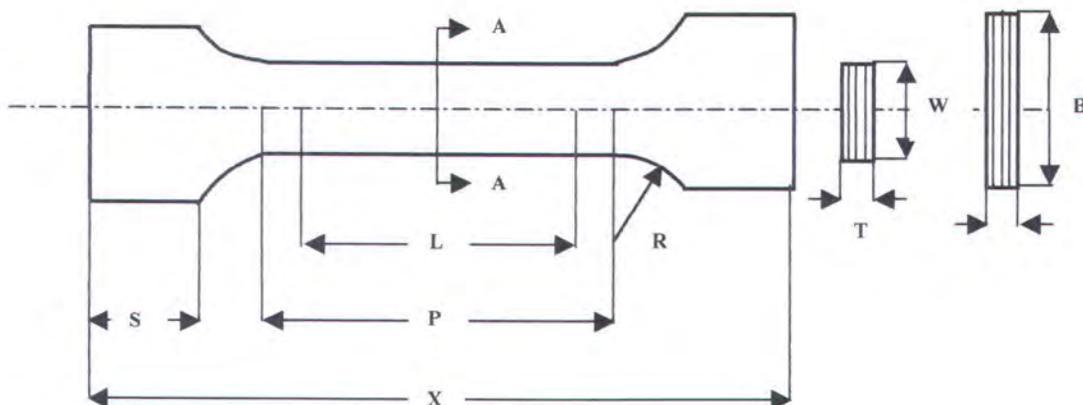
Dengan meningkatnya konsentrasi hidrogen dalam logam maka kecenderungan terjadinya penggetasan (*embrittlement*) pada logam juga semakin meningkat [Fontana, 1986]. Penggetasan yang disebabkan karena konsentrasi hidrogen dalam logam dikenal sebagai *hidrogen embrittlement*. Penggetasan ini, akan dapat mengurangi kekuatan logam.

## II.6 PENGUJIAN TARIK

Uji tarik (*tensile test*) adalah pengujian yang dilakukan dengan cara menarik material uji dengan mesin uji tarik. Tujuan uji tarik adalah untuk memperoleh data-data *yield stress*, *ultimate stress*, *elongation* (regangan) dan *reduction of area* (pengurangan luas penampang) material uji.

### 1. Standar material uji.

Material uji dibuat sesuai standar JIS Z 2201 no 13 (b) dengan menggunakan tipe *sheet* (pelat). Bentuk material uji diberikan pada gambar 2.8 berikut:



Gambar 2.8. Bentuk material uji

Parameter	Ukuran (mm)
X (panjang keseluruhan)	200,00
P (panjang daerah uji)	60,00
L (panjang gauge)	50,00
B (lebar grip)	20,00
W (lebar daerah uji)	12,50
T (tebal material uji)	6,00
S (panjang grip)	50,00
R (radius fillet)	20,00

Tabel 2.2. Keterangan gambar dan ukuran material uji

## 2. Pemilihan skala beban.

Skala beban yang dipakai untuk material *mild steel* ditentukan dengan memperkirakan beban *ultimatenya*. Perkiraan beban *ultimate* material dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \times 102 \text{ atau } F = \sigma A / 102 \quad [\text{kgf}] \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana:  $\sigma$  = kekuatan tarik mild steel

$$= 41 \text{ sampai } 52 \text{ kg/mm}^2$$

$$A = \text{luas penampang daerah uji } [\text{mm}^2]$$

$$F = \text{beban } [\text{kg}] \quad [\text{N}]$$

## 3. Penentuan $\sigma_y$ (*yield stress*)

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_o} \times 102 \quad [\text{kgf/mm}^2] \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana:  $F_y$  = beban *yield* [kgf] [N]

$$A_o = \text{luas penampang sebelum pengujian } [\text{mm}^2]$$

## 4. Penentuan $\sigma_u$ (*ultimate stress*)

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_o} \times 102 \quad [\text{kgf/mm}^2] \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana:  $F_u$  = beban *ultimate* [kgf] [N]

$$A_o = \text{luas penampang sebelum pengujian } [\text{mm}^2]$$

## 5. Penentuan $\varepsilon$ (*elongation*)

*Elongation* merupakan perbandingan antara panjang daerah uji setelah patah dengan panjang daerah uji sebelum pengujian, dinyatakan dalam persentase.

$$\varepsilon = \frac{l - l_o}{l_o} \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana:  $\varepsilon = \textit{elongation}$  [%]

$l =$  panjang daerah uji setelah patah [mm]

$l_o =$  panjang daerah uji sebelum pengujian [mm]

#### 6. Penentuan $R_A$ (*reduction of area*)

$R_A$  merupakan rasio perbedaan antara luasan penampang terkecil pada daerah uji sesudah patah dengan luasan penampang daerah uji sebelum pengujian, dinyatakan dalam persentase

$$R_A = \frac{A_o - A}{A_o} \times 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana:  $R_A = \textit{reduction of area}$  [%]

$A_o =$  luas penampang daerah uji sebelum pengujian [mm<sup>2</sup>]

$A =$  luas penampang daerah uji sesudah pengujian [mm<sup>2</sup>]

**“Adakah sama orang-orang yang mengetahui dengan yang tidak mengetahui ? sesungguhnya orang yang berakallah yang dapat menerima pelajaran.” (Q.S Az-Zumar : 9)**

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

### BAB III

#### METODOLOGI PENELITIAN

Dalam tugas akhir ini dilaksanakan dua pengujian yaitu pengujian elektrokimia sel-tiga elektroda dan pengujian tarik. Pengujian elektrokimia sel-tiga elektroda dilakukan sebagai usaha dalam memberikan potensial perlindungan katodik pada material dan untuk menimbulkan terjadinya absorpsi atom-atom tunggal hidrogen ke dalam material. Sedangkan pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui pengaruh absorpsi atom-atom tunggal hidrogen ke dalam material terhadap kekuatan tarik material tersebut.

#### III.1 PEMBUATAN MATERIAL UJI

Material uji yang digunakan dalam pengujian elektrokimia sel-tiga elektroda dan uji tarik mempunyai bentuk, ukuran, dan bahan yang sama yaitu baja SS-41. Jumlah material uji yang digunakan untuk kedua pengujian adalah sepuluh buah. Langkah-langkah pembuatan material uji adalah sebagai berikut:

1. Pemotongan sepuluh buah material uji dengan dimensi 200 x 21 x 6 mm menggunakan gergaji listrik, kemudian dilakukan pemberian garis-garis bentuk material uji sesuai gambar 2.8 menggunakan *crash pen* dengan menyisakan 0,5 mm pada sisi lebarnya.
2. Material uji hasil pemotongan dengan gergaji listrik kemudian di presisikan ukurannya menggunakan mesin skrap dengan mengurangi 0,5 mm pada sisi lebarnya sehingga berdimensi 200 x 20 x 6 mm.

3. Melakukan pengurangan dimensi di daerah uji dengan menggunakan mesin skrap dan membentuk fillet menggunakan mesin gerinda dan kikir.
4. Dilakukan penghalusan permukaan menggunakan kertas gosok untuk memperoleh permukaan material uji yang bebas cacat.
5. Dilakukan penandaan daerah uji dengan memberi dua buah titik pada bagian tengah menggunakan *punch nail*.

