



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI LAJU KOROSI BAJA API 5L GRB N DI DALAM  
LARUTAN ASAM SULFAT 1 M DENGAN  
PENAMBAHAN INHIBITOR *ANILINE-4-SULFONATE***

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains**

**FADLI**

**0906576302**

**PROGRAM PASCASARJANA  
PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU MATERIAL  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS INDONESIA  
JAKARTA  
JULI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI LAJU KOROSI BAJA API 5L GRB N DI DALAM  
LARUTAN ASAM SULFAT 1M DENGAN  
PENAMBAHAN INHIBITOR *ANILINE-4-SULFONATE***

**TESIS**

**FADLI**

**0906576302**

**PROGRAM PASCASARJANA  
PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU MATERIAL  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS INDONESIA  
JAKARTA  
JULI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tesis ini adalah hasil karya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Fadli

NPM : 0906576302

Tanda tangan :



Tanggal : 11 Juli 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Fadli  
NPM : 0906576302  
Program Studi : Magister Ilmu Material  
Judul Tesis : Studi Laju Korosi Baja API 5L GRB N Di Dalam Larutan Asam Sulfat 1M Dengan Penambahan Inhibitor *Aniline-4-Sulfonate*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Pascasarjana Ilmu Material, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Bambang Soegijono

Pembimbing II : Dr. Ir. Yudi Masduky S.

Penguji I : Dr. Muhammad Hikam

Penguji II : Dr. Budhy Kurniawan

Penguji III : Dr. Suhardjo Poertadji

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 11 Juli 2011

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya haturkan kepada ALLAH SWT, karena dengan berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Tesis ini dibuat dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan mencapai gelar Magister Ilmu Material Jurusan Ilmu Material pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Dengan kerendahan hati saya menyadari bahwa semua yang telah saya capai ini adalah hasil bantuan dan bimbingan dari para dosen dan berbagai pihak, baik dalam perkuliahan maupun diluar perkuliahan sehingga tesis ini dapat saya selesaikan. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Bambang Soegiono, selaku Pembimbing dan Ketua Program Studi Ilmu Material yang telah memberikan bantuan, bimbingan, arahan, dan fasilitas untuk penyelesaian tesis ini.
2. Bapak Dr. Ir. Yudi Masduky S., selaku dosen Pembimbing yang telah memberikan ilmu, arahan, motivasi, waktu, tenaga, dan pikiran untuk dalam menyelesaikan tesis ini.
3. Dr. Muhammad Hikam selaku penguji I
4. Dr. Budhy Kurniawan selaku penguji II
5. Dr. Suhardjo Poertadji selaku penguji III
6. Staf Tata Usaha Program Studi Ilmu Material yang selalu memberikan bantuan dan arahan dalam pengurusan administrasi.
7. Bapak Wisnu dan Bapak Tri yang telah banyak memberikan bantuan dan masukan dalam masa perkuliahan dan penyusunan tesis ini.
8. Teman-teman Jurusan Material Sains angkatan 2010/2011 yang banyak memberikan dukungan dan masukan selama perkuliahan berlangsung.

9. Sahabat, teman, kenalan dan pihak-pihak lainnya yang tidak sempat disebutkan satu-persatu yang telah banyak membantu dalam perkuliahan dan penelitian ini.

10. Orang tuaku tercinta, keluargaku tersayang, istriku Shiryn Basyarahiel dan putriku Hauraa yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepadaku.

Semoga segala amal dan kebaikan yang telah diberikan mendapat ganjaran yang berharga dari ALLAH SWT.

Dengan kerendahan hati, penulis menyadari masih banyak kekurangan yang memerlukan pengujian ulang, koreksi, penyempurnaan dan pengembangan dalam penelitian dan penyusunan tesis ini. Saran dan masukan sangat penulis harapkan dalam rangka menambah dan memperbaiki hasil penelitian dan tulisan ini. Akhir kata, semoga tesis ini memberikan manfaat bagi para pembaca, peneliti, bangsa, negara, dan pengembangan ilmu pengetahuan di Indonesia.

Jakarta, 11 Juli 2011



Penulis

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Fadli  
NPM : 0906576302  
Program Studi : Magister Ilmu Material  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis karya : Tesis

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Studi Laju Korosi Baja API 5L GRB N Di Dalam Larutan Asam Sulfat 1M dengan Penambahan Inhibitor *Aniline-4-Sulfonate*”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian persyaratan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta  
Pada tanggal : 11 Juli 2011

Yang menyatakan



(Fadli)

## ABSTRAK

Nama : Fadli

Program Studi : Magister Ilmu Material

Judul : Studi Laju Korosi Baja Api 5L GRB N Di Dalam Larutan Asam Sulfat 1 M Dengan Penambahan Inhibitor *Aniline-4-Sulfonate*.

*Aniline-4-sulfonate* merupakan senyawa dengan gugus utama berupa cincin benzen, nitrogen dan sulfonat. Pada penelitian ini, senyawa *aniline-4-sulfonate* digunakan sebagai inhibitor untuk menekan laju korosi baja API 5L GRB N di dalam larutan asam sulfat 1 M. *Potensiostat*, alat uji kekerasan, alat uji kekasaran, mikroskop optik dan SEM digunakan untuk analisa jenis korosi, efisiensi inhibisi, mekanisme inhibisi, perubahan kekerasan dan kekasaran permukaan. Hasil pengujian menggunakan *potensiostat* memperlihatkan bahwa korosi yang terjadi pada baja API 5L GRB N adalah jenis korosi merata. Penggunaan inhibitor *aniline-4-sulfonate* dapat menekan laju korosi dengan efisiensi sebesar 60,29% pada konsentrasi  $24,06 \times 10^{-3} \text{M}$  dan dapat mengurangi kerusakan terhadap kekerasan dan kekasaran melalui suatu mekanisme inhibisi mengikuti isoterm adsorpsi Langmuir dengan akurasi kelinieran ( $R^2$ ) mendekati 1 (satu).

Kata kunci: *Aniline-4-sulfonate*, inhibitor, baja karbon API 5L GRB N

## ABSTRACT

Name : Fadli  
Study Program : Magister Materials Science  
Title : Corrosion Rate Study of API 5L GRB N Steel in 1 M Sulphuric Acid Solution with Addition of *Aniline-4-Sulfonate* Inhibitor.

Aniline-4-sulfonate is compound with main groups are benzen ring, ammine, and sulfonate. On this research, aniline-4-sulfonate was used as corrosion inhibitor to reduced corrosion rate on API 5L GRB N steel in 1M sulphuric acid solution. Potensiostat, surface hardness tester, surface roughness terster, optical microscope, and SEM was used for corrosion type analysis, inhibition efficiency, inhibition mechanism, hardness and roughness damage. Examination using potensiostat showed that corrosion on API 5L GRB N steel was general corrosion type. Aplication aniline-4-sulfonate as inhibitor can pressed corrosion rate with efficiency 60,29 % at concentration  $24,06 \times 10^{-3}M$ , reduced hardness and roughness damage with adsorption mechanism followed Langmuir's adsorption isotherm with linearity accuration ( $R^2$ ) was 0,998.

Keywords: Aniline-4-Sulfonate, inhibitor, API 5L GRB N

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
<b>1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Hipotesis.....	2
1.6 Batasan Penelitian.....	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	3
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Teori Korosi.....	4
2.2 Termodinamika Korosi.....	7
2.3 Korosi Baja.....	9
2.3.1 Karakteristik Baja API 5L GRB N.....	9
2.3.2 Reaksi Korosi Pada Baja.....	10
2.3.3 Korosi Baja dalam Larutan Asam Sulfat.....	11
2.3.4 Proses Pencucian Asam ( <i>Pickling</i> ).....	14
2.4 Korosi dan Penanggulangannya.....	14
2.4.1 Jenis-Jenis Korosi dan Penanggulangannya.....	14
2.4.2 Pengendalian Korosi dengan Inhibitor.....	20
2.4.3 Karakteristik Senyawa Organik <i>aniline-4-sulfonate</i> .....	21
2.5 Karakterisasi Korosi.....	21
2.5.1 Metoda Kehilangan Berat ( <i>Weight Loss Method</i> ).....	22
2.5.2 Uji Polarisasi.....	22
2.5.3 Uji Komposisi dan Uji Tarik.....	25
2.5.4 Uji Kekasaran.....	26
2.5.5 Uji Kekerasan.....	26
2.5.6 Pengamatan Morfologi.....	27
2.5.7 Struktur Mikro.....	28

<b>3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>29</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	29
3.2 Tempat Penelitian .....	30
3.3 Bahan Penelitian .....	30
3.4 Pengerjaan Bahan Dasar .....	32
3.5 Uji Rendam ( <i>Immersion Test</i> ) .....	34
3.6 Uji Polarisasi.....	34
3.7 Verifikasi Bahan Uji.....	36
3.8 Analisa Kekasaran .....	37
3.9 Analisa Kekerasan .....	37
3.10 Analisa Morfologi Menggunakan Mikroskop Optik.....	38
3.11 Analisa Morfologi Menggunakan SEM.....	39
3.12 Analisa dengan Alat XRD .....	40
<b>4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>41</b>
4.1 Identifikasi Baja API 5L GRB N.....	41
4.1.1 Verifikasi Bahan Uji terhadap Standar API.....	41
4.1.2 Identifikasi Menggunakan XRD.....	42
4.2 Laju Korosi dan Efisiensi Inhibisi Uji Polarisasi .....	44
4.3 Analisa Kurva Polarisasi.....	47
4.3.1 Polarisasi Katodik.....	47
4.3.2 Polarisasi Anodik.....	52
4.3.2.1 Interaksi Inhibitor dengan Baja.....	53
4.3.2.2 Pembentukan Senyawa Oksida .....	54
4.4 Efisiensi Inhibisi pada Uji Rendam .....	55
4.5 Mekanisme Adsorpsi .....	58
4.6 Uji Kekerasan .....	62
4.7 Uji Kekasaran .....	64
4.8 Analisa Menggunakan Mikroskop Optik.....	65
4.9 Analisa Menggunakan SEM.....	65
<b>5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>68</b>
5.1 Kesimpulan .....	68
5.2 Saran-Saran.....	68
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>69</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>71</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Reaksi Oksidasi dan Reduksi pada Logam .....	6
Gambar 2.2	Sel Elektrokimia .....	8
Gambar 2.3	Contoh Skematik Korosi Permukaan Besi dalam Lingkungan Berair.....	11
Gambar 2.4	Grafik Laju Korosi terhadap pH Larutan .....	12
Gambar 2.5	Grafik Laju Korosi terhadap Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	13
Gambar 2.6	Penampang Lintang Pola Korosi Merata.....	15
Gambar 2.7	Gambar Skematik Contoh Proses Korosi Erosi.....	15
Gambar 2.8	Gambar Skematik Korosi Celah.....	16
Gambar 2.9	Gambar Skematik Korosi Batas Butir .....	16
Gambar 2.10	Gambar Skematik Contoh Pola Korosi Selektif.....	17
Gambar 2.11	Gambar Skematik Contoh Korosi Mikrobiologikal .....	17
Gambar 2.12	Gambar Skematik Korosi Cekungan.....	18
Gambar 2.13	Gambar Skematik Korosi Galvani .....	18
Gambar 2.14	Gambar Skematik Korosi Sumuran.....	19
Gambar 2.15	Gambar Skematik Contoh Pola Korosi Retak Tegang.....	19
Gambar 2.16	Gambar Skematik Pola Korosi Perusakan Hidrogen .....	20
Gambar 2.17	Struktur Molekul <i>Aniline-4-Sulfonate</i> .....	21
Gambar 2.18	Kurva Polarisasi pada Korosi Baja.....	23
Gambar 2.19	Kurva Ekstrapolasi Tafel.....	23
Gambar 2.20	Skema Cara Kerja SEM dan contoh morfologi permukaan sampel yang diamati .....	30
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	29
Gambar 3.2	Baja API 5L GRB N.....	30
Gambar 3.3	<i>Anilin-4-Sulfonate (Sulfanilic Acid)</i> .....	31
Gambar 3.4	Asam sulfat ( <i>Sulphuric Acid</i> ) .....	32
Gambar 3.5	Mesin Pemotong Baja .....	33
Gambar 3.6	Proses Perendaman.....	34
Gambar 3.7	Potensiostat.....	35
Gambar 3.8	Mesin Bubut untuk Pembuatan Sampel .....	35
Gambar 3.9	Peralatan Preparasi Uji Tarik .....	36
Gambar 3.10	Ukuran Sampel untuk Uji Tarik .....	36
Gambar 3.11	<i>Surface Roughness Tester</i> Merk <i>Surtronic-25</i> .....	37
Gambar 3.12	Gambar Skematik Alat Uji Kekerasan <i>Micro Hardness Tester</i> .....	38
Gambar 3.13	Mikroskop Optik untuk Analisa Morfologi.....	38
Gambar 3.14	Sampel untuk Alat SEM.....	39

Gambar 4.1	Pola Difraksi Sinar-X Sampel API 5L GRB N .....	42
Gambar 4.2	Hasil <i>Refinement</i> Pola Difraksi Sinar-X Sampel API 5L GRB N .....	43
Gambar 4.3	Grafik Laju Korosi Terhadap Konsentrasi <i>Anilin-4-Sulfonate</i> .....	45
Gambar 4.4	Grafik Efisiensi Inhibisi terhadap Konsentrasi <i>Aniline-4-Sulfonate</i> .....	46
Gambar 4.5	Grafik Potensial Katoda Terhadap Konsentrasi Inhibitor Korosi <i>Aniline-4-Sulfonate</i> .....	48
Gambar 4.6	Foto Pelepasan Gas Hidrogen yang Berkurang dengan Bertambahnya Konsentrasi Inhibitor pada Uji Rendam.....	49
Gambar 4.7	Mekanisme Pengikatan Ion Hidrogen yang Terjadi pada Inhibitor Korosi <i>Aniline-4-Sulfonate</i> Berdasarkan Konsep Asam-Basa Lewis.....	50
Gambar 4.8	Grafik Perubahan Potensial Anoda Terhadap Bertambahnya Inhibitor Korosi <i>Aniline-4-Sulfonate</i> .....	52
Gambar 4.9	Model Interaksi pada Adsorpsi <i>Aniline-4-Sulfonate</i> di Permukaan Baja.....	54
Gambar 4.10	Model Ikatan $\pi$ <i>Aniline-4-Sulfonate</i> pada Permukaan Baja	54
Gambar 4.11	Kurva Polarisasi pada Sampel Baja API 5L GRB N dalam Larutan Korosif Asam Sulfat 1 M Tanpa Inhibitor.	55
Gambar 4.12	Pola Korosi Lubangan dan Sumuran.....	55
Gambar 4.13	Kurva Polarisasi pada Sampel Baja API 5L GRB N dalam Larutan Asam Sulfat 1 M Menggunakan Inhibitor.	56
Gambar 4.14	Kurva Hasil Uji Polarisasi dan Uji Rendam Baja API 5L GRBN dalam Larutan Asam Sulfat 1 M .....	58
Gambar 4.15	Kurva Isoterm Adsorpsi Langmuir.....	59
Gambar 4.16	Kurva Energi Bebas Adsorpsi Terhadap Efisiensi Inhibisi	61
Gambar 4.17	Grafik Nilai Kekerasan terhadap Efisiensi Inhibisi dan Nilai Kekerasan terhadap Konsentrasi.....	63
Gambar 4.18	Grafik Nilai Kekasaran terhadap Efisiensi Inhibisi.....	64
Gambar 4.19	Foto Mikroskop Optik Permukaan Baja API 5L GRB N yang Terkorosi dalam Asam Sulfat 1 M Tanpa Inhibitor dan Menggunakan Inhibitor $24,06 \times 10^{-3} \text{M}$ .....	65
Gambar 4.20	Foto SEM Permukaan Baja API 5L GRB N yang Terkorosi dalam Larutan Asam Sulfat 1 M Tanpa Inhibitor dan Menggunakan Inhibitor .....	66

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Potensial Reduksi Standar di Dalam Larutan Air .....	7
Tabel 2.2 Standar API untuk Komposisi Kimia dan Uji Tarik Baja API 5L GRB N .....	10
Tabel 4.1 Standar baja API 5L GRB N dan Hasil Pengujian Sampel....	41
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian dengan XRD .....	43
Tabel 4.3 Hasil Analisis Laju Korosi Baja API 5L GRB N Dalam Larutan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1 M dengan Berbagai Konsentrasi Inhibitor <i>Aniline 4-Sulfonate</i> .....	44
Tabel 4.4 Efisiensi Inhibisi <i>Anilin-4-Sulfonate</i> terhadap Berbagai Konsentrasi Inhibitor <i>Aniline-4-Sulfonate</i> .....	46
Tabel 4.5 Perubahan Potensial Katoda dan Anoda pada Berbagai Konsentrasi Inhibitor <i>Aniline-4-Sulfonate</i> .....	47
Tabel 4.6 Data Hasil Pengujian dengan Metoda Uji Rendam ( <i>Immersion Test</i> ) .....	57
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Energi Bebas pada Berbagai Nilai Efisiensi Inhibisi .....	60
Tabel 4.8 Nilai Kekerasan Inhibisi pada Konsentrasi dan Efisiensi Inhibisi.....	63
Tabel 4.9 Nilai Kekasaran terhadap Konsentrasi dan Efisiensi Inhibisi..	64

# B A B 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Baja merupakan jenis material dengan kandungan bahan utama besi. Fungsi penting baja diantaranya adalah sebagai bahan untuk pembangunan infrastruktur dan fasilitas yang diperlukan dalam kehidupan manusia seperti penopang bangunan, jembatan, kendaraan transportasi, instalasi pabrik, pipa minyak dan lain sebagainya. Dari semua keunggulan tersebut, terdapat ancaman yang belum dapat dihilangkan sama sekali yaitu terjadinya proses korosi pada baja.

Pada penelitian ini penulis menggunakan *aniline-4-sulfonate* sebagai inhibitor korosi terhadap baja API 5L GRB N di dalam larutan asam sulfat 1 M. Pemilihan inhibitor *anilin-4-sulfonate* didasari pada kenyataan bahwa bahan-bahan dasar pembuatan *aniline-4-sulfonate* yaitu *aniline* dapat diperoleh dari limbah (*by product*) *coal tar*. Sulfonat dapat diperoleh dari oksidasi belerang yang merupakan sumber daya alam yang cukup banyak di Indonesia. Dengan sumber bahan baku yang berlimpah ini, maka *aniline-4-sulfonate* cukup potensial untuk diproduksi secara massal. Manfaat lain dari *aniline* adalah sebagai bahan baku pembuatan polimer konduktif, sensor gas beracun, elektroda fleksibel, tameng elektromagnet (*electromagnetic shielding*) dan masih banyak manfaat lainnya.

Korosi selalu terjadi dalam jumlah besar atau kecil, terlihat atau tidak terlihat. Yang dapat dilakukan adalah menghambat laju korosi agar masa pakai baja menjadi lebih lama. Pencucian asam (*pickling*) merupakan salah satu bagian dari usaha pencegahan dan pemeliharaan baja dari bahaya korosi. Salah satu cairan yang umum digunakan dalam proses pickling adalah larutan asam sulfat 1 M (Chitra, S. et al., 2010). Pencucian asam juga dapat mengakibatkan korosi. Salah satu cara menekan dampak negatif pada pencucian asam adalah dengan menggunakan inhibitor. Inhibitor korosi dapat disintesis dari bahan baku murah atau senyawa kimia yang mengandung grup fungsional elektronegatif dan elektron- $\pi$ , rangkap tiga atau ikatan ganda terkonjugasi (Eddy et al., 2009).

## 1.2 Perumusan Masalah

Pencegahan korosi pada baja API 5L GRB N, khususnya terhadap larutan asam sulfat 1 M yang sering digunakan dalam proses *pickling*, menggunakan inhibitor *aniline-4-sulfonate*.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Dari uraian di atas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengevaluasi laju korosi baja API 5L GRB N dalam larutan asam sulfat 1 M menggunakan inhibitor korosi *aniline-4-sulfonate*.
2. Mengidentifikasi mekanisme inhibisi yang dilakukan inhibitor *aniline-4-sulfonate* pada permukaan baja API 5L GRB N dalam larutan korosif asam sulfat 1 M.
3. Mengetahui kemampuan inhibitor *aniline-4-sulfonate* dalam menekan kerusakan pada sifat kekerasan (*hardness*) dan kerusakan pada sifat kekasaran (*roughness*) akibat korosi yang terjadi pada baja API 5L GRB N di dalam larutan asam sulfat 1 M.

## 1.4 Manfaat Penelitian

1. Dengan mengetahui kemampuan inhibisi *aniline-4-sulfonate* sebagai inhibitor dalam mengurangi laju korosi pada baja API 5L GRB N dalam larutan asam sulfat 1 M, maka diharapkan para praktisi dapat menggunakan inhibitor ini sebagai bahan utama atau bahan campuran inhibitor dalam proses *pickling*.
2. Dengan mengetahui fungsi *aniline-4-sulfonate* sebagai inhibitor, maka pengetahuan akan pemanfaatan limbah *coal tar* sebagai bahan baku *aniline* dapat bertambah.

## 1.5 Hipotesis

*Aniline-4-sulfonate* yang mengandung heteroatom dan elektron  $\pi$  pada cincin aromatik dapat melakukan menginhibisi korosi baja API 5L GRB N dengan mekanisme adsorpsi.

## 1.6 Batasan Masalah

- Pencegahan korosi baja API 5L GRB N dalam larutan asam sulfat 1 M menggunakan inhibitor *aniline-4-sulfonate*.
- Evaluasi laju korosi dengan metoda uji perendaman (*immersion test*) dan polarisasi menggunakan alat potensiostat.
- Evaluasi pengaruh korosi terhadap morfologi permukaan, kekerasan dan kekasaran bahan uji sebelum dan sesudah menggunakan inhibitor.

## 1.7 Sistematika Penulisan

1. Bab 1 dengan judul *Pendahuluan* yang terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan dan sistematika penulisan.
2. Bab 2 dengan judul *Tinjauan Pustaka* yang memberikan uraian teori yang diperlukan untuk memahami tentang reaksi oksidasi dan reduksi, proses korosi pada baja, sifat-sifat inhibitor dan interaksinya dengan baja dalam menghambat proses korosi dalam larutan asam sulfat.
3. Bab 3 dengan judul *Metode Penelitian* berisikan keterangan tempat dilakukannya percobaan, diagram alir penelitian, deskripsi mengenai langkah-langkah yang dilakukan dalam penyiapan sampel, melakukan percobaan, dan pengambilan data.
4. Bab 4 dengan judul *Hasil dan Pembahasan* yang berisikan data-data hasil penelitian yang disertai analisis.
5. Bab 5 dengan judul *Kesimpulan dan Saran* yang berisikan hasil penting dari rangkaian analisis sesuai tujuan dilakukannya penulisan ini, berikut saran dan peluang-peluang pengembangan yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya.

## B A B 2

### TINJAUAN PUSTAKA

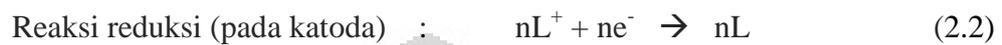
Pada bab ini akan dipaparkan garis besar mengenai dasar teori berkenaan dengan penelitian yang dilakukan. Adapun dasar teori tersebut antara lain adalah mengenai korosi, inhibisi, dan beberapa teori korosi terkait dengan peralatan yang digunakan dalam analisa dan karakterisasi proses dan hasil korosi.

#### 2.1 Teori Korosi

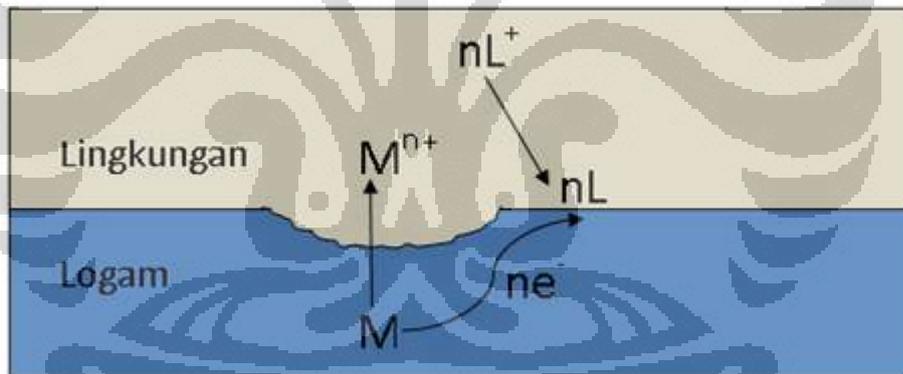
Korosi merupakan peristiwa yang sering kita temukan dalam kehidupan sehari-hari dimana logam mengalami perubahan penampilan dan bentuk yang diikuti munculnya senyawa baru yang umumnya tidak dikehendaki. Didalam kehidupan sehari-hari kita juga sering mendengarkan istilah karat. Karat merupakan istilah yang secara umum digunakan sebagai nama dari senyawa oksida berwarna merah kecoklatan hasil dari proses korosi yang terjadi pada besi. *National Association of Corrosion Engineers (NACE) International* mendefinisikan korosi sebagai kerusakan atau degradasi sifat-sifat logam yang disebabkan oleh lingkungan korosif. Trethewey (1991) mengemukakan bahwa korosi merupakan proses penurunan mutu logam akibat reaksi elektro kimia dengan lingkungannya. Supardi (1997) memberikan definisi bahwa korosi adalah proses perusakan bahan yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan sekelilingnya.

Proses korosi logam pada dasarnya terjadi secara elektrokimia yang berlangsung pada daerah anoda dan katoda dengan membentuk rangkaian arus tertutup (Fontana, 1987). Adanya reaksi elektrokimia yang terdiri dari reaksi reduksi dan reaksi oksidasi melibatkan suatu proses transfer elektron dari logam ke lingkungannya. Proses ini menghasilkan perubahan bilangan oksidasi logam dari nol menjadi bermuatan positif. Naiknya bilangan oksidasi logam dari nol menjadi bermuatan positif menyebabkan logam dapat larut sebagai kation didalam larutan yang bersifat polar. Arus yang mengalir merupakan pergerakan elektron yang terjadi selama reaksi elektrokimia berlangsung akibat perbedaan potensial antara anoda dan katoda.

Dengan demikian proses korosi merupakan proses terjadinya perubahan sebagian logam menjadi kationnya sehingga terjadi penurunan kualitas dan bahkan dapat menyebabkan logam tidak dapat berfungsi sebagaimana maksud dan tujuan penggunaannya semula.



Korosi melibatkan pergerakan ion logam ke dalam larutan pada anoda dan pertukaran elektron dari logam kepada katoda (Evans dkk, 1976). Reaksi elektrokimia yang terjadi antara anoda dan katoda merupakan reaksi oksidasi dan reduksi yang tidak akan berhenti sebelum tercapai kesetimbangan dimana reaksi tersebut dipandang sebagai satu kesatuan sistem reaksi.



