



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERILAKU KOROSI MATERIAL BAJA PADUAN AKIBAT  
PENGARUH KONDENSAT YANG BERASAL DARI  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI**

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Magister  
dalam bidang Ilmu Material**

**ADRIAN  
0706171560**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI PASCA SARJANA ILMU MATERIAL  
JAKARTA  
JUNI 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis dengan judul

**“Perilaku Korosi Material Baja Paduan Akibat Pengaruh Kondensat yang  
Berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi”**

Dibuat dan diselesaikan dengan menggunakan hasil kuliah, hasil penelitian, literatur dan referensi yang tercantum dalam daftar acuan dan sejauh yang saya ketahui, Bukan merupakan duplikasi tesis dan atau terjemahan buku karya ilmiah lain, kecuali pada bagian sumber informasi yang dicantumkan pada referensi yang semestinya

Nama : Adrian  
NPM : 0706171560  
Tanda Tangan :  
Tanggal : 05 Juni 2009

## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :  
Nama : Adrian  
NPM : 0706171560  
Program Studi : Ilmu Material  
Judul Tesis : Perilaku Korosi Material Baja Paduan  
Akibat Pengaruh Kondensat yang Berasal  
dari Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir Johnny Wahyuadi M, DEA ( )  
Penguji 1 : Dr. Azwar Manaf, M.Met ( )  
Penguji 2 : Dr. Dedi Priadi, DEA ( )  
Penguji 3 : Dr. Yunus Daud ( )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 30 Juni 2009

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillahirobbil'alamin*, Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, Atas berkat rahmatNya saya dapat menyelesaikan penulisan tesis ini. Penulisan tesis ini diselesaikan dalam rangka memperoleh gelar magister dalam bidang ilmu material pada Program Studi Pasca Sarjana Ilmu Material di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Sebagai manusia, penulis sadar bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari teman-teman baik selama mengikuti perkuliahan sampai terselesainya tesis ini sangatlah sulit untuk dibayangkan penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Dan sangatlah patut penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- 1) Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyuadi M, DEA, Selaku pembimbing yang menyediakan waktu tenaga dan pikirannya untuk membimbing dan mengarahkan penulis dengan benar dalam penulisan tesis ini.
- 2) Dr. Bambang Soegijono, selaku ketua program studi Ilmu Material FMIPA UI yang secara tidak langsung memberikan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan penulisan tesis ini.
- 3) Seluruh dosen pasca sarjana Ilmu Material UI, penulis tak akan lupa akan ilmu yang diberikannya, semoga Allah SWT membalas ilmu yang bermanfaat ini
- 4) Kepada atasan penulis di departemen *Facility Engineering* dan *Maintenance* Serta rekan-rekan kerja yang sangat membantu dalam pengambilan data di lapangan panas bumi. Semoga Allah SWT membalas atas kebaikan bapak-bapak semua.
- 5) Rekan-rekan di Laboratorium Korosi – Metalurgi Universitas Indonesia, Andri Aduy dan Fadi S, yang banyak membantu penulis melakukan test polarisasi dilaboratorium, melakukan XRD, SEM, dan membantu dalam memberikan referensi yang diperlukan dalam penyusunan tesis ini. Semoga Allah SWT membalas atas ilmu dan kebaikan rekan-rekan.

6) Rekan-rekan mahasiswa pasca sarjana Ilmu material UI angkatan 2007 yang tetap memberikan semangat untuk menuntaskan program ini. Terutama Widya yang selalu membagi ilmu dan pengalamannya. Semoga Allah SWT melimpahkan rahmatNya.

Dan Tak lupa Penulis mengucapkan beribu-ribu terima kasih kepada ibunda yang telah memberikan dorongan moril atas terselesaikannya tesis ini.

Akhir kata, Penulis mengucapkan selamat membaca, semoga dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu. Kritik dan saran diharapkan demi perbaikan dimasa yang akan datang.



Jakarta, 05 Juni 2009

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR  
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

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

Nama : Adrian  
NPM : 0706171560  
Program Studi : Ilmu Material  
Departemen : Pasca Sarjana Ilmu Material  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia  
Jenis karya : Tesis

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:

**PERILAKU KOROSI MATERIAL BAJA PADUAN AKIBAT PENGARUH  
KONDENSAT YANG BERASAL DARI PEMBANGKIT LISTRIK  
TENAGA PANAS BUMI.**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 05 Juni 2009

Yang menyatakan

Adrian

## ABSTRAK

Nama : Adrian  
Program Studi: Ilmu Material  
Judul : Perilaku Korosi Material Baja Paduan Akibat Pengaruh Kondensat yang Berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi.

Dengan latar belakang beberapa kali pengalaman mendapatkan kebocoran di sistem perpipaan pada salah satu pembangkit listrik panas bumi. Maka dilakukan uji polarisasi yang dilakukan di laboratorium untuk material:

- CS A106 Gr.B : Material untuk pipa kondensat
- API 5 CT/J55 : Material “*Casing*” untuk sumur injeksi
- Stl. 410/15% Cr : Material untuk poros pompa
- SUS 316 : Material untuk sudu pompa.

Dan dilakukan pula uji lapangan yang menggunakan *Electrical resistant probe* sebagai pembanding. Untuk pengujian terhadap produk korosi dilakukan dengan menggunakan XRD dan EDX.

Hasil analisis menunjukkan bahwa material baja paduan dari A106 dan J55 tidak mampu membentuk lapisan pelindung dan untuk material 316 SS dan 15% Cr. mampu membentuk lapisan pasif yang sangat besar sampai mempunyai tegangan sekitar 1100 mV Vs SCE(standard calomel electrode) pada lingkungan air kondensat yang berasal dari panas bumi. Hal ini menunjukkan bahwa material 316 SS dan 15% Cr. sangat baik sekali dipakai di lingkungan tersebut.

Hasil analisis sampel korosi menunjukkan bahwa senyawa-senyawa yang terbentuk adalah  $Fe_3O_4$  (Magnetite) dan  $Fe_2O_3$  (Hematite), dan senyawa  $FeO(OH)$  (Ferric OxyHydroxide). Hal ini menunjukkan bahwa adanya komponen oksigen terlarut yang ikut menyebabkan terjadinya peristiwa korosi.

Dari hasil semua pengujian dan analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa peristiwa penyebab seringkali terjadi kegagalan atau kebocoran di sistem perpipaan kondensat tersebut adalah akibat terjadinya peristiwa korosi dan erosi

**Kata kunci:** *Casing*, *Electrical Resistant Probe*, Oksigen terlarut, Korosi dan Erosi

## ABSTRACT

Nama : Adrian  
Program Studi : Ilmu Material  
Judul : Corrosion Behaviour of Steel Alloy Stimulated by  
Condensate Fluid from Geothermal Power Plant

Based on various experiences of leaks to the condensate piping system at one of the geothermal energy installations, a polarization test was carried out at the laboratory on the following material:

- CS A106 Gr.B : used for Condensate pipe
- API 5 CT/J55 : used for Casing of injection well
- Stl. 410/15% Cr : used for Pump's shaft
- SUS 316 : used for Pump impeller

A field test was also carried out using an electrical resistance probe for comparison and corrosion products were tested using XRD and EDX.

The results of analysis showed that carbon steel alloys A106 and J55 did not form a protective layer but 316 SS and 15 % Cr grade was capable of forming a thick passive protective layer with having potential around 1100 mVVs SCE (standard calomel electrode) in an environment of condensate produced from geothermal power plant. This shows that grade 316SS and 15% Cr grades are highly suitable for use in this environment.

The result of analysis of the corrosion sample shows that the compounds formed were  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (Magnetite) and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Hematite) and  $\text{FeO}(\text{OH})$  (Ferric OxyHydroxide). This shows that there was a dissolved Oxygen component which contributed to the occurrence of corrosion.

From the results of all tests and analysis carried out, the conclusion is that repeated failure and leaks in the condensate piping system was caused by corrosion and erosion.

**Key Word:** Casing, Electrical Resistant Probe, Dissolved Oxygen, Corrosion-Erosion.



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR.....	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Penelitian.....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1 Definisi Korosi .....	6
2.2 Reaksi Elektrokimia Korosi secara alamiah.....	8
2.3 Pengaruh lingkungan terhadap korosi .....	10
2.4 Bentuk-bentuk Korosi.....	14
2.4.1 Korosi Seragam (General Corrosion).....	15
2.4.2 Korosi Galvanik .(Galvanic Corrosion).....	17
2.4.3 Korosi Celah (Crevice Corrosion).....	20
2.4.4 Korosi Sumuran (Pitting Corrosion).....	22
2.4.5 Retak Peka Lingkungan .....	24
2.4.6 Kerusakan Hidrogen (Hidrogen Embrittlement).....	25
2.4.7 Korosi Batas Butir.....	25
2.4.8 Korosi Intergranular.....	26
2.4.9 Dealloying dan Dezincification.....	27
2.4.10 Korosi Erosi.....	28
2.4.11 Peronggaan.....	29
2.4.12 Korosi pada las.....	31

2.5	Jenis-jenis korosi pada system panas bumi .....	31
2.6	Indeks Korosifitas.....	34
2.7	Laju Korosi .....	37

**BAB III METODE PENELITIAN..... 51**

3.1	Skema Kerja Penelitian.....	51
3.2	Pengujian Sampel Test Korosi Dengan Polarisasi.....	53
3.3	Pengujian Komposisi Air.....	57
3.4	Preparasi Sampel dan Preparasi Produk Korosi .....	57
3.5	Pengamatan dan Pengujian.....	58
3.5.1	Pengamatan Visual.....	58
3.5.2	Pengujian Komposisi Kimia.....	58
3.5.3	Pengujian Kekerasan .....	60
3.5.4	Pengujian EDX dan SEM produk korosi .....	62
3.5.5	Pengujiann XRD .....	62
3.6	Pengujian lapangan.....	62
3.7	Pengukuran Ketebalan Pipa di Lapangan.....	64

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... 67**

4.1	Data Operasi Sistem Injeksi Kondensat .....	67
4.2	Pengujian KONDENSAT dan Pembahasan .....	68
4.3	Indek saturasi kondensat.....	69
4.4	Data Pengujian Polarisasi dan Pembahasan .....	70
4.5	Hasil Pengamatan visual dan Pembahasan .....	77
4.6	Hasil Pengujian Kekerasan .....	79
4.7	Data Pengujian pipa terpasang dan Pembahasan.....	79
4.8	Data Pengujian Sampel produk korosi dari pipa terpasang .....	80
4.9	Data Pengujian Lapangan .....	83
4.10	Pengukuran ketebalan pipa dengan UTG .....	90

**BAB V KESIMPULAN..... 94**

**DAFTAR ACUAN .....** 95

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Unsur unsur penyebab korosi	32
Tabel 2.2	Interpretasi dari hasil perhitungan Langelier Indeks (LI)	34
Tabel 2.3	Nilai LSI yang disempurnakan carrier	35
Tabel 2.4	Interpretasi dari hasil perhitungan	36
Tabel 2.5	Ion alkalinitas berdasarkan tingkatan pH	36
Tabel 2.6	Tabel hubungan laju korosi dan ketahanan korosi	37
Tabel 2.7	Probe Life and Element ID	49
Tabel 4.1	Hasil pengujian komposisi kondensat	69
Tabel 4.2	Hasil perhitungan RI dan LSI	70
Tabel 4.3	Hasil tafel analysis A106 Gr.B	72
Tabel 4.4	Hasil tafel analysis J55	73
Tabel 4.5	Hasil tafel analysis 316SS	75
Tabel 4.6	Hasil tafel analysis 15%Cr	76
Tabel 4.7	Laju korosi hasil polarisasi pada berbagai nilai pH	77
Tabel 4.8	Nilai kekerasan	78
Tabel 4.9	Komposisi kimia (Wt%)	79
Tabel 4.10	Signal pengukuran dan perhitungan untuk ID 001	84
Tabel 4.11	Signal pengukuran dan perhitungan untuk ID 002	87

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Skema pembentukan energy panas bumi	1
Gambar 1.2.	Skematik diagram pembangkit listrik tenaga panas bumi	2
Gambar 2.1	Siklus material	6
Gambar 2.2	Faktor ketahanan korosi untuk logam	7
Gambar 2.3	Diagram skematik dissosiasi metal M	9
Gambar 2.4	Pengaruh kelarutan oksigen terhadap laju korosi	11
Gambar 2.5	Hubungan konsentrasi oksigen terlarut terhadap suhu	12
Gambar 2.6	Pengaruh tekanan parsial CO <sub>2</sub> terhadap laju korosi	12
Gambar 2.7	Pengaruh kecepatan alir air terhadap lapisan protektif	13
Gambar 2.8	Pengaruh pH dan temperatur pada laju korosi	14
Gambar 2.9	Korosi dwilogam antara besi dan tembaga	15
Gambar 2.10	Pemakaian penyekat pada baut untuk menyambung pelat AL dan baja	16
Gambar 2.11	Korosi seragam pada atap garasi	17
Gambar 2.12	Korosi seragam pada beam	17
Gambar 2.13	Deret galvanik	18
Gambar 2.14	Korosi galvanik	20
Gambar 2.15	Korosi galvanik	20
Gambar 2.16	Korosi celah	21
Gambar 2.17	Mekanisme korosi celah (a) tahap awal dan (b) tahap akhir	21
Gambar 2.18	Mekanisme korosi sumuran	23
Gambar 2.19	Peretakan korosi-tegangan	24
Gambar 2.20	Korosi intergranular pada baja tahan karat 304	25
Gambar 2.21	Presipitasi karbida pada batas butir menyebabkan korosi intergranuler	26

Gambar 2.22	Lepasnya Zn pada kuningan	27
Gambar 2.23	Mekanisme terbentuknya sumuran karena korosi erosi	29
Gambar 2.24	Pengaruh kecepatan alir dan rapat arus korosi	30
Gambar 2.25	Profil laju korosi beberapa logam terhadap perubahan laju alir	30
Gambar 2.26	Serangan korosi intergranular pada daerah pengaruh panas (HAZ)	31
Gambar 2.27	Skematik diagram uji polarisasi	39
Gambar 2.28	Kurva Tafel praktis yang diidealkan	40
Gambar 2.29	Kurva disolusi anodik dari logam aktif-pasif	42
Gambar 2.30	Diagram Pourbaix untuk Fe dalam larutan cair	43
Gambar 2.31	ER Probe / Instrument	45
Gambar 2.32	Graph plotting measurement versus time to derive corrosion rate.	46
Gambar 2.33	E/R Sensing elements	47
Gambar 2.34	Element selection guide	50
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	52
Gambar 3.2	Skematik Potensiostat	54
Gambar 3.3	Langkah analisis pada alat OES (Optical Emission Spectrometer).	59
Gambar 3.4	OES (Optical Emission Spectrometer)	60
Gambar 3.5	Brinell Hardness Tester	60
Gambar 3.6	MS0500 Electrical Resistance Monitor	63
Gambar 3.7	Posisi pemasangan ER Probe.	64
Gambar 3.8	Titik pengukuran untuk pipa lurus	65
Gambar 3.9	Titik pengukuran untuk elbow	66
Gambar 3.10	Titik pengukuran untuk tee	66
Gambar 4.1	Skematik Sistem Injeksi Kondensat	68
Gambar 4.2	Kurva polarisasi untuk A106 Gr.B pada variasi pH.	71

Gambar 4.3	Kurva polarisasi untuk J55 pada variasi pH.	72
Gambar 4.4	Kurva polarisasi untuk 316SS pada variasi pH.	74
Gambar 4.5	Kurva polarisasi untuk 15% Cr pada variasi pH.	75
Gambar 4.6	Kurva polarisasi untuk berbagai material pada nilai pH 6,3	76
Gambar 4.7	Sampel pipa gagal	78
Gambar 4.8	Unsur pembentuk produk korosi	80
Gambar 4.9	Senyawa-senyawa pembentuk produk korosi	81
Gambar 4.10	Pengaruh laju aliran terhadap laju korosi	83
Gambar 4.11	Grafik metal loss @ suction line(250 Kph)	86
Gambar 4.12	Grafik metal loss @ suction line(750 Kph)	89
Gambar 4.13	Laju korosi pada elbow dan pipa lurus di daerah daerah pompa(WPS)	91
Gambar 4.14	Laju Korosi pada tee dan reducer di daerah daerah pompa(WPS)	91
Gambar 4.15	Laju korosi	92
Gambar 4.16	Laju korosi	92

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Hasil analisis air kondensat	97
Lampiran 2.	Kalkulator untuk menghitung Indek korosifitas	98
Lampiran 3.	Data uji komposisi material	99
Lampiran 4.	Hasil Uji EDX	100
Lampiran 5.	Hasil Uji XRD	102
Lampiran 6.	Hasil uji polarisasi A106 @ pH5	104
Lampiran 7.	Hasil uji polarisasi A106 @ pH 6,3	105
Lampiran 8.	Hasil uji polarisasi A106 @pH9	106
Lampiran 9.	Hasil uji polarisasi J55@pH 5	107
Lampiran 10.	Hasil uji polarisasi J55@pH6,3	108
Lampiran 11.	Hasil uji polarisasi JU55@pH9	109
Lampiran 12.	Hasil uji polarisasi 15% Cr @ pH 5	110
Lampiran 13.	Hasil uji polarisasi 15% Cr @ pH 6,3	111
Lampiran 14.	Hasil uji polarisasi 15% Cr @ pH9	112
Lampiran 15.	Hasil uji polarisasi 316SS @ pH 5	113
Lampiran 16.	Hasil uji polarisasi 316SS@pH 6,3	114
Lampiran 17.	Hasil uji polarisasi 316SS @ pH 9	115
Lampiran 18	Analisis Tafel untuk 316SS @ pH 5	116
Lampiran 19	Analisis Tafel untuk 316SS @ pH 6,3	117
Lampiran 20	Analisis Tafel untuk 316SS @ pH 9	118
Lampiran 21.	Analisis Tafel untuk 15%Cr @ pH 5	119
Lampiran 22.	Analisis Tafel untuk 15%Cr @ pH 6,3	120
Lampiran 23.	Analisis Tafel untuk 15%Cr @ pH 9	121

Lampiran 24.	Foto Mikrostruktur	122
Lampiran 25.	Data hasil pengukuran UTG 2008-2009	123
Lampiran 26.	Kegiatan polarisasi di Lab	124
Lampiran 27.	Kegiatan pengambilan data ER probe di lapangan	125



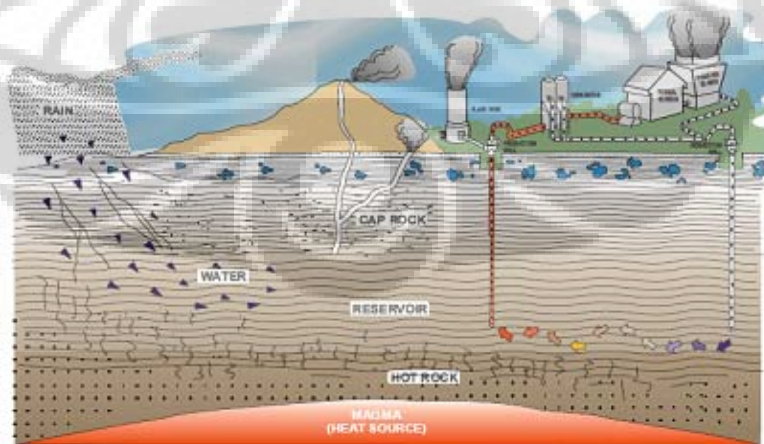


# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Penelitian

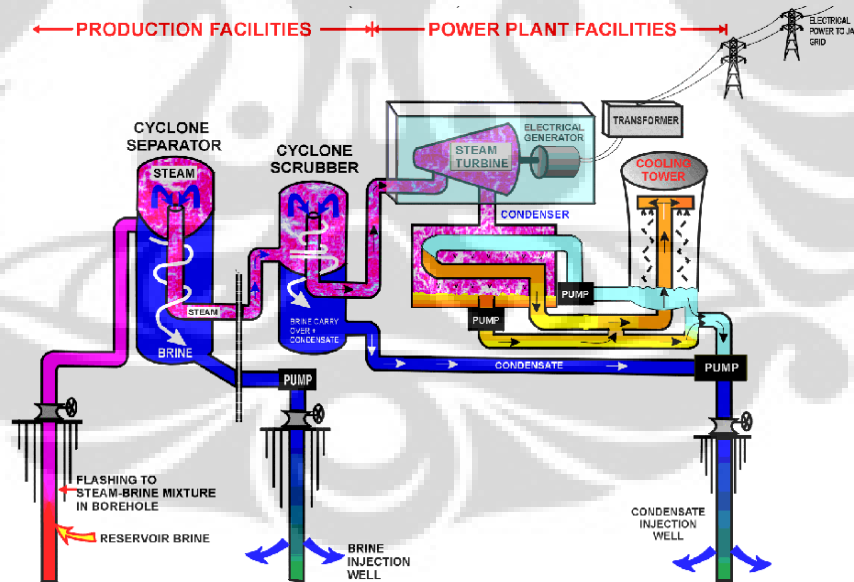
Peningkatan pertumbuhan sektor tenaga listrik yang pesat seiring dengan tekanan-tekanan global yang berkaitan dengan lingkungan dan menipisnya ketersediaan bahan bakar fosil maka, energi yang bersumber dari panas bumi merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang sangat perlu dipertimbangkan untuk dikembangkan lebih lanjut. Sumber energi ini disebut terbarukan karena memanfaatkan reservoir air bawah tanah yang siklusnya dapat terbarukan seiring dengan siklus air tanah itu sendiri. Reservoir air tanah ini dipanaskan oleh energi termal yang berasal dari magma yang mempunyai suhu dapat mencapai ribuan derajat celcius. Panas dari magma menembus lapisan batuan bawah tanah dan memanaskan air tanah. Air tanah tersebut kemudian menjadi uap panas bertekanan tinggi. Karena sumbernya bergantung pada ketersediaan air tanah, maka konservasi air tanah menjadi sangat penting untuk daerah pembangkit listrik geotermal yang bertujuan untuk menjaga pasokan uap panas yang masuk ke pembangkit tetap terjaga. Oleh sebab itu kelestarian hutan lindung di sekitar pembangkit harus tetap terjaga.



Gambar 1.1 Skema pembentukan energi panas bumi[1].

Salah satu pembangkit listrik tenaga panas bumi yang sudah dimanfaatkan di Indonesia terdapat di Gunung Salak, Jawa Barat yang berlokasi  $\pm$  130 KM ke arah Selatan dari Jakarta dengan produksi listrik yang dihasilkan sebesar 180 MW berasal dari Unit 1, 2 dan 3 yang dikelola oleh PT Indonesia Power. Dan 195 MW berasal dari unit 4, 5 dan 6 yang dikelola oleh pihak swasta.

Uap panas yang digunakan untuk memutar turbin di Gunung Salak berasal dari sumber panas bumi yang mempunyai sifat "water dominated" yang berarti bahwa cairan panas yang berasal dari dalam bumi mempunyai komposisi rata-rata sebesar 80% air panas dan 20% uap. Cairan dua fasa ini dipisahkan menjadi uap air dan air panas (brine) melalui alat pemisah (cyclone separator) pada tekanan yang terkontrol. Air panas yang telah terpisah kemudian disuntikan kembali ke dalam bumi dan uap panasnya dikirim ke alat pemisah kedua (Cyclone scrubber) yang berfungsi untuk memisahkan partikel-partikel halus yang ikut terbawa oleh uap panas dan juga memisahkan kondensat yang terjadi akibat rugirugi tekanan didalam pipa.



Gambar 1.2 Skematik diagram pembangkit listrik tenaga panas bumi[2].

Untuk unit 4, 5 dan 6 yang dikelola oleh pihak swasta dengan pembangkitan penuh sebesar 195 MW, diperlukan uap panas rata-rata sebesar 1484 Ton/hr dan akan menghasilkan kondensat yang di suntikan kembali ke bumi rata-rata sebesar 319 Ton/hr. Dan untuk unit 1, 2 dan 3 yang dikelola oleh PT Indonesia Power dengan pembangkitan penuh sebesar 180 MW, diperlukan uap panas rata-rata sebesar 1360 Ton/hr dan akan menghasilkan kondensat yang di suntikan kembali ke bumi rata-rata sebesar 294 Ton/hr.

Untuk Unit 1, 2 dan 3 uap yang bersal dari panas bumi setelah memutar turbin akan terkondensasi di kondenser akibat bercampur secara langsung dengan air pendingin yang berasal dari menara pendingin. Kondensat ini kemudian dikirim ke "*injection condensate system*" yang dimiliki oleh pihak swasta. "*Condensate Injection System* " ini terdiri dari unit pompa injeksi, perpipaan dan sumur injeksi yang berfungsi untuk menerima kondensat yang dipompakan ke dalam bumi. Sejak unit ini beroperasi, telah tercatat beberapa kali pengalaman mendapatkan kebocoran baik di sistem perpipaan maupun di unit pompa. Kebocoran di sistem ini dicurigai disebabkan oleh kondensat yang kemungkinan besar mengandung gas CO<sub>2</sub> terlarut, gas O<sub>2</sub> terlarut dan H<sub>2</sub>S yang menyebabkan serangan Zat asam pada pipa ini. Dalam rangka untuk menentukan dan menyelesaikan permasalahan untuk menjaga keamanan, integriti dari pipa dan sumur injeksi dan juga menjaga agar unit beroperasi sesuai peraturan yang berlaku, maka diperlukan studi dan penelitian yang lebih jauh terhadap peristiwa korosi, korosi- erosi yang terjadi dan atau perilaku korosi yang terjadi pada material baja karbon yang digunakan.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah dalam rangka untuk mengetahui perilaku korosi dari baja paduan yang terjadi akibat pengaruh kondensat yang berasal dari uap panas pembangkit listrik panas bumi. Dan jika diperlukan dapat digunakan untuk menentukan satrategi pencegahan dari perilaku korosi yang terjadi secara ekonomis dan mudah dalam pelaksanaan maupun perawatannya sesuai dengan kebijaksanaan perusahaan.

Secara terperinci tujuan penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui ketahanan korosi pada material yang di pakai di “Condensate injection system” yaitu antara lain:
  - CS A106 Gr.B : Material untuk pipa kondensat
  - API 5 CT/J55 : Material “Casing” untuk sumur injeksi
  - Stl. 410/15% Cr : Material untuk poros pompa
  - SUS 316 : Material untuk sudu pompa.
2. Mengetahui mekanisme korosi yang terlibat, proses korosi yang terjadi serta mengetahui bentuk dan komposisi kimia secara actual dari produk korosi yang terjadi akibat pengaruh kondensat yang berasal dari uap panas bumi
3. Dapat digunakan untuk memberikan penyelesaian yang terbaik dari permasalahan korosi yang terjadi di “*Condensate Injection System*” dengan mengetahui perilaku-perilaku korosi secara jelas dan melakukan analisis secara ekonomi umum sesuai dengan kebijakan perusahaan.

### **1.3 Ruang Lingkup Penelitian**

Penelitian yang dilakukan hanya dibatasi pada masalah bagaimana perilaku-perilaku korosi yang terjadi pada bahan atau material baja paduan antara lain CS A106 Gr.B, API 5CT/J55, Stl 410/15% Cr dan SUS 316 yang dipakai pada “*Condensate injection System*” dengan cara uji lapangan dan melakukan percobaan dengan metode polarisasi yang dilakukan di LAB. Dari hasil kedua uji coba ini maka didapat perilaku korosi dari bahan atau material yang diuji yang dapat digunakan untuk menghasilkan suatu penyelesaian yang akan di analisis secara ekonomis sebelum diterapkan di “*Condensate Injection system*” ini.

Material yang diteliti merupakan material yang biasa didapatkan di pasaran serta metode penelitian yang dilakukan mengacu pada ASTM G 5 *Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements*<sup>3</sup> mengenai uji polarisasi

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi bagi pengembangan industri pembangkit listrik yang menggunakan tenaga panas bumi dalam menentukan material atau bahan yang paling sesuai dan ekonomis dipakai untuk “ Condensate Injection System “ dan bagi masyarakat kampus hasil penelitian ini dapat sebagai kajian keilmuan untuk mengetahui hubungan kandungan zat kimia korosif yang terkandung di kondensat dengan perilaku-perilaku korosi yang terjadi.



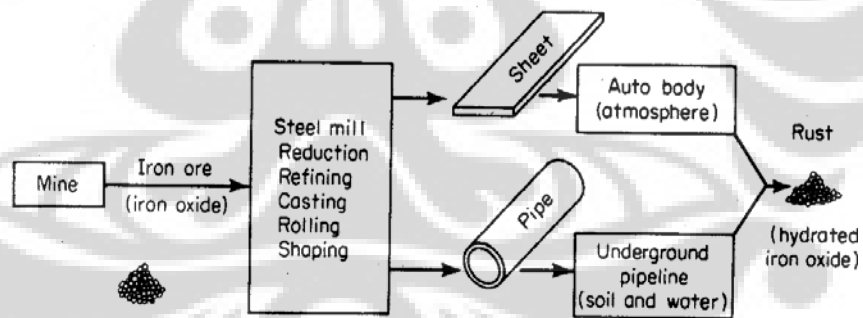
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Definisi Korosi

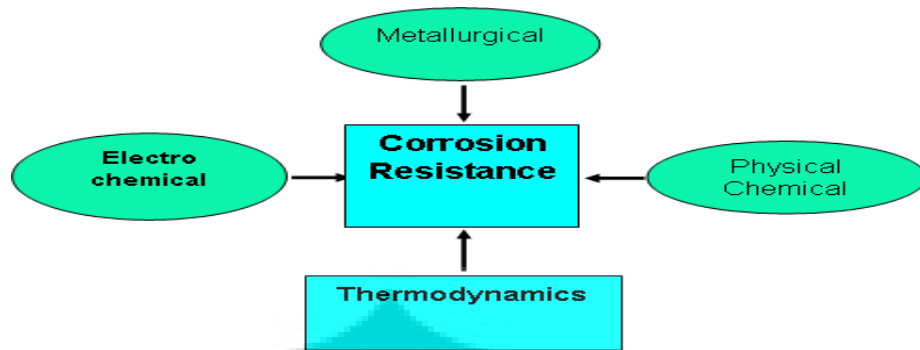
Korosi adalah peristiwa penurunan kualitas atau kerusakan dari suatu material akibat adanya reaksi kimia dengan lingkungannya. Secara kebetulan, sebagian lingkungan kerja mempunyai sifat korosif yang mempunyai berbagai macam tingkatan. Oleh karena itu, peristiwa korosi tidak dapat dicegah secara menyeluruh. Namun demikian, dengan mengetahui prinsip dasar dari korosi, maka peristiwa terjadinya korosi dapat diatur dengan cara ekonomis dan aman.

Pada gambar 2.1 menunjukkan siklus dari material logam yaitu besi yang berasal dari biji besi yang kemudian diolah menjadi barang jadi yang siap untuk digunakan. Sebagian besar biji besi mengandung oksida besi dan oksida besi hydrated dan kemudian dengan terjadinya peristiwa korosi maka akan kembali menjadi ke keadaan mulanya.



Gambar 2.1 Siklus material[3].

Kemampuan mencegah dari terjadinya peristiwa korosi dipengaruhi banyak keadaan dan diperlukan studi yang menyeluruh dan mendalam dan diperlukan pengetahuan dari berbagai bidang yang ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Faktor ketahanan korosi untuk logam[3].

Perhitungan teoritis secara termodinamika dapat menentukan kemungkinan terjadinya dan tidak terjadinya peristiwa korosi pada suatu material. Ilmu termodinamika bersama dengan elektro kimia juga dapat memahami peristiwa korosi yang terjadi dan cara pengaturannya. Dan untuk mengetahui mekanisme korosi serta kondisi dari logam dapat dipelajari dari ilmu fisika dan kimia.

Pada dasarnya, reaksi korosi memerlukan adanya empat faktor yaitu anoda sebagai tempat terjadinya oksidasi, katoda sebagai tempat terjadinya reduksi, elektrolit sebagai media penghantar listrik dan adanya hubungan antara anoda dengan katoda.

Untuk mengoperasikan fasilitas atau peralatan dengan aman dan produktif maka peran pengaturan terjadinya peristiwa korosi sangatlah penting, maka secara ideal dasar-dasar terjadinya peristiwa korosi harus dipertimbangkan pada saat membangun suatu fasilitas peralatan. Dengan mempertimbangkan hal tersebut maka biaya untuk perawatan, tidak berfungsinya suatu peralatan dan biaya yang tersembunyi seperti keamanan dan keandalan peralatan dapat ditekan serendah mungkin. Melakukan inspeksi dan perawatan yang benar terhadap program perawatan juga sangat berpengaruh terhadap kegagalan suatu peralatan yang disebabkan oleh terjadinya korosi.

## 2.2 Reaksi Elektrokimia Korosi secara alamiah.

Hampir semua proses korosi pada logam melibatkan perpindahan elektron charge dalam suatu larutan. Untuk korosi dalam lingkungan cair dapat dicontohkan seperti peristiwa korosi antara Zinc dan HCl (Asam Klorida) yang dapat ditunjukkan melalui reaksi-reaksi sebagai berikut [4]. :



Zinc bereaksi dengan larutan asam membentuk larutan zinc chloride dan menghasilkan gelembung-gelembung gas hydrogen pada permukaan.

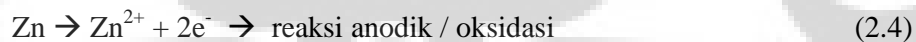
Dalam bentuk ionik, reaksi ini adalah :



Penghilangan Cl<sup>-</sup> dari kedua sisi pada reaksi ini memberikan :



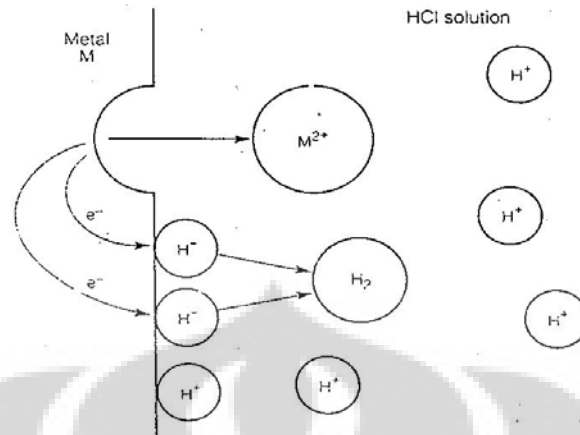
Reaksi korosi juga terjadi pada larutan asam klorida, kemudian reaksi(2.3) ini dapat dipisahkan menjadi :



Reaksi anodik ini adalah reaksi oksidasi dimana bilangan valensi naik dari 0 → +2 dan menghasilkan elektron, sedangkan reaksi katodik adalah reaksi reduksi dimana bilangan oksidasi Hydrogen berkurang dari +1 → 0 serta mengkonsumsi elektron.

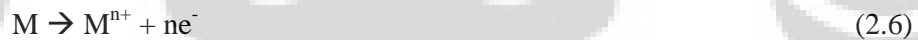
Secara skematis reaksi perpindahan electron dijelaskan pada gambar dibawah ini.





Gambar 2.3. Diagram skematik *dissosiasi* metal M[4].

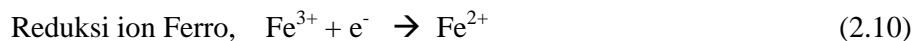
Logam akan melepaskan elektron yang bermigrasi menuju bagian permukaan dimana electron tersebut akan bereaksi dengan H<sup>+</sup> dalam larutan membentuk H<sub>2</sub>. Sedangkan air diperlukan sebagai pembawa ion seperti Zn<sup>2+</sup> dan H<sup>+</sup> dan ini yang disebut sebagai elektrolit. Untuk logam yang terkorosi, reaksi anodiknya dapat bervariasi sesuai dengan bentuk[4]. :



Sebagaimana contoh sebagai berikut :



Reaksi reduksi katodik yang umum adalah reduksi ion hidrogen dalam larutan asam. Selain itu juga terdapat reaksi reduksi sebagai oksidasi ion dalam larutan yang dikenal sebagai reaksi redoks. Contohnya adalah :



Reaksi reduksi oksigen terlarut sering diamati dalam larutan netral dan larutan asam . Reaksi reduksi tersebut adalah :



Ketidakhadiran reaksi reduksi yang lain, air akan berkurang oleh



Dimana disosiasi air menjadi  $\text{H}^{+}$  dan  $\text{OH}^{-}$  dan substraksi  $\text{OH}^{-}$  dari kedua sisi reaksi

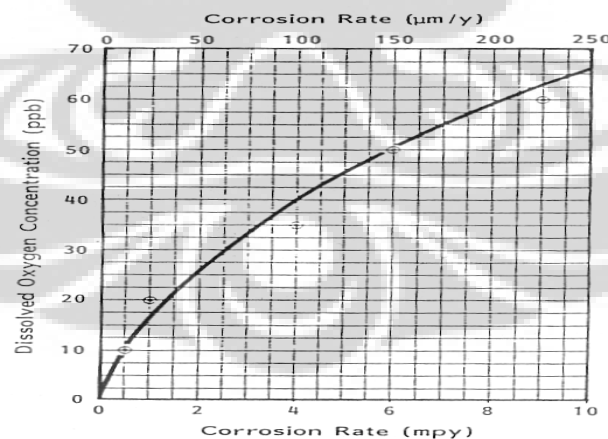
### 2.3 Pengaruh lingkungan terhadap korosi

Pengaruh lingkungan terhadap terjadinya korosi adalah:

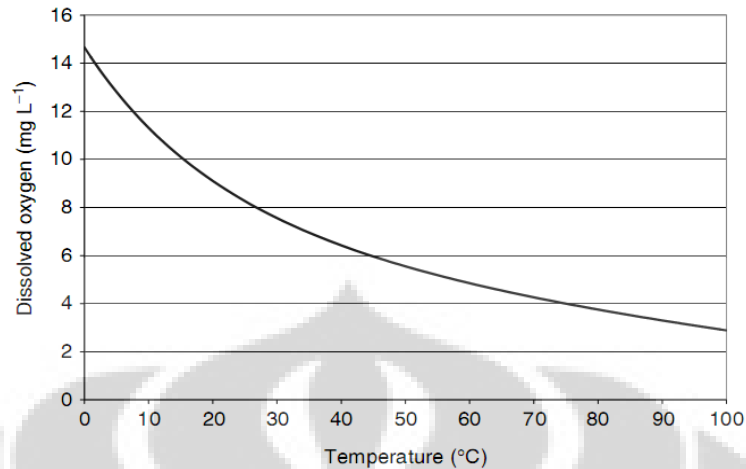
1. Temperatur [5]. Temperatur mempunyai pengaruh yang bervariasi terhadap korosi. Pada temperatur kamar laju korosi relatif rendah namun dapat meningkatkan kondensasi lapisan film pada permukaan yang berakibat meningkatkan terjadinya korosi. Dan peningkatan temperatur dapat menurunkan laju korosi dengan terjadinya proses pengeringan pada permukaan. Namun adanya kombinasi antara nilai kelembaban dan temperatur yang tinggi serta diikuti oleh adanya polutan maka, akan meningkatkan laju korosi. Pada lingkungan berair (*aqueous*), temperatur mempengaruhi laju korosi, temperatur permukaan, heat flux, dan

konsentrasi permukaan yang terkait serta gradien transfer kimia. Pada kebanyakan reaksi kimia, peningkatan temperatur diikuti dengan peningkatan laju reaksi. Aturan yang biasanya dipakai (*rule-of-thumb*) menyatakan laju reaksi meningkat dua kali lipat untuk setiap kenaikan temperatur sebesar  $10^{\circ}\text{C}$ .

- Oksigen [5]. Oksigen merupakan oksidator kuat sehingga akan meningkatkan potensial korosi logam di lingkungan air (fluida) yang mengandung oksigen terlarut. Laju korosi dapat meningkat dengan kenaikan kelarutan oksigen seperti terlihat pada Gambar 2.4. Kelarutan oksigen sendiri dipengaruhi oleh suhu dari air atau pelarut. Semakin tinggi suhu air atau pelarut, maka makin rendah kelarutan oksigen. Hubungan antara kelarutan oksigen dengan suhu dapat dilihat pada Gambar 2.5. Selain itu, pada air yang mengandung garam, kandungan oksigen terlarut juga dipengaruhi oleh kadar garam-garam yang terlarut. Pada air yang mengandung garam NaCl misalnya, kadar oksigen terlarut paling tinggi terdapat pada kadar NaCl 3,5%. Oleh karena itulah, air laut bersifat sangat korosif, dikarenakan kombinasi dari tingginya kadar oksigen terlarut dengan garam NaCl.

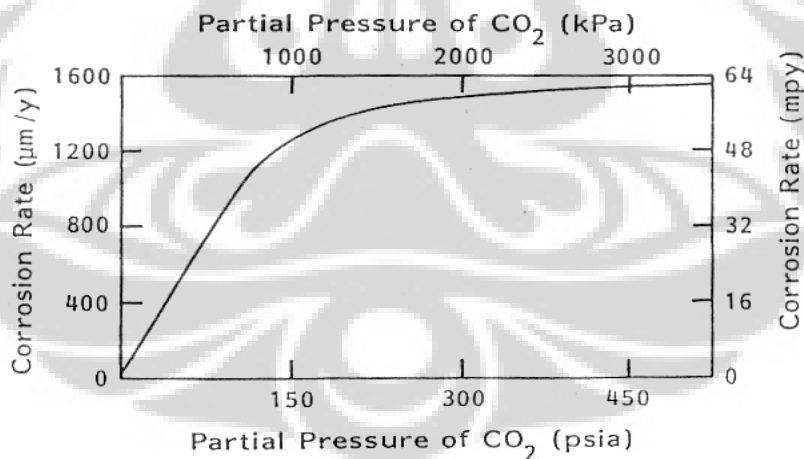


Gambar 2.4. Pengaruh kelarutan oksigen terhadap laju korosi[6].