Dari hasil pembuatan material uji dengan urutan proses seperti di atas, diperoleh sepuluh material uji dengan dimensi terukur sebagai berikut :

Material uji tarik (mm)								
No.	To	Wo	Ao	Lo	B	S	X	
I.	1	6	12.55	75.3	50	20.4	58.8	202
	2	6	12.55	75.3	50	20.5	58.75	202
II.	1	6	12.5	75	50	20.35	58.55	202
	2	6	12.5	75	50	20.4	57.55	202
III.	1	6	12.55	75.3	50	20.45	56.4	202
	2	6	12.5	75	50	20.45	59.3	202
IV.	1	6	12.53	75.18	50	20.4	59.2	202
	2	6	12.52	75.12	50	20.55	60	202
V.	1	6	12.57	75.42	50	20.25	59	202
	2	6	12.52	75.12	50	20.25	58.2	202

Tabel 3.1. Dimensi terukur material uji

### III.2 PENGUJIAN ELEKTROKIMIA SEL-TIGA ELEKTRODA

Pengujian ini dilakukan untuk memberikan potensial perlindungan katodik pada material dan menimbulkan terjadinya absorpsi atom-atom tunggal hidrogen ke dalam material.

1. Persiapan alat dan bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :

a. Elektroda kerja

Yaitu elektroda (material uji) yang sedang diteliti

b. Elektroda pembantu

Elektroda untuk mengangkut arus dalam rangkaian yang terbentuk dalam pengujian dan tidak diperlukan untuk pengukuran potensial. Elektroda yang digunakan adalah batang karbon.

c. Elektroda acuan

Dimaksudkan sebagai titik acuan pengukuran potensial elektroda kerja. Arus yang mengalir melalui elektroda ini harus sekecil-kecilnya sehingga dapat diabaikan, jika tidak elektroda ini akan ikut dalam reaksi sel dan potensialnya tidak lagi konstan. Elektroda yang digunakan adalah SSC (*silver silver chloride*).

d. Larutan elektrolit

Yang dipakai adalah air yang mempunyai salinitas 30.

e. Sumber GGL

Bertindak sebagai penggerak elektroda kerja sedemikian hingga reaksi sel yang dikehendaki berlangsung.

f. Galvanometer

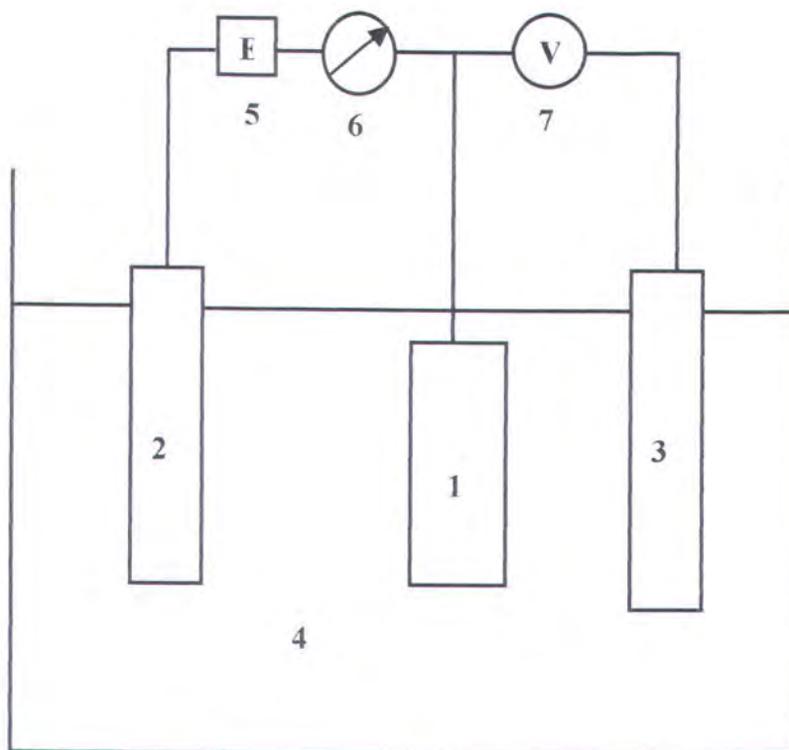
Pengukur arus yang dapat dibaca hingga miliampere atau bahkan mikroampere.

g. Voltmeter

Alat untuk mengukur potensial, yang selama pengukuran alat ini tidak boleh teraliri arus.

## 2. Pelaksanaan pengujian

- a. Alat dan bahan yang sudah tersedia dirangkai seperti gambar 3.1 :



Gambar 3.1. Komponen alat uji sel-tiga elektroda [Trethewey dan Chamberlain, 1988]

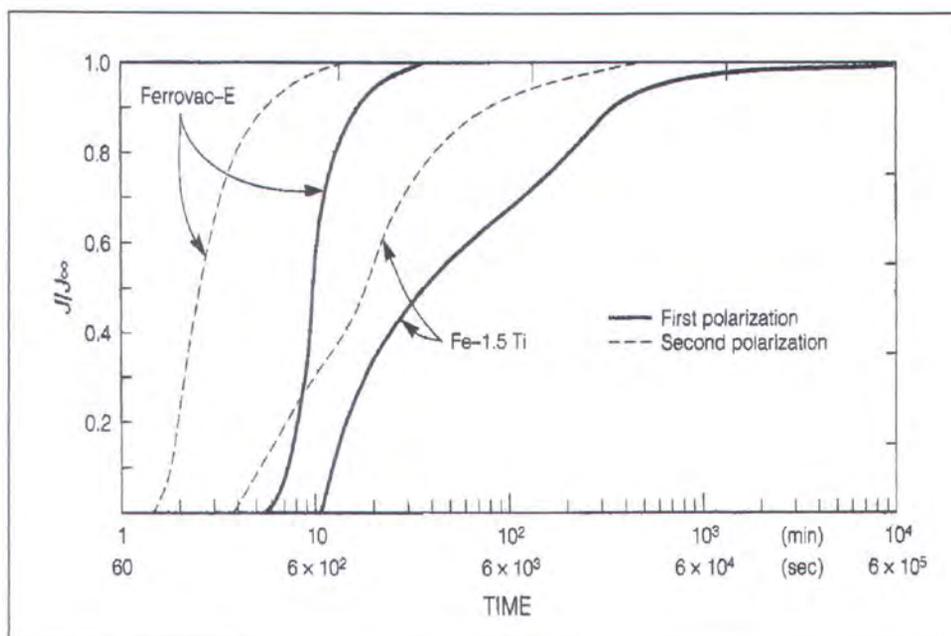
Keterangan gambar :

- |                       |                 |
|-----------------------|-----------------|
| 1. Elektroda kerja    | 5. Sumber GGL   |
| 2. Elektroda pembantu | 6. Galvanometer |
| 3. Elektroda acuan    | 7. Voltmeter    |
| 4. larutan elektrolit |                 |

- b. Jumlah material uji sepuluh buah, dengan perlakuan pengujian sebagai berikut :

- 2 tidak dialiri potensial.
- 2 dialiri potensial sebesar  $-850$  mV SSC selama 7 hari.
- 2 dialiri potensial sebesar  $-900$  mV SSC selama 7 hari.
- 2 dialiri potensial sebesar  $-950$  mV SSC selama 7 hari.
- 2 dialiri potensial sebesar  $-1000$  mV SSC selama 7 hari.

