



TUGAS AKHIR - ME141501

ANALISA LAJU KOROSI PADA PIPA BAJA KARBON DAN PIPA GALVANIS DENGAN METODE ELEKTROKIMIA

**Franky Yonatan Hutauruk
NRP. 4215 105 017**

**Dosen Pembimbing
Sutopo Purwono Fitri, ST.M.Eng., Ph.D**

**Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - ME141501

ANALYSIS OF CORROSION RATE OF CARBON STEEL PIPE AND GALVANIC PIPE USING ELECTROCHEMICAL METHODS

Franky Yonatan Hutauruk
NRP. 4215 105 017

Supervisor
Sutopo Purwono Fitri, ST.M.Eng., Ph.D

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA LAJU KOROSI PADA PIPA BAJA KARBON DAN PIPA GALVANIS DENGAN METODE ELEKTROKIMIA

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Machinery and System (MMS)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Franky Yonatan Hutauruk
NRP. 4215 105 017

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Sutopo Purwono Fitri, ST.Meng., ph.D
NIP.197510062002121003



(.....)

SURABAYA

Juli 2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA LAJU KOROSI PADA PIPA BAJA KARBON DAN PIPA GALVANIS DENGAN METODE ELEKTROKIMIA

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Machinery and System (MMS)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Franky Yonatan Hutauruk
NRP. 4215 105 017

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.

NIP. 197708022008011007

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Franky Yonatan Hutauruk
NRP : 4215105017
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul “ Analisa Laju Korosi pada Pipa Baja Karbon dan Pipa Baja Galvanis dengan Metode Kehilangan Berat” adalah bebas dari plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya
Yang membuat pernyataan,

Franky Yonatan Hutauruk
NRP 4215105017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALISA LAJU KOROSI PADA PIPA BAJA KARBON DAN PIPA GALVANIS DENGAN METODE ELEKTROKIMIA

Nama : Franky Yonatan Hutauruk
NRP : 4215105017
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan – FTK ITS
Dosen Pembimbing : Sutopo Purwono Fitri, ST.M.Eng., Ph.D

Abstrak

Salah satu kerusakan pada pipa di kapal adalah korosi yang diakibatkan air laut. Kondisi lingkungan yang tropis dengan tingkat humiditas yang tinggi menjadikan pipa baja pada kapal akan lebih mudah terkorosi. Perawatan terhadap korosi pada sistem perpipaan sangat diperlukan untuk menjaga pipa dalam keadaan layak operasi.

Penelitian ini menggunakan spesimen pipa baja karbon dan pipa galvanis dengan menggunakan metode elektrokimia. Penelitian ini membahas tentang laju korosi pada pipa baja karbon dan pipa galvanis dengan variasi salinitas (NaCl), waktu perendaman dan variasi kecepatan aliran yang berdasarkan standart pada ASTM.

Dari hasil penelitian pada pengujian laju korosi didapatkan nilai laju korosi dengan satuan mm/yr. Berdasarkan hasil penelitian, nilai laju korosi pada pipa baja karbon dengan salinitas 30%, 60% dan 90% waktu perendaman 120 jam adalah 0.0339 mm/tahun, 0.55654 mm/tahun, 0.3143002 mm/tahun. Nilai laju korosi pada pipa galvanis dengan 30%, 60% dan 90% waktu perendaman salinitas 120 jam adalah 0.09688 mm/tahun dan 0.1526525 mm/tahun, 0.103402 mm/tahun. Nilai laju korosi pada pipa baja karbon dengan salinitas 30% dan 60% waktu perendaman 720 jam adalah 0.33621 mm/tahun dan 0.793289 mm/tahun. Nilai laju korosi pada pipa galvanis dengan waktu perendaman salinitas 30% dan 60% 720 jam adalah 0.21755306 mm/tahun dan 0.278778 mm/tahun. Untuk ketahanan korosi termasuk kategori "Good". Berdasarkan hasil foto mikro, untuk kondisi morfologi permukaan pipa setelah korosi, terjadi korosi merata dan terdapat kerusakan permukaan setelah terjadi korosi.

Kata Kunci : ASTM, NaCl, Laju Korosi, Pipa Baja Karbon, Pipa Baja Galvanis, Salinitas.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALYSIS OF CORROSION RATE OF CARBON STEEL PIPE AND GALVANIC PIPE USING ELECTROCHEMICAL METHODS

Name : Franky Yonatan Hutauruk
NRP : 4215105017
Department : Marine Engineering – FTK ITS
Supervisor : Sutopo Purwono Fitri, ST.M.Eng., Ph.D

Abstract

One of damage in pipes on the ship is impacted by sea water corrosion. Tropical environmental conditions with high humidity levels make steel pipe on the ship will be more easily corroded. Treatment against corrosion in piping system is needed to keep the pipe in a decent state of operation.

Research using Carbon steel pipe and Galvanic Pipe spesimens by using Electrochemical Method. This research discusses about the corrosion rate of the Carbon Steel Pipe and Galvanic Steel pipe with salinity variation (NaCl), immersion time and flowrate variation based on the ASTM G31-72, ASTM 102 – 89, ASTM 1 -90

The value of the corrosion rate of the spesimen pipe material in mm/yr are obtained from this research. Based on the results of the research, the value of the corrosion rate in carbon steel pipe with 30%, 60% and 90% of salinity immersion time 120 hr are 0.30339 mm/yr, 0.55654 mm/yr, 0.3143002 mm/yr. The value of the corrosion rate in Galvanic pipe with 30%, 60% and 90% of salinity immersion time 120 hr are 0.09688 mm/yr and 0.1526525 mm/yr, 0.103402 mm/yr. The value of the corrosion rate in carbon Steel pipe with 30% and 60% of salinity immersion time 720 hr are 0.33621 mm/yr and 0.793289 mm/yr. The value of the corrosion rate in Galvanic pipe with 30% and 60% of salinity immersion time 720 hr are 0.21755306 mm/yr and 0.278778 mm/yr. For corrosion resistance included in “Good” category. Based of the result from the micro photo, for morphological conditions of the pipe surface after corrosion, there is evenly corrosion and surface damage.

Keywords : ASTM, NaCl, Corrosion Rate, Steel Carbon Pipe, Galvanized Pipe, Salinity.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur saya panjatkan hanya kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan segala hikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisa Laju Korosi pada Pipa Baja Karbon dan Pipa Galvanis dengan Metode Elektrokimia” Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari jurusan Teknik Sistem Perkapalan. Dalam penulisan ini tentunya terdapat kendala dan hambatan yang mempengaruhi penulisan tugas akhir ini namun berkat bantuan ,nasihat dan saran dari semua pihak yang membantu khususnya dosen pembimbing tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Saya juga menyadari penulisan tugas akhir ini jauh dari kesempurnaan dan masih terdapat kekurangan-kekurangan didalamnya. Hal tersebut karena penulis menyadari keterbatasan-keterbatasan yang dimiliki. Untuk itu penulis meminta kritik dan saran yang membangun demi kemajuan pendidikan di kemudian hari.

Pada kesempatan kali ini izinkan saya mengucapkan terimakasih dengan segala hormat kepada pihak-pihak yang membantu saya yaitu:

1. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST, MT. Selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS, Surabaya
2. Bapak Adi Kurniawan ST., MT. Selaku Dosen Wali Mahasiswa LJ angkatan 2015
3. Bapak Sutopo Purwono Fitri ST, M.Eng., Ph.D selaku dosen pembimbing yang dengan setia membimbing dan memberi masukan sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
4. Laboratorium Elektrokimia Departemen Teknik Kimia sebagai tempat pengambilan data
5. Bapak, Mama, Abang dan adik-adik saya yang membantu secara moral, doa serta material
6. Keluarga saya yang senantiasa membantu saya dalam doa
7. Yoko Mashonia Panjaitan sebagai partner untuk berdiskusi.
8. Temen-teman NHKBP Manyar Surabaya yang membantu dalam doa
9. Semua Pihak yang membantu saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini

Semoga Tuhan yang membalas segala kebaikan yang telah diberikan dan kesuksesan terwujud kepada semuanya.

Surabaya, Juli 2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Korosi	3
2.1.1 Mekanisme Korosi.....	4
2.2 ASTM	12
2.3 Salinitas.....	13
2.4 Pipa	13
2.4.1 Pipa Baja Karbon.....	14
2.4.2 Pipa Baja Galvanis.....	15
2.5 Laju Korosi	15
2.5.1 Metode Elektrokimia	15
2.5.2 Penelitian Laju Korosi Metode Elektrokimia	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Metodologi Penelitian.....	19
3.1.1 Identifikasi Masalah	19
3.1.1 Metode Percobaan	24
3.1.1 Langkah Percobaan.....	27
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Komposisi Kimia Baja.....	29
4.1.1 Komposisi Kimia Sampel.....	29
4.1.2 Kandungan Kimia pada Spesimen.....	30
4.2 Pembuatan Aparatus	30
4.2.1 Pemotongan Spesimen Uji.....	31
4.2.2 Polish Spesimen Uji.....	31
4.2.3 Persiapan Larutan Uji	32
4.2.4 Perendaman Spesimen pada Setiap Salinitas.....	34
4.2.5 Pembersihan Laju Korosi	34
4.3 Pengukuran Laju Korosi	35
4.3.1 Wadah Uji.....	35
4.3.2 Potensiostat Autolab	35

4.3.3 Sel 3 Elektroda.....	36
4.4 Hasil Laju Korosi	36
4.4.1 Hasil Pengujian Pada Perendaman 120 Jam.....	36
4.4.2 Hasil Pengujian Pada Perendaman 720 Jam.....	43
4.4.3 Hasil Pengujian Pada Kecepatan Aliran 3.95 m/hr	48
4.5 Perhitungan Data	50
4.5.1 Perhitungan Spesimen Baja Karbon Salinitas 3 ⁰ / ₀₀	50
4.6 Analisa Data Hasil Pengujian	52
4.6.1 Perbandingan Laju Korosi Karbon Galvanis.....	56
4.6.2 Perbandingan Laju Korosi Variasi Kecepatan.....	62
4.7 Analisa Pengaruh Salinitas	64
4.8 Analisa Pengaruh Waktu Perendaman	65
4.9 Kategori Kerusakan Material oleh Korosi.....	66
4.6.2 Ketahanan Material Terhadap Laju Korosi	67
4.10 Analisa Hasil Mikro.....	68
4.10.1 Struktur Mikro pipa Baja Karbon.....	68
4.10.1 Struktur Mikro pipa Galvanis	68
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	71
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komponen Utama dalam Pembentukan Korosi	4
Gambar 2.2 Korosi Merata.....	6
Gambar 2.3 Korosi Galvanik	6
Gambar 2.4 Korosi Sumuran.....	7
Gambar 2.5 Korosi Celah.....	7
Gambar 2.6 Korosi Retak Tegang.....	8
Gambar 2.7 Korosi Intergranular	8
Gambar 2.8 Korosi <i>Selective Leaching</i>	9
Gambar 2.9 Korosi Atmosfer	9
Gambar 2.10 Korosi <i>Cracking Stress</i>	10
Gambar 2.11 Korosi Erosi.....	11
Gambar 2.12 Sel Tiga Elektroda	17
Gambar 3.1 Kalibrasi dan Validasi	20
Gambar 3.2 Flowchart Penelitian.....	21
Gambar 3.3 <i>Flowchart Perancangan Aparatus</i>	22
Gambar 3.4 <i>Flowchart Pembuatan Aparatus</i>	22
Gambar 3.5 <i>Flowchart</i> Pengerjaan Penelitian.....	23
Gambar 3.6 <i>Flowchart</i> Eksperimental Method.....	23
Gambar 3.7 <i>Flowchart</i> Pembuatan Aparatus	24
Gambar 4.1 Proses Pemotongan Pipa	31
Gambar 4.2 Spesimen yang Telah Dipotong	31
Gambar 4.3 Kertas Pasir untuk <i>Polish</i> Spesimen.....	32
Gambar 4.4 Larutan Aquades.....	32
Gambar 4.5 Pengadukan NaCl dengan Menggunakan <i>Stiring</i>	33
Gambar 4.6 Larutan Aquades dengan Variasi Salinitas.....	33
Gambar 4.7 Saltmeter dengan Salinitas 3	33
Gambar 4.8 Saltmeter dengan Salinitas 6	34
Gambar 4.9 Perendaman Pipa Galvanis pada Larutan NaCl	34
Gambar 4.10 Perendaman Pipa Karbon pada Larutan NaCl.....	34
Gambar 4.11 Pembersihan Hasil Korosi Menggunakan Larutan Kimia.....	35
Gambar 4.12 Wadah Elektrolit.....	35
Gambar 4.13 Bagian sel 3 Elektroda.....	36
Gambar 4.14 Contoh Grafik pada Baja Karbon Perendaman 120 jam	36
Gambar 4.15 Contoh Grafik pada Galvanis Perendaman 120 jam	40
Gambar 4.16 Contoh Grafik pada Baja Karbon Perendaman 720 jam	43
Gambar 4.17 Contoh Grafik pada Galvanis Perendaman 720 jam	45
Gambar 4.18 Grafik Karbon dan Galvanis Variasi Kecepatan Aliran	48
Gambar 4.19 Contoh Grafik Tafel dari Karbon salinitas 9	51
Gambar 4.20 Laju Korosi pada Kecepatan Aliran 3.95 m/hr.....	59
Gambar 4.21 Laju Korosi pada Kecepatan Aliran 3.3 m/hr.....	62
Gambar 4.22 Laju Korosi Berdasarkan Salinitas	64

Gambar 4.23 Laju Korosi Pengaruh Perendaman.....	66
Gambar 4.24 Struktur Mikro Pipa Baja Karbon	68
Gambar 4.24 Struktur Mikro Pipa Galvanis.....	68

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Korosi atau pengkaratan merupakan fenomena kimia pada bahan–bahan logam yang pada dasarnya merupakan reaksi logam menjadi ion pada permukaan logam yang kontak langsung dengan lingkungan ber-air dan oksigen. Dalam dunia perkapalan, material logam merupakan bahan baku utama dari pembuatan kapal. Kerugian yang ditimbulkan oleh korosi yaitu terjadinya penurunan kekuatan material dan biaya perbaikan akan naik jauh lebih besar dari yang diperkirakan. Logam dalam hal ini baja, diharapkan mampu bertahan terhadap serangan korosi sehingga masa pakai (life time) dari baja akan lama. Ketahanan material logam terhadap laju korosi sangat penting karena kapal akan berhubungan langsung dengan air laut maupun muatan yang di angkut. Sehingga dibutuhkan material yang tahan cukup lama terhadap laju korosi. Saat ini, pipa atau material yang digunakan pada fabrikasi kapal telah mengalami kemajuan dalam hal ketahanan terhadap proses korosi.

Salah satu material yang sering dipakai dalam instalasi sistem yaitu pipa baja karbon dan pipa galvanis. Salah satu permasalahan yang sering dialami oleh pipa tersebut adalah korosi yang terjadi . Pipa yang sering dialiri oleh fluida sangat rentan mengalami korosi dalam praktiknya. Dengan melihat alasan dasar tersebut, penelitian yang berjudul “ Analisa Laju Korosi Pipa Baja Karbon dan Pipa Galvanis dengan Menggunakan Metode Elektrokimia ” ini memiliki tujuan untuk mengetahui laju korosi ada material pipa Pipa Baja Karbon dan pipa Galvanis

Pada penelitian perhitungan laju korosi ini dengan metode Elektrokimia yaitu dengan menggunakan 3 sel elektroda yang merupakan pengujian laju korosi dengan polarisasi dari potensial korosi bebasnya dan untuk mempercepat proses dilakukan perlakuan pada permukaan spesimen (Heri Supomo, 2012). Setelah mendapatkan hasil dari laju korosi maka akan digambarkan grafik perbandingan tingkat laju korosi pada masing-masing pipa dan mengetahui berapa lama material-material tersebut akan diganti.

Dalam tugas akhir ini diharapkan dapat mengetahui perilaku laju korosi dan morfologi permukaan pada material setelah korosi terjadi.

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang sudah dijelaskan diatas, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa nilai laju korosi pada spesimen uji?
2. Bagaimana nilai laju korosi yang terjadi pada setiap spesimen uji berdasarkan kategori ketahanan relatif korosi?
3. Bagaimana morfologi permukaan spesimen yang ter korosi?

1.3 Tujuan Skripsi

Dari Dari penelitian yang dilakukan akan ditentukan beberapa tujuan terhadap analisa laju korosi yang terjadi pada pipa dengan metode elektrokimia. Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen uji.
2. Untuk mengetahui nilai laju korosi yang terjadi pada setiap spesimen uji

- berdasarkan kategori ketahanan relatif korosi?
3. Untuk mengetahui morfologi permukaan spesimen yang ter korosi.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini terdiri dari :

1. Material yang digunakan adalah pipa baja dan pipa galvanis
2. Menggunakan metode sel 3 elektroda atau metode elektrokimia dalam perhitungan laju korosi
3. Tidak membahas dari segi ekonomi
4. Media korosi adalah NaCl dengan salinitas 30 dan 60

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian laju korosi ini adalah:

1. Bagi Institusi
Menjadi referensi untuk mahasiswa yang akan mengambil penelitian mengenai laju korosi.
2. Bagi Mahasiswa
Menjadi referensi untuk mahasiswa yang akan mengambil penelitian mengenai laju korosi. Menambah pengetahuan mengenai laju korosi dan menyelesaikan Tugas Akhir sebagai persyaratan menyelesaikan perkuliahan.
3. Bagi Unit Perusahaan/Galangan
Menjadi referensi untuk melakukan pergantian komponen yang mengalami korosi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korosi

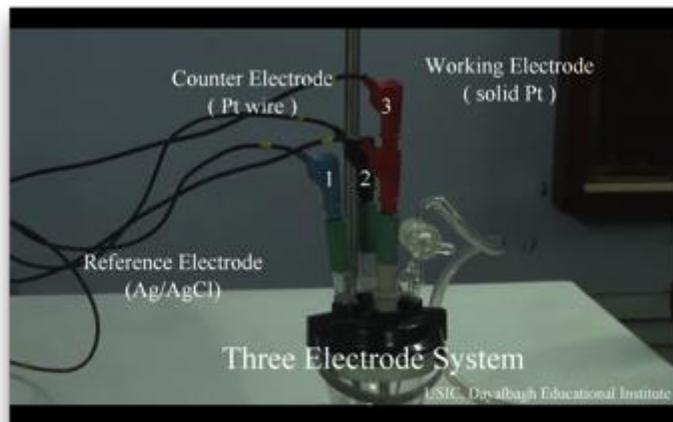
Korosi adalah penurunan kualitas yang disebabkan oleh reaksi kimia bahan logam dengan unsur-unsur lain yang terdapat di alam. Laju korosi bergantung pada suhu, konsentrasi reaktan, jumlah mula-mula partikel (massa) logam, dan faktor mekanik seperti tegangan. Korosi dapat dianggap sebagai proses balik dari pemurnian logam atau ekstraksi. Pada umumnya logam yang terdapat di alam berbentuk senyawa, seperti senyawa oksida, sulfida, karbonat, dan silikat.