Gambar 2.5. Hubungan konsentrasi oksigen terlarut terhadap suhu[7].

3. Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Gas karbondioksida merupakan asam lemah dan bersifat korosif bila terlarut dalam air. Sebelum bersifat asam,  $\text{CO}_2$  pertama kali harus terhidrasi menjadi  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Pada baja proses korosi dikontrol oleh laju pembentukan produk korosi  $\text{CO}_2$  berupa scale  $\text{FeCO}_3$  yang bersifat protektif.

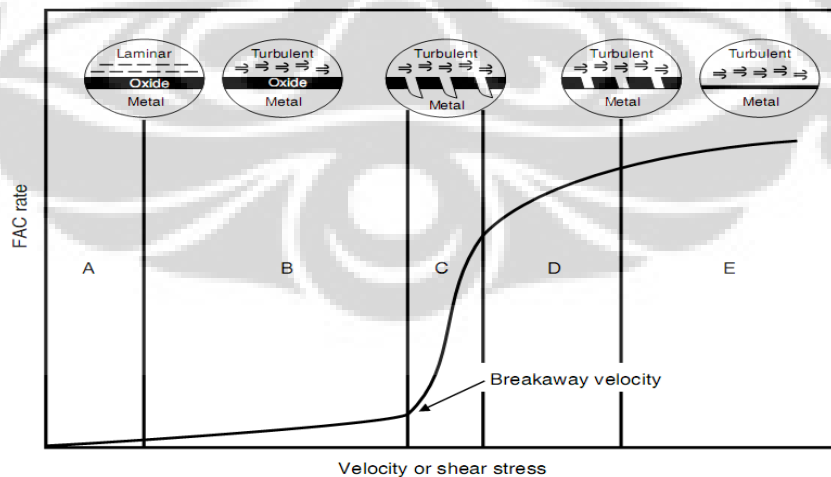


Gambar 2.6. Pengaruh tekanan parsial  $\text{CO}_2$  terhadap laju korosi[6]

4. Pengaruh kecepatan aliran air [5]. Kecepatan aliran air dapat mempengaruhi kecepatan korosi dengan interaksinya terhadap lapisan protektif yang umum terdapat pada logam. Kecepatan tertentu akan

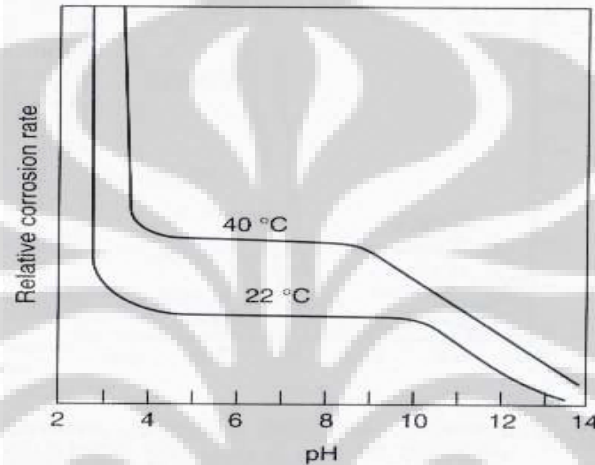
meningkatkan laju korosi dengan menyingkap lapisan oksida pelindung ataupun pasif dari permukaan logam atau pipa terhadap lingkungan. Pada kecepatan lain, aliran dapat menurunkan laju korosi dengan menyingkirkan ion-ion agresif dari permukaan logam [5].

Tiap logam umumnya memiliki batas kecepatan yang akan menyebabkan korosi yang disebut *breakaway velocity* [5]. Di bawah kecepatan aliran ini, laju korosi tidak akan terpengaruh, sedangkan di atas kecepatan ini, laju korosi akan meningkat cukup banyak. Sentuhan lapisan pasif atau pelindung dengan aliran yang cukup cepat akan menghancurkan lapisan tersebut, yang berakibat meningkatkan laju korosi. Sebagai contoh, pipa baja karbon yang mengalirkan air, umumnya terlindungi oleh lapisan tipis karat yang menghambat laju transfer massa dari oksigen terlarut ke dinding pipa. Hasilnya adalah laju korosi yang rendah, umumnya sekitar  $<1$  mm/year. Pengaruh berbagai kecepatan alir terhadap lapisan protektif atau pelindung dapat dilihat pada gambar. Pada umumnya, lapisan protektif yang terbentuk dipermukaan logam akan melarut ke dalam aliran air. Umumnya dianggap proses ini sebagai proses *steady-state*, dimana lapisan yang terlarut di antara muka oksida-air akan digantikan oleh lapisan baru dengan ketebalan yang sama.



Gambar 2.7. Pengaruh kecepatan alir air terhadap lapisan protektif[8]

5. pH. Laju korosi baja karbon meningkat seiring menurunnya nilai pH. Situasi ini terutama ketika pH lingkungan menurun menjadi di bawah 7. Pasivitas dari beberapa paduan tergantung dari pH. Pada daerah yang local, korosi meningkat dengan pecahnya lapisan pasif. Karenanya korosi sumuran, korosi retak, dan *stress corrosion cracking* kemungkinan besar dapat terjadi.



Gambar 2.8. Pengaruh pH dan Temperatur pada laju korosi[9]

#### 2.4 Bentuk-bentuk Korosi

Berbagai macam dari bentuk atau jenis-jenis korosi dapat dilihat dibawah ini:

- Korosi seragam (*uniform corrosion*)
- Korosi galvanik (*galvanic corrosion*)
- Korosi celah (*crevice corrosion*)
- Korosi sumuran (*pitting corrosion*)
- Retak peka lingkungan (*environmentally induced cracking*)
- Kerusakan hidrogen (*hidrogen damage*)
- Korosi intergranuler (*intergranular corrosion*)

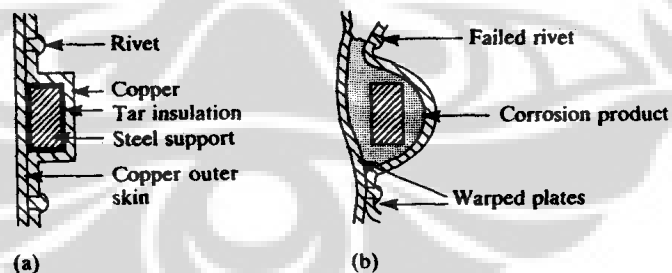
- Dealloying
- Korosi Erosi (*erosion corrosion*)

#### 2.4.1 Korosi Seragam (General Corrosion)

Korosi yang terjadi secara seragam pada permukaan logam disebabkan karena :

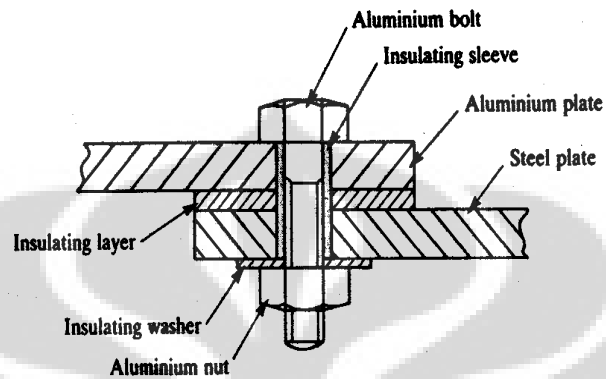
- (1) lingkungan korosi mempunyai akses yang sama pada permukaan logam
- (2) komposisi kimia dan sifat metalurgi pada logam cenderung merata.

Korosi seragam ini, sangat umum terjadi dan reaksi kimia atau reaksi elektrokimia terjadi secara merata diseluruh permukaan yang terekspos. Korosi seragam ini tidak selalu serius dan dapat diperkirakan umurnya dengan cara pengujian sample sederhana, contohnya pengujian celup atau dengan kupon. Korosi ini diakibatkan karena dua logam yang tak sejenis bergandengan sehingga membentuk sel korosi basah sederhana. Contoh korosi jenis ini adalah baja penyangga yang digunakan untuk memperkuat pelat tembaga seperti pada Gambar 2.9 di bawah. Saat lapisan rusak maka korosi pada baja terjadi.



Gambar 2.9. Korosi dwilogam antara besi dan tembaga[10]

Pelat baja dapat disambung dengan menggunakan sambungan mur baut seperti pada Gambar 2.10 di bawah. Untuk mencegah terjadinya sel korosi maka antara kedua logam yang berbeda diberi isolator.



Gambar 2.10. Pemakaian penyekat baut untuk menyambung pelat Al dan baja[10]

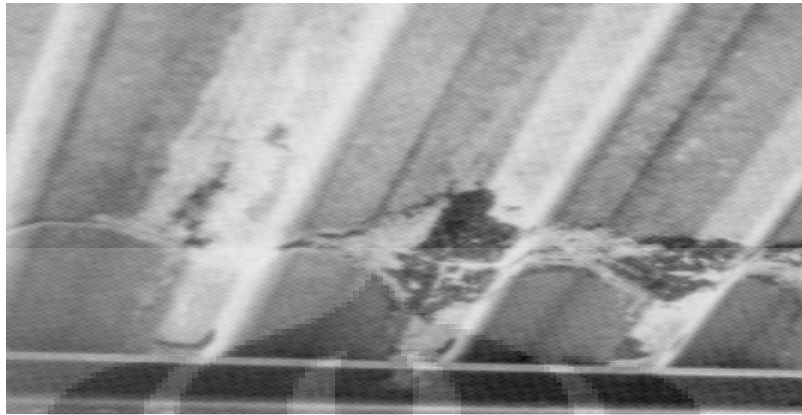
Korosi seragam dapat diminimalkan terjadi dengan cara:

- Menggunakan material yang sesuai pada saat mendesain
- Menggunakan atau mengaplikasikan coating yang sesuai
- Menggunakan inhibitor korosi
- Menggunakan proteksi katodik

Korosi seragam sering dituliskan dalam mils per year (mpy) atau mm/tahun, dimana 1 mill = 0,001 inch

Gambar-gambar dibawah berikut adalah bentuk-bentuk korosi seragam yang terjadi:





Gambar 2.11. Korosi seragam pada atap garasi[11]



Gambar 2.12. Korosi seragam pada beam[11].

#### **2.4.2 Korosi Galvanik (Galvanic Corrosion)**

Korosi galvanik terjadi jika dua logam yang berbeda tersambung melalui elektrolit sehingga salah satu dari logam tersebut akan terserang korosi sedang lainnya terlindung dari korosi. Untuk memprediksi logam yang terkorosi pada korosi galvanik dapat dilihat dari Deret Galvanik. Dibawah ini:

Cathodic	Platinum Gold Graphite Titanium Silver	
	12% Ni, 18% Cr, 3% Mo Steel 20% Ni, 25% Cr Steel 23 to 30% Cr Steel 14% Ni, 23% Cr Steel 8% Ni, 18% Cr Steel 16 to 18% Cr Steel 12 to 14% Cr Steel	Passive
	80% Ni, 20% Cr Inconel 60% Ni, 15% Cr Nickel	Passive
	Monel Metal Copper Nickel Nickel-Silver Bronzes Copper Brasses	
	80% Ni, 20% Cr Inconel Nickel Tin Lead Lead-Tin-Solder	Active
	12% Ni, 18% Cr, 3% Mo Steel 20% Ni, 25% Cr Steel 14% Ni, 23% Cr Steel 8% Ni, 18% Cr Steel Ni-Resist	Active
	23 to 30% Cr Steel 16 to 18% Cr Steel 12 to 14% Cr Steel 4 to 6% Cr Steel Cast Iron Carbon Steel	Active
Anodic	Aluminum Alloy 2024 (4.5 Cu, 1.5 Mg, 0.6 Mn) Cadmium Commercially Pure Aluminum Zinc Magnesium and Magnesium Alloys	

Notes: (1) The alloys grouped together in shaded areas are similar in composition and can be coupled with each other with little danger of galvanic corrosion.

Gambar 2.13. Deret Galvanik[12]

Gambar 2.13 memberikan urutan-urutan galvanic dari logam dan paduan yang umum di dalam air laut. Sebuah logam cenderung terkorosi jika terhubung dengan logam yang lebih katodik dari logam itu sendiri. Logam paduan yang di grupkan pada tabel diatas hampir sama komposisinya sehingga dapat digabungkan bersama dengan sedikit pengaruhnya terhadap bahaya korosi galvanic. Secara alamiah stainless steels mempunyai kemampuan untuk membentuk lapisan pelindung, dalam hal kehadiran oksigen atau agent oksida seperti nitric atau carbonic acid. Dan seandainya lapisannya rusak, maka logam tersebut akan lebih cepat terkorosi (“active” condition) dengan adanya

hydrochloric, hydrofluoric, atau oxygen-free acids lainnya. Untuk memilih stainless steels yang sesuai engineer harus menentukan apakah logam tersebut ingin berada di daerah keadaan pasiv atau aktif.

Deret Galvanik berbeda dengan Deret Elektrokimia dalam hal :

- Deret elektrokimia memuat data elektrokimia yang bersifat mutlak dan kuantitatif untuk penggunaan perhitungan teliti
- Deret elektrokimia harus dan hanya memuat data tentang unsur-unsur logam sedang deret Galvanik memuat informasi baik tentang logam murni maupun paduan
- Deret elektrokimia diukur dalam kondisi baku dan tidak tergantung pada unsur-unsur lain dalam lingkungan sedangkan deret Galvanik diukur pada kondisi suhu, tekanan dan elektrolit sembarang.

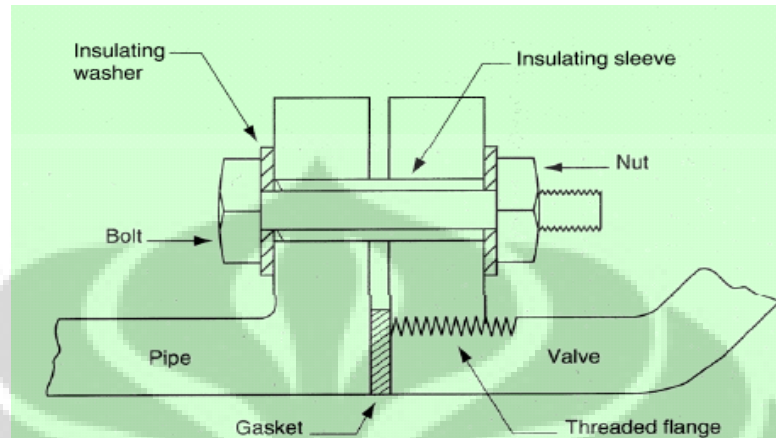
Dari deret Galvanik tersebut dapat disimpulkan :

- Magnesium (Mg) merupakan logam yang paling anodik
- Platinum merupakan bahan yang paling noble sehingga jika tersambung dengan logam lain yang lebih anodik maka akan terjadi korosi yang hebat

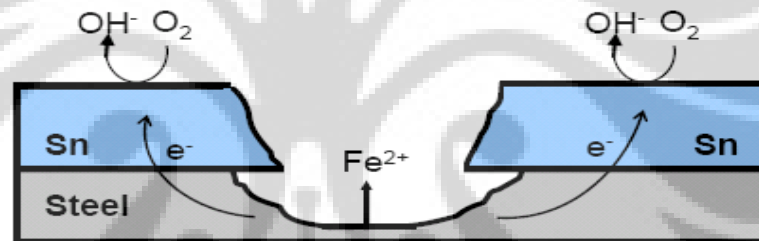
Pencegahan-pencegahan yang biasa dilakukan untuk mengurangi terjadinya korosi Galvanik adalah:

- Memilih kombinasi dari logam sedekat mungkin didalam urutan-urutan deret Galvanik.
- Hindari efek dari penggabungan logam dengan perbandingan pemakaian yang kecil untuk anoda dan lebih besar untuk katoda.
- Lindungi atau isolasi masing-masing komponen jika ingin digabungkan.
- Menggunakan Coating dengan hati-hati
- Pakai inhibitor untuk larutan yang digunakan

- Gunakan logam ketiga yang lebih anodic terhadap kedua logam yang di gabungkan



Gambar 2.14. Korosi galvanik[18]

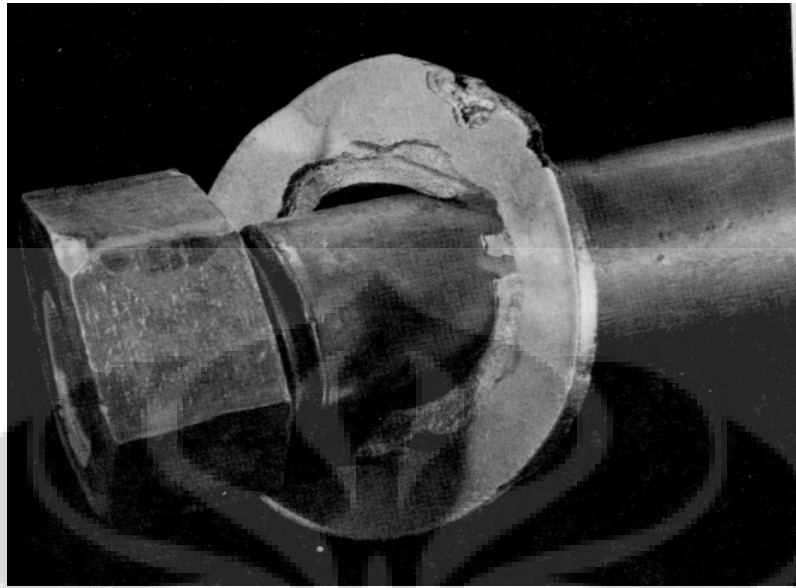


Gambar 2.15. Korosi galvanik[18]

### 2.4.3 Korosi Celah (Crevice Corrosion)

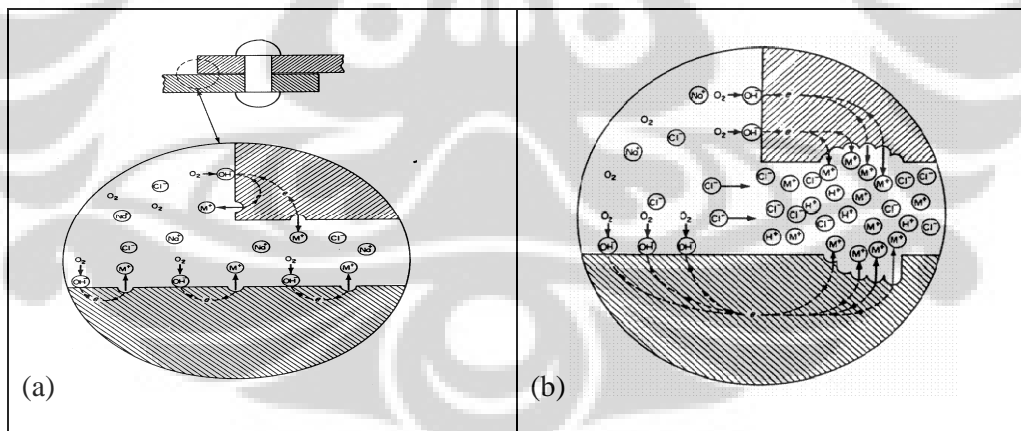
Korosi yang terjadi pada celah yang dihasilkan karena kontak dua material seperti pada sambungan baut, paku keling, gasket dll. Jika celah ini terisi air atau elektrolit korosi lainnya maka pada bagian celah akan mengalami serangan korosi dibanding permukaan lainnya yang langsung berhubungan dengan udara luar.

Lubang kecil, permukaan gasket, lap join, baut atau kepala paku keling, mur, ring dapat menyebabkan terjadinya korosi celah.



Gambar 2.16. Korosi Celah[13]

Korosi celah terjadi akibat perubahan-perubahan sifat dan komposisi logam-logam yang berhadapan langsung dengan elektrolit yang merata komposisinya.



Gambar 2.17. Mekanisme korosi celah [13]

(a) tahap awal dan (b) tahap akhir

Mekanisme korosi celah dapat dijelaskan sebagai berikut :

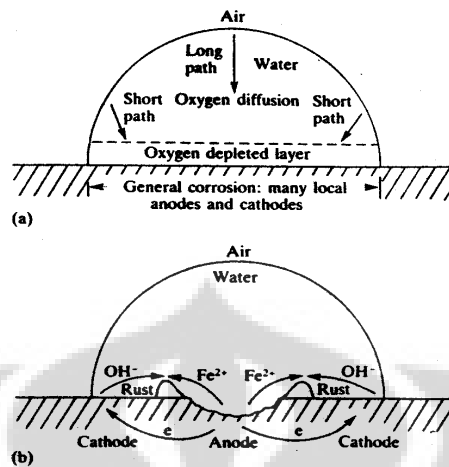
- Mula-mula elektrolit mempunyai komposisi seragam dan korosi terjadi perlahan-lahan di seluruh permukaan logam baik di luar maupun di dalam celah.
- Pengambilan oksigen yang terlarut menyebabkan lebih banyak lagi difusi oksigen dari permukaan elektrolit yang kontak langsung dengan atmosfer. Oksigen di permukaan luar celah lebih mudah dikonsumsi dibandingkan di dalam celah. Akibatnya proses katodik di dalam celah terhambat sehingga pembangkitan ion hidroksil berkurang.
- Produksi ion-ion positif dalam celah menyebabkan ion-ion negatif dari elektrolit terdifusi ke dalam celah. Ion-ion negatif seperti  $\text{Cl}^-$  menyebabkan penurunan pH sehingga mempercepat dan merusak selaput pasif bahan.
- Peningkatan ion hidrogen mempercepat proses pelarutan logam sehingga serangan korosi lebih hebat.

#### 2.4.4 Korosi Sumuran (Pitting Corrosion)

Korosi sumuran terjadi karena adanya serangan korosi lokal pada permukaan logam hingga membentuk cekungan atau lubang pada permukaan logam. Korosi sumuran pada baja tahan karat terjadi karena rusaknya lapisan pelindung (*passive film*).

Korosi sumuran merupakan korosi lokal yang menyerang permukaan logam karena :

- Selaput pelindung tergores atau retak akibat perlakuan mekanik
- Mempunyai tonjolan akibat dislokasi atau slip yang disebabkan oleh tegangan tarik yang dialami atau tersisa
- Mempunyai komposisi heterogen dengan adanya inklusi, segregasi atau presipitasi



Gambar 2.18. Mekanisme korosi sumuran[10]

Mekanisme terjadinya korosi sumuran :

- Mula-mula korosi di seluruh permukaan logam yang menyebabkan berkurangnya kandungan oksigen dalam elektrolit di dekatnya
- Lintasan oksigen menuju bagian tengah lebih panjang sehingga bagian ini menjadi anoda sedangkan lintasan yang lebih pendek menjadi katoda. Akibatnya pelarutan logam terjadi di bagian tengah dan reaksi ion logam dengan hidroksil menyebabkan penumpukan produk korosi di seputar lubang sumuran dan membentuk cincin karat.

Cara dan prosedur untuk meminimalkan terjadinya peristiwa korosi celah:

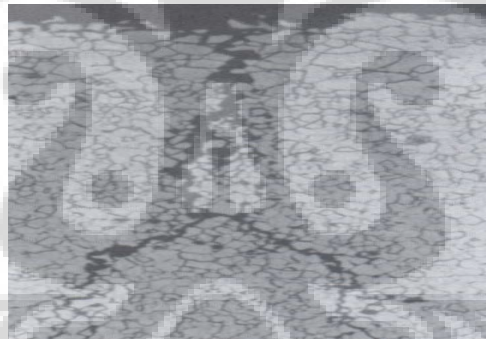
1. Gunakan jenis sambungan welded butt joints untuk mengganti tipe sambungan riveted atau bolted joints. Pada saat melakukan pengelasan lakukan complete penetration untuk menghindari terjadinya pembentukan porosity and celah pada dalam lasan.
2. Tutup celah yang terbentuk pada lap joints dengan cara di las, caulking, atau di solder.

3. Desain vessels dengan dilengkapi drainage; hindari ujung yang tajam dan area yang diam( stagnant areas).

#### 2.4.5 Retak Peka Lingkungan (Environmentally Induced Cracking)

Retak peka lingkungan merupakan patah getas dari logam paduan ulet yang beroperasi di lingkungan yang menyebabkan terjadinya korosi seragam. Ada 3 jenis tipe perpatahan pada kelompok ini, yaitu : *stress corrosion cracking* (SCC), *corrosion fatigue cracking* (CFC) dan *hidrogen-induced cracking* (HIC).

Peretakan korosi-tegangan merupakan peretakan intergranuler atau transgranuler pada logam akibat kegiatan gabungan antara tegangan tarik statis dan lingkungan korosi.



Gambar 2.19. Peretakan korosi-tegangan[10]

Ciri-ciri utama peretakan SCC :

- SCC terjadi karena tegangan tarik dan lingkungan korosi
- Logam paduan lebih rentan SCC daripada logam murni
- Peretakan SCC hanya disebabkan sedikit unsur kimia di lingkungannya dan unsur-unsur itu tidak perlu dalam konsentrasi besar
- Biasanya dapat ditentukan tegangan ambang batas, di bawah itu SCC tidak terjadi



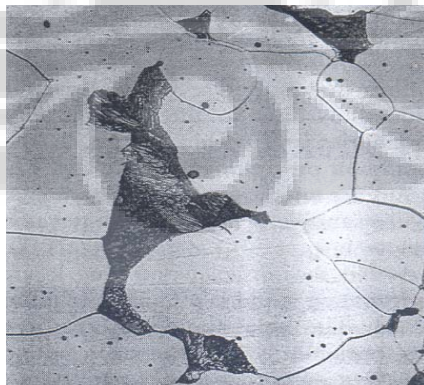
#### 2.4.6 Kerusakan Hidrogen (Hidrogen Embrittlement)

Kerusakan ini disebabkan karena serangan hidrogen yaitu reaksi antara hidrogen dengan karbida pada baja dan membentuk metana sehingga menyebabkan terjadinya dekarburisasi, rongga atau retak pada permukaan logam. Pada logam reaktif seperti titanium, magnesium, zirconium dan vanadium, terbentuknya hidrida (*hydride*) menyebabkan terjadinya penggetasan pada logam.

#### 2.4.7 Korosi Batas Butir

Korosi yang menyerang pada batas butir akibat adanya segregasi dari unsur pasif seperti krom meninggalkan batas butir sehingga pada batas butir bersifat anodik.

Logam biasanya terdiri dari banyak butir dan antar butir dibatasi oleh batas butir. Jika batas butir bersifat anodik terhadap butirnya maka pada batas butir ini cenderung mengalami korosi. Proses etsa merupakan contoh korosi batas butir yang dimanfaatkan untuk mengamati struktur mikro. Jika sampel yang telah dipolis kemudian diberi larutan etsa tertentu maka larutan ini akan menyerang batas butir dan menghasilkan cekungan sehingga dapat dilihat di mikroskop.

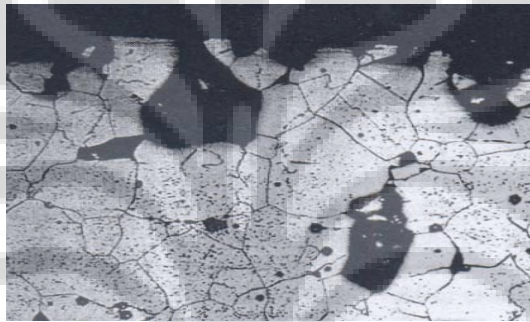


Gambar 2.20. Korosi intergranular pada baja tahan karat 304[10]

Pada baja biasanya digunakan larutan etsa  $\text{HNO}_3$  yang dilarutkan dalam propanol sedangkan pada baja tahan karat dapat digunakan 10 % asam oksalat  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ .

#### 2.4.8 Korosi Intergranular

Korosi intergranular terjadi jika daerah batas butir terserang akibat adanya endapan di dalamnya. Batas butir merupakan tempat yang disukai untuk proses pengendapan (*precipitation*) dan pemisahan (*segregation*).



Gambar 2.21. Presipitasi karbida pada batas butir menyebabkan korosi intergranular[10]

Contoh korosi intergranular adalah baja tahan karat 304 (Fe-18Cr-8Ni). Jika baja ini didinginkan secara lambat dari suhu di atas  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  maka pada interval suhu  $600\text{-}850\text{ }^\circ\text{C}$  akan terbentuk karbida krom pada batas butir. Adanya pengendapan karbida krom ini menyebabkan daerah di sekitar batas butir akan mengalami kekurangan Cr sehingga ketahanan korosi berkurang.

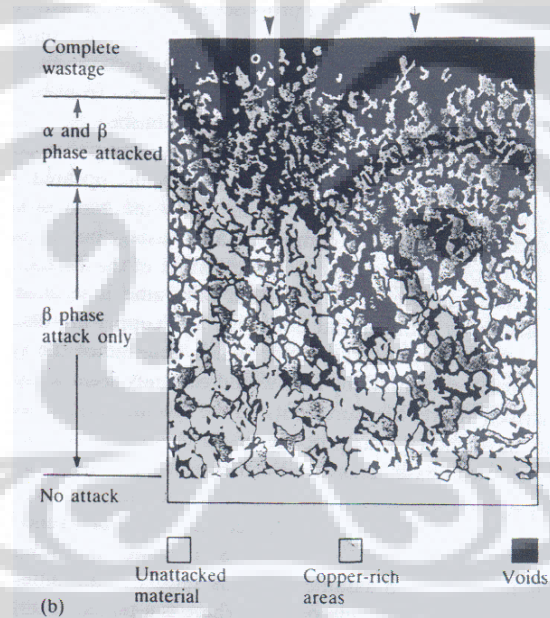
Untuk mengurangi kerentanan logam seperti baja tahan karat 304 terhadap korosi dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- Gunakan baja dengan karbon rendah yaitu kurang 0,03 % sehingga karbidanya tidak stabil misal 304L
- Lakukan perlakuan panas pasca pengelasan untuk melarutkan pengendapan
- Tambahkan titanium atau niobium yang lebih cepat membentuk karbida

### 2.4.9 Dealloying dan Dezincification

Dealloying adalah lepasnya unsur-unsur paduan yang lebih aktif (anodik) dari logam paduan. Contoh : lepasnya unsur seng atau Zn pada kuningan (Cu-Zn) yang dinamakan *dezincification*.

Pada kuningan korosi terjadi karena pelepasan seng (Zn) dari paduannya (Cu) dan dikenal dengan istilah *dezincification*. Struktur mikro kuningan dalam bentuk fasa  $\alpha$  dan  $\beta$ . Pada fasa  $\alpha$  unsur Zn larut dalam Cu sedangkan pada fasa  $\beta$  unsur Cu larut dalam Zn.



Gambar 2.22. Lepasnya Zn pada kuningan[10]

Masalah ini dapat diatasi dengan mengurangi kadar Zn dalam kuningan sehingga kuningan dalam bentuk fasa  $\alpha$  tunggal dan menambahkan jumlah arsenikum sekitar 0,05%.

#### 2.4.10 Korosi Erosi

Korosi erosi disebabkan oleh kombinasi fluida korosif dan kecepatan alir yang tinggi. Bagian fluida yang kecepatan alirannya rendah akan mengalami laju korosi rendah sedangkan fluida kecepatan tinggi menyebabkan terjadinya erosi dan dapat menggerus lapisan pelindung sehingga mempercepat korosi.

Korosi erosi merupakan bentuk korosi yang timbul ketika logam terserang akibat gerak relatif antara elektrolit dan permukaan logam. Korosi erosi terbagi menjadi 3 yaitu : (1) korosi dalam kondisi aliran laminer, (2) kerusakan akibat kondisi turbulensi (olakan) dan (3) peronggaan sebagai akibat dari aliran elektrolit yang sangat deras.

Efek laminer menyebabkan :

- Meningkatnya laju pelarutan pada bahan
- Bertambahnya oksigen sehingga dapat mencegah sel aerasi-diferensial. Pada kondisi ini ketahanan korosi meningkat terutama jika gerak relatif elektrolit tidak terlalu besar.
- Peningkatan laju aliran menyebabkan bertambahnya ion-ion agresif seperti klorida atau sulfida.
- Jika dalam fluida terdapat partikel-partikel padat, lapisan pelindung mungkin tergerus sehingga korosi meningkat.

Faktor-faktor yang menyebabkan korosi benturan :

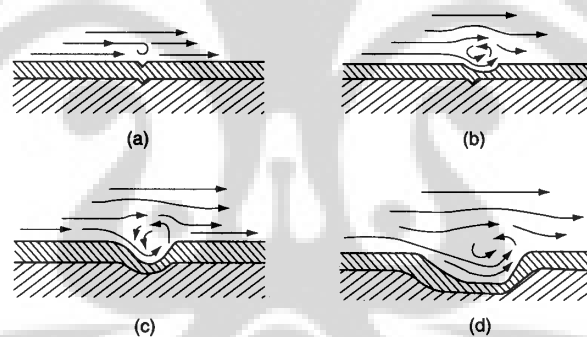
- Perubahan drastis pada lubang bor atau arah pipa
- Penyekat pada sambungan yang buruk pemasangannya sehingga menyebabkan tidak lancarnya aliran fluida di permukaan logam yang sebetulnya halus
- Adanya celah yang memungkinkan fluida mengalir di luar aliran utama

- Adanya produk korosi atau endapan lain yang dapat mengganggu aliran laminar

#### 2.4.11 Peronggaan

Peronggaan atau kavitasasi adalah bentuk khusus korosi erosi yang disebabkan oleh pembentukan dan pecahnya gelembung-gelembung uap di permukaan logam. Bentuk korosi ini cenderung diderita oleh komponen-komponen yang digerakkan dengan kecepatan tinggi dalam fluida seperti baling-baling, kipas dan roga gigi turbin hidrolis.

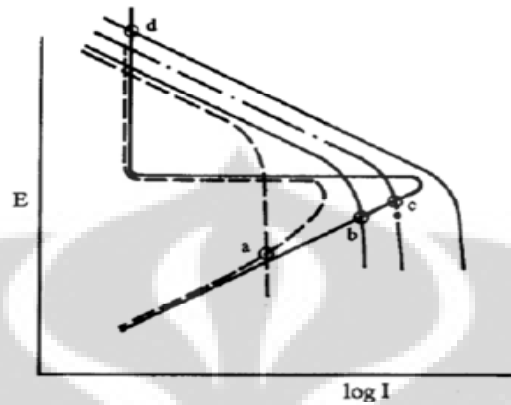
Mekanisme terbentuknya sumuran karena korosi erosi seperti terlihat pada Gambar 2.23 di bawah.



Gambar 2.23. Mekanisme terbentuknya sumuran karena korosi erosi[10]

Semua jenis media korosif umumnya dapat menyebabkan korosi-erosi, seperti gas, larutan berair, sistem organik, dan logam cair (cairan logam panas maupun logam berwujud cair seperti Hg). Sebagai contoh, gas panas dapat mengoksidasi logam kemudian aliran yang sangat cepat akan mengelupas lapisan pelindung. Padatan dalam suspensi cairan (*slurry*) akan memberikan kerusakan yang lebih besar lagi pada korosi-erosi. Korosi-erosi dicirikan dengan penampakan berupa alur (*grooves*), gelombang (*waves*), lubang bundar, dan atau alur berbentuk tapal kuda. Analisis dari tanda-tanda ini dapat membantu penentuan arah aliran. Daerah terpengaruh umumnya bebas dari endapan dan produk korosi, walaupun

produk korosi terkadang dapat ditemukan jika korosi-erosi terjadi sebentar-sebentar dan atau laju aliran relatif rendah .



Gambar 2.24. Pengaruh kecepatan alir dan rapat arus korosi [14]

Typical corrosion rates mg/dm<sup>2</sup>/day (mdd<sup>1</sup>)

Material	0.3 m/s <sup>2</sup> )	1.2 m/s <sup>3</sup> )	8.2 m/s <sup>4</sup> )
Carbon steel	34	72	254
Cast iron	45	–	270
Silicon bronze	1	2	343
Admiralty brass	2	20	170
Hydraulic bronze	4	1	339
G bronze	7	2	280
Al bronze (10% Al)	5	–	236
Aluminium brass	2	–	105
9–10 CuNi (0.8% Fe)	5	–	99
70–30 CuNi (0.05% Fe)	2	–	199
70–30 CuNi (0.5% Fe)	<1	<1	39
Monel	<1	<1	4
Stainless steel type 316	1	0	<1
Hastelloy C	<1	–	3
Titanium	0	–	0

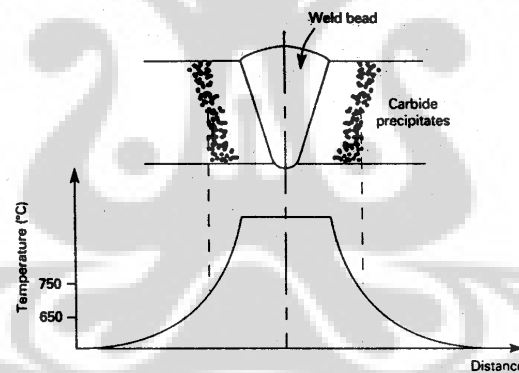
Gambar 2.25. Profil Laju Korosi beberapa logam terhadap Perubahan Laju Alir[15]

### 2.4.12 Korosi pada las

Salah satu problem dalam pengelasan baja tahan karat austenitik adalah terjadinya presipitasi karbida pada daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ) pada saat proses pengelasan berlangsung yang dikenal dengan istilah *sensitization* (sensitisasi). Karbida krom ini mengendap pada batas butir dan daerah sekitar batas butir kekurangan krom (*chromium depleted zone*) sehingga mudah terserang korosi intergranuler.

Untuk mencegah terjadinya korosi intergranuler dilakukan dengan :

- Solution annealing : pemanasan pada suhu di atas 815 °C sehingga semua krom akan larut diikuti dengan quenching (pendinginan cepat)
- Pengurangan unsur C, dibuat  $\%C < 0,03 \%$ , misal baja tahan karat 304L
- Pemberian unsur Ti atau Nb



Gambar 2.26. Serangan korosi intergranular pada daerah(HAZ) [10]

### 2.5 Jenis-jenis korosi pada system panas bumi(Geothermal) [16]

Sejumlah fenomena yang berbeda-beda dari korosi telah diteliti untuk system panas bumi pada suhu yang rendah, berikut ini adalah yang paling banyak ditemui:

- Korosi seragam(Uniform corrosion)
- Korosi sumuran(Pitting)

- Korosi celah(Crevice corrosion)
- Stress corrosion cracking(SCC)

seperti: chloride-SCC, ammonia-SCC,high strength low alloy (HSLA) dan sulfide stress cracking (SSC).

- Erosi-korosi(Erosion-corrosion).
- Korosi Inter-granular .
- Korosi Galvanic
- Korosi Dealloying

**Tabel 2.1 Unsur-unsur penyebab korosi**

Unsur	Akibat
Oxygen	<p>Sangat korosif untuk besi karbon dan besi paduan karbon rendah. 30 part per billion(ppb) akan mengakibatkan 4 kali lipat laju korosi pada besi karbon. Konsentrasi diatas 50 ppb akan menyebabkan korosi sumuran yang serius.</p> <p>Berhubungan dengan chloride and suhu tinggi, lebih kecil dari 100 ppb oksigen terlarut(dissolved oxygen) Dapat mengakibatkan chloride-stress corrosion cracking (chloride-SCC) pada beberapa austenitic stainless steels.</p>
Hydrogen ion (pH)	<p>Reaksi katodik yang utama dari baja di dalam brine yang terdapat udara bebas adalah reduksi ion hydrogen. Laju korosi turun dengan tajam diatas pH 8.</p> <p>pH rendah (kurang dari 5) akan menyebabkan sulfide stress cracking (SSC) dari high strength</p>



	low alloy (HSLA) steels .pHrendah bisa mengakibatkan rusaknya lapisan pasiv dari steels. Asam menyerang pada sement
Carbon dioxide species (dissolved carbon dioxide, bicarbonate ion, carbonate ion)	Carbon dioxide terlarut dengan pH rendah meningkatkan korosi pada carbon and HSLA steel  Dissolved carbon dioxide provides alternative proton reduction pathway, further exacerbating carbon and HSLA steel corrosion.  May exacerbate SSC. Hubungan yang kuat antara total alkalinity dan corrosion of steel pada suhu rendah geothermal wells
Hydrogen sulfide species (hydrogen sulfide, bisulfide ion, sulfide ion)	Potential cathodic poison, promoting SSC of HSLA steels and some other alloys coupled to steel. Highly corrosive to alloys containing both copper and nickel in any proportions.  May cause an (active path) chloride-sulfide-SCC of nickel-based alloys at high temperatures.
Ammonia species (ammonia, ammonium ion)	Causes SCC of some copper-based alloys.
Chloride ion	Strong promoter of localized corrosion of carbon, HSLA, and stainless steels as well as of other alloys. Chloride dependent threshold temperature for pitting and SCC. Different for each alloy.Little if any effect on SSC.  Steel passivates at high temperatures in pH 5, 6070 ppm chloride solution with carbon dioxide. 133,500 ppm chloride destroys passivity above 300oF.
Sulfate ion	Primary effect is corrosion of cements.