Penentuan lama pengujian berdasarkan gambar 3.2 dibawah ini :



Gambar 3.2 Hubungan waktu dengan hidrogen yang masuk dan volume ruang kosong [Jones,1991]

Keterangan :

- $J$  = hidrogen yang masuk
- $J_{\infty}$  = volume ruang kosong di dalam material

Sumbu x menyatakan waktu dan sumbu y menyatakan perbandingan banyaknya hidrogen yang masuk dengan volume ruang kosong yang terdapat didalam material. Dari gambar diatas dapat terlihat bahwa pada waktu  $10^4$  menit harga

$J/J_{\infty}$  mendekati 1,0 yang berarti bahwa hidrogen hampir memenuhi semua ruang kosong di dalam material. Berdasarkan hal tersebut maka dipilih waktu  $10^4$  menit (7 hari) dengan harapan akan mendapatkan hasil yang baik.

### III.3 PENGUJIAN TARIK

Pengujian tarik material uji dilakukan untuk memperoleh data sifat-sifat mekanis material yang berupa tegangan *yield*, tegangan *ultimate*, *elongation*, dan *reduction of area*. Pengujian tarik ini dilaksanakan setelah material menjalani pengujian elektrokimia.

1. Persiapan alat dan bahan
  - a. Pemeriksaan ulang material uji terhadap kemungkinan terjadinya cacat atau ketidaksempurnaan fisik agar memenuhi standarisasi yang telah ditentukan.
  - b. Pemeriksaan mesin uji statis berdasarkan petunjuk pengoperasian.
  - c. Pemilihan klem penjepit yang sesuai dengan material uji kemudian dilanjutkan dengan pemasangan klem pada mesin uji statis.
  - d. Pemasangan kertas grafik pada alat penggambar grafik hasil pengujian.
  - e. Pengaturan pena penggambar grafik, diusahakan agar garis petunjuk awal (absis) hasil pengujian terletak pada skala puluhan untuk memudahkan pembacaan grafik hasil pengujian. Garis penunjuk awal (absis) dibuat sepanjang kurang lebih 1 cm dengan cara memutar silinder kertas grafik

- f. Penyediaan alat tulis dan kertas pencatat hasil pengujian
2. Pemilihan skala beban
    - a. Skala beban yang akan dipakai untuk pengujian tarik dipilih agar grafik hasil pengujian cukup mudah dibaca. Skala pembebanan yang dapat dipakai pada mesin uji statis Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan FTK-ITS adalah 20 kN, 40 kN, 100kN, 200 kN.
    - b. Skala beban yang dipakai untuk material *mild steel* ditentukan dengan memperkirakan beban *ultimatenya*. Perkiraan beban ultimate material dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1 :

$$\sigma = \frac{102F}{A} \text{ atau } F = \frac{\sigma A}{102} \text{ [kgf]}$$

Jika  $T = 6 \text{ mm}$ ,  $W = 12.57 \text{ mm}$ , sehingga  $A = 75,42 \text{ mm}^2$  dan  $\sigma = 52 \text{ kg/mm}^2$  sebagai nilai maksimum maka didapatkan  $F = 38,99 \text{ kN}$ . Untuk beban sebesar ini maka digunakan skala beban 40 kN, artinya pembebanan akan dilakukan dari 0 sampai 40 kN dan sebelum beban mencapai 40 kN diperkirakan material uji akan putus. Dari pengalaman dan demi keamanan untuk kondisi diatas maka skala beban yang dipakai 100 kN karena dikhawatirkan pada beban 40 kN material uji belum putus.

3. Pemasangan material uji

Material uji dipasang pada klem penjepit yang dipilih dan diatur sedemikian hingga daerah uji berada diantara klem atas dan bawah. Material uji diusahakan benar-benar tegak lurus dengan beban kerja. Pengaturan kedudukan material uji pada klem dilakukan dengan cara

menaikturunkan posisi klem atas atau bawah secara hidrolis atau dengan mengatur level pemutar bawah.

4. Pelaksanaan pengujian
  - a. Pemberian beban secara bertahap dan kemudian konstan, interval waktu dari pemberian beban secara bertahap sampai konstan dilakukan secepat mungkin dengan mempertimbangkan keamanan mesin.
  - b. Dilakukan pengamatan pada pena penggambar grafik, jika titik *yield* telah dicapai dengan terjadinya ketidakaturan bentuk grafik maka dilakukan pencatatan beban *yield*.
  - c. Pengamatan terus dilakukan pada jarum penunjuk beban untuk mengetahui beban maksimum yang bekerja, beban maksimum ini adalah beban *ultimate* dan kemudian dilakukan pencatatan.
  - d. Pembebanan diteruskan sampai material uji mengalami patah.
5. Penanganan setelah pengujian
  - a. Melepas dua patahan material uji dari klem penjepit dan dilakukan pengamatan lokasi terjadinya patahan, jika patahan tidak terjadi di daerah uji maka pengujian gagal.
  - b. Untuk pengujian yang berhasil atau patah di daerah uji, maka dilakukan penggabungan kembali kedua patahan material uji dan dilakukan pengukuran  $W_1$ ,  $T_1$ ,  $L_1$ .
  - c. Mengamati grafik hasil pengujian dan membandingkan dengan pencatatan pada saat pengujian.

- d. Memindahkan pena penggambar grafik ke area kertas grafik yang kosong dan siap melakukan pengujian berikutnya.

**“Sesungguhnya Allah tidak merubah keadaan  
suatu kaum sehingga mereka merubah keadaan  
yang ada pada diri mereka sendiri.”  
(Q.S Ar-Ra'd : 11)**

## **BAB IV ANALISA DATA**

## BAB IV

### ANALISIS DATA

#### IV.1 HASIL PENGUJIAN TARIK

Setelah dilakukan pengujian tarik didapat hasil sebagai berikut :

I. Tanpa potensial perlindungan						
No	Dimensi material uji (mm)				Beban (kN)	
	T <sub>1</sub>	W <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> xW <sub>1</sub> )	L <sub>1</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>u</sub>
1	3.3	7.85	25.905	66.6	25.25	33.75
2	3.3	7.8	25.74	66.3	25	33.6

II. Dialiri potensial perlindungan -850 mV SSC selama 7 hari						
No	Dimensi material uji (mm)				Beban (kN)	
	T <sub>1</sub>	W <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> xW <sub>1</sub> )	L <sub>1</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>u</sub>
1	3.4	7.9	26.86	65.5	24	33.3
2	3.5	8	28	65.5	23.8	33.2

II. Dialiri potensial perlindungan -900 mV SSC selama 7 hari						
No	Dimensi material uji (mm)				Beban (kN)	
	T <sub>1</sub>	W <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> xW <sub>1</sub> )	L <sub>1</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>u</sub>
1	3.5	8.1	28.35	65.4	23.75	33
2	3.5	8.2	28.7	65.2	23.65	33

II. Dialiri potensial perlindungan -950 mV SSC selama 7 hari						
No	Dimensi material uji (mm)				Beban (kN)	
	T <sub>1</sub>	W <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> xW <sub>1</sub> )	L <sub>1</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>u</sub>
1	3.6	8.2	29.52	65.1	23.5	32.8
2	3.6	8.3	29.88	64.8	23.5	32.9

II. Dialiri potensial perlindungan -1000 mV SSC selama 7 hari						
No	Dimensi material uji (mm)				Beban (kN)	
	T <sub>1</sub>	W <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> xW <sub>1</sub> )	L <sub>1</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>u</sub>
1	3.7	8.3	30.71	64.2	23.3	32.6
2	3.8	8.4	31.92	64	23.25	32.5

Tabel 4.1. Data hasil pengujian tarik

Grafik hasil uji tarik disajikan dalam lampiran 1.