Energi logam sangat rendah dalam bentuk senyawa. Sedangkan dalam keadaan unsur tunggal, logam mempunyai ketidakstabilan sehingga energinya (energi potensial) sangat besar. Unsur-unsur logam bersenyawa dengan unsur lain untuk mencapai kestabilan dengan melepaskan energi. Contohnya untuk mereduksi besi oksida yang terdapat di alam menjadi unsur (bahan) besi dibutuhkan energi *thermal*.

Dengan demikian, keadaan unsur besi tersebut mempunyai energi yang tinggi. Oleh karena itu, secara spontan logam besi akan bereaksi kembali dengan oksigen yang terdapat di alam membentuk besi oksida. Bentuk-bentuk korosi dapat berupa korosi merata, korosi galvanik, korosi sumuran, korosi celah, korosi retak tegang (*stress corrosion cracking*), korosi retak fatik (*corrosion fatigue cracking*), korosi akibat pengaruh hidrogen (*corrosion induced hydrogen*), korosi intergranular, *selective leaching*, dan korosi erosi.

Ada 4 komponen yang berperan dalam terjadinya proses korosi, yaitu:

1. Anoda : Melepaskan electron (terkorosi)
Reaksinya : $M \rightarrow Mn^+ + ne^-$
2. Katoda : Menerima Elektron
Reaksinya ada beberapa kemungkinan :
 - Evolusi Hidrogen : $2 H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$
 - Reduksi Oksigen (diudara) : $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$
 - dll
3. Larutan (elektrolit)
4. Jalur logam penghubung katoda dan anoda (Yudha K, 2015)



Gambar 2. 1 Komponen Utama dalam pembentukan korosi

2.1.1 Mekanisme Korosi

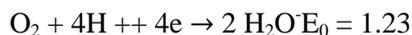
Mekanisme korosi tidak terlepas dari reaksi elektrokimia. Reaksi elektrokimia melibatkan perpindahan elektron-elektron. Perpindahan elektron merupakan hasil reaksi redoks (reduksi-oksidasi). Mekanisme korosi melalui reaksi elektrokimia melibatkan reaksi *anodic* di daerah *anodic*. Reaksi *anodic* (oksidasi) diindikasikan melalui peningkatan valensi atau produk elektron-elektron. Reaksi *anodic* terjadi pada proses korosi logam yaitu:



Proses korosi dari logam M adalah proses oksidasi logam menjadi satu ion (n^+) dalam pelepasan elektron. Harga dari n bergantung dari sifat logam sebagai contoh yaitu:



Kedua reaksi menghasilkan potensial reaksi yang positif ($E = 0.84 \text{ Volt}$) menunjukkan bahwa reaksi ini dapat terjadi. Jika proses ini dalam suasana asam maka, proses reaksinya adalah:



Dan potensial reaksinya semakin besar yaitu:

$$E = (0.44 + 1.23) = 1.63 \text{ Volt}$$

Dengan kata lain proses korosi besi akan lebih mudah terjadi dalam suasana asam. Pada logam yang sama, salah satu bagian permukaannya dapat menjadi anoda dan bagian permukaan lainnya menjadi katoda. Hal ini bisa saja terjadi karena

kemungkinan logam terdiri dari fase yang berbeda, karena permukaan logam dilapisi dengan kondisi *coating* yang berbeda, atau karena di permukaan logam terdapat lebih dari satu macam elektrolit. Jenis korosi yaitu sebagai berikut:

1. Korosi Merata

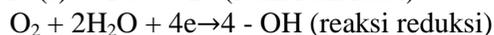
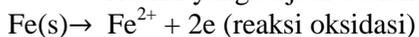
Korosi merata adalah korosi yang terjadi secara serentak di seluruh permukaan logam, oleh karena itu pada logam yang mengalami korosi merata akan terjadi pengurangan dimensi yang relatif besar per satuan waktu. Kerugian langsung akibat korosi merata berupa kehilangan material konstruksi, keselamatan kerja dan pencemaran lingkungan akibat produk korosi dalam bentuk senyawa yang mencemarkan lingkungan. Sedangkan kerugian tidak langsung antara lain berupa penurunan kapasitas dan peningkatan biaya perawatan (*preventive maintenance*). Kerusakan material yang diakibatkan oleh korosi merata yang ditunjukkan pada Tabel 2. 1

Tabel 2. 1 Kerusakan Material Oleh Korosi Merata
(Sumber : Tabel Fontana (1987: 172))

Ketahanan Relatif Korosi	mpy (<i>mill per year</i>)	mm/yr	$\mu\text{m/yr}$	nm/h
<i>Outstanding</i>	< 1	< 0.02	<25	< 2
<i>Excellent</i>	1-5	0.02 - 0.1	25 - 100	2 - 10
<i>Good</i>	5-20	0.1 - 0.5	100 - 500	10 - 150
<i>Fair</i>	20-50	0.5 - 1	500 - 1000	50 - 150
<i>Poor</i>	50-200	1 - 5	1000 - 5000	150 - 500
<i>Unexceptable</i>	200 +	5 +	5000 +	500 +

Korosi merata yang terjadi pada logam besi prosesnya ditunjukkan pada Gambar 2. 2.

Reaksi yang terjadi adalah :





Gambar 2. 2 Korosi Merata (Corrosionclinic, 2013)

2. Korosi Galvanik

Korosi galvanik terjadi apabila dua logam yang tidak sama dihubungkan dan berada di lingkungan korosif. Salah satu dari logam tersebut akan mengalami korosi, sementara logam lainnya akan terlindungi dari serangan korosi. Logam yang mengalami korosi adalah logam yang memiliki potensial yang lebih rendah dan logam yang tidak mengalami korosi adalah logam yang memiliki potensial yang lebih tinggi. Contoh dari korosi galvanik ditunjukkan pada Gambar 2. 3.



Gambar 2. 3 Korosi Galvanik (Corrosionclinic, 2013)

3. Korosi Sumuran

Korosi sumuran adalah korosi lokal yang terjadi pada permukaan yang terbuka akibat pecahnya lapisan pasif. Terjadinya korosi sumuran ini diawali dengan pembentukan lapisan pasif dan elektrolit terjadi penurunan pH, sehingga terjadi pelarutan lapisan pasif secara perlahan-lahan dan menyebabkan lapisan pasif pecah sehingga terjadi korosi sumuran. Korosi sumuran ini sangat berbahaya karena lokasi terjadinya sangat kecil tetapi sangat dalam, sehingga dapat menyebabkan peralatan (struktur) patah mendadak. Contoh dari korosi sumuran ditunjukkan pada Gambar 2. 4.



Gambar 2. 4 Korosi Sumuran(*Scribd.com/korosi*)

4. Korosi Celah

Korosi celah adalah korosi lokal yang terjadi pada celah diantara dua komponen. Mekanisme terjadinya korosi celah ini diawali dengan terjadinya korosi merata di luar dan di dalam celah, sehingga terjadi oksidasi logam dan reduksi oksigen. Pada suatu saat oksigen (O_2) didalam celah habis, sedangkan diluar celah masih banyak. Akibatnya permukaan logam yang berhubungan dengan bagian luar menjadi katoda dan permukaan logam didalam menjadi anoda sehingga terbentuk celah yang terkorosi. Contoh dari korosi celah ditunjukkan pada Gambar 2. 5.



Gambar 2. 5 Korosi Celah (*Scribd.com/korosi*)

5. Korosi Retak Tegang, Korosi Retak Fatik, dan Korosi Akibat Pengaruh Hidrogen.

Korosi retak tegang, korosi retak fatik dan korosi akibat pengaruh hidrogen adalah bentuk korosi dimana material mengalami keretakan akibat pengaruh lingkungannya. Korosi retak tegang terjadi pada paduan logam yang mengalami tegangan tarik statis di lingkungan tertentu, seperti baja tahan karat sangat rentan terhadap nitrat. Korosi retak fatik terjadi akibat tegangan berulang di lingkungan korosif, sedangkan korosi akibat pengaruh hidrogen terjadi karena berlangsungnya difusi hidrogen kedalam kisi paduan. Contoh dari korosi retak tegang ditunjukkan pada Gambar 2. 6



Gambar 2. 6 Korosi Retak Tegang (*Corrosionclinic*, 2013)

6. Korosi Intergranular

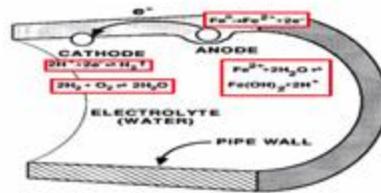
Korosi intergranular adalah bentuk korosi yang terjadi pada paduan logam akibat terjadinya reaksi antar unsur logam di batas butirnya. Seperti yang terjadi pada baja tahan karat *austenitic* apabila diberi perlakuan panas. Contoh dari korosi intergranular ditunjukkan pada Gambar 2. 7.



Gambar 2. 7 Korosi Intergranular Pada Pipa (*Scribd.com/korosi*)

7. Korosi *Selective Leaching*

Selective leaching adalah korosi selektif dari satu atau lebih komponen dari paduan larutan padat. Hal ini juga disebut pemisahan, pelarutan selektif atau serangan selektif. Contoh *dealloying* umum adalah dekarburisasi, *decobaltification*, *denickelification*, *dezincification*, dan korosi *graphitic*. Mekanisme *selective leaching* adalah logam yang berbeda dan paduan memiliki potensial yang berbeda (atau potensial korosi) pada elektrolit yang sama. Paduan modern mengandung sejumlah unsur paduan berbeda yang menunjukkan potensial korosi yang berbeda. Beda potensial antara elemen paduan menjadi kekuatan pendorong untuk serangan preferensial yang lebih "aktif" pada elemen dalam paduan tersebut. Dalam kasus *dezincification* dari kuningan, seng istimewa terlarut dari paduan tembaga-seng, meninggalkan lapisan permukaan tembaga yang keropos dan rapuh. Contoh dari korosi *selective leaching* tegang ditunjukkan pada Gambar 2. 8.



Gambar 2. 8 Selective Leaching Corrosion (Mechanical engineering, 2012)

8. Korosi Atmosfer

Korosi ini terjadi akibat proses elektrokimia antara dua bagian benda padat khususnya metal besi yang berbeda potensial dan langsung berhubungan dengan udara terbuka. Contoh dari korosi atmosfer tegang ditunjukkan pada Gambar 2. 9.

Faktor-faktor yang menentukan tingkat karat atmosfer, yaitu:

- Jumlah zat pencemar di udara (debu, gas), butir-butir arang, oksida metal.
- Suhu
- Kelembaban kritis
- Arah dan kecepatan angin
- Radiasi matahari
- Jumlah curah hujan



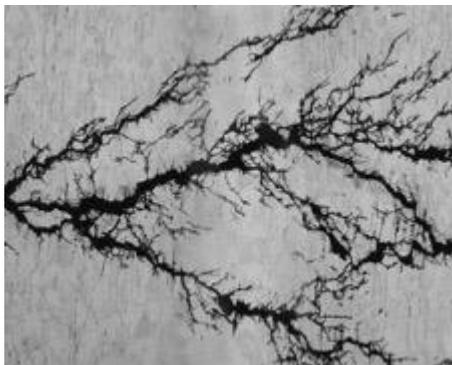
Gambar 2. 9 Korosi Atmosfer (Scribd.com/korosi)

9. Korosi Regangan

Korosi ini terjadi karena pemberian tarikan atau kompresi yang melebihi batas ketentuannya. Kegagalan ini sering disebut Retak Karat Regangan (RKR) atau *stress corrosion cracking*. Sifat jenis retak ini sangat spontan (tiba-tiba terjadinya/spontaneous), regangan biasanya bersifat internal yang disebabkan oleh perlakuan yang diterapkan seperti bentukan dingin atau merupakan sisa hasil pengerjaan (residual) seperti pengelingan atau pengepresan dan lai-lain.

Untuk material kuningan jenis KKR disebut *season cracking*, dan pada material *low carbon steel* disebut *caustic embrittlement* (kerapuhan basa), karat

ini terjadi sangat cepat dalam hitungan menit, yakni jika semua persyaratan untuk terjadinya karat regangan ini telah terpenuhi pada suatu momen tertentu yakni adanya regangan internal dan terciptanya kondisi korosif yang berhubungan dengan konsentrasi zat karat (*corrodent*) dan suhu lingkungan. Contoh dari korosi regangan tegang ditunjukkan pada Gambar 2. 9



Gambar 2. 10 Stress Corrosion Cracking(Corrosionclinic, 2013)

10. Korosi Arus Liar

Korosi arus liar ialah merasuknya arus searah secara liar tidak disengaja pada suatu konstruksi baja, yang kemudian meninggalkannya kembali menuju sumber arus. Pada titik dimana arus meninggalkan konstruksi akan terjadi serangan karat yang cukup serius sehingga dapat merusak konstruksi tersebut.

Terdapat 2 jenis sel arus yang dipaksakan, yaitu:

a. Sel arus liar yang terjadi secara eksidental (tidak disengaja)

Seperti arus liar pada kereta api listrik, yang melaju disamping atau berdekatan dengan pipa air minum di dalam tanah yang terbuat dari baja galvanis atau baja berlapis beton sebelah dalam dan berbalut (*wrapped*) sebelah luar. Keretakan terjadi pada daerah keluarnya arus liar yang berasal dari rel kereta listrik tersebut. Tempat dimana arus liar masuk ke dalam pipa, menjadi katoda, sedangkan dimana arus liar meninggalkan pipa menjadi anoda dan berkarat. Karat akhirnya dapat melubangi pipa PDAM tersebut.

b. Sel arus paksa disengaja

Seperti sel perlindungan katodik pada pipa bawah tanah, arus berasal dari sumber arus listrik searah menuju elektroda dan melalui tanah arus mengalir dari elektroda ke pipa sehingga pipa menjadi katoda yang tidak berkarat. Selanjutnya arus kembali ke sumber (*rectifier*).

11. Korosi Erosi

Korosi erosi ialah proses perusakan pada permukaan logam yang disebabkan oleh aliaran fluida yang sangat cepat. Korosi erosi dapat dibedakan pada 3 kondisi, yaitu :

a. Kondisi aliran laminar

- b. Kondisi aliran turbulensi
 c. Kondisi peronggaan.
 Korosi erosi disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu:
- Perubahan drastis pada diameter lubang bor atau arah pipa.
 - Penyekat pada sambungan yang buruk pemasangannya.
 - Adanya celah yang memungkinkan fluida mengalir di luar aliran utama
 - Adanya produk korosi atau endapan lain yang mengganggu aliran laminar. Contoh dari korosi erosi ditunjukkan pada Gambar 2. 11.



Gambar 2. 11 Korosi Erosi Pada Pipa (*Mechanicalengineering, 2012*)

Berikut merupakan sistem paduan penyebab korosi berdasarkan kondisi lingkungan:

Tabel 2. 2 Sistem Paduan Zat Penyebab Karat dan Kondisi Lingkungan

Sistem Paduan	Lingkungan
Paduan Aluminium	<ul style="list-style-type: none"> • Klorida • Udara industri yang lembab • Udara laut
Paduan Tembaga	<ul style="list-style-type: none"> • Ion aluminium • Amina
Paduan Nikel	<ul style="list-style-type: none"> • Hidroksida terkonsentrasi dan panas • Uap asam Hidrofluida (<i>hydrofluoric</i>)
Baja Karbon Rendah	<ul style="list-style-type: none"> • Hidroksida terkonsentrasi dan mendidih • Nitrat yang terkonsentrasi dan mendidih • Produk penyuling destruktif dari batu bara

Sistem Paduan	Lingkungan
Baja “ <i>Oil-Country/Oil Field</i> ”	H ₂ S dan CO ₂
Baja paduan rendah berkekuatan tinggi	Klorida
Baja air noda Baja <i>austenitic</i> (seri 300)	<ul style="list-style-type: none"> • Klorida mendidih • Hidroksida terkonsentrasi dan mendidih • Asam politionik
Baja feritik dan Baja <i>martensitic</i> (seri 400) Klorida	Air pendingin <i>reactor</i>
Baja “ <i>maraging</i> ” (18%Ni)	Klorida
Paduan Titanium	<ul style="list-style-type: none"> • Klorida • <i>Metalalcohol</i> • Klorida padat suhu diatas 550⁰F

2.2 ASTM (*American Society for Testing and Material*)

ASTM Internasional merupakan organisasi internasional sukarela yang mengembangkan standarisasi teknik untuk material, produk, sistem dan jasa. ASTM Internasional yang berpusat di Amerika Serikat. ASTM dibentuk pertama kali pada tahun 1898 oleh sekelompok insinyur dan ilmuwan untuk mengatasi bahan baku besi pada rel kereta api yang selalu bermasalah. Sekarang ini, ASTM mempunyai lebih dari 12.000 buah standar. Standar ASTM banyak digunakan pada negara-negara maju maupun berkembang dalam penelitian akademisi maupun industry.

ASTM G102-89 merupakan standard yang digunakan untuk melakukan percobaan perhitungan laju korosi terhadap spesimendengan metode elektrokimia. ASTM G102 – 89 berkaitan dengan standar lainnya yang mengatur tentang persiapan awal spesimen sampai pembersihan spesimen (G1-90) dan untuk perendaman spesimen terhadap larutan korosif diatur pada standart ASTM G31-72. Sehingga pada standar ASTM G102-89 dijelaskan prosedur dan faktor-faktor yang mempengaruhi mulai dari pencelupan spesimen dan partikel partikel tes metode Elektrokimia. Adapun faktor-faktor yang akan dibahas pada ASTM G102 – 89 ini adalah persiapan spesimen yang akan diteliti, apparatus, test kondisi, metode pembersihan spesimen, evaluasi hasil, dan perhitungan laju korosi.

2.3 Salinitas

Salinitas merupakan jumlah dari seluruh garam-garaman dalam gram pada setiap kilogram air laut. Secara praktis, susah untuk mengukur salinitas di laut, oleh karena itu penentuan harga salinitas dilakukan dengan meninjau komponen yang terpenting saja yaitu klorida (Cl). Menurut teori, zat-zat garam tersebut berasal dari dalam dasar laut melalui proses outgassing, yakni rembesan dari kulit bumi di dasar laut.

Salinitas dapat diukur dengan menggunakan berbagai macam alat, seperti Refraktometer dan Salinometer. Pengukuran konvensional dari salinitas adalah dengan konduktivitas elektrik dari ekstrak jenuh, nilai daya hantar listrik (DHL) mencerminkan kadar garam terlarut. Pada umumnya satuan salinitas adalah per mil (‰), yaitu jumlah berat total (gr) material padat seperti NaCl yang terkandung dalam 1000 gram air. Salinitas merupakan bagian dari sifat fisik-kimia suatu perairan, selain suhu, pH dan substrat.