Gambar 2.1. Reaksi oksidasi dan reduksi pada logam

Hal ini dapat terjadi apabila produk-produk hasil reaksi memiliki energi potensial atau energi bebas yang lebih rendah dibanding reaktan. Secara umum reaksi oksidasi dan reduksi yang terjadi pada logam dapat dituliskan seperti pada persamaan reaksi (2.1) dan (2.2) dan digambarkan secara skematik pada Gambar 2.1. Apabila reaksi oksidasi yang terjadi di atas berlangsung pada media air produk hasil reaksi yang bersifat ionik akan terhidrasi atau larut didalam air.

Transfer elektron pada suatu elektroda memiliki batasan tertentu. Jika pada salah satu elektroda mengalami kejenuhan elektron, maka daerah disekitar elektroda mengalami suatu kondisi yang disebut polarisasi katodik. Polarisasi katodik terjadi akibat sistem tidak dapat mengalirkan elektron secara optimal dari jumlah elektron yang dapat dialirkan oleh elektroda. Peristiwa polarisasi umumnya terjadi pada permukaan elektroda dan lapisan disekitar antar muka elektroda dan lingkungan. Halangan dapat berupa pasifasi permukaan akibat terbentuknya lapisan oksida atau pembentukan lapisan adsorpsi senyawa inhibitor yang menghambat reaksi oksidasi. Dalam kondisi ini anoda dikatakan dalam keadaan terinhibisi secara anodik (*anodic inhibition*) yang dapat mengakibatkan polarisasi anodik. Hal serupa juga dapat terjadi pada katoda dimana reaksi reduksi terhambat yang dapat berakibat polarisasi katodik. Dalam kondisi seperti ini sistem berada dalam keadaan terinhibisi secara katodik (*cathodic inhibition*).

Reaksi elektrokimia yang terjadi pada daerah antar muka dapat mengalami polarisasi baik pada reaksi oksidasi dan reaksi reduksi pada satu proses reaksi elektrokimia, sehingga sistem terhambat (terinhibisi) secara katodik dan anodik pada saat bersamaan. Potensial yang diperlukan untuk mengatasi halangan relatif sehingga tercapai potensial dimana reaksi elektrokimia dapat berlangsung disebut potensial polarisasi. Potensial yang melebihi potensial polarisasi sistem disebut potensial lebih (*over potential*).

“Potensial lebih” banyak dikaji pada sel elektrolisis sebagai salah satu jenis sel elektrokimia yang memanfaatkan energi listrik untuk menghasilkan reaksi kimia tertentu seperti pada proses elektrodposisi. Pada sistem sel elektrokimia, elektroda anoda dan elektroda katoda dapat berada pada tempat yang terpisah. Suatu penghubung konduktif digunakan untuk mengalirkan elektron yang terlibat dalam reaksi oksidasi dan reduksi (Gambar 2.2). Sedangkan produk-produk ionik dapat disetimbangkan menggunakan suatu penghubung yang disebut jembatan garam (*salt bridge*). Apabila elektroda berada dalam satu larutan maka produk-produk ionik akan setimbang dengan sendirinya. Persamaan reaksi pada reaksi oksidasi dan reaksi reduksi dapat disetimbangkan dengan prinsip kekekalan masa dan muatan.

## 2.2 Termodinamika Korosi

Pergerakan elektron ini dipicu oleh adanya perbedaan potensial elektrokimia hasil penjumlahan dari potensial reaksi yang terjadi pada anoda dan potensial reaksi yang terjadi pada katoda. Perbedaan potensial ini menimbulkan gaya dorong (*driving force*) sehingga terjadi pasangan reaksi oksidasi dan reduksi. Potensial standar reduksi untuk reaksi yang terkait dengan proses korosi dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Potensial reduksi standar dalam larutan air.

Reaksi Reduksi (stengah reaksi sel)	Potensial Standar, $E^{\circ}$ (Volt)
$O_2(g) + 2 H_2O(l) + 4e^- \leftrightarrow 4 OH^-(aq)$	+ 0,40
$Fe^{3+}(aq) + e^- \leftrightarrow Fe^{2+}(aq)$	+ 0,771
$2 H_3O^+(aq) + 2e^- \leftrightarrow H_2(g) + 2 H_2O(l)$	+ 0,00
$Fe^{2+}(aq) + 2e^- \leftrightarrow Fe(s)$	- 0,44
$2 H_2O(l) + 2e^- \leftrightarrow H_2(g) + 2 OH^-(aq)$	- 0,8277

Apabila energi bebas dari produk reaksi lebih kecil dari pada energi bebas reaktan, maka perubahan energi bebas dari reaksi tersebut negatif. Secara termodinamika, perubahan energi bebas yang bernilai negatif dalam suatu reaksi menandakan bahwa reaksi tersebut dapat berjalan secara spontan. Hubungan perubahan energi bebas dengan potensial reaksi elektrokimia berikan pada persamaan (5).

$$\Delta G = - n F E \quad (2.3)$$

Dimana :

$n$  = jumlah ekuivalen perubahan elektron pada reaksi (dilihat dari valensi ion)

$F$  = konstanta Faraday = 96500 Coulomb

$E$  = Potensial reduksi standar

Untuk mengetahui arah reaksi yang terjadi maka dapat dinyatakan bahwa potensial reaksi suatu reaksi elektrokimia merupakan penjumlahan dari potensial reaksi anodik ditambah potensial reaksi katodik.

$$E = E_a + E_c \quad (2.4)$$

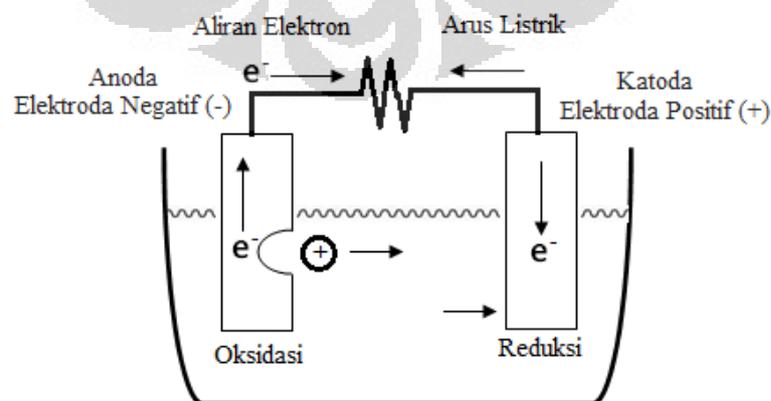
Dimana:

$E$  = potensial reaksi elektrokimia

$E_a$  = potensial reaksi oksidasi

$E_c$  = potensial reaksi reduksi

Dengan membalik arah reaksi, maka nilai potensial reaksi akan berubah dari positif menjadi negatif atau sebaliknya. Dengan mengatur arah reaksi dari kedua reaksi, oksidasi dan reduksi, akan diperoleh arah reaksi gabungan yang dapat menjadi pasangan reaksi oksidasi dan reduksi dimana kedua reaksi tersebut dapat berjalan spontan. Pasangan reaksi oksidasi dan reduksi dapat berjalan secara spontan apabila jumlah potensial reaksi oksidasi pada anoda dan potensial reaksi reduksi pada katoda bernilai positif (persamaan 2.4) sehingga nilai perubahan energi bebas pada persamaan (2.3) bernilai negatif. Perubahan energi bebas yang bernilai negatif pada suatu reaksi elektrokimia memberikan arti bahwa reaksi dapat berjalan spontan dalam kondisi tidak terdapat energi aktivasi dan tidak terdapat potensial polarisasi pada masing-masing reaksi oksidasi dan reduksi.



Gambar 2.2 Sel elektrokimia.

## 2.3 Korosi Baja

Baja merupakan material yang terbentuk dari paduan dua unsur atau lebih dimana unsur besi merupakan unsur penyusun utama terbesar. Secara umum, komposisi unsur dalam baja akan menentukan sifat baja. Perbedaan ini kemudian dinotifikasi dalam bentuk penamaan tipe baja yang mengacu pada suatu lembaga standarisasi internasional. Adapun kandungan karbon di dalam baja karbon dapat berkisar dari 0.2% hingga sekitar 2.1% berat. Selain unsur karbon, terdapat unsur lainnya yang biasa ditambahkan seperti mangan, krom, vanadium dan tungsten. Dalam paduan baja, unsur-unsur ini dapat memberikan perubahan sifat dan kualitas baja. Pengaturan kandungan karbon dan unsur tambahan lainnya dapat menghasilkan baja dengan sifat dan kualitas tertentu.

Baja karbon rendah dapat memiliki kandungan karbon sebesar 0,05 % berat - 0,30 % berat. Baja karbon sedang (*medium carbon steel*) mengandung unsur karbon kira-kira 0,2 % berat - 0,60 % berat. Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) mengandung unsur karbon sekitar 0,60 % berat sampai dengan 1,4 % berat dan memiliki karakter keras dan kuat dengan keuletan rendah.

Penambahan unsur paduan pada baja dapat memperbaiki sifat kekerasan, kekuatan, ketangguhan, daya tahan terhadap gesekan, sifat magnet dan ketahanan terhadap korosi. Unsur paduan yang meningkatkan kekuatan sambungan las adalah vanadium, sirkonium, sesium, kobal, molibden, aluminium, nikel, mangan dan tungsten. Unsur mangan dapat meningkatkan kekerasan, ketahanan abrasi dan kekuatan. Silicon dapat menaikkan kekerasan dan elastisitas tetapi menurunkan kekuatan tarik dan keuletannya. Krom dapat meningkatkan ketahanan korosi dengan membentuk lapisan pasivasi berupa oksida yang bersifat protektif pada permukaan baja. Kekuatan tarik dan batas mulur dapat ditingkatkan dengan penambahan unsur vanadium. Karbida yang terbentuk dengan penambahan vanadium 0,04 – 0,05 % relatif kuat dan stabil. Penambahan yang berlebihan dapat membentuk karbida yang tidak larut sehingga dapat menurunkan kekerasan baja.

### 2.3.1 Karakteristik Baja API 5L GRB N

Baja API 5L GRB N adalah baja yang digunakan untuk perpipaan dan diproduksi berdasarkan standar API (*American Petroleum Institute*). Baja API 5L

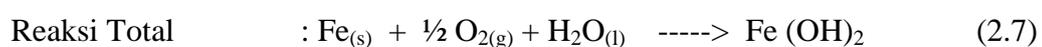
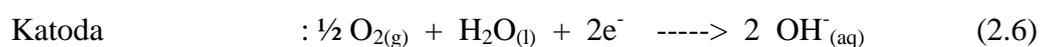
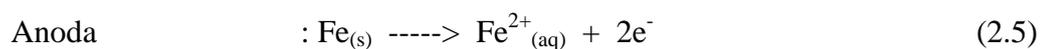
GRB N mempunyai kadar karbon sebesar 0,3 % berat (data jurnal *Iscor Flat Steel*) dan tergolong dalam baja karbon sedang. Komposisi kimia dan tes tarik untuk jenis baja API 5L GRB N dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Standar API untuk komposisi kimia dan uji tarik baja API 5L GRB B N.

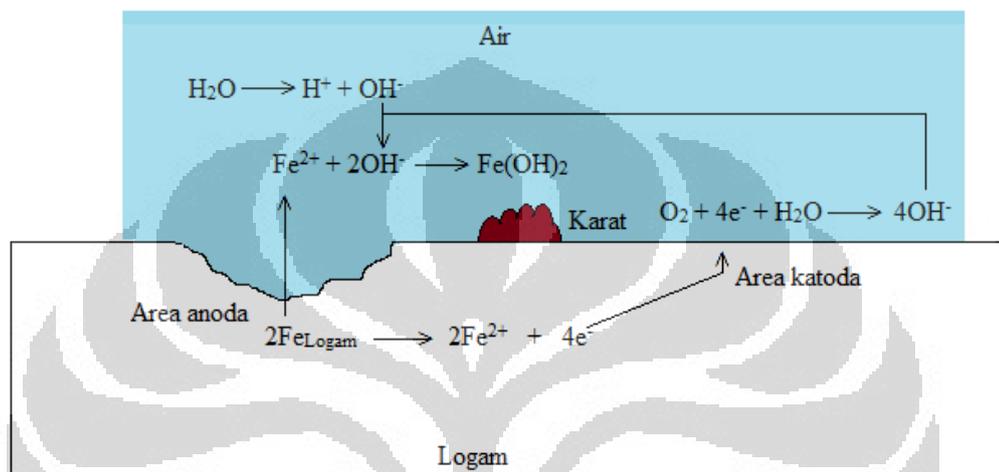
Kelas baja (nama baja)	API 5L GRB N	
Fraksi massa, berdasarkan pada analisa panas dan analisa produk (% maksimum)	C	0,24
	Si	0,40
	Mn	1,20
	P	0,025
	S	0,015
	V (+ Nb)	≤ 0,06
	Nb (+ V)	≤ 0,06
	Ti	0,04
	Other (Nb+V)	≤ 0,06
% maksimum ekivalen karbon	CE <sub>IW</sub>	0,43
	CE <sub>Pem</sub>	0,25
<i>Yield Strength</i> , Mpa (Psi)	min	245 (35.000)
	maks	450 (65.300)
<i>Tensile Strength</i> , Mpa (Psi)	min	415 (60.200)
	maks	760 (110 200)
Rasio	maks	0,93
Elongation	% min	persetujuan

### 2.3.2 Reaksi Korosi Pada Baja

Baja yang terpapar pada udara terbuka dapat mengalami korosi merata (*general corrosion*) yang dimulai dengan terbentuknya oksida hidrat karena pengaruh kelembaban dan oksigen. Reaksi-reaksi yang dapat terjadi diuraikan pada persamaan (2.5), (2.6) dan (2.7).



Produk ini dapat berupa hidrat dan anhidrat. Bila lingkungan bersifat higroskopis maka besi hidroksida akan mengikat air dan terbentuklah besi oksida hidrat ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ). Oksida besi bersifat porous dan tidak protektif terhadap logam besi dibawahnya. Pembentukan besi hidroksida pada lingkungan berair dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Contoh skematik korosi permukaan besi dalam lingkungan berair.

### 2.3.3 Korosi Baja Dalam Larutan Asam Sulfat

Salah satu media korosif yang dapat menyebabkan terjadinya korosi adalah larutan asam. Larutan asam mengandung ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) yang berperan penting dalam reaksi oksidasi besi. Dalam peristiwa perkaratan yang umum terjadi, logam besi bertindak sebagai anoda yang mengalami reaksi oksidasi membentuk oksida dengan rumus kimia  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  yang berwarna merah kecoklatan.

Elektron yang dibebaskan pada reaksi oksidasi digunakan pada bagian lain yang disebut katoda untuk menjalani reaksi reduksi. Pada peristiwa perkaratan yang umum terjadi pada kondisi lembab atau berair, reaksi reduksi dialami oleh unsur oksigen yang selanjutnya membentuk ion hidroksida atau dalam kondisi terdapat ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) akan bereaksi membentuk air. Didalam larutan asam sulfat, reaksi oksidasi dan reduksi dapat terjadi dengan cukup intensif dimana ion hidrogen tereduksi menjadi gas hidrogen.

Penambahan valensi terjadi pada unsur besi (Fe) yang ditandai dengan produksi elektron yang bermuatan negatif sehingga mengakibatkan besi menjadi bentuk ion positifnya ( $\text{Fe}^{2+}$ ). Istilah lain dari reaksi ini adalah reaksi anodik. Sedangkan pada sisi lain terjadi reaksi yang disebut reaksi katodik dimana terjadi reduksi yang menyebabkan perubahan valensi terhadap ion hidrogen yang bermuatan positif ( $\text{H}^+$ ) menjadi gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ) yang tidak bermuatan dengan menerima elektron yang dihasilkan pada reaksi anodik.

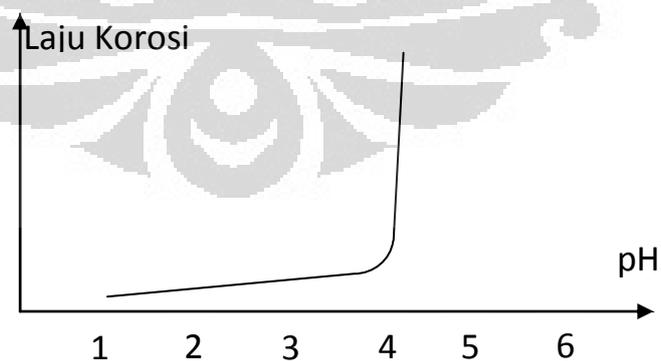
Dalam larutan asam sulfat ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) hadir dalam bentuk senyawa  $\text{H}_2\text{SO}_4$  sehingga secara keseluruhan reaksi tersebut dapat ditulis:



Atau dengan menggabungkan ion yang ada dalam bentuk senyawanya, persamaan di atas dapat langsung ditulis menjadi:



Ion sulfat dalam hal ini tidak mengalami perubahan sehingga dalam beberapa persamaan reaksi ion sulfat sering tidak ditulis. Dengan demikian maka pada reaksi korosi akan ada sepasang reaksi. Pasangan reaksi tersebut adalah reaksi oksidasi dan reaksi reduksi.

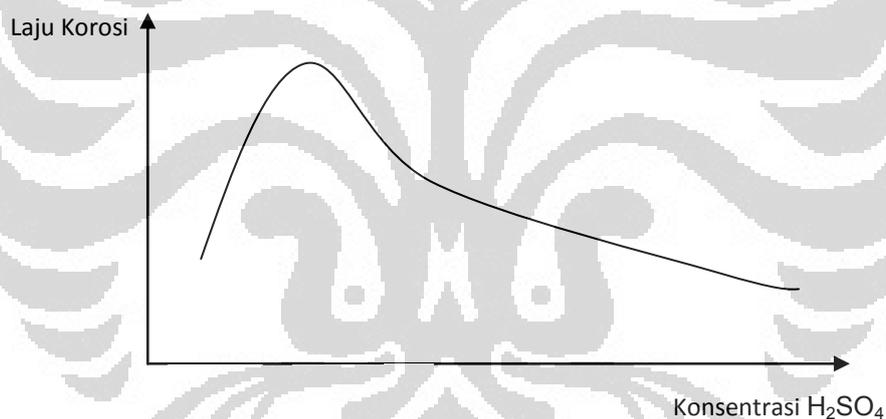


Gambar 2.4 Grafik laju korosi terhadap pH larutan

Reaksi korosi dalam interaksinya larutan asam sulfat secara fisik terjadi pada permukaan besi yang kontak langsung dengan larutan asam sulfat. Proses ini

terjadi sampai besi menjadi ion besi ( $\text{Fe}^{2+}$ ) yang untuk selanjutnya mengalami proses solvasi (pelarutan) dan tertarik ke dalam larutan karena bermuatan positif. Proses ini membuat atom besi yang berada dibawahnya menjadi terbuka dan mengalami kontak dengan larutan korosif asam sulfat untuk selanjutnya mengalami reaksi oksidasi dan akhirnya terlarut. Hal ini terjadi terus menerus sehingga merusak logam besi.

Pada Gambar 2.4 terlihat adanya korelasi antara kecepatan reaksi korosi dengan jumlah ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) dalam larutan yang telah dilakukan oleh Whitman dan Russel (Supardi, 1987), dimana keasaman mempengaruhi kecepatan korosi dengan cara yang tidak linier. Berkurangnya konsentrasi asam sulfat dari pH 1 menjadi pH 4 mengakibatkan terjadinya reaksi korosi sehingga terjadi lonjakan kecepatan korosi pada keasaman sekitar pH 4, sedangkan pada pH 1 dimana konsentrasi ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) sangat banyak, kecepatan jauh lebih rendah.



Gambar 2.5 Grafik laju korosi terhadap konsentrasi  $\text{H}_2\text{SO}_4$

Pada persamaan reaksi oksidasi dan reduksi, ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) bertindak sebagai oksidator dengan menerima elektron dan berevolusi menjadi gas hidrogen, sehingga jumlah ion ini dalam larutan akan mempengaruhi kesetimbangan reaksi. Apabila keberadaan ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) dinyatakan dalam bentuk konsentrasi asam sulfat, maka Fontana (1987) memberikan korelasi kecepatan korosi terhadap konsentrasi asam sulfat seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.5. Fenomena ini memperlihatkan bahwa ion hidrogen yang terlalu tinggi atau terlalu rendah akan memperlambat reaksi korosi.

### 2.3.4 Proses Pencucian Asam (*Pickling*)

Pembersihan permukaan baja sering dilakukan untuk berbagai tujuan atau sebagai syarat untuk melakukan proses selanjutnya seperti pelapisan (*coating*). Pembersihan permukaan dilakukan agar permukaan logam dapat melakukan kontak dengan material pelapis. Proses pembersihan permukaan logam dengan larutan asam disebut pencucian asam (*pickling*). Proses pencucian asam dilakukan dengan tujuan agar permukaan logam bersih dari kotoran dan oksida, sehingga permukaan logam dapat melakukan kontak dengan material pelapis. Larutan yang umum digunakan pada proses pencucian asam antara lain menggunakan larutan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ), asam klorida (HCL), asam fluorida (HF) atau campuran larutan asam dengan senyawa kimia lainnya.

Disamping manfaat yang didapat dari proses pencucian asam, terdapat dampak negatif yang timbul berupa terjadinya oksidasi akibat kontak permukaan logam dengan dengan larutan asam yang digunakan. Oleh karena itu, berbagai usaha dilakukan untuk meningkatkan manfaat dan menekan dampak negatif dari proses pencucian asam, diantaranya adalah menggunakan inhibitor untuk melindungi logam dari proses oksidasi akibat larutan asam yang digunakan dalam proses pencucian asam.

## 2.4 Korosi dan Penanggulangannya

Dengan digunakannya besi diberbagai aspek kehidupan, mulai dari jembatan, konstruksi, peralatan pabrik, perangkat industri, pertahanan, fasilitas sosial dan lain-lain, maka bahaya akibat korosi yang terjadi pada besi juga akan mencakup berbagai aspek kehidupan pribadi, masyarakat dan negara. Berbagai jenis korosi telah diidentifikasi oleh para peneliti dan sejauh ini cara-cara penanggulangannya telah diupayakan untuk terus dikembangkan. Jenis-jenis korosi dan penanggulangannya dipaparkan pada uraian berikut ini.

### 2.4.1 Jenis-Jenis Korosi dan Penanggulangannya

1. Korosi merata (*uniform corrosion*). Korosi yang terjadi secara merata pada permukaan logam yang mengakibatkan berkurangnya ketebalan logam.

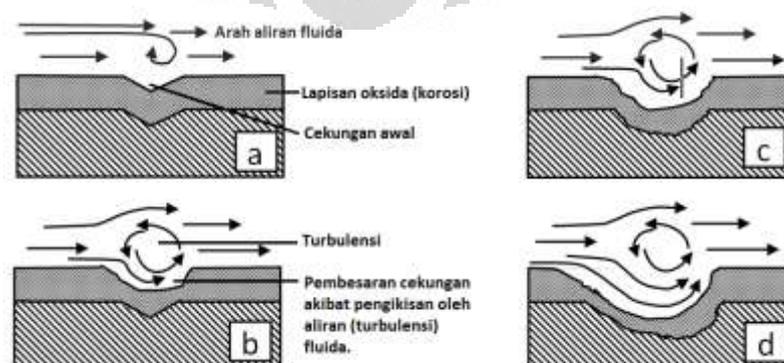
Penanggulangannya dapat berupa, penggunaan inhibitor dan melakukan pelapisan permukaan (*coating*).



Gambar 2.6 Penampang lintang pola korosi merata.

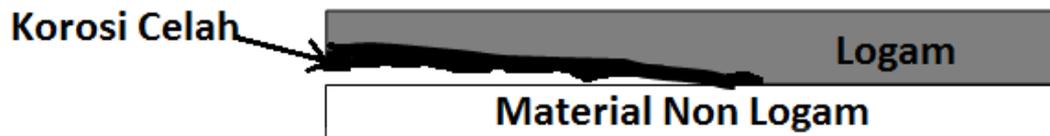
2. Korosi erosi (*erosion corrosion*). Ketika fluida yang mengalir dalam sebuah pipa dihalangi karena adanya perubahan arah secara lokal, komponen kecepatan normal (yang tegak lurus pada dinding pipa) akan muncul, hasilnya berupa tumbukan berulang-ulang pada dinding pipa. Kerusakan erosi pada pipa disebabkan oleh “bombardemen” berulang-ulang oleh partikel cairan dan padatan (Yudi M., 2002).

Keadaan semakin parah apabila gesekan mekanis disertai dengan reaksi oksidasi secara bersamaan, sehingga mempercepat penipisan lokal dengan pola tertentu yang dapat berbentuk lurus atau lubangan akibat turbulensi aliran fluida pada area tertentu. Penanggulangan dapat dilakukan dengan penggunaan inhibitor dalam fluida, pelapisan, pengaturan kecepatan aliran fluida, pembersihan partikel dalam fluida, perlindungan ekstra seperti penggunaan material khusus pada daerah yang mengalami gesekan lebih tinggi seperti pada tikungan (*elbow*) dan area sambungan.



Gambar 2.7 Gambar skematik contoh proses korosi erosi.

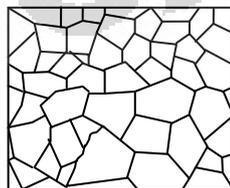
3. Korosi celah (*crevic corrosion*). Korosi yang terjadi pada celah antara logam dan material lain sehingga mempengaruhi konsentrasi kimia pada lingkungan sekitar celah yang kontak dengan logam.



Gambar 2.8 Gambar skematik korosi celah.

Kondisi yang dapat menyebabkan korosi celah adalah konsentrasi oksigen, kelembaban dan pH. Perbedaan konsentrasi ini menyebabkan terbentuknya anoda dan katoda sehingga terjadi reaksi elektrokimia yang mengakibatkan korosi. Contoh kondisi celah antara lain adalah sambungan pipa, celah ring baut dan celah antara gasket dan logam. Untuk menanggulangi korosi ini adalah dengan menghindari terbentuknya celah seperti penutupan dengan resin, penggunaan gasket yang rapat dan kedap udara, pelapisan daerah antar muka material sebelum digunakan dan menjaga daerah celah agar tetap kering.

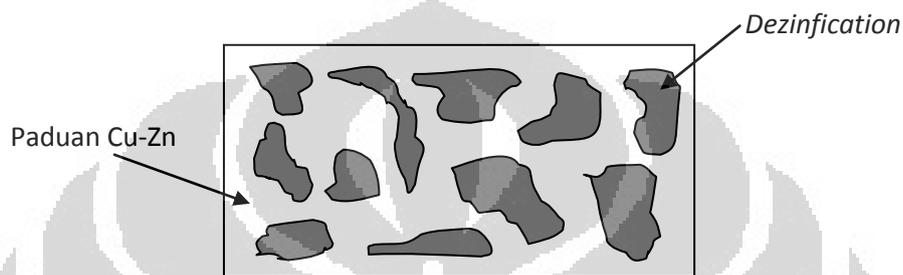
4. Korosi batas butir (*intergranular corrosion*). Korosi yang terjadi pada perbatasan butir yang dapat menyebabkan hilangnya kekuatan (*strength*) dan keuletan (*ductility*). Batas butir pada area tertentu bertindak sebagai anoda dalam kondisi kontak dengan area yang luas dari butir yang bertindak sebagai katoda.



Gambar 2.9 Gambar skematik korosi batas butir.