**IV.2 ANALISIS DATA**

Setelah hasil pengujian tarik diperoleh dilakukan perhitungan untuk mendapatkan sifat mekanis material uji berupa tegangan *yield* ( $\sigma_y$ ), tegangan *ultimate* ( $\sigma_u$ ), *elongation* ( $\epsilon$ ), dan *reduction of area* ( $R_A$ ). Perhitungan yang dimaksud menggunakan persamaan 2.2, 2.3, 2.4, dan 2.5 sebagai berikut :

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_o} \times 102 \quad [\text{kgf/mm}^2] \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_o} \times 102 \quad [\text{kgf/mm}^2] \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\epsilon = \frac{l - l_o}{l_o} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

$$R_A = \frac{A_o - A}{A_o} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Hasil perhitungan diberikan dalam tabel 4.2 dibawah ini :

<b>I. Tanpa potensial perlindungan</b>				
Parameter	No.Material Uji		Rata-rata	Satuan
	1	2		
$\sigma_y$	34.203187	33.864542	34.033865	kgf/mm <sup>2</sup>
$\sigma_u$	45.717131	45.513944	45.615538	kgf/mm <sup>2</sup>
$\epsilon$	33.2	32.6	32.9	%
$R_A$	65.59761	65.816733	65.707171	%

<b>II. Dialiri potensial perlindungan -850 mV SSC selama 7 hari</b>				
Parameter	No.Material Uji		Rata-rata	Satuan
	1	2		
$\sigma_y$	32.64	32.368	32.504	kgf/mm <sup>2</sup>
$\sigma_u$	45.288	45.152	45.22	kgf/mm <sup>2</sup>
$\epsilon$	31	31	31	%
$R_A$	64.186667	62.666667	63.426667	%



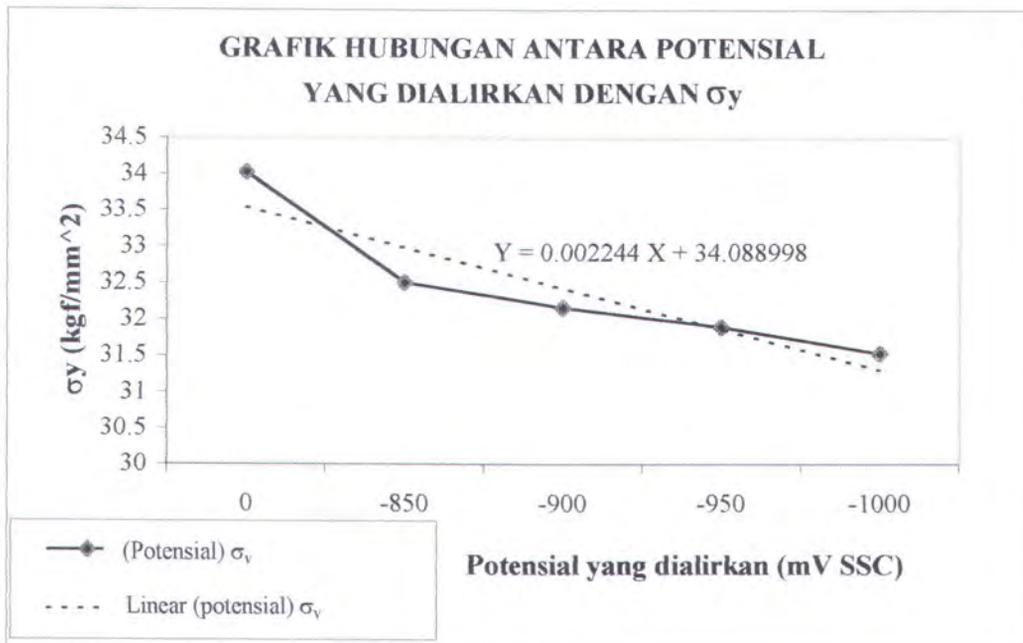
<b>III. Dialiri potensial perlindungan -900 mV SSC selama 7 hari</b>				
Parameter	No.Material Uji		Rata-rata	Satuan
	1	2		
$\sigma_y$	32.171315	32.164	32.167657	kgf/mm <sup>2</sup>
$\sigma_u$	44.701195	44.88	44.790598	kgf/mm <sup>2</sup>
$\varepsilon$	30.8	30.4	30.6	%
$R_A$	62.350598	61.733333	62.041965	%

<b>IV. Dialiri potensial perlindungan -950 mV SSC selama 7 hari</b>				
Parameter	No.Material Uji		Rata-rata	Satuan
	1	2		
$\sigma_y$	31.88348	31.908946	31.896213	kgf/mm <sup>2</sup>
$\sigma_u$	44.501197	44.672524	44.586861	kgf/mm <sup>2</sup>
$\varepsilon$	30.2	29.6	29.9	%
$R_A$	60.734238	60.223642	60.47894	%

<b>V. Dialiri potensial perlindungan -1000 mV SSC selama 7 hari</b>				
Parameter	No.Material Uji		Rata-rata	Satuan
	1	2		
$\sigma_y$	31.511535	31.569489	31.540512	kgf/mm <sup>2</sup>
$\sigma_u$	44.089101	44.129393	44.109247	kgf/mm <sup>2</sup>
$\varepsilon$	28.4	28	28.2	%
$R_A$	59.281358	57.507987	58.394672	%

Tabel 4.2. Hasil pengolahan data uji tarik

Dari hasil perhitungan diatas dibuat grafik hubungan antara potensial perlindungan yang dialirkan sebagai absis dengan  $\sigma_y$ ,  $\sigma_u$ ,  $\varepsilon$ , dan  $R_A$  sebagai ordinat.



Gambar 4.1 Hubungan antara potensial yang dialirkan dengan  $\sigma_y$

. Persamaan garis trendline [Erwin Kreyszig,1988] :

n	$X_j$ (potensial)	$Y_j$ ( $\sigma_y$ )	$X_j^2$	$X_j \cdot Y_j$
1	0	34.033865	0	0
2	-850	32.504	722500	-27628.41
3	-900	32.167657	810000	-28950.89
4	-950	31.896213	902500	-30301.41
5	-1000	31.540512	1000000	-31540.51
	$\Sigma X_j = -3700$	$\Sigma Y_j = 162.14225$	$\Sigma X_j^2 = 3435000$	$\Sigma X_j Y_j = -118421.2$