Kisaran salinitas air laut adalah 30-35 ‰, air tawar 0,5-5 ‰. Kandungan garam sebenarnya pada air ini, secara definisi kurang dari 0,05 ‰. Jika lebih dari itu air dikategorikan sebagai air payau atau menjadi *saline* bila konsentrasinya 3-5% lebih dari 5% disebut *brine*.

2.4 Pipa

Pipa adalah benda berbentuk lubang silinder dengan lubang di tengahnya yang terbuat dari logam maupun bahan-bahan lain sebagai sarana pengaliran atau transportasi fluida berbentuk cair, gas maupun udara. Fluida yang mengalir ini memiliki temperatur dan tekanan yang berbeda-beda. Pipa biasanya ditentukan berdasarkan nominalnya sedangkan *tube* adalah salah satu jenis pipa yang ditetapkan berdasarkan diameternya. Proses pembuatan pipa secara umum ada 3 yaitu: Pipa baja *seamless*, pipa baja *welded*, pipa besi *ductile*.

2.4.1 Pipa Baja Karbon

Baja Karbon murni akan mengalami korosi di hampir semua lingkungan atmosfer bila kelembaban melebihi 60%. Komposisi baja, pada permukaan dan sudut eksposurnya sangat berpengaruh terhadap laju korosi, penambahan karbon, mangan dan silikon cenderung mengurangi laju korosi. Dalam lingkungan tertentu dapat saja medianya bersifat asam netral, lembab, panas dan ada yang menunjang zat-zat reaktif yang juga dapat menimbulkan masalah korosi. Dari segi teori, korosi tidak mungkin sepenuhnya dapat dicegah karena memang merupakan proses alamiah bahwa semua logam akan kembali ke sifat asalnya. Asal dari tanah kembali ke tanah, asal dari bijih besi kembali ke oksida besi. Walaupun demikian pengendalian korosi harus dilakukan secara maksimal, karena dilihat dari segi ekonomi dan segi keamanan merupakan hal yang tidak mungkin ditinggalkan.

Pipa baja karbon adalah salah satu jenis pipa yang banyak dipakai di dunia industri. Beberapa jenis industri yang memiliki produksi atau jenis fluida yang cenderung memiliki sifat berupa suhu yang ekstrim layaknya sangat panas, tekanan yang sangat besar, atau sifat dan kekuatan yang besar layaknya industri minyak bumi atau bahkan gas memakai jenis pipa ini mengingat kemampuannya untuk memindahkan fluida dengan sifat di atas dengan sangat baik.

Salah satu jenis pipa baja karbon yang banyak digunakan di industri tanah air adalah pipa spiral atau dalam bahasa aslinya adalah *spiral welded pipe*. Kata spiral sendiri berasal dari bentuk luaran permukaan dari jenis pipa ini yang memiliki pola spiral karena bahan baku pembuatannya berupa pelat baja strip yang disambung-sambung menjadi satu dengan pola layaknya spiral dan membentuk pipa.

Pipa baja karbon diklasifikasikan menurut komposisi kimia yang terkandung di dalamnya. Pipa baja dan fitting merupakan paduan dari besi (Fe) dan karbon (C), dan mengandung karbon kurang dari 1,7%. Klasifikasi baja dalam tiga kelompok, yaitu: Carbon steel, low alloy steel dan high alloy steel. Baja karbon terdiri dari besi, karbon kurang dari 1,7%, mangan kurang dari 1,65%, sejumlah silikon (Si), aluminium (Al), dan batas kontaminan seperti belerang (S), oksigen (O), nitrogen (N), dan tidak ada batas minimal yang ditentukan untuk elemen seperti Al, Cr, Co, Ni, Mo, Ni [ASM, ASTM A 941]. Baja karbon adalah bahan pipa yang paling umum dalam industri power plant, kimia, proses, hidrokarbon dan pipa industri. Spesifikasi pipa baja karbon umum digunakan dalam steam operation, air atau udara termasuk ASTM A106 dan ASTM A53. Baja ringan adalah baja karbon dengan kandungan karbon kurang dari 0,30%. Baja karbon menengah memiliki 0,30% sampai 0,60% karbon. Baja karbon tinggi memiliki karbon diatas 0,6%.

2.4.2 Pipa Baja Galvanis

Pipa Baja galvanis adalah Pipa baja lapis seng (Zn) yang mengandung bahan seng dengan tingkat kemurnian tinggi (99,7%) ditambah dengan sejumlah timah hitam dan aluminium dalam jumlah tertentu diproses dengan kondisi bebas oksidasi sehingga menghasilkan baja lapis seng dengan kualitas yang handal. Lapisan galvanis dibentuk oleh reaksi antara baja dengan seng pada temperatur galvanis, metalurgi baja dan kondisi permukaan akan mempengaruhi ketebalan hasil galvanis. Baja galvanis memiliki sifat yang dapat memperbaiki goresan kecil, baja terekspos ke udara luar akan ditutup kembali oleh seng. Hal ini terjadi karena seng di sekitarnya akan terserap dan mengendap pada baja tersebut mengganti apa yang sebelumnya hilang karena goresan.

2.5 Laju Korosi

Laju korosi adalah tebal material yang hilang tiap satuan waktu yang disebabkan oleh adanya. Satuan laju korosi disini bermacam macam sesuai satuan yang akan digunakan.dengan mm/th (standar internasional) atau mill/year (mpy, British). (Supriyanto, 2007). Karena hampir semua korosi adalah merupakan suatu reaksi elektrokimia, semua yang mempengaruhi kecepatan suatu reaksi kimia atau jumlah arus yang mengalir akan mempengaruhi laju korosi. Hukum Ohm dapat diterapkan untuk bagian elektrik dari sel korosi. Laju korosi berbanding lurus dengan sejumlah arus yang mengalir pada sel korosi elektrokimia. Jika arus dapat diukur, suatu kalkulasi yang tepat dari kehilangan metal dapat ditentukan. Ini berarti bahwa suatu pengukuran dalam ampere atau milliampere secara matematis dihitung dalam kilogram (pound) per tahun. Satu Amp tahun adalah satu Ampere yang mengalir selama periode satu tahun. Logam yang berbeda memiliki laju korosi yang berbeda.

2.5.1 Metode Elektrokimia

Metode elektrokimia adalah metode mengukur laju korosi dengan mengukur beda potensial objek hingga didapat laju korosi yang terjadi. Metode ini mengukur laju korosi pada saat diukur saja, dimana memperkirakan laju tersebut dengan waktu

yang panjang. Menurut klasifikasi mekanisme terjadinya korosi ini termasuk korosi temperature rendah (*low temperature corrosion/ wet corrosion*). Kelebihan metode ini adalah kita langsung dapat mengetahui laju korosi pada saat diukur, hingga waktu pengukuran tidak memakan waktu yang lama. Pengujian laju korosi dengan metode elektrokimia dengan polarisasi dari potensial korosi bebasnya dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang didasar pada Hukum Faraday (Fontana, 1987: 193)

$$CR = K \frac{a.i}{n.D} \text{ mmpy}$$

Keterangan :

K = Konstanta (0,129 mpy, 0,00327 mmpy)

a = Berat atom logam terkorosi (gram/mol)

i = Kerapatan arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

n = Jumlah electron yang dilepas pada logam terkorosi

D = Densitas logam terkorosi (gram/cm^3)

Konversi: 1 mpy: 0,0254 mm/yr = 25,4 $\mu\text{m}/\text{yr}$ = 2,90 nm/yr = 0,805 pm/SG

Konversi laju korosi kesatuan yang lain:

1 mpy = 1000 ipy

1 mpy = 0.0254 mm/tahun

1 mpy = 25.4 $\mu\text{m}/\text{tahun}$

1 mpy = 12,100 in/bulan

1 mpy = 2.90 nm/jam

1 mpy = 0.0694 d gr/m² tahun

2.5.1.1 Polarisasi

Logam tidak berada dalam kesetimbangan dengan larutan yang mengandung ion-ion nya, potensial elektrodanya berbeda dari potensial korosi bebas dan selisih antara keduanya biasa disebut polarisasi (Trethewey,1991). Simbol yang digunakan untuk polarisasi adalah μ . Potensial elektroda akan berubah selama berlangsungnya proses korosi, potensial anoda cenderung naik dan potensial katoda cenderung turun, dengan demikian perbedaan antara anoda dan katoda menjadi lebih kecil. Potensial yang terukur dari suatu logam yang terkorosi adalah potensial gabungan dari anoda dan katoda yang terpolarisasi, disebut potensial korosi (E_{corr}). Besarnya arus pada potensial korosi disebut arus korosi (I_{corr}). Menurut hukum Faraday laju korosi dari suatu anoda adalah sebanding dengan arus korosi. Laju korosi biasanya dinyatakan dengan laju pengurangan berat luas dan laju penipisan, satuan yang biasa digunakan adalah mpy (mils per year). Hubungan antara rapat arus dengan laju korosi dapat dihitung dengan rumus:

(Fontana, 1978)

$$R = 0.129 \frac{I_{corr} (Ew)}{\rho} \text{ mmpy}$$

Keterangan:

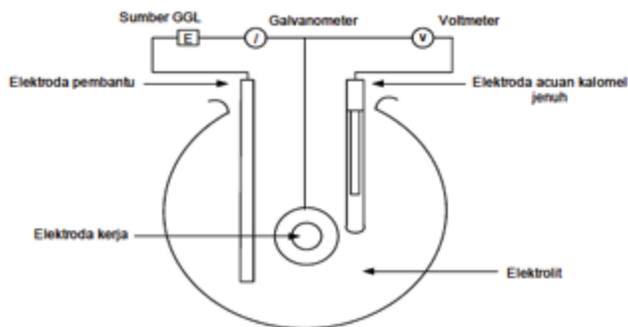
R = laju korosi (mpy)

I_{corr} = rapat arus korosi ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

E_w = berat ekivalen (gram/ekivalen)
 ρ = berat jenis (gram/cm³)

2.5.1.2 Sel Tiga Elektroda

Sel tiga elektroda adalah perangkat laboratorium baku untuk penelitian kuantitatif terhadap sifat-sifat korosi bahan yang merupakan kesempurnaan dari sel korosi basah (Trethewey, 1991), sel tiga elektroda itu antara lain :



Gambar 2. 12 Sel Tiga elektroda (Sutrisna, 2008)

a. Elektroda kerja (*working electrode*)

Elektroda kerja (*working electrode*) adalah istilah yang dipakai untuk menggantikan elektroda yang sedang diteliti. Elektroda kerja dapat disiapkan dengan cara memasang sebuah spesimen kecil dalam resin pendingin tetapi spesimen harus mempunyai hubungan listrik yang dapat disiapkan sebelum pemasangan.

b. Elektroda pembantu (*counter electrode*)

Elektroda pembantu berfungsi untuk mengangkut arus dalam rangkaian yang terbentuk dalam penelitian tetapi elektroda pembantu tidak dapat digunakan untuk pengukuran potensial. Bahan dari elektroda pembantu ini biasanya menggunakan batang karbon, selain batang karbon bias juga menggunakan platina dan emas.

c. Elektroda Acuan (*Reference Electrode*)

Elektroda ini adalah sebagai titik dasar untuk mengacu pengukuran elektroda kerja. Arus yang mengalir melalui elektroda ini harus kecil bil tidak elektroda ini akan ikut dalam reaksi sel, sehingga potensialnya tidak lagi konstan.

2.5.2 Penelitian Tentang Laju Korosi Metode Elektrokimia

Jurnal yang terkait dengan judul Tugas Akhir ini yaitu penelitian yang dilakukan oleh Sutrisna, 2008 “Pengaruh Konsentrasi larutan $AL_2(SO_4)$ Terhadap ketahanan Korosi Baja Galvanis Pada Pipa Air Minum” Jurusan Teknik Mesin,

Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta. Pada penelitian ini peneliti memilih pipa galvanis sebagai objek percobaan dengan variasi konsentrasi larutan kimia $Al_2(SO_4)_3$ sebagai media korosif untuk mendapatkan laju korosi yang terjadi pada pipa tersebut. Penelitian ini menggunakan bahan pipa baja galvanis, untuk mengetahui laju korosi dari pengaruh konsentrasi larutan $Al_2(SO_4)_3$ 10 ml, 20 ml, 30 ml, 40 ml ditambah 0,1 % NaOCl digunakan teknik polarisasi dengan metode sel tiga elektroda. Setelah melakukan pencelupan spesimen diuji dengan alat potensiostat autolab dan menggunakan *software* NOVA untuk menghitung laju korosi. Pengujian lain yang dilakukan yaitu pengujian mekanis (tarik, kekerasan) dan pengujian struktur mikro.

Jurnal lain yang menjadi referensi saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yaitu Jurnal yang ditulis oleh Heri Supomo, 2003 dengan judul “ Studi Perbandingan Laju Korosi dengan Variasi cacat *Coating* Pada Pipa API 5L Dengan Media Korosi. Pada penelitian dipilih Pipa baja A5L sebagai objek penelitian untuk mendapatkan laju korosi. Pada jurnal ini dijelaskan bahwa setiap spesimen diberi cacat *coating* yang dilakukan dengan menggunakan mesin CNC. Langkah selanjutnya yaitu menghitung laju korosi dengan menggunakan alat Potensiostat Autolab dengan media larutan NaCl dengan salinitas 35. Setelah mendapatkan laju korosi terhadap setiap spesimen, akan dibandingkan dan kemudian digambarkan dengan grafik. Kemudian dilakukan pemindaian terhadap permukaan spesimen dengan menggunakan Mikroskop Pemindai Elektron (SEM). Hal ini dilakukan untuk mengetahui informasi tentang topografi permukaan spesimen uji, komposisi, dan sifat-sifat lain seperti konduktivitas listrik.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Metode Penelitian yang dilakukan dalam kasus ini adalah metode eksperimen, yaitu peneliti membeli 2 jenis pipa (pipa baja karbon, dan pipa galvanis). Kemudian untuk pengujian laju korosi pada pipa tersebut akan disediakan wadah perendaman dengan media air laut dengan salinitas 30% dan 60%. Variasi perendaman pipa setiap 120 jam akan diteliti laju korosi yang terjadi, dan waktu perendaman maksimal 720 jam atau setara 30 hari. Setelah hasil laju korosi pada setiap variasi waktu perendaman akan digambarkan dalam grafik untuk mengetahui perbedaan laju korosi yang terjadi.

3.1.1 Identifikasi Masalah

Pengidentifikasi dalam masalah penelitian ini, untuk mengetahui tentang penggunaan pipa yang diteliti dalam dunia perkapalan maupun di dunia industri.

1. Studi Literatur

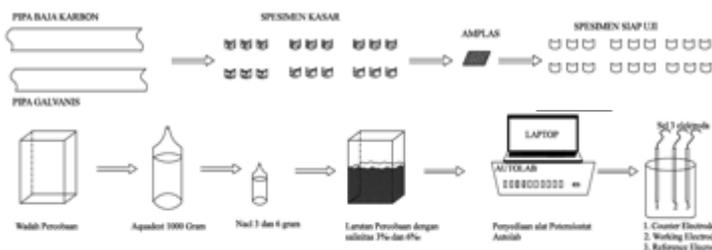
Studi literatur dilakukan untuk mempelajari teori-teori dasar yang dapat menunjang permasalahan yang ada. Studi literatur dapat didapatkan dari beberapa sumber seperti, buku, jurnal, tugas akhir maupun internet. Pada penelitian ini, studi literatur tersebut mengacu tentang perhitungan laju korosi yang terjadi pada pipa baja khususnya dengan menggunakan metode elektrokimia.

2. Studi Empiris

Studi empiris dilakukan dengan mempelajari laju korosi yang terjadi. Dalam hal ini dilakukan dengan mempelajari hasil paper dan tugas akhir karya orang lain dan melakukan perkiraan perhitungan laju korosi yang terjadi pada pipa baja yang akan diteliti.

3. Perancangan Aparatus

Pada Tahap ini akan dilakukan penyediaan semua perlengkapan sebelum dilaksanakannya penelitian laju korosi pada pipa. Alat dan bahan yang dibutuhkan yaitu alat ukur laju korosi Potensiostat Autolab, foto mikro, gerinda, kertas pasir, pipa Baja karbon, pipa galvanis, wadah perendaman, larutan dengan variasi salinitas.



Gambar 3. 1 Kalibrasi dan Validasi

Kalibrasi dan validasi perlu dilakukan guna mendapatkan data hasil pengamatan yang sesuai dengan perancangan yang direncanakan. Kalibrasi

dilakukan pada alat uji laju korosi, salinitas larutan yang sesuai dengan keperluan dan peralatan yang akan digunakan dalam pengambilan data. Pada tahap kalibrasi dan validasi penulis akan memutuskan sistem yang dirancang sesuai atau tidak untuk keperluan percobaan. Jika semua sudah sesuai maka akan dilanjutkan ke tahap percobaan aparatus. Jika tidak sesuai maka akan kembali pada tahap perancangan aparatus sampai sistem yang diharapkan sesuai dengan kebutuhan percobaan.

4. Proses Percobaan dan Pengambilan Data

Dalam tahap ini akan dilakukan perendaman pipa pada wadah berisi larutan NaCl dengan variasi salinitas (3% dan 6%) yang sudah disediakan. Terdapat beberapa wadah, masing-masing spesimen dipisah agar tidak mempengaruhi hasil dari perendaman pipa lainnya. Spesimen direndam dalam larutan tersebut dengan memberi variasi waktu perendaman (120 jam dan 720 jam). Kemudian benda uji tersebut akan dihitung laju korosi dengan menggunakan Potensiostat Autolab, yang alat tersebut disambungkan dengan tabung percobaan dengan sel 3 elektroda.