Penanggulangan dapat dilakukan pada saat proses produksi dengan membentuk butir yang relatif sama dan merata.

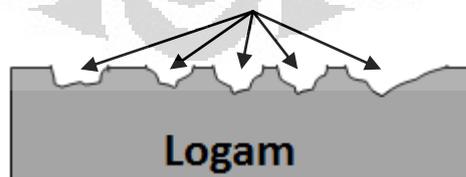
5. Korosi selektif (*selective corrosion*). Korosi selektif terjadi akibat reaksi oksidasi salah satu unsur dalam paduan logam menjadi bentuk kationnya untuk selanjutnya terlepas dari paduan logam semula. Sebagai contoh adalah proses *dezincification* dimana logam seng yang terdapat dalam paduan tembaga terlepas akibat proses oksidasi dan mulai melebar membentuk pulau-pulau cekungan. Untuk menanggulangi jenis korosi ini dapat dilakukan proses pelapisan (coating) dan inhibisi menggunakan inhibitor.



Gambar 2.10 Gambar skematik contoh pola korosi selektif

6. Korosi mikrobiologikal (*microbiological corrosion, MIC*). Korosi jenis ini lebih mengacu pada penyebab terjadi korosi yaitu akibat adanya aktifitas mikroba. Korosi ini umumnya terjadi pada permukaan logam dan dapat dimulai dengan pembentukan cekungan-cekungan tempat koloni mikroba beraktifitas. Aktifitas mikroba dapat berupa sekresi senyawa korosif hasil metabolisme mikroba, pengikisan akibat pergerakan mikroba, pembentukan lingkungan korosif akibat keberadaan dan aktifitas mikroba itu sendiri.

Cekungan-cekungan akibat korosi yang disebabkan oleh aktifitas mikroba

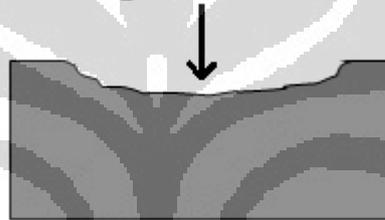


Gambar 2.11 Gambar skematik contoh korosi mikrobiologikal.

Penanggulangan korosi jenis ini dapat berupa pembersihan permukaan logam, pemberian obat anti bakteri, dan perlakuan panas sampai pada temperatur tertentu yang dapat mematikan jenis populasi mikroba yang menyebabkan korosi.

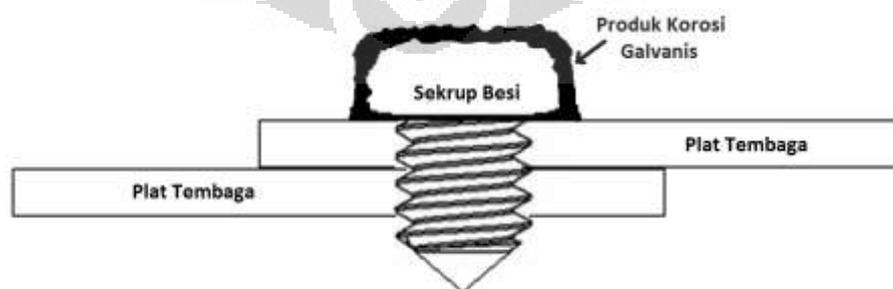
7. Korosi cekungan (*Cavitation corrosion*). Korosi yang terjadi pada area tertentu sehingga membentuk cekungan (Gambar 2.12). Apabila cekungan yang terbentuk banyak dan proses terjadi berulang-ulang, maka cekungan ini dapat bertemu dan terjadi penipisan pada area lokal tertentu yang mengarah pada pembentukan rongga atau membuat material dapat terputus. Korosi cekungan dapat terjadi akibat korosi merata (*general corrosion*), korosi erosi atau kombinasi keduanya yang terjadi secara intensif pada area tertentu. Penanggulangan dapat dilakukan dengan metode pelapisan (*coating*) dan inhibisi menggunakan inhibitor.

### Cekungan Akibat Korosi



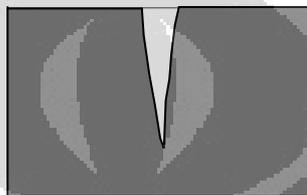
Gambar 2.12 Gambar skematik korosi cekungan.

8. Korosi galvanik (*galvanic corrosion*). Korosi yang terjadi karena perbedaan potensial dari kontak antara dua logam sehingga terbentuk sistem anodik dan katodik yang memicu reaksi oksidasi dan reduksi. Penanggulangan jenis korosi ini dapat berupa pemasangan halangan (*gasket* atau *packing*) dan pelapisan (*coating*) pada daerah pertemuan dua jenis logam yang berbeda.



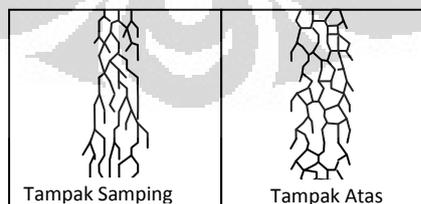
Gambar 2.13 Gambar skematik korosi Galvani.

9. Korosi sumuran (*pitting corrosion*). Korosi sumuran termasuk dalam korosi lokal yang terjadi pada area tertentu. Perbedaan dengan korosi cekungan adalah area korosi pada arah vertikal mempunyai kecepatan yang jauh lebih besar dari pada korosi ke arah samping sehingga dapat ditentukan suatu besaran yang disebut faktor sumuran (*pitting factor*) yang merupakan perbandingan antara kecepatan pembentukan sumur terhadap penipisan permukaan terhadap permukaan awal. Penanggulangan dapat dilakukan dengan menggunakan coating dan inhibitor pada cairan yang kontak dengan logam.



Gambar 2.14 Gambar skematik korosi sumuran.

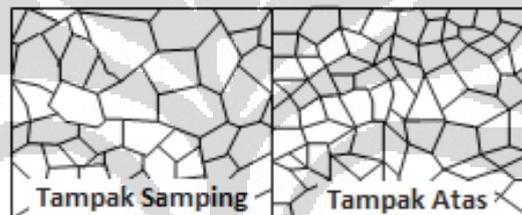
10. Korosi retak-tegang (*stress corrosion cracking*). Korosi ini terbentuk secara halus dari permukaan logam merambat ke arah samping dan ke dalam (Gambar 2.15). Pola ke arah samping (tampak atas) kadang mengikuti pola batas butir dan ke arah dalam dapat mengikuti sisi-sisi batas butir (tampak samping). Secara umum ciri yang menyolok dari jenis korosi adalah arah rambatan yang terkonsentrasi memanjang pada permukaan material dan ke arah dalam mengikuti konsentrasi gaya pemicu retak yang diterima material yang dapat berupa vibrasi dan tekanan yang melampaui kekuatan logam.



Gambar 2.15 Gambar skematik contoh pola korosi retak tegang.

Penanggulangan korosi ini dapat dilakukan dengan cara melakukan tata letak (*mounting*) yang baik dan memasang peredam untuk mengurangi efek getaran dan tekanan yang diterima logam.

11. Korosi perusakan hidrogen (*hydrogen embrittlement*). Korosi yang terbentuk akibat adanya reaksi oksidasi yang menghasilkan gas hidrogen sebagai produk reaksi reduksinya. Reduksi terjadi terhadap ion hidrogen ( $H^+$ ) yang terdapat didalam batas butir. Pembentuk gas hidrogen menekan batas butir sehingga terpisah satu sama lain. Pola yang terbentuk umumnya mengikuti bentuk penuh dari butiran kristal material logam (Gambar 2.16). Perbedaan dengan korosi batas butir adalah korosi perusakan hidrogen hanya mulai terjadi pada permukaan atau area yang intensif kontak (mulai disusupi) dengan ion hidrogen. Pencegahan dapat dilakukan dengan menghindari penggunaan arus katodik yang berlebihan dalam aplikasi proteksi katodik dan menghindari lingkungan yang memungkinkan ion hidrogen masuk melalui daerah batas butir.



Gambar 2.16 Gambar skematik pola korosi perusakan hidrogen.

#### 2.4.2 Pengendalian Korosi Dengan Inhibitor

Inhibitor korosi merupakan zat atau bahan yang bila ditambahkan dalam konsentrasi kecil ke dalam media korosif dapat menurunkan atau mencegah reaksi logam dengan media korosif dengan cara meningkatkan atau menurunkan reaksi pada anodik, katodik, laju difusi reaktan menuju permukaan logam dan resistensi elektrik pada permukaan logam (Thretewey, 1991).

Senyawa organik dapat berperan sebagai inhibitor korosi antara lain adalah interaksi antara elektron  $\pi$  dari cincin benzen dengan muatan yang bersifat positif pada permukaan logam dan interaksi pasangan elektron bebas dari heteroatom dengan muatan yang lebih positif pada permukaan logam (Chitra. S., 2010).

Kebanyakan zat organik yang digunakan sebagai inhibitor dapat terserap pada permukaan logam, terutama yang mengandung gugus heteroatom (seperti N, O, S, P), cincin aromatik dan ikatan rangkap berfungsi sebagai sisi aktif (*active site*) yang dapat mengurangi korosi (Fouda, 2009).

Secara umum, nilai  $\Delta G_{\text{ads}}$  antara 0 sampai -20 kJ/mol konsisten dengan interaksi elektrostatik muatan molekul dan muatan pada permukaan metal (adsorpsi fisik). Apabila  $\Delta G_{\text{ads}}$  lebih kecil dari -40 kJ/mol maka jenis interaksi adalah adsorpsi kimia (Begum A. S., 2010). Inhibitor korosi membentuk lapisan protektif pada permukaan yang mencegah material korosif menyentuh atau menyerang logam tersebut (Abo D., 2010).

Senyawa yang terprotonisasi dalam larutan asam dapat teradsorpsi pada sisi katodik dari baja dan menurunkan evolusi hidrogen. Senyawa organik, seperti azlacton, juga dapat teradsorpsi pada sisi anodik melalui pasangan elektron bebas atom nitrogen, elektron  $\pi$  pada cincin aromatik dan grup C=O, dan menurunkan pelarutan anodik dari baja (Parameswari, 2010). Adsorpsi fisik disebabkan oleh gaya tarik menarik elektrostatik antara ion-ion organik atau dipol-dipol dengan permukaan logam yang bermuatan, sedangkan adsorpsi kimia (kemisorpsi) terjadi karena penggunaan pasangan elektron bebas atau elektron  $\pi$  dengan logam untuk membentuk ikatan koordinasi (Quartarone, 2003).

#### 2.4.3 Karakteristik Senyawa Organik Korosi *aniline-4-sulfonate*

Faktor-faktor yang menjadi dasar pertimbangan bahwa *aniline-4-sulfonate* berpotensi digunakan sebagai inhibitor antara lain karena *aniline-4-sulfonate* memiliki gugus heteroatom pada gugus amin dan sulfonat, serta densitas elektron yang tinggi pada cincin aromatik sehingga dapat melakukan interaksi elektrostatik atau ikatan kovalen koordinasi pada atom besi dipermukaan logam.



Gambar 2.17 Struktur molekul *aniline-4-sulfonate*.

### 2.5 Karakterisasi Korosi

Dalam usaha pengembangan cara-cara pencegahan korosi diperlukan metoda dan peralatan yang dapat digunakan untuk melakukan identifikasi korosi

atau kerusakan akibat korosi telah terjadi. Metoda yang paling banyak digunakan adalah dengan melihat jumlah atom besi yang hilang akibat oksidasi. Adapun cara pengukuran yang paling umum digunakan adalah dengan cara menimbang perubahan berat sebelum dan setelah bahan terkorosi atau dengan mengukur arus yang dihasilkan selama proses korosi berlangsung.

### 2.5.1 Metoda Kehilangan Berat (*Weight Loss Method*)

Pengukuran secara langsung melalui penimbangan berat logam sebelum dan setelah terjadi proses korosi merupakan cara sederhana yang memiliki kelebihan tersendiri. Pengukuran laju korosi dengan metode perendaman (*immersion test*) mengikuti rumus berikut (NACE TM-0169, 1992):

$$\text{mpy} = \frac{W \times 534}{D A T} \quad (2.10)$$

Keterangan:

mpy = laju korosi dalam (*mils per years*)

W = berat yang hilang dalam (mg)

D = berat jenis benda uji dalam ( $\text{g/cm}^3$ )

A = luas permukaan benda uji ( $\text{in}^2$ )

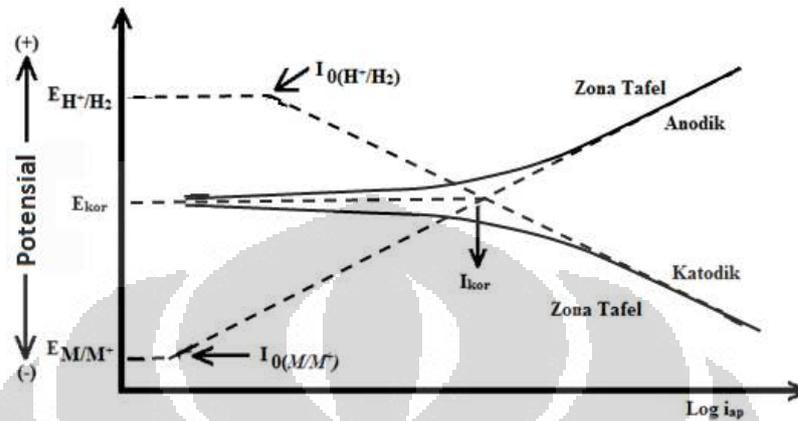
T = lama pencelupan benda uji (tahun)

Metoda ini dilakukan dengan cara merendam bahan uji dalam media korosif untuk waktu yang dianggap cukup agar perubahan berat dianggap cukup untuk diukur. Waktu perendaman merupakan variabel yang cukup penting agar dapat memberikan hasil perubahan morfologi pada bahan uji dengan cukup baik sehingga jenis korosi yang terjadi dapat terlihat jelas pada permukaan bahan uji.

### 2.5.2 Uji Polarisisasi

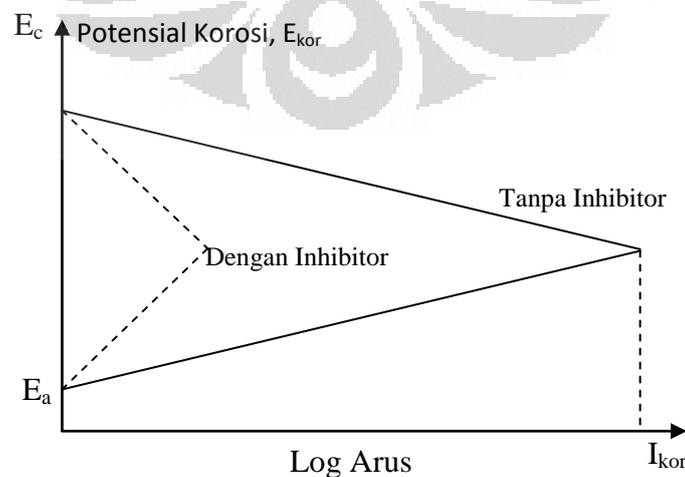
Pengujian dengan metoda polarisasi dilakukan dengan alat uji yang disebut *potensiostat* atau *galvanostat* yang dapat mengukur laju korosi berdasarkan perubahan potensial listrik terhadap perubahan arus yang dideteksi selama proses korosi pada saat pengukuran berlangsung. Dari kurva polarisasi yang dihasilkan,

dapat diukur potensial korosi dan arus korosi yang terjadi dengan bantuan metoda ekstrapolasi Tafel. Terjadinya korosi sumuran pada logam uji juga dapat diketahui dari pola kurva polarisasi yang dihasilkan.



Gambar 2.18 Kurva polarisasi pada korosi baja.

Pada suatu proses korosi terdapat potensial korosi antara pasangan anoda dan katoda dalam suatu lingkungan korosif. Penerapan potensial dari luar yang melebihi potensial ini disebut potensial lebih (over potensial). Apabila peningkatan potensial lebih yang diterapkan tidak diikuti dengan peningkatan arus, maka pada potensial tersebut telah terjadi polarisasi, seperti pada pola kurva yang terbentuk setelah zona Tafel. Gambar 2.19 merupakan pola ekstrapolasi Tafel dari diagram polarisasi logam baja dalam larutan asam sulfat yang mengandung inhibitor organik dan tanpa inhibitor organik.



Gambar 2.19 Kurva ekstrapolasi Tafel.

Fontana (1987) mengemukakan bahwa besarnya efisiensi inhibitor dalam menghambat proses korosi dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$EI = \frac{C_{RO} - C_{RI}}{C_{RO}} \times 100\% \quad (2.11)$$

Keterangan:

E : efisiensi inhibitor

$C_{RO}$  : laju korosi logam tanpa inhibitor

$C_{RI}$  : laju korosi logam dengan inhibitor

Hasil pengujian dengan metode polarisasi memberikan data-data yang dapat diolah untuk menghasilkan kurva yang memperlihatkan karakteristik dari mekanisme adsorpsi inhibitor pada permukaan logam yang disebut kurva isoterm adsorpsi Langmuir. Apabila proses inhibisi mengikuti mekanisme isoterm adsorpsi Langmuir, maka kurva perbandingan  $\theta/C_{inh}$  terhadap  $\theta$  yang terbentuk berupa garis lurus (Parameswari K., 2010).

$$\theta = \frac{i_0 - i_{inh}}{i_0} \quad (2.12)$$

Keterangan:

$\theta$  = derajat penutupan permukaan

$i_0$  = kerapatan arus korosi tanpa inhibitor ( $\text{mA}/\text{cm}^2$ )

$i_{inh}$  = kerapatan arus korosi terinhibisi

Derajat inhibisi yang digunakan untuk menghitung koefisien adsorpsi  $b$  yang merupakan tetapan kesetimbangan adsorpsi,  $K_{ads}$ , untuk kurva adsorpsi yang sesuai dengan isoterm adsorpsi Langmuir (2.13).

$$b = \frac{\theta}{C_{inh}(1 - \theta)} \quad (2.13)$$

Keterangan:

$C_{inh}$  = Konsentrasi inhibitor (M)

$b$  = koefisien adsorpsi

Adapun tetapan adsorpsi yang berhubungan dengan energi bebas adsorpsi diberikan oleh persamaan (2.14), (Wahyuningrum, 2008). Pada persamaan tersebut angka 55,55 merupakan nilai konsentrasi air dalam satuan molar.

$$K_{ads} = \frac{1}{55,55} \exp\left(\frac{\Delta G_{ads}^0}{RT}\right) \quad (2.14)$$

Keterangan:

$K_{ads}$  = tetapan kesetimbangan adsorpsi

$G_{ads}^0$  = energi bebas adsorpsi (kJ/mol)

$R$  = tetapan gas ideal (8,314 J/mol)

$T$  = temperatur (K)

### 2.5.3 Uji Komposisi dan Uji Tarik

Seperti yang telah dibahas dalam sub bab 2.3 bahwa komposisi sangat berperan dalam menentukan karakteristik baja, termasuk sifat mekanis. Sifat mekanis bahan sering dijadikan salah satu acuan teknis karena merupakan indikator kekuatan suatu bahan dalam menerima beban yang diaplikasikan kepadanya. Perbandingan beban tarik maksimum terhadap luas penampang lintang awal benda uji sebelum ditarik menghasilkan suatu besaran yang disebut kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*). Sedangkan regangan tarik maksimum juga dapat diketahui pada saat melakukan pengujian kekuatan tarik maksimum dimana nilai besaran regangan tarik maksimum diperoleh dari hasil perbandingan pertambahan panjang benda uji saat dikenakan beban hingga putus terhadap panjang awal benda uji. Kedua besaran ini sering digunakan sebagai acuan dalam menentukan spesifikasi mekanik material baja. Dengan demikian uji komposisi dan uji tarik adalah dua besaran yang sangat diperlukan dalam identifikasi material baja.

#### 2.5.4 Uji Kekasaran

Kekasaran permukaan dapat dijadikan salah satu ukuran tingkat korosifitas yang terjadi pada permukaan logam. Harga rata-rata aritmatik dari selisih antara tinggi puncak dan dalamnya lembah akibat tidak rata permukaan merupakan nilai kekasaran permukaan material yang dapat diukur menggunakan alat yang disebut alat uji kekasaran (*surface roughness tester*).

Kekasaran permukaan juga dapat dijadikan dasar evaluasi mengenai jenis korosifitas yang terjadi. Kekasaran permukaan yang merata memberikan petunjuk akan adanya kemungkinan korosi yang termasuk dalam jenis korosi umum (*general corrosion*). Sedangkan korosi dengan pola perusakan berupa cekungan atau lubang menunjukkan adanya kecenderungan korosifitas yang terkonsentrasi pada area tertentu seperti korosi erosi, korosi selective, dan korosi mikrobiologikal.

Kekasaran permukaan juga dapat memberikan petunjuk mengenai suatu interaksi kimia dari larutan korosif seperti jenis asam kimia dari larutan korosif itu sendiri. Sebagai contoh asam florida lebih kuat korosifitasnya terhadap baja dibandingkan asam cuka sehingga apabila larutan korosif yang mengalir berupa asam florida akan membentuk parit atau perlubangan yang lebih dalam dibandingkan apabila larutan korosifnya adalah asam cuka.

#### 2.5.5 Uji Kekerasan

Sifat mekanis penting lainnya yang dapat dijadikan sebagai ukuran berkurangnya kualitas material akibat serangan korosi adalah kekerasan. Kekerasan merupakan ketahanan material terhadap deformasi plastis atau deformasi permanen akibat gaya dari luar (Amstead, dkk, 1987).

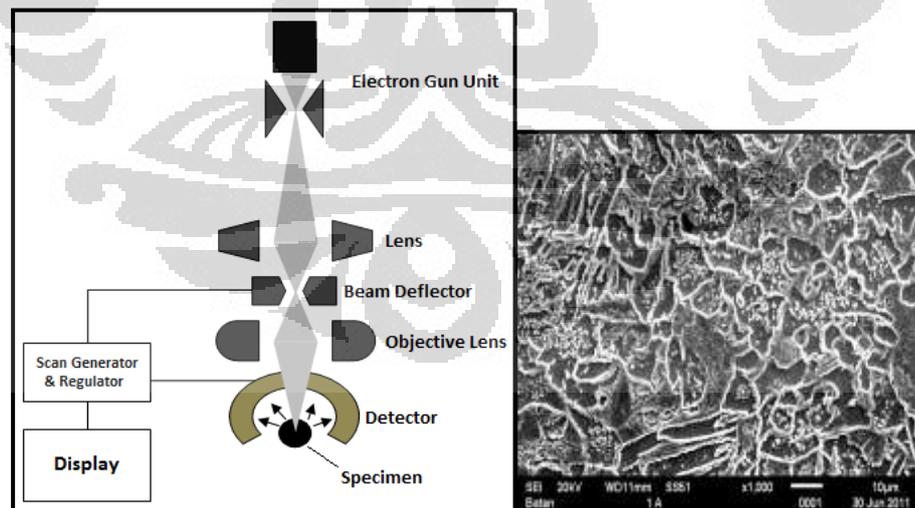
Selain sifat baja itu sendiri, kekerasan juga dapat dipengaruhi oleh perusakan struktur mikro dan pembentukan pori-pori akibat korosi. Batas butir merupakan struktur mikro yang paling rentan mengalami perusakan akibat korosi terutama reaksi korosi yang menghasilkan gas hidrogen. Ion hidrogen dapat masuk pada celah-celah batas butir karena ukurannya yang kecil, dan pada kondisi yang cukup ion hidrogen akan mengalami reduksi dan reaksi oksidasi pada material logam yang disebut korosi batas butir. Korosi batas butir akibat

penyusupan hidrogen ini mengakibatkan pelemahan mekanis dan perapuhan serta pembentukan celah yang semakin mempercepat korosi pada batas butir. Apabila baja menerima beban dari luar maka titik ini merupakan bagian yang rentan mengalami keretakan. Celah-celah yang terbentuk pada permukaan juga mengurangi kepadatan material logam sehingga kekerasan bahan menjadi berkurang ketika menerima gesekan, benturan, atau tekanan dari luar.

Untuk menguji kekerasan material digunakan alat ukur yang disebut alat uji kekerasan permukaan (*hardness surface tester*). Alat ukur kekerasan memiliki indenter yang dapat disesuaikan dengan kekerasan objek uji yang sedang diukur. Makin keras objek uji maka indenter yang digunakan harus jauh lebih keras. Dengan melakukan penekanan indenter pada objek uji dengan gaya tertentu, maka didapat jarak tekan yang dapat dijadikan variabel kekerasan objek uji.

### 2.5.6 Pengamatan Morfologi

Pengamatan kerusakan akibat serangan korosi yang terjadi pada bagian permukaan material yang kontak dengan larutan korosif juga dapat diamati menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran yang cukup dan menggunakan mikroskop yang disebut SEM (*Scanning Electron Microscope*).



Gambar 2.20 Skema cara kerja SEM dan contoh permukaan sampel yang diamati.

Resolusi gambar dapat dipilih dengan mengatur tegangan untuk menghasilkan kecepatan elektron tertentu. Pada pengerjaan menggunakan SEM,

hasil yang di peroleh merupakan gambar morfologi dari permukaan sampel dalam ukuran mikro. Untuk sampel yang non konduktif atau konduktivitasnya rendah harus dibuat konduktif atau ditingkatkan konduktivitasnya dengan cara melapis permukaan sampel dengan logam-logam berat atau carbon.

Dengan perbesaran yang cukup, alat dapat digunakan untuk melihat morfologi permukaan material yang telah mengalami korosi yang selanjutnya dapat dianalisa untuk menghasilkan suatu evaluasi yang bisa menjelaskan fenomena korosi yang terjadi.