$$\bar{X} = X_j \text{ rata-rata} = -740 \quad ; n = 5$$

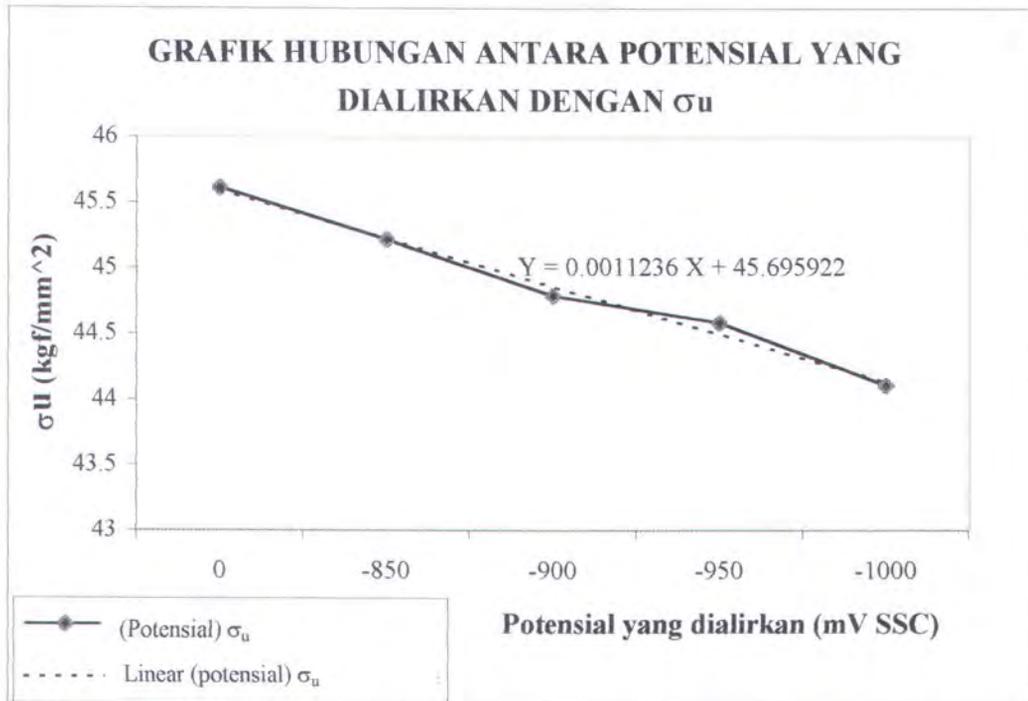
$$\bar{Y} = Y_j \text{ rata-rata} = 32.428449$$

$$s_1^2 = \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{j=1}^n X_j^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{j=1}^n X_j \right)^2 \right] = 174250$$

$$b = \frac{n \sum_{j=1}^n X_j Y_j - \sum_{j=1}^n X_j \sum_{j=1}^n Y_j}{n(n-1)s_1^2} = 0.002244$$

$$\bar{Y} - Y = b ( X - \bar{X} )$$

$$Y = 0.002244 X + 34.088998$$



Gambar 4.2 Hubungan antara potensial yang dialirkan dengan  $\sigma_u$

. Persamaan garis trendline [Erwin Kreyszig, 1988] :

n	$X_j$ (potensial)	$Y_j$ ( $\sigma_u$ )	$X_j^2$	$X_j \cdot Y_j$
1	0	45.615538	0	0
2	-850	45.22	722500	-38437
3	-900	44.790598	810000	-40311.54
4	-950	44.586861	902500	-42357.52
5	-1000	44.109247	1000000	-44109.25
	$\Sigma X_j = -3700$	$\Sigma Y_j = 224.32224$	$\Sigma X_j^2 = 3435000$	$\Sigma X_j Y_j = -165215.3$

$$\bar{X} = X_j \text{ rata-rata} = -740 \quad ; \quad n = 5$$

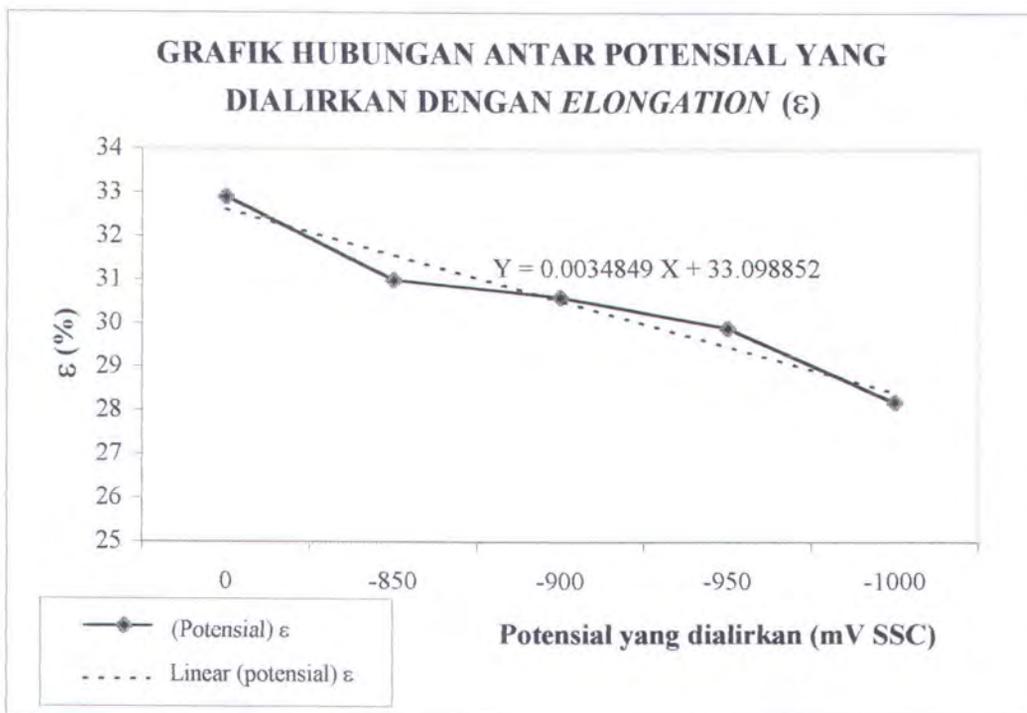
$$\bar{Y} = Y_j \text{ rata-rata} = 44.864449$$

$$s_1^2 = \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{j=1}^n X_j^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{j=1}^n X_j \right)^2 \right] = 174250$$

$$b = \frac{n \sum_{j=1}^n X_j Y_j - \sum_{j=1}^n X_j \sum_{j=1}^n Y_j}{n(n-1)s_1^2} = 0.0011236$$

$$\bar{Y} - Y = b ( X - \bar{X} )$$

$$Y = 0.0011236 X + 45.695922$$



Gambar 4.3 Hubungan antara potensial yang dialirkan dengan  $\epsilon$

Persamaan garis trendline [Erwin Kreyszig, 1988] :

n	$X_j$ (potensial)	$Y_j$ ( $\epsilon$ )	$X_j^2$	$X_j \cdot Y_j$
1	0	32.9	0	0
2	-850	31	722500	-26350
3	-900	30.6	810000	-27540
4	-950	29.9	902500	-28405
5	-1000	28.2	1000000	-28200
	$\Sigma X_j = -3700$	$\Sigma Y_j = 152.6$	$\Sigma X_j^2 = 3435000$	$\Sigma X_j Y_j = -110495$