## 2.6 Indeks Korosifitas

Untuk dapat memprediksi sifat air sedimen baku terhadap laju korosi pada material dapat dilakukan dengan menggunakan perhitungan melalui rumus empiris sehingga didapatkan indeks korosifitas Langelier (LI) dan Ryznar (RI) [6]. Indeks ini adalah ukuran dari derajat kejenuhan, sehingga dapat memprediksi terjadinya endapan dan dapat digunakan untuk memprediksi tingkat kekorosifan air. Kelemahan indeks ini adalah tidak bisa memperkirakan seberapa banyak jumlah endapan yang akan mengendap. Untuk menghitung kedua indeks ini diperlukan data temperatur, pH aktual, konsentrasi kation dan anion serta TDS. TDS didapat dengan menjumlahkan semua konsentrasi kation dan anion. Untuk memastikan sifat air yang mengalir dipergunakan rumus Ryznar dan Langelier. Dengan menggunakan rumus ini kita dapat menentukan apakah air memiliki sifat membentuk endapan, netral, ataukah korosif.

### 2.6.1 Indeks Korosifitas Langelier (LI)

Langelier Indeks (LI) adalah indeks yang dikembangkan untuk memprediksi apakah air yang jenuh dengan oksigen terlarut akan membentuk endapan kalsium karbonat atau korosif. Indeks ini merupakan pendekatan konsep saturasi menggunakan variabel utama pH dan dapat diinterpretasikan sebagai perubahan pH yang dibutuhkan untuk membawa air ke dalam kesetimbangan.

Rumus empiris LI adalah sebagai berikut[16]:  $LI = pH - pH_s \dots(2.15)$   
Dimana: pH = pH aktual dalam air  $pH_s = pH$  air dalam kesetimbangan dengan padatan  $CaCO_3$

Tabel 2.2 Interpretasi dari hasil perhitungan Langelier Indeks (LI) [6] :

LI > 0	Air akan membentuk endapan
LI = 0	Air bersifat netral
LI < 0	Air bersifat korosif

Berikut tabel Langelier Saturation Indeks (LSI) yang disempurnakan oleh Carrier

Tabel 2.3 Nilai LSI yang disempurnakan oleh Carrier [16] :

<b>LSI (Carrier)</b>	<b>Indication</b>
$-2,0 < \text{LSI} < 0,5$	Serious corrosion
$-0,5 < \text{LSI} < 0$	Slightly corrosion but non-scale forming
$\text{LSI} = 0,0$	Balanced but pitting corrosion possible
$0,0 < \text{LSI} < 0,5$	Slightly scale forming and corrosive
$0,5 < \text{LSI} < 2$	Scale forming but non-corrosive

### 2.6.2 Indeks Korosifitas Ryznar (RI)

Metode Ryznar memiliki dasar yang sama dengan metode Langelier. Metode ini mengembangkan persamaan empiris untuk mengkalkulasi kestabilan indeks dari air. Indeks ini tidak hanya mengindikasikan kecenderungan air untuk mengendapkan kalsium karbonat (atau menjadi korosif jika menjadi jenuh dengan oksigen), tapi juga memberikan perkiraan semi kuantitatif jumlah endapan yang akan terbentuk atau tingkat yang menyebabkan korosi [8].

Rumus empiris RI adalah sebagai berikut [16] :

$$\text{RI} = 2\text{pH}_s - \text{pH} \dots\dots\dots(2.16)$$

$\text{pH}$  = pH aktual dalam air

$\text{pH}_s$  = pH air dalam kesetimbangan dengan padatan  $\text{CaCO}_3$

Tabel 2.4 Interpretasi dari hasil perhitungan (RI) [16]:

<i>RI (Ryznar Index)</i>	<i>Indication (Ryznar 1942)</i>
$RI < 5,5$	<i>Heavy scale akan terbentuk</i>
$5,5 < RI < 6,2$	<i>Endapan akan terbentuk</i>
$6,2 < RI < 6,8$	<i>Air bersifat netral</i>
$6,8 < RI < 8,5$	<i>Air bersifat agresif</i>
$RI > 8,5$	<i>Air sangat bersifat agresif</i>

Nilai pHs untuk kedua rumus empiris LI dan RI ditentukan melalui rumus [6]:

$$pHs = (9,3 + A + B) - (C + D) \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana:

$$A = (\log \text{TDS (mg/L atau ppm)} - 1)/10$$

$$B = - 13,12 \log (T(oC) + 273) + 34,55$$

$$C = \log (\text{Ca}^{2+} \text{ (mg/L atau ppm)}) - 0,4$$

$$D = \log (\text{M alkalinitas (mg/L atau ppm)})$$

Alkalinitas didapat berdasarkan jumlah ion penyebab alkalinitas pada tingkatan pH tertentu yang dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Ion alkalinitas berdasarkan tingkatan pH [16]

pH	<i>Ion Penyebab alkalinitas</i>
9,6 - 14	OH <sup>-</sup> - dan CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
8,3 - 9,6	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> dan CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
4,5 - 8,3	HCO <sub>3</sub>

## 2.7 Laju Korosi[4]

Laju korosi didefinisikan sebagai banyaknya logam yang dilepas tiap satuan waktu pada permukaan tertentu . Laju korosi umumnya dinyatakan dengan satuan mil per year (mpy). Satu mil adalah setara dengan 0,001 inchi. Laju korosi dapat ditentukan dengan berbagai cara, diantaranya dengan ekstrapolasi kurva tafel, pengukuran tahanan listrik yang dipasang secara “ on-line” dan atau pemasangan kupon di tempat yang ingin diketahui laju korosinya secara actual. Pada tabel berikut dapat dilihat hubungan laju korosi dengan ketahanan korosinya (relatif).

Tabel 2.6. Tabel Hubungan laju korosi dan ketahanan korosi[4]

Ketahanan Korosi Relatif	Laju Korosi				
	Mpy	Mm/yr	$\mu\text{m/yr}$	Nm/hr	Pm/s
Sangat baik	< 1	< 0,02	< 25	< 2	< 1
Baik	1 – 5	0,02 – 0,1	25 - 100	2 - 10	1 -5
Cukup	5 -20	0,1 – 0,5	100 - 500	10 - 50	20 - 50
Kurang	20 – 50	0,5 – 1	500 - 1000	50 - 150	20 - 50
Buruk	50 – 200	1 -5	1000 - 5000	150 - 500	50 - 200

Laju Korosi dapat mempengaruhi cepat lambatnya korosi yang terjadi pada material dan laju korosi ini dapat diketahui melalui beberapa metode antara lain adalah sebagai berikut :

### 2.7.1 Polarisasi – Elektro kimia[4]

Logam dalam larutan akan mencapai potensial kesetimbangan yang tergantung pada pertukaran elektron oleh reaksi anodik dan katodik. Suatu logam tidak berada dalam kesetimbangan dengan larutan yang mengandung ion-ionnya, sehingga potensial elektroda akan berbeda dari potensial korosinya, dan selisih keduanya disebut overpotensial ( $\eta$ ) atau polarisasi.

Polarisasi dapat diklasifikasikan menjadi dua tipe, *aktivasi* dan *konsentrasi*. *Polarisasi aktivasi* terjadi saat aliran elektron dipengaruhi oleh suatu tahapan dalam reaksi tersebut <sup>(6)</sup>. Evolusi hidrogen pada permukaan logam misalnya, terdiri dari 3 tahapan. Pertama,  $H^+$  bereaksi dengan elektron dari suatu logam,



untuk membentuk sebuah atom hidrogen teradsorpsi ( $H_{ads}$ ) pada permukaan. Kedua, buah atom yang teradsorpsi ini pada langkah kedua, harus bereaksi membentuk molekul hidrogen,



Kemudian tahap ketiga membutuhkan sejumlah molekul untuk menyatu lalu bernukleasi membentuk gelembung  $H_2$  pada permukaan. Salah satu dari ketiga langkah-langkah tersebut dapat mengatur laju reaksi pembentukan  $H_2$  dan menyebabkan terjadinya polarisasi aktivasi.

Hubungan antara polarisasi dengan laju reaksi yang diwakilkan oleh rapat arus,  $i_a$  atau  $i_c$ , adalah <sup>(6)</sup> :

$$\eta_a = \beta_a \log \frac{i_a}{i_o} \quad (2.20)$$

untuk polarisasi anodik, dan polarisasi katodiknya adalah :

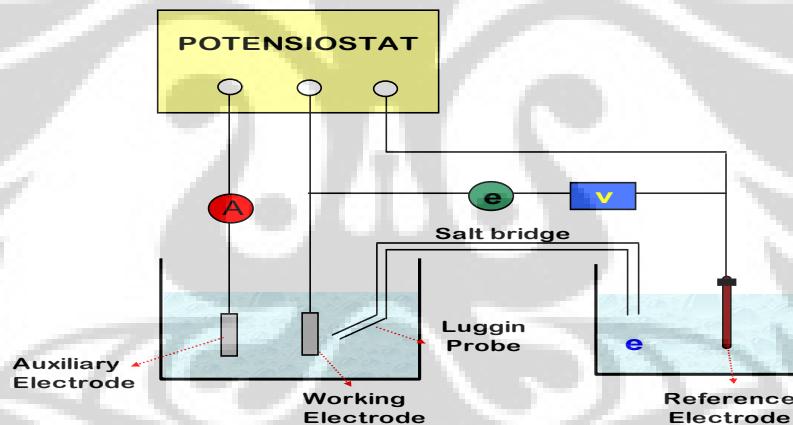
$$\eta_c = \beta_c \log \frac{i_c}{i_o} \quad (2.21)$$

$i_o$  adalah *exchange current density*,  $\beta_a$  dan  $\beta_c$  adalah tetapan anoda dan katoda Tafel.

Persamaan (2.20) dan (2.21) dapat diplot ke dalam kurva polarisasi terhadap rapat arus secara teoritis, namun tidak akan sama dengan kurva hasil pengujian. Oleh karena itu kurva hasil pengujian harus diekstrapolasikan pada bagian linier sehingga dapat mendekati kurva Tafel teoritis.

Metode polarisasi ini biasa digunakan untuk menghitung laju korosi dengan menggunakan ekstrapolasi tafel dan polarisasi tahanan[10]. Metode ini memiliki beberapa keuntungan dalam perhitungan korosi yaitu : hanya perlu waktu yang sebentar untuk menentukan laju korosi, dan juga dapat mengetahui kinetika untuk monitoring korosi, dan sensitifitas tinggi.

Jenis polarisasi yang sering dilakukan untuk menghitung laju korosi adalah ekstrapolasi tafel. Metode ini menggunakan data yang diperoleh dari pengukuran polarisasi anodik dan katodik. Sistem kerjanya adalah logam uji disebut sebagai elektroda kerja dan arus katodik berasal dari katoda pembantu yang terdiri dari bahan inert. Arus dinaikkan dengan menurunkan tahanan R dan diukur dengan ammeter. Potensial elektroda kerja diukur dengan membandingkan dengan elektroda acuan yang dihubungkan dengan *potentiometer-electrometer circuit*.

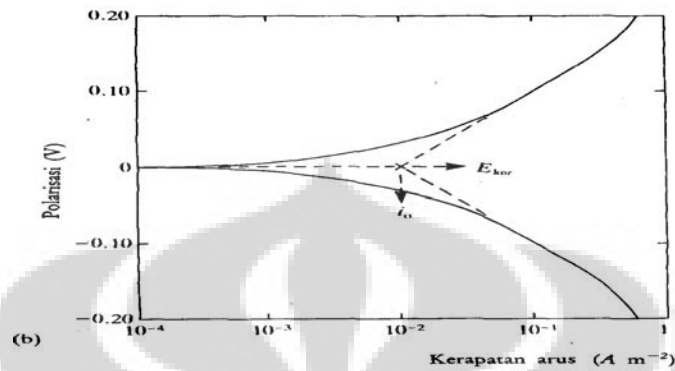


Gambar 2.27 Skematik diagram Uji Polarisasi

Prinsip dari ekstrapolasi tafel adalah memberikan simpangan potensial dengan cara menurunkan atau menaikkan tegangan dari potensial kesetimbangannya.

Pada keadaan setimbang, proses reduksi dan oksidasi terjadi dengan laju yang sama sehingga jumlah arus anodik dan katodik juga sama. Pada keadaan ini rapat arus pengukuran akan sama dengan nol, dimana  $i_{\text{pengukuran}} = i_{\text{katodik}} - i_{\text{anodik}} =$

0. potensial yang didapat pada keadaan kesetimbangan ini dinamakan potensial korosi,  $E_{korosi}$ .



Gambar 2.28 Kurva Tafel praktis yang diidealkan[4]

Dari gambar di atas, kecepatan korosi material dapat dikalkulasi dalam bentuk *mpy* (*mils per year*; 1 mil = 0,001 inchi), dengan rumusan [4] :

$$\text{Laju korosi (MPY)} = 0.129 \frac{a I_{cor}}{nD} \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana,

MPY : laju korosi (0.001 inch per year (tahun))

D : berat jenis ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$I_{cor}$  : rapat arus korosi ( $\text{A}/\text{cm}^2$ )

n : nomor valensi

a : berat atom

*Polarisasi konsentrasi* terjadi akibat ketergantungan reaksi terhadap koefisien difusi ion terlarut ( $D_z$ ) dan konsentrasinya pada larutan ( $C_B$ ). Hal ini berakibat semakin cepat reaksi yang melibatkan ion tersebut pada permukaan, konsentrasi ion akan semakin menipis sehingga terjadi pembatasan kecepatan reaksi itu sendiri. Hubungan yang terjadi antara koefisien difusi, konsentrasi



larutan dengan kecepatan reaksi yang diwakilkan oleh rapat arus batas ( $i_L$ ) adalah <sup>(6)</sup> :

$$i_L = \frac{D_z n F C_B}{\delta} \quad (2.23)$$

dengan  $\delta$  adalah gradien ketebalan konsentrasi dalam larutan.

Jika diasumsikan sebuah elektroda tidak mengalami polarisasi aktivasi, maka persamaan untuk polarisasi konsentrasi adalah <sup>(6)</sup> :

$$\eta_k = 2,3 \frac{RT}{nF} \log \left( 1 - \frac{i}{i_L} \right) \quad (2.24)$$

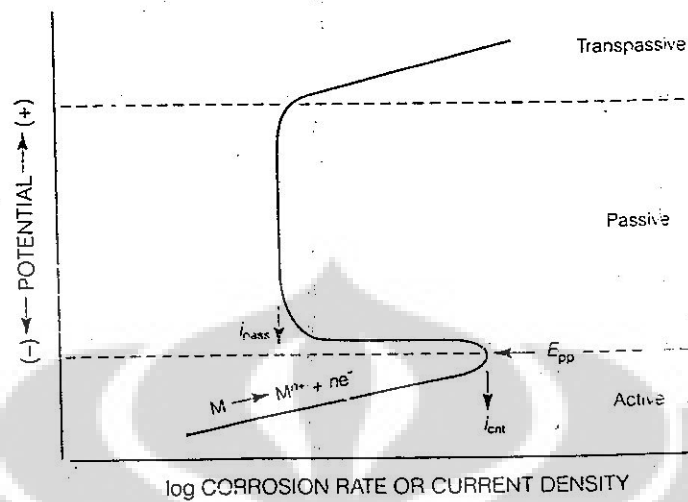
di mana, R : konstanta gas (8,314 J/mol.K)

T : temperatur absolut (273 K)

Polarisasi konsentrasi terutama terjadi pada reaksi katodik dalam korosi, karena pada reaksi anodik terdapat suplai atom logam yang tak terbatas pada permukaannya.

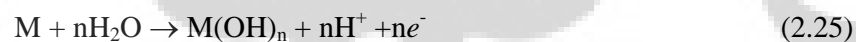
Pasivasi, Pasivasi dihasilkan saat logam atau paduan tertentu membentuk lapisan pelindung yang tipis pada permukaannya dalam larutan korosif. Pasivasi dapat didefinisikan sebagai sebuah bentuk ketahanan korosi akibat pembentukan lapisan pelindung di bawah kondisi teroksidasi dengan polarisasi anodik yang tinggi.

Kurva pada Gambar 2.29 mengilustrasikan perilaku dari sebuah logam aktif-pasif. Awalnya logam tersebut menunjukkan perilaku umum dari logam nonpasivasi, di mana saat potensial makin positif laju disolusi logam meningkat secara ekponensial, menyerupai perilaku Tafel. Lalu pada potensial yang lebih tinggi ( $E_{pp}$ ), laju disolusi menurun sampai nilai yang sangat kecil dan bertahan tidak terpengaruh oleh kenaikan potensial, saat inilah logam dikatakan mengalami pasivasi. Akhirnya pada potensial yang lebih tinggi ( $E_{pit}$ ), laju disolusi meningkat kembali seiring peningkatan potensial <sup>(6)</sup>.

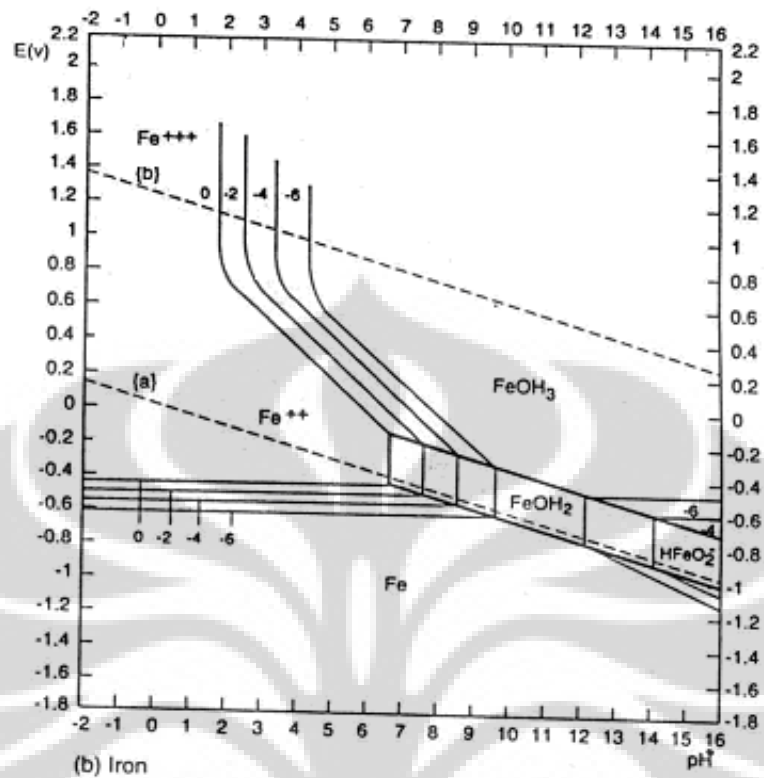


Gambar 2.29. Kurva *disolusi* anodik dari logam aktif-pasif [4]

Reaksi yang terjadi pada logam aktif-pasif berubah dengan pertambahan potensial. Pada lingkungan netral dengan kandungan oksigen terlarut yang cukup, dibawah potensial korosi ( $E_o$ ) evolusi hidrogen merupakan reaksi dominan yang terjadi. Lalu setelah memasuki daerah aktif, terjadi disosiasi logam sehingga potensial pasivasi primer ( $E_{pp}$ ). Dalam daerah pasivasi terjadi reaksi antara ion logam terdisosiasi dengan ion hidroksida hasil reduksi air [4] :

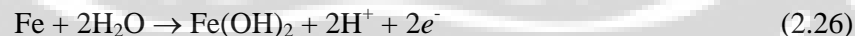


yang membentuk lapisan pasif hingga mencapai potensial *pitting* ( $E_{pit}$ ), setelah itu logam akan terdisosiasi kembali dengan cepat. Kadangkala terjadi evolusi oksigen pada daerah ini.



Gambar 2.30. Diagram Pourbaix untuk Fe dalam larutan cair [4]

Diagram Pourbaix menunjukkan kestabilan lapisan oksida logam pada potensial yang lebih mulia dalam larutan pengoksidasi, misalnya logam Fe membentuk presipitasi hidroksida  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  atau  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , yang dihasilkan dari reaksi berikut[4] :



Lapisan pasif ini dipengaruhi oleh keasaman, temperatur, dan kandungan ion  $\text{Cl}^-$  terlarut, serta untuk kurva polarisasi anodik secara keseluruhan dipengaruhi pula oleh laju polarisasi (untuk daerah pasivasi) dan komposisi logam paduan.

### 2.7.2 Tahanan listrik (Electrical Resistance).

Teknik tahanan listrik adalah metode "on-line" untuk mengetahui laju dari korosi dan kehilangan berat logam dari suatu peralatan atau struktur. Tahanan

listrik ini mengukur akibat korosi dari komponen secara elektro kimia maupun secara mekanis seperti erosi ataupun kavitasi.

Penggunaan metode tahanan listrik ini dapat digunakan pada:

- Sistem pendistribusian produksi Oil/gas
- Proses Refinery/petrochemical
- Permukaan luar dari pipa yang di kubur atau dibenam
- Sistem Feedwater
- Flue gas stacks
- Architectural structures

Sistem monitoring dari tahanan listrik ini terdiri dari suatu alat instrument yang dihubungkan dengan suatu probe. Alat instrument ini dapat dipasang secara permanent untuk mengetahui informasi secara berlanjut atau dapat dipasang sementara untuk mendapatkan data secara periodic dari beberapa titik pengukuran. Probe nya dilengkapi dengan elemen sensor yang mempunyai komposisi yang sejenis dari peralatan atau pipa yang sedang dilakukan pengujian.

Tahanan listrik dari suatu logam atau elemen paduan dapat diberikan oleh:

$$R = r \cdot \frac{L}{A} \quad (2.27)$$

dimana:

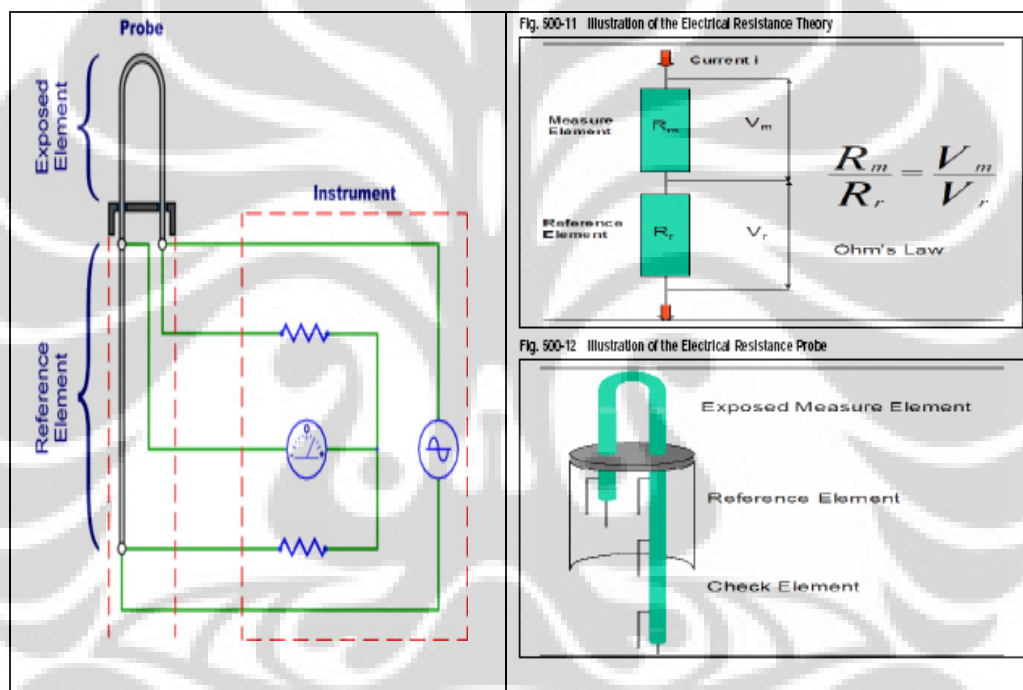
L = panjang element

A = Cross sectional area

r = Specific resistance

Pengurangan(metal loss) luas area di dalam elemen yang disebabkan oleh korosi akan diikuti secara proposional dengan peningkatan tahanan pada element tahanan listrik tersebut.

Pengukuran secara praktis didapat dengan menggunakan probe tahanan listrik(ER Probe) yang dilengkapi dengan elemen yang bebas yang dapat terekspos oleh fluida yang korosif dan elemen reference yang terlindungi dari fluida yang korosif. Pengukuran ratio tahanan dari elemen ini ditunjukkan oleh gambar 2.31

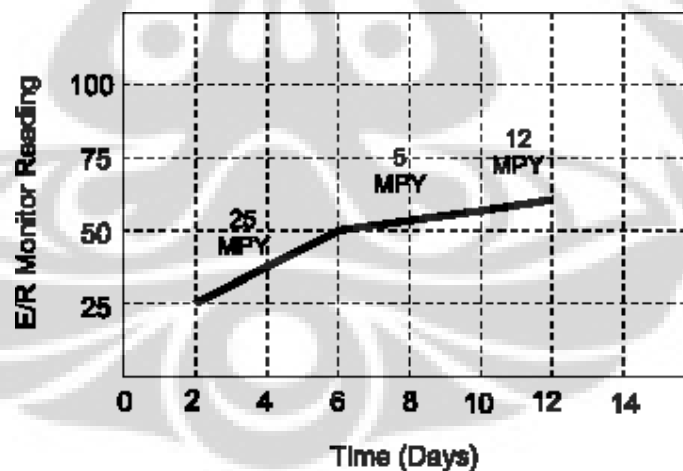


**Gambar 2.31 Probe / Instrument[19]**

Karena disebabkan oleh akibat dari perubahan suhu terhadap tahanan baik untuk elemen yang terekspos ataupun elemen reference, pengukuran dari perbandingan tahanan dapat meminimalkan pengaruh dari akibat perubahan suhu ambient. Walau bagaimanapun, setiap perubahan dari ratio tahanan adalah mewakili hilangnya logam(metal loss) dari elemen yang terekspos di fluida korosif setelah kesetimbangan suhu tercapai.

Semua standar dari Metal Samples Corrosion Monitoring Systems (ER probes) dilengkapi dengan elemen ketiga yang disebut elemen "check" . karena elemen check ini dilindungi dan terdapat didalam body probe maka, ratio atau perbandingan tahanan ini terhadap elemen reference harus tetap dan tidak berubah. Jika ada perubahan yang berarti maka probe ini akan kehilangan integritas nya.

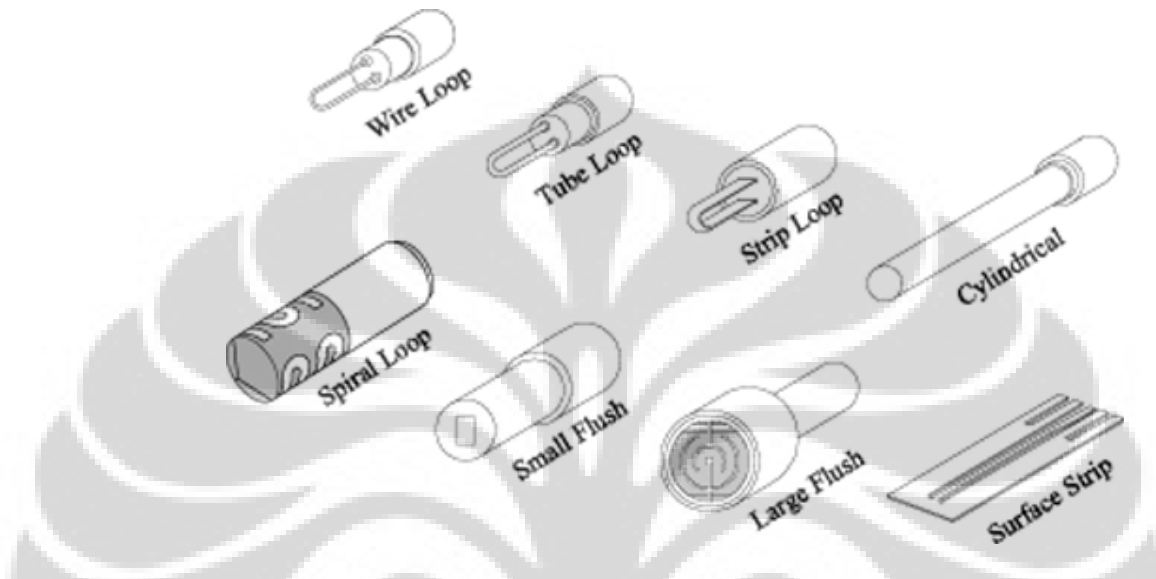
Pengukuran tahanan listrik ini(ER probe) dapat diambil secara berkala dengan menggunakan instrument portabel atau berlanjut dengan menggunakan alat yang dipasang secara permanent. Instrument dari Metal Samples Corrosion Monitoring (ER instruments) akan menghasilkan signal linear yang proposional dengan kehilangan logam(metal loss) dari elemen yang terekspos di fluida. Laju dari perubahan output ini adalah merupakan laju dari korosi yang terjadi. Data yang di monitor secara kontinu ini, biasanya di transmisikan ke suatu computer atau data logger dan diolah menjadi informasi laju korosi yang terjadi. Teknik grafis secara manual biasa digunakan untuk mendapatkan laju korosi yang secara periodik didapat dari data yang di ilustrasikan pada gambar 2.36



**Gambar 2.32. Trending pengukuran Vs waktu untuk mencari laju korosi. [19]**

### Elemen sensor tahan listrik (E/R Sensing Elements)

Elemen-elemen sensor dapat dijumpai dalam berbagai bentuk dan konfigurasi geometris antara lain dapat dilihat pada gambar 2.3.7 berikut.



**Gambar 2.33 E/R Sensing Elements[19]**

**Wire loop** elements adalah elemen yang paling banyak ditemui dan tersedia. Jenis ini mempunyai sensitifitas yang tinggi dan sedikit gangguan. Wire loops mempunyai rating suhu dan tekanan yang bagus dan merupakan pilihan baik untuk di aplikasikan. Probe yang memiliki jenis wire loop, biasanya dilengkapi dengan deflektor untuk aliran yang melindungi elemen dari kotoran yang ikut didalam aliran pipa.

**Tube loop** elements di sarankan untuk sensifitas tinggi dan cepat mendeteksi laju korosi di lingkungan yang rendah laju korosinya. Baja karbon adalah yang paling banyak digunakan. Probe ini juga dilengkapi dengan deflektor aliran

**Strip loop** elements adalah elemen yang sejenis juga dengan konfigurasi wire dan tube loop . The strip loop adalah elemen flat. Strip loop ini sangat

sensitive sekali dan mudah pecah. Dan disarankan sekali untuk aliran yang sangat kecil.

**Cylindrical** elements adalah elemen yang dibuat dengan cara di las. Probe ini sangat sesuai untuk lingkungan yang keras(harsh) termasuk untuk system yang mempunyai kecepatan dan suhu yang tinggi.

**Spiral loop** elements. Elemen ini terdiri dari selemen tipis dan sesuai untuk regim aliran yang tinggi. Elemen ini juga sangat sensitif.

**Flush mount** elements. Elemen ini didesain untuk di letakan di dinding tank. Elemen ini sangat efektif untuk mengetahui korosi sesungguhnya yang terjadi di dinding tank.dan elemen ini tidak mudah rusak pada kecepatan tinggi dan dapat digunakan system perpipaan yang menggunakan pigging pada pengoperasiaannya.

**Surface strip** elements, elemen persegi panjang yang tipis. Elemen ini biasa digunakan untuk probe yang dipasang dibawah tanah untuk memonitor ke efektifan dari proteksi katodik yang terpasang.

#### **Perhitungan laju korosi**

Jika menggunakan probe tahanan listrik maka, alat tersebut menghasilkan signal yang linear(S) dan proposional dengan total metal loss dari elemen yang terpapar oleh fluida korosif. Dan *metal loss* diberikan oleh persamaan:

(2.28)

$$M = \frac{S \times P}{1000}$$

S and P adalah bilangan yang tidak berdimensi. Metal loss secara konvensional dinyatakan dalam mils (0.001 inches), sebagai ketebalan elemen. Laju korosi (C) dapat diturunkan sebagai:



$$C = \frac{P \times 365 (S_2 - S_1)}{\Delta T \times 1000} \quad (2.29)$$

Laju Korosi =  $(S_2 - S_1) \times \text{Probe Multiplier} \times 365 / (\text{measuring time in days}) \times 1000$

T adalah selisih dari waktu pembacaan instrument pada saat membaca  $S_1$  dan  $S_2$ .

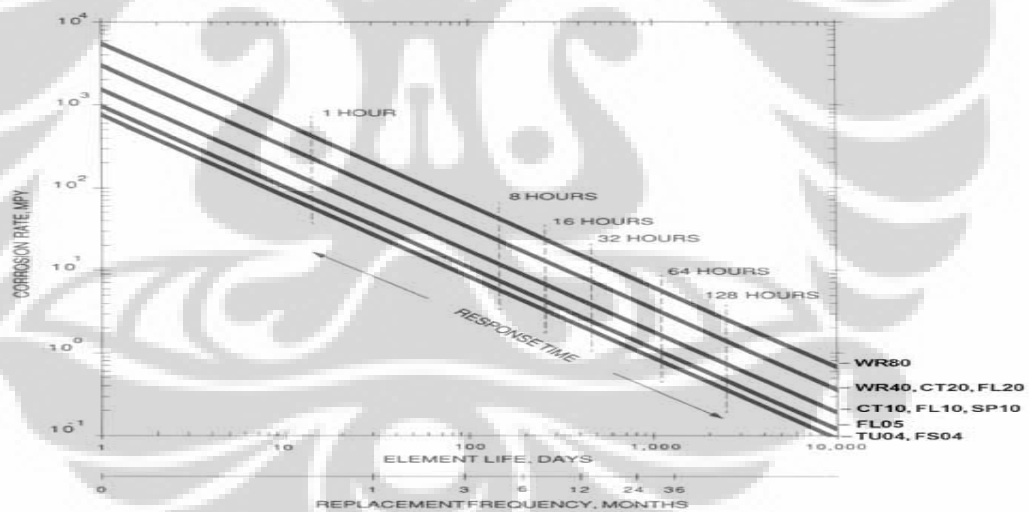
Tabel 2.7 adalah list dari elemen- elemen yang digunakan untuk probe tahanan listrik.

**Tabel 2.7 Probe Life and Element ID**

Element Type	Thickness	Probe Life/Multiplier	Element ID
Wire loop	40mil	10mil	WR40
	80 mil	20 mil	WR80
Tube loop	4mil	2mil	TU04
	8 mil	4 mil	TU08
Strip loop	5mil	1.25mil	SL05
	10 mil	2.5 mil	SL10
Cylindrical	10mil	5mil	CT10
	20mil	10mil	CT20
	50 mil	25 mil	CT50
Spiral loop	10mil	5mil	SP10
	20 mil	10 mil	SP20
Flush (small)	4mil	2mil	FS04
	8mil	4mil	FS08
	20 mil	10 mil	FS20

Flush (large)	5mil	2.5mil	FL05
	10mil	5mil	FL10
	20mil	10mil	FL20
	40 mil	20 mil	FL40
Surface Strip	10mil	5mil	SS10
	20mil	10mil	SS20
	40 mil	20 mil	SS40

Hubungan antara laju korosi, *probe life* dan respon waktu ditunjukkan pada gambar 2.34



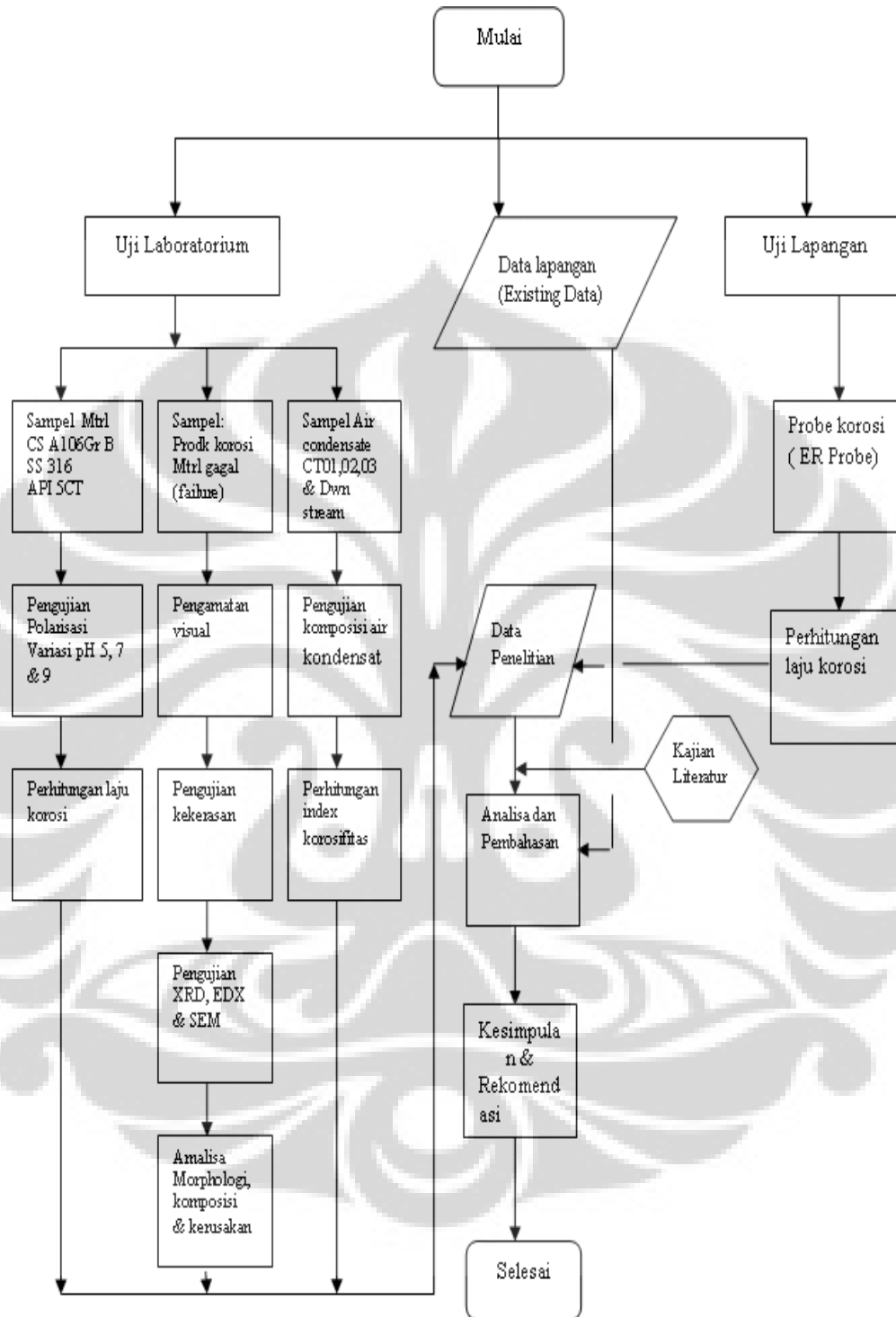
Gambar 2.34. Element Selection Guide[19]

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### 3.1 Skema Kerja Penelitian

Pada penelitian ini sampel material yang akan di uji dilaboratorium menggunakan bahan CS A106 Gr.B, SS 316, API 5CT/J55, dan Stl. 410/Martensitic dengan 15%Cr Serta air condensate yang diambil dari pembangkit panas bumi yang berasal dari uap yang telah didinginkan di suatu unit condenser. Dan uji lapangan dilakukan dengan memasang “Electronic resistance probe(ER Probe)”. Dan untuk diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat dalam halaman selanjutnya.



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

### 3.2 Pengujian Sampel Test Korosi Dengan Polarisasi

Standard yang digunakan dalam pengujian ini menggunakan :

- ASTM G 1 *Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion*

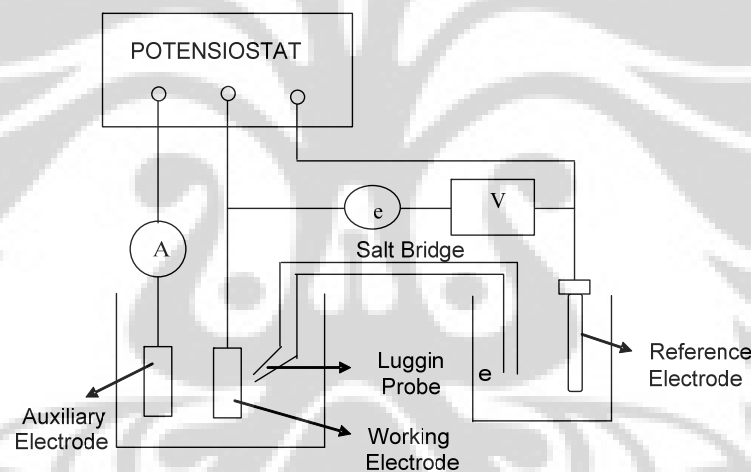
#### *Test Specimens*

- ASTM G 5 *Reference Test Method for Making Potentiostatic and*
- *Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements*
- ASTM G102-89 *Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurement.*

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui laju korosi pada masing-masing material yang di uji dengan menggunakan metode ekstrapolasi tafel untuk sampel baja karbon dan menggunakan polarisasi potentiodynamic untuk baja paduan(stainless steel). Kemudian larutan elektrolit yang berasal dari air kondensat juga divariasikan dalam nilai pHnya. Pengujian polarisasi dilakukan di laboratorium korosi dan proteksi logam, Departemen Metalurgi dan Material FTUI menggunakan software CMS 100.

Empat jenis elektroda kerja yang berbeda (CS A106 Gr.B, SS 316, API 5CT/J55, dan Stl. 410/Martensitic dengan 15%Cr ) menggunakan satu jenis elektrolit, yaitu air kondensat yang paling besar mempengaruhi laju korosi, air kondensat ini didapat setelah melakukan pengujian. Elektroda acuan yang digunakan adalah kalomel, sedangkan elektroda tambahannya adalah grafit. Setelah elektroda kerja, elektroda acuan, dan elektroda tambahan terpasang dan terhubung dengan komputer maka software CMS segera diaktifkan. Sebelum pengujian dengan metode tafel dimulai, elektroda kerja dibiarkan terendam dalam elektrolit selama 30 menit untuk memberi kesempatan kepada elektroda kerja mencapai *steady state potential*. Setelah itu, pengujian dengan metode tafel bisa segera dilakukan dengan terlebih dahulu memasukkan semua parameter pengujian ke dalam program tafel pada software CMS.