5. Proses Perhitungan Laju Korosi

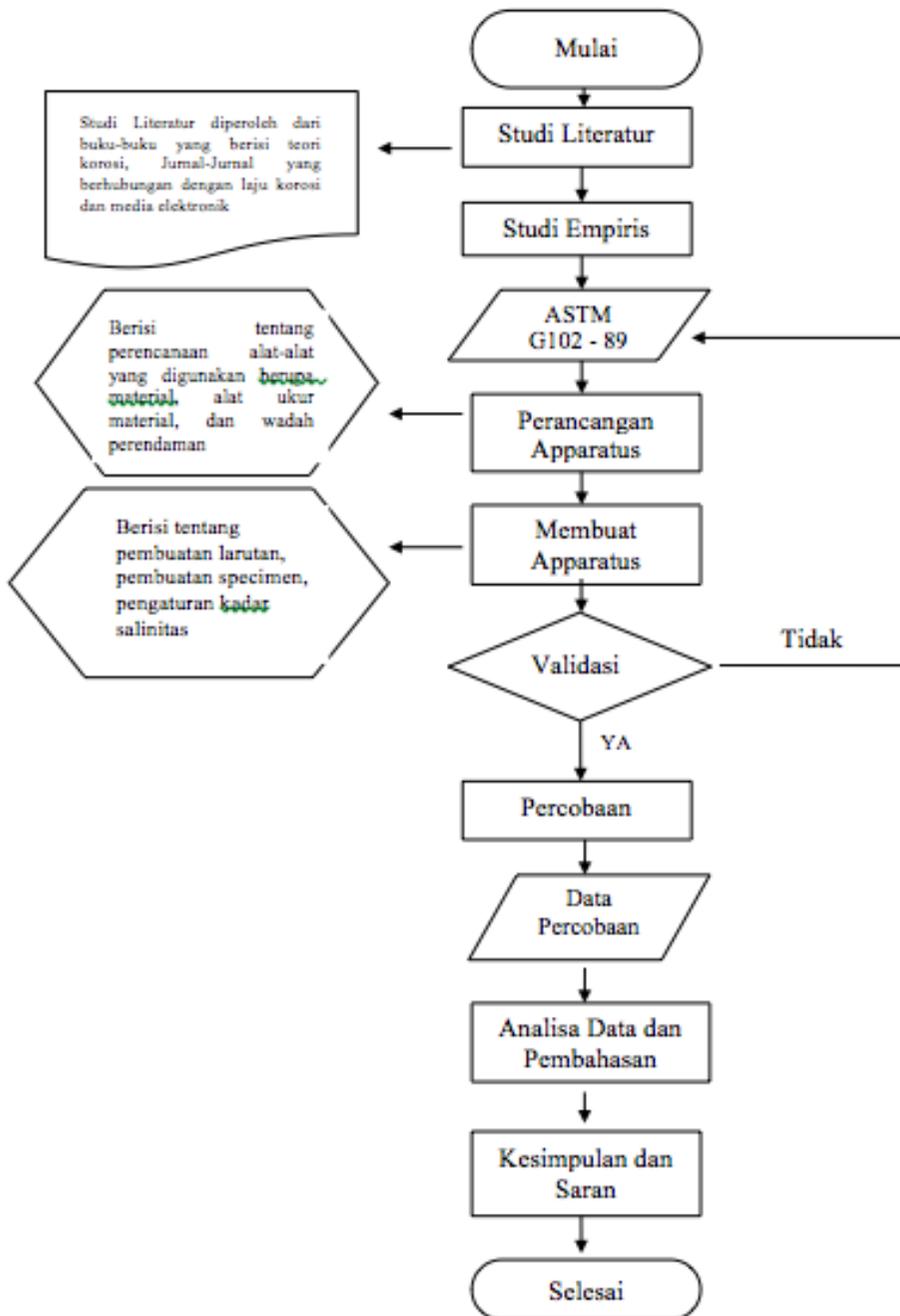
Pipa yang direndam dalam wadah akan diteliti setiap rentang waktu 120 jam untuk dicatat laju korosi yang terjadi, hal ini dilakukan sampai dengan waktu 720 jam. Dan setiap 120 jam spesimen akan dihitung laju korosi yang terjadi pada pipa tersebut dengan menggunakan alat Potensiostat Autolab di Lab. Elektrokimia di Jurusan Teknik Kimia. Hasil korosi akan ditampilkan pada aplikasi NOVA yang terhubung dengan Potensiostat Autolab.

6. Proses Pengolahan dan analisa Data

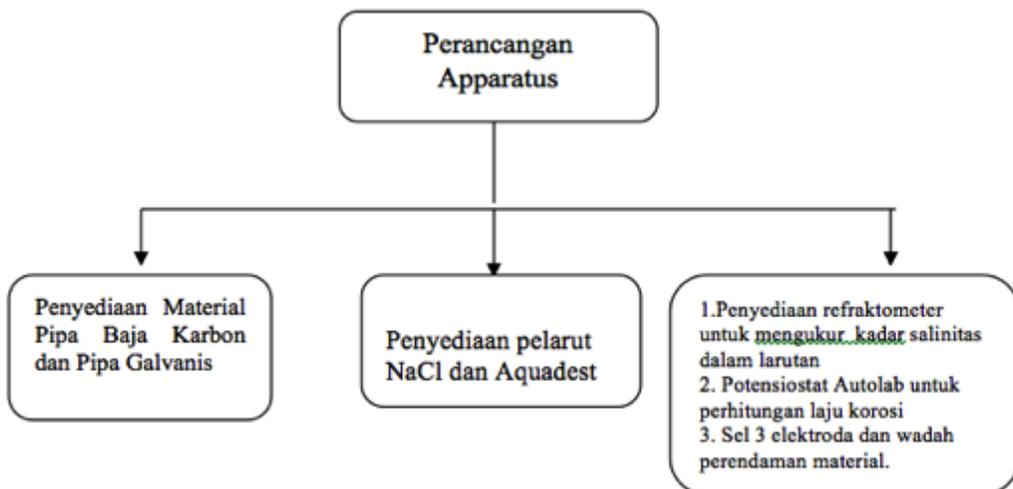
Pada proses ini akan dilakukan pengolahan semua data yang diperoleh selama 720 hari waktu perendaman. Data data tersebut akan dianalisa laju korosi yang terjadi pada masing-masing pipa. Data yang didapat akan dilakukan perbandingan berupa grafik, hubungan besar nilai laju korosi yang terjadi antara salinitas larutan, waktu perendaman dan material dari spesimen uji yang digunakan dalam percobaan.

7. Kesimpulan dan Saran

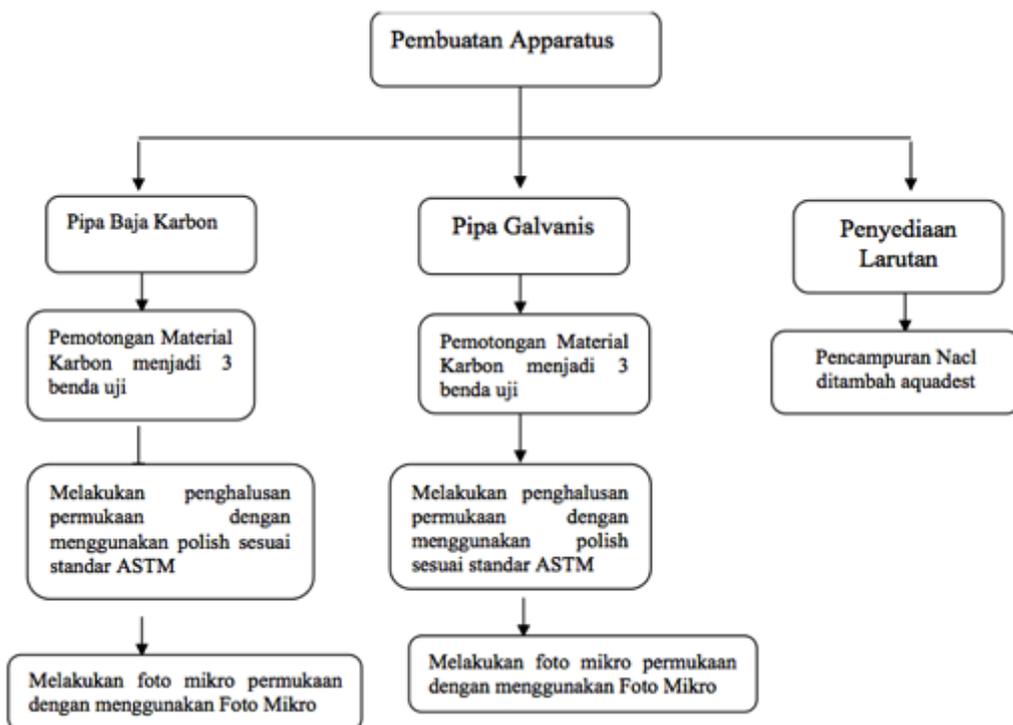
Setelah semua tahapan dilakukan, maka selanjutnya adalah menarik kesimpulan analisa data dan percobaan. Diharapkan nantinya hasil kesimpulan dapat menjawab permasalahan yang menjadi tujuan dari skripsi ini. Selain itu, diperlukan saran berdasarkan hasil penelitian untuk perbaikan tugas akhir supaya lebih sempurna.



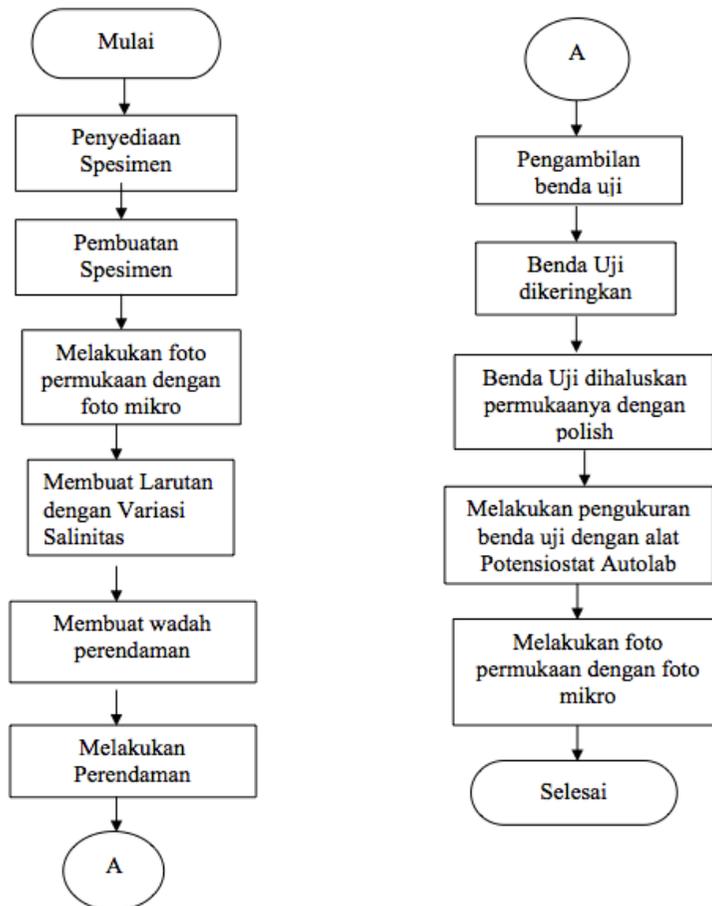
Gambar 3. 2 Flowchart Penelitian



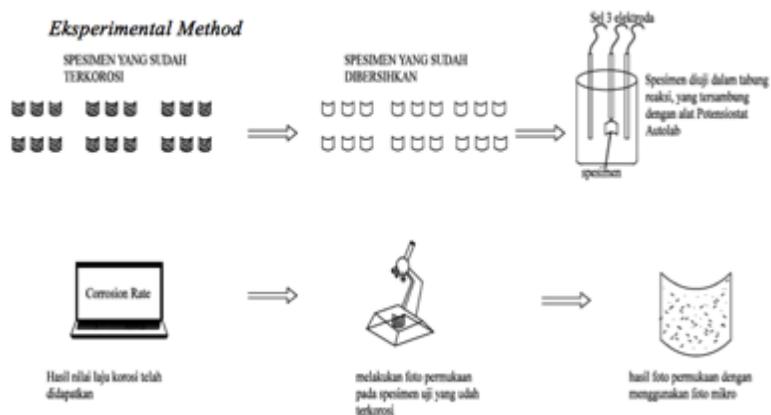
Gambar 3. 3 Flowchart Perancangan Asparatus



Gambar 3. 4 Flowchart Pembuatan Asparatus



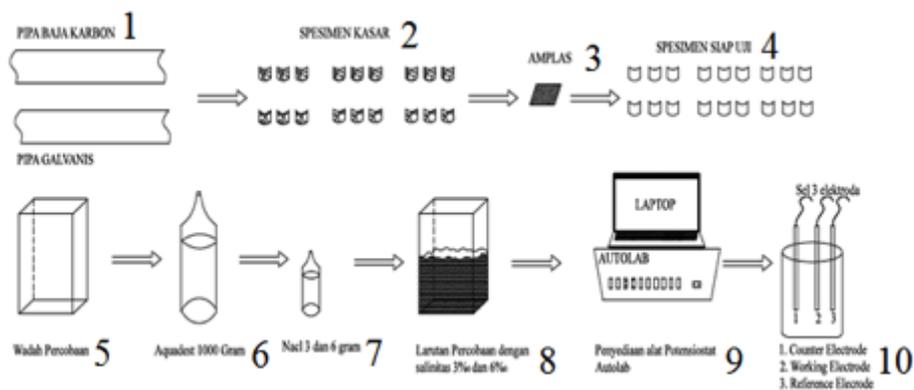
Gambar 3. 5 Flowchart Pengerjaan Penelitian



Gambar 3. 6 Flowchart Eksperimental Method

3.1.2 Metode Percobaan

Dalam penelitian ini dilakukan percobaan dengan menggunakan beberapa alat dan bahan yang menunjang dalam pengambilan data. Peralatan dan bahan yang digunakan sebagai berikut:



Gambar 3. 7 Flowchart Pembuatan Asparatus

Tabel 3. 1 Tabel Alat dan Bahan Untuk Percobaan

No	Nama	Gambar	Keterangan
1	Pipa Baja karbon dan pipa galvanis		Material : Baja Karbon dan Galvanis Inside diameter : 2" Schedule : 40 Panjang: 300 mm
2	Spesimen Kasar		Spesimen akan dipotong dengan ukuran: Panjang : 20 mm Lebar : 10 mm Tebal : 10 mm
3	Amplas		<i>Merk : Eagle</i> <i>Abrasive papers and paper</i> <i>1000 grit Dimension : 9" x 11"</i> <i>Wet Dry Waterproof</i>

No	Nama	Gambar	Keterangan
4	Spesimen siap uji		Spesimen akan dipotong dengan ukuran: Panjang : 20 mm Lebar : 10 mm Tebal : 10 mm
5	Wadah Percobaan		Dimensi Panjang : 35 cm Lebar : 20 mm Tinggi : 20 mm
6	Aquades		pH : 5.5 – 7.0 (SNI) Mineral : 0%
7	NaCl		<ul style="list-style-type: none"> • Rumus molekul : NaCl • Penampilan : tidak berwarna, berbentuk Kristal putih • Densitas : 2.16 g/cm³ • Titik lebur : 801 °C • Titik didih : 1465 °C • Kelarutan dalam air : 25 °C

No	Nama	Gambar	Keterangan
8	Potensiostat Autolab		<ul style="list-style-type: none"> • Potential range : +/- 10V • Compliance Voltage : +/- 30V • Potential Accuracy : +/- 0.2 % • Potential Resolution : +/- 0.3 μV • Potensiostat Bandwidth : 1 Mhz • Computer Interface : USB • Control Software : NOVA
9 10	Sel 3 (Tiga) elektroda SEM(Scanning Electron Microscop)		<ul style="list-style-type: none"> • Working electrode • Reference Electroda • Counter Electroda <p>Alat yang digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan pipa yang sudah terkorosi. Dapat digunakan sampai perbesaran 30.000 kali</p>

3.1.3 Langkah Percobaan

Adapun langkah-langkah percobaan yaitu:

1. Penyediaan alat uji yaitu Pipa Karbon dan Pipa Galvanis Schedule 40 dengan ketebalan sama 6mm
2. Pemotongan Pipa Karbon menjadi spesimen dengan ukuran 20mm X 20 mm X 6mm sebanyak 9 buah untuk percobaan 120 jam dan 720 jam
3. Validasi ukuran dengan menggunakan jangka sorong
4. Spesimen dibersihkan dari kotoran dengan menggunakan polish
5. Pembuatan larutan uji dengan campuran aquadest ditambah NaCl dengan kadar salinitas larutan 0.3 %- 0.6 %. Setiap percobaan dibedakan larutan ujinya.
6. Benda uji yang sudah dibersihkan kemudian direndam didalam larutan sesuai dengan lama waktu percobaan dan kadar salinitas
7. Pembersihan benda uji dengan perendaman larutan dengan hydrocholic acid (HCL, 1000ml) untuk Pipa Baja Karbon, silver Nitrate ($AgNO_3$ 50 gr) untuk Pipa Galvanis
8. Melakukan pengukuran berat dengan Neraca Analitis
9. Melakukan pengukuran ketebalan dengan menggunakan alat ultra sonic test
10. Melakukan foto permukaan dengan foto Mikro

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Komposisi Kimia Baja

Baja adalah logam paduan dengan logam besi sebagai unsur dasar dengan beberapa elemen lainnya termasuk karbon. Kandungan unsur karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% berat sesuai grade-nya. Elemen berikut ini selalu ada dalam baja: karbon, mangan, fosfor, sulfur, silikon, dan sebagian kecil oksigen, nitrogen dan aluminium. Selain itu, ada elemen lain yang ditambahkan untuk membedakan karakteristik antara beberapa jenis baja diantaranya: mangan, nikel, krom, molybdenum, boron, titanium, vanadium dan niobium. Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Baja modern secara umum diklasifikasikan berdasarkan kualitasnya oleh beberapa lembaga-lembaga standar.

4.10.2 Komposisi Kimia Sampel

a. Karbon (C)

Mempunyai sifat keras tetapi getas. Fungsi karbon pada baja adalah mampu menjalani reaksi-reaksi kimia seperti reaksi substitusi (pergantian), reaksi adisi (penambahan), reaksi eliminasi (pengurangan). Karbon pada baja adalah sebagai lem atau zat perekat dan mempunyai sifat cukup tahan gesek terhadap benda ataspasir (tanah yang berpasir dan tidak mengandung silikon). Karbon membuat / membentuk struktur *Ferrite*, dimana struktur tersebut mempunyai kekerasan di atas 48HRC, tetapi tidak mempunyai sifat ketajaman.

b. Silikon (Si)

Mempunyai sifat elastis atau keuletan tinggi. Silikon juga menambah kekerasan dan ketajaman pada baja. Tapi penambahan silikon yang berlebihan akan menyebabkan baja tersebut mudah retak. Silikon berupa massa hitam mirip logam yang meleleh pada 1410°C. Unsur ini mempunyai kecenderungan yang kuat untuk berikatan dengan oksigen dan sifat seratnya tahan api.

c. Mangan (Mn)

Mempunyai sifat yang tahan terhadap gesekan dan tahan tekanan (Impact Load). Unsur ini mudah berubah kekerasannya pada kondisi temperatur yang tidak tetap dan juga digunakan untuk membuat alloy mangan tembaga yang bersifat feromagnetic.

d. Cromium (Cr)

Unsur ini digunakan sebagai pelindung permukaan baja dan tahan gesekan. Baja yang mengkilap, keras dan rapuh serta tahan terhadap korosi (karat) tetapi mempunyai keuletan yang rendah.

e. Molybdenum (Mo)

Mempunyai sifat tahan pekerjaan panas sehingga cocok untuk hotwork tool steel, batas pencampuran unsur ini max.7% juga berfungsi sebagai penetralisir kekerasan wolfram. Molybdenum merupakan unsur tambahan pembuat keuletan baja yang maksimum.

f. Nikel (Ni)

Mempunyai sifat yang ulet dan tahan terhadap bahan kimia dan untuk mengatasi korosi (karat) yang serius tetapi tidak mempunyai kekerasan yang tinggi. Merupakan

unsur yang dicampurkan kedalam baja untuk mengatasi kerusakan pada temperatur tinggi (dapat mencapai 1200° C).

g. Vanadium (V)

Baja berwarna putih perak dan sangat keras. Vanadium adalah bahan tambahan untuk pekerjaan panas karena sifat Vanadium tahan terhadap gesekan pada temperature yang tinggi.

h. Wolfram (W)

Diperlukan untuk ketajaman ,tahan terhadap temperatur tinggi dan Juga sangat tahan gesekan. Wolfram mempunyai temperatur sepuh yang sangat tinggi dan memerlukan tempering berulang-ulang kali sehingga sangat sulit dalam pengolahannya.

i. Cobalt (Co)

Sifatnya tahan gesek dan tahan panas pada temperatur tinggi. Kekerasan tinggi tapi bersifat getas. Berfungsi untuk membentuk *carbide*, meningkatkan kekerasan dan *hot strength*, yang sangat baik untuk ketajaman pada mata pisau.