$$\bar{X} = X_j \text{ rata-rata} = -740 \quad ; \quad n = 5$$

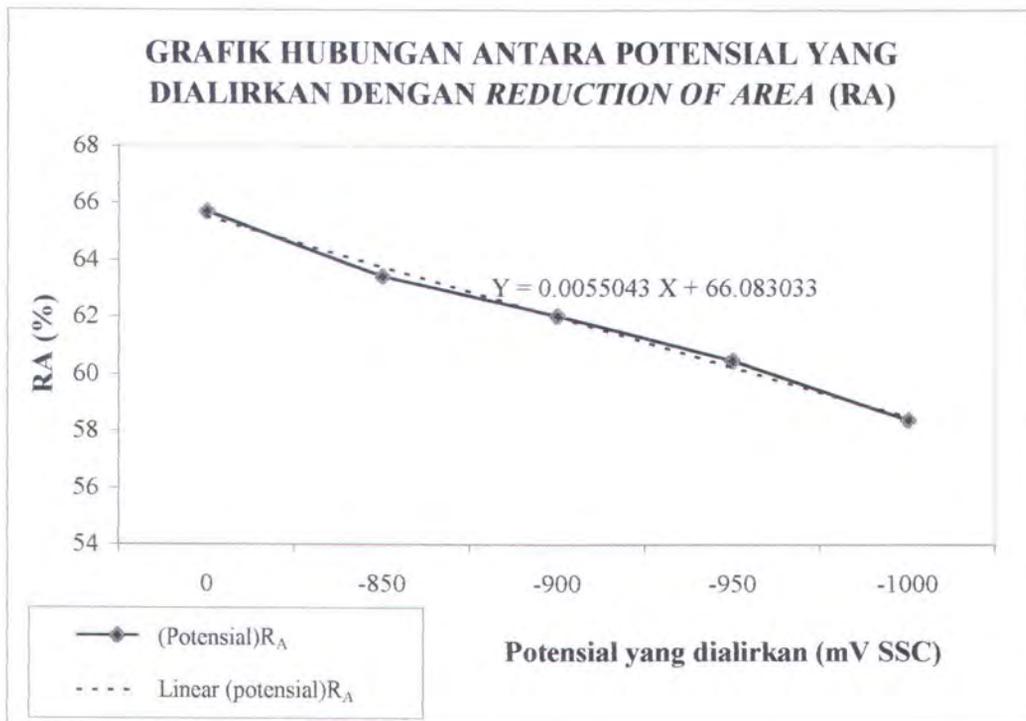
$$\bar{Y} = Y_j \text{ rata-rata} = 30.52$$

$$s_1^2 = \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{j=1}^n X_j^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{j=1}^n X_j \right)^2 \right] = 174250$$

$$b = \frac{n \sum_{j=1}^n X_j Y_j - \sum_{j=1}^n X_j \sum_{j=1}^n Y_j}{n(n-1)s_1^2} = 0.0034849$$

$$\bar{Y} - Y = b (X - \bar{X})$$

$$Y = 0.0034849 X + 33.098852$$



Gambar 4.4 Hubungan antara potensial yang dialirkan dengan reduction of area (RA)

Persamaan garis trendline [Erwin Kreyszig,1988] :

n	X <sub>j</sub> (potensial)	Y <sub>j</sub> (RA)	X <sub>j</sub> <sup>2</sup>	X <sub>j</sub> ·Y <sub>j</sub>
1	0	65.707171	0	0
2	-850	63.426667	722500	-53912.67
3	-900	62.041965	810000	-55837.77
4	-950	60.478941	902500	-57454.99
5	-1000	58.394672	1000000	-58394.67
	ΣX <sub>j</sub> =-3700	ΣY <sub>j</sub> =310.04942	ΣX <sub>j</sub> <sup>2</sup> =3435000	ΣX <sub>j</sub> ·Y <sub>j</sub> =-225600.1

$$\bar{X} = X_j \text{ rata-rata} = -740 \quad ; \quad n = 5$$

$$\bar{Y} = Y_j \text{ rata-rata} = 62.009883$$

$$s_1^2 = \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{j=1}^n X_j^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{j=1}^n X_j \right)^2 \right] = 174250$$

$$b = \frac{n \sum_{j=1}^n X_j Y_j - \sum_{j=1}^n X_j \sum_{j=1}^n Y_j}{n(n-1)s_1^2} = 0.0055043$$

$$\bar{Y} - Y = b ( X - \bar{X} )$$

$$Y = 0.0055043 X + 66.083033$$

Dari grafik diatas terlihat bahwa  $\sigma_y$  dan  $\sigma_u$  cenderung mengalami penurunan sejalan dengan semakin negatifnya potensial yang dialirkan. Hal ini juga dapat dilihat dari persamaan garis trendline dimana jika harga x bertambah semakin negatif maka harga y mengalami penurunan. Besar penurunan  $\sigma_y$ ,  $\sigma_u$ ,  $\epsilon$ , dan  $R_A$  yang dialiri potensial perlindungan terhadap yang tidak dialiri potensial perlindungan dalam persentase adalah sebagai berikut :

Potensial (mV SSC)	$\sigma_v$ (kgf/mm <sup>2</sup> )	Penurunan (%)	$\sigma_u$ (kgf/mm <sup>2</sup> )	Penurunan (%)
0	34.033865	0	45.615538	0
-850	32.504	4.5	45.22	0.87
-900	32.167657	5.48	44.790598	1.81
-950	31.896213	6.28	44.586861	2.26
-1000	31.540512	7.33	44.109247	3.3

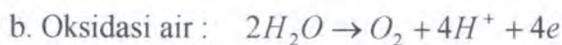
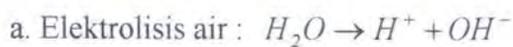
Tabel 4.3 Persentase penurunan  $\sigma_y$  dan  $\sigma_u$

Potensial (mV SSC)	$\epsilon$ (%)	Penurunan (%)	$R_A$ (%)	Penurunan (%)
0	32.9	0	65.707171	0
-850	31	5.78	63.426667	3.47
-900	30.6	6.99	62.041965	5.58
-950	29.9	9.12	60.47894	7.96
-1000	28.2	14.29	58.394672	11.13

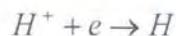
Tabel 4.4 Persentase penurunan  $\epsilon$  dan  $R_A$



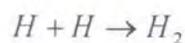
Penurunan sifat mekanis ini terjadi karena pemberian potensial perlindungan katodik yang semakin negatif (*cathodic overprotection*) menyebabkan banyak terdapat elektron pada anoda sehingga reaksi  $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e$  yaitu perubahan atom Fe menjadi ion  $Fe^{2+}$  menjadi lambat. Sebaliknya reaksi yang terjadi pada katoda yang menghasilkan ion  $H^+$  semakin cepat. Reaksi itu antara lain :



Akibat banyaknya elektron pada permukaan material adalah terjadinya pengikatan ion  $H^+$  yang ada disekelilingnya menjadi atom tunggal hidrogen.



Atom-atom tunggal hidrogen yang intinya sangat kecil tersebut masuk ke dalam kisi-kisi ruang material dan mengisi celah-celah yang kosong misalnya akibat adanya defect, void, dan porositas. Atom-atom hidrogen di dalam celah-celah kosong tersebut bereaksi dengan atom hidrogen lainnya membentuk gas hidrogen (lihat gambar 2.7).



Hal inilah yang menyebabkan terjadinya penggetasan pada material atau biasa disebut *hydrogen embrittlement*.

**“Adakah sama orang buta dan yang dapat melihat, atau samakah gelap gulita dan terang benderang; apakah mereka menjadikan beberapa sekutu bagi Allah yang dapat menciptakan seperti ciptaan-Nya sehingga kedua ciptaan-Nya itu serupa menurut pandangan mereka?” (Q.S Ar-Ra’d :16)**

**BAB V  
PENUTUP**

## BAB V

### P E N U T U P

#### V.1. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari tugas akhir ini adalah :

1. Salah satu cara untuk memperlambat laju korosi pada suatu material adalah dengan mengalirkan potensial negatif pada material tersebut atau biasa disebut potensial perlindungan katodik.
2. Pemberian potensial perlindungan katodik yang semakin negatif (*cathodic overprotection*) dapat menyebabkan terjadinya penggetasan logam karena hidrogen (*hydrogen embrittlement*).
3. *Hydrogen embrittlement* menyebabkan penurunan sifat mekanis baja SS-41 yaitu *elongation* dan *reduction of area*, sedangkan penurunan tegangan *yield* dan tegangan *ultimate* adalah terlalu kecil dan kurang signifikan.