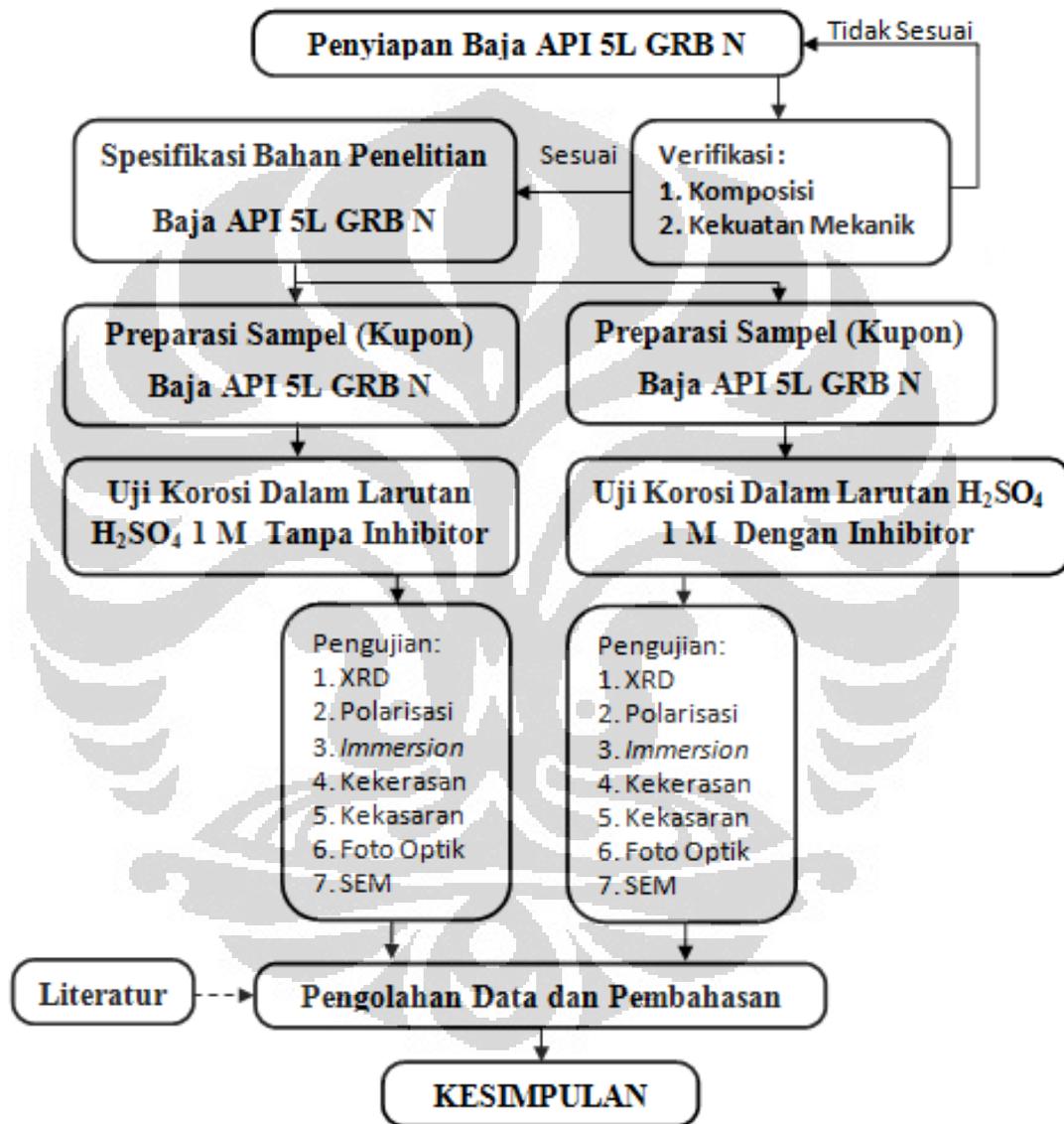
### **2.5.7 Struktur Mikro**

Pengamatan struktur mikro bahan juga dapat menjadi acuan untuk menjelaskan pola korosi yang terjadi. Dengan mengetahui komposisi dan struktur mikro pada permukaan yang mengalami korosi maka dapat dilakukan analisa bahan dan interaksi antara bahan dengan larutan korosif dan inhibitor yang digunakan. Alat yang digunakan untuk mengamati struktur mikro adalah XRD (*x-ray diffraction*). Sebagai hasil dari analisa ini, dapat ditentukan struktur mikro pada logam yang mampu bertahan dengan kondisi larutan dan jenis inhibitor yang digunakan. Kesimpulan ini juga dapat membantu dalam pemilihan material (*material selection*) sehingga dapat disesuaikan dengan kondisi lingkungan, terutama interaksinya dengan lingkungan korosif.

# B A B 3

## METODE PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di dua tempat utama yaitu Laboratorium Pascasarjana Material Sains Universitas Indonesia di Salemba dan laboratorium BATAN di Serpong.

### 3.3 Bahan Penelitian

Pada penelitian ini digunakan bahan berupa baja API 5L GRB N, larutan asam sulfat 1 M dan *inhibitor aniline-4-sulfonate*. Setiap bahan mempunyai spesifikasi yang dikeluarkan oleh produsen. Berikut bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian serta spesifikasinya:

1. Baja API 5L GRB N.



Gambar 3.2 Baja API 5L GRB N

- a. Nama produk : *Prime Newly Produced Hot Rolled Steel in Coil Cut Edge*
- b. Commodity : API 5L GRB N (Grade B N)
- c. Asal bahan : PT. KHI Pipe Industries
- d. Slab No. : 1110
- e. Coil and Packing No : 934060 01
- f. Test No. : 937054
- g. Dimension : 8.18x678xcoil

- h. *Chemical Composition:*
- *Unit scale* ( $10^{-2}$ wt) : C = 17, Si = 19, Mn = 64
  - *Unit Scale* ( $10^{-3}$ wt) : P = 9, S = 2, Al = 42, Cr = 12, Mo = 2,  
Ni = 8, V = 3, Cu = 16, Nb = 1, Ti = 3
  - *Unit Scale* ( $10^{-4}$ wt) : N = 36, B = 1, Ca = 11
- k. *Tensile Test* : Dir= T, GL= C, YS= 341 N/mm<sup>2</sup>, TS= 472 N/mm<sup>2</sup>
- m. *Impact test* : Dir = T, Energy = 143 Joule, Temp. = B °C
- o. *Yield Ratio* : 72

2. *Aniline-4-sulfonate (Sulfanilic Acid):*



Gambar 3.3 *Aniline-4-sulfonate (sulfanilic acid).*

- a. *Chemical Formula* :  $\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{H}$
- b. *Molar density (M)* : 173.18 g/mol
- c. *Produsen* : MERCK KgaA 64271 Darmstadt, Germany
- d. *Grade* : Pro Analysis (p.a)
- e. *Assay* :  $\geq 99\%$
- f. *Identity (IR Spectrum):* passes test
- g. *Matter (in  $\text{NaCO}_3(\text{aq})$ )* :  $\leq 0.01\%$
- h. *Chloride* :  $\leq 0.002\%$
- i. *Nitrite ( $\text{NO}_2$ )* :  $\leq 0.00005\%$
- j. *Sulfate ( $\text{SO}_4$ )* :  $\leq 0.01\%$

- k. *Heavy metal (as Pb)* :  $\leq 0.001\%$
- l. *TLC test* : *passes test*
- m. *Sulfated ash* :  $\leq 0.01\%$
- n. *Water (Karl Fischer)* :  $\leq 0.7\%$

3. Spesifikasi Asam Sulfat (*Sulphuric Acid*) yang digunakan:



Gambar 3.4 Asam sulfat (*Sulphuric Acid*)

- a. *Chemical Formula* :  $H_2SO_4$
- b. *Weight /Volume* : 1.84 kg/L
- c. *Produsen* : MERCK KgaA 64271 Darmstadt, *Germany*
- d. *Grade* : *Pro Analysis (p.a)*
- e. *Assay (acidimetric)* : 95-96 %

### 3.4 Pengerjaan Bahan Dasar

Sebagai persiapan digunakan peralatan untuk pemotongan sampel, penimbangan dan pengukuran dengan deskripsi sebagai berikut:

1. Pemotongan menggunakan pemotongan baja API 5L GRB N (Gambar 3.5).
2. Perataan dilakukan menggunakan mesin press (Gambar 3.9).
3. Pembentukan dengan gerinda potong, gerinda tangan, dan mesin bubut (Gambar 3.10).
4. Penghalusan menggunakan amplas nomor 100 – 1200.
5. Penyiapan larutan.

Penyiapan sampel berupa kupon yang diperoleh dari pemotongan pipa baja API 5L GRB N. Untuk uji tarik pipa baja API 5L GRB N terlebih dahulu ditekan sehingga menjadi datar, kemudian dipotong.



Gambar 3.5 Mesin pemotong baja

Setelah proses pemotongan, sampel dibersihkan dari kotoran dan karat yang masih menempel pada kupon. Proses pembersihan dilakukan menggunakan sikat kawat untuk membuang pengotor-pengotor kasar yang menempel. Untuk kotoran halus dibersihkan dengan cara pengamplasan.

Setelah tidak ada lagi kotoran dan kerak yang dapat dibersihkan dengan pengamplasan, tahap selanjutnya adalah pencucian secara kimiawi untuk menghilangkan oksida yang masih menutupi permukaan kupon. Pencucian oksida ini dimaksudkan agar larutan korosif asam sulfat dan inhibitor dapat menyentuh seluruh permukaan baja API 5L GRB N.

Adapun larutan kimia yang digunakan mengacu pada standar NACE (*National Association of Corrosion Engineers*) TM0169-76 untuk pengujian korosi dalam skala laboratorium.

### 3.5 Uji Rendam (*Immersion Test*)

Kupon yang telah bersih kemudian direndam dalam larutan korosif asam sulfat 1 M tanpa diberi inhibitor dan dengan larutan korosif asam sulfat yang telah diberi inhibitor dengan variasi konsentrasi (Gambar 3.6). Adapun hasil dari eksperimen ini adalah berupa berat terhadap waktu perendaman dengan variasi konsentrasi inhibitor.



Gambar 3.6 Proses perendaman

Untuk uji rendam, volume cairan yang digunakan mengacu pada standar internasional yang dikeluarkan oleh NACE nomor TM0169-76 dimana setiap 250 mL larutan untuk pengujian korosi pada sampel uji dengan luas permukaan maksimum 1 *inch* persegi atau 0.4 mL/mm<sup>2</sup>.

Spesifikasi pada uji rendam:

- a. Jenis : Baja API 5L GRB N
- b. Ukuran : 21 mm x 21 mm x 8 mm
- c. Diameter Lubang : 5 mm
- d. Luas permukaan : 1640,35 mm<sup>2</sup> = 2,54 in<sup>2</sup>
- e. Pengamplasan : Menggunakan mesin amplas grid 220
- f. Durasi : 66,5 jam (2,77 hari)

### 3.6 Uji Polarisasi

Pengujian dengan metode polarisasi dilakukan menggunakan alat yang disebut potensiostat/ galvanostat seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Potensiostat.

## Spesifikasi alat potensiostat:

Nama alat	: Potentiostat/Galvanostat, model 273
Buatan	: EG&G PARC, <i>Princeton Applied Research</i>
Perangkat Lunak	: Softcorr corrosion measurement software
Anoda kerja	: Baja API 5 L Grade B
Elektroda acuan	: Kalomel (SCE)
Elektroda bantu	: Karbon
Pindaian	: 3 mV/s
Sirkuit terbuka	: $\pm 3$ menit
Ukuran Sampel	: Berbentuk koin, diameter 14 mm, tebal 4 mm
Diameter efektif	: 10 mm
Volume larutan	: 600 mL
Larutan korosif	: Asam sulfat 1 M
Inhibitor	: <i>aniline-4-sulfonate</i>



Gambar 3.8 Mesin bubut untuk pembuatan sampel.

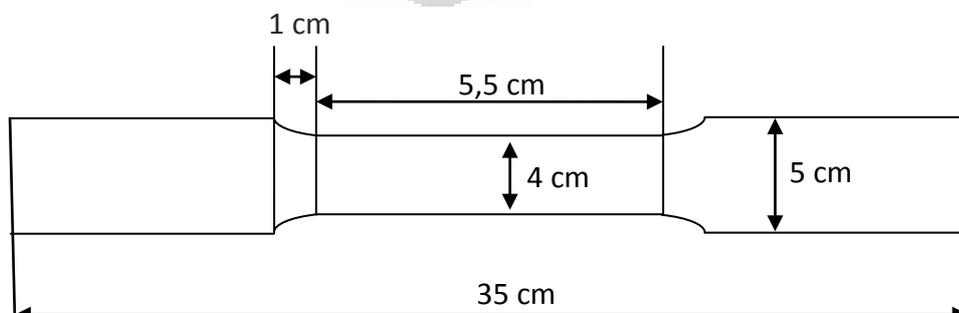
Pada pengerjaan ini, baja API 5L GRB N dibuat berbentuk koin menggunakan mesin bubut (Gambar 3.8). Permukaan sampel dibersihkan dari korosi yang tersisa dan diampelas hingga halus. Koin baja API 5L GRB N ini bertindak sebagai elektroda kerja yang menjalani proses oksidasi. Persiapan alat dimulai dengan pembersihan tabung polarisasi dan elektroda karbon. Ketiga jenis elektroda dihubungkan ke mesin potensiostat. Sistem dibiarkan terhubung beberapa saat (*open circuit*) dan pengaturan variabel lainnya sampai selesai. Sistem dinyalakan dan terlihat grafik polarisasi mulai terbentuk.

### 3.7 Verifikasi Bahan Uji



Gambar 3.9 Peralatan preparasi uji tarik

Untuk verifikasi baja yang digunakan pada penelitian ini, maka dilakukan pengujian berupa uji tarik (Gambar 3.9) dan pemeriksaan komposisi kimia untuk mengetahui kecocokan spesifikasi baja bahan uji dengan standar API 5L GRB N yang telah ditetapkan oleh *American Petroleum Institute* (API).



Gambar 3.10 Ukuran sampel untuk uji tarik

Untuk uji tarik, sampel dipreparasi dengan ukuran seperti pada Gambar 3.10. Sampel kemudian diletakkan pada *sample holder* dan dijepit agar tidak lepas pada saat ditarik. Kemudian mesin dijalankan dengan merekam kekuatan tarik dan pertambahan panjang yang diterapkan hingga sampel putus.

### 3.8 Analisa Kekasaran

Pengujian morfologi dilakukan dengan pengukuran kekasaran permukaan menggunakan alat uji *surface roughness tester* merk *surtronic-25* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Contoh alat *surface roughness tester* merk *surtronic-25*.

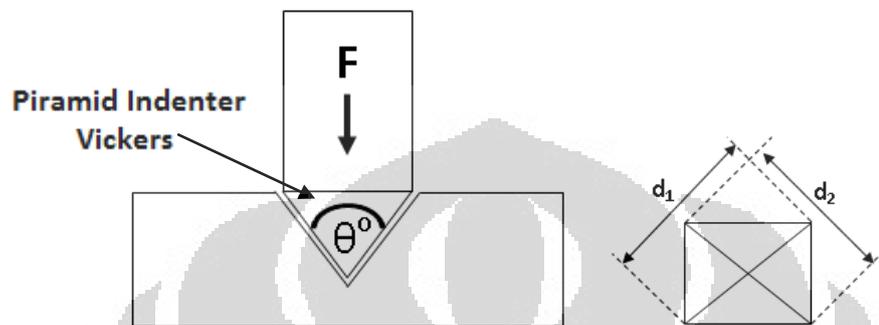
Sumber telah diolah kembali.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh korosi dan inhibitor *aniline-4-sulfonate* terhadap morfologi permukaan baja API 5L GRB N akibat proses korosi dalam larutan korosif asam sulfat 1 M. Pada pengukuran ini, permukaan sampel hasil korosi dipindai untuk mendapatkan nilai kekasaran pada titik tertentu. Pengukuran dilakukan pada lima titik dan diambil nilai rata-ratanya dengan tetap mencantumkan deviasi untuk setiap pengukuran satu sampel uji.

### 3.9 Analisa Kekerasan

Pengujian kekerasan menggunakan alat uji *micro hardness tester*. Pada pengukuran ini, permukaan sampel hasil korosi ditekan menggunakan *indenter*. Sampel diletakkan pada holder dan melakukan pengaturan kedudukan (*mounting*) terhadap *indenter*. Kemudian menurunkan indenter secara manual sampai pada permukaan sampel. Kemudian dilakukan penekanan secara otomatis. Secara umum alat uji tekan diperlihatkan secara skematik pada Gambar 3.12.

Kuat tekan dan jarak tekan yang menghasilkan luas permukaan tekan merupakan variabel kekerasan pada titik uji di permukaan sampel. Pada pengujian ini dilakukan lima titik pengujian, kemudian diambil nilai rata-rata dengan tetap memperhitungkan nilai deviasi untuk setiap sampel uji.



Gambar 3.12 Gambar skematik alat uji kekerasan *micro hardness tester*.

### 3.10 Analisa Morfologi Menggunakan Mikroskop Optik

Mikroskop optik yang digunakan pada percobaan ini adalah merk Nikon, Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Mikroskop optik untuk analisa morfologi.

Sampel yang akan dianalisa diletakkan pada holder dibawah lensa untuk perbesaran 60 kali. Mikroskop dinyalakan dan menyetel pengaturan cahaya agar permukaan objek terlihat. Untuk beberapa permukaan objek yang kurang kontras,

dapat digunakan filter cahaya agar daerah gelap dan terang serta kontur tinggi dan rendah dapat dibedakan. *Sample holder* digerakkan untuk mencari permukaan yang spesifik sesuai dengan tujuan penelitian. Apabila setelah menggeser gambar menjadi kurang fokus, maka lensa diatur kembali sehingga gambar yang terlihat tajam dan jelas. Begitu seterusnya sampai didapatkan objek gambar yang diinginkan kemudian tombol kamera ditekan untuk merekam gambar yang sudah terlihat dalam format digital. Gambar yang terekam disimpan pada media penyimpanan data.

### 3.11 Analisa Morfologi Menggunakan SEM

Pengujian SEM dilakukan menggunakan peralatan merek JED-2300 Analisis Station JEOL. Sampel dipreparasi sehingga permukaan yang akan diamati dapat terlihat jelas. Preparasi permukaan sampel dilakukan dengan pengampelasan dan pembersihan kotoran yang menempel dan pasivasi menggunakan resin (Gambar 3.14) sehingga permukaan yang akan diamati terhindar dari oksidasi. Pelaksanaan dimulai dengan menyalakan mesin SEM. Kemudian sampel dimasukkan ke *sample holder* sambil menunggu peralatan SEM dalam kondisi *ready*. Kemudian melakukan pengaturan lensa sehingga permukaan sampel yang diamati terlihat jelas dan fokus dengan cara mengatur *magnifier* dan *brightness*. Setelah gambar morfologi yang diinginkan sudah didapatkan, maka gambar direkam dalam media penyimpan data.



Gambar 3.14 Sampel untuk alat SEM.

### 3.12 Analisa Dengan Alat XRD

Sampel untuk analisa dengan alat XRD adalah baja API 5L GRB N yang dipotong sehingga cukup untuk diletakkan pada *sample holder*. Mesin XRD yang digunakan adalah produksi Philips dengan tipe PW 3710. Pengukuran dimulai dengan meletakkan sampel pada *sample holder*. Kemudian alat XRD dinyalakan, air pendingin dinyalakan, dan komputer untuk menyimpan data dinyalakan. Data-data pengukuran, identitas sampel dan variabel pengukuran di atur pada komputer. Setelah mesin XRD dalam posisi *ready*, tombol pengukuran diputar untuk memulai pengukuran. Hasil pengukuran terekam pada komputer untuk analisa lebih lanjut.



## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Identifikasi Baja API 5L GRB N

Baja API 5L GRB N yang digunakan pada penelitian ini adalah berbentuk pipa dengan mengacu pada standar internasional yang dikeluarkan oleh API (American Petroleum Institute). Pada penelitian ini juga dilakukan identifikasi menggunakan XRD.

##### 4.1.1 Verifikasi Bahan Uji Terhadap Standar API

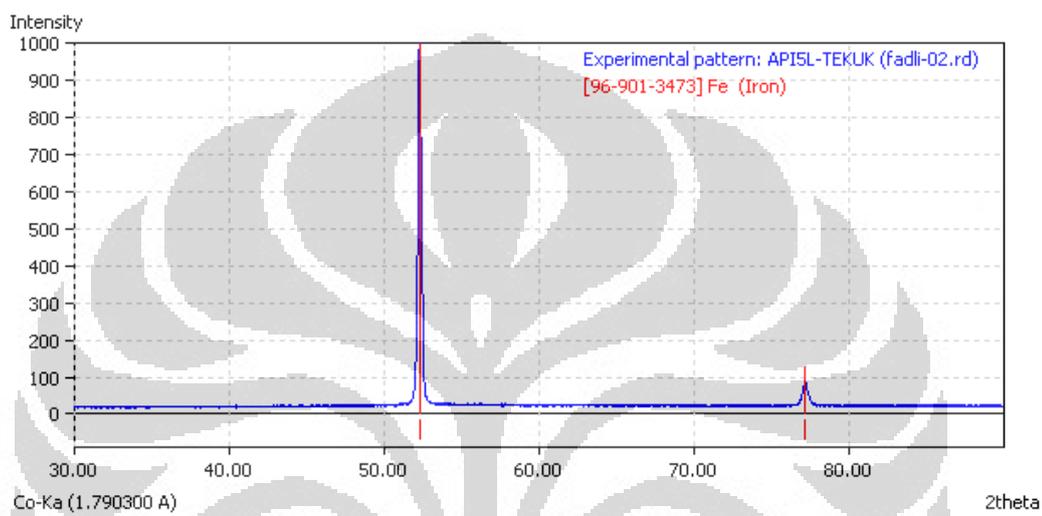
Berikut adalah tabel standar internasional untuk baja API 5L GRB N dan hasil pengukuran sampel dirangkum dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Standar API baja API 5L GRB B N dan hasil pengujian sampel

Kelas baja (nama	Standar API 5L GRB N		Sampel
Fraksi massa, berdasarkan pada analisa panas dan analisa produk (% maksimum)	C	0,24	0,17
	Si	0,40	0,19
	Mn	1,20	0,64
	P	0,025	0,009
	S	0,015	0,002
	V (+ Nb)	≤ 0,06	0,003
	Nb (+ V)	≤ 0,06	0,001
	Ti	0,04	0,003
% maksimum ekivalen karbon	Other	≤ 0,06	-
	CE <sub>IRW</sub>	0,43	-
	CE <sub>Pcm</sub>	0,25	-
<i>Yield Strength</i> , Mpa (Psi)	min	245 (35.000)	341
	maks	450 (65.300)	446
<i>Tensile Strength</i> , Mpa (Psi)	min	415 (60.200)	472
	maks	760 (110 200)	518
Rasio	maks	0,93	-
Elongation	% min	persetujuan	40% / 36%

Dari Tabel 4.1 terlihat bahwa hasil pengukuran yang diperoleh masuk dalam rentang persyaratan yang telah ditetapkan oleh API. Dengan demikian maka sampel yang akan digunakan dalam penelitian ini secara komposisi dan sifat mekanik termasuk dalam spesifikasi baja API 5L GRB N.

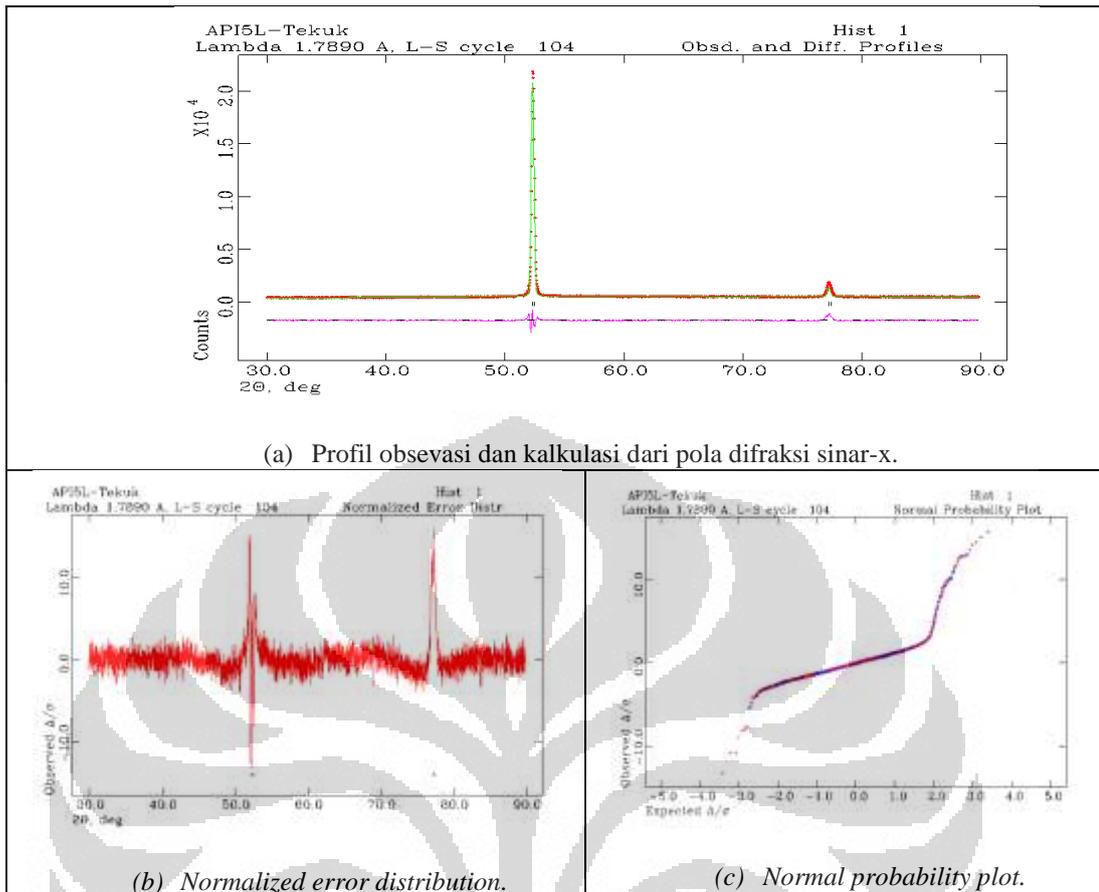
#### 4.1.2 Identifikasi Menggunakan XRD



Gambar 4.1 Pola difraksi sinar-x sampel API 5L GRB N.

Gambar 4.1 menjelaskan bahwa sampel API 5L GRB N memiliki komposisi yang didominasi atom Fe (Basinski Z, 1955) dengan hasil *refinement* pada Gambar 4.2. Hasil *fitting* yang diperoleh cukup baik dimana nilai faktor R (*criteria of fit*) dan nilai faktor  $\chi^2$  (*goodness of fit*) atau *chi-square* berada pada nilai yang diizinkan yaitu 1 - 1,3 (Izumi F, 1996).

Gambar 4.2 (a) memperlihatkan hasil *refinement* terhadap pola difraksi sinar-x baja API 5L GRB N. Hasil ini memperlihatkan bahwa antara kurva observasi (kurva hasil pengukuran) dan kurva kalkulasi (kurva hasil perhitungan dengan menggunakan referensi) adalah berimpit. Selisih kurva keduanya ditunjukkan pada Gambar 4.2 (b) yang memperlihatkan bahwa kurva dari *normalized error distribution* hanya meninggalkan puncak-puncak background saja yang berasal dari pengukuran sampel. Kualitas fitting ditunjukkan pada Gambar 4.2 (c) yang idealnya merupakan garis lurus dengan tingkat kesesuaiannya mendekati 99%.