4.10.2 Kandungan Kimia pada Spesimen

Berikut merupakan kandungan kimia pada spesimen yang digunakan:

1. *Chemical Properties* pada pipa Galvanis (PT. Sapta Sumber Lancar)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
0.20	0.23	0.43	0.019	0.009	0.023	0.012	0.008

2. *Chemical Properties* pada pipa Karbon (PT. Sapta Sumber Lancar)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
0.21	0.24	0.44	0.013	0.008	0.022	0.004	0.003

4.2 Pembuatan Aparatus

Sebelum melakukan tahap percobaan akan dilakukan penyediaan semua perlengkapan sebelum dilaksanakannya penelitian laju korosi pada pipa. Alat dan bahan yang dibutuhkan yaitu alat ukur laju korosi Potensiostat Autolab, foto mikro, gerinda, kertas pasir, pipa Baja karbon, pipa galvanis, wadah perendaman, larutan dengan variasi salinitas. Berikut rincian tahap yang akan dilakukan pada tahap ini.

4.10.2 Pemotongan Spesimen Uji

Pipa yang didapatkan dari galangan berupa 2 pipa utuh dengan panjang 40 cm $\varnothing_{\text{inside}}$ 2" sch 40. Pada percobaan ini yang dibutuhkan yaitu spesimen dengan bentuk *coupon*. Sehingga dibutuhkan pemotongan spesimen dengan ukuran 20 mm x 20 mm. Pada percobaan ini dibutuhkan 18 buah spesimen pipa dalam bentuk *coupon*. Pemotongan dilakukan dengan menggunakan mesin gerinda.



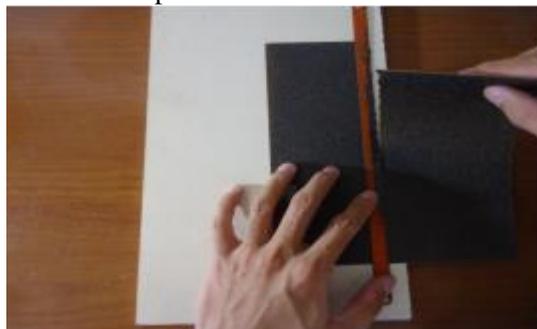
Gambar 4. 1 Proses Pemotongan Pipa



Gambar 4. 2 Spesimen yang Telah Dipotong

4.10.2 Polish Spesimen Uji

Pipa yang sudah dipotong dengan dimensi yang diinginkan. Penghalusan spesimen menggunakan kertas pasir (*sand paper*) grade 1000 dengan cara menggosok (searah) agar permukaan halus spesimen halus merata.



Gambar 4. 3 Kertas Pasir Untuk Polish Spesimen

4.10.2 Persiapan Larutan

4.2..1 Persiapan Alat dan Bahan

Berikut merupakan alat dan bahan yang digunakan:

- a. Wadah perendaman spesimen

Alat ini berfungsi sebagai wadah NaCl dengan salinitas yang sudah

ditentukan untuk perendaman spesimen uji. Standart perendaman yang digunakan sesuai dengan ASTM G31-72.

b. Aquades

Untuk pembuatan larutan *saline* diperlukan cairan yang berfungsi sebagai pelarut, dalam percobaan ini aquades ini digunakan untuk melarutkan NaCl.



Gambar 4. 4 Larutan Aquades

c. NaCl

Bahan kimia ini digunakan sebagai komponen pembuatan larutan garam (*saline*). NaCl akan dicampurkan dengan aquades sebagai pelarut.

d. Larutan NaCl 30 ‰ dan 60 ‰

NaCl dicampurkan dengan perbandingan 30 gram NaCl dan 1 liter aquades untuk salinitas 30 ‰. Jika ingin mendapatkan hasil persentase salinitas yang lebih pasti bisa menggunakan alat *salt meter*.



Gambar 4. 5 Pengadukan NaCL Dengan Menggunakan *Stiring*



Gambar 4. 6 Larutan Aquades dengan variasi salinitas



Gambar 4. 7 Salt Meter Dengan Salinitas 3



Gambar 4. 8 Salt Meter Dengan Salinitas 6

4.10.2 Perendaman Spesimen Pada Setiap Salinitas

Setelah spesimen dipotong sesuai dengan dimensi yang diinginkan, langkah selanjutnya yaitu melakukan perendaman kedalam larutan NaCl. Setiap spesimen uji akan diberikan 3 sample agar hasilnya lebih akurat. Setiap 3 spesimen uji (baja karbon dan galvanis) akan direndam pada larutan NaCl 30% dan begitu juga dengan larutan 60%. Sehingga pada setiap wadah larutan akan direndam 3 spesimen uji. Untuk waktu perendaman pertama akan dilakukan selama 120 jam (5 hari).



Gambar 4. 9 Perendaman Pipa Galvanis Pada Larutan NaCl



Gambar 4. 10 Perendaman Pipa Karbon Pada Larutan NaCl

4.10.2 Pembersihan Hasil Korosi

Sesuai dengan standart ASTM G1-90, digunakan pembersihan hasil korosi yang terjadi menggunakan larutan kimia. Untuk spesimen baja karbon digunakan HCl (Asam Klorida). Spesimen akan dimasukkan kedalam larutan HCl selama +- 20 menit dan untuk spesimen galvanis digunakan AgNO_3 (Silver Nitrate) dengan cara *boiling* selama 15-20 detik.



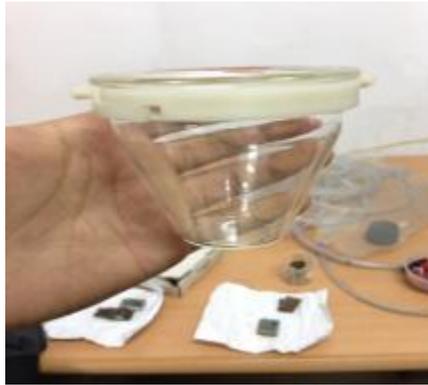
Gambar 4. 11 Pembersihan Hasil Korosi Dengan Menggunakan Larutan Kimia

4.3 Pengukuran Laju Korosi

Spesimen yang sudah dibersihkan dari hasil korosi selanjutnya akan dihitung laju korosi yang terjadi pada spesimen tersebut dengan menggunakan seperangkat alat Potensiostat Autolab (PGSTAT302N), yang terdiri dari beberapa alat:

4.10.2 Wadah uji

Volume larutan yang dapat ditampung wadah ini adalah 300 ml. Wadah akan berisi larutan elektrolit (NaCl 30% dan NaCl 60%).



Gambar 4. 12 Wadah Elektrolit

4.10.2 Potensiostat Autolab

Alat ini akan dihubungkan ke aplikasi NOVA yang akan menerima data-data yang didapatkan dari alat tersebut, seperti *I_{corr} (A)* , *Corrosion Rate (mmpy)*, *Polarization resistance (Ω)*.

4.10.2 Sel 3 Elektroda

Terdiri dari 3 elektroda yaitu elektroda kerja, elektroda bantu dan elektroda acuan.



Gambar 4. 13 Bagian Sel 3 Elektroda

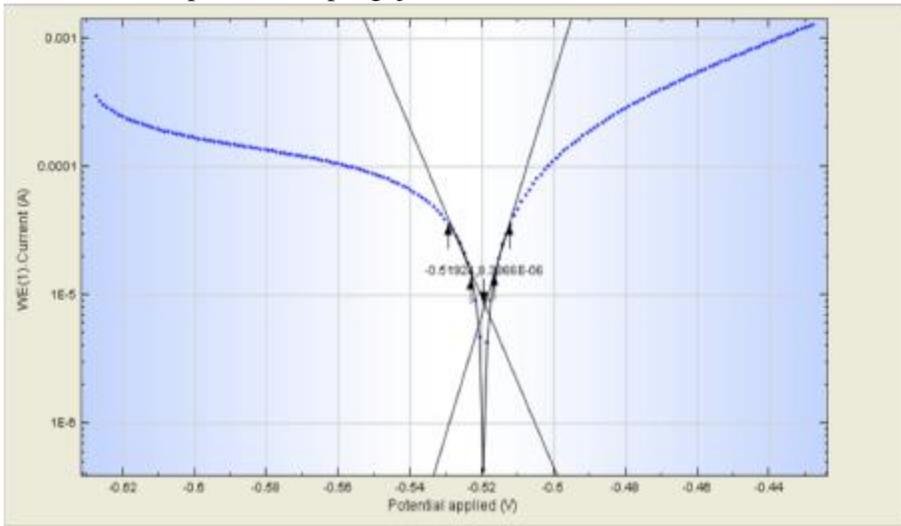
4.4 Hasil Laju Korosi

4.10.2 Hasil Pengujian Pada Perendaman 120 Jam

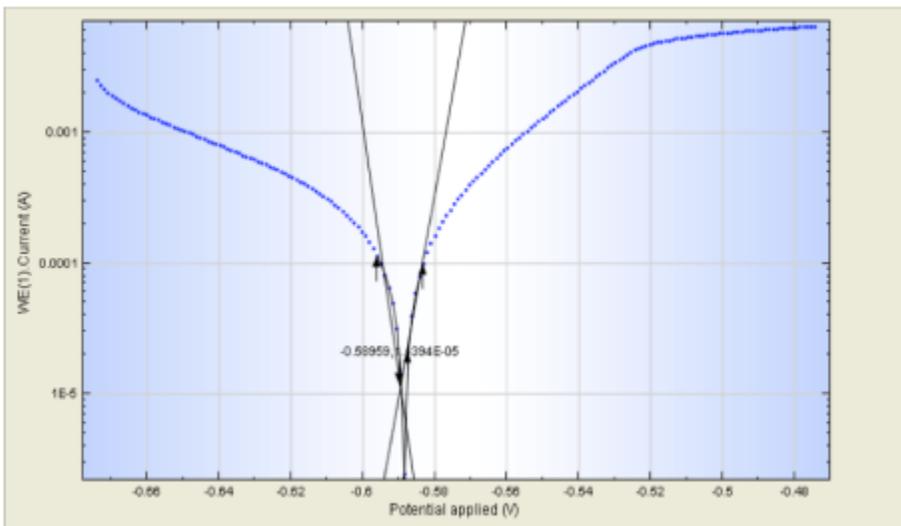
Dari pengujian laju korosi menggunakan seperangkat alat Potensiostat Autolab akan didapatkan nilai laju korosi yang terjadi pada setiap spesimen.

4.4..1 Hasil Pengujian Korosi Untuk Spesimen Karbon

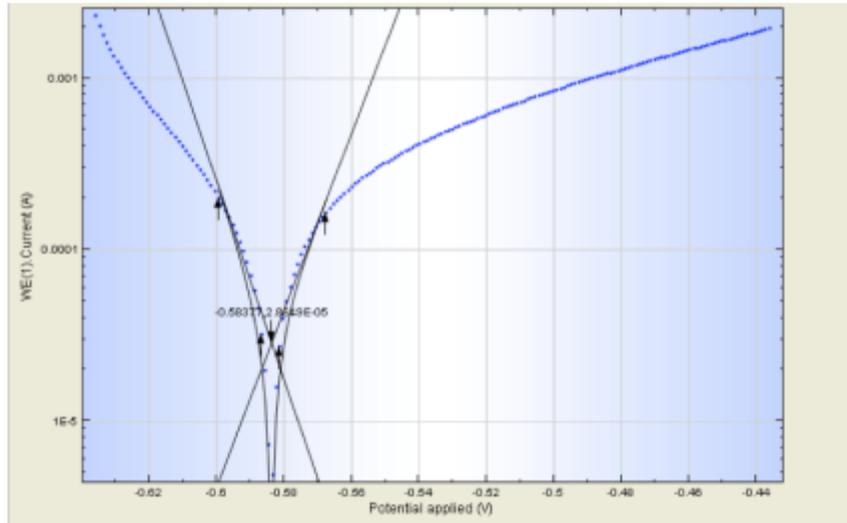
Berikut merupakan hasil pengujian korosi untuk salinitas 30 60 dan 90:



Gambar 4. 14 Contoh Grafik Tafel dari karbon 3⁰/₀₀



Gambar 4. 15 Contoh Grafik Tafel dari Karbon 6⁰/₀₀



Gambar 4. 16 Contoh Grafik Tafel dari Karbon 9⁰/₀₀

Grafik Tafel yang didapatkan untuk pengujian spesimen diatas adalah gambaran dari hasil pengujian dengan variasi salinitas menggunakan 30% dan 60 % dan 90 %. Untuk pengujian spesimen yang lainnya dengan salinitas dan spesimen yang sama dapat dilihat pada lampiran. Setelah *software* NOVA berhenti memproses data yang diterima dari spesimen, maka akan muncul grafik seperti diatas. Dari garis yang terbentuk di grafik akan dilakukan *fitting* se-presisi mungkin untuk mendapatkan titik tengah yang merupakan titik temu dari kedua grafik, sehingga akan muncul garis hitam yang juga saling memotong. Setelah garis potong terbentuk, *software* akan menunjukkan hasil nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen.

1. Laju korosi untuk salinitas 30% pada pipa baja karbon perendaman 120 jam

Tabel 4. 1 Laju Korosi Untuk Salinitasi 30%

No	Jenis Spesimen	No Spesimen	Nilai Laju Korosi (mmpy)	Kerapatan Arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Potensial (mV)
1	Pipa Baja Karbon	1a	0.38983	35.18	489.57
2	Pipa Baja Karbon	2a	0.21562	19.459	488.67
3	Pipa Baja Karbon	3a	0.30492	27.518	489.67
Rata-Rata			0.303456667	27.387	489.283

Dari data data pada Tabel 4. 1, dapat diketahui bahwa potensial, kerapatan arus dan laju korosi dapat berubah-ubah pada setiap spesimen. Hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor *human error* seperti tempat penyimpanan material, terkena air (larutan ketika pengujian) dan sebagainya. Akan tetapi nilai-nilai tersebut tidak berubah secara signifikan dengan nilai yang lainnya. Pada spesimen 1a nilai laju korosi pada spesimen

tersebut sebesar 0.38983 mmpy, pada spesimen 2a memiliki nilai laju korosi sebesar 0.21562 mmpy, pada spesimen 3a memiliki nilai laju korosi sebesar 0.30492 mmpy. Sehingga nilai rata-rata laju korosi yang terjadi pada spesimen yang diuji adalah sebesar 0.303456667 mmpy.

2. Laju Korosi untuk salinitas 60% pada pipa baja karbon perendaman 120 jam

Tabel 4. 2 Laju Korosi Untuk Salinitas 60%

No	Jenis Spesimen	No Spesimen	Nilai Laju Korosi (mmpy)	Kerapatan Arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Potensial (mV)
1	Pipa Baja Karbon	1a	0.52679	47.540	584.260
2	Pipa Baja Karbon	2a	0.57159	51.583	583.190
3	Pipa Baja Karbon	3a	0.57159	51.583	583.190
Rata-Rata			0.556656	50.2353333	583.5466

Dari data data pada Tabel 4. 2, dapat diketahui bahwa potensial, kerapatan arus dan laju korosi dapat berubah-ubah pada setiap spesimen. Hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor *human error* seperti tempat penyimpanan material, terkena air (larutan ketika pengujian dilakukan) dan sebagainya. Akan tetapi nilai-nilai tersebut tidak berubah secara signifikan dengan nilai yang lainnya. Pada spesimen 1a nilai laju korosi pada spesimen tersebut sebesar 0.52679 mmpy, pada spesimen 2a memiliki nilai laju korosi sebesar 0.57159mmpy, pada spesimen 3a memiliki nilai laju korosi sebesar 0.57159mmpy. Sehingga nilai rata-rata laju korosi yang terjadi pada spesimen yang diuji adalah sebesar 0.556656667 mmpy.