#### V.2. SARAN

1. Untuk pengembangan tugas akhir ini dapat dilakukan dengan menghitung secara kuantitatif penurunan laju korosi sejalan dengan semakin negatifnya potensial perlindungan katodik, sehingga didapatkan nilai yang optimum antara penurunan laju korosi dengan penurunan sifat mekanis material.

2. Penelitian ini merupakan langkah awal untuk meneliti pengaruh *cathodic overprotection* terhadap sifat mekanis material pada row material. Untuk masa yang akan datang dapat diadakan penelitian tentang pengaruh *cathodic overprotection* terhadap sifat mekanis material produk, misalnya pada sambungan las.

**“ Bukankah Kami telah melapangkan dadamu,  
dan kami ringankan bebanmu yang selama ini  
memberati punggungmu. Dan Kami telah  
meninggikan namamu. Sesudah kesulitan ada  
kemudahan. Sesungguhnya sesudah kesulitan ada  
kelapangan. Jika kamu telah selesai mengerjakan  
urusanmu, maka segera selesaikanlah urusanmu  
yang lain” (Q.S Al-Insyirah: 1-7)**

## **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR PUSTAKA

Brady, James E., Aloysius Hadyana P., and Suminar A., " Kimia Mahasiswa jilid I ", 1994.

Chandler, Kenneth A., " *Marine and Offshore Corrosion* ", Butter Worths, 1985.

Fontana, Mars G., " *Corrosion Engineering*," 3<sup>rd</sup> edition, McGraw-Hill, Inc, 1986.

JIS Handbook, " *Ferrous Materials and Metallurgy* ", Japanese Standarts Association, 1986.

Jones, D. A., " *Principles and Prevention of Corrosion* ", Macmillan Publishing Company, USA, 1992.

La Que, Francis L., " *Marine Corrosion Cause and Prevention* ", John Wiley and Sons, Canada, 1975.

Masterton, William L., and Emil J. Slowinski, " *Chemical Principles* ", W. B Saunders Company, 1967.

Morgan, John, " *Cathodic Protection* ", NACE, Houston, 1987.

Scully, J. C., " *The Fundamentals of Corrosion*," 2<sup>nd</sup> edition, Pergamon Press, Oxford, 1975.

Trethewey, K. R., and J. Chamberlain, " Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan ", PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1991.

Uhlig, Herbert H., and R. Wiatone Revie, " *Corrosion and Corrosion Control* ", A. Wiley Inter Science, 1985.

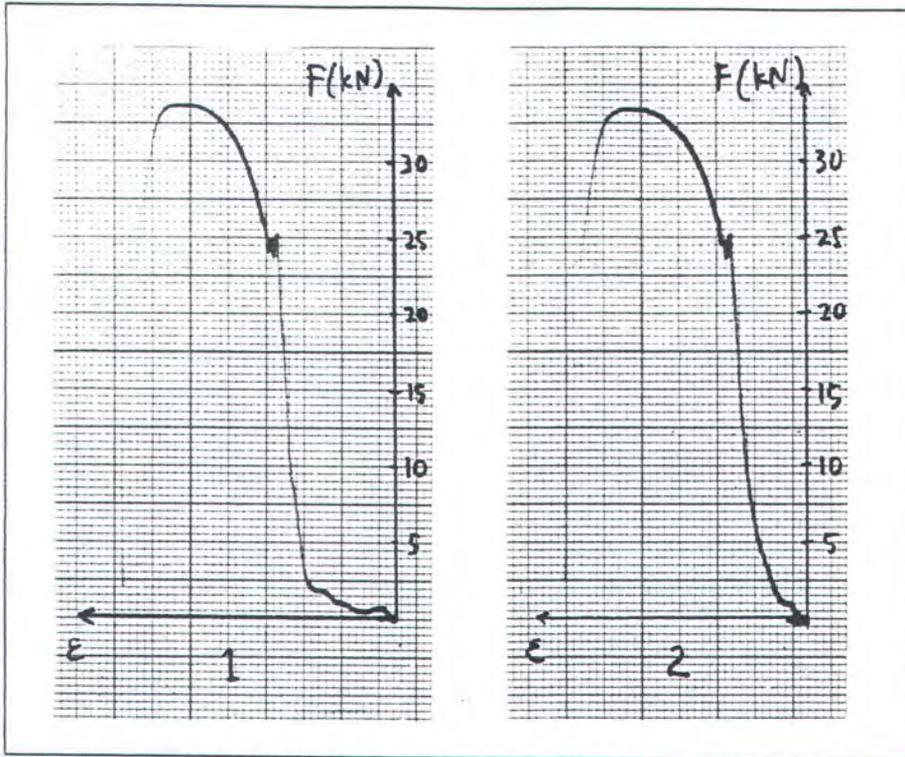
**" Demi masa. Sesungguhnya manusia itu dalam keadaan merugi. Kecuali orang-orang yang beriman dan beramal sholeh dan saling menasehati dalam kebenaran dan kesabaran"**