Proses pengujian akan berjalan sendiri (otomatis) dan jika pengujian telah selesai, data yang diperoleh kemudian diolah pada folder *analysis* yang terdapat di program CMS 100 untuk mendapatkan grafik  $E$  vs  $\log i$ . Kemudian perhitungan laju korosi dapat dilakukan dengan menggunakan software pengolahan data yang sesuai dengan ASTM G102-89 *Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurement*. Pengujian tersebut diulangi kembali untuk sampel yang berbeda dalam larutan elektrolit yang sama. Dan pengujian diulangi untuk sampel yang berbeda didalam larutan yang pH nya diatur menjadi 5 dan pH 9.



**Gambar 3.2** Potensiostat

Alat dan bahan yang diperlukan untuk pengujian ini adalah:

- Labu polarisasi yang dilengkapi dengan beberapa leher/sambungan yang berfungsi untuk memasukan larutan dan alat lain ke dalam labu.
- Elektroda standar kalomel (SCE) sebagai acuan.
- Elektroda kerja (*Working Electrode*) berupa sampel yang sudah dipreparasi.

- Dua buah elektroda bantu (*Auxiliary Electrode*) dari bahan karbon.
- Pegangan elektroda kerja (*electrode holder*).
- *Luggin capillary* dengan jembatan garam untuk menghubungkan elektroda acuan.
- Komputer yang dilengkapi dengan software CMS (*Corrosion Measurement System*) 100 dan software pengolah data.
- Alat potong sampel.
- Alat solder dan timah solder.
- Resin mounting dan hardener.
- Mesin amplas dan kain amplas.

Bahan yang diperlukan adalah:

- Sampel bahan CS A106 Gr.B, SS 316, API 5CT/J55, dan Stl. 410/Martensitic dengan 15%Cr
- Air kondensat yang paling besar pengaruhnya terhadap laju korosi, air kondensat ini didapat setelah menguji air kondensat yang berasal dari DS, CT. 01, CT. 02, dan CT. 03
- Larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan NaOH untuk mendapatkan pH yang diinginkan yaitu, pH 5 dan pH 9

Untuk melakukan pengujian polarisasi maka dari potongan bahan harus dilakukan preparasi sampel, yang meliputi:

- Pemotongan. Sampel dipotong berbentuk lingkaran dengan luas permukaan  $\pm 1 \text{ cm}^2$ .

- Penyolderan. Pada salah satu sisi sampel yang sudah dipotong dilakukan penyolderan dengan kabel tembaga sebagai penghantar.
- *Mounting*. Sampel yang kemudian dimounting menggunakan resin dan *hardener* yang dimasukkan ke dalam cetakan berbentuk silinder.
- Pengamplasan. Setelah dimounting maka dilakukan pengamplasan sampel dengan menggunakan kertas abrasif silikon karbida. Proses pengamplasan dilakukan sampai permukaan terlihat rata dan tidak terdapat produk korosi pada permukaan material.

Prosedur pengujian polarisasi adalah:

1. Memasukkan larutan air kondensat sebanyak 900 ml ke dalam labu polarisasi atau gelas beaker.
2. Memasang elektroda kerja pada pegangan elektroda kerja (*electrode holder*).
3. Menempatkan elektroda kerja, elektroda bantu dan jembatan garam dalam labu polarisasi dan menghubungkannya dengan perangkat CMS 100.
4. Menyalakan komputer yang berisi program CMS 100 dan mengaktifkan program pengujian Tafel yang terdapat pada folder experiment dengan terlebih dahulu memasukkan kondisi pengujian dan spesifikasi sampel yang digunakan.
5. Setelah program pengujian Tafel selesai maka data yang diperoleh diolah lagi pada folder analysis yang terdapat di program CMS 100 untuk memperoleh grafik  $E$  vs  $\log i$ , dan data yang diperoleh disimpan dalam hardisk atau disket.
6. Untuk bahan stainless steel atau bahan yang mempunyai lapisan pasiv, pengujian polarisasinya menggunakan program pengujian



potensiodynamic. Dan kemudian laju korosinya didapat dengan menggunakan Tafel analysis.

7. Ulangi langkah 1 sampai 5 untuk sampel yang berbeda dan larutan yang sudah di ubah nilai pH nya. .Prosedur Kalkulasi Laju Korosi dilakukan sesuai dengan ASTM G102-89 *Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements*.

### 3.3 Pengujian Komposisi Air

Pengujian komposisi air kondensat dilakukan untuk mengetahui kandungan air kondensat yang mengalir dalam pipa yang mengalami kerusakan. Sampel air kondensat yang diuji terdiri atas 4 buah, yaitu: air dengan kode, CT. 01 berasal dari Cooling tower 1, CT. 02 berasal dari *Cooling tower 2*, CT. 03 berasal dari *cooling tower 3* dan DS berasal dari keluar pompa yang menuju sumur injeksi. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan dari air kondensat.

### 3.4 Preparasi Sampel dan Preparasi Produk Korosi

Preparasi sampel dan produk korosi ini berasal dari bahan atau material dari pipa A106 Gr B yang mengalami kegagalan. Hal ini disiapkan dan diperlukan agar dapat memudahkan dalam melakukan pengujian-pengujian selanjutnya. Pada preparasi ini ditentukan area mana yang akan diambil sebagai sampel uji. Selain itu dilakukan juga preparasi terhadap produk korosi, yaitu dengan mengambil produk korosi dari sampel untuk selanjutnya dilakukan pengujian komposisinya. Sampel dipotong menggunakan gergaji tangan.

### 3.5 Pengamatan dan Pengujian

Dalam penelitian untuk mencari penyebab kerusakan dari line pipa yang mengalami kebocoran adalah pipe fitting jenis Tee dengan ukuran diameter 6 “ inch. Pada pipe fitting Tee ini dilakukan beberapa pengamatan dan pengujian. Hal ini bertujuan untuk mencari penyebab yang terjadi pada pipa yang mengalami kebocoran tersebut, sehingga dapat memastikan penyebab kebocorannya. Pengujian-pengujian tersebut antara lain sebagai berikut:

#### 3.5.1 Pengamatan Visual

Pengamatan dilakukan pada daerah yang mengalami kegagalan atau leakage sebagai informasi awal analisa. Dengan pengamatan ini, dapat digali informasi yang berkaitan dengan kegagalan yang terjadi. Pengamatan secara visual dilakukan dengan dokumentasi menggunakan kamera digital. Pengamatan visual meliputi pengukuran tebal pipa hasil korosi, pengukuran diameter dalam dan luar pipa, dan pengukuran tebal korosi. Pendokumentasian dilakukan pada sampel secara keseluruhan dan pada daerah-daerah yang mengindikasikan kegagalan seperti di daerah indikasi kebocoran.

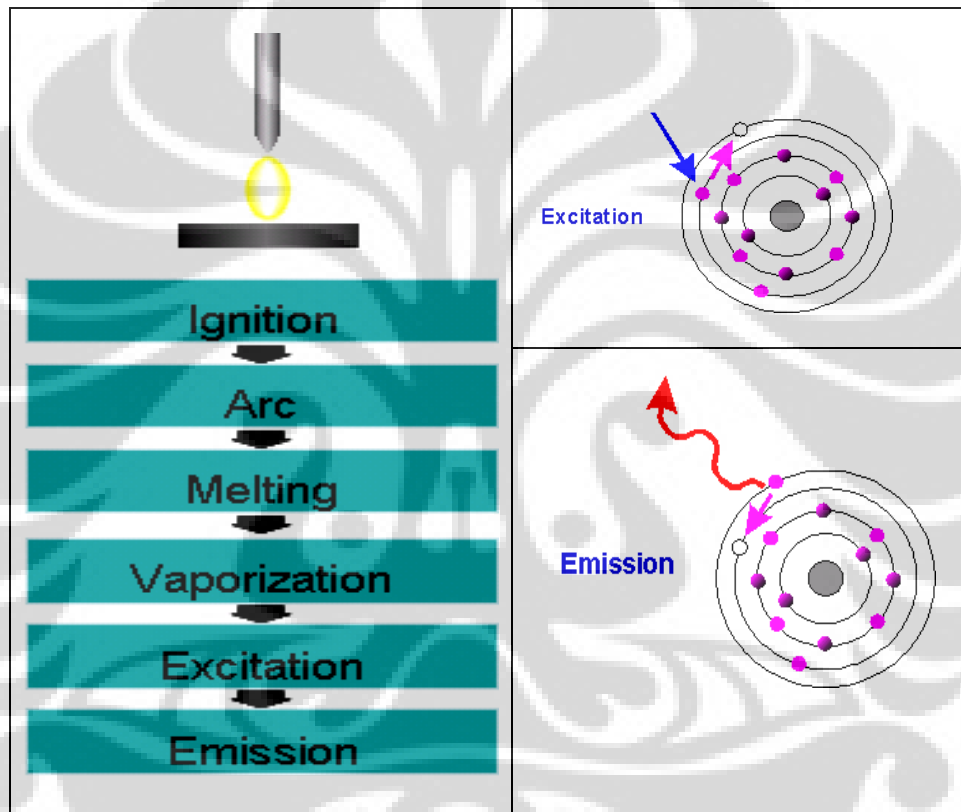
#### 3.5.2 Pengujian Komposisi Kimia

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui komposisi dari material. Menurut data manufaktur, material yang digunakan adalah ASTM A 106 grade B, dengan melakukan pengujian komposisi dapat diketahui apakah material tersebut sesuai atau tidak. Pengujian ini dilakukan di Departemen Metalurgi dan Material FT UI dengan menggunakan alat OES (Optical Emission Spectrometer). Dimana, sebelum pengujian alat tersebut dikalibrasi terlebih dahulu.

Prinsip dari pengujian ini adalah, material dipanaskan menggunakan arc, dimana akibat proses pemanasan ini atom-atom elemen memiliki energi yang cukup untuk berpindah ke energi yang lebih tinggi. Atom tereksitasi ke energi yang lebih tinggi

sambil melepas sinar-x/light/wave length dimana akan ditangkap oleh detektor dan kemudian dideteksi karena setiap elemen memiliki karakteristik yang berbeda-beda.

Pada pengujian ini, sampel akan mengalami pemanasan sehingga dapat mengakibatkan perubahan struktur mikro dari sampel. Oleh sebab itu, pada penelitian ini, sampel pengujian komposisi dibuat terpisah dan tidak digunakan untuk pengujian lainnya.



**Gambar 3.3** Langkah analisis pada alat OES (Optical Emission Spectrometer).

[20]



**Gambar 3.4** OES (*Optical Emission Spectrometer*)

### 3.5.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode brinnell yaitu menggunakan bola baja yang diperkeras (hardened steel ball) sebagai indentasi dengan beban dan waktu indentasi tertentu.



**Gambar 3.5** *Brinell Hardness Tester*

Nilai kekerasan yang diperoleh dengan metode ini dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$\text{BHN} = \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$
(3.1)

Dimana:

P = beban (kg)

D = diameter indenter (mm)

d = diameter jejak (mm)

Setelah mendapatkan nilai kekerasan rata-rata dari setiap area dalam BHN kemudian dikonversi untuk mendapatkan kekuatan tarik.

Konversi BHN ke kekuatan tarik (MPa) menggunakan persamaan :

$$\text{Tensile strength (MPa)} = \text{nilai BHN} \times 3.55$$
(3.2)

Dan konversi BHN ke tensile strength dalam (psi) adalah :

$$\text{Tensile strength (psi)} = \text{nilai BHN} \times 515$$
(3.3)

#### 3.5.4 Pengujian Energi Dispersive X-Ray Analysis (EDX) dan SEM untuk produk korosi

Untuk mengetahui unsur-unsur yang terkandung dalam produk korosi dan mengetahui struktur material dalam skala mikro dapat dilakukan pengamatan dengan SEM/EDX. Fasa-fasa yang terdapat di dalam material dapat terlihat jelas dengan menggunakan SEM dibandingkan dengan menggunakan mikroskop optik biasa. Dalam pengujian ini mesin EDX yang digunakan milik Departemen Metalurgi dan Material. Produk korosi diambil dengan cara mengeruk produk tersebut pada bagian dalam pipa.

Prinsip dari pengujian ini adalah ketika sampel dari produk korosi dimasukkan ke chamber, elektron yang berasal dari elektron gun akan menembak material, sehingga atom-atom pada material akan berpindah ke energi yang lebih tinggi. Dimana ketika berpindah, atom akan melepaskan sinar-x. Sinar-x inilah yang kemudian ditangkap oleh detektor dimana, setiap elemen memiliki karakteristik sinar-x yang berbeda-beda. Sehingga, komposisi unsur penyusun sampel dapat diketahui.

#### 3.5.5 Pengujian XRD

Pengujian XRD ini dilakukan untuk mengetahui senyawa yang terbentuk dalam produk korosi. Sampel untuk pengujian ini diambil pada produk korosi yang terdapat didalam pipa dengan cara pengerikan. Sampel kemudian dihaluskan dengan cara digerus lalu dilakukan pengujian. Pengujian ini dilakukan di Departemen Metalurgi dan Material dengan menggunakan mesin XRD.

### 3.6 Pengujian lapangan

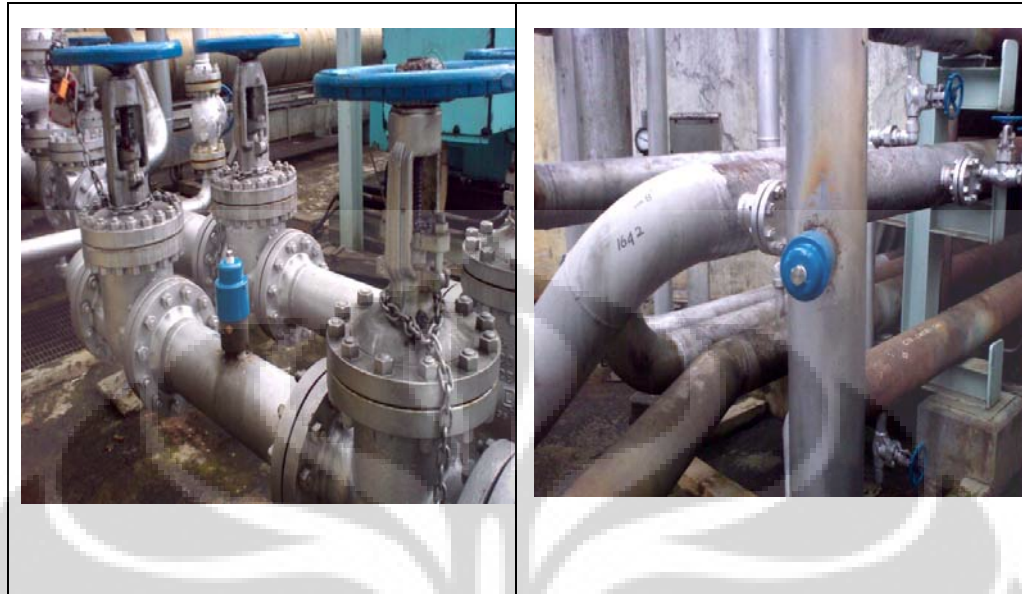
Pengujian yang dilakukan dilapangan untuk mengetahui laju korosi yaitu dengan memasang Probe tahanan listrik (Electrical Resistance Probe) dengan spesifikasi yang dipasang mempunyai jenis wire loop (WI80 wire loop) yang

mempunyai faktor pengali adalah 10, angka ini digunakan dalam perhitungan laju korosi.

Pada pengujian lapangan ini, dipasang ER probe sebanyak dua buah, salah satu ER probe di pasang di jalur pipa keluaran dari pompa KONDENSAT. Pemasangan dilokasi ini dilakukan karena pada area ini mempunyai tekanan aliran dan kecepatan aliran yang paling besar jika dibandingkan dengan jalur pipa lainnya. sementara ER probe yang lain, dipasang di jalur inlet dari pompa kondensat yang berasal dari cooling tower(CT) unit 3, pemasangan di jalur pipa ini dipertimbangkan karena air kondensat yang berasal dari CT unit 3 ini sedikit agresif dibandingkan air kondensat yang berasal dari unit lainnya. Setelah ER probe terpasang, kemudian dilakukan pengambilan data yang berlangsung kurang lebih selama satu bulan dengan periode pengambilan data dua kali dalam satu hari. Gambar 3.6 dibawah ini adalah alat yang digunakan untuk mengambil data dari probe korosi(ER Probe) yang terpasang. Alat yang digunakan ini adalah milik Departemen Metalurgi dan Material.



Gambar 3.6 MS0500 Electrical Resistance Monitor



(a)

(b)

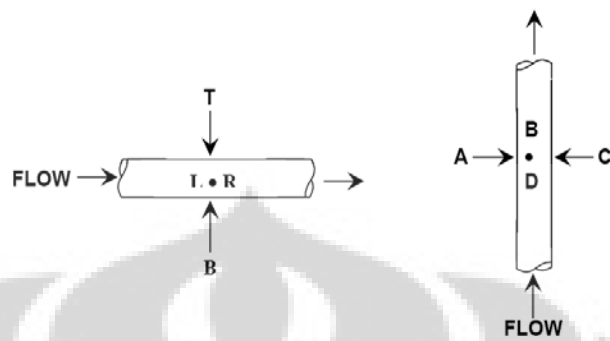
Gambar 3.7 Posisi pemasangan ER Probe. (a) di sisi keluaran pompa.

(b) di sisi masuk pompa yg berasal dari CT-03

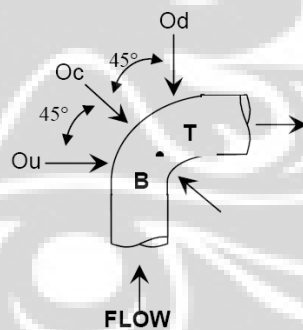
### 3.7 Pengukuran Ketebalan Pipa di Lapangan

Pengukuran ketebalan pipa yang dilakukan adalah merupakan program inspeksi yang dilakukan secara rutin dan menggunakan alat ukur ketebalan portabel yang dikenal sebagai Ultrasonic Thickness Gauge (UTG) dan dilengkapi dengan sensor jenis high temperature probe. Merek peralatan UTG yang digunakan adalah KRAUTKRAMER DM 4. Data yang diambil dilapangan kemudian dicatat dan secara manual dimasukkan kedalam MS Excel yang sudah dibuat template nya beserta formula-formula perhitungannya. Standar yang digunakan untuk melakukan inspeksi terhadap titik yang diambil secara garis besar dapat dilihat pada gambar-gambar berikut dibawah ini.

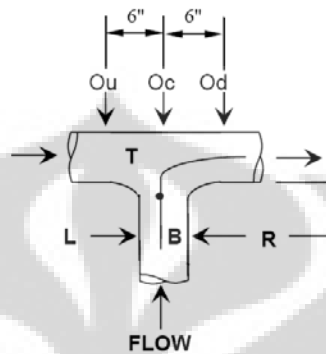




Gambar 3.8 Titik pengukuran untuk pipa lurus secara vertical dan horisontal



Gambar 3.9 Titik pengukuran untuk Elbow



Gambar 3.10 Titik pengukuran untuk Tee

Untuk pipa yang mempunyai isolasi maka dibuat jendela kecil pada masing-masing titik pengukurannya. Jendela kecil ini akan dibuka setiap pengukuran ketebalan ini dilakukan.

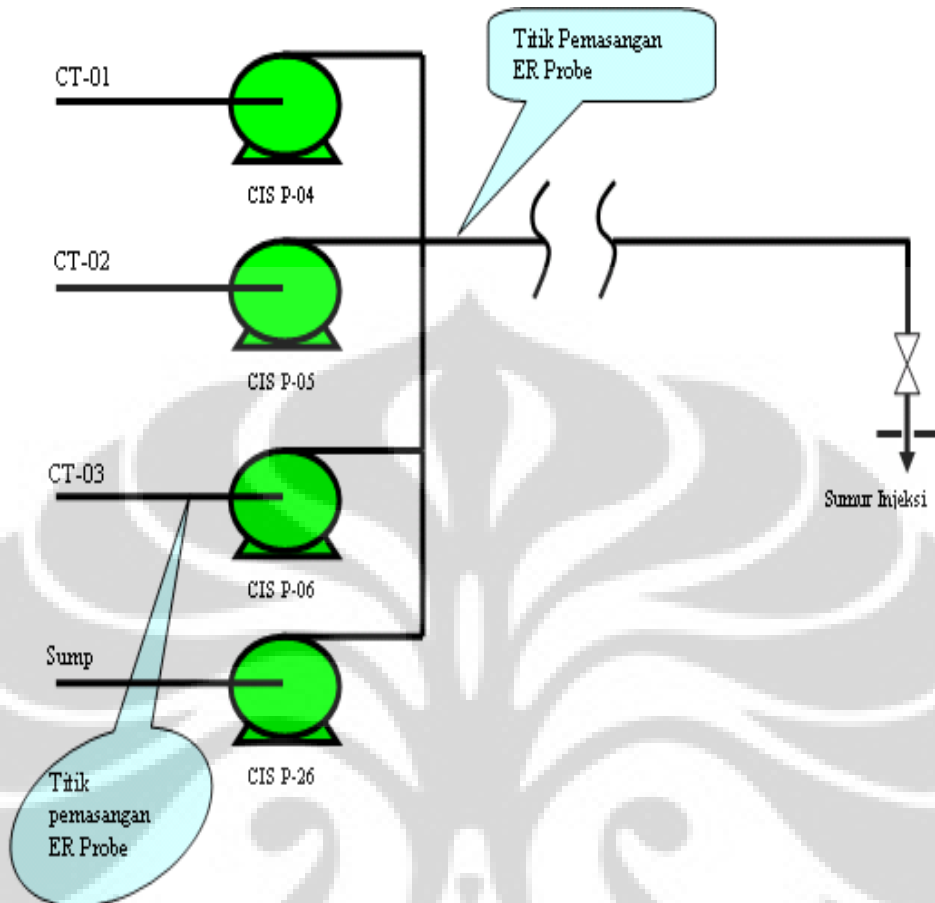
Data pengukuran untuk sistem injeksi kondensat ini dibagi kedalam tiga kelompok yaitu, untuk daerah sekitar pompa injeksi(WPS area), sepanjang jalur pipa menuju sumur injeksi(Cross country pipe) dan sekitar sumur injeksi (Injection well area).

**BAB IV**  
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**4.1 Data Operasi Sistem Injeksi Kondensat**

Data Operasional yang dilakukan pengujian pada sistem injeksi kondensat ini adalah :

- |      |                                   |                       |
|------|-----------------------------------|-----------------------|
| a.   | Material pipa:                    | ASTM A106 Gr.B        |
| b.   | Ukuran pipa(6 inch/150 mm):       |                       |
| i.   | Diameter luar:                    | 168.3 mm              |
| ii.  | Diameter dalam pipa:              | 154.08 mm             |
| iii. | Tebal pipa:                       | 7.11 mm               |
| iv.  | Minimum allowable thickness(MAT): | 3.33 mm               |
| c.   | Temperature fluida:               | 80 F                  |
| d.   | Tekanan suction pompa:            | 15 Psig-30 Psig       |
| e.   | Tekanan discharge pompa:          | 350 Psig              |
| f.   | Tekanan sumur injeksi:            | Vacuum                |
| g.   | Umur operasi pipa:                |                       |
| i.   | Daerah pompa injeksi:             | 6 tahun               |
| ii.  | Daerah sumur injeksi:             | 15 Tahun              |
| h.   | Debit aliran :                    |                       |
| i.   | Dari CT-01,CT-02 dan CT-03:       | Masing-masing 250 kph |
| ii.  | Keluaran pompa :                  | 750 kph               |



**Gambar 4.1 Skematik Sistem Injeksi Kondensat**

#### **4.2 Pengujian KONDENSAT dan Pembahasan**

Hasil pengujian kondensat yang dilakukan untuk mengetahui komposisinya dapat dilihat pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Hasil pengujian komposisi kondensat

Kind of sample		D5	CT. 01	CT. 02	CT. 03
Sampling point					
Sampling date		September 26, 2008			
Sampling time					
1	Color (Pt-Co-degree)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	Turbidity	< 1	< 1	< 1	< 1
3	pH (at 25°C)	6.3	6.5	6.2	6.3
4	Electrical conductivity ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	262	241	252	297
5	P-Alkalinity (as $\text{CaCO}_3$ )	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	M-Alkalinity (as $\text{CaCO}_3$ )	23	24	18	21
7	Total Hardness (as $\text{CaCO}_3$ )	< 1	8	4	< 1
8	Calcium Hardness (as $\text{CaCO}_3$ )	< 1	5	3	< 1
9	Chloride ion (as $\text{Cl}^-$ )	< 2	< 2	< 2	< 2
10	Sulfate ion (as $\text{SO}_4^{2-}$ )	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
11	Soluble Silica (as $\text{SiO}_2$ )	1.65	1.50	0.67	0.15
12	Phosphate ion (as $\text{PO}_4^{3-}$ )	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
13	Total Phosphate (as $\text{PO}_4^{3-}$ )	n.a.	< 0.1	< 0.1	< 0.1
14	Total iron (as Fe)	0.14	0.06	0.07	0.13
15	Hydrazine (as $\text{N}_2\text{H}_4$ )	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
16	Nitrite ion (as $\text{NO}_2^-$ )	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
17					
18					
19					
20					
Comment :		(Unit : mg/l)			

### 4.3 Indek saturasi kondensat

Data yang didapat pada pengujian kondensat ini, kemudian digunakan untuk menghitung nilai index dari metode LSI dan RI yang perhitungannya dilakukan dengan memanfaatkan kalkulator on-line di :

<http://www.lenntech.com/ro/index/ryznar.htm>

[http://www.lenntech.com/ro/index/langelier saturation index.htm](http://www.lenntech.com/ro/index/langelier%20saturation%20index.htm)

hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.2

**Tabel 4.2** Hasil perhitungan RI dan LSI

<b>Metode</b>	<b>CT01</b>	<b>CT02</b>	<b>CT03</b>	<b>DS</b>
<b>Ryznar</b>	12	13	14	14
<b>Langelier</b>	-2.7	-3.5	-3.9	-3.9

Perhitungan nilai index ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari masing-masing sumber kondensat berasal, Dari hasil yang didapat kemudian dibandingkan dengan tabel index dari setiap metode untuk mengetahui karakteristik kondensat tersebut.

Dari hasil perbandingan dengan menggunakan tabel index ryznar diketahui bahwa semua kondensat yang diujikan, yaitu : CT 01, CT 02, CT 03 dan Down Stream memiliki nilai RI lebih besar dari sembilan, Nilai ini menunjukkan bahwa kondensat tersebut bersifat sangat korosif.

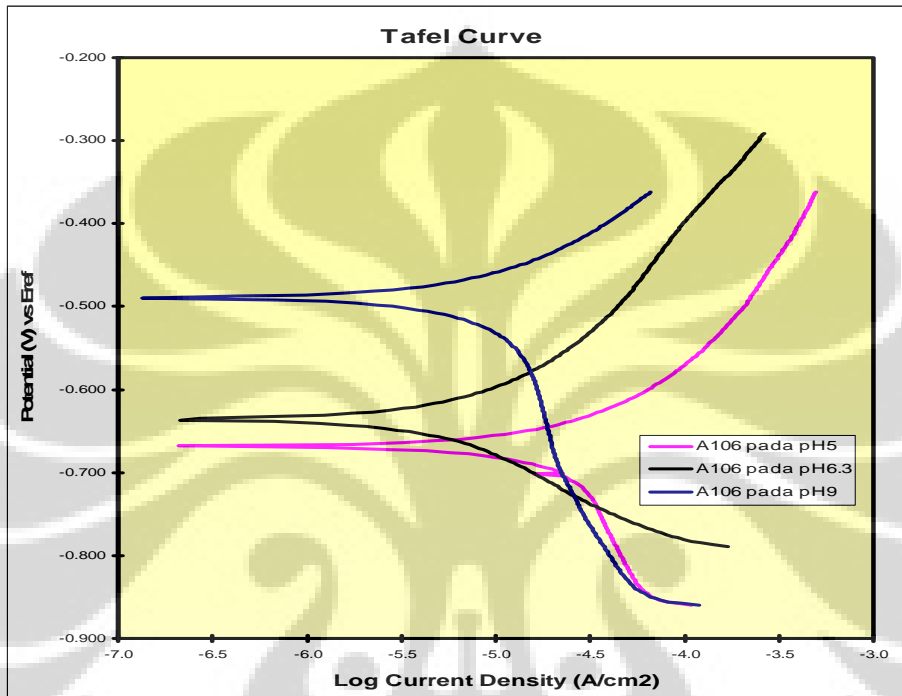
Untuk perhitungan nilai LSI dari masing- masing kondensat tersebut, semuanya berada dibawah nilai minus dua dan nilai ini tidak terdapat pada tabel indeks. Nilai ini menunjukkan bahwa kondensat tersebut mempunyai sifat yang sangat korosif.

#### **4.4 Data Pengujian Polarisasi dan Pembahasan**

Pengujian polarisasi yang dilakukan untuk material besi karbon menggunakan metode polarisasi tafel, sementara untuk jenis stainless steel menggunakan polarisasi potentiodynamic. Elektrolit yang digunakan di dalam pengujian ini menggunakan kondensat yang berasal dari unit 3(CT03) dengan pertimbangan bahwa dari hasil pengujian, kondensat ini yang paling bersifat koosif dan elektroda standar yang digunakan menggunakan Calomel. Kemudian kondensat ini juga di variasikan nilai pH nya. Untuk bahan yang dilakukan pengujian adalah:

A106 Grade B, J55, SS 15 Cr (martensitic SS) dan 316 SS (austenitic SS).

Hasil dari pengujian polarisasi dapat dilihat pada gambar 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 dan gambar 4.6



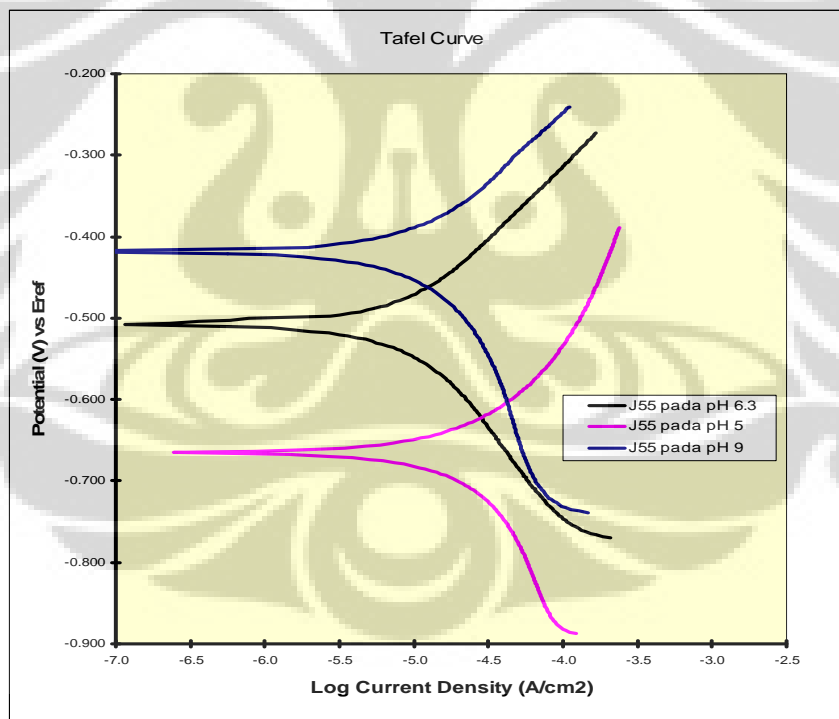
Gambar. 4.2 Kurva polarisasi untuk A106 Gr.B pada variasi pH.

Pada gambar 4.2 terlihat kurva hasil polarisasi dari material A106 Gr. B pada pengujian nilai pH 5, pH 6,3 dan pH 9. Pada hasil tersebut dapat terlihat bahwa nilai pH sedikit mempengaruhi kemiringan sudut dari Tafel (Tafel slope) pada kurva anodic. Pada kurva katodik, kemiringan sudut dari tafel sangat dipengaruhi sekali dengan nilai pH. Nilai pH yang rendah akan mempercepat terjadinya korosi disebabkan adanya ion H<sup>+</sup> yang lebih banyak di larutan. Pada kurva polarisasi ini tidak terlihat terjadinya pembentukan daerah pasif.

Dari Tafel analysis yang menggunakan software CMS100 dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3 hasil tafel analysis A106 Gr.B

pH	Tegangan korosi( $E_{corr}$ ), mV	Arus korosi( $I_{corr}$ ), A/cm <sup>2</sup>	Konstanta katodik tafel (BetaC), mV/Decade	Konstanta anodik tafel(BetaA), mV/Decade	Tahanan polarisasi( $R_p$ ), Ohm cm <sup>2</sup>	Laju korosi(CorrRate), mpy
5	-668.1	1.124E-04	1929673665	377.9	1.460E+03	51.382
6,3	-636.0	1.268E-05	211.6	258.9	3.987E+03	5.795
9	-459.7	1.323E-05	686.3	155.0	4.151E+03	6.044



Gambar. 4.3 Kurva polarisasi untuk J55 pada variasi pH.

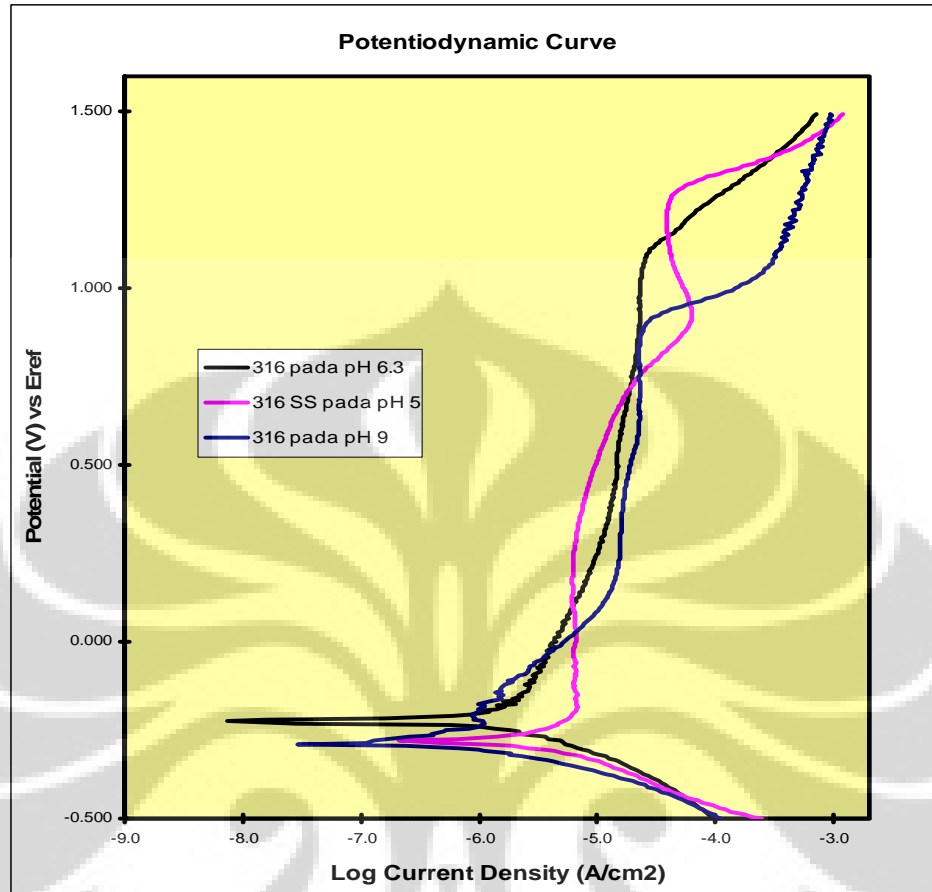


Pada gambar 4.3 terlihat kurva hasil polarisasi dari material J55 pada pengujian nilai pH 5, pH 6,3 dan pH 9. Pada hasil tersebut dapat terlihat bahwa nilai kemiringan sudut dari Tafel( Tafel slope) pada kurva anodik maupun katodik sangat dipengaruhi sekali dengan nilai pH. Nilai pH yang rendah akan mempercepat terjadinya korosi disebabkan adanya ion H<sup>+</sup> yang lebih banyak di larutan. Pada kurva polarisasi ini tidak terlihat terjadinya pembentukan daerah pasif.

Dari Tafel analysis yang menggunakan software CMS100 dapat dilihat pada tabel 4.4

Tabel 4.4 hasil tafel analysis J55

pH	Tegangan korosi( $E_{corr}$ ), mV	Arus korosi( $I_{corr}$ ), A/cm <sup>2</sup>	Konstanta katodik tafel (BetaC), mV/Decade	Konstanta anodik tafel(BetaA), mV/Decade	Tahanan polarisasi( $R_p$ ), Ohm cm <sup>2</sup>	Laju korosi(CorrRate), mpy
5	-665.1	1.680E-04	833,6022450	673.6	1.741E+03	76.758
6,3	-508.1	9.564E-06	232.9	189.1	4.739E+03	4.370
	-418.4	1.240E-05	362.2	187.1	4.320E+03	5.666



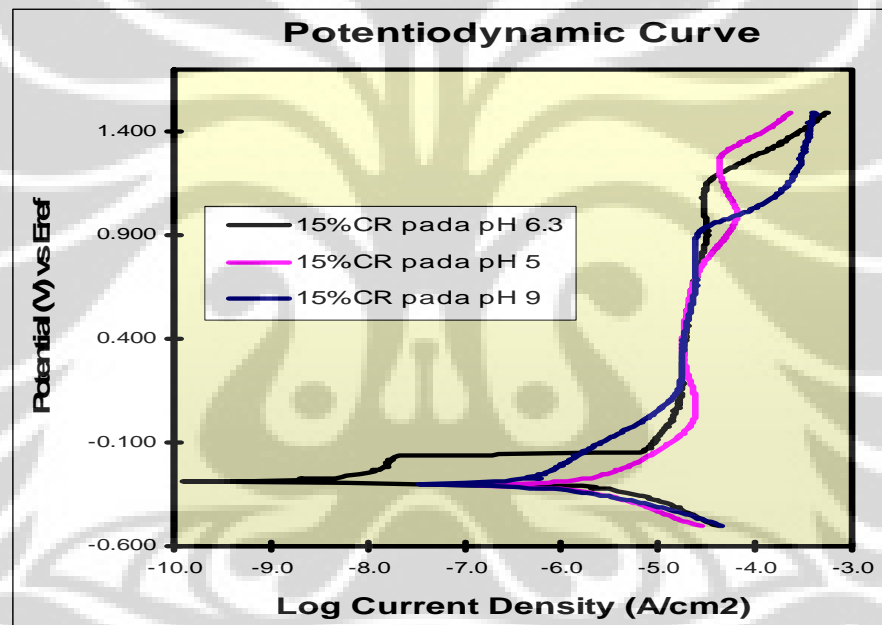
Gambar. 4.4 Kurva polarisasi untuk 316SS pada variasi pH.

Pada gambar 4.4 terlihat kurva hasil polarisasi dari material 316SS pada pengujian nilai pH 5, pH 6,3 dan pH 9. Pada hasil tersebut dapat terlihat bahwa nilai kemiringan sudut dari Tafel( Tafel slope) pada kurva anodic maupun katodik hanya sedikit dipengaruhi oleh nilai pH. Pada nilai pH 6.3 daerah pasif yang paling baik terbentuk mencapai 1100 mV vs standard calomel electrode(SCE).

Dari Tafel analysis yang menggunakan software CMS100 dapat dilihat pada tabel 4.5

Tabel 4.5 hasil tafel analysis 316SS

pH	Tegangan korosi(Ecorr),mV	Arus korosi(Icorr), A/cm2	Konstanta katodik tafel (BetaC), mV/Decade	Konstanta anodik tafel(BetaA), mV/Decade	Tahanan polarisasi(Rp), Ohm cm2	Laju korosi(CorrRate), mpy
5	-241.9	6.122E-08	248.7	294.3	9.561E+05	0.028
6,3	279.6	1.104E-09	149.1	200.2	3.363E+07	0.001
9	290.7	3.274E-07	98.0	487.3	1.083E+05	0.150



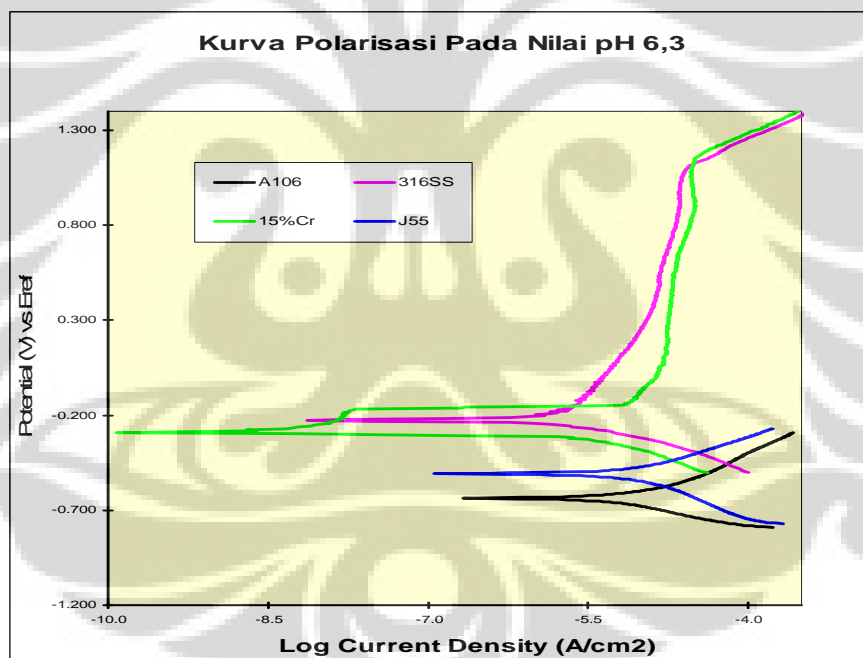
Gambar. 4.5 Kurva polarisasi untuk 15% Cr pada variasi pH.