3. Laju Korosi untuk salinitas 90% pada pipa baja karbon perendaman 120 jam

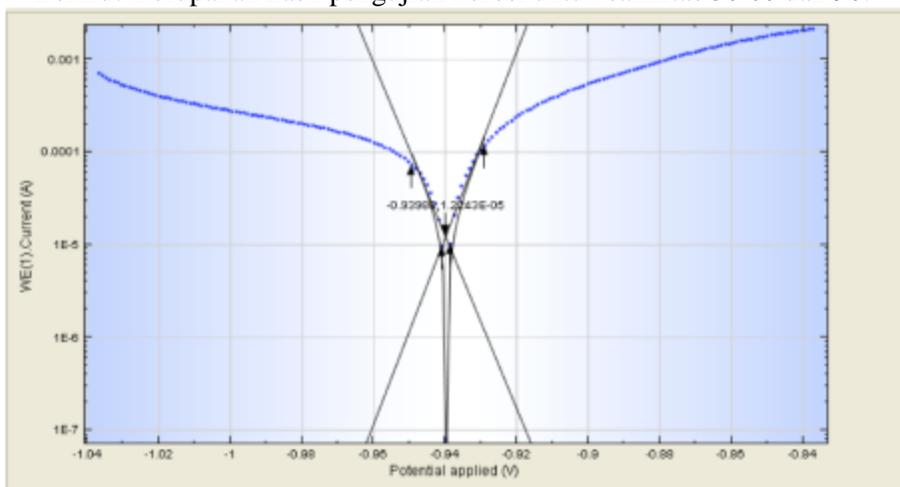
Tabel 4. 3 Laju Korosi Untuk Salinitas 90%

No	Jenis Spesimen	No Spesimen	Nilai Laju Korosi (mmpy)	Kerapatan Arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Potensial (mV)
1	Pipa Karbon	1a	0.31746	28.649	583.770
2	Pipa Karbon	2a	0.31119	28.083	583.940
3	Pipa Karbon	3a	0.31444	28.377	584.010
Rata-Rata			0.314363	28.36966	583.9066

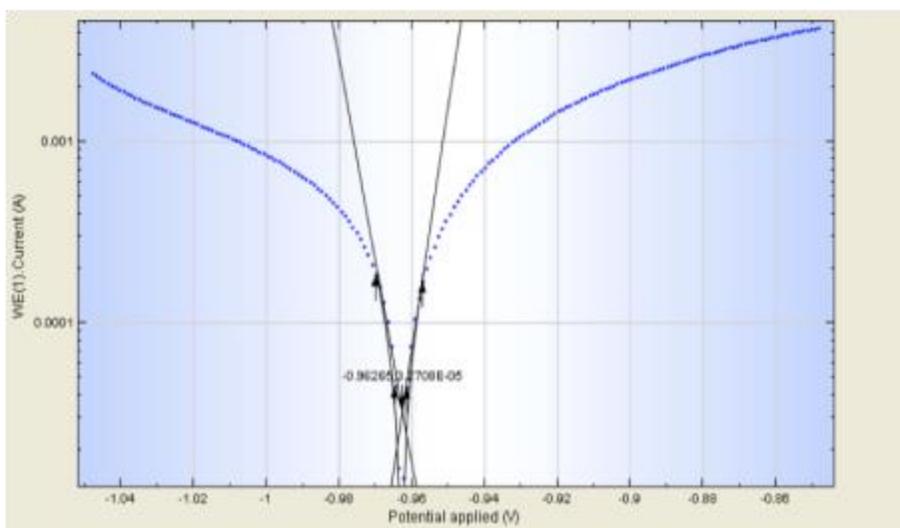
Dari data data pada Tabel diatas, dapat diketahui bahwa potensial, kerapatan arus dan laju korosi tidak terdapat perubahan pada setiap spesimen. Hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor *human error* seperti tempat penyimpanan material, terkena air (larutan ketika pengujian dilakukan) dan sebagainya, tetapi pada percobaan ini *human error* yang terjadi sangat minim sehingga nilai-nilai tersebut tidak berubah dengan nilai yang lainnya. Pada spesimen 1a nilai laju korosi pada spesimen tersebut sebesar 0.31746 mmpy, pada spesimen 2a memiliki nilai laju korosi sebesar 0.31119 mmpy, pada spesimen 3a memiliki nilai laju korosi sebesar 0.31444 mmpy. Sehingga nilai rata-rata laju korosi yang terjadi pada spesimen yang diuji adalah sebesar 0.314363333 mmpy.

4.4.2 Hasil Pengujian Korosi Untuk Spesimen Galvanis

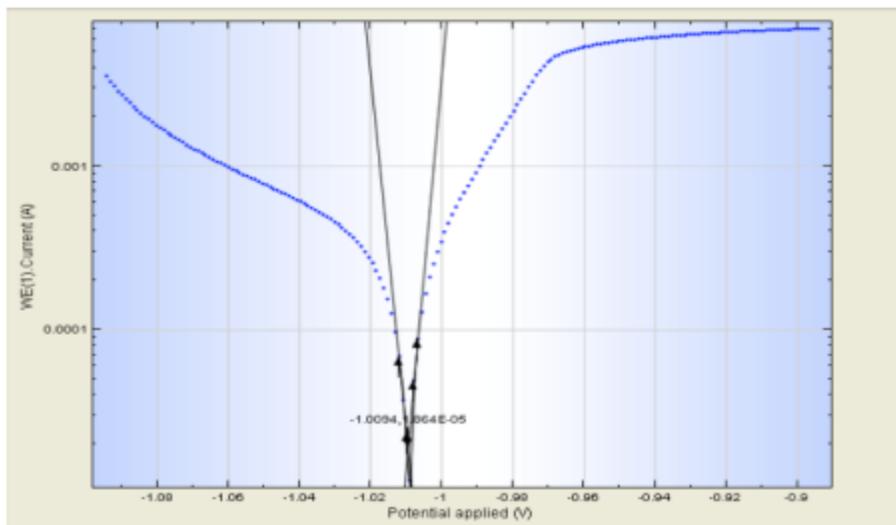
Berikut merupakan hasil pengujian korosi untuk salinitas 30 60 dan 90:



Gambar 4. 17 Contoh Grafik Tafel dari Galvanis 3⁰/₀₀



Gambar 4. 18 Contoh Grafik Tafel dari Galvanis 6⁰/₀₀



Gambar 4. 19 Contoh Grafik Tafel dari Galvanis 90/00

Grafik Tafel yang didapatkan untuk pengujian spesimen diatas adalah gambaran dari hasil pengujian dengan variasi salinitas menggunakan 30% dan 60% dan 90%. Untuk pengujian spesimen yang lainnya dengan salinitas dan spesimen yang sama dapat dilhay pada lampiran. Setelah *software* NOVA berhenti memproses data yang diterima dari spesimen, maka akan muncul grafik seperti diatas. Dari garis yang terbentuk di grafik akan dilakukan *fitting* se-presisi mungkin untuk mendapatkan titik tengah yang merupakan titik temu dari kedua grafik, sehingga akan muncul garis hitam yang juga saling memotong. Setelah garis potong terbentuk, *software* akan menunjukkan hasil nilai laju korosi, nolai kerapatan arus dan potensial arus yang terjadi pada spesimen.

1. Laju Korosi untuk salinitas 30 % pada pipa galvanis perendaman 120 jam

Tabel 4. 4 Laju Korosi Untuk Salinitas 30%

No	Jenis Spesimen	No Spesimen	Nilai Laju Korosi (mmpy)	Kerapatan Arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Potensial (mV)
1	Pipa Galvanis	1a	0.076012	6.1215	939.88
2	Pipa Galvanis	2a	0.11548	9.3000	939.65
3	Pipa Galvanis	3a	0.099233	15.983	939.73
Rata-Rata			0.0969083	10.468166	939.75333

Dari data data pada Tabel 4. 4, dapat diketahui bahwa potensial, kerapatan arus dan laju korosi dapat berubah-ubah pada setiap spesimen. Hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor *human error* seperti tempat penyimpanan material, terkena air (larutan

ketika pengujian) dan sebagainya. Akan tetapi nilai-nilai tersebut tidak berubah secara signifikan dengan nilai yang lainnya. Pada spesimen 1a nilai laju korosi pada spesimen tersebut sebesar 0.076012 mmpy, pada spesimen 2a memiliki nilai laju korosi sebesar 0.11548 mmpy, pada spesimen 3a memiliki nilai laju korosi sebesar 0.099233 mmpy. Sehingga nilai rata-rata laju korosi yang terjadi pada spesimen yang diuji adalah sebesar 0.096908333 mmpy.

2. Laju Korosi untuk salinitas 60 % pada pipa galvanis perendaman 120 jam

Tabel 4. 5 Laju Korosi Untuk Salinitas 60%

No	Jenis Spesimen	No Spesimen	Nilai Laju Korosi (mmpy)	Kerapatan arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Potensial (mV)
1	Pipa Baja Galvanis	1a	0.13538	10.903	957.030
2	Pipa Baja Galvanis	2a	0.15556	12.527	955.960
3	Pipa Baja Galvanis	3a	0.16711	13.458	952.760
Rata-Rata			0.152683333	12.296	955.250

Dari data data pada Tabel 4. 5, dapat diketahui bahwa potensial, kerapatan arus dan laju korosi dapat berubah-ubah pada setiap spesimen. Hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor *human error* seperti tempat penyimpanan material, terkena air (larutan ketika pengujian) dan sebagainya. Akan tetapi nilai-nilai tersebut tidak berubah secara signifikan dengan nilai yang lainnya. Pada spesimen 1a nilai laju korosi pada spesimen tersebut sebesar 0.13538 mmpy, pada spesimen 2a memiliki nilai laju korosi sebesar 0.15556 mmpy, pada spesimen 3a memiliki nilai laju korosi sebesar 0.16711 mmpy. Sehingga nilai rata-rata laju korosi yang terjadi pada spesimen yang diuji adalah sebesar 0.152683333 mmpy.

3. Laju Korosi untuk salinitas 90 % pada pipa galvanis perendaman 120 jam

Tabel 4. 6 Laju Korosi Untuk Salinitas 90%

No	Jenis Spesimen	No Spesimen	Nilai Laju Korosi (mmpy)	Kerapatan arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Potensial (mV)
1	Pipa Galvanis	1a	0.10342	8.32900	1.00940
2	Pipa Galvanis	2a	0.10342	8.32900	1.00940
3	Pipa Galvanis	3a	0.10342	8.32900	1.00940
Rata-Rata			0.10342	8.32900	1.00940

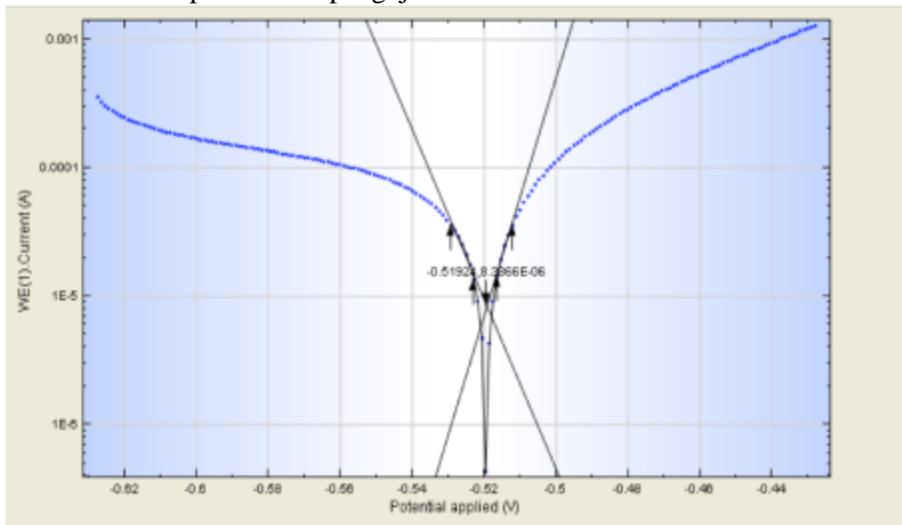
Dari data data pada Tabel 4. 6, dapat diketahui bahwa potensial, kerapatan arus dan laju korosi tidak terdapat perubahan pada setiap spesimen. Hal ini dapat terjadi

karena beberapa faktor *human error* seperti tempat penyimpanan material, terkena air (larutan ketika pengujian dilakukan) dan sebagainya, tetapi pada percobaan ini *human error* yang terjadi sangat minim sehingga nilai-nilai tersebut tidak berubah dengan nilai yang lainnya. Pada spesimen 1a nilai laju korosi pada spesimen tersebut sebesar 0.10342 mmpy, pada spesimen 2a memiliki nilai laju korosi sebesar 0.10342 mmpy, pada spesimen 3a memiliki nilai laju korosi sebesar 0.10342 mmpy. Sehingga nilai rata-rata laju korosi yang terjadi pada spesimen yang diuji adalah sebesar 0.10342 mmpy.

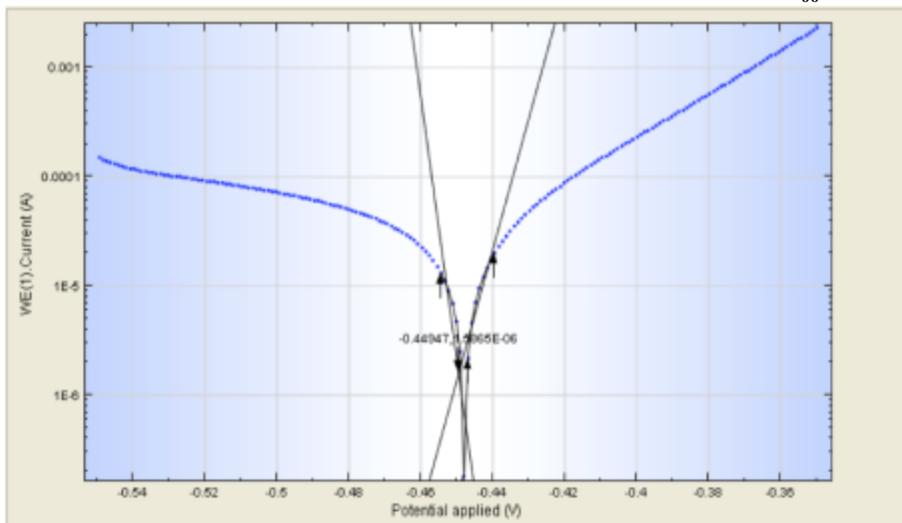
4.10.2 Hasil Pengujian Pada Perendaman 720 Jam

4.4.1 Hasil Pengujian Korosi Untuk Spesimen Karbon

Berikut merupakan hasil pengujian korosi untuk salinitas 30 dan 60:



Gambar 4. 20 Contoh Grafik Tafel dari karbon 3⁰/₀₀



Gambar 4. 21 Contoh Grafik Tafel dari karbon 6⁰/₀₀

Grafik Tafel yang didapatkan untuk pengujian spesimen di atas adalah gambaran dari hasil pengujian dengan variasi salinitas menggunakan 30% dan 60% dan 90%. Untuk pengujian spesimen yang lainnya dengan salinitas dan spesimen yang sama dapat dilihat pada lampiran. Setelah *software* NOVA berhenti memproses data yang diterima dari spesimen, maka akan muncul grafik seperti di atas. Dari garis yang terbentuk di grafik akan dilakukan *fitting* se-presisi mungkin untuk mendapatkan titik tengah yang merupakan titik temu dari kedua grafik, sehingga akan muncul garis hitam yang juga saling memotong. Setelah garis potong terbentuk, *software* akan menunjukkan hasil nilai laju korosi, nilai kerapatan arus dan potensial arus yang terjadi pada spesimen.

1. Laju Korosi untuk salinitas 30% pada pipa karbon perendaman 720 jam

Tabel 4. 7 Laju Korosi Untuk Salinitas 30%

No	Jenis Spesimen	No Spesimen	Nilai Laju Korosi (mmpy)	Kerapatan Arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Potensial (mV)
1	Pipa Baja Karbon	1a	0.3936	35.528	519.24
2	Pipa Baja Karbon	2a	0.30758	27.758	519.83
3	Pipa Baja Karbon	3a	0.30758	27.758	519.62
Rata-Rata			0.336253333	30.348	519.5633333

Dari data data pada Tabel di atas, dapat diketahui bahwa potensial, kerapatan arus dan laju korosi dapat berubah-ubah pada setiap spesimen. Hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor *human error* seperti tempat penyimpanan material, terkena air (larutan ketika pengujian) dan sebagainya. Akan tetapi nilai-nilai tersebut tidak berubah secara signifikan dengan nilai yang lainnya. Pada spesimen 1a nilai laju korosi pada spesimen tersebut sebesar 0.3936 mmpy, pada spesimen 2a memiliki nilai laju korosi sebesar 0.30758 mmpy, pada spesimen 3a memiliki nilai laju korosi sebesar 0.30758 mmpy. Sehingga nilai rata-rata laju korosi yang terjadi pada spesimen yang diuji adalah sebesar 0.336253333 mmpy

2. Laju Korosi untuk salinitas 60% pada pipa karbon perendaman 720 jam

Tabel 4. 8 Laju Korosi Untuk Salinitas 60%

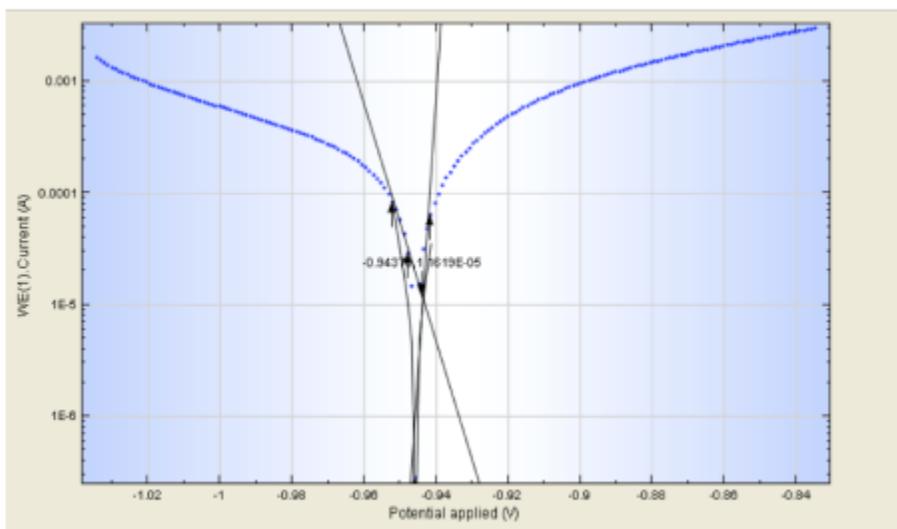
No	Jenis Spesimen	No Spesimen	Nilai Laju Korosi (mmpy)	Kerapatan Arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Potensial (mV)
1	Pipa Baja Karbon	1a	0.79517	71.76	449.47
2	Pipa Baja Karbon	2a	0.832392	75.167	447.26
3	Pipa Baja Karbon	3a	0.75225	67.887	449.31

Rata-Rata	0.793270667	71.60466667	448.68
------------------	-------------	-------------	--------

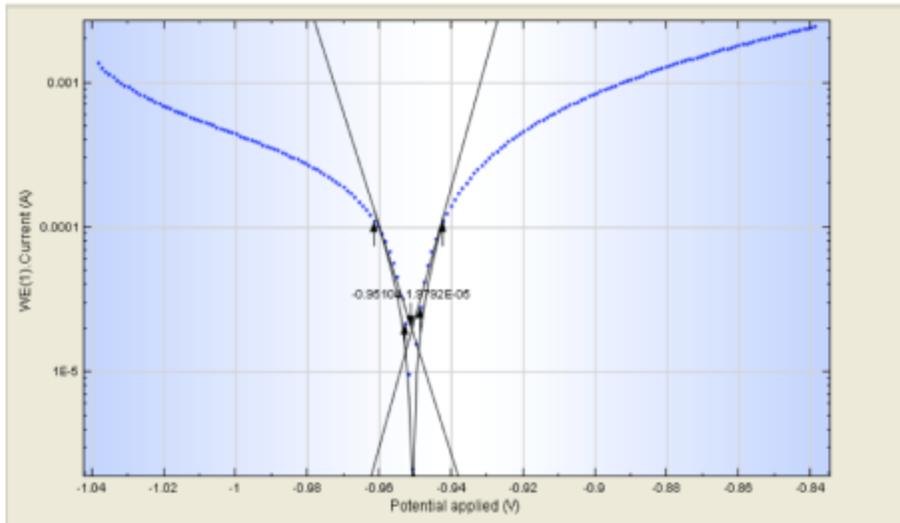
Dari data data pada Tabel diatas, dapat diketahui bahwa potensial, kerapatan arus dan laju korosi dapat berubah-ubah pada setiap spesimen. Hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor *human error* seperti tempat penyimpanan material, terkena air (larutan ketika pengujian) dan sebagainya. Akan tetapi nilai-nilai tersebut tidak berubah secara signifikan dengan nilai yang lainnya. Pada spesimen 1a nilai laju korosi pada spesimen tersebut sebesar 0.79517 mmpy, pada spesimen 2a memiliki nilai laju korosi sebesar 0.832392 mmpy, pada spesimen 3a memiliki nilai laju korosi sebesar 0.75225 mmpy. Sehingga nilai rata-rata laju korosi yang terjadi pada spesimen yang diuji adalah sebesar 0.793270667 mmpy.