Gambar 4.2 Hasil *refinement* pola difraksi sinar-x sampel API 5L GRB N

Hasil karakterisasi dari sampel baja API 5L GRB N dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data hasil pengujian dengan XRD

Fasa : Fe (referensi Basinski)		
Grup ruang (space group) : Fm $\bar{3}$ m (229), sistem kristal kubik.		
Parameter kisi : $a = b = c = 2.8723(1) \text{ \AA}$ , $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$		
$V = 23.574(8) \text{ \AA}^3$ dan $\rho = 7.849 \text{ gr.cm}^{-3}$		
Faktor <i>Occupation</i> atom Fe : $x = 0,0$ ; $y = 0,0$ ; $z = 0,0$		
Factor R	$wRp = 5.82$	$\chi^2$ (chi-squared) = 1.240
	$Rp = 4.51$	

## 4.2 Laju Korosi dan Efisiensi Inhibisi Uji Polarisasi

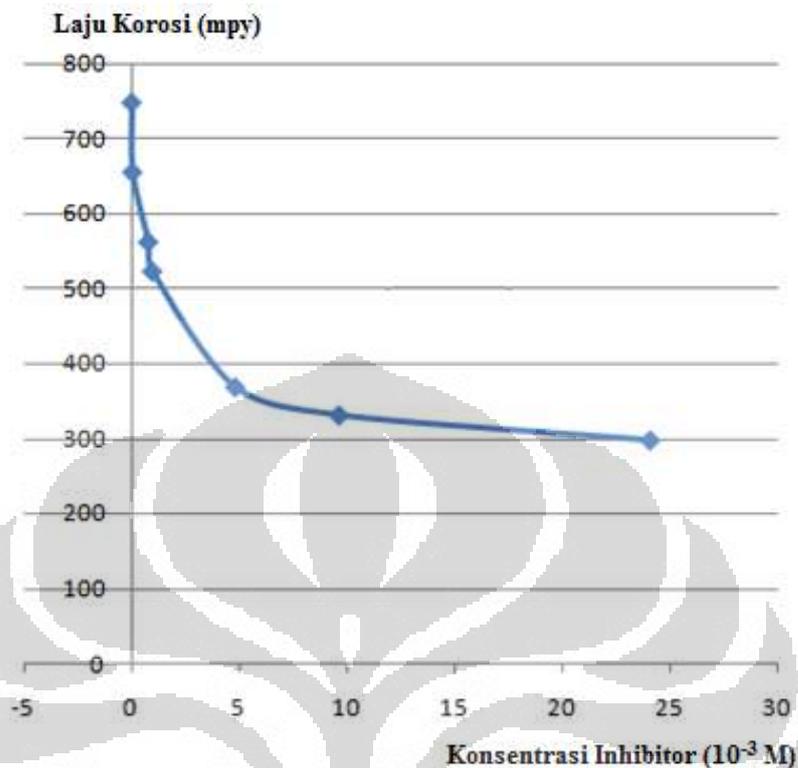
Pengujian laju korosi terhadap penambahan konsentrasi senyawa *aniline-4-sulfonate* di dalam larutan korosif asam sulfat 1 M menggunakan metoda polarisasi menunjukkan hasil bahwa terjadi penurunan laju korosi dengan beratambahnya konsentrasi *aniline-4-sulfonate*. Penurunan laju korosi ini menunjukkan bahwa senyawa *aniline-4-sulfonate* dapat menghambat laju korosi pada baja API 5L GRB N di dalam larutan korosif asam sulfat 1 M. Adapun data hasil eksperimen disajikan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil analisis laju korosi baja API 5L GRB N dalam larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M dengan berbagai konsentrasi inhibitor *aniline-4-sulfonate*.

No Sampel	Konsentrasi sulfanilic acid	Laju Korosi (mpy)
1	0	747,68
2	0,039 x 10 <sup>-3</sup> M	654,93
3	0,77 x 10 <sup>-3</sup> M	561,72
4	0,96 x 10 <sup>-3</sup> M	522,58
5	4,81 x 10 <sup>-3</sup> M	368,14
6	9,62 x 10 <sup>-3</sup> M	330,64
7	24,06 x 10 <sup>-3</sup> M	296,93

Gambar 4.3 adalah grafik laju korosi terhadap konsentrasi inhibitor korosi *aniline-4-sulfonate* yang memperlihatkan penurunan laju korosi terhadap konsentrasi inhibitor. Efisiensi inhibitor dapat diungkapkan sebagai suatu ukuran untuk menunjukkan penurunan laju korosi. Dari Tabel 4.3 dapat dibuat tabel efisiensi inhibisi terhadap konsentrasi *aniline-4-sulfonate* menggunakan persamaan (2.16).

Hasil perhitungan pada Tabel 4.3 memperlihatkan efektifitas penambahan konsentrasi inhibitor dalam mengurangi laju korosi pada baja API 5L GRB N dalam larutan korosif asam sulfat 1 M.



Gambar 4.3 Grafik laju korosi terhadap konsentrasi *aniline-4-sulfonate*

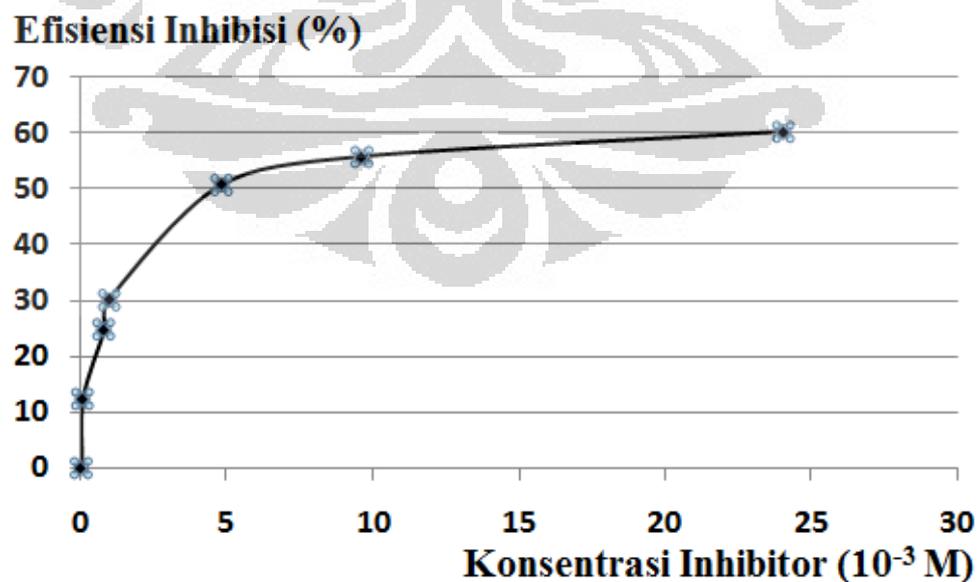
Untuk memperjelas perubahan yang terjadi akibat penambahan konsentrasi *aniline-4-sulfonate*, maka Tabel 4.3 dapat dibuat dalam bentuk grafik seperti yang disajikan pada Gambar 4.4. Dengan melihat grafik pada gambar tersebut, maka jelaslah bahwa senyawa *aniline-4-sulfonate* merupakan senyawa organik yang dapat menginhibisi laju korosi baja API 5L GRB N dalam larutan asam sulfat 1 M.

Gambar 4.4 memberikan informasi mengenai seberapa besar perubahan efisien inhibisi terhadap penambahan konsentrasi inhibitor. Kurva pada Gambar 4.4 merupakan bentuk grafik dari data pada Tabel 4.4 dimana nilai optimum konsentrasi inhibitor *aniline-4-sulfonate* berada pada konsentrasi sekitar 5,3 mM. Hal ini dapat dilihat dari nilai kemiringan yang menurun drastis pada konsentrasi tersebut. Pada titik ini penambahan konsentrasi inhibitor *aniline-4-sulfonate* dengan jumlah yang sama tidak memberikan peningkatan efisiensi sebesar peningkatan efisiensi sebelumnya.

Tabel 4.4 Efisiensi inhibisi *anilin-4-sulfonate* terhadap berbagai konsentrasi inhibitor *aniline-4- sulfonate*.

No Sampel	Konsentrasi sulfanilic acid	Efisiensi Inhibisi (%)
1	0	0
2	$0,039 \times 10^{-3} \text{ M}$	12,40
3	$0,77 \times 10^{-3} \text{ M}$	24,87
4	$0,96 \times 10^{-3} \text{ M}$	30,11
5	$4,81 \times 10^{-3} \text{ M}$	50,76
6	$9,62 \times 10^{-3} \text{ M}$	55,78
7	$24,06 \times 10^{-3} \text{ M}$	60,29

Pada Gambar 4.4 terlihat bahwa kurva inhibisi yang dihasilkan pada awalnya menanjak cepat dan akhirnya melandai. Pola ini menunjukkan bahwa proses inhibisi tidak berbanding lurus dengan bertambah konsentrasi. Pada batas tertentu efisiensi cenderung konstan dengan bertambahnya konsentrasi.



Gambar 4.4 Grafik Efisiensi inhibisi terhadap konsentrasi *aniline-4-sulfonate*.

### 4.3 Analisa Kurva Polarisasi

Hasil pengujian dengan metoda polarisasi menghasilkan beberapa variabel yang dapat digunakan untuk evaluasi proses korosi yang terjadi. Hasil pengujian dengan metoda polarisasi memberikan perubahan arus korosi dan perubahan potensial pada kedua elektroda terhadap penambahan konsentrasi inhibitor *aniline-4-sulfonate*.

Tabel 4.5 Perubahan potensial katoda dan anoda pada berbagai konsentrasi inhibitor *aniline-4-sulfonate*.

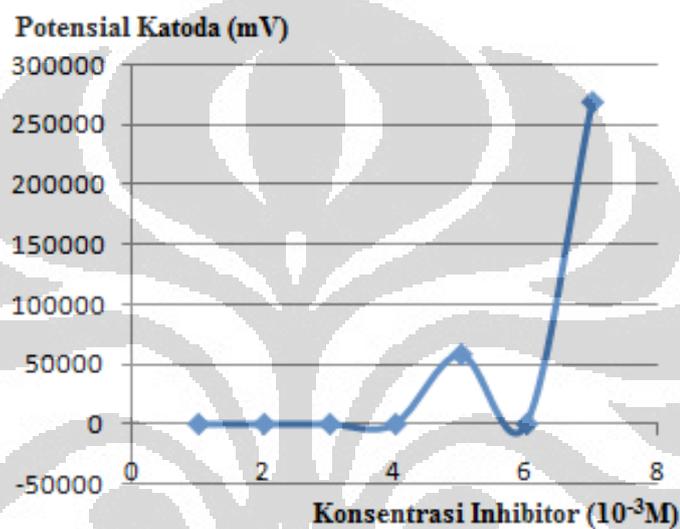
No. Sampel	Konsentrasi sulfanilic acid	Efisiensi Inhibisi	Potensial Katoda	Potensial Anoda
1	0	0	108,91	85,19
2	$0,039 \times 10^{-3} \text{ M}$	12,40	235,47	99,3
3	$0,77 \times 10^{-3} \text{ M}$	24,87	156,09	91
4	$0,96 \times 10^{-3} \text{ M}$	30,11	111,03	104,6
5	$4,81 \times 10^{-3} \text{ M}$	50,76	58229,77	102,1
6	$9,62 \times 10^{-3} \text{ M}$	55,78	214,82	135,55
7	$24,06 \times 10^{-3} \text{ M}$	60,29	2684434	139,01

Data perubahan potensial pada anoda dan katoda dapat digunakan untuk melihat hambatan yang terjadi pada masing-masing elektroda tersebut. Tabel 4.5 merupakan data hasil dari pengujian dengan metoda polarisasi.

#### 4.3.1 Polarisasi Katodik

Tabel 4.5 memperlihatkan bahwa potensial katoda selalu lebih besar dari pada potensial anoda. Potensial katoda lebih besar dibanding potensial anoda memberikan informasi bahwa reaksi elektrokimia yang berlangsung terpolarisasi secara katodik. Polarisasi katodik terjadi akibat sistem mendapatkan hambatan menjalani reaksi katodik.

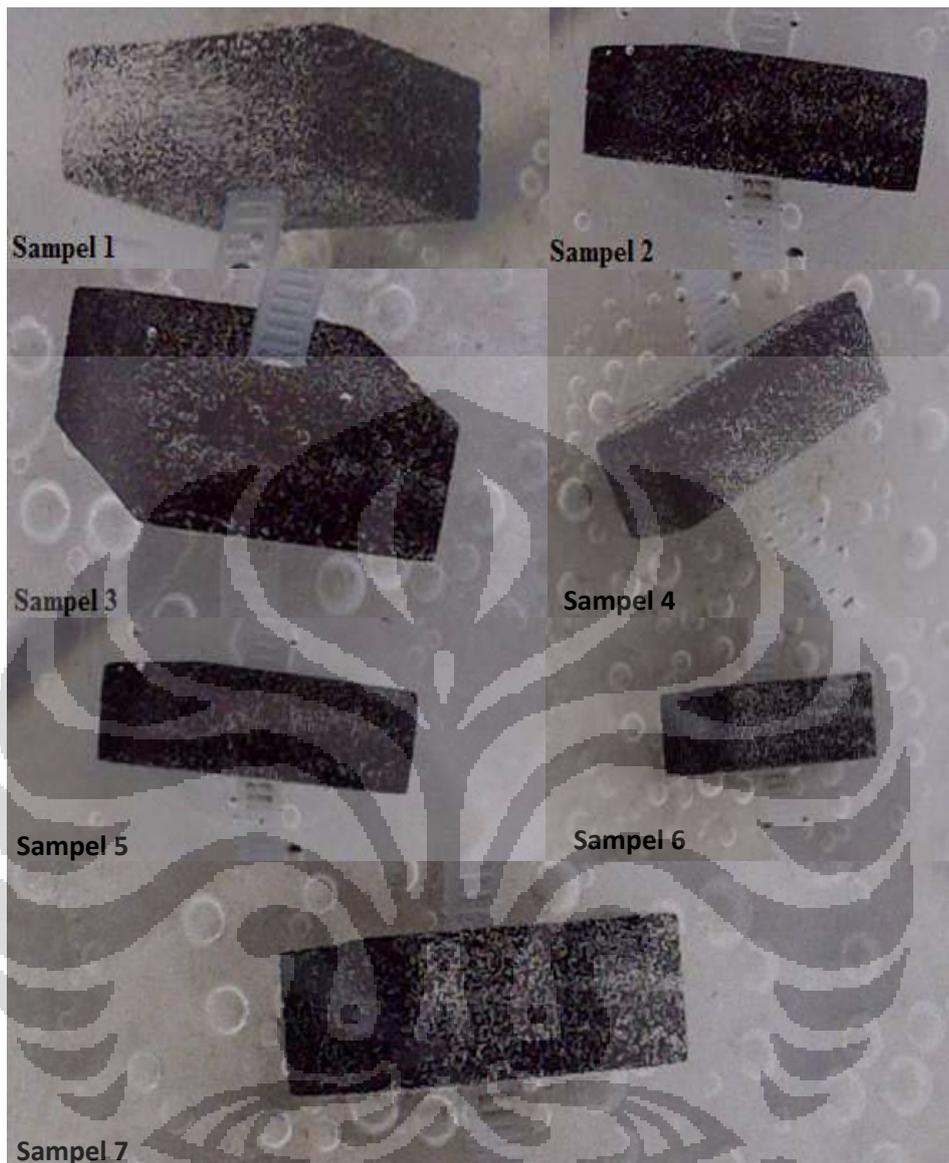
Reduksi ion hidrogen pada katoda menjadi gas hidrogen merupakan faktor utama penentu terjadinya reduksi, seperti yang diberikan pada persamaan reaksi (2.8). Apabila reaksi ini tertahan maka reaksi reduksi pada katoda akan terhambat sehingga diperlukan energi yang lebih untuk mengatasi hambatan ini dengan naiknya potensial pada elektroda katoda. Dengan demikian, jelaslah terlihat adanya inhibisi oleh inhibitor korosi *aniline-4-sulfonate* pada reaksi katoda dengan naiknya potensial polarisasi katoda dalam reaksi ini.



Gambar 4.5 Grafik potensial katoda terhadap konsentrasi inhibitor korosi *aniline-4-sulfonate*.

Jadi jelaslah bahwa inhibisi pada katoda terjadi karena adanya pengurangan reaksi reduksi yang terlihat dari berkurangnya pelepasan gas hidrogen seperti yang diperlihatkan pada gambar 4.6. Penjelasan mengenai terjadinya penurunan kuantitas reaksi reduksi dapat dijelaskan melalui sifat kerja inhibitor yang berinteraksi dengan ion-ion hidrogen melalui gugus fungsionalnya seperti pada ilustrasi skematik pada Gambar 4.7.

Inhibitor yang bekerja dengan mengendalikan reaksi pelepasan hidrogen melibatkan beberapa kemungkinan mekanisme yang menghambat reaksi pada katodik antara lain yaitu pengikatan ion hidrogen melalui konsep ikatan asam basa lewis. Inhibisi katodik ini juga terjadi akibat dua faktor fisik, yaitu penumpukan gas hidrogen pada permukaan elektroda dan mengecilnya jumlah elektroda mikro (titik-titik tempat terjadinya reaksi reduksi pada permukaan elektroda).



Gambar 4.6 Foto pelepasan gas hidrogen yang berkurang dengan bertambahnya konsentrasi inhibitor pada uji rendam. Sampel 1 tanpa inhibitor (terlihat adanya pelepasan gas hidrogen paling banyak). Sampel 2 sampai dengan sampel 7 diterapkan penambahan konsentrasi inhibitor *anilin-4-sulfonate* yang semakin meningkat sehingga menghasilkan pelepasan gas hidrogen yang cenderung berkurang dibandingkan dengan sampel 1.

Konsep asam-basa Lewis menyatakan bahwa ion hidrogen dapat berikatan melalui penggunaan pasangan elektron bebas (donor proton) dimana ion hidrogen yang bermuatan positif menjadi asektor pasangan elektron (akseptor proton). Pada inhibitor *aniline-4-sulfonate*, gugus  $-NH_3$  memiliki sepasang elektron yang dapat digunakan bersama dengan ion hidrogen yang dapat menerima sepasang elektron.

Ketika ikatan terbentuk, maka ion hidrogen menjadi terhambat untuk bergerak ke arah elektroda sehingga reaksi reduksi ion hidrogen menjadi tertahan. Proses inhibisi seperti ini disebut inhibisi antar fasa, dan *aniline-4-sulfonate* dalam hal ini bertindak sebagai inhibitor antar fasa.



Gambar 4.7 Mekanisme pengikatan ion hidrogen yang terjadi pada inhibitor korosi *aniline-4-sulfonate* berdasarkan konsep asam-basa Lewis.

Pada reaksi reduksi dapat teramati berkurangnya pembentukan gas hidrogen yang tertahan pada permukaan. Gas hidrogen yang bersifat nonpolar tidak mudah mudah lepas atau larut dalam larutan asam sulfat 1 M yang bersifat polar sebelum bertemu dengan molekul hidrogen lain sehingga membentuk sekumpulan gas hidrogen yang memiliki daya dorong (berdasarkan berat jenis gas hidrogen) yang cukup untuk melepaskan diri dalam bentuk gelembung.

Terhambatnya pelepasan ini mengakibatkan konsentrasi gas pada permukaan logam tempat terjadinya reaksi reduksi menjadi meningkat. Sesuai dengan prinsip kesetimbangan kimia bahwa reaksi akan bergerak ke arah sisi lain dari persamaan reaksi sedemikian rupa sehingga mengurangi reaktan atau produk yang berlebih atau menambah reaktan atau produk yang berkurang. Pembentukan gas hidrogen pada reaksi korosi baja API 5L GRB N di dalam larutan korosif asam sulfat 1 M sebagai produk dari hasil reaksi elektrokimia mengakibatkan reaksi bergeser ke arah reaktan, dan otomatis reaksi reduksi menjadi menurun.

Penumpukan gas hidrogen pada katoda secara fisik juga dapat menghalangi pergerakan ion hidrogen yang akan mendekati permukaan logam sehingga mengurangi ion hidrogen yang diperlukan dalam reaksi reduksi dan mengurangi luas permukaan tempat berlangsungnya reduksi.

Pembentukan oksida berwarna hitam yang menutupi permukaan baja API 5L GRB N, seperti yang terlihat pada Gambar 4.6, juga dapat memberikan

pengurangan luas permukaan untuk melakukan reaksi kimia. Hal ini mengakibatkan jumlah mikro katoda menjadi berkurang, dan secara otomatis jumlah reaksi reduksi yang terjadi juga berkurang.

Dengan demikian pada reaksi katodik terjadi tiga peristiwa yang memperlambat reaksi katodik yaitu :

1. Inhibisi oleh inhibitor *aniline-4-sulfonate*.
2. Hambatan akibat pembentukan gas hidrogen.
3. Halangan akibat pembentukan lapisan oksida.

Dari efek akibat keberadaan inhibitor korosi *aniline-4-sulfonate* dapat terjadi dua mekanisme yang menghambat laju reaksi katodik yaitu:

1. Pengikatan ion hidrogen oleh inhibitor.
2. Pembentukan “*barrier*” (halangan) oleh inhibitor terhadap ion hidrogen yang akan menuju permukaan logam baik secara fisik maupun secara elektrostatis.

Lima poin di atas menghasilkan akibat yang saling bersinergi dalam menekan reaksi reduksi pada elektroda yaitu:

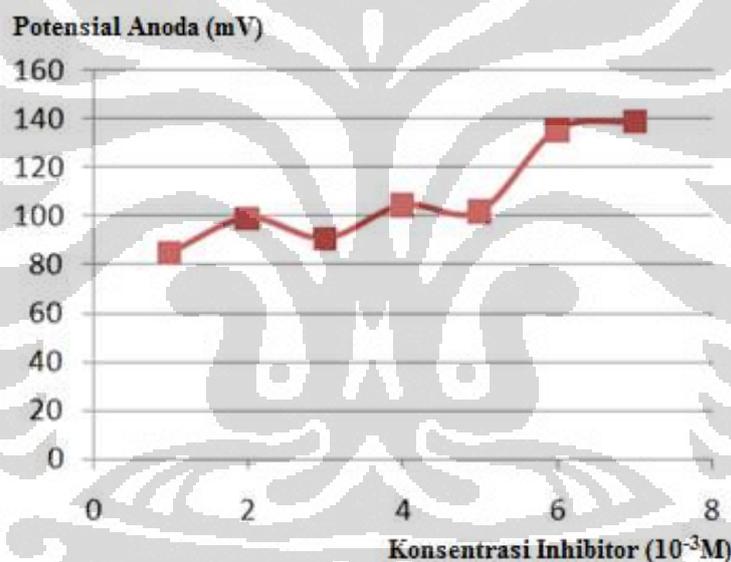
1. Menggeser reaksi ke arah reaktan akibat berlimpahnya produk berupa gas hidrogen.
2. Menggeser reaksi ke arah reaktan akibat berkurangnya reaktan berupa ion hidrogen yang terhalang menuju permukaan logam.
3. Berkurangnya luas permukaan yang diperlukan reaksi reduksi akibat adanya lapisan oksida dan gelembung pada permukaan elektroda.

Dengan terhambatnya reaksi katodik maka secara keseluruhan reaksi korosi yang merupakan reaksi elektrokimia menjadi berkurang dan meningkatkan polarisasi pada reaksi katodik. Pola kurva polarisasi katodik yang kurang teratur dan pada beberapa pengukuran terjadi lonjakan tiba-tiba dapat disebabkan oleh dinamika lapisan ionik dan gas hidrogen yang muncul sebagai gelembung. Pembesaran dan lepasnya gas hidrogen dapat mengacaukan lapisan adsorpsi dan lapisan ionik pada daerah antar muka sehingga potensial katodik menjadi tidak stabil seperti yang terlihat pada Gambar 4.5.

### 4.3.2 Polarisasi Anodik

Pada Gambar 4.6 terlihat adanya pembentukan lapisan hitam pada permukaan logam. Lapisan ini merupakan senyawa yang didominasi oleh lapisan oksida besi hasil reaksi oksidatif pada anoda. Pada lapisan ini muncul gas hidrogen yang memberikan informasi bahwa lapisan ini tidak bersifat protektif terhadap permukaan logam. Produk korosi pada baja API 5L GRB N bersifat porous dan mudah lepas.

Tertutupnya permukaan logam mengurangi jumlah atom besi yang kontak dengan larutan korosif asam sulfat, dalam hal ini ion hidrogen sebagai reduktor. Hal ini menimbulkan halangan yang menghambat reaksi oksidatif yang disebut polarisasi anodik sehingga mengurangi laju reaksi korosi secara total.



Gambar 4.8 Grafik perubahan potensial anoda terhadap bertambahnya inhibitor korosi *aniline-4-sulfonate*.

Gambar 4.8 merupakan grafik yang dibuat berdasarkan data hasil polarisasi seperti yang telah dipaparkan pada Tabel 4.5. Dari grafik diatas terlihat bahwa dengan bertambahnya inhibitor, maka kecenderungan polarisasi juga bertambah. Kenaikan potensial polarisasi anodik ini cukup stabil sehingga diperkirakan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi polarisasi anodik tidak sebanyak faktor-faktor penghambat pada pada reaksi katodik. Untuk melihat kemungkinan

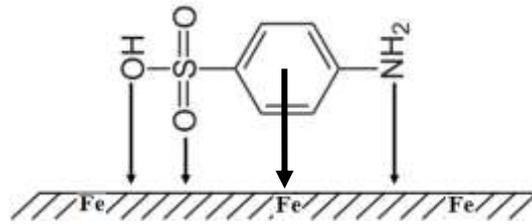
mekanisme yang dapat terjadi dalam menghambat reaksi polarisasi adalah dengan membagi dua faktor inhibisi seperti yang telah dilakukan pada analisa untuk reaksi katodik. Kedua faktor tersebut adalah faktor inhibitor dan faktor non inhibitor dengan tetap mengacu pada reaksi anodik seperti yang telah dipaparkan pada persamaan reaksi (2.8).

Untuk membahas potensial anodik yang terjadi pada anoda adalah dengan melihat sepesis-spesis yang terlibat dalam reaksi anodik dan interaksi yang mempengaruhi spesies-spesies tersebut dalam berinteraksi. Penyebab penurunan laju yang terjadi pada reaksi anodik hanya terfokus pada interaksi yang melibatkan besi dan ionnya karena tidak ada spesies lain yang terlibat pada reaksi anodik tersebut. Sebagai inhibitor dengan struktur molekul ramping dan sederhana, *aniline-4-sulfonate* mempunyai keunggulan untuk dapat mencapai permukaan logam dengan rintangan (*steric factor*) yang kecil dibanding inhibitor organik dengan struktur kompleks yang memiliki struktur molekul lebih besar dan berantai panjang. Struktur seperti ini memberikan kemudahan untuk mencapai permukaan logam dan berinteraksi dengan permukaan logam dalam melakukan proses inhibisi.

#### 4.3.2.1 Interaksi Inhibitor dengan Baja

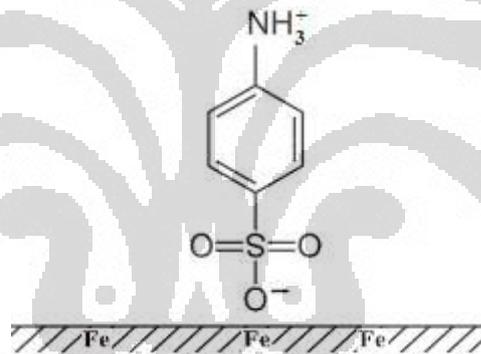
Inhibisi korosi pada permukaan anodik oleh suatu inhibitor dapat dijelaskan melalui suatu mekanisme adsorpsi pada permukaan logam yang sedang mengalami korosi. *Aniline-4-sulfonate* terbagi atas tiga bagian utama pembentuk struktur molekul. Ketiga bagian tersebut dapat bertindak sebagai gugus aktif karena memiliki densitas elektron yang tinggi. Ketiga bagian tersebut adalah gugus amin, benzen, dan sulfonat. Kemungkinan-kemungkinan ikatan yang dapat terbentuk adalah antara logam besi dan pasangan elektron bebas atom oksigen pada gugus sulfonat ( $S=O$ ), atom oksigen pada basa konjugat ( $S-O^-$ ), elektron  $\pi$  pada cincin benzen dan atom N pada gugus amin.