Pada gambar 4.5 terlihat kurva hasil polarisasi dari material 15% Cr. pada pengujian nilai pH 5, pH 6,3 dan pH 9. Pada hasil tersebut dapat terlihat bahwa nilai kemiringan sudut dari Tafel( Tafel slope) pada kurva anodik maupun katodik hanya sedikit dipengaruhi oleh nilai pH. Pada pH 6.3 daerah pasif yang paling baik terbentuk juga mencapai lebih kurang 1100 mV vs SCE.

Dari Tafel analysis yang menggunakan software CMS100 dapat dilihat pada tabel 4.5

Tabel 4.6 hasil tafel analysis 15%Cr

pH	Tegangan korosi(Ecorr),mV	Arus korosi(Icorr), A/cm2	Konstanta katodik tafel (BetaC), mV/Decade	Konstanta anodik tafel(BetaA), mV/Decade	Tahanan polarisasi(Rp), Ohm cm2	Laju korosi(CorrRate), mpy
5	-398.8	4.665E-07	55.1	744.3	4.778E+04	0.213
6,3	93.2	1.504E-08	172.1	306.5	3.182E+06	0.007
9	-288.7	6.802E-07	112.3	619.1	6.071E+04	0.311



Gambar. 4.6 Kurva polarisasi untuk berbagai material pada nilai pH 6,3

Pada kurva polarisasi anodic untuk jenis baja karbon paduan A106 dan J55, terlihat tidak adanya formasi lapisan pasif dan menunjukkan korosi yang aktif. Sementara untuk baja paduan lainnya 316SS dan 15% Cr. Mempunyai formasi

lapisan pasif pada polarisasi anodiknya. Pada daerah ini tidak terjadi korosi umum di dalam larutan kondensat yang mempunyai pH 6,3 atau larutan yang kondisinya sama dengan kondisi larutan yang berasal dari CT-03 selama lapisan pasifnya tidak mengalami kerusakan. Pada kurva ini juga terlihat bahwa urutan-urutan material yang paling bagus di pakai untuk lingkungan ini adalah 316SS, 15% Cr, J55 dan A106 Gr.B.

Pada tabel 4.7 ditunjukkan hasil perhitungan dengan menggunakan CMS100 system untuk laju korosi dari masing-masing material yang di uji di dalam berbagai nilai pH pada larutan kondensat yang berasal dari CT-03.

Tabel 4.7 Laju korosi hasil polarisasi pada berbagai nilai pH

Bahan	Ecorr(mV)			Icorr(A/cm <sup>2</sup> )			Laju korosi (mpy)		
	pH 5	pH 6.3	pH 9	pH 5	pH 6.3	pH 9	pH 5	pH 6.3	pH 9
A106 Gr B	-668.1	-636.0	-459.7	1.124E-04	1.268E-05	1.323E-05	51.382	5.795	6.044
J55	-665.1	-508.1	-418.4	1.680E-04	9.564E-06	1.240E-05	76.758	4.370	5.666
316 SS	290.7	279.6	-241.9	6.122E-08	1.104E-09	3.274E-07	0.028	0.001	0.150
SS 15 Cr (Marensis tic)	-398.8	93.2	-288.7	4.665E-07	1.504E-08	6.802E-07	0.213	0.007	0.311

#### 4.5 Hasil Pengamatan visual dan Pembahasan

Dari pengamatan secara visual terhadap contoh sampel pipa yang mengalami kegagalan(bocor) yang ditunjukkan pada gambar 4.7



Gambar 4.7 Sampel pipa gagal A106 Gr.B

Pada bagian dalam pipa, terlihat adanya korosi pada seluruh bagian pipa. Produk korosinya sendiri sangat tipis, Tipisnya produk korosi yang menutupi permukaan dalam pipa menunjukkan produk korosi yang lepas dari permukaan pipa, baik karena terlepas secara mekanik maupun secara kimia. Namun bentuk dari permukaan pipa yang menunjukkan adanya alur-alur memberikan kemungkinan adanya erosi oleh aliran air kondensat yang dapat disebabkan oleh bantuan benda padat ataupun tanpa bantuan benda padat yang ikut pada aliran air kondensat.

#### 4.6 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis material logam dasar. Nilai kekerasan yang didapat kemudian dikonversikan untuk mendapatkan pendekatan terhadap sifat mekanis material dalam hal ini, nilai kekuatan tarik dari material tersebut.

Tabel 4.8 Nilai kekerasan

Daerah	Kekerasan (BHN)	Tensile Strength (psi)	Tensile Strength (Mpa)
Base metal	132	67782	467

Berdasarkan standar, diketahui bahwa nilai kekuatan tarik dari ASTM A106 Grade B adalah 60.000 psi (minimum). Hasil dari pengujian yang dapat dilihat pada table 4.8 menunjukkan bahwa kekerasan pada material tersebut masih sesuai dengan standar.

#### 4.7 Data Pengujian pipa terpasang dan Pembahasan

Untuk mengetahui apakah bahan pipa yang digunakan sesuai dengan ASTM 106 Gr. B maka dilakukan pengujian komposisi kimia dengan menggunakan optical emission spectrometer (OES) dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.4

Tabel 4.9 Komposisi kimia (Wt%)

Unsur	Logam Dasar (Wt %)	ASTM A 106 Gr. B (Wt %)
C	0.187	0.30 (max)
Si	0.225	0.10
S	0.013	0.035 (max)
P	0.031	0.035 (max)
Mn	0.509	0.29-1.06
Ni	0.005	0.40 (max)
Cr	0.012	0.40 (max)
Mo	<0.005	0.15 (max)
V	0.007	0.08 (max)
Fe	98.736	Bal
Cu	0.007	0.40 (max)

Dari hasil yang didapat pada pengujian ini maka dapat disimpulkan bahwa pipa yang digunakan masih dikelompokkan dalam material ASTM A 106 Grade B yang merupakan jenis baja karbon rendah.

Kadar karbon dari material pipa yang dipakai lebih rendah dari standard yang digunakan. kadar karbon pada sampel hanya mengandung 0,187%, Kadar Si dari material pipa yang digunakan lebih besar dari pada standar. Nilai ini menunjukkan bahwa kegetasannya lebih tinggi dibandingkan dengan standard. Untuk kadar Mn yang kecil, akan menurunkan kekuatan dan ketangguhan baja terhadap impact dari logam.

#### 4.8 Data Pengujian Sampel produk korosi dari pipa terpasang

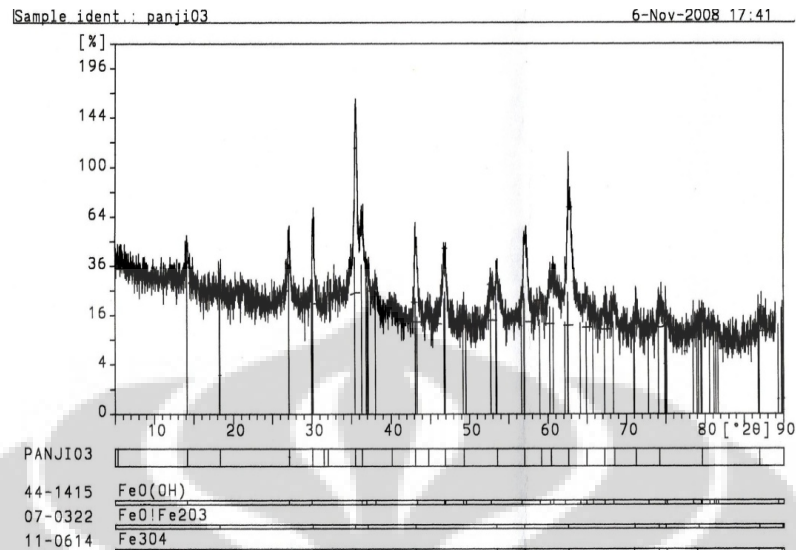
Pengujian produk korosi dilakukan dengan EDX untuk menentukan unsur-unsur yang terkandung dalam produk korosi dan XRD untuk menentukan senyawa yang terbentuk dalam produk korosi.

Gambar 4.8 menunjukkan hasil dari EDX dan gambar 4.9 menunjukkan hasil dari XRD.

Elmt	Spect.	Element	Atomic	
	Type	%	%	
C	K	ED	0.54	1.48
O	K	ED	25.85	53.32
Al	K	ED	0.25	0.31
Si	K	ED	0.37	0.43
S	K	ED	3.00	3.08
Mn	K	ED	1.42	0.86
Fe	K	ED	68.56	40.51
Total			100.00	100.00

Gambar 4.8 Unsur pembentuk produk korosi





Gambar 4.9 Senyawa-senyawa pembentuk produk korosi

Hasil pengujian EDX menunjukkan kandungan besi dan oksigen yang cukup tinggi, dengan sedikit sulfur, silikon dan karbon. Tingginya besi dan oksigen menunjukkan tingginya kadar oksida-oksida besi pada produk korosi tersebut.

Pengujian dengan XRD pada sisa produk korosi menunjukkan adanya senyawa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (Magnetite) dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Hematite), dan senyawa  $\text{FeO}(\text{OH})$  (Ferric OxyHydroxide).

Produk korosi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  akan berupa lapisan berwarna hitam yang terlihat tidak merata, sedangkan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  membentuk lapisan berwarna coklat kekuningan yang hampir menutupi seluruh permukaan dalam pipa.

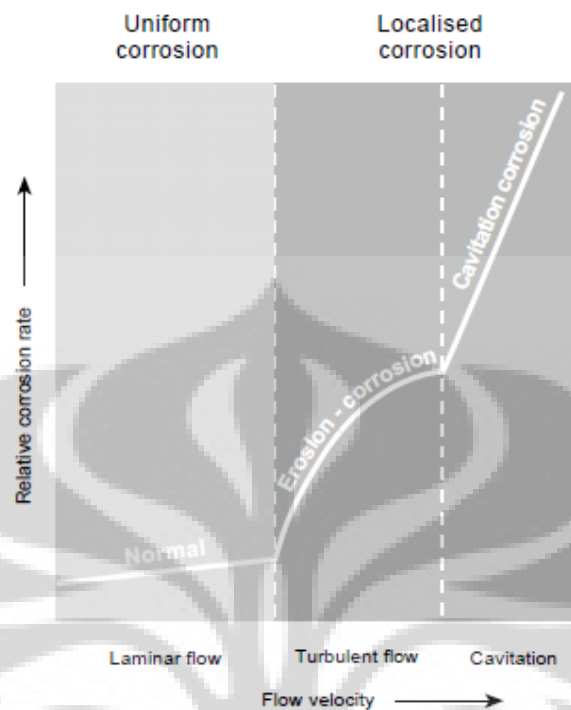
Hasil pengujian EDX menunjukkan komposisi produk korosi yang didominasi oksida-oksida. Seperti yang terlihat, kadar oksigen sangat tinggi.

Produk berbasis oksida ini menunjukkan tingginya kadar oksigen di air. Tingginya kadar oksigen pada air juga dapat menunjukkan tingginya turbulensi yang terjadi di aliran.

Oksigen masuk ke suatu sistem dalam bentuk oksigen terlarut, dan sebagian besar oksigen terlarut ini terjadi di menara pendingin, akibat adanya kontak langsung antara air kondensat dengan udara luar.

Oksigen terlarut ini juga dapat menyebabkan korosi umum, dan kebanyakan korosi ini membentuk sumuran atau lubang. Permukaannya kelihatan kasar dan akan terdapat besi oksida (karat), lubang yang terbentuk kira-kira berdiameter 0.25 inch dan hanya mempengaruhi sedikit dari total luas permukaan. Kecepatan yang berlebih juga akan memperburuk terjadinya peristiwa korosi, kecepatan yang berlebih ini juga akan memindahkan atau menyapu produk korosi yang terbentuk dan akan membentuk produk korosi yang baru. Kecepatan yang berlebih ini juga akan menambah aliran oksigen ke permukaan. Dan menurut literature dalam mendesign sistem perpipaan kecepatan yang di ijinakan sebaiknya tidak melebihi 12 ft/s.

Aliran turbulen yang bersifat lokal juga dapat meningkatkan laju korosi, seperti laju aliran yang terdapat pada elbow atau Tee dimana kecepatan aliran lebih tinggi dari aliran yang terdapat pada pipa lurus. Korosi yang paling buruk juga dapat terjadi jika terjadi gas yang terlarut dalam aliran mengalami flash out dari aliran. Untuk pipa baja karbon rendah ini tidak ada kesempatannya untuk membentuk lapisan proteksi yang berfungsi untuk mencegah terjadinya korosi yang lebih lanjut atau korosi yang lebih parah. Gambar dibawah ini memperlihatkan hubungan antara laju korosi dengan jenis aliran yang terdapat didalam pipa dan memperlihatkan peristiwa yang terjadi didalam pipa tersebut.



Gambar. 4.10. Pengaruh laju aliran terhadap laju korosi

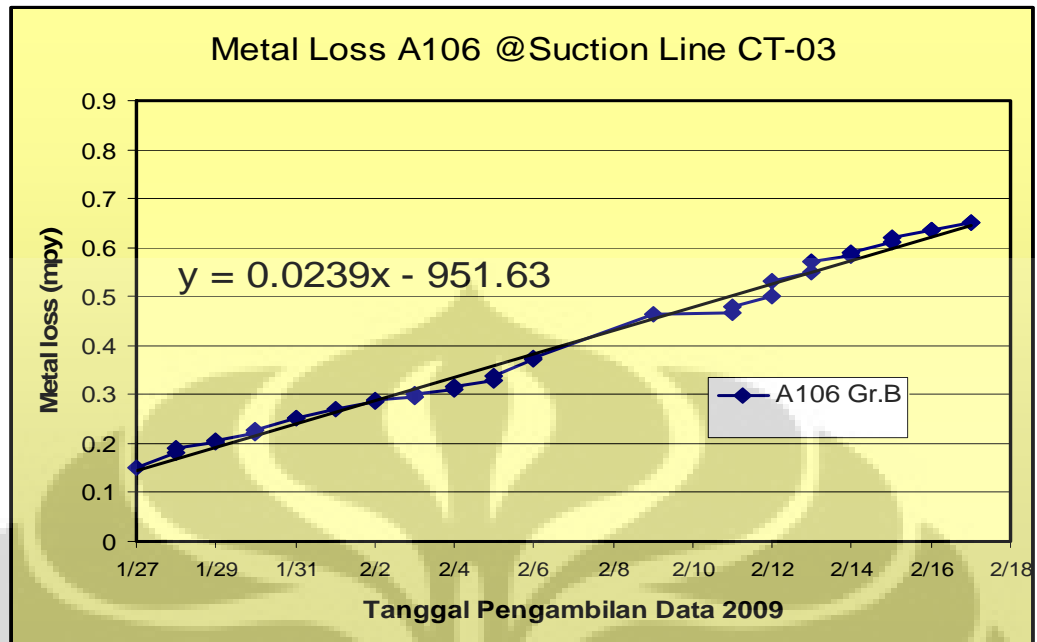
#### 4.9 Data Pengujian Lapangan

Probe yang dipasang menggunakan Electrical resistance probe. Alat ini masing-masing dipasang di line yang berasal dari Cooling Tower 03(ID 001) dan di header line dari keluaran pompa kondensat (ID 002). Jenis material yang digunakan pada kedua line ini adalah ASTM A106 Gr. B. Jenis Electrical resistance Probe yang digunakan adalah Wire Loop dengan Probe life(P) adalah 10. Hasil dari pengambilan data yang dilakukan dari tanggal 27 Januari 2009 sampai dengan tanggal 17 Pebruari 2009 dapat dilihat pada tabel 4.8 untuk ID 001 dan tabel 4.9 untuk ID 002 di bawah ini:

Tabel 4.10 Signal Pengukuran dan Perhitungan Untuk ID 001

No	Tanggal	Waktu	Signal Polarisasi(S)	METAL LOSS(mils)
1	1/27/09	15:00	15	0.15
2	1/28/09	8:30	18	0.18
3	1/28/09	15:30	19.1	0.191
4	1/29/09	8:30	20.2	0.202
5	1/29/09	15:30	20.6	0.206
6	1/30/09	8:50	22.1	0.221
7	1/30/09	14:10	22.7	0.227
8	1/31/09	9:47	25.2	0.252
9	1/31/09	14:13	25.2	0.252
10	2/1/09	9:15	27.1	0.271
11	2/2/09	8:57	28.5	0.285
12	2/2/09	15:21	29	0.29
13	2/3/09	8:55	29.5	0.295
14	2/3/09	14:05	30	0.3
15	2/4/09	8:00	31	0.31
16	2/4/09	15:00	31.5	0.315
17	2/5/09	8:00	33	0.33
18	2/5/09	15:00	33.8	0.338
19	2/6/09	8:00	37.2	0.372
20	2/6/09	15:00	37.5	0.375
21	2/9/09	15:00	46.5	0.465

22	2/11/09	8:00	46.6	0.466
23	2/11/09	15:00	48	0.48
24	2/12/09	8:00	50	0.5
25	2/12/09	15:00	53	0.53
26	2/13/09	8:00	55	0.55
27	2/13/09	15:00	57	0.57
28	2/14/09	8:00	58.5	0.585
29	2/14/09	15:00	59	0.59
30	2/15/09	8:00	61	0.61
31	2/15/09	15:00	62	0.62
32	2/16/09	8:00	63.5	0.635
33	2/16/09	15:00	63.5	0.635
34	2/17/09	8:00	65.2	0.652
35	2/17/09	15:00	65.2	0.652



Gambar 4.11 Grafik metal loss @ suction line(250 Kph)

Untuk perhitungan metal loss menggunakan rumus :

$$M = \frac{S \times P}{1000}$$

Contoh:

$$S = 15$$

$$P = 10$$

Maka, M adalah: 0.15 mils

Dari hasil pembacaan signal tersebut juga dapat dicari laju korosi rata-rata dengan menggunakan rumus:

$$C = \frac{P \times 365 (S_2 - S_1)}{\Delta T \times 1000}$$

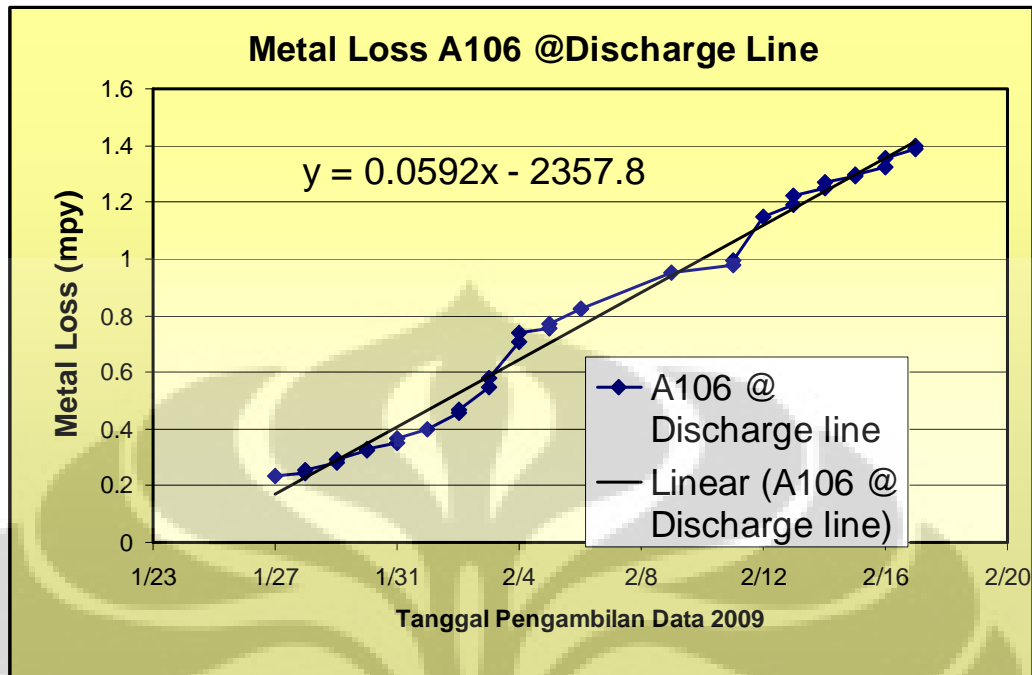
Maka laju korosi rata-rata dari suction pompa yang menggunakan material ASTM 106 Gr.B (ID 001) didapat sebesar: **8,96 mpy.**

Tabel 4.11 Signal Pengukuran dan Perhitungan Untuk ID 002

No	Tanggal	Waktu	Pembacaan	METAL LOSS(mils)
1	1/27/09	15:00	23.4	0.234
2	1/28/09	8:30	24.5	0.245
3	1/28/09	15:30	25.5	0.255
4	1/29/09	8:30	28	0.28
5	1/29/09	15:30	29	0.29
6	1/30/09	8:47	32.4	0.324
7	1/30/09	14:08	33	0.33
8	1/31/09	9:43	35	0.35
9	1/31/09	14:17	36.5	0.365
10	2/1/09	9:10	39.7	0.397
11	2/2/09	8:53	45.6	0.456
12	2/2/09	15:17	47	0.47
13	2/3/09	8:55	55	0.55
14	2/3/09	14:05	58	0.58
15	2/4/09	8:00	70.5	0.705
16	2/4/09	15:00	74	0.74

17	2/5/09	8:00	75.5	0.755
18	2/5/09	15:00	77	0.77
19	2/6/09	8:00	82.2	0.822
20	2/6/09	15:00	82.5	0.825
21	2/9/09	15:00	95	0.95
22	2/11/09	8:00	98	0.98
23	2/11/09	15:00	99.5	0.995
24	2/12/09	15:00	115	1.15
25	2/13/09	8:00	119	1.19
26	2/13/09	15:00	122	1.22
27	2/14/09	8:00	125	1.25
28	2/14/09	15:00	127	1.27
29	2/15/09	8:00	129	1.29
30	2/15/09	15:00	129.5	1.295
31	2/16/09	8:00	132.5	1.325
32	2/16/09	15:00	135.4	1.354
33	2/17/09	8:00	138.8	1.388
34	2/17/09	15:00	140	1.4





Gambar 4.12 Grafik metal loss @ suction line(750 Kph)

Laju korosi rata-rata dari keluaran pompa (discharge header line) yang menggunakan material ASTM 106 Gr.B (ID 002) didapat sebesar: **23, 45 mpy**.

Dari kedua hasil laju korosi diatas dapat terlihat jelas, bahwa besarnya laju aliran atau kecepatan aliran sangat berpengaruh sekali terhadap laju korosi yang didapat.

Dilihat dari sisi kebutuhan standar untuk pipa-pipa yang di ijinakan beroperasi maka umur pakai untuk pipa adalah: tebal pipa minimum yang di ijinakan dibagi dengan laju korosinya, maka didapat untuk:

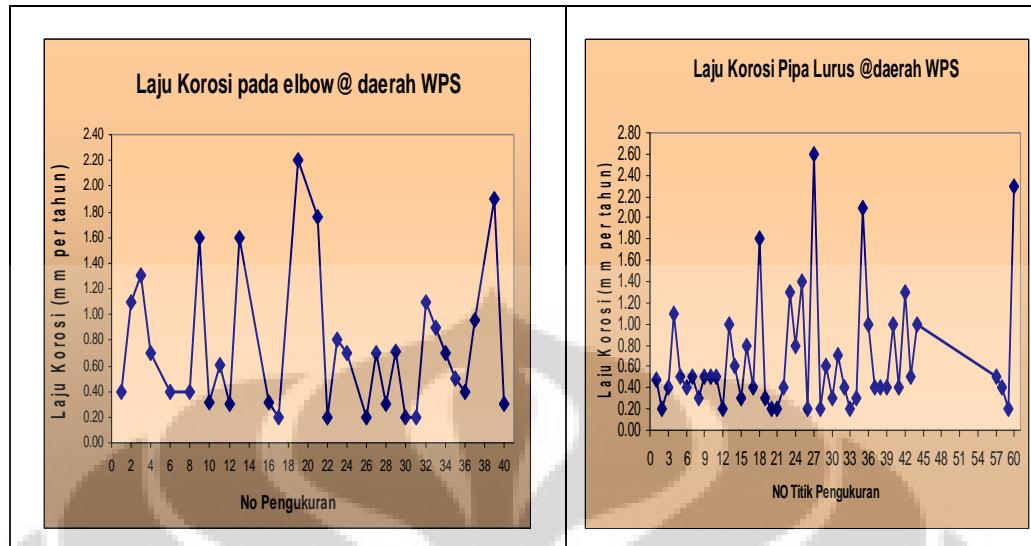
- Pipa dari sisi masuk system pemompaannya adalah : 3,3 mm/0,228 mmy<sup>-1</sup> : 14, 5 tahun atau kurang lebih 15 tahun. dan dengan asumsi tidak terjadi korosi yang disebabkan lingkungan luar, maka pipa-pipa di sisi masuk pompa(ukuran 6") akan mengalami kegagalan bocor setelah 30 tahun.

- Pipa setelah keluar dari pompa adalah:  $3,3 \text{ mm}/0,596 \text{ mmy}^{-1}$  : 6 tahun. Dan dengan asumsi tidak terjadi korosi yang disebabkan lingkungan luar, maka pipa-pipa disisi keluaran pompa(ukuran 6") akan mengalami kebocoran setelah 11 tahun.

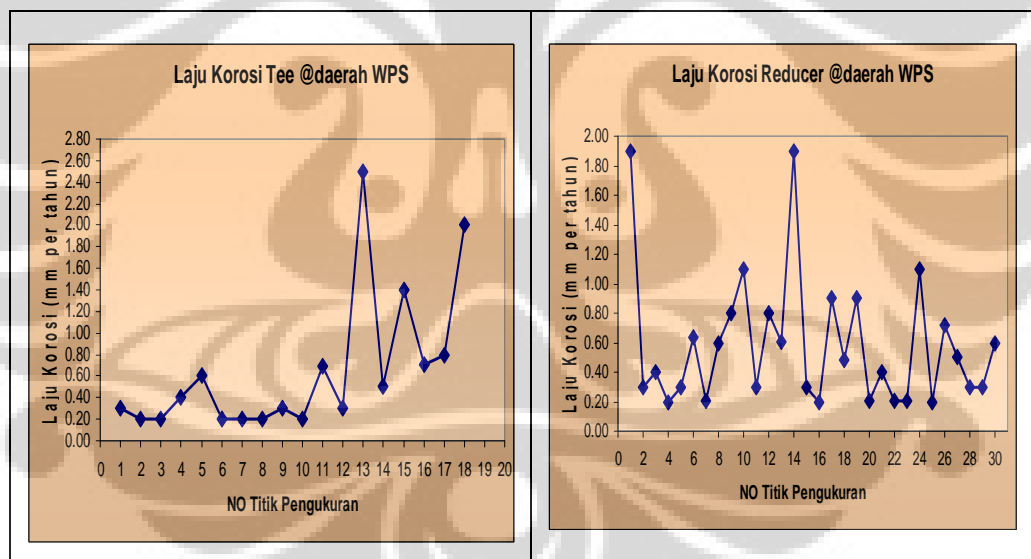
#### 4.10 Pengukuran ketebalan pipa dengan Ultrasonic Thickness Gauge(UTG)

Pengukuran ketebalan pipa yang dilakukan adalah merupakan program inspeksi yang dilakukan secara rutin dan menggunakan alat ukur ketebalan portabel yang dikenal sebagai Ultrasonic Thickness Gauge(UTG) dan dilengkapi dengan sensor jenis high temperature probe. Data yang di analisis untuk ketebalan pipa ini adalah data yang diambil untuk tahun 2008 dan 2009 yang dapat dilihat pada lampiran 25

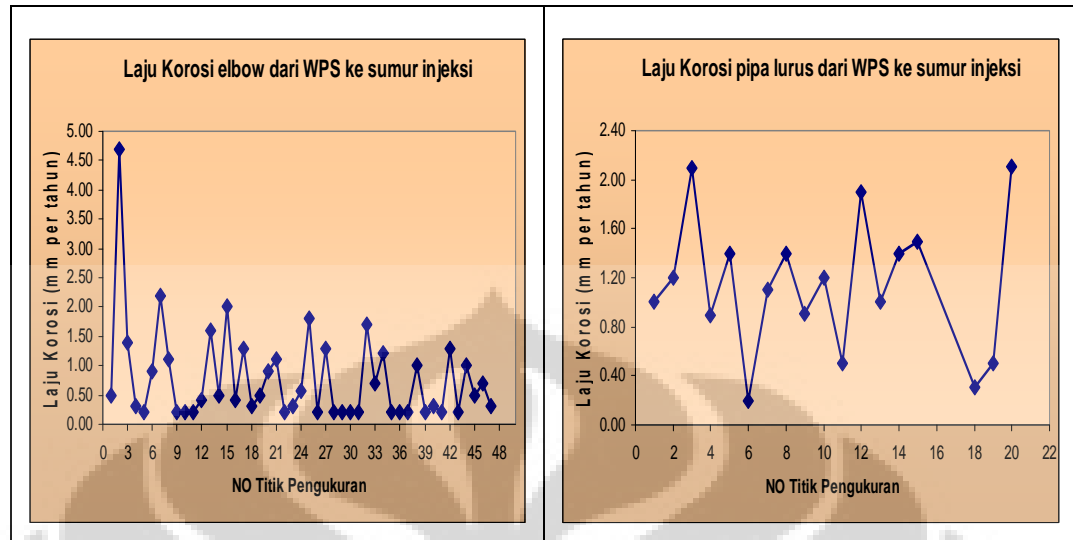
Dari data ini dapat dihitung laju korosi dan sisa umur pakai berdasarkan ketebalan minimum dari pipa yang diijinkan. Gambar-gambar berikut adalah grafik kecendrungan laju korosi pada pipa lurus, elbow, tee, reducer yang terdapat pada daerah pompa kondensat, pipa yang menuju sumur injeksi dan daerah sumur injeksi. Data yang dibuat grafiknya adalah data yang ketebalan pipanya sudah dibawah batas ketebalan yang di ijinkan dan yang umur pakainya tinggal 1 tahun lagi berdasarkan perhitungan seperti yang ditunjukkan pada lampiran.



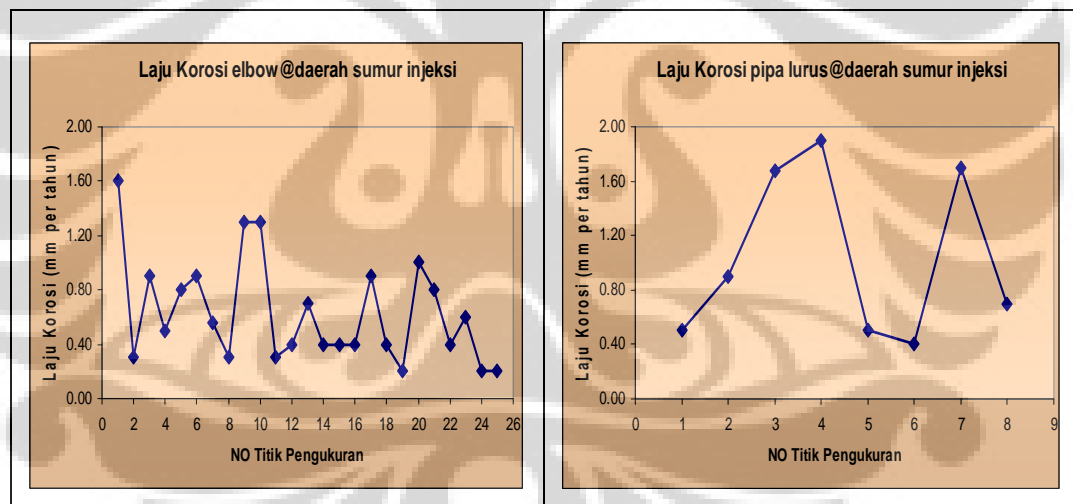
Gambar 4.13 Laju Korosi pada elbow dan Pipa lurus di daerah daerah pompa(WPS)



Gambar 4.14 Laju Korosi pada Tee dan Reducer di daerah daerah pompa(WPS)



Gambar 4.15 Laju Korosi pada elbow dan pipa lurus di cross country



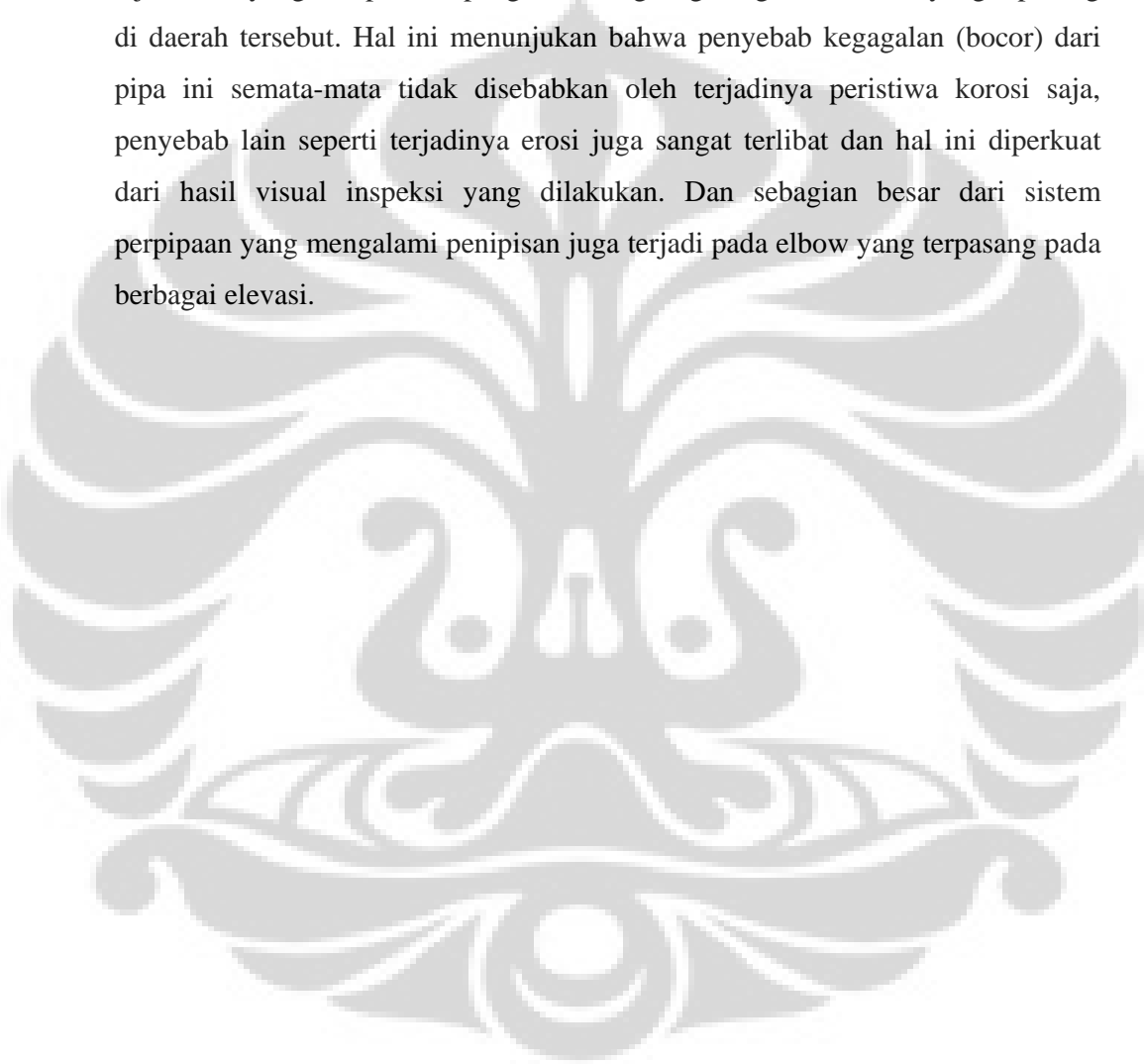
Gambar 4.16 Laju Korosi elbow dan pipa lurus di daerah sumur injeksi.

Dari grafik-grafik diatas maka didapat laju korosi rata-rata yang terjadi pada elbow ,pipa lurus, tee dan reducer rata-rata:

- Berkisar antara 21,6 mpy – 29,5 mpy di daerah pompa injeksi kondensat.

- Berkisar antara 17,7 mpy – 44,9 mpy di daerah pipa dari pompa injeksi menuju sumur injeksi (Cross country piping)
- Berkisar antara 23,2 mpy – 41,9 mpy di daerah sumur injeksi.

Nilai laju korosi rata-rata di daerah pompa injeksi berbeda dengan nilai laju korosi yang didapat dari pengukuran langsung dengan ER Probe yang dipasang di daerah tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa penyebab kegagalan (bocor) dari pipa ini semata-mata tidak disebabkan oleh terjadinya peristiwa korosi saja, penyebab lain seperti terjadinya erosi juga sangat terlibat dan hal ini diperkuat dari hasil visual inspeksi yang dilakukan. Dan sebagian besar dari sistem perpipaan yang mengalami penipisan juga terjadi pada elbow yang terpasang pada berbagai elevasi.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **Kesimpulan**

Tingkat ketahanan dari material yang dipakai pada “*Condensate Injetion System*” yang di uji dengan menggunakan air kondensat dari salah satu pembangkit panas bumi yang sifatnya dapat dikatagorikan sebagai air yang bersifat sangat korosif menunjukkan bahwa material 316 SS dan 15% Cr sangat bagus sekali untuk digunakan, hal ini ditunjukkan oleh adanya lapisan pasif yang terbentuk hingga mempunyai tegangan sekitar 1100 mV Vs SCE(standard calomel electrode), Sementara untuk material A106 Gr.B dan material J55 kurang cukup baik dipakai di lingkungan ini.

Dari hasil semua pengujian dan analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa peristiwa penyebab seringnya terjadi kegagalan atau kebocoran di sistem perpipaan kondensat tersebut adalah akibat terjadinya peristiwa korosi dan erosi. Peristiwa korosi ini dapat dijelaskan dari hasil analisis sampel korosi yang menunjukan bahwa senyawa-senyawa yang terbentuk adalah  $Fe_3O_4$  (Magnetite) dan  $Fe_2O_3$  (Hematite), dan senyawa  $FeO(OH)$  (Ferric OxyHydroxide). Untuk senyawa  $CO_2$  dan  $H_2S$  yang biasanya terdapat di lingkungan panas bumi tidak terdeteksi di dalam pengujian ini, dan hal ini dapat kita katakan bahwa komponen terbesar yang menyebabkan terjadinya korosi adalah oksigen terlarut. Untuk jejak erosi dapat terlihat dengan terbentuknya alur-alur pada bagian dalam pipa.

Dengan mengetahui ketahanan material yang sesuai dan proses korosi atau perilaku perilaku korosi yang terjadi dilingkungan kondensat ini, maka perusahaan dapat mengambil tindakan-tindakan perbaikan secara optimum sesuai dengan kebijakan perusahaan yang berlaku saat ini.

**DAFTAR ACUAN**

- [1] Unocal Geothermal of Indonesia (UGI), System Description, 2005.
- [2] The Operational Excellence Management System (OEMS) Leadership Roles.ppt
- [3] Fontana, Mars G., Corrosion Engineering, 3rd Ed., McGraw-Hill Book Company, New York: 1982
- [4] Denny A. Jones, Principles and Prevention of Corrosion ; Macmillan Publishing Company, New York, 1992
- [5] Pierre Roberge, Corrosion Inspection and Monitoring (USA: WILEY-INTERSCIENCE A John Wiley & Sons, Inc., Publication 2007)
- [6] Charles C Patton, Applied Water Technology, (Oklahoma: Campbell Petroleum Series, 1986)
- [7] A. Morshed, M.B Kermani, "Carbon Dioxide Corrosion in Oil and Gas Production – A Compendium". Corrosion Journal, Vol 59 No 8 (2003), NACE
- [8] Pierre Roberge, Corrosion Inspection and Monitoring (United State of America: WILEY-INTERSCIENCE A John Wiley & Sons, Inc., Publication, 2007) hal. 7.
- [9] ASM Handbook, Metals Handbook Volume 13B: Corrosion: Materials (ASM International, 2005)
- [10] Training modul Korosi, CGS 2007
- [11] D.H. Lister & W.G. Cook, REACTOR CHEMISTRY AND CORROSION Section 3: The Eight Forms of Corrosion
- [12] Chevron USA Inc , Fundamentals of Corrosion Mechanisms(1996–2006).