**(Q.S Al- Asry 1-6)**

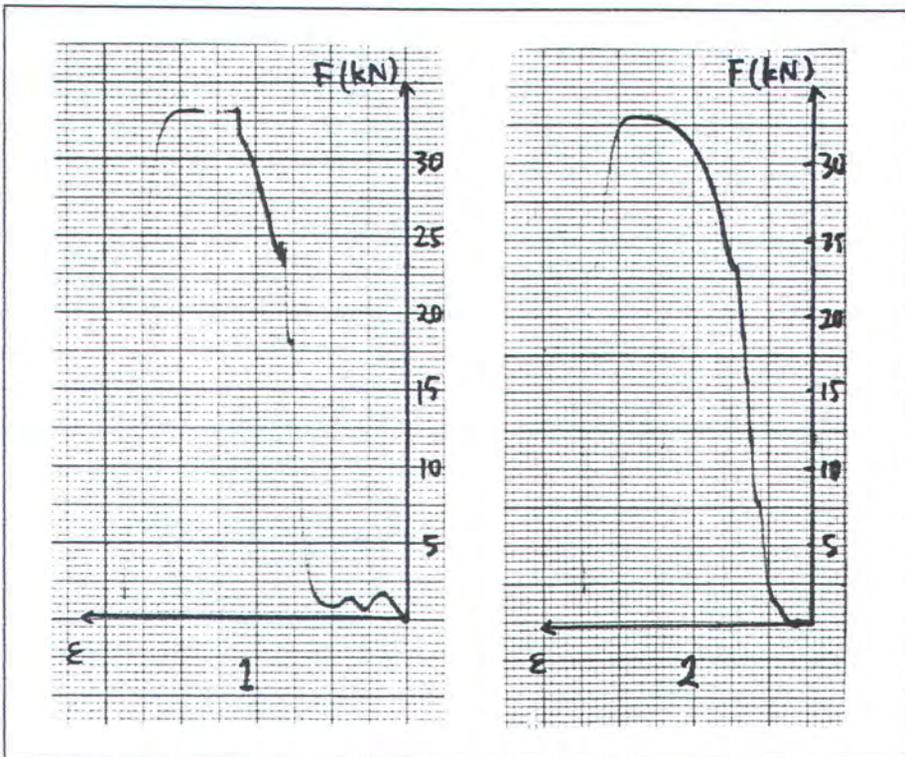
**LAMPIRAN**

## LAMPIRAN

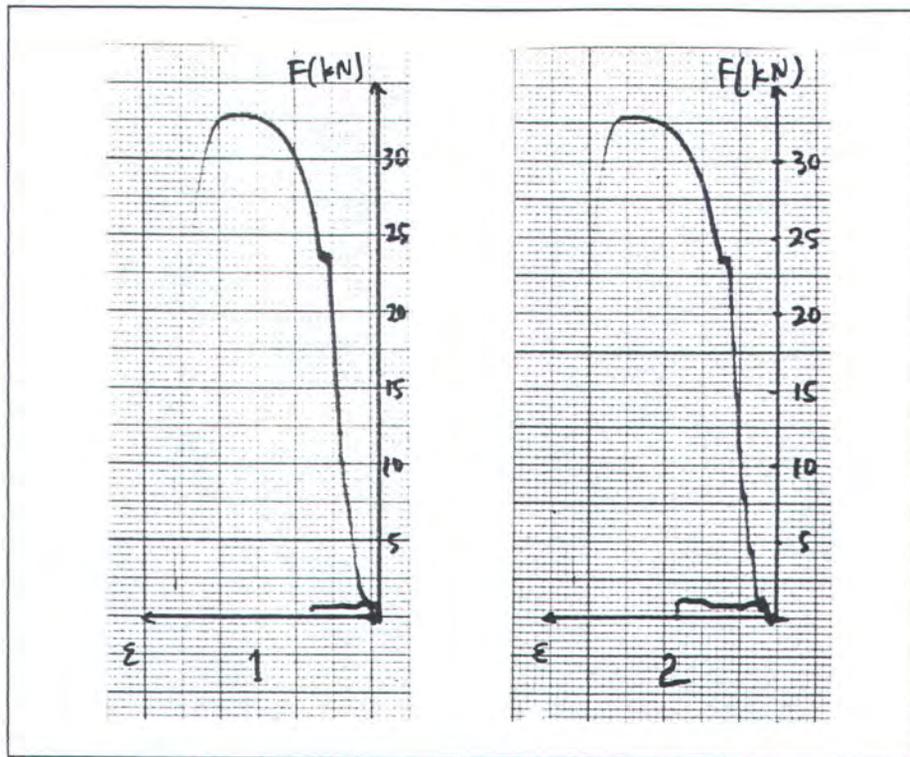
Grafik hasil pengujian tarik



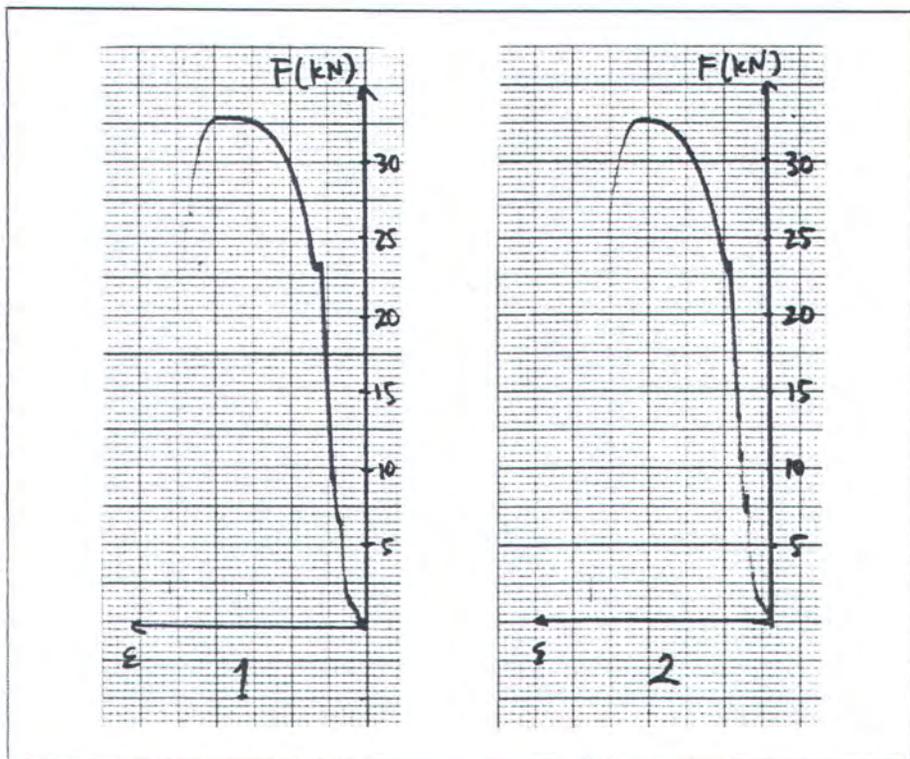
Material tanpa perlindungan katodik



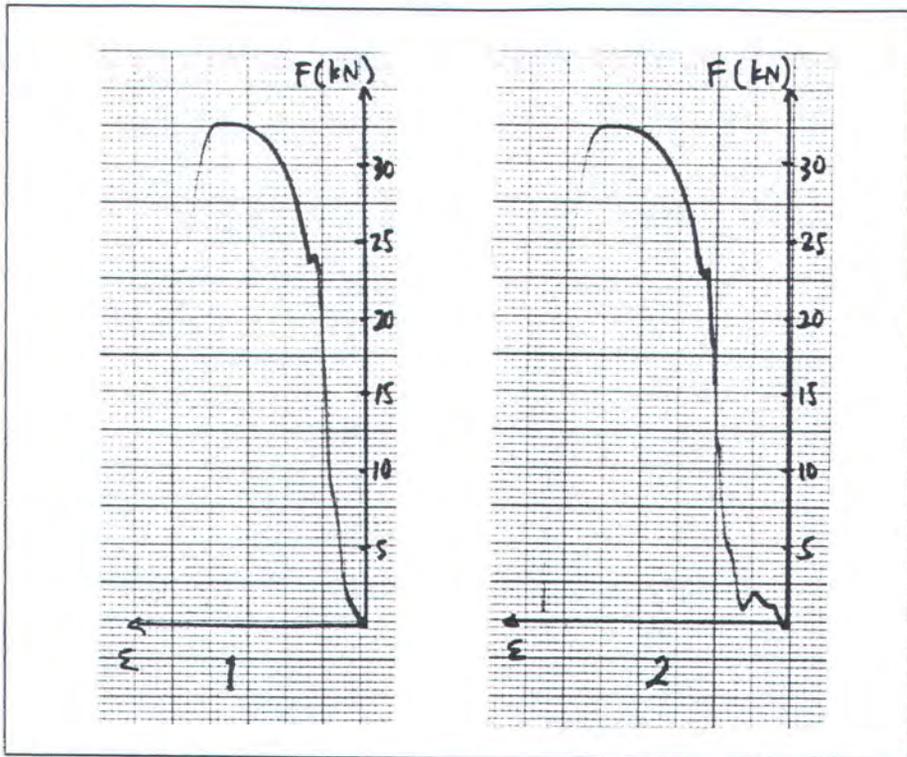
Material dengan potensial perlindungan sebesar  $-850$  mV SSC selama 7 hari



Material dengan potensial perlindungan sebesar  $-900$  mV SSC selama 7 hari



Material dengan potensial perlindungan sebesar  $-950$  mV SSC selama 7 hari



Material dengan potensial perlindungan sebesar  $-1000$  mV SSC selama 7 hari