Ada dua kemungkinan interaksi yang dapat terjadi yaitu interaksi elektrostatis dan penggunaan pasangan elektron bebas secara bersama. Gambaran ketiga ikatan kovalen koordinasi tersebut diperlihatkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Model interaksi pada adsorpsi *aniline-4-sulfonate* di permukaan baja.

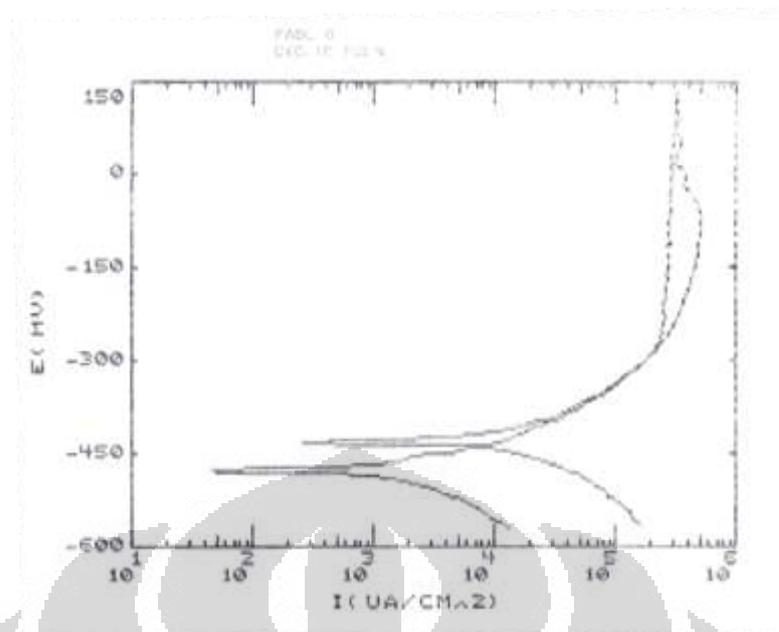
Pada gugus hidroksil, atom oksigen dapat memiliki bentuk lain dengan melepaskan ion hidrogen sehingga terbentuk ion konjugat biasanya yang bermuatan negatif, Gambar 4.10. Atom oksigen yang bermuatan negatif ini juga dapat melakukan interaksi elektrostatik terhadap atom besi pada permukaan logam. Jenis interaksi yang terjadi dijelaskan pada sub bab 4.4.



Gambar 4.10 Model ikatan  $\pi$  *aniline-4-sulfonate* pada permukaan baja.

#### 4.3.2.2 Pembentukan Senyawa Oksida

Pembentukan produk korosi pada permukaan baja API 5L GRB N tidak serta merta lepas dari permukaan logam. Produk korosi yang menempel menghalangi kontak zat terlarut dengan atom besi yang terdapat dibawah oksida tersebut. Pada uji polarisasi ini, peningkatan potensial anoda yang cukup kecil dan stabil tidak terlepas dari karakteristik produk korosi yang tipis, bersifat porous dan tidak permanen, sehingga rintangan fisik yang terjadi tidak sebesar pada reaksi katoda.



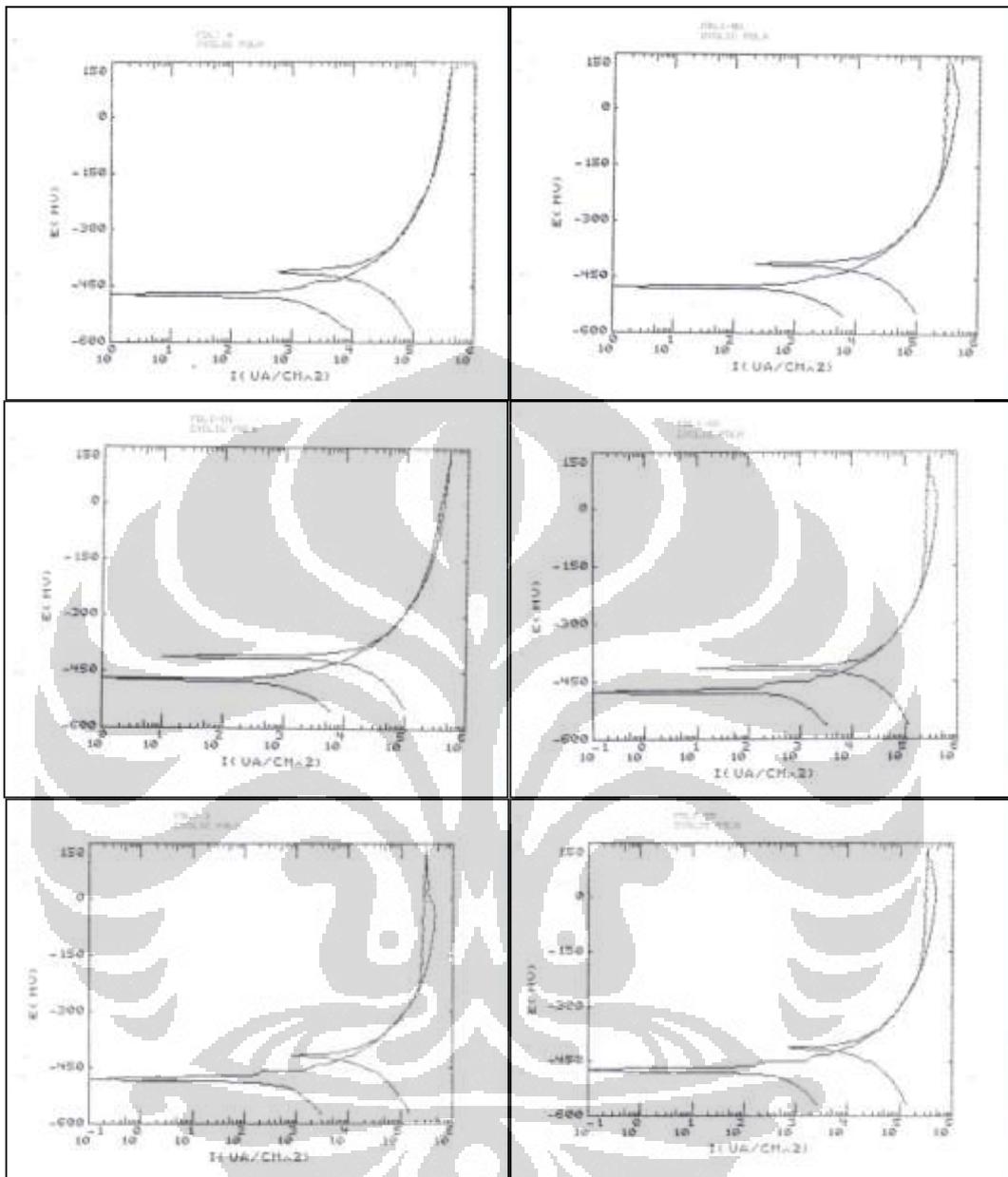
Gambar 4.11 Kurva Polarisasi pada sampel baja API 5L GRB N dalam larutan asam sulfat 1 M tanpa inhibitor.

#### 4.4 Efisiensi Inhibisi pada Uji Rendam

Hasil kurva polarisasi memperlihatkan adanya perbedaan yang menyolok dengan hasil yang didapat oleh hasil tes dengan metode perendaman. Perbedaan itu terutama terletak pada tidak adanya gejala korosi sumuran ataupun korosi lubangan yang terlihat pada pola kurva polarisasi.



Gambar 4.12 Pola Korosi lubangan dan sumuran. a. Tanpa inhibitor. B. Dengan variasi inhibitor, dari kiri ke kanan konsentrasi inhibitor semakin tinggi.



Gambar 4.13 Kurva polarisasi pada sampel baja API 5L GRB N dalam larutan asam sulfat 1 M menggunakan inhibitor.

Dengan waktu uji polarisasi yang sangat pendek yaitu 4 menit, maka oksida yang terbentuk pada permukaan sangat tipis, sehingga kerja inhibitor cukup efektif untuk mengadakan interaksi tanpa halangan yang berarti dengan permukaan logam. Kurva polarisasi juga tidak menunjukkan adanya gejala korosi sumuran, seperti yang terlihat pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13.

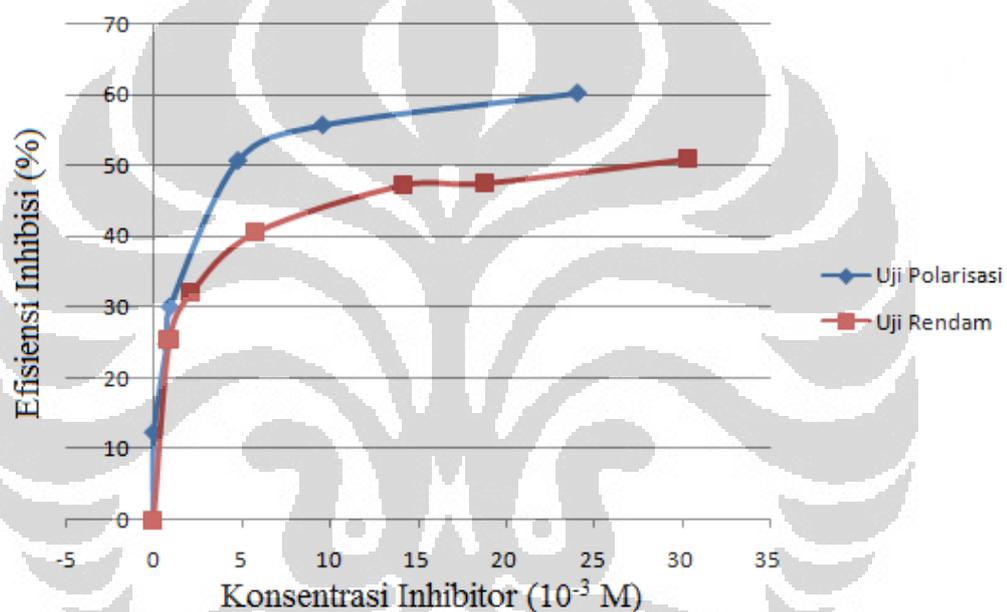
Tabel 4.6 Data hasil pengujian dengan metoda uji rendam (*immersion test*).

Sampel	Konsentrasi <i>Aniline-4-sulfonate</i> (M)	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Berat Hilang (g)	Kecepatan Korosi (mpy)	Efisiensi Inhibisi (%)
1	0	25,6600	18,5023	7,1577	2875,31	0
2	$9,04 \times 10^{-4}$	24,3124	18,4234	5,8890	2365,66	17,72
3	$2,15 \times 10^{-3}$	24,9532	19,6018	5,3514	2149,70	25,24
4	$5,81 \times 10^{-3}$	24,7972	20,1170	4,6802	1880,01	34,61
5	$1,42 \times 10^{-2}$	25,2270	21,0732	4,1538	1668,62	41,97
6	$1,88 \times 10^{-2}$	26,2754	22,1354	4,1400	1663,10	42,16
7	$3,03 \times 10^{-2}$	25,8064	21,9468	3,8596	1550,35	46,07

Pada uji rendam, produk korosi yang menempel pada permukaan semakin banyak sehingga interaksi inhibitor pada permukaan logam semakin berkurang terutama pada kerja inhibitor untuk melakukan inhibisi secara anodik. Dengan demikian maka terjadi penurunan efisiensi inhibitor pada uji rendam dibandingkan dengan pengujian yang didapat dengan metoda polarisasi seperti yang paparkan pada Tabel 4.6 dan diperlihatkan secara grafis pada Gambar 4.14.

Pada pengujian menggunakan metoda perendaman terlihat adanya efek inhibisi yang masih terjadi, walaupun korosi lubang dan sumuran terjadi, tetapi dengan kecenderungan yang menurun pada konsentrasi inhibitor yang semakin meningkat, seperti yang terlihat pada Gambar 4.12.b. Hal ini tidak terjadi pada permukaan logam yang sama sekali tidak menggunakan inhibitor dimana bentuk awal permukaan lebih rusak, Gambar 4.12.a. Sehingga secara garis besar inhibisi secara anodik masih dapat bekerja pada permukaan logam. Hal ini diperkuat dengan data pengurangan berat hasil uji rendam yang dipaparkan pada Tabel 4.6 dan grafik pada Gambar 4.13 dimana naiknya konsentrasi inhibitor masih dapat mengurangi kehilangan berat akibat proses oksidasi.

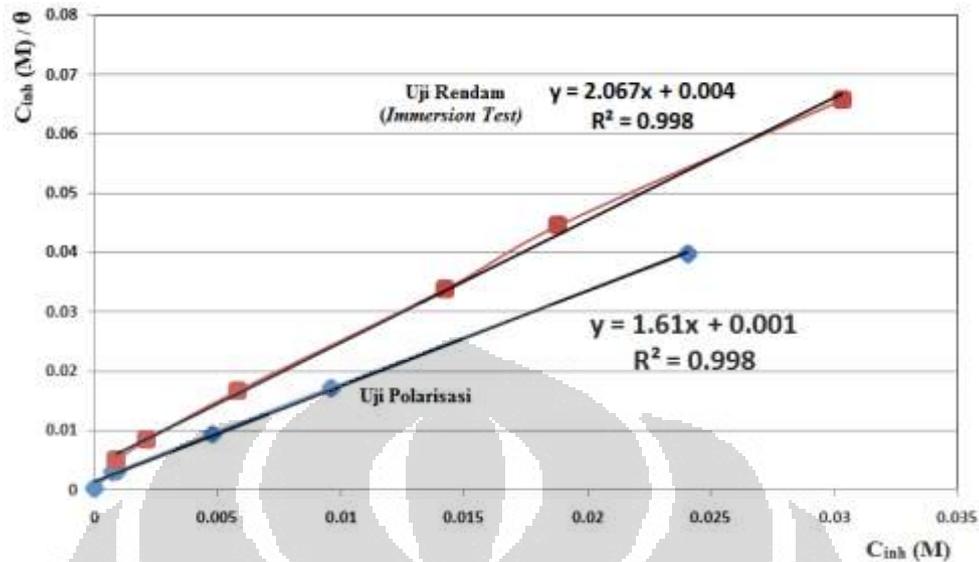
Efek yang terlihat pada permukaan logam (Gambar 4.12.b) memperlihatkan kuantitas korosi lubang dan sumuran yang cenderung menurun menandakan adanya inhibisi oleh inhibitor *aniline-4-sulfonate*. Jadi jelaslah bahwa semakin lama waktu kontak dengan larutan korosif dimana semakin tebal produk korosi yang menutupi permukaan baja, maka efisiensi inhibisi menurun dengan pola inhibisi yang sama seperti pada pola kurva pada uji polarisasi dengan waktu yang singkat. Hal ini menandakan walaupun terjadi penurunan efisiensi inhibisi, tetapi mekanisme yang terjadi tetap berjalan dengan pola yang sama.



Gambar 4.14 Kurva hasil uji polarisasi dan uji rendam baja API 5L GRB N dalam larutan korosif asam sulfat 1 M.

#### 4.5 Mekanisme Adsorpsi

Mekanisme adsorpsi inhibitor *aniline-4-sulfonate* pada permukaan baja API 5L GRB N dalam larutan korosif asam sulfat 1 M yang dilakukan pada percobaan ini dapat dilihat melalui pengolahan data-data yang diperoleh dari metoda polarisasi menggunakan alat potensiostat. Hasil yang diperoleh akan menjelaskan hubungan antara mekanisme adsorpsi inhibitor dan jenis adsorpsi pada permukaan baja terhadap derajat penutupan permukaan (*degree of surface coverage*),  $\theta$ . Hasil pengolahan data diperlihatkan pada Tabel 4.7.



Gambar 4.15 Kurva isoterm adsorpsi Langmuir. Hasil ekstrapolasi menghasilkan nilai  $R^2 \approx 1$ .

Kurva diatas memperlihatkan koordinat-koordinat hasil perhitungan data-data yang didapat dari percobaan dengan uji rendam dan uji polarisasi. Kurva yang dibentuk oleh titik-titik hasil percobaan (Gambar 4.15) menunjukkan kelinieran yang sangat tinggi dengan nilai akurasi,  $R^2$ , hampir sama dengan 1. Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi *aniline-4-sulfonate* sebagai inhibitor pada permukaan baja API 5L GRB N dalam larutan korosif asam sulfat 1 M sangat mengikuti mekanisme isoterm adsorpsi Langmuir, baik untuk uji rendam maupun untuk uji polarisasi.

Dengan kesesuaian yang sangat kuat ini maka perilaku inhibisi *aniline-4-sulfonate* pada permukaan baja API 5L GRB N dalam larutan korosif asam sulfat 1 M adalah sebagai berikut :

1. Tidak terjadi penambahan atau pengurangan area adsorpsi oleh satu molekul inhibitor. Atau sebaliknya satu area dengan luas tertentu diinhibisi oleh sejumlah molekul inhibitor yang sama.
2. Tidak ada interaksi antara molekul *aniline-4-sulfonate* berdekatan yang teradsorpsi pada permukaan logam.
3. Semua adsorpsi terjadi dengan mekanisme yang sama.

4. Pada adsorpsi maksimum, hanya terbentuk satu lapisan adsorpsi dan tidak terjadi tumpang tindih yang mempengaruhi kekuatan adsorpsi pada lapisan inhibitor bagian bawah.

Penjelasan pada nomor 2 (dua) menunjukkan bahwa sekalipun molekul *aniline-4-sulfonate* dapat mengandung dua gugus positif dan negatif sekaligus, namun tidak terjadi interaksi antara molekul *aniline-4-sulfonate* yang satu dengan lainnya. Dari percobaan ini dapatlah ditarik suatu kesimpulan dimana dengan terbentuknya lapisan oksida pada permukaan baja tidak merubah mekanisme inhibisi yang terjadi, hanya efisiensi yang menurun.

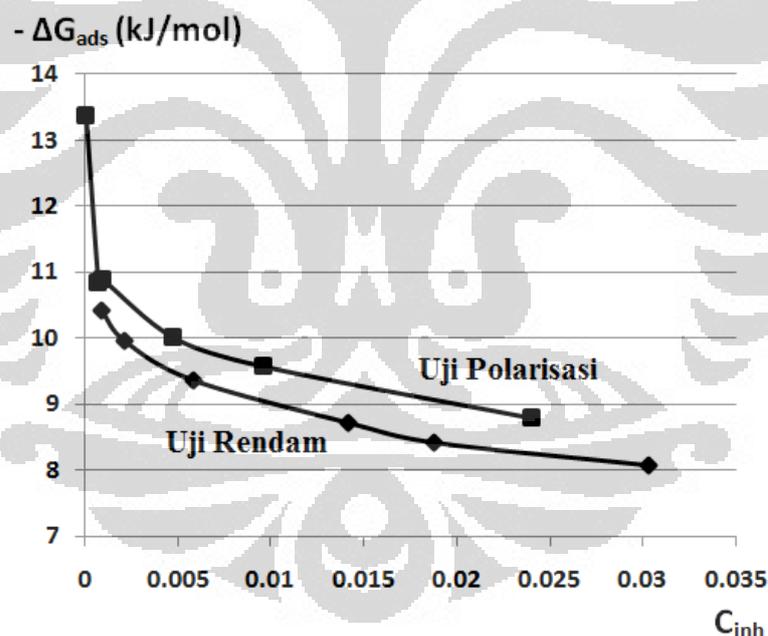
Adapun kemiringan kurva adalah representasi perbandingan dari luas permukaan yang terinhibisi terhadap luas permukaan teraktifasi yaitu permukaan yang ikut dalam kesetimbangan, bukan luas permukaan material logam yang terendam. Adapun bagian permukaan logam yang terdeaktifasi tidak termasuk dalam hitungan, seperti bagian permukaan yang tertutup pengotor sejenis cat, lemak, oksida pasif, dan lain sebagainya. Kemiringan kurva yang mencapai  $45^\circ$  menunjukkan seluruh permukaan yang teraktifasi terinhibisi sempurna. Dengan kata lain perbandingan permukaan yang terinhibisi terhadap permukaan yang teraktifasi sama dengan 1. Sedangkan kemiringan diatas  $45^\circ$  tidaklah mungkin.

Tabel 4.7 Hasil perhitungan energi bebas pada berbagai nilai efisiensi inhibisi.

$\theta$		$\Delta G_{ads}$ (kJ/mol)	
Polarisasi	Rendam	Polarisasi	Rendam
0,124	0,1772	-13,372	-10,417
0,249	0,2524	-10,846	-9,959
0,301	0,3461	-10,893	-9,362
0,508	0,4197	-10,009	-8,723
0,558	0,4216	-9,569	-8,424
0,603	0,4607	-8,782	-8,074

Untuk menggali lebih dalam mekanisme yang terjadi dengan data-data yang diperoleh maka pada bagian berikut akan dihitung perubahan energi bebas yang terlibat dari data-data yang diperoleh pada pengujian berikut. Dengan menggunakan persamaan (2.14), (2.15), dan (2.16), dapat dihitung nilai  $\Delta G_{\text{ads}}$  menggunakan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian dengan metoda polarisasi seperti yang dipaparkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.7 memberikan hasil yang memperlihatkan adanya penurunan energi yang dilepaskan saat terjadi proses adsorpsi. Nilai energi bebas yang didapat untuk semua nilai efisien inhibisi berada di antara 0 dan -20 kJ/mol. Ini berarti adsorpsi yang terjadi adalah jenis fisiosorpsi. Karakteristik adsorpsi *aniline-4-sulfonate* pada permukaan baja sangat konsisten mengikuti isotherm adsorpsi langmuir dengan nilai  $R^2 \approx 1$ .



Gambar 4.16 Kurva energi bebas adsorpsi terhadap efisiensi inhibisi.

Dengan demikian asumsi-asumsi yang mendasari mekanisme isotherm adsorpsi Langmuir juga dipenuhi pada mekanisme inhibisi oleh inhibitor *aniline-4-sulfonate* pada permukaan baja API 5L GRB N dalam larutan asam sulfat 1 M.

Gambar 4.16 memperlihatkan penurunan energi bebas yang semakin melandai dan cenderung konstan dengan meningkatnya efisiensi inhibisi. Peningkatan efisiensi inhibisi juga menuju ke arah konstan dengan meningkatnya konsentrasi inhibitor (Gambar 4.4).

Dari serangkaian data-data yang diperoleh dan grafik-grafik yang dibuat, maka dapatlah ditarik suatu hubungan yang saling berkaitan dan menguatkan satu dengan lainnya, dimana tercapainya suatu nilai optimum efisiensi inhibisi menandakan tercapainya nilai optimum derajat penutupan permukaan dan pada saat bersamaan juga tercapai nilai minimum energi bebas (Gambar 4.16). Pada kondisi efisiensi inhibisi optimum dimana pertambahan efisiensi inhibisi terhadap penambahan konsentrasi inhibitor berkurang yang ditandai dengan bentuk kurva yang mulai mendatar (Gambar 4.4 dan Gambar 4.16), kekuatan ikatan adsorpsi juga menurun ( $-\Delta G_{\text{ads}}$  berkurang) tetapi masih tetap dapat melakukan fungsi inhibisi sesuai mekanisme adsorpsi isoterm Langmuir.

Bila dilihat dari kedua jenis pengujian, baik uji rendam ataupun uji polarisasi, keduanya tetap mengikuti isoterm adsorpsi Langmuir. Adanya produk korosi yang menutupi permukaan logam tidak terlalu berpengaruh terhadap mekanisme inhibisi sehingga dapat disimpulkan bahwa interaksi inhibitor pada permukaan dengan nilai perubahan energi bebas adsorpsi yang rendah merupakan adsorpsi fisik yang terjadi melalui interaksi elektrostatis.

Dari persamaan reaksi (2.17) juga dapat dilihat adanya batasan yang mempengaruhi karakteristik mekanisme inhibisi yang terjadi oleh suatu koefisien adsorpsi  $b$  pada permukaan baja dimana koefisien adsorpsi tersebut berbanding lurus dengan derajat penutupan permukaan (*degree of surface coverage*) seperti yang diperlihatkan pada persamaan (2.13), sesuai asumsi yang mendasari mekanisme isoterm adsorpsi Langmuir.

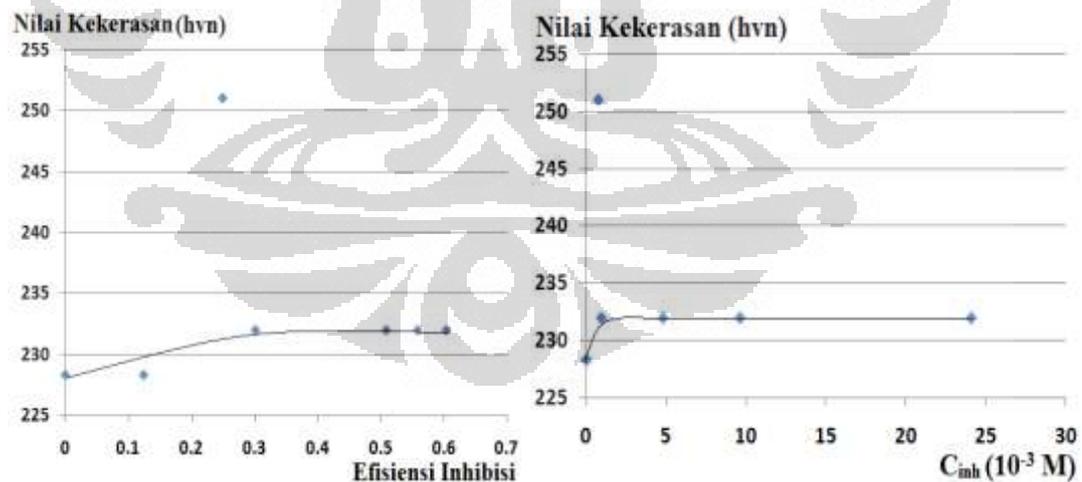
#### 4.6 Uji Kekerasan

Dari Tabel 4.8 terlihat adanya peningkatan nilai kekerasan terhadap naiknya konsentrasi inhibitor. Pola kenaikan nilai kekerasan terhadap konsentrasi inhibitor memperlihatkan pola yang sama dimana sampai pada nilai tertentu akan tercapai nilai optimal dan setelah itu cenderung mendatar, Gambar 4.17.

Tabel 4.8 Nilai kekerasan inhibisi pada konsentrasi dan efisiensi inhibisi

Sampel	$C_{inh}$ ( $10^{-3}$ M)	Efisiensi Inhibisi	Nilai Kekerasan (hvn)
1	0	0	228,33
2	0,039	0.124	228,33
3	0,77	0.249	251,00
4	0,96	0.301	232,00
5	4,81	0.508	232,00
6	9,62	0.558	232,00
7	24,06	0.603	232,00

Untuk lebih jelasnya tabel di atas direpresentasikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.16. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa penambahan inhibitor berhasil meningkatkan kekerasan dibanding baja yang mengalami korosi tanpa menggunakan inhibitor.