- [13] D.H. Lister & W.G. Cook, REACTOR CHEMISTRY AND CORROSION  
Section 5: Crevice Corrosion
- [14] Einar Baldar, Corrosion and Protection (London: Springer – Verlag Limited  
2004) hal 140
- [15] Einar Baldar, Corrosion and Protection (London: Springer – Verlag Limited  
2004) hal 145
- [16] Peter F. Ellis II, Companion study guide to short course on geothermal  
corrosion and mitigation in low temperature geothermal heating system, 24  
April 1985
- [17] <http://geoheat.oit.edu/otl/scaleghp.pdf>
- [18] <http://Corrosion.kaist.ac.kr>
- [19] Corrosion in steam condensate system, 704 Chevron
- [20] PMI presentation.ppt from TAWADA
- [21] ASTM G 1 Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion
- [22] ASTM G 5 Reference Test Method for Making Potentiostatic and  
Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements
- [23] ASTM G102-89 Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and  
Related Information from Electrochemical Measurement.
- [24] Corrosion control check list , NPL(national physical laboratory)



## LAMPIRAN

## Lampiran 1. Hasil analisis air kondensat

WATER ANALYSIS REPORT					
To : PT. JCT			Date : October 07, 2008		
			Ref. No : W-002/LAB/10/08		
Kind of sample	D5	CT. 01	CT. 02	CT. 03	
Sampling point					
Sampling date	September 26, 2008				
Sampling time					
1	Color (Pt-Co-degree)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	Turbidity	< 1	< 1	< 1	< 1
3	pH (at 25°C)	6.3	6.5	6.2	6.3
4	Electrical conductivity ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	262	241	252	297
5	P-Alkalinity (as $\text{CaCO}_3$ )	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	M-Alkalinity (as $\text{CaCO}_3$ )	23	24	18	21
7	Total Hardness (as $\text{CaCO}_3$ )	< 1	8	4	< 1
8	Calcium Hardness (as $\text{CaCO}_3$ )	< 1	5	3	< 1
9	Chloride ion (as Cl)	< 2	< 2	< 2	< 2
10	Sulfate ion (as $\text{SO}_4^{2-}$ )	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
11	Soluble Silica (as $\text{SiO}_2$ )	1.65	1.50	0.67	0.15
12	Phosphate ion (as $\text{PO}_4^{3-}$ )	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
13	Total Phosphate (as $\text{PO}_4^{3-}$ )	n.a.	< 0.1	< 0.1	< 0.1
14	Total iron (as Fe)	0.14	0.06	0.07	0.13
15	Hydrazine (as $\text{N}_2\text{H}_4$ )	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
16	Nitrite ion (as $\text{NO}_2$ )	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
17					
18					
19					
20					
Comment :					(Unit : mg/l)

## Lampiran 2. Kalkulator untuk menghitung Indeks korosifitas

**Table 1: Input table**

pH	<input type="text"/>	*	
Conductivity in TDS	<input type="text"/>	*	mg/L <input type="button" value="v"/>
[Ca <sup>2+</sup> ]	<input type="text"/>	*	mg/L <input type="button" value="v"/>
[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]	<input type="text"/>	*	mg/L <input type="button" value="v"/>
Water temperature	<input type="text"/>	*	degree C <input type="button" value="v"/>

**Table 3: Results Langelier Saturation Index**

pH <sub>s</sub>	<input type="text"/>
LSI	<input type="text"/>
Indication based on Langelier (1936)	<input type="text"/>
Indication based on improved Langelier by Carrier (1965)	<input type="text"/>

Give the values of your water analysis. You have to fill all the boxes with \*.

**Table 1: Input table**

pH	<input type="text"/>	*	
Conductivity in TDS	<input type="text"/>	*	mg/l <input type="button" value="v"/>
[Ca <sup>2+</sup> ]	<input type="text"/>	*	mg/L <input type="button" value="v"/>
[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]	<input type="text"/>	*	mg/l <input type="button" value="v"/>
Water temperature	<input type="text"/>	*	degree C <input type="button" value="v"/>

**Table 3: Results Ryznar Stability Index**

pH <sub>s</sub>	<input type="text"/>
RI	<input type="text"/>
Indication base on Ryznar (1942)	<input type="text"/>
Indication based on improved Ryznar index by Carrier 1965	<input type="text"/>

**Table 2 : Additional data**

pH =	7.7	8	8.6	
TDS =	20	34483	273	mg/l
[Ca <sup>2+</sup> ] =	5	400	49	mg/l
[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] =	10	140	121	mg/l
T =	20	20	20	degree C
	<input type="button" value="Example"/>	<input type="button" value="Seawater"/>	<input type="button" value="Tap water"/>	

The Langelier Saturation Index formula is

$$LSI = pH - pH_s$$

For an explanation of the formula click [here](#).

If you do not have a water analysis you can use the values in table 2. Click on a button at the bottom of table 2

**Table 2: Additional data**

pH =	7.7	8	8.6	
TDS =	20	34483	273	mg/l
[Ca <sup>2+</sup> ] =	5	400	49	mg/l
[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] =	10	140	121	mg/l
T =	20	20	20	degree C
	<input type="button" value="Example"/>	<input type="button" value="Seawater"/>	<input type="button" value="Tap water"/>	

The Ryznar Stability Index formula is:

$$RI = 2 \cdot pH_s - pH$$

For an explanation of the formula click [here](#).

### Lampiran 3. Data uji komposisi material

#### COMPOSITION TEST REPORT

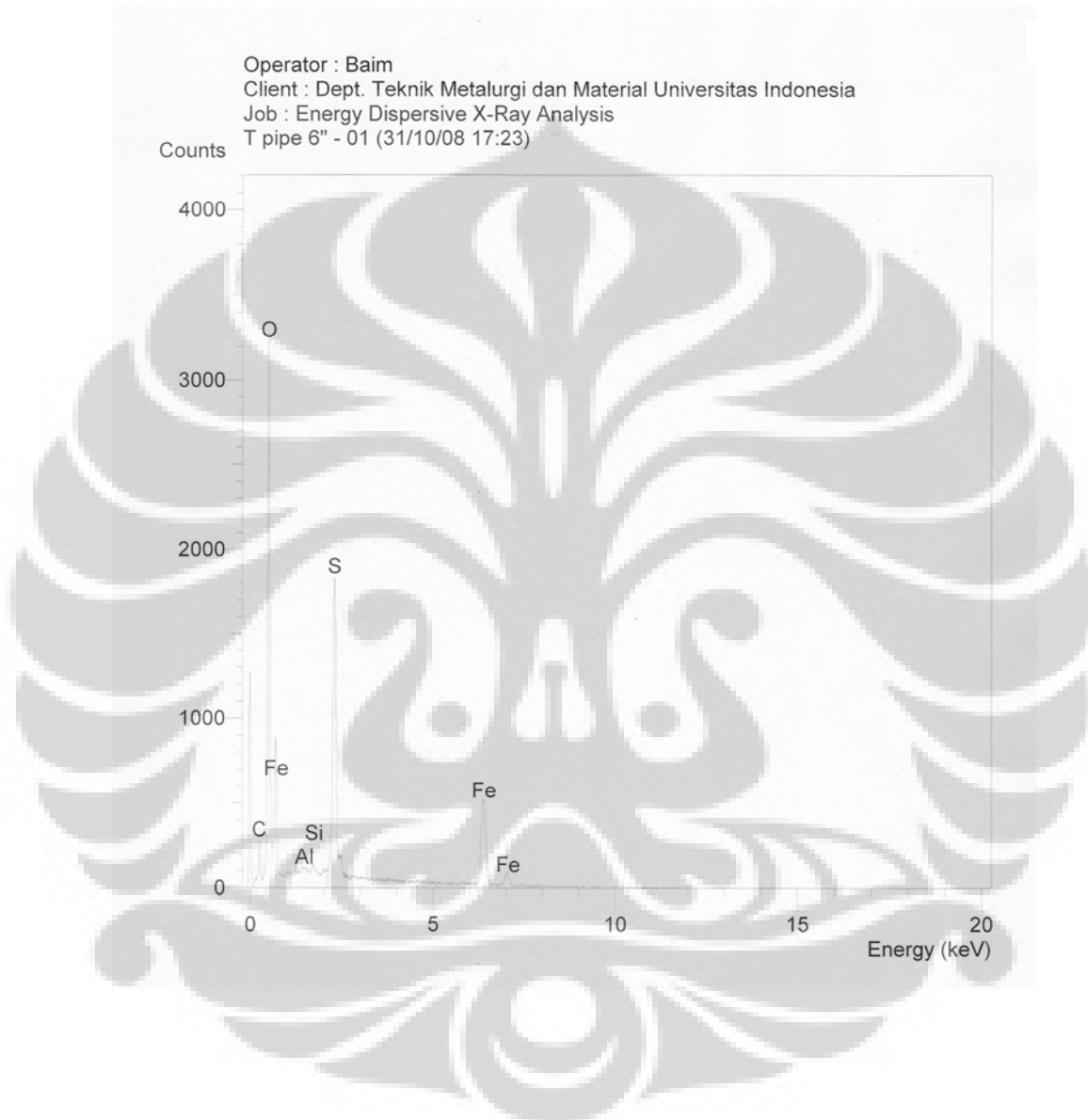
Hal 1 dari 1

<b>No Laporan</b>	1000	<b>Bahan</b>	Baja
<i>Report Nr</i>		<i>Material</i>	
<b>Pemakai Jasa</b>	Wirda Safitri	<b>Identitas Bahan</b>	Tee
<i>Customer</i>		<i>Material Identity</i>	
<b>Alamat</b>	-	<b>Tanggal Terima</b>	4 November 2008
<i>Address</i>		<i>Receiving Date</i>	
<b>No Kontrak</b>	1000/PT.02/FT04/P/2008	<b>Standar</b>	ASTM A751
<i>Contract Nr.</i>		<i>Standard</i>	
<b>Tanggal Uji</b>	5 November 2008	<b>Mesin Uji</b>	Optical Emission Spectrometer
<i>Date of Test</i>		<i>Testing machine</i>	

<b>Kode Sampel</b> <i>Sample Code</i>	<b>C</b> (%)	<b>Si</b> (%)	<b>S</b> (%)	<b>P</b> (%)	<b>Mn</b> (%)	<b>Ni</b> (%)	<b>Cr</b> (%)
Tee	0.187	0.225	0.013	0.031	0.509	<0.005	0.012
	<b>Mo</b> (%)	<b>Ti</b> (%)	<b>Cu</b> (%)	<b>Nb</b> (%)	<b>V</b> (%)	<b>Al</b> (%)	<b>Fe</b> (%)
	<0.005	0.006	0.007	<0.002	0.007	<0.001	98.736

Depok, 6 November 2008  
**LABORATORIUM UJI MATERIAL**  
 Manajer Teknis,

(Ahmad Ivan Karayan, ST, M.Eng)

**Lampiran 4. Hasil Uji EDX**

SEMQuant results. Listed at 17:25:33 on 31/10/08  
 Operator: Baim  
 Client: Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: T pipe 6" - 01

System resolution = 61 eV

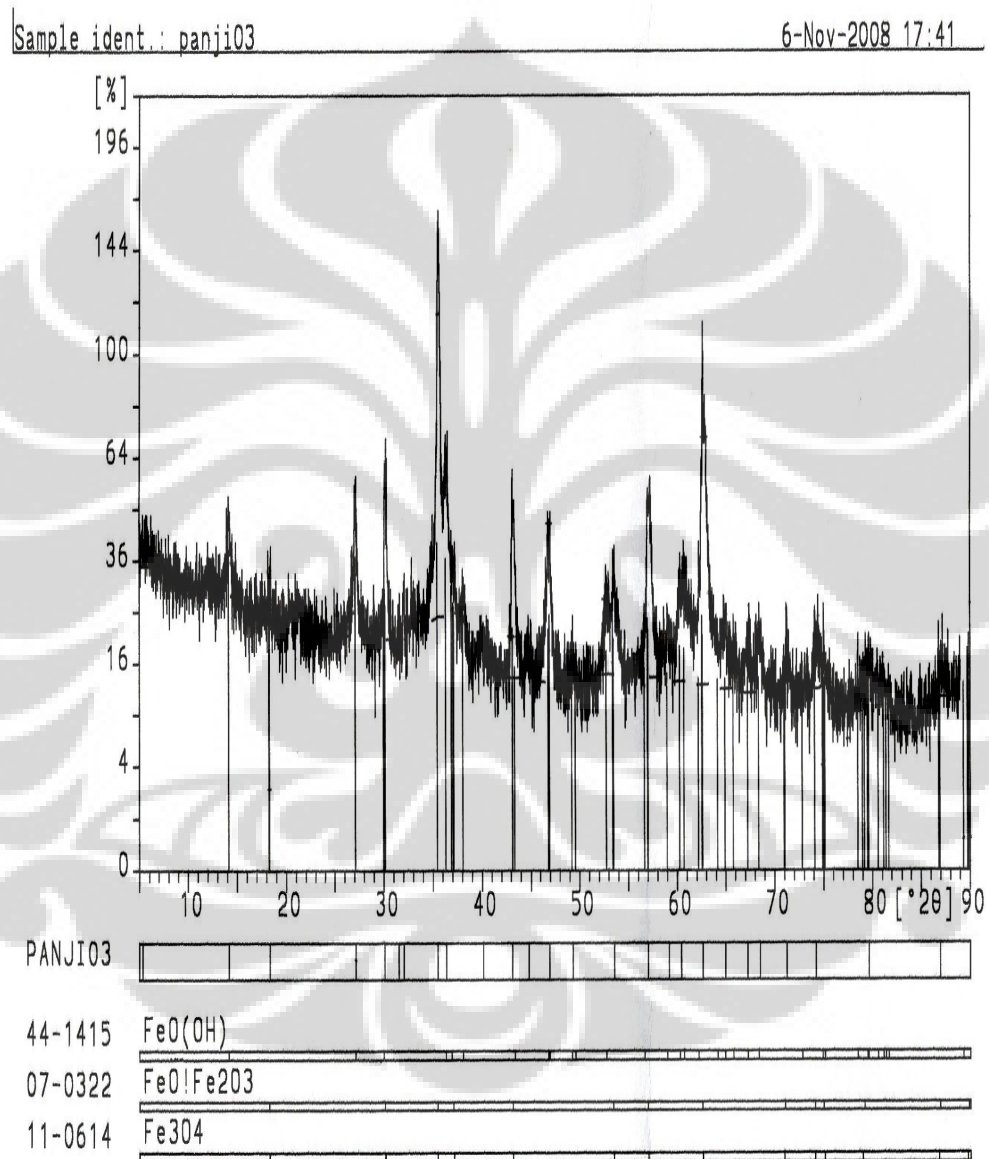
Quantitative method: ZAF ( 3 iterations).  
 Analysed all elements and normalised results.

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06  
 O K AL2O3 22/03/06  
 Al K CeAl2 03/03/07  
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06  
 S K FeS2 22/03/06  
 Fe K FeS2 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	0.90	2.18
O K	ED	29.78	54.33
Al K	ED	0.20	0.22
Si K	ED	0.21	0.22
S K	ED	18.17	16.54
Fe K	ED	50.74	26.52
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma

**Lampiran 5. Hasil Uji XRD**

: PANJI03.DI 6-Nov-2008 15:08  
 =====  
 Philips Analytical X-Ray B.V. Department of Metallurgy UI

Sample identification: panji03  
 Data measured at: 6-Nov-2008 13:58:00

Diffractometer type: PW1710 BASED  
 Tube anode: Cu  
 Generator tension [kV]: 40  
 Generator current [mA]: 30  
 Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54056  
 Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439  
 Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500  
 Divergence slit: AUTOMATIC  
 Irradiated length [mm]: 12  
 Receiving slit: 0.2  
 Monochromator used: YES

Start angle [°2θ]: 5.000  
 End angle [°2θ]: 89.000  
 Step size [°2θ]: 0.020  
 Maximum intensity: 179.5600  
 Time per step [s]: 1.000  
 Type of scan: CONTINUOUS  
 Intensities converted to: FIXED

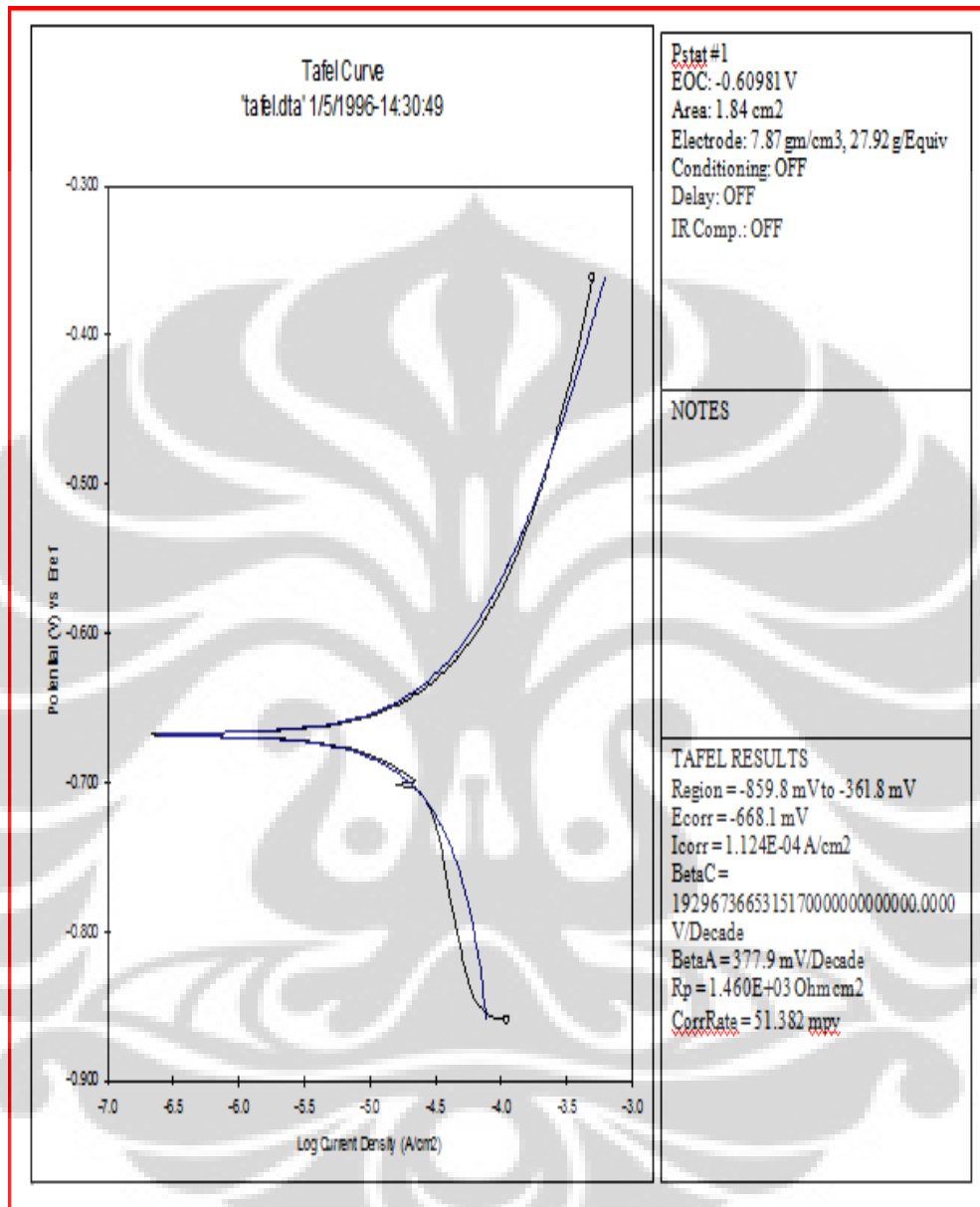
Minimum peak tip width: 0.00  
 Maximum peak tip width: 1.00  
 Peak base width: 2.00  
 Minimum significance: 0.75  
 Number of peaks: 26

Angle [°2θ]	d-value a1 [Å]	d-value a2 [Å]	Peak width [°2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
5.350	16.5046	16.5456	0.800	42	335	23.5	1.12
14.155	6.2517	6.2672	0.320	66	102	36.5	1.17
18.310	4.8413	4.8533	0.240	14	69	8.0	0.83
27.100	3.2877	3.2958	0.120	66	40	36.5	0.80
30.095	2.9670	2.9743	0.060	69	35	38.4	0.85
31.530	2.8351	2.8422	0.240	2	34	0.9	0.93
32.040	2.7911	2.7981	0.160	10	34	5.7	0.75
35.485	2.5277	2.5340	0.100	180	36	100.0	1.53
36.365	2.4685	2.4746	0.320	55	35	30.5	1.64
40.150	2.2441	2.2497	0.960	4	20	2.5	0.88
43.100	2.0971	2.1023	0.160	42	17	23.5	1.00
44.790	2.0218	2.0268	0.480	6	17	3.2	1.13
46.900	1.9356	1.9404	0.400	31	14	17.5	3.01
49.325	1.8460	1.8506	0.480	6	13	3.2	1.49
53.550	1.7099	1.7141	0.240	19	14	10.8	1.39
57.005	1.6142	1.6182	0.120	35	13	19.4	0.76
59.160	1.5604	1.5643	0.480	7	13	3.8	0.76
60.425	1.5307	1.5345	0.960	15	12	8.5	3.21
62.625	1.4821	1.4858	0.060	85	11	47.1	0.80
64.935	1.4349	1.4385	0.480	8	10	4.7	1.31
67.215	1.3917	1.3951	0.320	6	10	3.2	1.75
68.510	1.3685	1.3719	0.480	7	10	4.1	3.10

File: PANJI03.DI 6-Nov-2008 15:08  
 =====  
 Philips Analytical X-Ray B.V. Department of Metallurgy UI

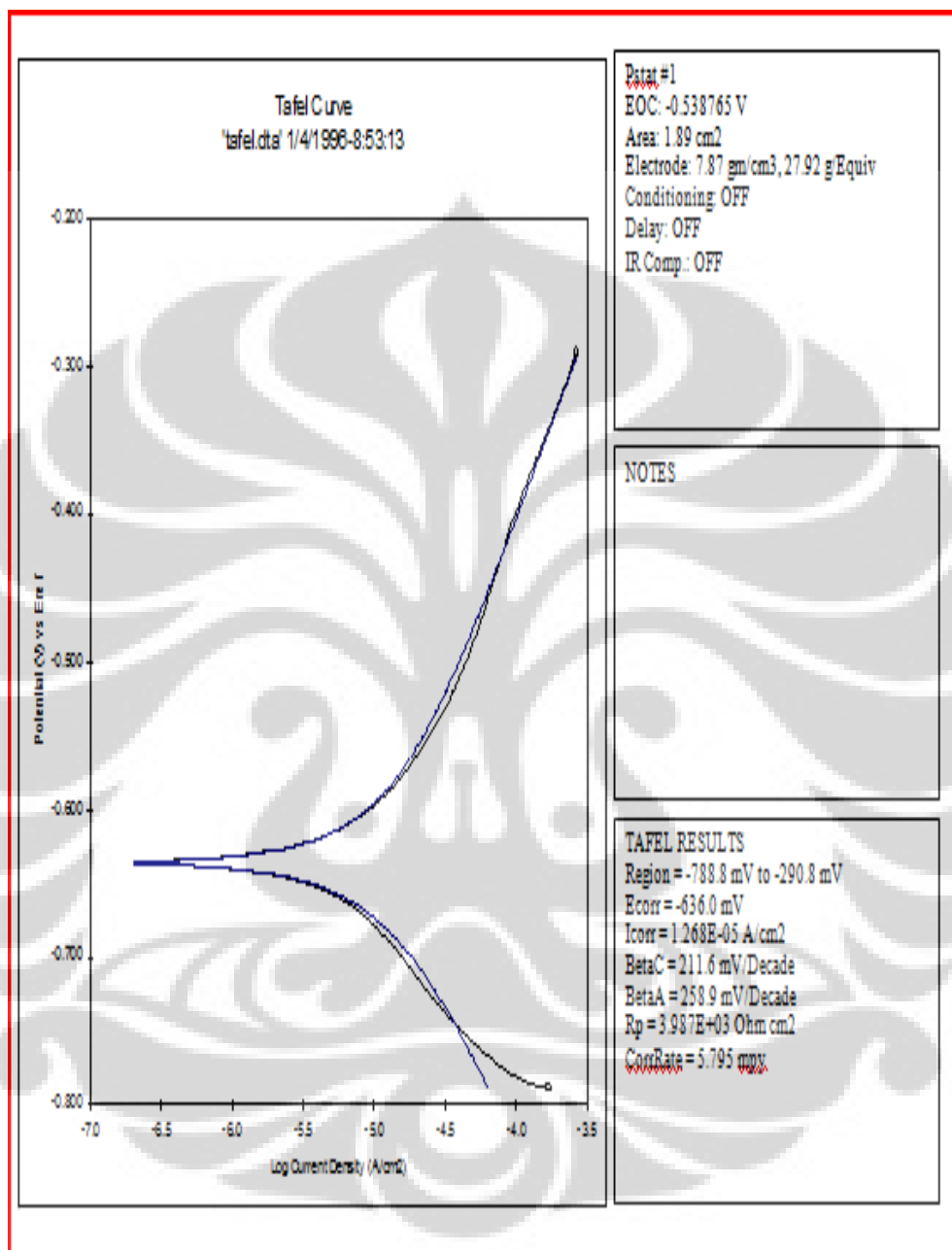
Angle [°2θ]	d-value a1 [Å]	d-value a2 [Å]	Peak width [°2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
71.245	1.3225	1.3258	0.640	3	9	1.8	1.25
74.205	1.2769	1.2801	0.480	5	9	2.9	0.75
79.660	1.2026	1.2056	0.640	3	8	1.8	0.94
86.965	1.1194	1.1222	0.800	4	7	2.0	1.39

### Lampiran 6. Hasil uji polarisasi A106 @ pH5

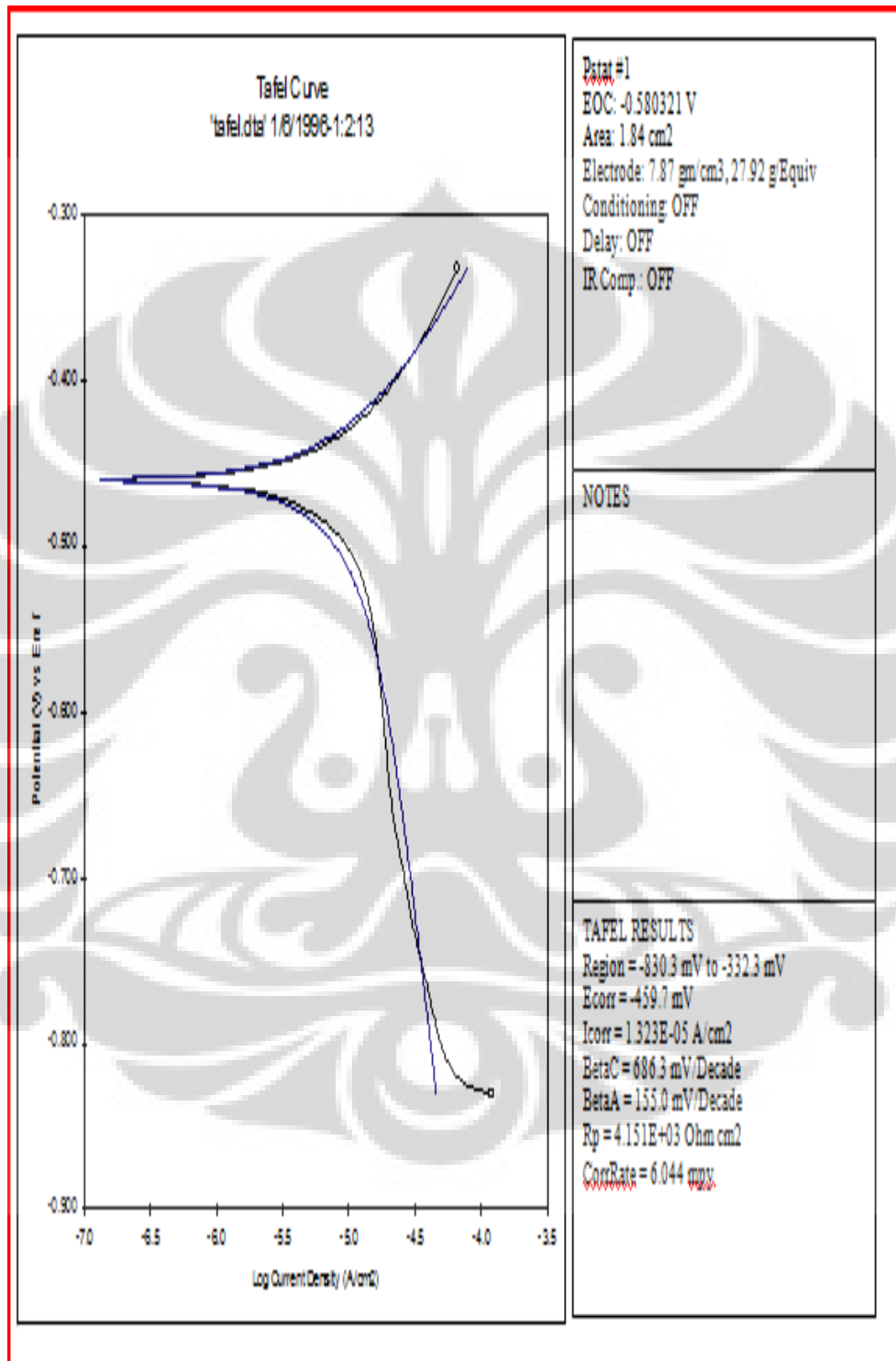




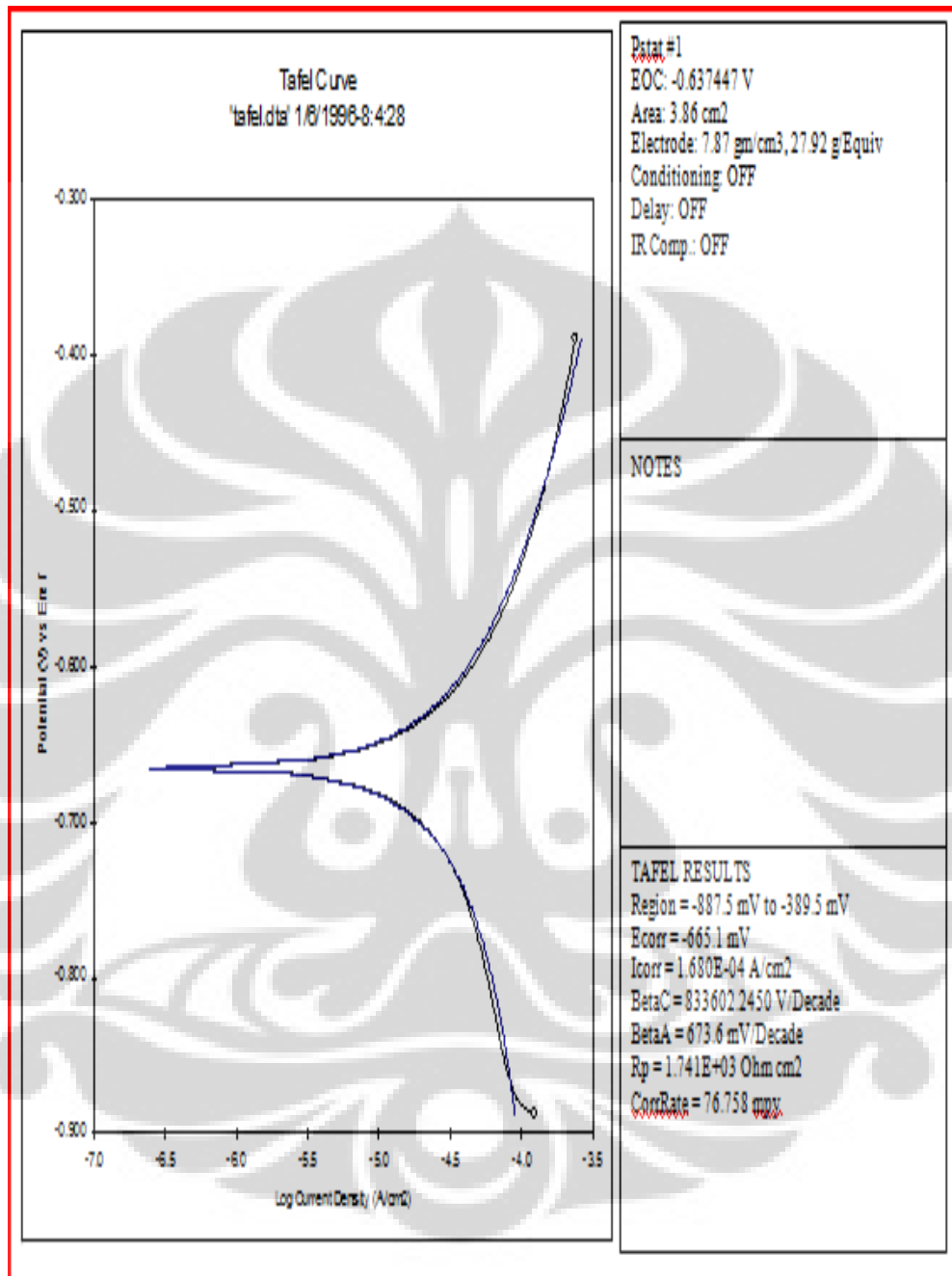
### Lampiran 7. Hasil uji polarisasi A106 @ pH 6,3



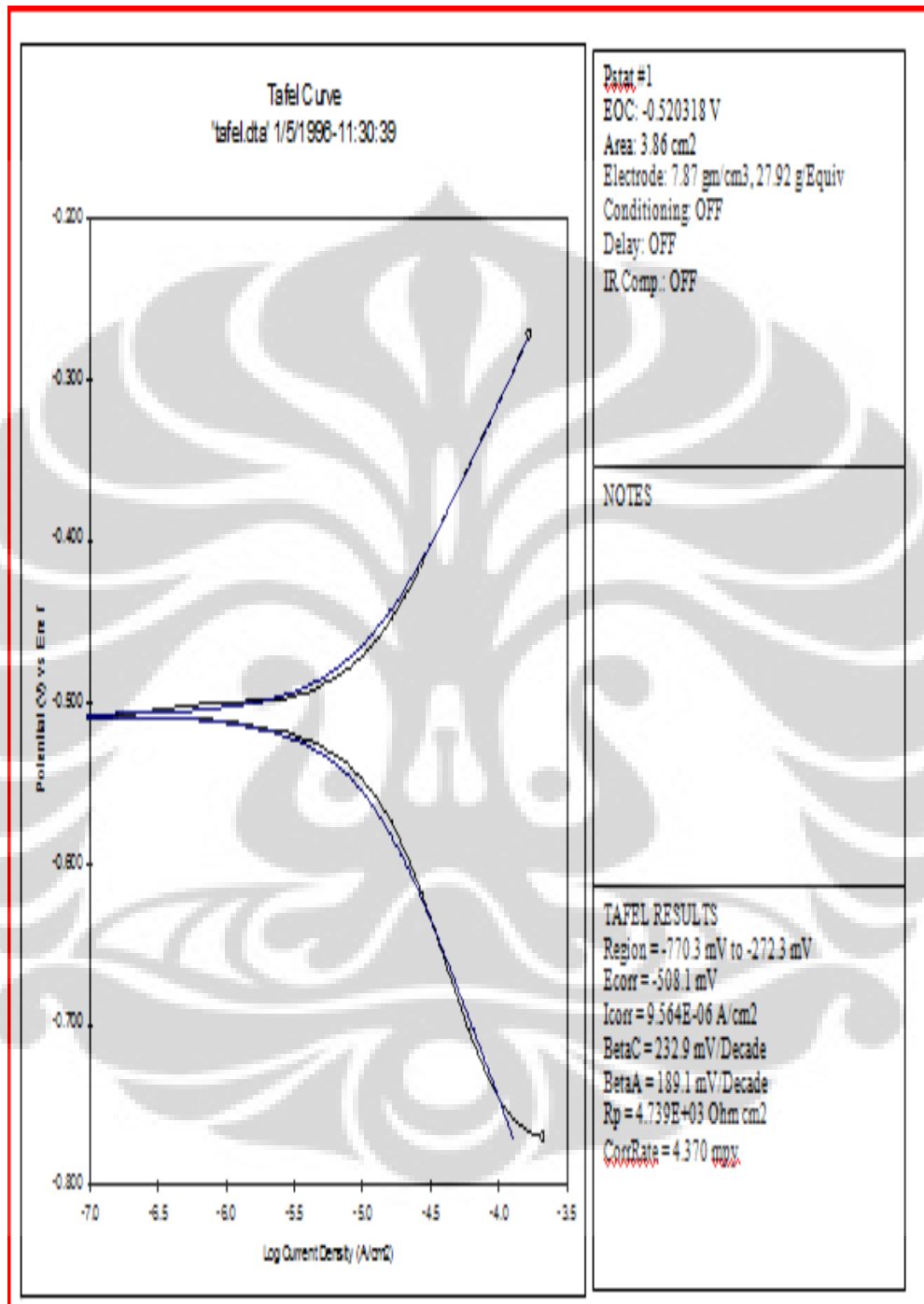
## Lampiran 8. Hasil uji polarisasi A106 @pH9



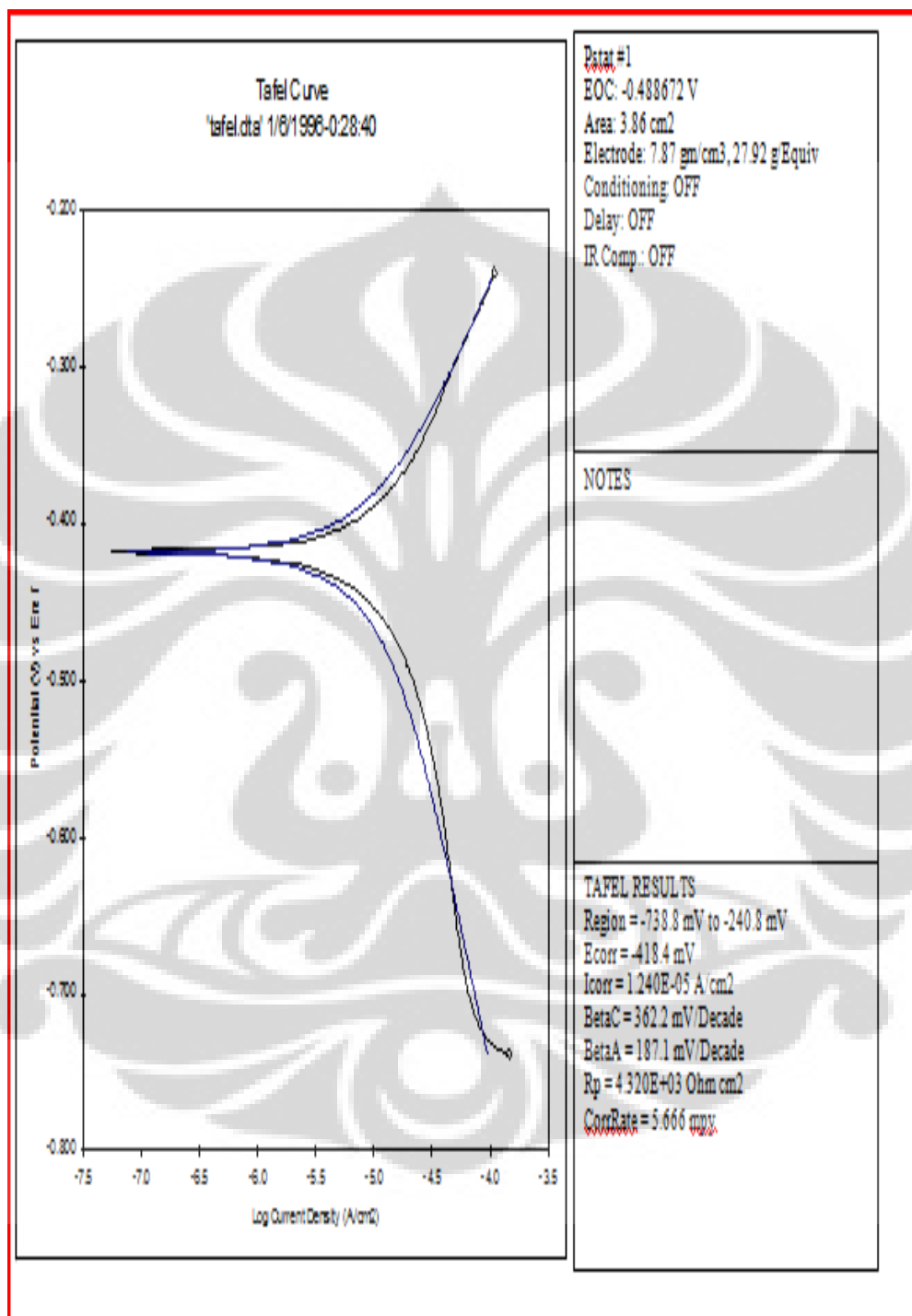
## Lampiran 9. Hasil uji polarisasi J55@pH 5