4.4.2 Hasil Pengujian Korosi Untuk Spesimen Galvanis

Berikut merupakan hasil pengujian korosi untuk salinitas 30 60 dan 90:



Gambar 4. 22 Contoh Grafik Tafel dari Galvanis 3⁰/₀₀



Gambar 4. 23 Contoh Grafik Tafel dari Galvanis 6⁰/₀₀

Grafik Tafel yang didapatkan untuk pengujian spesimen diatas adalah gambaran dari hasil pengujian dengan variasi salinitas menggunakan 30% dan 60 % dan 90 %. Untuk pengujian spesimen yang lainnya dengan salinitas dan spesimen yang sama dapat dilihat pada lampiran. Setelah *software* NOVA berhenti memproses data yang diterima dari spesimen, maka akan muncul grafik seperti diatas. Dari garis yang terbentuk di grafik akan dilakukan *fitting* se-presisi mungkin untuk mendapatkan titik tengah yang merupakan titik temu dari kedua grafik, sehingga akan muncul garis hitam yang juga saling memotong. Setelah garis potong terbentuk, *software* akan menunjukkan hasil nilai laju korosi, nolai kerapatan arus dan potensial arus yang terjadi pada spesimen.

1. Laju Korosi untuk salinitas 30% pada pipa Galvanis perendaman 720 jam

Tabel 4. 9 Laju Korosi Untuk Salinitas 30%

No	Jenis Spesimen	No Spesimen	Nilai Laju Korosi (mmpy)	Kerapatan Arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Potensial (mV)
1	Pipa Baja Galvanis	1a	0.22913	18.453	945.46
2	Pipa Baja Galvanis	2a	0.19468	15.678	945.32
3	Pipa Baja Galvanis	3a	0.22897	18.44	945.5
Rata-Rata			0.217593333	17.52366667	945.4266667

Dari data data pada Tabel diatas, dapat diketahui bahwa potensial, kerapatan arus dan laju korosi dapat berubah-ubah pada setiap spesimen. Hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor *human error* seperti tempat penyimpanan material, terkena air (larutan ketika pengujian) dan sebagainya. Akan tetapi nilai-nilai tersebut tidak berubah secara signifikan dengan nilai yang lainnya. Pada spesimen 1a nilai laju korosi pada

spesimen tersebut sebesar 0.22913 mmpy, pada spesimen 2a memiliki nilai laju korosi sebesar 0.19468mmpy, pada spesimen 3a memiliki nilai laju korosi sebesar 0.22897mmpy. Sehingga nilai rata-rata laju korosi yang terjadi pada spesimen yang diuji adalah sebesar 0.217593333 mmpy

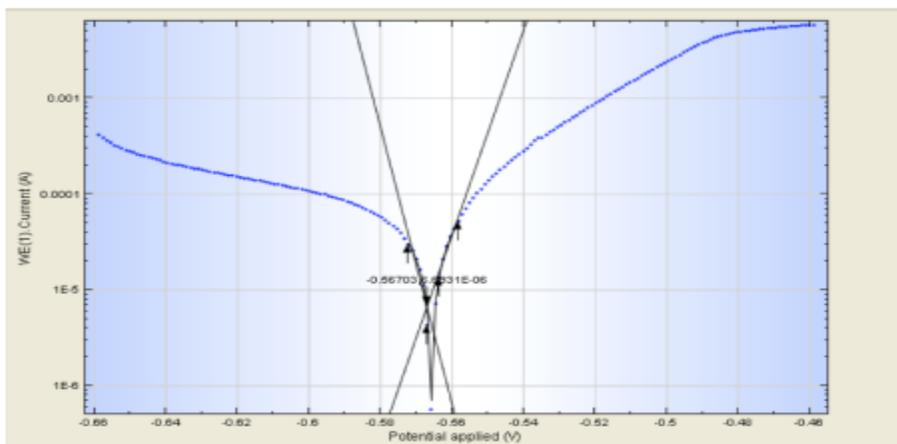
2. Laju Korosi untuk salinitas 60 % pada pipa karbon perendaman 720 jam

Tabel 4. 10 Laju Korosi Salinitas 60%

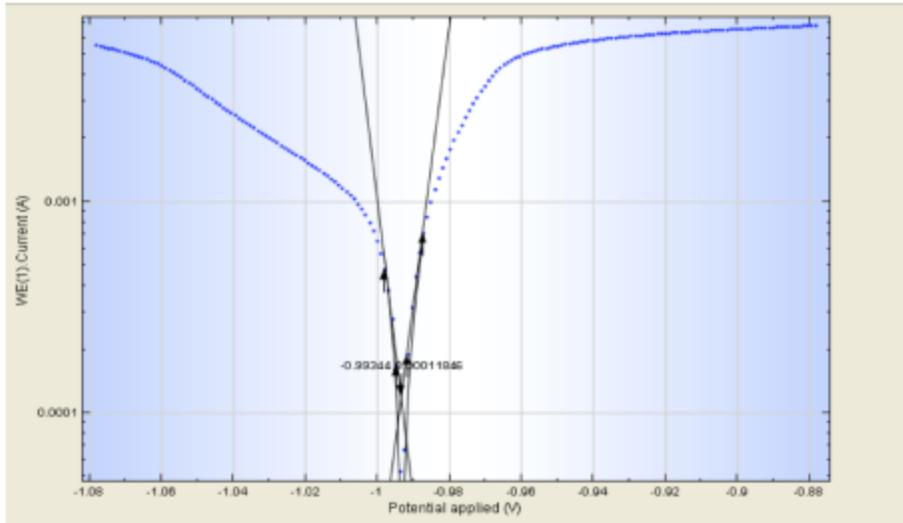
No	Jenis Spesimen	No Spesimen	Nilai Laju Korosi (mmpy)	Kerapatan Arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Potensial (mV)
1	Pipa Baja Karbon	1a	0.12288	9.896	950.97
2	Pipa Baja Karbon	2a	0.56877	45.805	950.98
3	Pipa Baja Karbon	3a	0.11485	11.665	951.16
Rata-Rata			0.268833333	22.45533333	951.0366667

Dari data data pada Tabel diatas, dapat diketahui bahwa potensial, kerapatan arus dan laju korosi dapat berubah-ubah pada setiap spesimen. Hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor *human error* seperti tempat penyimpanan material, terkena air (larutan ketika pengujian) dan sebagainya. Akan tetapi nilai-nilai tersebut tidak berubah secara signifikan dengan nilai yang lainnya. Pada spesimen 1a nilai laju korosi pada spesimen tersebut sebesar 0.12288 mmpy, pada spesimen 2a memiliki nilai laju korosi sebesar 0.56877mmpy, pada spesimen 3a memiliki nilai laju korosi sebesar 0.11485 mmpy. Sehingga nilai rata-rata laju korosi yang terjadi pada spesimen yang diuji adalah sebesar 0.268833333 mmpy.

4.10.2 Hasil Pengujian Korosi Untuk Spesimen Karbon dan Galvanis Variasi Kecepatan Aliran 3.95 m/s (Salinitas 30%)



Gambar 4. 24 Contoh Grafik Tafel dari Karbon 3⁰/₀₀



Gambar 4. 25 Contoh Grafik Tafel dari Galvanis 3⁰/₀₀

Grafik Tafel yang didapatkan untuk pengujian spesimen diatasadalah gambaran dari hasil pengujian dengan variasi salinitas menggunakan 30⁰/₀₀. Untuk pengujian spesimen yang lainnya dengan salinitas dan spesimen yang sama dapat dilhay pada lampiran. Setelah *software* NOVA berhenti memproses data yang diterima dari spesimen, maka akan muncul grafik seperti diatas. Dari garis yang terbentuk di grafik akan dilakukan *fitting* se-presisi mungkin untuk mendapatkan titik tengah yang merupakan titik temu dari kedua grafik, sehingga akan muncul garis hitam yang juga saling memotong. Setelah garis potong terbentuk, *software* akan menunjukkan hasil nilai laju korosi, nolai kerapatan arus dan potensial arus yang terjadi pada spesimen.

1. Laju Korosi untuk salinitas 30% pada pipa Karbon perendaman 120 jam (Kecepatan Aliran=3.95 m/s)

Tabel 4. 11 Laju Korosi Untuk Salinitas 30% Kecepatan 3.95 m/s

No	Jenis Spesimen	No Spesimen	Nilai Laju Korosi (mmpy)	Kerapatan Arus (µA/cm ²)	Potensial (mV)
1	Pipa Baja Karbon	1a	0.54016	48.747	565.03
2	Pipa Baja Karbon	2a	0.51009	46.033	565.92
3	Pipa Baja Karbon	3a	0.40748	36.773	565.92
Rata-Rata			0.48591	43.851	565.62333

Dari data data pada Tabel diatas, dapat diketahui bahwa potensial, kerapatan arus dan laju korosi dapat berubah-ubah pada setiap spesimen. Hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor *human error* seperti tempat penyimpanan material, terkena air (larutan ketika pengujian) dan sebagainya. Akan tetapi nilai-nilai tersebut tidak berubah

secara signifikan dengan nilai yang lainnya. Pada spesimen 1a nilai laju korosi pada spesimen tersebut sebesar 0.54016 mmpy, pada spesimen 2a memiliki nilai laju korosi sebesar 0.51009 mmpy, pada spesimen 3a memiliki nilai laju korosi sebesar 0.40748 mmpy. Sehingga nilai rata-rata laju korosi yang terjadi pada spesimen yang diuji adalah sebesar 0.48591 mmpy

2. Laju Korosi untuk salinitas 30% pada pipa Karbon perendaman 120 jam (Kecepatan Aliran= 3.3 m/s)

Tabel 4. 12 Laju Korosi Untuk Salinitas 30% Kecepatan 3.3 m/s

No	Jenis Spesimen	No Spesimen	Nilai Laju Korosi (mmpy)	Kerapatan Arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Potensial (mV)
1	Pipa Baja Galvanis	1a	0.21014	16.9230	993.440
2	Pipa Baja Galvanis	2a	0.23314	18.7760	993.440
3	Pipa Baja Galvanis	3a	0.22170	17.8540	993.260
Rata-Rata			0.22166	17.851	993.38

Dari data data pada Tabel diatas, dapat diketahui bahwa potensial, kerapatan arus dan laju korosi dapat berubah-ubah pada setiap spesimen. Hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor *human error* seperti tempat penyimpanan material, terkena air (larutan ketika pengujian) dan sebagainya. Akan tetapi nilai-nilai tersebut tidak berubah secara signifikan dengan nilai yang lainnya. Pada spesimen 1a nilai laju korosi pada spesimen tersebut sebesar 0.21014 mmpy, pada spesimen 2a memiliki nilai laju korosi sebesar 0.23314 mmpy, pada spesimen 3a memiliki nilai laju korosi sebesar 0.22170 mmpy. Sehingga nilai rata-rata laju korosi yang terjadi pada spesimen yang diuji adalah sebesar 0.22166 mmpy.

4.5 Perhitungan Data

Data yang terdapat pada Hasil Laju Korosi merupakan data yang didapat secara langsung dari perolehan perhitungan *software* NOVA. Hasil ini akan dibandingkan dengan perhitungan manual berdasarkan rumus laju korosi Hukum Faraday, sebagai berikut:

$$CR = K \frac{a.i}{n.D} \text{ mmpy}$$

Keterangan :

CR = Corrosion Rate (mmpy)

K = Konstanta (0,129 mpy, 0,00327 mmpy)

a = Berat atom logam terkorosi (gram/mol)

i = Kerapatan arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

n = Jumlah electron yang dilepas pada logam terkorosi

D = Densitas logam terkorosi (gram/ cm^3)

4.10.2 Perhitungan Untuk Spesimen Baja Karbon Salinitas 3⁰/₀₀

Dari pengujian korosi menggunakan *software* NOVA, diperoleh data data sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 K &= 0.00327 \\
 a/n &= 26.62962 \\
 i &= 19.459 \mu\text{A}/\text{cm}^2 \\
 D &= 7.86 \text{ kg}/\text{m}^3 \\
 CR_{\text{spesimen 1A}} &= 0.0327 \times 26.62962 \times 19.459 / 7.86 \\
 &= 0.21558 \text{ mm}/\text{yr}
 \end{aligned}$$

Perhitungan laju korosi dengan hukum Faraday tersebut juga berlaku untuk hasil pengujian nilai lahu korosi spesimen uji lainnya. Untuk spesimen galvanis perbedaannya terletak pada nilai densitas spesimen karbon sebesar 7,86 kg/m³ untuk pipa galvanis yaitu sebesar 7,13 kg/m³. Berikut adalah hasil seluruh perhitungan laju korosi menggunakan hukum Faraday:

Tabel 4. 13 Hasil Perhitungan Laju Korosi Menggunakan Hukum Faraday

Jenis Spesimen	Salinitas (%)	Waktu Perendaman (jam)	Kerapatan Arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Laju Korosi (mmpy)
Pipa Karbon	30	120	35.18	0.38983
			19.459	0.21562
			27.518	0.30492
	60	120	51.583	0.52679
			47.540	0.57159
			51.583	0.57159
	90	120	28.649	0.31746
			28.083	0.31119
			28.377	0.31444
Pipa Galvanis	30	120	6.1215	0.076012
			9.3	0.11548
			7.9915	0.099233
	60	120	10.903	0,13535872
			12.527	0,15552038
			13.458	0,16707857
	90	120	8.329	0.10342
			8.329	0.10342
			8.329	0.10342
Pipa Karbon	30	720	35.528	0.3936
			27.758	0.30758
			27.758	0.30758
	60	720	71.76	0.79517
			75.167	0.832392
			67.887	0.75225

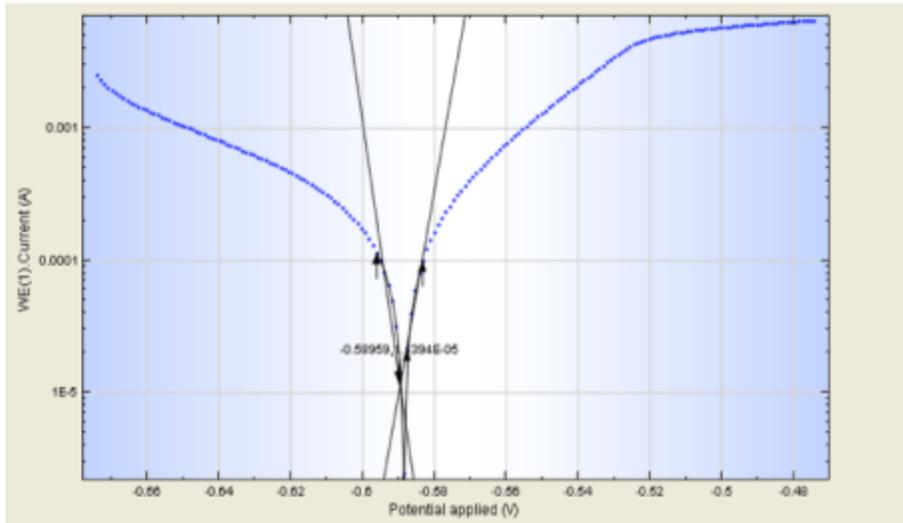
Jenis Spesimen	Salinitas (%)	Waktu Perendaman (jam)	Kerapatan Arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Laju Korosi (mmpy)
Pipa Galvanis	30	720	18.453	0.22913
			15.678	0.19468
	60	720	18.44	0.22897
			9.896	0.12288
			45.805	0.56877
			11.665	0.11485
Pada variasi kecepatan aliran 3.95 m/s				
Pipa Karbon	30	120	48.747	0.54016
			46.033	0.51009
			36.773	0.40748
Pipa Galvanis	30	120	16.923	0.21014
			18.776	0.23314
			17.854	0.22170
Pada variasi kecepatan aliran 3.3 m/s				
Pipa Karbon	30	120	0.34483	0.34477
			0.34642	0.34634
			0.36857	0.36850
Pipa Galvanis	30	120	0.1579	0.157866776
			0.17305	0.17301285
			0.19624	0.196203722

Sebagaimana dengan nilai laju korosi yang dihasilkan secara otomatis melalui *software* NOVA, hubungan nilai laju korosi dan rapat arus (i_{corr}) saling berbanding lurus. Jika nilai rapat arus besar, maka nilai laju korosi juga akan semakin besar, begitu juga sebaliknya.

4.6 Analisa Data Hasil Pengujian

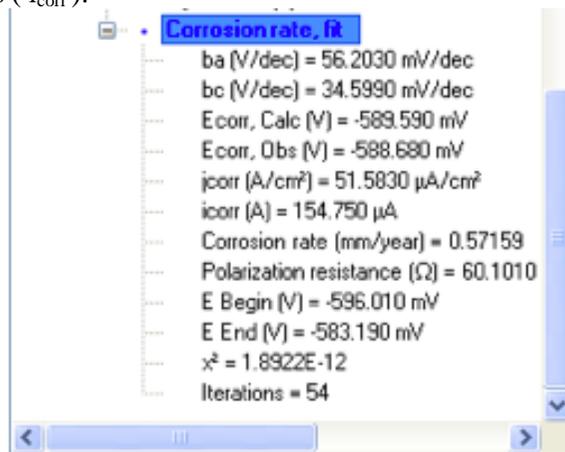
Perhitungan laju korosi dilakukan dengan 2 cara yaitu menggunakan seperangkat alat Potensiostat autolab dan menggunakan Hukum Faraday. Perhitungan menggunakan *software* dilakukan secara otomatis saat melakukan pengujian. Nilai laju korosi langsung muncul saat pengujian korosi. Sedangkan perhitungan menggunakan hukum Faraday dilakukan dengan memasukkan nilai kerapatan arus (i_{corr}) yang didapat melalui pengujian sel tiga elektroda.