Gambar 4.17 Grafik nilai kekerasan terhadap efisiensi inhibisi dan nilai kekerasan terhadap konsentrasi.

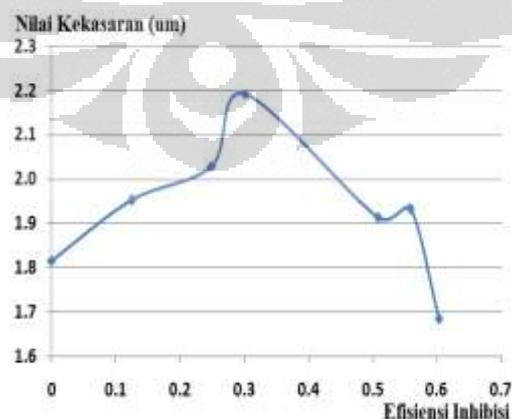
#### 4.7 Uji Kekasaran

Hasil dari uji kekerasan memperlihatkan adanya kecenderungan penurunan nilai kekasaran terhadap peningkatan konsentrasi dan efisiensi inhibisi.

Tabel 4.9 Nilai kekasaran terhadap konsentrasi dan efisiensi inhibisi

Sampel	$C_{inh}$ ( $10^{-3}$ M)	Efisiensi Inhibisi	Nilai Kekasaran Rerata ( $\mu\text{m}$ )
1	0	0	1,816
2	0,039	0.124	1,952
3	0,77	0.249	2,028
4	0,96	0.301	2,192
5	4,81	0.508	1,912
6	9,62	0.558	1,932
7	24,06	0.603	1,684

Tabel 4.9 memperlihatkan adanya penurunan nilai kekasaran terhadap naiknya konsentrasi inhibitor dan nilai efisiensi inhibisi. Kurva perubahan kekasaran terhadap konsentrasi dan efisiensi inhibisi memperlihatkan pola yang cenderung menurun. Untuk lebih jelasnya tabel di atas direpresentasikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.18.

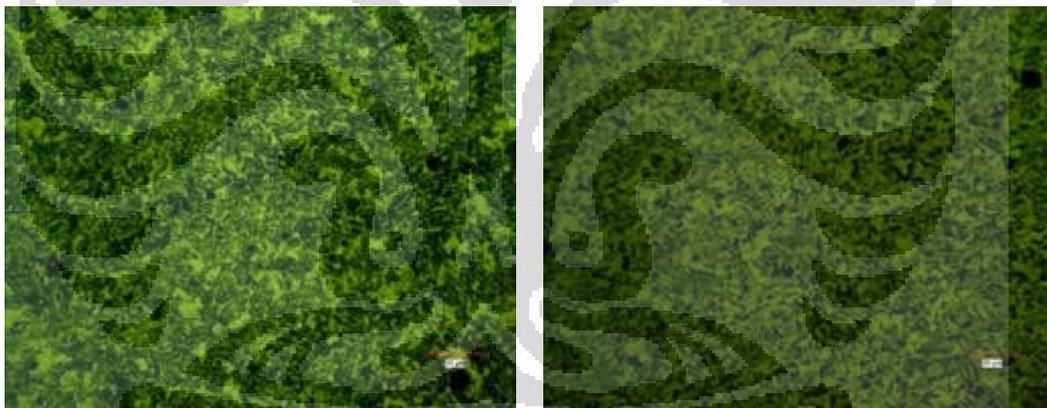


Gambar 4.18 Grafik nilai kekasaran terhadap efisiensi inhibisi.

Dengan demikian jelaslah bahwa terlihat adanya kecenderungan menurunnya nilai kekasaran terhadap meningkatnya efisiensi inhibisi diatas 0,3 sebagai akibat dari pasifasi terhadap permukaan logam dalam larutan korosif asam sulfat, Gambar 4.18. Meningkatnya inhibisi berarti meningkatkan derajat penutupan permukaan luas permukaan, yang berarti permukaan yang terlindungi juga bertambah besar, sehingga kerusakan permukaan yang mengakibatkan kekasaran pada permukaan logam dapat ditekan.

#### 4.8 Analisa Menggunakan Mikroskop Optik

Dari hasil analisa menggunakan mikroskop optik terlihat bahwa terjadi penghalusan pada permukaan baja yang menggunakan inhibitor dibanding baja API 5L GRB N yang terkorosi dalam larutan asam sulfat 1 M tanpa inhibitor.

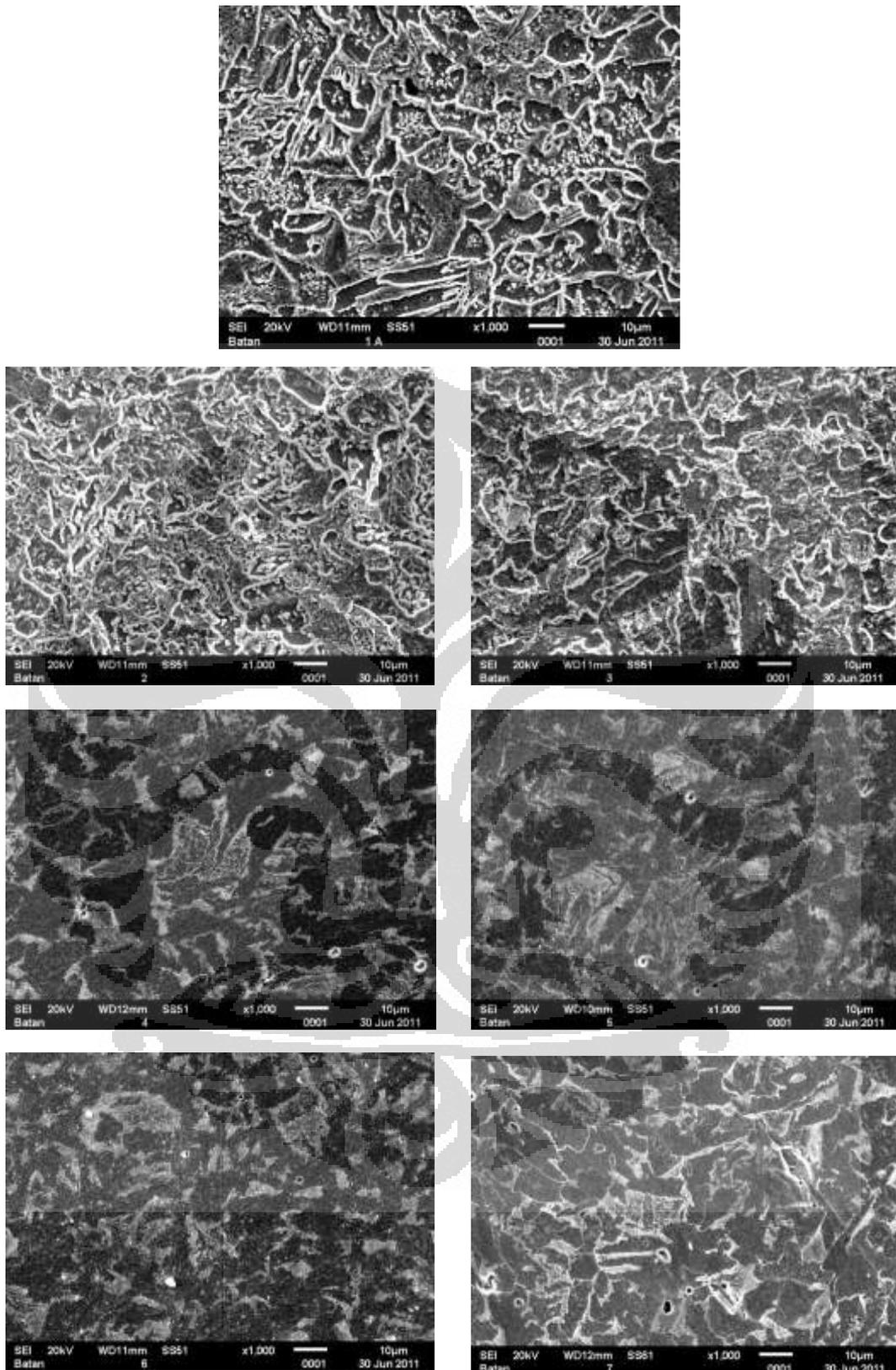


Gambar 4.19 Foto mikroskop optik permukaan Baja API 5L GRB N yang terkorosi dalam asam sulfat 1 M tanpa inhibitor (kiri) dan menggunakan inhibitor  $24,06 \times 10^{-3} \text{M}$  (kanan).

Dari Gambar 4.19 terlihat adanya efek penghalusan dimana puncak-puncak pada permukaan logam hilang dan permukaan menjadi relatif lebih halus dan rata.

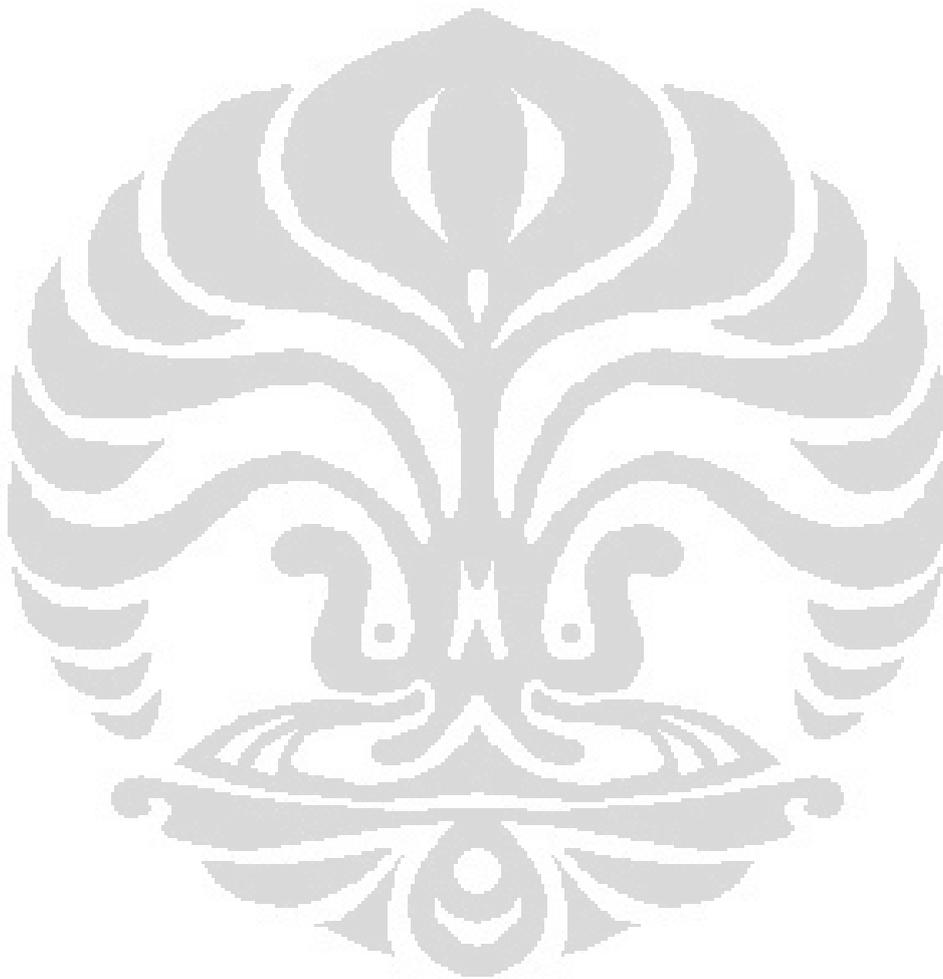
#### 4.9 Analisa Menggunakan SEM

Analisa SEM memperlihatkan adanya perubahan bertahap terhadap morfologi permukaan baja API 5L GRB N yang terkorosi dalam larutan asam sulfat 1 M tanpa inhibitor dan menggunakan inhibitor dengan variasi konsentrasi.



Gambar 4.20 Foto SEM permukaan API 5L GRB N yang terkorosi dalam larutan asam sulfat 1 M tanpa inhibitor (gambar 1A, paling atas) dan menggunakan inhibitor dengan konsentrasi yang semakin meningkat sesuai tabel 4.5 (mulai gambar nomor 2 sampai nomor 7).

Hasil foto SEM pada Gambar 4.20 memperlihatkan adanya perubahan pada morfologi permukaan yang semakin merata dengan bertambahnya konsentrasi inhibitor (sesuai tabel 4.5) dimana adsorpsi dan penutupan permukaan juga meningkat.



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Laju korosi baja API 5L GRB N dalam larutan asam sulfat 1 M berkurang dengan penambahan inhibitor *anilin-4-sulfonate* dengan efisiensi inhibisi sebesar 60,29% pada konsentrasi inhibitor  $24,06 \times 10^{-3}$  M.
2. Mekanisme yang terjadi pada proses inhibisi korosi pada baja karbon API 5L GRB N dalam larutan korosif asam sulfat 1 M adalah adsorpsi isoterm Langmuir dengan akurasi kelinieran  $R^2 = 0,998$ .
3. Kerusakan pada kekerasan dan kekasaran akibat dampak korosi yang terjadi pada baja karbon API 5L GRB B dalam larutan korosif asam sulfat 1 M dapat dikurangi dengan penambahan inhibitor *aniline-4-sulfonate* pada konsentrasi  $24,06 \times 10^{-3}$  M.

#### 5.2 Saran-saran

1. Perlu diteliti penggunaan senyawa *aniline-4-sulfonate* sebagai inhibitor korosi pada logam lain dengan variasi temperatur yang berbeda.
2. Perlu diteliti penerapan langsung inhibitor *aniline-4-sulfonate* pada proses *pickling* baja, proteksi pipa dan tabung-tabung instalasi pabrik yang kontak dengan cairan asam.

## DAFTAR REFERENSI

Abo Daif, H. M., (2010). *Minimize Corrosion and Scratching of Carbon Steel Specimens in Spindle Oil by Improving its Oxidation Stability. International Journal of Academic Research*, Vol. 2, 261-267.

Amstead, B.H. dkk., (1985). *Teknologi Mekanik*, Jilid 1, Terjemahan Sriati Djapri, Penerbit Erlangga, Jakarta.

API Specification 5L, *Specification for Line Pipe, Forty-Fourth Edition*, October 1, 2007.

Basinski Z. S., Hume-Rothery W, Sutton A. L., (1955). *The lattice expansion of iron Locality: synthetic Sample, Proceedings of the Royal Society of London A* **229**, 459-467

Begum, A. S., Mallika J., Gayathri, (2010). Corrosion inhibition Property of Some 1,3,4-Thiadiazolines on Mild Steel in Acidic Medium. *E-Journal of Chemistry*, 7(10), 185-197.

Eddy, O. N., Ebenso E. E., Ibok U. J. (2009). *Adsorption and Quantum Chemical Studies of The Inhibitive Properties of Tetracycline for The Corrosion of Mild Steel in 0.1 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>*, *J. Argent. Chem. Soc.*, 97(2), 178-194.

Evans, U.R., Arnold, E, (1976). *The Corrosion and Oxidation of Metals: Second Supplementary Volume*, London.

F. IZUMI, (1996). *A Rietveld-Refinement Program RIETAN-94 for Angle-Dispersive X-Ray and Neutron Powder Diffraction*, National Institute for

Fontana, Mars G., (1987). *Corrosion Engineering*, McGraw-Hill Book Company. New York.

Fouda A.S , Elithy, A.S., (2009). *Inhibition Effect of 4-Phenylthiazole derivatives on corrosion of 304L Stainless Steel in HCl Solution*. Cairo, Egypt.

NACE TM-0169-76, *Standard Test Method Laboratory Corrosion Testing of metals for the Process industries, Item No. 5300. Reprinted May 1992.*

Parameswari K., Chitra S., Unnisa Nusrath C., and Selvaraj A, (2010). *Effect of Azlactones on Corrosion Inhibition of Mild Steel in Acid Medium*, *J. Appl. Sci. Res.*, 6(8): 1100-1110.

Quartarone, G., Anbalangan, K., Andal, N. M., (2004). *Adsorption Dynamics and Equilibrium Studies of Zn(II) onto Chitosan*. *Indian J. Chem. Sci.*, 116, 2, pp. 119-127.

*Research in Inorganic Materials 1-1*, Namiki, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan, Revised on June 22.

S. Chitra, K. Parameswari, A. Selvaraj, (2010). *Dianiline Schiff Bases as inhibitor of Mild Steel Corrosion in Acid Media*, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 5, 1675-1697.

Sundjono, (1996). *Penanggulangan Korosi Dalam Lingkungan Aqueous Dengan Inhibitor*, Kursus Teknologi Pengendalian Korosi Pada Sistem Gas Bumi, Puslitbang Metalurgi L1PI, Jakarta.

Supardi, Rachmat, (1997). *Korosi*, Penerbit Tarsito. Bandung.

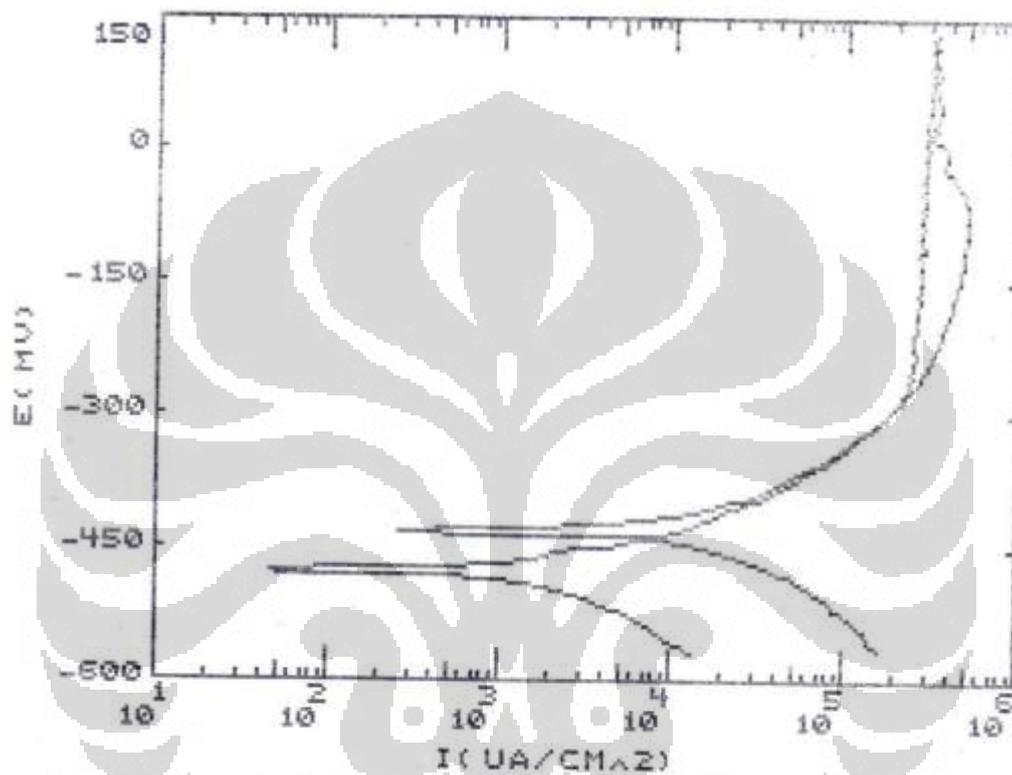
Trethewey, KR. Chamberlain, John, (1991). *Korosi Untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa*, Alih bahasa Alex Tri Kantjono Widodo. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Wahyuningrum, D., et. al. (2008). *The Correlation between Structure and Corrosion Inhibition Activity of 4,5-Diphenyl-1-vinylimidazole Derivative Compounds towards Mild Steel in 1% NaCl Solution*, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 3 154-166.

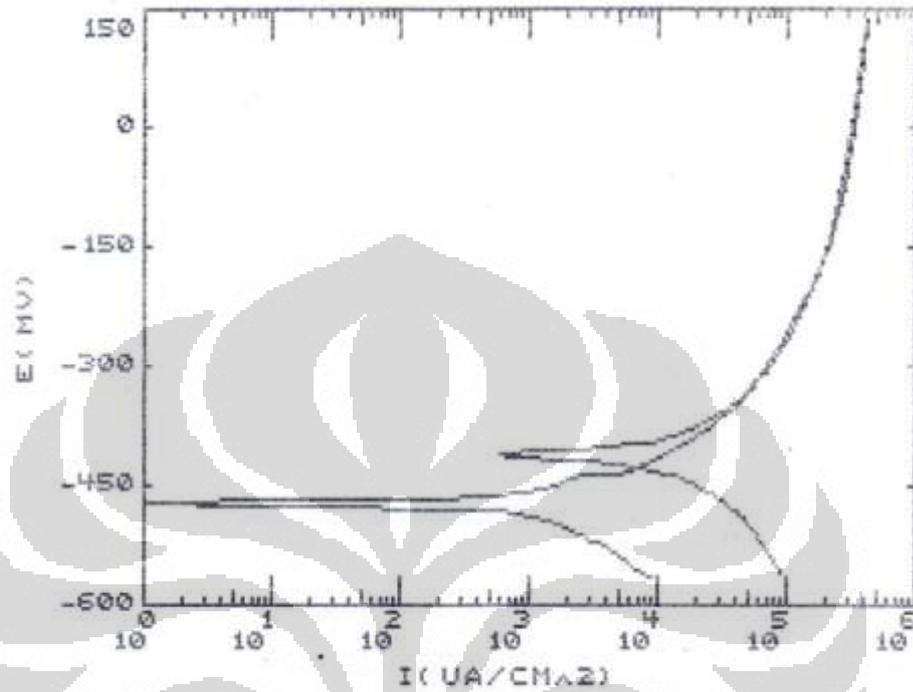
Yudi M.S., (2002). *Analisa Umur Pakai Sistem Pemipaan Produksi Minyak dan Gas Menggunakan Metoda RBI*, Risk Management Book Series I, Jakarta.

**LAMPIRAN**

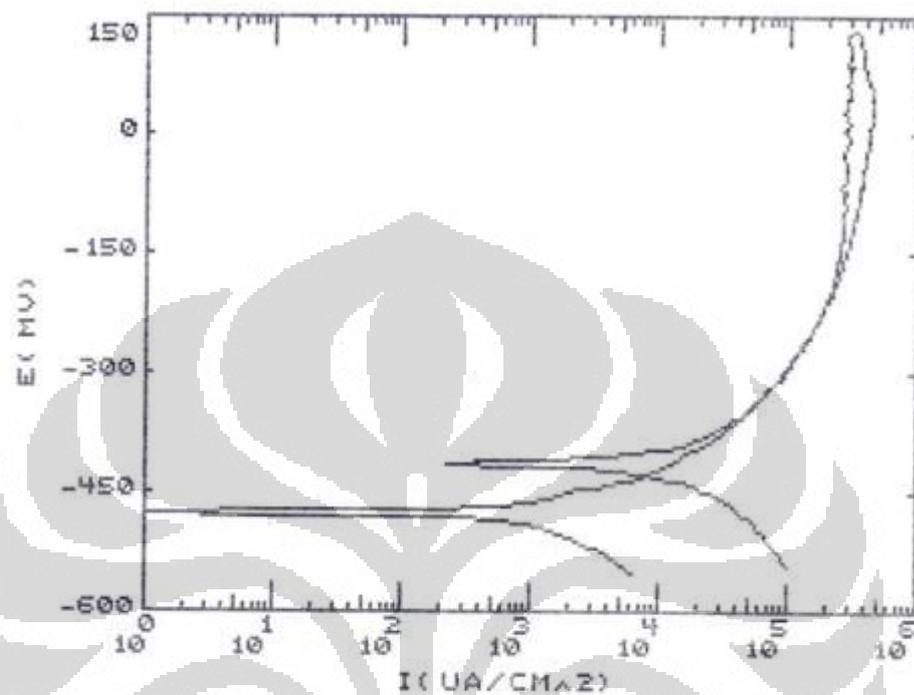
Lampiran 1 : Kurva Polarisasi Baja API 5L GRB N dalam Larutan Asam Sulfat 1 M, Tanpa Inhibitor.



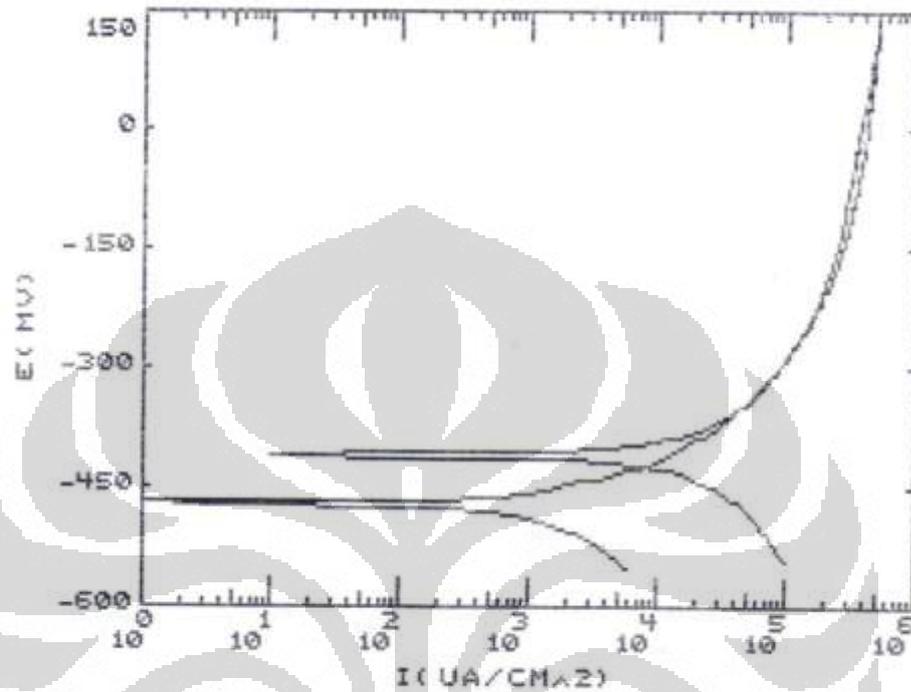
Lampiran 2 : Kurva Polarisasi Baja API 5L GRB N dalam Larutan Asam Sulfat 1 M, Dengan Inhibitor  $0,039 \times 10^{-3} \text{M}$ .