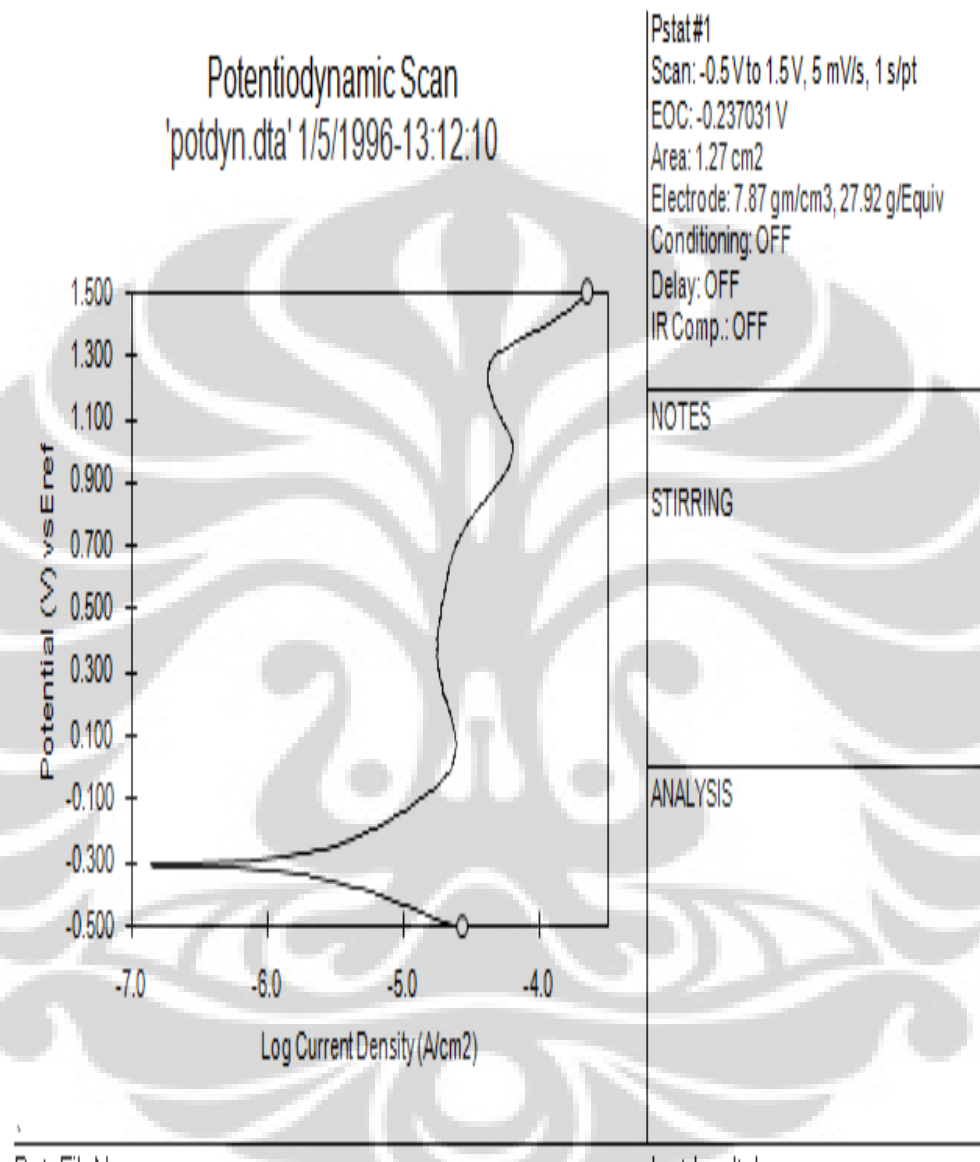
Lampiran 10. Hasil uji polarisasi J55@pH6,3



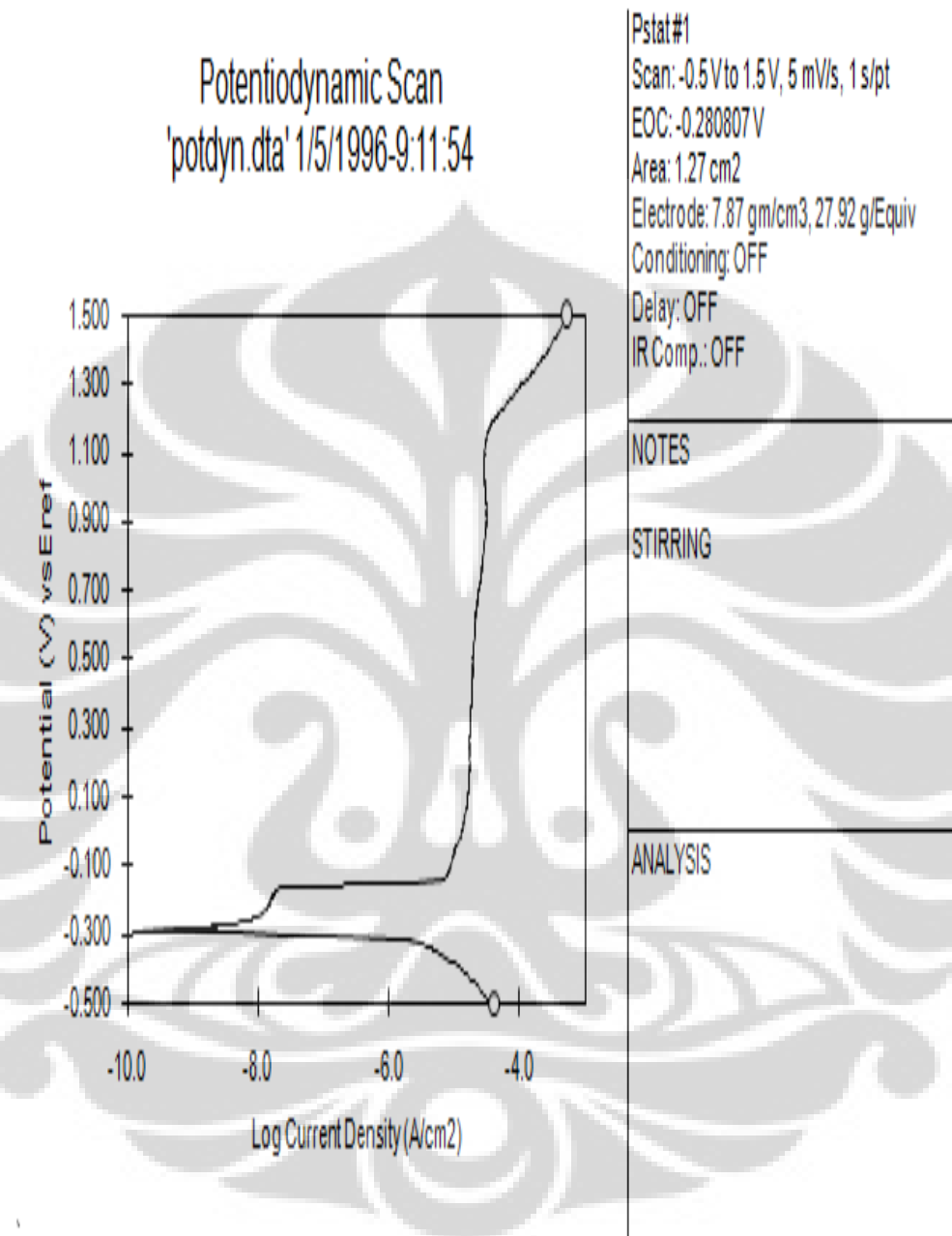
## Lampiran 11. Hasil uji polarisasi J55@pH9



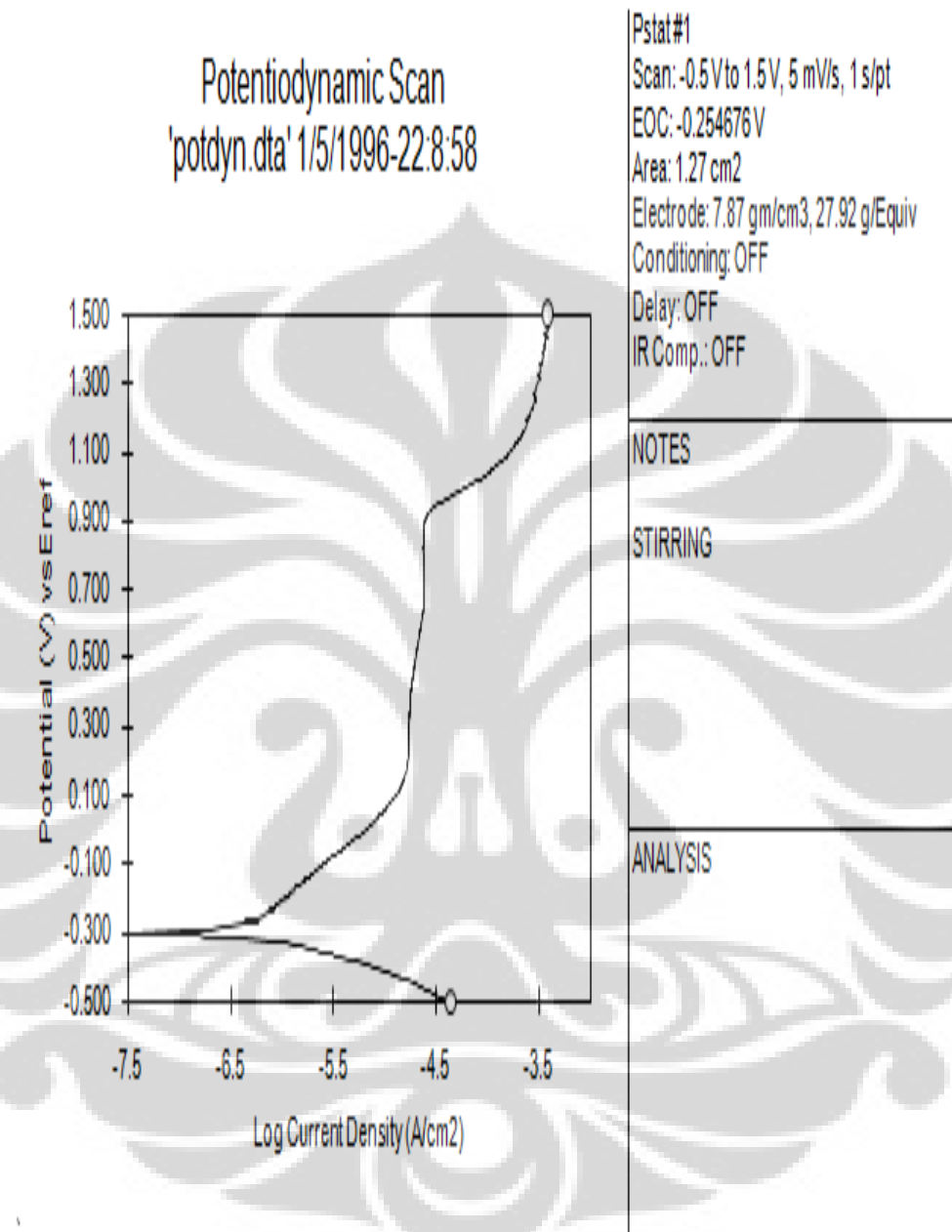
**Lampiran 12. Hasil uji polarisasi 15% Cr@pH 5**



**Lampiran 13. Hasil uji polarisasi 15% Cr@pH 6.3**

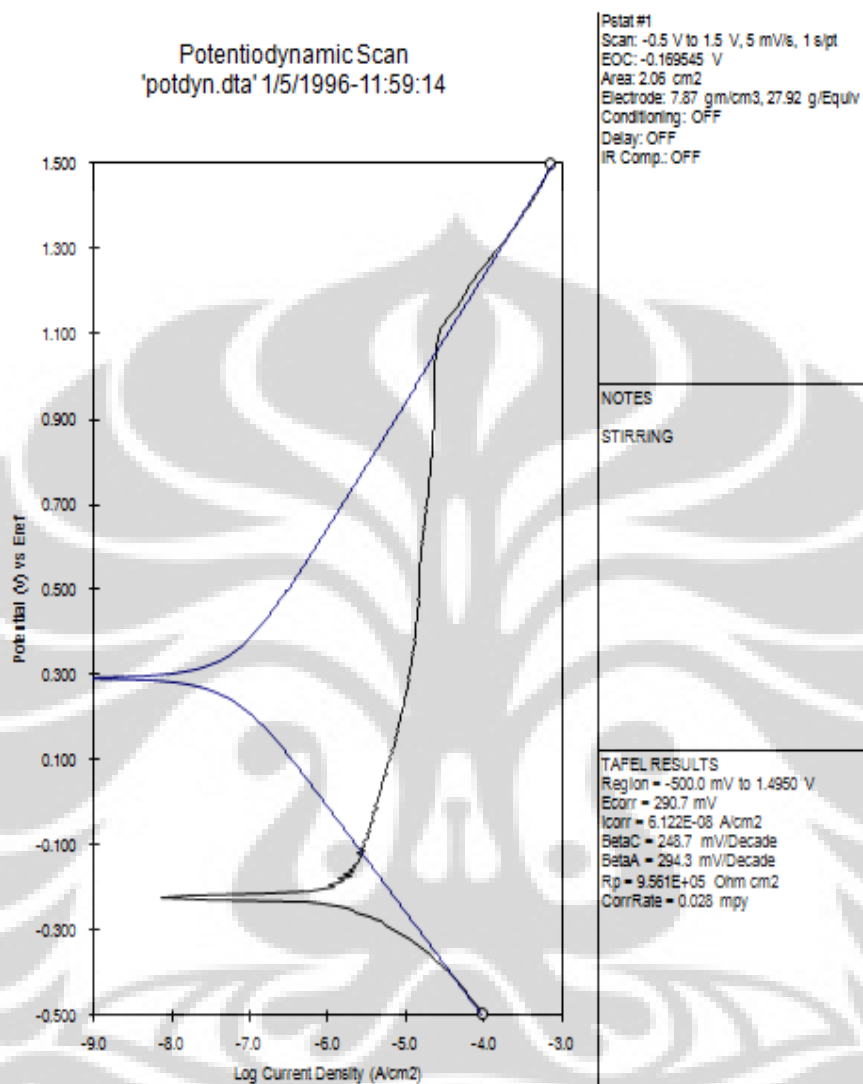


Lampiran 14. Hasil uji polarisasi 15% Cr@pH 9

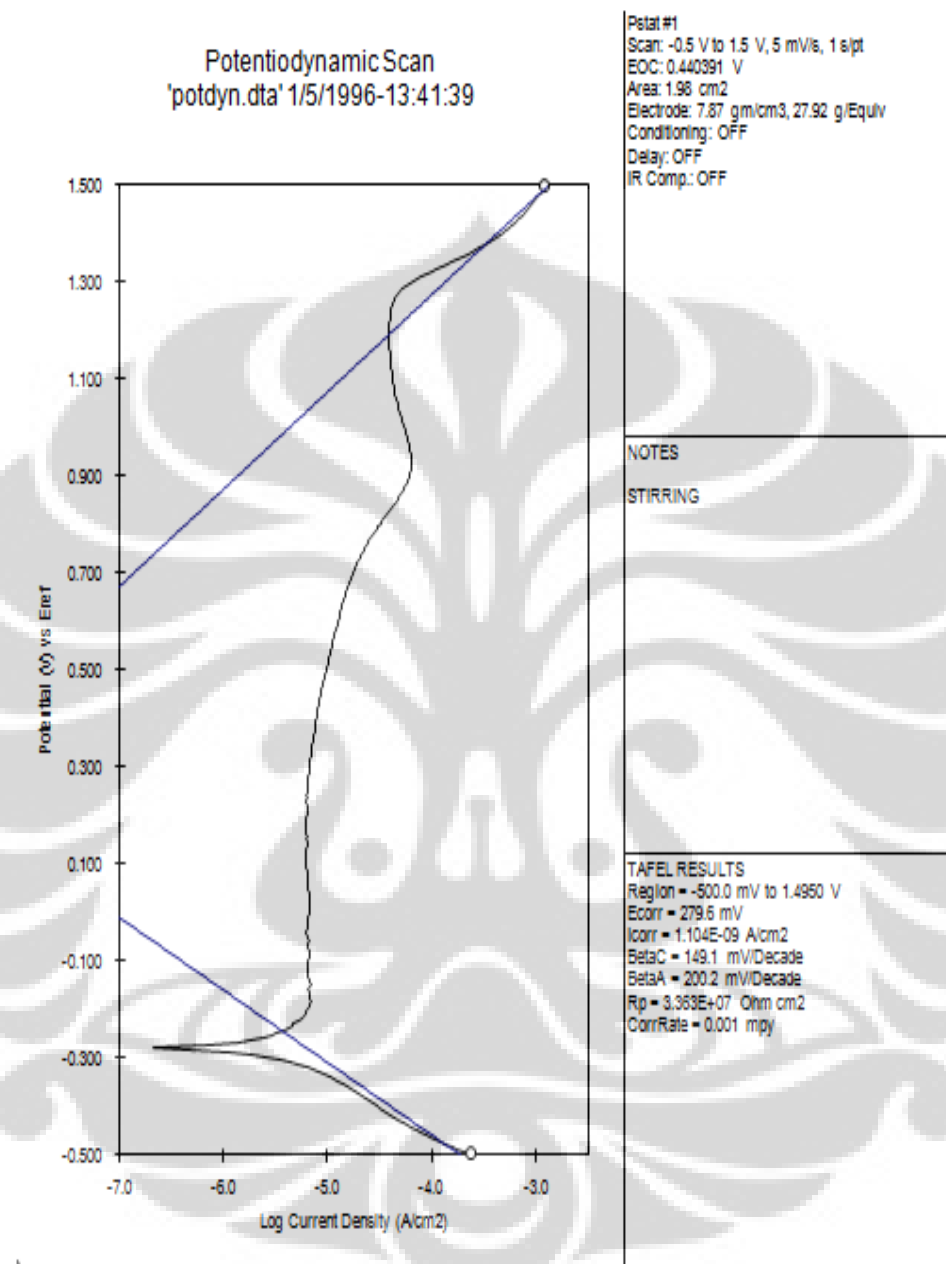




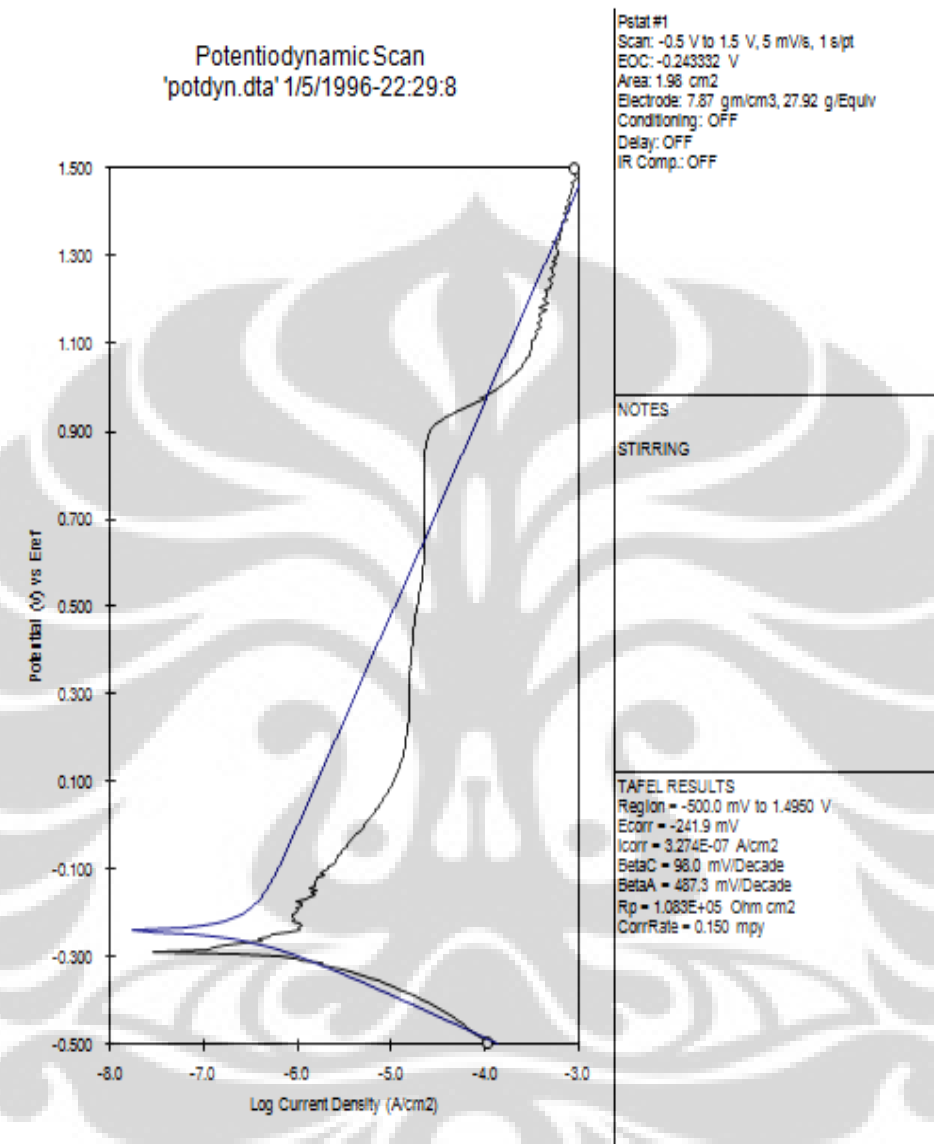
### Lampiran 15. Hasil uji polarisasi 316SS@pH 5



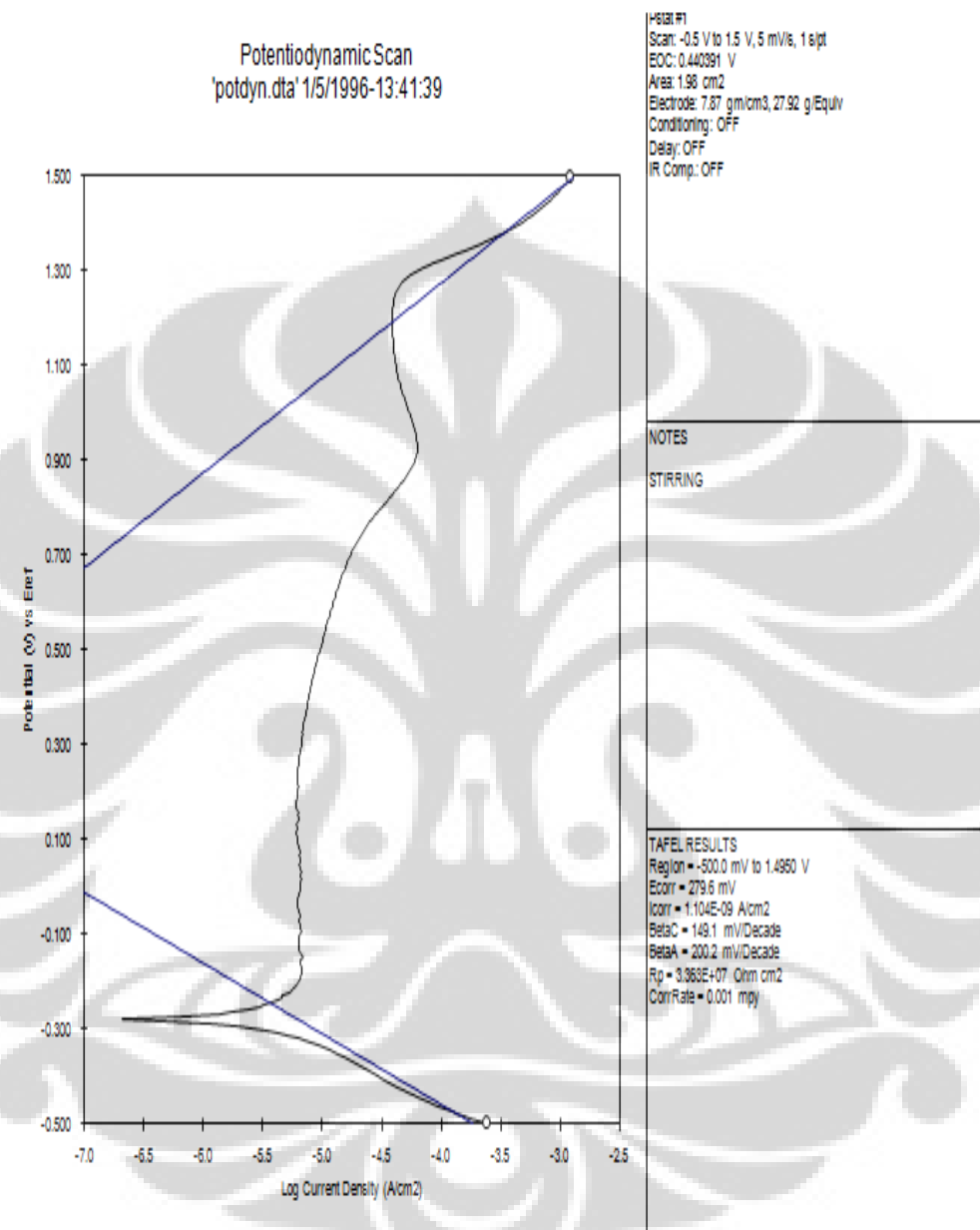
### Lampiran 16. Hasil uji polarisasi 316SS @ pH 6.3



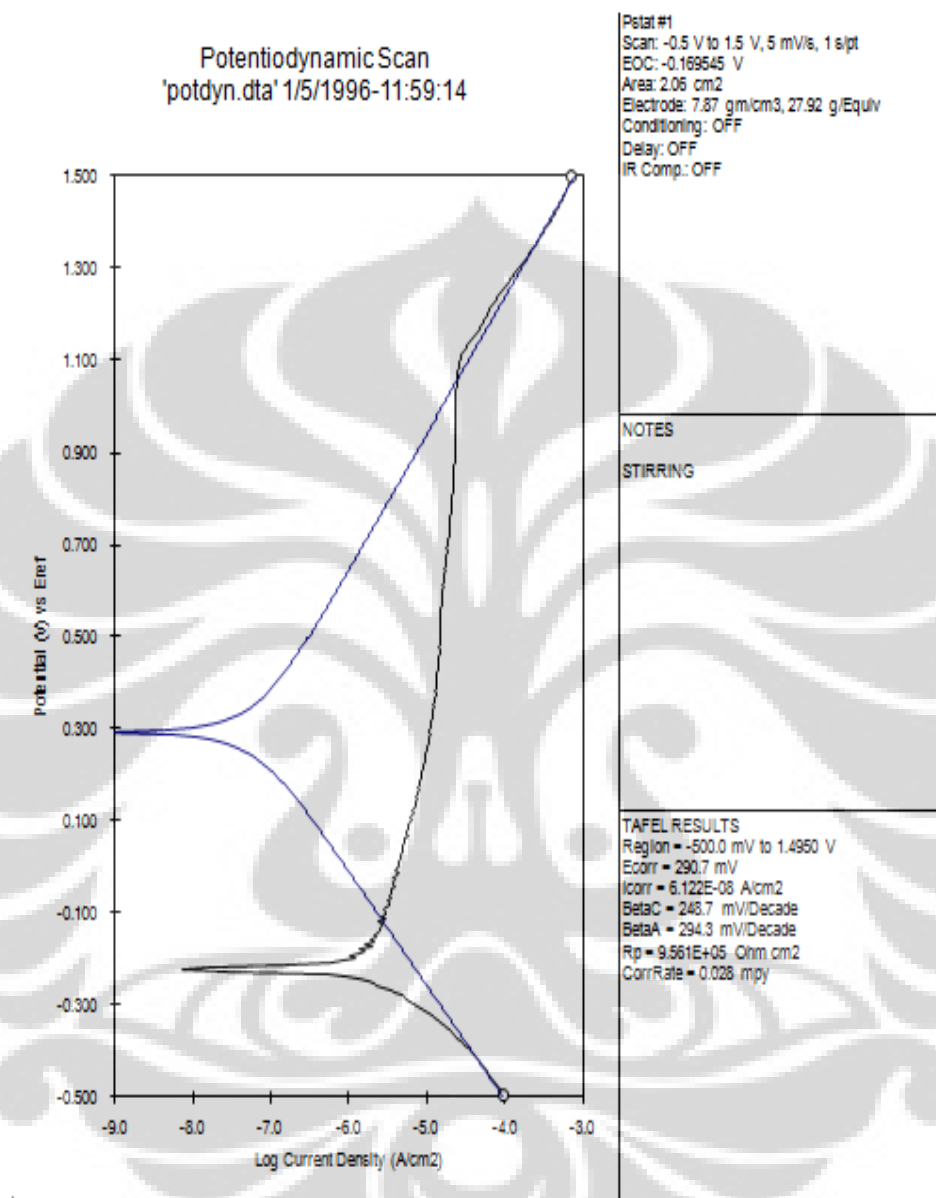
## Lampiran 17. Hasil uji polarisasi 316SS @ pH 9



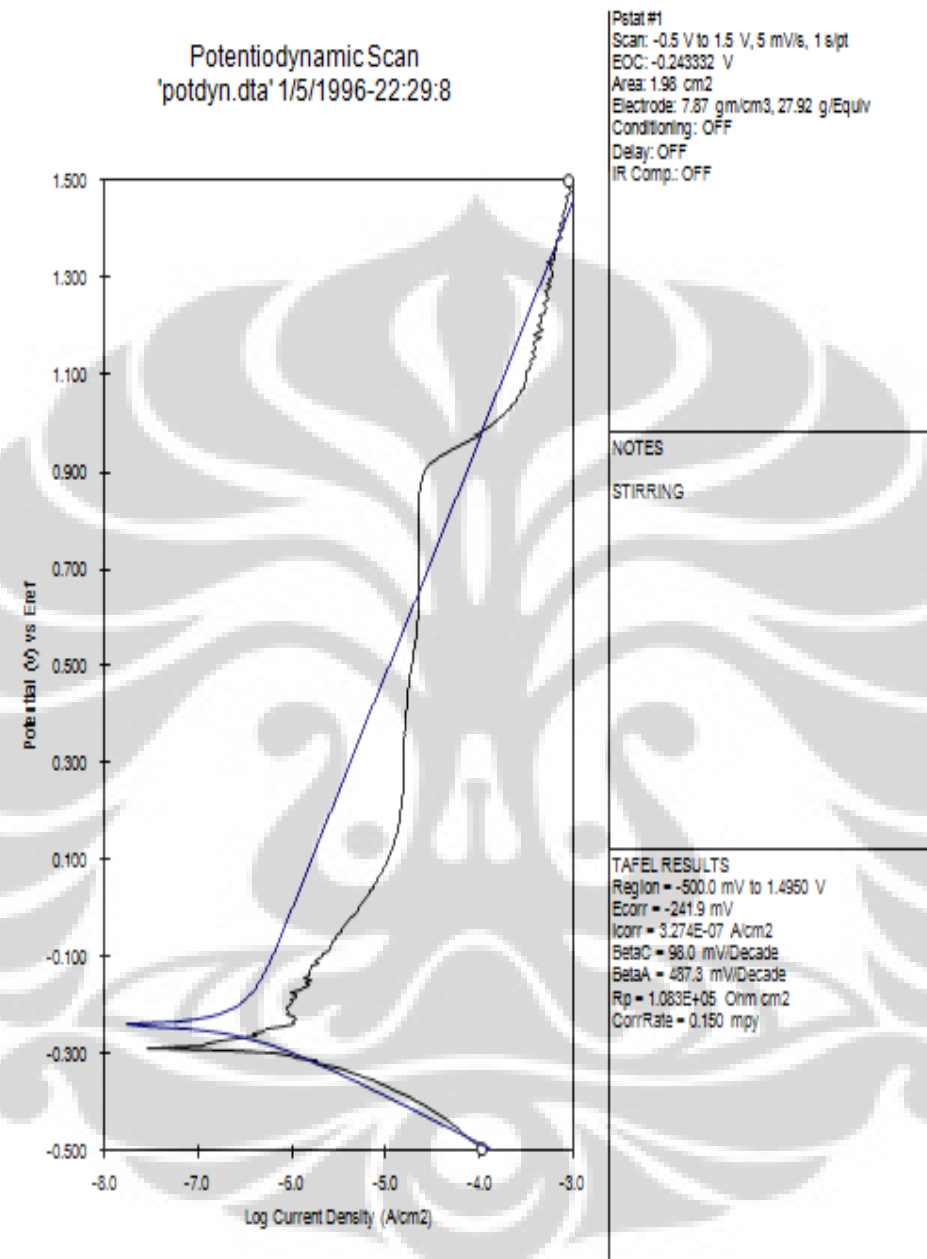
### Lampiran 18. Analisa Tafel untuk 316 SS@ pH 5



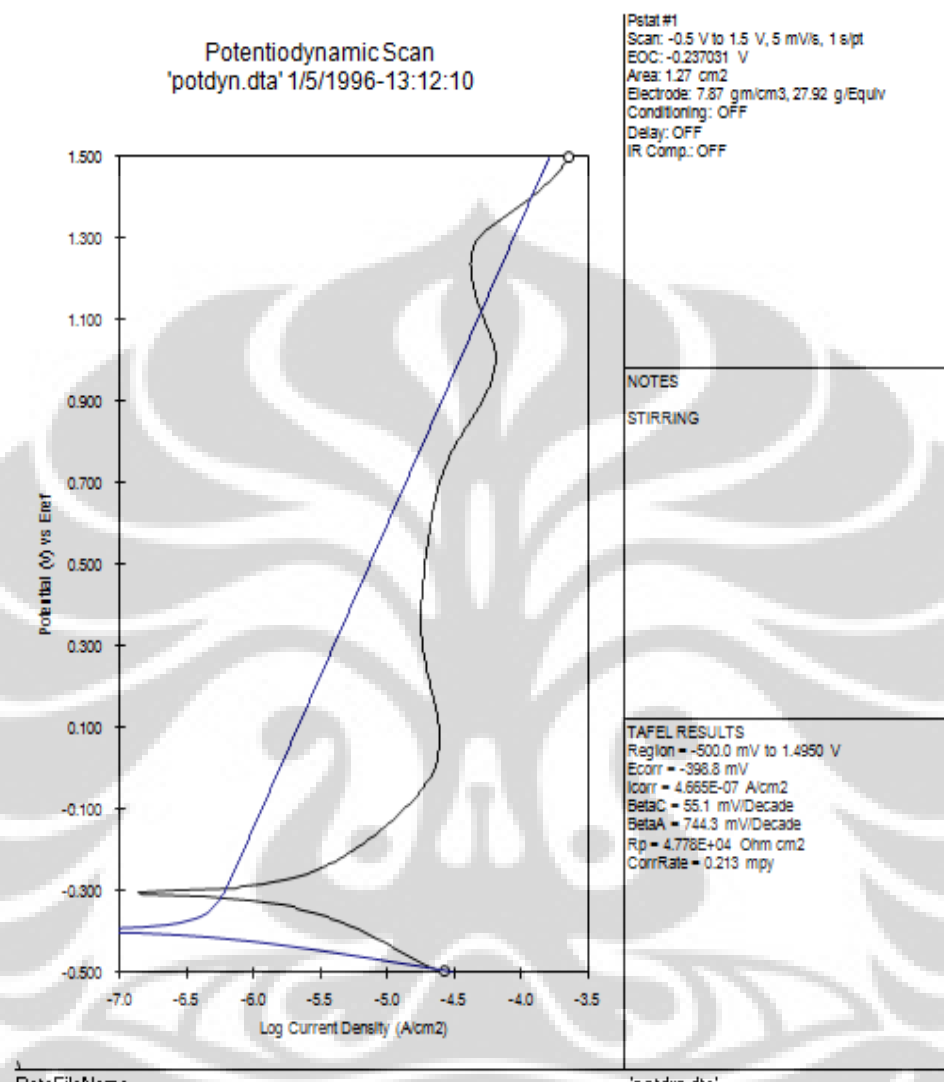
### Lampiran 19. Analisa Tafel untuk 316 SS@ pH 6.3



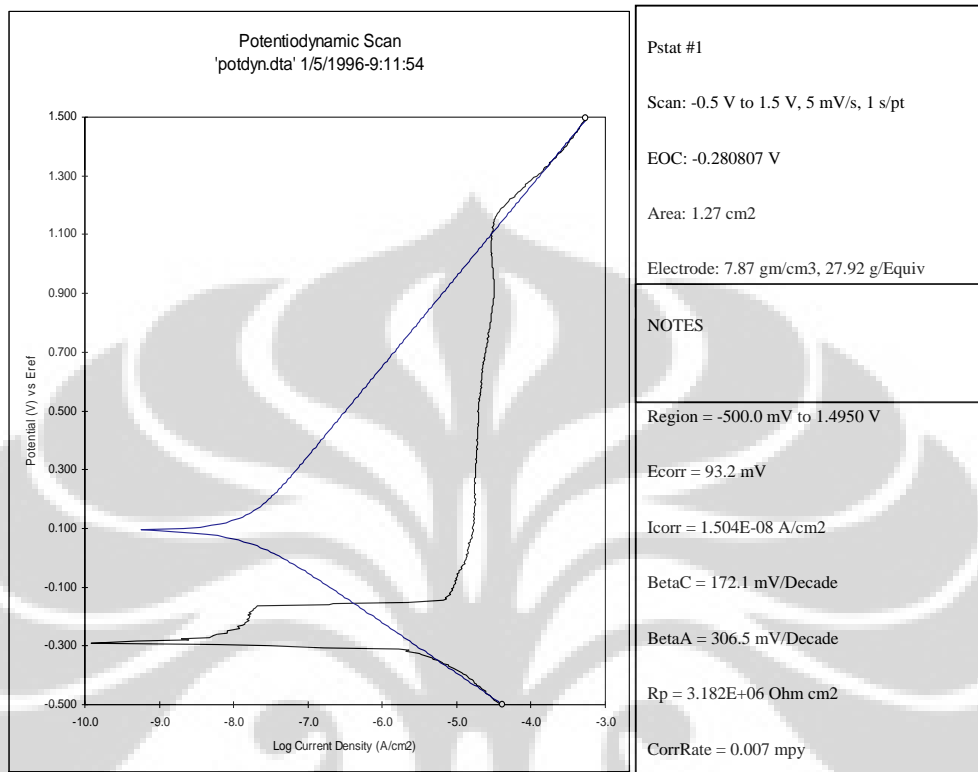
### Lampiran 20. Analisa Tafel untuk 316 SS@ pH 9



### Lampiran 21. Analisa Tafel untuk 15% Cr@ pH 5

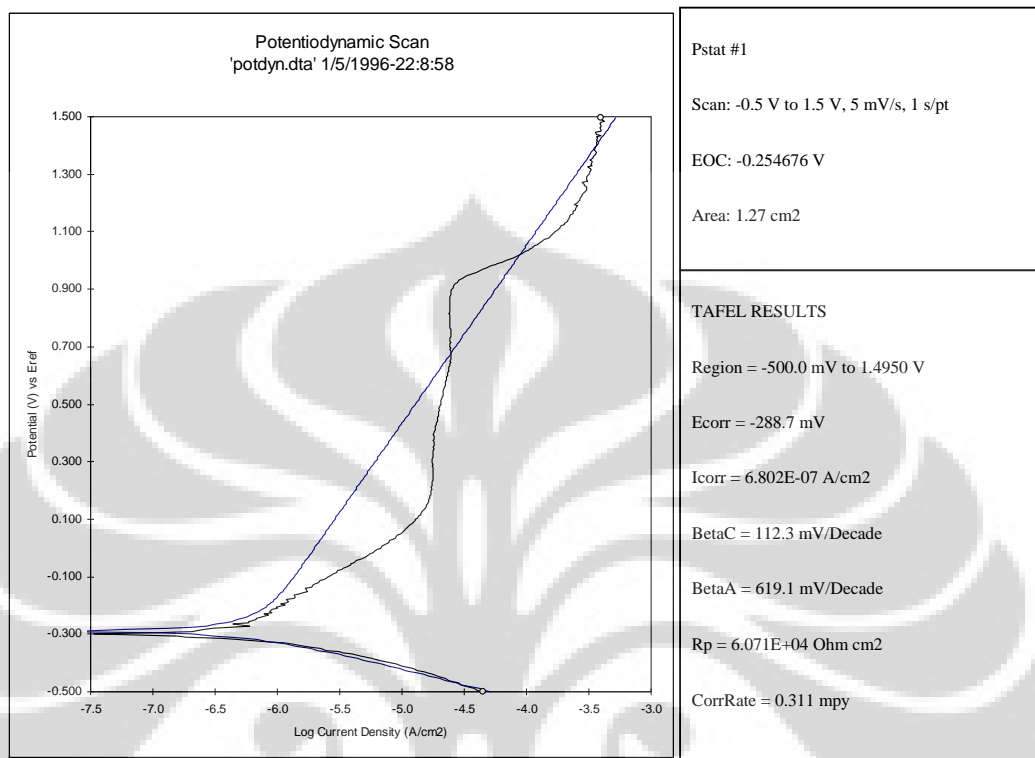


### Lampiran 22. Analisa Tafel untuk 15%CrpH 6,3



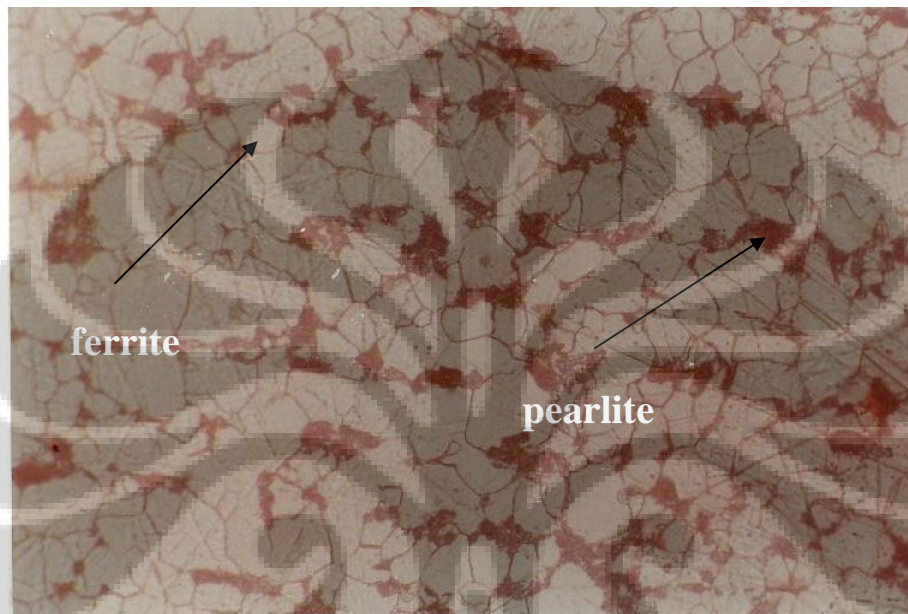


### Lampiran 23. Analisa Tafel untuk 15%CrpH 9



**Lampiran 24. Foto Mikrostruktur**

Foto mikrostruktur bagian logam induk etsa 2% natal dan perbesaran 100x.