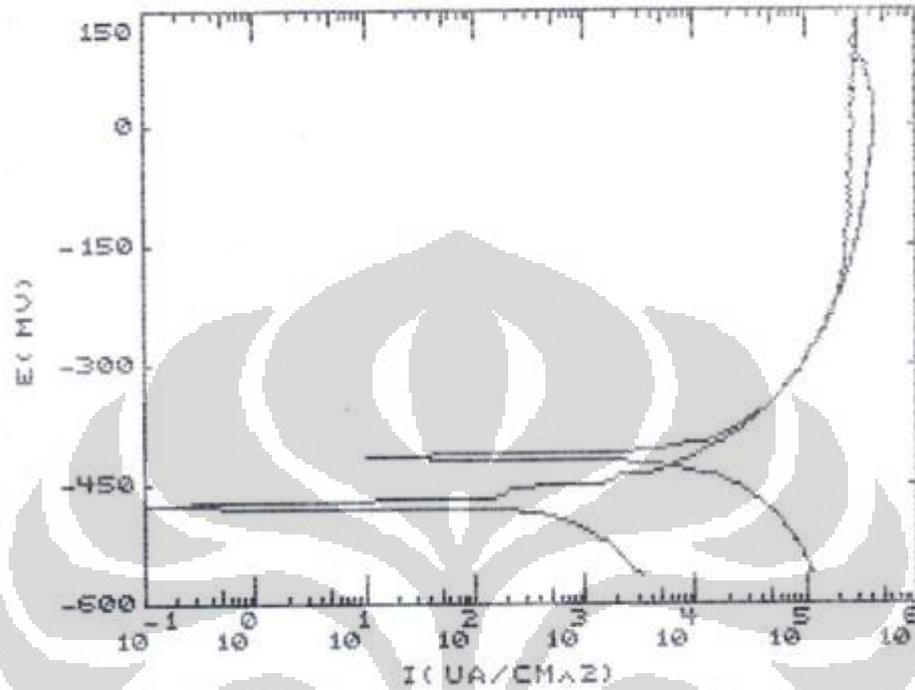
Lampiran 3 : Kurva Polarisasi Baja API 5L GRB N dalam Larutan Asam Sulfat 1 M, Dengan Inhibitor  $0,77 \times 10^{-3}M$ .



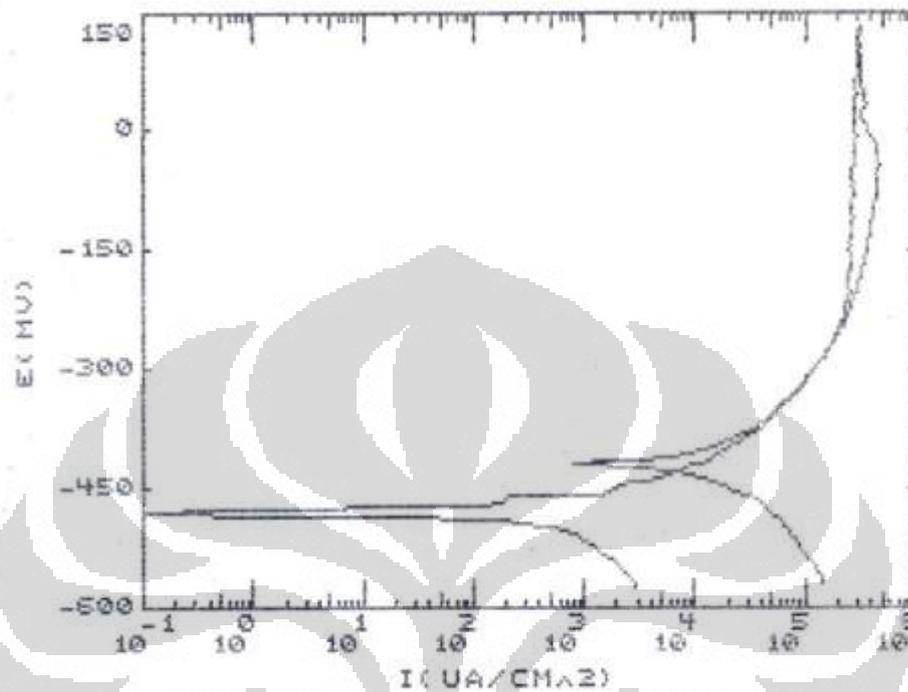
Lampiran 4 : Kurva Polarisasi Baja API 5L GRB N dalam Larutan Asam Sulfat 1 M, Dengan Inhibitor  $0,096 \times 10^{-3} \text{M}$ .



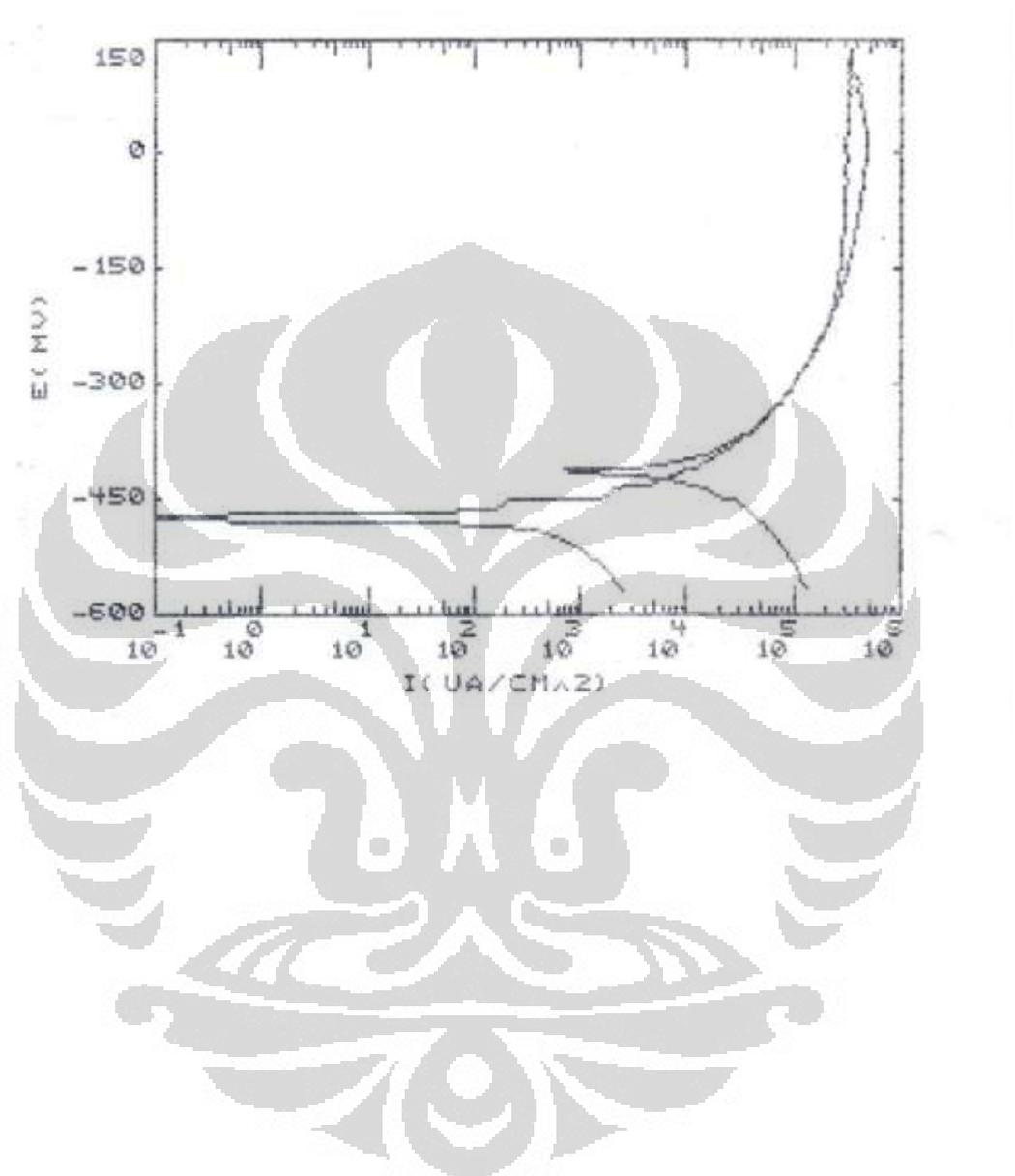
Lampiran 5 : Kurva Polarisasi Baja API 5L GRB N dalam Larutan Asam Sulfat 1 M, Dengan Inhibitor  $4,81 \times 10^{-3} \text{M}$ .



Lampiran 6 : Kurva Polarisasi Baja API 5L GRB N dalam Larutan Asam Sulfat 1 M, Dengan Inhibitor  $9,62 \times 10^{-3} \text{M}$ .



Lampiran 7 : Kurva Polarisasi Baja API 5L GRB N dalam Larutan Asam Sulfat 1 M, Dengan Inhibitor  $24,06 \times 10^{-3} \text{M}$ .



Lampiran 8 : Data Polarisasi Baja API 5L GRB N dalam Larutan Asam Sulfat 1 M, Tanpa Inhibitor.

```

RUN PARAMETERS
      TECHNIQUE                CYCLIC POLN
      ORIGINAL NAME            FADL-0
      INITIAL E(MV)            -100 VS E
      VERTEX E(MV)              600 VS E
      FINAL E(MV)               -100 VS E
      SCAN RATE(MV/S)           3
      THRESHOLD I(UA/CM^2)      PASS
      CONDITION E(MV)           PASS
      CONDITION T(S)            PASS
      INIT DELAY(MV/S-OR S)     PASS

SAMPLE PARAMETERS
      AREA(CMS^2)               1
      EG WT(GM)                 27.78
      DENSITY(GM/CM^3)          7.87
      CATHODIC TAFEL(MV)        PASS
      ANODIC TAFEL(MV)          PASS

DATA SCALE
      E CORR                     -470
      MV/PT                       4
      DATA MAX                   518000
      DATA MIN                   -141100
      ABS MIN                       46
      ABS MAX                      518000

RESULTS
      E(I=0)(MV)                 -471.36
      CATHODIC TAFEL(MV)         108.91
      ANODIC TAFEL(MV)           85.17
      I-CORR(UA/CM^2)            1629.36
      CORR RATE(MPY)              767.68
      E(I=0)(MV)
      PCL RES.(K-OHMS CM^2)
      I-CORR(UA/CM^2)
      CORR RATE(MPY)

LEGEND
      CARBON STEEL
      LARUTAN H2SO4 1M
      0 GRAM INHIBITOR
      JUNI 2011
      FADLI

```

Lampiran 9 : Data Polarisasi Baja API 5L GRB N dalam Larutan Asam Sulfat 1 M, Dengan Inhibitor  $0,039 \times 10^{-3}M$ .

RUN PARAMETERS

TECHNIQUE	CYCLIC POLN
ORIGINAL NAME	FALI 4
INITIAL E(MV)	-100 VS E
VERTEX E(MV)	600 VS E
FINAL E(MV)	-100 VS E
SCAN RATE(MV/S)	3
THRESHOLD I(UA/CM <sup>2</sup> )	PASS
CONDITION E(MV)	PASS
CONDITION T(S)	PASS
INIT DELAY(MV/S OR S)	PASS

SAMPLE PARAMETERS

AREA(CMS <sup>2</sup> )	1
EQ WT(GM)	27.78
DENSITY(GM/CM <sup>3</sup> )	7.87
CATHODIC TAFEL(MV)	PASS
ANODIC TAFEL(MV)	PASS

DATA SCALE

E <sub>CORR</sub>	-466
MV/PT	4
DATA MAX	419000
DATA MIN	-91500
ABS MIN	1
ABS MAX	419000

RESULTS

E(I=0)(MV)	-466.02
CATHODIC TAFEL(MV)	235.47
ANODIC TAFEL(MV)	79.3
I-CORR(UA/CM <sup>2</sup> )	1427.24
CORR RATE(MPY)	654.93
E(I=0)(MV)	
POL RES.(K-OHMS CM <sup>2</sup> )	
I-CORR(UA/CM <sup>2</sup> )	
CORR RATE(MPY)	

LEGEND

CARBON STEEL  
 LARUTAN H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1M  
 4 PPM INHIBITOR  
 JUNI 2011  
 FALI

Lampiran 10 : Data Polarisation Baja API 5L GRB N dalam Larutan Asam Sulfat 1 M, Dengan Inhibitor  $0,77 \times 10^{-3} \text{M}$ .

```

* RUN PARAMETERS
      TECHNIQUE                CYCLIC POLN
      ORIGINAL NAME            FDLI-80
      INITIAL E(MV)            -100 VS E
      VERTEX E(MV)             600 VS E
      FINAL E(MV)              -100 VS E
      SCAN RATE(MV/S)          3
      THRESHOLD I(UA/CM^2)     PASS
      CONDITION E(MV)          PASS
      CONDITION T(S)           PASS
      INIT DELAY(MV/S OR S)    PASS

SAMPLE PARAMETERS
      AREA(CMS^2)              1
      ED WT(GM)                27.78
      DENSITY(GM/CM^3)         7.87
      CATHODIC TAFEL(MV)       PASS
      ANODIC TAFEL(MV)         PASS

DATA SCALE
      ECORR                    -470
      MV/PT                     4
      DATA MAX                 454000
      DATA MIN                 -95800
      ABS MIN                    1
      ABS MAX                 454000

RESULTS
      E(I=0)(MV)               -470.02
      CATHODIC TAFEL(MV)       156.07
      ANODIC TAFEL(MV)         91
      I-CORR(UA/CM^2)          1224.1
      CORR RATE(MPY)           861.72
      E(I=0)(MV)
      POL RES.(K-OHMS CM^2)
      I-CORR(UA/CM^2)
      CORR RATE(MPY)

LEGEND
      CARBON STEEL
      LARUTAN H2SO4 1M
      80 PPM INHIBITOR
      JUNE 2011
      FADLI
  
```

Lampiran 11 : Data Polarisasi Baja API 5L GRB N dalam Larutan Asam Sulfat 1 M, Dengan Inhibitor  $0,096 \times 10^{-3}M$ .

```

RUN PARAMETERS
      TECHNIQUE                CYCLIC POLN
      ORIGINAL NAME            FDLI-01
      INITIAL E(MV)            -100 VS E
      VERTEX E(MV)             600 VS E
      FINAL E(MV)              -100 VS E
      SCAN RATE(MV/S)          3
      THRESHOLD I(UA/CM^2)     PASS
      CONDITION E(MV)          PASS
      CONDITION T(S)           PASS
      INIT DELAY(MV/E OR S)    PASS

SAMPLE PARAMETERS
      AREA(DMS^2)              1
      EG WT(GM)                 27.76
      DENSITY(GM/CM^3)          7.87
      CATHODIC TAFEL(MV)        PASS
      ANODIC TAFEL(MV)          PASS

DATA SCALE
      ECORR                     -465
      MV/PT                      4
      DATA MAX                  508000
      DATA MIN                  -97500
      ABS MIN                     1
      ABS MAX                    508000

RESULTS
      E(I=0)(MV)                -467.02
      CATHODIC TAFEL(MV)        111.03
      ANODIC TAFEL(MV)          104.6
      I-CORR(UA/CM^2)           1138.82
      CORR RATE(MPY)             522.58
      E(I=0)(MV)
      POL RES.(K-OHMS CM^2)
      I-CORR(UA/CM^2)
      CORR RATE(MPY)

LEGEND
      CARBON STEEL
      LARUTAN H2SO4 1M
      0.1 GRAM INHIBITOR
      JUNI 2011
      FADLI

```

Lampiran 12 : Data Polarisation Baja API 5L GRB N dalam Larutan Asam Sulfat 1 M, Dengan Inhibitor  $4,81 \times 10^{-3}M$ .

```

RUN PARAMETERS

      TECHNIQUE                CYCLIC POLN
ORIGINAL NAME                  FDLI-05
INITIAL E(MV)                 -100 VS E
VERTEX E(MV)                  600 VS E
FINAL E(MV)                   -100 VS E
SCAN RATE(MV/S)               3
THRESHOLD I(UA/CM^2)         PASS
CONDITION E(MV)              PASS
CONDITION T(S)               PASS
INIT DELAY(MV/S OR S)       PASS

SAMPLE PARAMETERS

      AREA(CMS^2)              1
EQ WT(GM)                    27.78
DENSITY(GM/CM^3)             7.87
CATHODIC TAFEL(MV)          PASS
ANODIC TAFEL(MV)            PASS

DATA SCALE

      ECDRR                    -466
MV/PT                         4
DATA MAX                      424000
DATA MIN                      -118800
ABS MIN                       .1
ABS MAX                       424000

RESULTS

      E(I=0)(MV)              -470.01
CATHODIC TAFEL(MV)           58229.77
ANODIC TAFEL(MV)             102.1
I-CORR(UA/CM^2)              802.26
CORR RATE(MPY)               368.14
E(I=0)(MV)
POL RES.(K-OHMS CM^2)
I-CORR(UA/CM^2)
CORR RATE(MPY)

LEGEND

      CARBON STEEL
      LARUTAN H2SO4 1M
      0.5 GRAM INHIBITOR
      JUNI 2011
      FADLI

```

Lampiran 13 : Data Polarisasi Baja API 5L GRB N dalam Larutan Asam Sulfat 1 M, Dengan Inhibitor  $9,62 \times 10^{-3} \text{M}$ .

```

RUN PARAMETERS

TECHNIQUE                      CYCLIC POLN
ORIGINAL NAME                   FDLI-1
INITIAL E(MV)                  -100 VS E
VERTEX E(MV)                   600 VS E
FINAL E(MV)                    -100 VS E
SCAN RATE(MV/S)                3
THRESHOLD I(UA/CM^2)          PASS
CONDITION E(MV)                PASS
CONDITION T(S)                 PASS
INIT DELAY(MV/S OR S)         PASS

SAMPLE PARAMETERS

AREA(CM^2)                      1
EG WT(GM)                       27.78
DENSITY(GM/CM^3)                 7.87
CATHODIC TAFEL(MV)               PASS
ANODIC TAFEL(MV)                 PASS

DATA SCALE

ECORR                            -472
MV/PT                             4
DATA MAX                          463000
DATA MIN                          -140200
ABS MIN                             .1
ABS MAX                           463000

RESULTS

E(I=0)(MV)                       -476
CATHODIC TAFEL(MV)                214.82
ANODIC TAFEL(MV)                  135.55
I-CORR(UA/CM^2)                   720.54
CORR RATE(MPY)                    330.64
E(I=0)(MV)
POL RES.(K-OHMS CM^2)
I-CORR(UA/CM^2)
CORR RATE(MPY)

LEGEND

CARBON STEEL
LARUTAN H2SO4 1M
1 GRAM INHIBITOR
JUNI 2011
FDLI

```

Lampiran 14 : Kurva Polarisasi Baja API 5L GRB N dalam Larutan Asam Sulfat 1 M, Dengan Inhibitor  $24,06 \times 10^{-3}M$ .

RLN PARAMETERS

TECHNIQUE	CYCLIC POLN
ORIGINAL NAME	FDLI-25
INITIAL E(MV)	-100 VS E
VERTEX E(MV)	600 VS E
FINAL E(MV)	-100 VS E
SCAN RATE(MV/S)	3
THRESHOLD I(UA/CM <sup>2</sup> )	PASS
CONDITION E(MV)	PASS
CONDITION T(S)	PASS
INIT DELAY(MV/S OR S)	PASS

SAMPLE PARAMETERS

AREA(CMS <sup>2</sup> )	1
EQ WT(GM)	27.73
DENSITY(GM/CM <sup>3</sup> )	7.87
CATHODIC TAFEL(MV)	PASS
ANODIC TAFEL(MV)	PASS

DATA SCALE

ECORR	-467
MV/PT	4
DATA MAX	468000
DATA MIN	-127400
ABS MIN	1
ABS MAX	468000

RESULTS

E(I=0)(MV)	-467.03
CATHODIC TAFEL(MV)	2684434
ANODIC TAFEL(MV)	139.01
I-CORR(UA/CM <sup>2</sup> )	647.07
CORR RATE(MPY)	296.93
E(I=0)(MV)	
POL RES.(K-OHMS CM <sup>2</sup> )	
I-CORR(UA/CM <sup>2</sup> )	
CORR RATE(MPY)	

LEGEND

CARBON STEEL  
 LARUTAN H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1M  
 2.5 GRAM INHIBITOR  
 JUNI 2011  
 FADLI

Lampiran 15 : Data Uji Kekerasan.

 B3N-PTBN	<b>REKAMAN</b>	ID Dok. :																
		No. :																
<b>DATA UJI DAN HASIL UJI</b>		Tanggal : 21 Juni 2011																
		Hal : 1 dari 1																
Nama Barang Uji : Logam Kode Barang Uji : Logam 1 s/d Logam 7 Jenis Unsur yang diuji : Kekerasan Micro Alat Uji yang digunakan : Micro Hardness Tester Lokasi : HR 22 Lab IEBE Waktu Pelaksanaan : 21 Juni 2011 Kondisi Lingkungan :																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Kode Sampel</th> <th>Nilai kekerasan (hvn)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Logam 1</td> <td>228,33</td> </tr> <tr> <td>Logam 2</td> <td>228,33</td> </tr> <tr> <td>Logam 3</td> <td>251,00</td> </tr> <tr> <td>Logam 4</td> <td>232,00</td> </tr> <tr> <td>Logam 5</td> <td>232,00</td> </tr> <tr> <td>Logam 6</td> <td>232,00</td> </tr> <tr> <td>Logam 7</td> <td>232,00</td> </tr> </tbody> </table>			Kode Sampel	Nilai kekerasan (hvn)	Logam 1	228,33	Logam 2	228,33	Logam 3	251,00	Logam 4	232,00	Logam 5	232,00	Logam 6	232,00	Logam 7	232,00
Kode Sampel	Nilai kekerasan (hvn)																	
Logam 1	228,33																	
Logam 2	228,33																	
Logam 3	251,00																	
Logam 4	232,00																	
Logam 5	232,00																	
Logam 6	232,00																	
Logam 7	232,00																	
Mengetahui : Kepala B3N  (Ir. Bambang Herutomo) NIP. 19610712 198611 1 001	Kepala Kelompok KK,  (Ir. Sungkono, MT) NIP 19630613 198603 1 006	Pelaksana   (Muhammad Ali Akbar) NIP 19600928 198603 1 004																

Lampiran 16 : Data Uji Kekasaran.

 B3N-PTBN	<b>REKAMAN</b>	ID Dok. :
		No. :
<b>DATA UJI DAN HASIL UJI</b>		Tanggal : 21 Juni 2011
		Hal : 1 dari 2

Nama Barang Uji : Logam  
 Kode Barang Uji : Logam 1 s/d Logam 7  
 Jenis Unsur yang diuji : Kekasaran Permukaan  
 Alat Uji yang digunakan : Roughness Tester Surtronic-25  
 Lokasi : CR 02 Lab IEBE  
 Waktu Pelaksanaan : 21 Juni 2011

Kode Sampel	Hasil Analisis ( $\mu\text{m}$ )	Keterangan
Logam 1	1,80	Rerata = 1,816 SD = 0,009
	1,82	
	1,82	
	1,82	
	1,82	
Logam 2	1,94	Rerata = 1,952 SD = 0,011
	1,96	
	1,94	
	1,96	
	1,96	
Logam 3	2,02	Rerata = 2,028 SD = 0,018
	2,04	
	2,04	
	2,04	
	2,00	

Lampiran 17 : Data Uji Kekasaran (Lanjutan).

 B3N-PTBN	<b>REKAMAN</b>	ID Dok. :																															
		No. :																															
	<b>DATA UJI DAN HASIL UJI</b>	Tanggal : 21 Juni 2011																															
		Hal : 2 dari 2																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Kode Sampel</th> <th>Hasil Analisis (<math>\mu\text{m}</math>)</th> <th>Keterangan</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">Logam 4</td> <td>2,20</td> <td rowspan="5">Rerata = 2,192 SD = 0,011</td> </tr> <tr> <td>2,18</td> </tr> <tr> <td>2,18</td> </tr> <tr> <td>2,20</td> </tr> <tr> <td>2,20</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">Logam 5</td> <td>1,90</td> <td rowspan="5">Rerata = 1,912 SD = 0,011</td> </tr> <tr> <td>1,92</td> </tr> <tr> <td>1,92</td> </tr> <tr> <td>1,90</td> </tr> <tr> <td>1,92</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">Logam 6</td> <td>1,94</td> <td rowspan="5">Rerata = 1,932 SD = 0,011</td> </tr> <tr> <td>1,94</td> </tr> <tr> <td>1,94</td> </tr> <tr> <td>1,92</td> </tr> <tr> <td>1,92</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">Logam 7</td> <td>1,68</td> <td rowspan="5">Rerata = 1,684 SD = 0,009</td> </tr> <tr> <td>1,68</td> </tr> <tr> <td>1,68</td> </tr> <tr> <td>1,68</td> </tr> <tr> <td>1,70</td> </tr> </tbody> </table>			Kode Sampel	Hasil Analisis ( $\mu\text{m}$ )	Keterangan	Logam 4	2,20	Rerata = 2,192 SD = 0,011	2,18	2,18	2,20	2,20	Logam 5	1,90	Rerata = 1,912 SD = 0,011	1,92	1,92	1,90	1,92	Logam 6	1,94	Rerata = 1,932 SD = 0,011	1,94	1,94	1,92	1,92	Logam 7	1,68	Rerata = 1,684 SD = 0,009	1,68	1,68	1,68	1,70
Kode Sampel	Hasil Analisis ( $\mu\text{m}$ )	Keterangan																															
Logam 4	2,20	Rerata = 2,192 SD = 0,011																															
	2,18																																
	2,18																																
	2,20																																
	2,20																																
Logam 5	1,90	Rerata = 1,912 SD = 0,011																															
	1,92																																
	1,92																																
	1,90																																
	1,92																																
Logam 6	1,94	Rerata = 1,932 SD = 0,011																															
	1,94																																
	1,94																																
	1,92																																
	1,92																																
Logam 7	1,68	Rerata = 1,684 SD = 0,009																															
	1,68																																
	1,68																																
	1,68																																
	1,70																																
Mengetahui : Kepala B3N  (Ir. Bambang Herutomo) NIP. 19610712 198611 1 001	Kepala Kelompok KK,  (Ir. Sungkono, MT) NIP 19630613 198603 1 006	Pelaksana  (Pranjono) NIP 19611031 198702 1 001																															

## Lampiran 18 : Data Uji Tarik Baja API 5L GRB N.

BPPT BALAI BESAR TEKNOLOGI KEKUATAN STRUKTUR		LAPORAN UJI TARIK STATIS TENSION TEST REPORT				Halaman Page	Dari Of					
Pemakai Jasa : FT. ITS SURABAYA Customer: SDR. MUHAMMAD		Objek : Spesimen Pelat Object										
No. Kontrak : Contract Nr		Material : Baja Material										
No Laporan : Report Nr		Standar : JIS Z 2241 Standard										
Tanggal : 30 Mei 2011 Date		Mesin Uji : UPM 1000 Test Machine										
Tanggal penerimaan spesimen : 30 Mei 2011 Date of specimen receiving												
No	Dimensi (mm)		A <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	F <sub>0.2%</sub> (kN)	F <sub>m</sub> (kN)	σ <sub>0.2%</sub>		σ <sub>u</sub>		ε (%)	Kode	Keterangan
	Lebar	Tebal				(N/mm <sup>2</sup> )	(kgf/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(kgf/mm <sup>2</sup> )			
1	38.27	8.20	313.81	140.0	162.5	446	45.5	518	52.8	36.0	-	Pelat t. 8 mm
Keterangan :												
A <sub>0</sub> = Luas penampang			F <sub>m</sub> = Beban tarik			σ <sub>0.2%</sub> = Kuat Luluh						
F <sub>0.2%</sub> = Beban luluh			ε = Elongasi			σ <sub>u</sub> = Kuat tarik						
- Hasil uji hanya representatif batang uji yang diuji, di luar batang uji bukan tanggung jawab Lab. Uji Mekanik Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur ( B2TKS ) BPPT												
Dikerjakan oleh Prepared by					Diperiksa oleh Checked by							