**Lampiran 25. Data pengukuran UTG 2008-2009**



**THICKNESS EVALUATION RESULT / REPORT  
UNDER MAT**

Project Description : PIPING & PIPELINES INSPECTION PROGRAM 2009  
 Project No. : AFE. GS859401, WR. 008.INSR/WR/2009  
 Area : Zone 3 / WEST PUMP STATION  
 Equipment : KRAUTKRAMER DM 4  
 Probe : DA 301  
 Drawing No. :

Page :  
 Report No. : 001/ UTG - PIPELINE / QC / III/ 2009  
 Date : February 6, 2009  
 Couplant : Grease  
 Calibration : Step Wedge & Block  
 Standard : ASME B31.3 / API 570

TAG / LINE NO.	TEE, ELL, SP, RED	SIZE & CLASS	LOCATION CODE		NWT		PWT 2008		MWT 2009		Reading Interval (YEAR)	MAT		CR (inches per year)	RCA (inches)	RL (years)	REMARKS
			Present	Position	MM	INCH	MM	INCH	MM	INCH		MM	INCH				
CIS - CN06T - 5465	ELL 90	6"	03.14901	R	7.11	0.28	5.40	0.21	5.00	0.20	1	3.30	0.13	0.02	0.07	4.25	
			03.14902	L	7.11	0.28	4.50	0.18	3.40	0.13	1	3.30	0.13	0.04	0.00	0.09	
			03.14903	I	7.11	0.28	4.90	0.19	3.60	0.14	1	3.30	0.13	0.05	0.01	0.23	
			03.14904	Ou	7.11	0.28	4.80	0.19	4.10	0.16	1	3.30	0.13	0.03	0.03	1.14	
			03.14905	Oc	7.11	0.28	4.30	0.17	4.20	0.17	1	3.30	0.13	0.00	0.04	9.00	
			03.14906	Od	7.11	0.28	3.40	0.13	3.00	0.12	1	3.30	0.13	0.02	-0.01	-0.75	Under MAT
CIS - CN06T - 5463	SP	6"	03.14961	R	7.11	0.28	3.80	0.15	3.50	0.14	1.25	3.30	0.13	0.01	0.01	0.83	PWT 2007
			03.14962	L	7.11	0.28	4.50	0.18	3.90	0.15	1.25	3.30	0.13	0.02	0.02	1.25	PWT 2007
			03.14963	T	7.11	0.28	4.80	0.19	4.60	0.18	1	3.30	0.13	0.01	0.05	6.50	
			03.14964	B	7.11	0.28	4.50	0.18	4.00	0.16	1.25	3.30	0.13	0.02	0.03	1.75	PWT 2007
CIS - CN03T - 5463	ELL 90	3"	03.14981	T	5.49	0.22	4.30	0.17	3.10	0.12	1.25	3.05	0.12	0.04	0.00	0.05	PWT 2007
CIS - CN06T - 5463	SP	6"	03.15041	R	7.11	0.28	4.30	0.17	3.20	0.13	1	3.30	0.13	0.04	0.00	-0.09	Under MAT
			03.15042	L	7.11	0.28	4.30	0.17	3.80	0.15	1	3.30	0.13	0.02	0.02	1.00	
			03.15043	T	7.11	0.28	4.90	0.19	4.50	0.18	1	3.30	0.13	0.02	0.05	3.00	
			03.15044	B	7.11	0.28	4.50	0.18	4.00	0.16	1	3.30	0.13	0.02	0.03	1.40	
CIS - CN06T - 5463	SP	6"	03.15061	R	7.11	0.28	4.30	0.17	4.00	0.16	1	3.30	0.13	0.01	0.03	2.33	
			03.15062	L	7.11	0.28	4.40	0.17	3.90	0.15	1	3.30	0.13	0.02	0.02	1.20	
			03.15063	T	7.11	0.28	5.40	0.21	4.90	0.19	1	3.30	0.13	0.02	0.06	3.20	
			03.15064	B	7.11	0.28	4.20	0.17	3.70	0.15	1	3.30	0.13	0.02	0.02	0.80	
CIS - CN06T - 5463	TEE RED	6" X 3"	03.15101	R	7.11	0.28	5.20	0.20	3.30	0.13	1	3.30	0.13	0.07	0.00	0.00	Under MAT
			03.15102	L	7.11	0.28	3.40	0.13	3.30	0.13	1	3.30	0.13	0.00	0.00	0.00	
			03.15103	Ou	7.11	0.28	6.90	0.27	6.60	0.26	1	3.30	0.13	0.01	0.13	11.00	
			03.15104	Oc	7.11	0.28	6.70	0.26	6.60	0.26	1	3.30	0.13	0.00	0.13	33.00	
			03.15105	Od	7.11	0.28	6.50	0.26	6.10	0.24	1	3.30	0.13	0.02	0.11	7.00	
CIS - CN06T - 5463	SP	6"	03.1512A1	R	7.11	0.28	5.60	0.22	5.40	0.21	1	3.30	0.13	0.01	0.08	10.50	
			03.1512A2	L	7.11	0.28	4.60	0.18	3.60	0.14	1	3.30	0.13	0.04	0.01	0.30	
			03.1512A3	T	7.11	0.28	5.20	0.20	4.60	0.18	1	3.30	0.13	0.02	0.05	2.17	
			03.1512A4	B	7.11	0.28	3.50	0.14	3.20	0.13	1	3.30	0.13	0.01	0.00	-0.33	Under MAT
CIS - CN06T - 5463	TEE RED	6" X 3"	03.15131	R	7.11	0.28	3.60	0.14	3.40	0.13	1	3.30	0.13	0.01	0.00	0.50	
			03.15132	L	7.11	0.28	3.50	0.14	3.20	0.13	1	3.30	0.13	0.01	0.00	-0.33	Under MAT
			03.15133	Ou	7.11	0.28	3.90	0.15	3.80	0.15	1	3.30	0.13	0.00	0.02	5.00	
			03.15134	Od	7.11	0.28	3.80	0.15	3.00	0.12	1.25	3.30	0.13	0.03	-0.01	-0.47	Under MAT

**THICKNESS EVALUATION RESULT / REPORT  
UNDER MAT**

Project Description : PIPING & PIPELINES INSPECTION PROGRAM 2009  
 Project No. : AFE. GS859401, WR. 008.INSPI/WR/2009  
 Area : Zone 3 / WEST PUMP STATION  
 Equipment : KRAUTKRAMER DM 4  
 Probe : DA 301  
 Drawing No. :

Page :  
 Report No. : 001/ UTG - PIPELINE / QC / III/ 2009  
 Date : February 6, 2009  
 Couplant : Grease  
 Calibration : Step Wedge & Block  
 Standard : ASME B31.3 / API 570

TAG / LINE NO.	TEE, ELL, SP, RED	SIZE & CLASS	LOCATION CODE		NWT		PWT 2008		MWT 2009		Reading Interval (YEAR)	MAT		CR (inches per year)	RCA (inches)	RL (years)	REMARKS
			Present	Position	MM	INCH	MM	INCH	MM	INCH		MM	INCH				
CIS - CN03T - 5463	ELL 90	3"	03.15141	R	5.49	0.22	4.70	0.19	4.60	0.18	1	3.05	0.12	0.00	0.06	15.50	
			03.15142	L	5.49	0.22	5.00	0.20	4.80	0.19	1	3.05	0.12	0.01	0.07	8.75	
			03.15143	I	5.49	0.22	5.00	0.20	4.80	0.19	1	3.05	0.12	0.01	0.07	8.75	
			03.15144	Ou	5.49	0.22	4.70	0.19	4.60	0.18	1	3.05	0.12	0.00	0.06	15.50	
			03.15145	Oc	5.49	0.22	5.00	0.20	3.80	0.15	1.25	3.05	0.12	0.04	0.03	0.78	PWT 2007
			03.15146	Od	5.49	0.22	4.80	0.19	4.40	0.17	1	3.05	0.12	0.02	0.05	3.38	
CIS - CN03T - 5463	SP	3"	03.1514A1	R	5.49	0.22	3.80	0.15	3.80	0.15	1	3.05	0.12	0.00	0.03		
			03.1514A2	L	5.49	0.22	4.50	0.18	4.50	0.18	1	3.05	0.12	0.00	0.06		
			03.1514A3	T	5.49	0.22	4.10	0.16	3.50	0.14	1	3.05	0.12	0.02	0.02	0.75	
			03.1514A4	B	5.49	0.22	4.50	0.18	3.90	0.15	1	3.05	0.12	0.02	0.03	1.42	
CIS - CN03T - 5463	SP	3"	03.1516A1	R	5.49	0.22	4.50	0.18	3.50	0.14	1	3.05	0.12	0.04	0.02	0.45	
			03.1516A2	L	5.49	0.22	4.00	0.16	3.30	0.13	1	3.05	0.12	0.03	0.01	0.36	
			03.1516A3	T	5.49	0.22	4.10	0.16	4.00	0.16	1	3.05	0.12	0.00	0.04	9.50	
			03.1516A4	B	5.49	0.22	4.50	0.18	4.00	0.16	1	3.05	0.12	0.02	0.04	1.90	
CIS - CN08T - 5463	SP	8"	03.1529A1	R	8.18	0.32	7.90	0.31	6.30	0.25	1	3.56	0.14	0.06	0.11	1.71	
			03.1529A2	L	8.18	0.32	7.90	0.31	5.30	0.21	1	3.56	0.14	0.10	0.07	0.67	
			03.1529A3	T	8.18	0.32	5.50	0.22	5.40	0.21	1	3.56	0.14	0.00	0.07	18.40	
			03.1529A4	B	8.18	0.32	5.60	0.22	5.60	0.22	1	3.56	0.14	0.00	0.08		
CIS - CN08T - 5463	ELL 90	8"	03.15301	R	8.18	0.32	7.90	0.31	7.80	0.31	1	3.56	0.14	0.00	0.17	42.40	
			03.15302	L	8.18	0.32	7.90	0.31	7.40	0.29	1	3.56	0.14	0.02	0.15	7.68	
			03.15303	I	8.18	0.32	5.50	0.22	4.30	0.17	1	3.56	0.14	0.05	0.03	0.62	
			03.15304	Ou	8.18	0.32	6.90	0.27	6.80	0.27	1	3.56	0.14	0.00	0.13	32.40	
			03.15305	Oc	8.18	0.32	7.10	0.28	7.00	0.28	1	3.56	0.14	0.00	0.14	34.40	
			03.15306	Od	8.18	0.32	7.30	0.29	7.00	0.28	1	3.56	0.14	0.01	0.14	11.47	
CIS - CN06T - 4303	TEE RED	6" X 3"	03.15461	R	7.11	0.28	4.10	0.16	4.00	0.16	1	3.30	0.13	0.00	0.03	7.00	
			03.15462	L	7.11	0.28	3.20	0.13	3.00	0.12	1	3.30	0.13	0.01	-0.01	-1.50	Under MAT
			03.15463	Ou	7.11	0.28	8.20	0.32	7.60	0.30	1	3.30	0.13	0.02	0.17	7.17	New Material
CIS - CN06T - 4303	SP	6"	03.1551A1	R	7.11	0.28	5.70	0.22	4.90	0.19	1	3.30	0.13	0.03	0.06	2.00	
			03.1551A2	L	7.11	0.28	5.90	0.23	5.50	0.22	1	3.30	0.13	0.02	0.09	5.50	
			03.1551A3	T	7.11	0.28	6.00	0.24	4.20	0.17	1	3.30	0.13	0.07	0.04	0.50	
			03.1551A4	B	7.11	0.28	5.80	0.23	5.50	0.22	1	3.30	0.13	0.01	0.09	7.33	
CIS - CN06T - 4303	TEE RED	6" X 8"	03.15521	T	7.11	0.28	5.10	0.20	4.30	0.17	1	3.30	0.13	0.03	0.04	1.25	

**THICKNESS EVALUATION RESULT / REPORT  
UNDER MAT**

Project Description : PIPING & PIPELINES INSPECTION PROGRAM 2009  
 Project No. : AFE-GS859401, WR. 008.INS/WR/2009  
 Area : Zone 3 / WEST PUMP STATION  
 Equipment : KRAUTKRAMER DM 4  
 Probe : DA 301  
 Drawing No. :

Page :  
 Report No. : 001/ UTG - PIPELINE / QC / III / 2009  
 Date : February 6, 2009  
 Couplant : Grease  
 Calibration : Step Wedge & Block  
 Standard : ASME B31.3 / API 570

TAG / LINE NO.	TEE, ELL, SP, RED	SIZE & CLASS	LOCATION CODE		NWT		PWT 2008		MWT 2009		Reading Interval (YEAR)	MAT		CR (inches per year)	RCA (inches)	RL (years)	REMARKS
			Present	Position	MM	INCH	MM	INCH	MM	INCH		MM	INCH				
		T	03.15522	B	7.11	0.28	4.90	0.19	3.80	0.15	1	3.30	0.13	0.04	0.02	0.45	
			03.15523	Ou	7.11	0.28	6.50	0.26	6.20	0.24	1	3.30	0.13	0.01	0.11	9.67	
			03.15524	Oc	7.11	0.28	6.90	0.27	6.10	0.24	1	3.30	0.13	0.03	0.11	3.50	
			03.15525	Od	7.11	0.28	6.40	0.25	5.80	0.23	1	3.30	0.13	0.02	0.10	4.17	
CIS - CN06T - 4303	SP	6"	03.1552A1	R	7.11	0.28	5.60	0.22	5.40	0.21	1	3.30	0.13	0.01	0.08	10.50	
		T	03.1552A2	L	7.11	0.28	5.70	0.22	5.50	0.22	1	3.30	0.13	0.01	0.09	11.00	
			03.1552A3	T	7.11	0.28	6.10	0.24	5.70	0.22	1	3.30	0.13	0.02	0.09	6.00	
			03.1552A4	B	7.11	0.28	5.80	0.23	4.50	0.18	1	3.30	0.13	0.05	0.05	0.92	
CIS - CN06T - 4319	ELL 90	6"	03.15551	R	7.11	0.28	5.70	0.22	5.60	0.22	1	3.30	0.13	0.00	0.09	23.00	
		T	03.15552	L	7.11	0.28	5.60	0.22	5.20	0.20	1	3.30	0.13	0.02	0.07	4.75	
			03.15553	I	7.11	0.28	6.10	0.24	4.50	0.18	1	3.30	0.13	0.06	0.05	0.75	
			03.15554	Ou	7.11	0.28	5.30	0.21	4.90	0.19	1.25	3.30	0.13	0.01	0.06	5.00	PWT 2007
			03.15555	Oc	7.11	0.28	5.30	0.21	4.70	0.19	1	3.30	0.13	0.02	0.06	2.33	
			03.15556	Od	7.11	0.28	4.70	0.19	4.40	0.17	1	3.30	0.13	0.01	0.04	3.67	
CIS - CN06S - 4304	SP	6"	03.1556A1	R	7.11	0.28	5.40	0.21	4.60	0.18	1	2.79	0.11	0.03	0.07	2.26	
		S	03.1556A2	L	7.11	0.28	4.50	0.18	4.50	0.18	1	2.79	0.11	0.00	0.07		
			03.1556A3	T	7.11	0.28	5.20	0.20	3.80	0.15	1	2.79	0.11	0.06	0.04	0.72	
			03.1556A4	B	7.11	0.28	4.70	0.19	4.50	0.18	1	2.79	0.11	0.01	0.07	8.55	
CIS - CN06T - 4305	ECC RED	6" X 5"	03.15681	R	7.11	0.28	7.10	0.28	5.20	0.20	1	3.30	0.13	0.07	0.07	1.00	
		T	03.15682	L	7.11	0.28	6.70	0.26	6.40	0.25	1	3.30	0.13	0.01	0.12	10.33	
			03.15683	T	7.11	0.28	7.70	0.30	7.50	0.30	1	3.30	0.13	0.01	0.17	21.00	
			03.15684	B	7.11	0.28	4.90	0.19	4.00	0.16	1	3.30	0.13	0.04	0.03	0.78	
CIS - CN06T - 4305	TEE RED	6" X 3"	03.15691	R	7.11	0.28	5.60	0.22	5.00	0.20	1.25	3.30	0.13	0.02	0.07	3.54	PWT 2007
		T	03.15692	L	7.11	0.28	5.60	0.22	4.70	0.19	1	3.30	0.13	0.04	0.06	1.56	
			03.15693	Ou	7.11	0.28	5.20	0.20	5.00	0.20	1	3.30	0.13	0.01	0.07	8.50	
			03.15694	Oc	7.11	0.28	5.00	0.20	4.60	0.18	1	3.30	0.13	0.02	0.05	3.25	
			03.15695	Od	7.11	0.28	4.90	0.19	4.70	0.19	1	3.30	0.13	0.01	0.06	7.00	
CIS - CN06T - 4305	ELL 90	6"	03.15701	T	7.11	0.28	6.40	0.25	4.80	0.19	1	3.30	0.13	0.06	0.06	0.94	
		T	03.15702	B	7.11	0.28	4.70	0.19	4.60	0.18	1	3.30	0.13	0.00	0.05	13.00	
			03.15703	I	7.11	0.28	4.50	0.18	4.40	0.17	1	3.30	0.13	0.00	0.04	11.00	Corroded
			03.15704	Ou	7.11	0.28	5.90	0.23	5.50	0.22	1.25	3.30	0.13	0.01	0.09	6.87	PWT 2007
			03.15705	Oc	8.11	0.32	6.00	0.24	5.80	0.23	1	3.30	0.13	0.01	0.10	12.50	

**THICKNESS EVALUATION RESULT / REPORT  
UNDER MAT**

Project Description : PIPING & PIPELINES INSPECTION PROGRAM 2009  
 Project No. : AFE. GS859401, WR. 008.INSR/WR/2009  
 Area : Zone 3 / WEST PUMP STATION  
 Equipment : KRAUTKRAMER DM 4  
 Probe : DA 301  
 Drawing No. :

Page :  
 Report No. : 001/ UTG - PIPELINE / QC / III/ 2009  
 Date : February 6, 2009  
 Couplant : Grease  
 Calibration : Step Wedge & Block  
 Standard : ASME B31.3 / API 570

TAG / LINE NO.	TEE, ELL, SP, RED	SIZE & CLASS	LOCATION CODE		NWT		PWT 2008		MWT 2009		Reading Interval (YEAR)	MAT		CR (inches per year)	RCA (inches)	RL (years)	REMARKS
			Present	Position	MM	INCH	MM	INCH	MM	INCH		MM	INCH				
			03.15706	Od	7.11	0.28	5.90	0.23	5.80	0.23	1	3.30	0.13	0.00	0.10	25.00	
CIS - CN06T - 4305	SP	6"	03.1571A1	R	7.11	0.28	4.80	0.19	4.80	0.19	1	3.30	0.13	0.00	0.06		
		T	03.1571A2	L	7.11	0.28	6.20	0.24	3.60	0.14	1	3.30	0.13	0.10	0.01	0.12	
			03.1571A3	T	7.11	0.28	4.50	0.18	4.40	0.17	1	3.30	0.13	0.00	0.04	11.00	
			03.1571A4	B	7.11	0.28	5.80	0.23	5.60	0.22	1	3.30	0.13	0.01	0.09	11.50	
CIS - CN06T - 4305	EQ TEE	6" X 6"	03.15721	R	7.11	0.28	4.60	0.18	4.30	0.17	1	3.30	0.13	0.01	0.04	3.33	
		T	03.15722	L	7.11	0.28	4.60	0.18	4.60	0.18	1	3.30	0.13	0.00	0.05		
			03.15723	Ou	7.11	0.28	5.90	0.23	5.70	0.22	1	3.30	0.13	0.01	0.09	12.00	
			03.15724	Oc	7.11	0.28	5.90	0.23	5.70	0.22	1	3.30	0.13	0.01	0.09	12.00	
			03.15725	Od	7.11	0.28	5.70	0.22	5.30	0.21	1	3.30	0.13	0.02	0.08	5.00	
CIS - CN06T - 4305	SP	6"	03.1573A1	R	7.11	0.28	4.80	0.19	4.20	0.17	1	3.30	0.13	0.02	0.04	1.50	
		T	03.1573A2	L	7.11	0.28	4.00	0.16	3.70	0.15	1	3.30	0.13	0.01	0.02	1.33	
			03.1573A3	T	7.11	0.28	4.20	0.17	3.50	0.14	1	3.30	0.13	0.03	0.01	0.29	
			03.1573A4	B	7.11	0.28	4.60	0.18	4.20	0.17	1	3.30	0.13	0.02	0.04	2.25	
CIS - CN06T - 4305	TEE RED	6" X 3"	03.15781	R	7.11	0.28	4.20	0.17	4.00	0.16	1	3.30	0.13	0.01	0.03	3.50	
		T	03.15782	L	7.11	0.28	4.20	0.17	3.10	0.12	1	3.30	0.13	0.04	-0.01	-0.18	Under MAT
			03.15783	Ou	7.11	0.28	7.60	0.30	7.60	0.30	1	3.30	0.13	0.00	0.17		
			03.15784	Oc	7.11	0.28	7.00	0.28	6.80	0.27	1	3.30	0.13	0.01	0.14	17.50	
			03.15785	Od	7.11	0.28	8.50	0.33	7.60	0.30	1.25	3.30	0.13	0.03	0.17	5.97	PWT 2007
CIS - CN06T - 4305	ELL 90	6"	03.15791	R	7.11	0.28	6.00	0.24	3.80	0.15	1	3.30	0.13	0.09	0.02	0.23	
		T	03.15792	L	7.11	0.28	5.60	0.22	5.50	0.22	1	3.30	0.13	0.00	0.09	22.00	
			03.15793	I	7.11	0.28	7.00	0.28	4.80	0.19	1.25	3.30	0.13	0.07	0.06	0.85	PWT 2007
			03.15794	Ou	7.11	0.28	5.20	0.20	5.00	0.20	1	3.30	0.13	0.01	0.07	8.50	
			03.15795	Oc	7.11	0.28	6.20	0.24	5.40	0.21	1	3.30	0.13	0.03	0.08	2.63	
			03.15796	Od	7.11	0.28	6.60	0.26	5.90	0.23	1	3.30	0.13	0.03	0.10	3.71	
CIS - CN06T - 4305	TEE RED	6" X 4"	03.15801	R	7.11	0.28	5.00	0.20	4.50	0.18	1	3.30	0.13	0.02	0.05	2.40	
		T	03.15802	L	7.11	0.28	3.60	0.14	3.50	0.14	1	3.30	0.13	0.00	0.01	2.00	
			03.15803	Ou	7.11	0.28	3.40	0.13	3.10	0.12	1	3.30	0.13	0.01	-0.01	-0.67	Under MAT
			03.15804	Oc	7.11	0.28	3.10	0.12	2.80	0.11	1	3.30	0.13	0.01	-0.02	-1.67	
			03.15805	Od	7.11	0.28	3.80	0.15	3.20	0.13	1	3.30	0.13	0.02	0.00	-0.17	
CIS - CN06T - 4305	SP	6"	03.1581A1	R	7.11	0.28	5.40	0.21	5.20	0.20	1	3.30	0.13	0.01	0.07	9.50	
		T	03.1581A2	L	7.11	0.28	5.50	0.22	5.20	0.20	1	3.30	0.13	0.01	0.07	6.33	

**THICKNESS EVALUATION RESULT / REPORT  
UNDER MAT**

Project Description : PIPING & PIPELINES INSPECTION PROGRAM 2009  
 Project No. : AFE. GS859401, WR. 013A.INSR/WR/2008  
 Area : Zone 3 / XC WPS to AWI-12 Condensate Line  
 Equipment : KRAUTKRAMER DM 4  
 Probe : DA 301  
 Drawing No. :

Page :  
 Report No. : 002/ UTG - PIPELINE / QC / II / 2009  
 Date : February 17, 2009  
 Couplant : Grease  
 Calibration : Step Wedge & Block  
 Standard : ASME B31.3 / API 570

TAG / LINE NO.	TEE, ELL, SP, RED	SIZE & CLASS	LOCATION CODE		NWT		MWT 2008		MWT 2009		Reading Interval (YEAR)	MAT		CR (inches per year)	RCA (inches)	RL (years)	REMARKS
			Present	Position	MM	INCH	MM	INCH	MM	INCH		MM	INCH				
CIS - CN10T - 5328	SP	10"	E	R	9.27	0.36	8.60	0.34	7.60	0.30	1.00	3.81	0.15	0.04	0.15	3.79	
				L	9.27	0.36	7.90	0.31	6.70	0.26	1.00	3.81	0.15	0.05	0.11	2.41	
				T	9.27	0.36	8.00	0.31	5.90	0.23	1.00	3.81	0.15	0.08	0.08	1.00	
				B	9.27	0.36	8.20	0.32	7.30	0.29	1.00	3.81	0.15	0.04	0.14	3.88	
CIS - CN10T - 5328	ELL 90	10"	03.20631	R	9.27	0.36	9.60	0.38	9.10	0.36	1.00	3.81	0.15	0.02	0.21	10.58	
				L	9.27	0.36	9.20	0.36	4.50	0.18	1.00	3.81	0.15	0.19	0.03	0.15	
				I	9.27	0.36	5.70	0.22	4.30	0.17	1.00	3.81	0.15	0.06	0.02	0.35	
				Ou	9.27	0.36	6.40	0.25	6.40	0.25	1.00	3.81	0.15	0.00	0.10		
				Oc	9.27	0.36	9.40	0.37	9.10	0.36	1.00	3.81	0.15	0.01	0.21	17.63	
				Od	9.27	0.36	9.60	0.38	9.40	0.37	1.00	3.81	0.15	0.01	0.22	27.95	
CIS - CN08T - 5537	ELL 90	8"	03.20891	T	8.18	0.32	6.20	0.24	6.10	0.24	1.00	3.56	0.14	0.00	0.10	25.40	
				B	8.18	0.32	6.10	0.24	5.20	0.20	1.00	3.56	0.14	0.04	0.06	1.82	
				I	8.18	0.32	5.30	0.21	3.10	0.12	1.00	3.56	0.14	0.09	-0.02	-0.21	Under MAT
				Ou	8.18	0.32	6.80	0.27	5.70	0.22	1.00	3.56	0.14	0.04	0.08	1.95	
				Oc	8.18	0.32	6.50	0.26	6.30	0.25	1.00	3.56	0.14	0.01	0.11	13.70	
				Od	8.18	0.32	5.90	0.23	5.70	0.22	1.00	3.56	0.14	0.01	0.08	10.70	
CIS - CN08T - 5537	SP	8"	03.2089A1	R	8.18	0.32	6.70	0.26	5.30	0.21	1.00	3.56	0.14	0.06	0.07	1.24	
				L	8.18	0.32	5.20	0.20	5.00	0.20	1.00	3.56	0.14	0.01	0.06	7.20	
				T	8.18	0.32	6.80	0.27	5.70	0.22	1.00	3.56	0.14	0.04	0.08	1.95	
				B	8.18	0.32	6.10	0.24	4.70	0.19	1.00	3.56	0.14	0.06	0.04	0.81	
CIS - CN08T - 5537	SP	8"	03.20921	R	8.18	0.32	7.00	0.28	6.10	0.24	1.00	3.56	0.14	0.04	0.10	2.82	
				L	8.18	0.32	7.10	0.28	5.90	0.23	1.00	3.56	0.14	0.05	0.09	1.95	
				T	8.18	0.32	5.80	0.23	5.30	0.21	1.00	3.56	0.14	0.02	0.07	3.48	
				B	8.18	0.32	6.90	0.27	5.00	0.20	1.00	3.56	0.14	0.07	0.06	0.76	
CIS - CN08T - 5537	ELL 30	8"	03.2096A1	R	8.18	0.32	8.40	0.33	8.20	0.32	1.00	3.56	0.14	0.01	0.18	23.20	
				L	8.18	0.32	8.40	0.33	8.00	0.31	1.00	3.56	0.14	0.02	0.17	11.10	
				I	8.18	0.32	8.30	0.33	6.70	0.26	1.00	3.56	0.14	0.06	0.12	1.96	
				Ou	8.18	0.32	6.70	0.26	6.20	0.24	1.00	3.56	0.14	0.02	0.10	5.28	
CIS - CN08T - 5537	ELL 90	8"	03.2096A5	Od	8.18	0.32	6.70	0.26	4.70	0.19	1.00	3.56	0.14	0.08	0.04	0.57	
				R	8.18	0.32	6.90	0.27	6.80	0.27	1.00	3.56	0.14	0.00	0.13	32.40	
				L	8.18	0.32	7.20	0.28	6.80	0.27	1.00	3.56	0.14	0.02	0.13	8.10	
				I	8.18	0.32	5.80	0.23	4.50	0.18	1.00	3.56	0.14	0.05	0.04	0.72	



**THICKNESS EVALUATION RESULT / REPORT  
UNDER MAT**

Project Description : PIPING & PIPELINES INSPECTION PROGRAM 2009  
 Project No. : AFE. GS859401, WR. 013A.INSR/WR/2008  
 Area : Zone 3 / XC WPS to AWI-12 Condensate Line  
 Equipment : KRAUTKRAMER DM 4  
 Probe : DA 301  
 Drawing No. :

Page :  
 Report No. : 002/ UTG - PIPELINE / QC / II / 2009  
 Date : February 17, 2009  
 Couplant : Grease  
 Calibration : Step Wedge & Block  
 Standard : ASME B31.3 / API 570

TAG / LINE NO.	TEE, ELL, SP, RED	SIZE & CLASS	LOCATION CODE		NWT		MWT 2008		MWT 2009		Reading Interval (YEAR)	MAT		CR (inches per year)	RCA (inches)	RL (years)	REMARKS
			Present	Position	MM	INCH	MM	INCH	MM	INCH		MM	INCH				
			03.21644	Ou	8.18	0.32	5.50	0.22	5.40	0.21	1.00	3.56	0.14	0.00	0.07	18.40	
			03.21645	Oc	8.18	0.32	6.20	0.24	5.90	0.23	1.00	3.56	0.14	0.01	0.09	7.80	
			03.21646	Od	8.18	0.32	5.20	0.20	4.70	0.19	1.00	3.56	0.14	0.02	0.04	2.28	
CIS - CN08T - 5537	SP	8"	03.21651	R													U/G
		T	03.21652	L													
			03.21653	T													
			03.21654	B													
			03.21691	R	8.18	0.32	7.10	0.28	7.00	0.28	1.00	3.56	0.14	0.00	0.14	34.40	
	ELL 15	8"	03.21692	L	8.18	0.32	7.50	0.30	6.60	0.26	1.00	3.56	0.14	0.04	0.12	3.38	
			03.21693	I	8.18	0.32	5.40	0.21	4.30	0.17	1.00	3.56	0.14	0.04	0.03	0.67	
			03.21694	Oc	8.18	0.32	6.30	0.25	6.10	0.24	1.00	3.56	0.14	0.01	0.10	12.70	
CIS - CN08T - 5537	ELL 15	8"	03.22261	R	8.18	0.32	6.90	0.27	6.50	0.26	1.25	3.56	0.14	0.01	0.12	9.19	PWT 2007
		T	03.22262	L	8.18	0.32	6.30	0.25	5.60	0.22	1.25	3.56	0.14	0.02	0.08	3.64	PWT 2007
			03.22263	I	8.18	0.32	4.60	0.18	2.80	0.11	1.00	3.56	0.14	0.07	-0.03	-0.42	Under MAT
			03.22264	Oc	8.18	0.32	5.20	0.20	5.10	0.20	1.00	3.56	0.14	0.00	0.06	15.40	
CIS - CN08T - 5537	ELL 60	8"	03.22291	T	8.18	0.32	6.20	0.24	6.00	0.24	1.00	3.56	0.14	0.01	0.10	12.20	
			03.22292	B	8.18	0.32	5.70	0.22	4.40	0.17	1.00	3.56	0.14	0.05	0.03	0.65	
		T	03.22293	I	8.18	0.32	6.60	0.26	6.40	0.25	1.00	3.56	0.14	0.01	0.11	14.20	
			03.22294	Ou	8.18	0.32	6.80	0.27	6.60	0.26	1.00	3.56	0.14	0.01	0.12	15.20	
			03.22295	Oc	8.18	0.32	6.50	0.26	6.30	0.25	1.00	3.56	0.14	0.01	0.11	13.70	
			03.22296	Od	8.18	0.32	6.50	0.26	6.30	0.25	1.00	3.56	0.14	0.01	0.11	13.70	
CIS - CN08T - 5537	SP	8"	03.22461	R	8.18	0.32	7.30	0.29	6.30	0.25	1.00	3.56	0.14	0.04	0.11	2.74	
		T	03.22462	L	8.18	0.32	7.00	0.28	6.90	0.27	1.00	3.56	0.14	0.00	0.13	33.40	
			03.22463	T	8.18	0.32	7.30	0.29	5.90	0.23	1.00	3.56	0.14	0.06	0.09	1.67	
			03.22464	B	8.18	0.32	6.20	0.24	4.70	0.19	1.00	3.56	0.14	0.06	0.04	0.76	
CIS - CN08T - 5537	ELL 20	8"	03.22481	T	8.18	0.32	7.00	0.28	6.90	0.27	1.00	3.56	0.14	0.00	0.13	33.40	
		T	03.22482	B	8.18	0.32	5.30	0.21	3.60	0.14	1.00	3.56	0.14	0.07	0.00	0.02	
			03.22483	I	8.18	0.32	5.70	0.22	5.00	0.20	1.00	3.56	0.14	0.03	0.06	2.06	
			03.22484	Ou	8.18	0.32	7.10	0.28	5.90	0.23	1.00	3.56	0.14	0.05	0.09	1.95	
			03.22485	Od	8.18	0.32	6.30	0.25	6.10	0.24	1.00	3.56	0.14	0.01	0.10	12.70	
CIS - CN08T - 5537	ELL 45	8"	03.22501	T	8.18	0.32	5.20	0.20	5.00	0.20	1.00	3.56	0.14	0.01	0.06	7.20	
			03.22502	B	8.18	0.32	4.50	0.18	4.40	0.17	1.00	3.56	0.14	0.00	0.03	8.40	

## THICKNESS EVALUATION RESULT / REPORT

Project Description : PIPING & PIPELINES INSPECTION PROGRAM 2009  
 Project No. : AFE. GS859401, WR. 008.INSPI/WR/2009  
 Area : Zone 3 / AWI 12-WELLPAD  
 Equipment : KRAUTKRAMER DM 4  
 Probe : DA 301  
 Drawing No. :

Page :  
 Report No. : 003/ UTG - PIPELINE / QC / III / 2009  
 Date : February 22, 2009  
 Couplant : Grease  
 Calibration : Step Wedge & Block  
 Standard : ASME B31.3 / API 570

TAG / LINE NO.	TEE, ELL, SP, RED	SIZE & CLASS	LOCATION CODE		NWT		PWT 2008		MWT 2009		Reading Interval (YEAR)	MAT		CR (inches per year)	RCA (inches)	RL (years)	REMARKS
			Present	Position	MM	INCH	MM	INCH	MM	INCH		MM	INCH				
CIS - CN10U - 5326	ELL 45	10"	03.20251	R	12.70	0.50	11.30	0.44	9.70	0.38	1.00	6.03	0.24	0.06	0.14	2.29	
			03.20252	L	12.70	0.50	10.30	0.41	10.00	0.39	1.00	6.03	0.24	0.01	0.16	13.23	
			03.20253	I	12.70	0.50	5.20	0.20	4.30	0.17	1.00	6.03	0.24	0.04	-0.07	-1.92	Under MAT
			03.20254	Ou	12.70	0.50	10.50	0.41	10.00	0.39	1.00	6.03	0.24	0.02	0.16	7.94	
			03.20255	Od	12.70	0.50	10.60	0.42	9.80	0.39	1.00	6.03	0.24	0.03	0.15	4.71	
CIS - CN10T - 5325	SP	10"	03.2028C1	R	9.27	0.36	7.00	0.28	6.50	0.26	1.00	3.81	0.15	0.02	0.11	5.38	
			03.2028C2	L	9.27	0.36	7.10	0.28	6.20	0.24	1.00	3.81	0.15	0.04	0.09	2.66	
			03.2028C3	T	9.27	0.36	9.00	0.35	6.90	0.27	1.25	3.81	0.15	0.07	0.12	1.84	PWT 2007
			03.2028C4	B	9.27	0.36	6.90	0.27	5.00	0.20	1.00	3.81	0.15	0.07	0.05	0.63	
CIS - CN10T - 5325	ELL 90	10"	03.20361	T	9.27	0.36	9.40	0.37	8.50	0.33	1.00	3.81	0.15	0.04	0.18	5.21	
			03.20362	B	9.27	0.36	9.30	0.37	8.60	0.34	1.25	3.81	0.15	0.02	0.19	8.55	
			03.20363	I	9.27	0.36	8.90	0.35	8.60	0.34	1.00	3.81	0.15	0.01	0.19	15.97	
			03.20364	Ou	9.27	0.36	6.00	0.24	5.90	0.23	1.00	3.81	0.15	0.00	0.08	20.90	
			03.20365	Oc	9.27	0.36	5.60	0.22	4.30	0.17	1.00	3.81	0.15	0.05	0.02	0.38	
			03.20366	Od	9.27	0.36	5.90	0.23	4.60	0.18	1.00	3.81	0.15	0.05	0.03	0.61	
CIS - CN10T - 5325	SP	10"	03.2040A1	R	9.27	0.36	6.70	0.26	6.20	0.24	1.00	3.81	0.15	0.02	0.09	4.78	
			03.2040A2	L	9.27	0.36	6.70	0.26	6.30	0.25	1.00	3.81	0.15	0.02	0.10	6.22	
			03.2040A3	T	9.27	0.36	6.00	0.24	4.30	0.17	1.00	3.81	0.15	0.07	0.02	0.29	
			03.2040A4	B	9.27	0.36	5.80	0.23	5.10	0.20	1.00	3.81	0.15	0.03	0.05	1.84	
CIS - CN10T - 5325	ELL 90	8"	03.20431	T	8.18	0.32	7.00	0.28	6.90	0.27	1.00	3.56	0.14	0.00	0.13	33.40	
			03.20432	B	8.18	0.32	6.50	0.26	6.20	0.24	1.00	3.56	0.14	0.01	0.10	8.80	
			03.20433	I	8.18	0.32	4.50	0.18	4.10	0.16	1.00	3.56	0.14	0.02	0.02	1.35	
			03.20434	Ou	8.18	0.32	4.90	0.19	4.20	0.17	1.00	3.56	0.14	0.03	0.03	0.91	
			03.20435	Oc	8.18	0.32	4.80	0.19	4.40	0.17	1.00	3.56	0.14	0.02	0.03	2.10	
			03.20436	Od	8.18	0.32	5.40	0.21	5.00	0.20	1.00	3.56	0.14	0.02	0.06	3.60	
CIS - CN10T - 5325	ELL 90	8"	03.20441	T	8.18	0.32	6.30	0.25	5.90	0.23	1.00	3.56	0.14	0.02	0.09	5.85	
			03.20442	B	8.18	0.32	7.30	0.29	7.20	0.28	1.00	3.56	0.14	0.00	0.14	36.40	
			03.20443	I	8.18	0.32	4.00	0.16	3.10	0.12	1.00	3.56	0.14	0.04	-0.02	-0.51	Under MAT
			03.20444	Ou	8.18	0.32	6.30	0.25	5.90	0.23	1.00	3.56	0.14	0.02	0.09	5.85	
			03.20445	Oc	8.18	0.32	5.50	0.22	5.30	0.21	1.00	3.56	0.14	0.01	0.07	8.70	
			03.20446	Od	8.18	0.32	6.40	0.25	5.40	0.21	1.00	3.56	0.14	0.04	0.07	1.84	
CIS - CN10U - 5327	ELL 45	10"	03.20511	R	12.70	0.50	11.20	0.44	10.40	0.41	1.00	6.03	0.24	0.03	0.17	5.46	

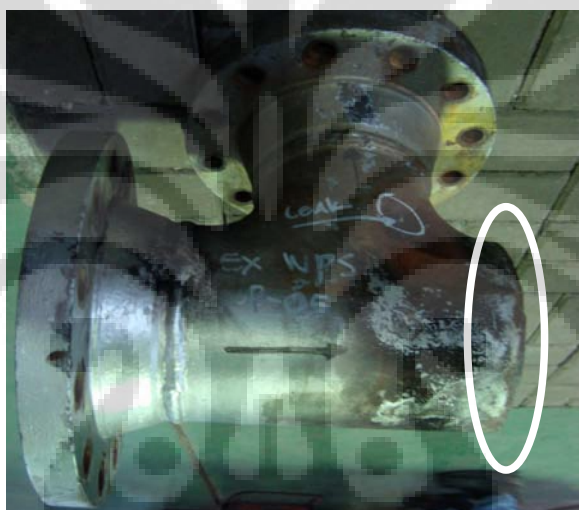
**Lampiran 26. Kegiatan Polarisasi di Lab**

Lampiran 27. Kegiatan pengambilan data ER probe di lapangan:



Tabel 3.1. Data lapangan dan kondisi operasi

Material	A106 Grade B
Diameter dalam	
1. Sisi kiri	161 - 161.5 mm
2. Sisi kanan	158.8 - 158.3 mm
3. Sisi atas	158.8 - 158.7 mm
Diameter luar	170.85 - 170.9 mm
Tebal	0,24 inchi
Temperatur operasi	26 - 40°C
Tekanan operasi pipa	300-350 psi
Flow rate	380 -400 Kph
Umur operasi	14 tahun



Posisi sampel di lapangan.

Bagian bertanda putih (sebelah kanan) mengalami penutupan dan pembukaan secara berkala