Pengujian menggunakan peralatan potensiostat yang dilengkapi dengan *software* NOVA akan menghasilkan grafik Tafel yang dijadikan acuan perhitungan baik yang secara otomatis menggunakan *software* maupun menggunakan Hukum Faraday.



Gambar 4. 26 Contoh Grafik Tafel dari karbon 9⁰/₀₀

Setelah grafik terbentuk seperti diatas, maka secara otomatis akan didapat juga nilai laju korosi beserta data-data pendukungnya. Dari data-data tersebut yang nantinya akan digunakan dalam perhitungan laju korosi menggunakan Hukum Faraday adalah nilai kerapatan arus (i_{corr}).



Gambar 4. 27 Contoh Hasil Perhitungan Software dari spesimen Karbon salinitas 9⁰/₀₀

Berikut adalah perbandingan laju korosi dari dua perbandingan perhitungan:

Tabel 4. 14 Perbandingan Perhitungan Laju Korosi Antara Potensiostat dengan Faraday

Jenis Spesimen	Salinitas (%)	Waktu Perendaman (jam)	Laju Korosi Software NOVA (mm/year)	Laju Korosi Hukum Faraday (mm/year)
Pipa Karbon	30	120	0.38983	0.38975
			0.21562	0.21558
			0.30492	0.30486
	60	120	0.52679	0.52668
			0.57159	0.57147
			0.57159	0.57147
	90	120	0.31746	0.31739468
			0.31119	0.311124116
			0.31444	0.314381264
Pipa Galvanis	30	120	0.076012	0.07600
			0.11548	0.11546
			0.099233	0.09921
	60	120	0.13538	0.1355872
			0.15556	0.15552038
			0.16711	0.16707857
	90	120	0.10342	0.10340
			0.10342	0.10340
			0.10342	0.10340
Pipa Karbon	30	720	0.3936	0.39361
			0.30758	0.30752
			0.30758	0.30752
	60	720	0.79517	0.79501
			0.832392	0.83276
			0.75225	0.75210
Pipa Galvanis	30	720	0.22913	0.22909
			0.19468	0.19464
			0.22897	0.22893
	60	720	0.12288	0.12286
			0.56877	0.56866
			0.11485	0.11482
Pada variasi kecepatan aliran 3.95 m/s				
Pipa Karbon	30	120	0.54016	0.54016
			0.51009	0.51009
			0.40748	0.40748

Jenis Spesimen	Salinitas (%)	Waktu Perendaman (jam)	Laju Korosi Software NOVA (mm/year)	Laju Korosi Hukum Faraday (mm/year)
Pipa Galvanis	30	120	0.21014	0.21014
			0.23314	0.23314
			0.22170	0.22170
Pada variasi kecepatan aliran 3.3 m/s				
Pipa Karbon	30	120	0.34483	0.34477
			0.34642	0.34634
			0.36857	0.36850
Pipa Galvanis	30	120	0.1579	0.15787
			0.17305	0.17301
			0.19624	0.19620

Berdasarkan Tabel diatas, diketahui jika nilai laju korosi yang didapat dari dua perbandingan perhitungan yang dilakukan menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda yaitu antar laju korosi yang didapat dari aplikasi NOVA dan perhitungan dengan menggunakan hukum Faraday. Hasil yang ditunjukkan oleh kedua perhitungan hanya berbeda pada angka dibelakang koma, bahkan pada beberapa hasil besar nilainya persis sama.

Pengujian laju korosi ini bertujuan mengetahui pengaruh kadar salinitas terhadap laju korosi. Data laju korosi yang digunakan dalam analisa ini adalah yang berasal dari perhitungan menggunakan Hukum Faraday. Data manapun yang digunakan sebenarnya tidak memiliki pengaruh yang signifikan karena hasilnya hampir sama dengan perhitungan menggunakan software NOVA.

Tabel 4. 15 Perbandingan Laju Korosi Antara Spesimen Baja Karbon dan Galvanis

Jenis Spesimen	Salinitas (%)	Waktu Perendaman (jam)	Laju Korosi Software NOVA (mm/year)	Laju Korosi Hukum Faraday (mm/year)
Pipa Karbon	30	120	0.38983	0.38975
	60	120	0.52679	0.52668
	90	120	0.3143633	0.3143002
Pipa Galvanis	30	120	0.076012	0.07600
	60	120	0.152683	0.152652
	90	120	0.10342	0.10340
Pipa Karbon	30	720	0.3936	0.39361
	60	720	0.79517	0.79501
Pipa	30	720	0.22913	0.22909

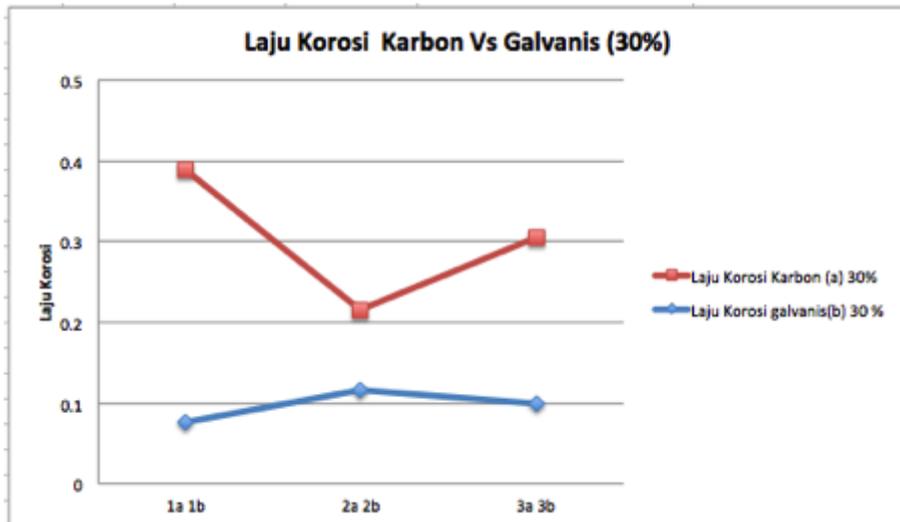
Jenis Spesimen	Salinitas (%)	Waktu Perendaman (jam)	Laju Korosi Software NOVA (mm/year)	Laju Korosi Hukum Faraday (mm/year)
Galvanis	60	720	0.12288	0.12286
Pada variasi kecepatan aliran 3.95 m/s				
Pipa Karbon	30	120	0.54016	0.54016
Pipa Galvanis	30	120	0.21014	0.21014
Pada variasi kecepatan aliran 3.3 m/hour				
Pipa Karbon	30	120	0.34483	0.34477
Pipa Galvanis	30	120	0.1579	0.15787

4.10.2 Analisa Perbandingan Laju Korosi Pada Spesimen Baja Karbon dan Galvanis

Tingkat salinitas air laut yang dipengaruhi oleh kadar garam yang terkandung didalam air laut tersebut turut mempengaruhi laju korosi pada logam. Dalam penelitian kali ini, kadar salinitas larutan yang digunakan 30 ‰, 60 ‰ dan 90 ‰. Untuk salinitas 90 ‰ perendaman dilakukan selama 120 jam saja tanpa ada variasi waktu perendaman, variasi waktu perendaman untuk 30 ‰ dan 60 ‰ adalah 120 jam dan 720 jam. Dan tambahan perendaman dilakukan yaitu dengan memberikan aliran pada larutan (salinitas 30 ‰) terhadap spesimen baja karbon dan galvanis dengan lama perendaman 120jam. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan data laju korosi pada masing-masing salinitas yang diujikan. Berikut adalah hasil laju korosi berdasarkan tingkat salinitasnya.

Tabel 4. 16 Perbandingan Laju Korosi Pada Salinitas 30‰, Waktu Perendaman 120 Jam

Label Spesimen	Salinitas (‰)	Laju Korosi Karbon (mm/year)	Laju Korosi Galvanis (mm/year)
1a 1b	30	0.38974989	0.075997285
2a 2b	30	0.21558110	0.115457771
3a 3b	30	0.30486463	0.099212987

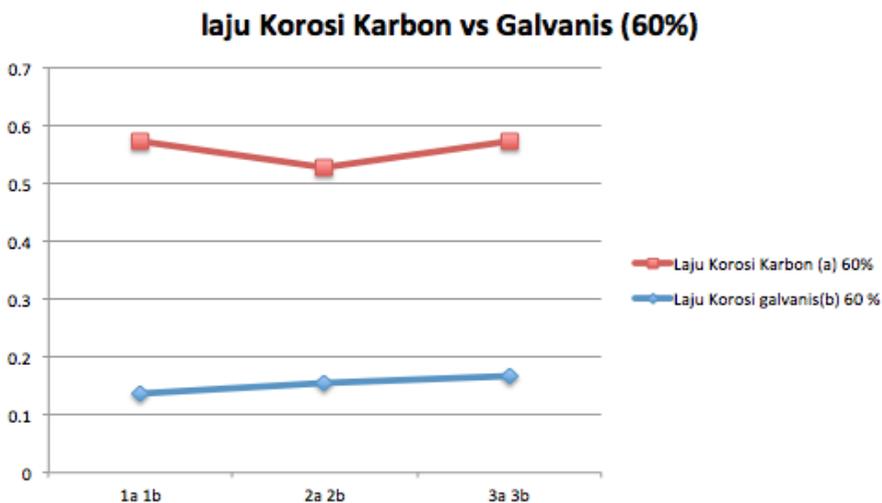


Gambar 4. 28 Laju Korosi Pada Spesimen Baja Karbon dan Galvanis (Salinitas 30⁰/₀₀)

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa perbandingan nilai laju korosi setiap spesimen yang sama hasilnya tidak jauh berbeda secara signifikan dengan yang lainnya. Untuk spesimen baja karbon dan galvanis memiliki besar nilai yang linier positif. Ditunjukkan juga bahwa nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen galvanis lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen karbon. Pada spesimen baja karbon 1a memiliki nilai laju korosi 0.38974989 mm/yr sedangkan nilai laju korosi pada spesimen galvanis 1b sebesar 0.075997285 mm/yr. Pada spesimen baja karbon 2a memiliki nilai laju korosi 0.21558110 mm/yr sedangkan nilai laju korrosi pada spesimen galvanis 2b sebesar 0.115457771 mm/yr. Pada spesimen baja karbon 3a memiliki nilai laju korosi 0.30486463 mm/yr sedangkan nilai laju korrosi pada spesimen galvanis sebesar 0.099212987 mm/yr. Nilai rata rat laju korosi yang didapat, pada spesimen baja karbon adalah 0.30339854 mm/yr dan pada spesimen galvanis adalah 0.09688935 mm/yr.

Tabel 4. 17 Perbandingan Laju Korosi Pada Salinitas 60⁰/₀₀, Waktu Perendaman 120 Jam

Label Spesimen	Salinitas (⁰ / ₀₀)	Laju Korosi Karbon (mm/year)	Laju Korosi Galvanis (mm/year)
1a 1b	60	0.52668	0.13536
2a 2b	60	0.57147	0.15552
3a 3b	60	0.57147	0.16708

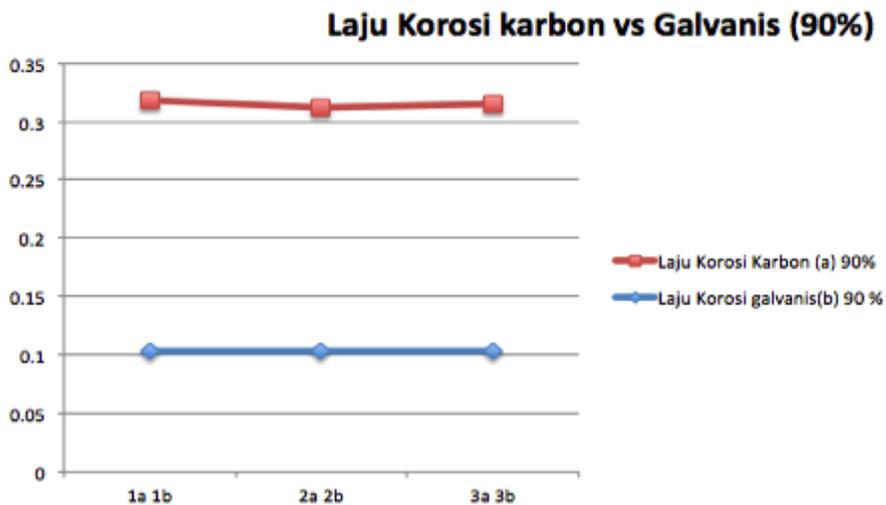


Gambar 4. 29 Laju korosi Pada Spesimen Baja Karbon dan Galvanis (Salinitas 60⁰/₀₀)

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa perbandingan nilai laju korosi setiap spesimen yang sama hasilnya tidak jauh berbeda secara signifikan dengan yang lainnya. Untuk spesimen baja karbon dan galvanis memiliki besar nilai yang linier positif. Ditunjukkan juga bahwa nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen galvanis lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen karbon. Pada spesimen baja karbon 1a memiliki nilai laju korosi 0.52668 mm/yr sedangkan nilai laju korrosi pada spesimen galvanis 1b sebesar 0.13536 mm/yr. Pada spesimen baja karbon 2a memiliki nilai laju korosi 0.57147 mm/yr sedangkan nilai laju korrosi pada spesimen galvanis 2b sebesar 0.15552mm/yr. Pada spesimen baja karbon 3a memiliki nilai laju korosi 0.57147 mm/yr sedangkan nilai laju korrosi pada spesimen galvanis sebesar 0.16708 mm/yr. Nilai rata rat laju korosi yang didapat, pada spesimen baja karbon adalah 0.15265255 mm/yr dan pada spesimen galvanis adalah 0.55654395 mm/yr.

Tabel 4. 18 Perbandingan Laju Korosi pada salinitas 90⁰/₀₀, waktu perendaman 120 jam

Label Spesimen	Salinitas(⁰ / ₀₀)	Laju Korosi Karbon (mm/year)	Laju Korosi Galvanis (mm/year)
1a 1b	90	0.31739	0.103402987
2a 2b	90	0.31112	0.103402987
3a 3b	90	0.31438	0.103402987

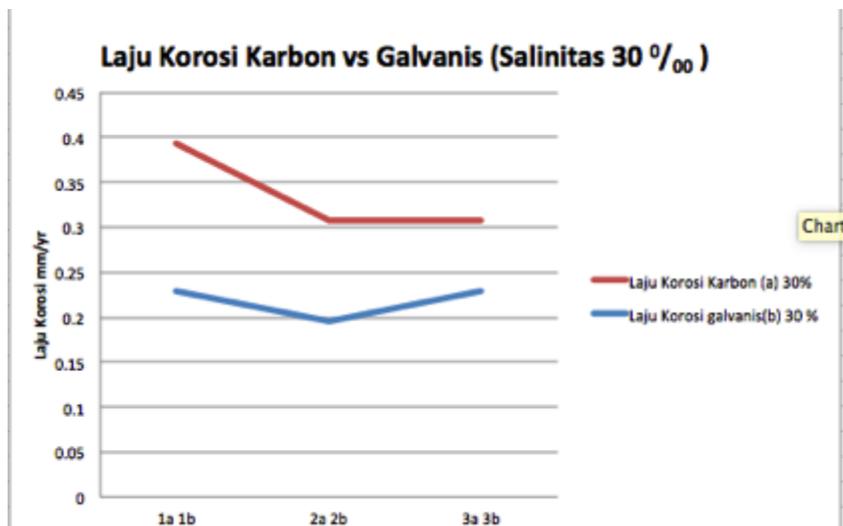


Gambar 4. 30 Laju Korosi Pada Spesimen Baja Karbon dan Galvanis (Salinitas 90⁰/₀₀)

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa perbandingan nilai laju korosi setiap spesimen yang sama hasilnya tidak jauh berbeda secara signifikan dengan yang lainnya. Untuk spesimen baja karbon dan galvanis memiliki besar nilai yang linier positif. Ditunjukkan juga bahwa nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen galvanis lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen karbon. Pada spesimen baja karbon 1a memiliki nilai laju korosi 0.31739 mm/yr sedangkan nilai laju korosi pada spesimen galvanis 1b sebesar 0.103402987 mm/yr. Pada spesimen baja karbon 2a memiliki nilai laju korosi 0.31112 mm/yr sedangkan nilai laju korrosi pada spesimen galvanis 2b sebesar 0.103402987mm/yr. Pada spesimen baja karbon 3a memiliki nilai laju korosi 0.31438 mm/yr sedangkan nilai laju korrosi pada spesimen galvanis 3b sebesar 0.103402987mm/yr. Nilai rata rata laju korosi yang didapat, pada spesimen baja karbon adalah 0.31430002 mm/yr dan pada spesimen galvanis adalah 0.103402987 mm/yr.

Tabel 4. 19 Perbandingan Laju Korosi Pada Salinitas 30⁰/₀₀, Waktu Perendaman 720 Jam

Label Spesimen	Salinitas (⁰ / ₀₀)	Laju Korosi Karbon (mm/year)	Laju Korosi Galvanis (mm/year)
1a 1b	30	0.39360529	0.229090565
2a 2b	30	0.30752352	0.194639456
3a 3b	30	0.30752352	0.228929172

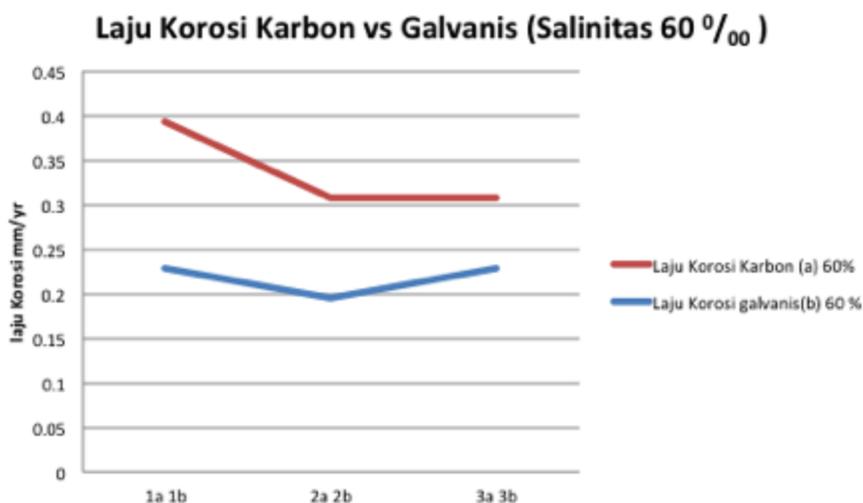


Gambar 4. 31 Laju korosi Pada Spesimen Baja Karbon dan Galvanis (Salinitas 30⁰/₀₀)

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa perbandingan nilai laju korosi setiap spesimen yang sama hasilnya tidak jauh berbeda secara signifikan dengan yang lainnya. Untuk spesimen baja karbon dan galvanis memiliki besar nilai yang linier positif. Ditunjukkan juga bahwa nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen galvanis lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen karbon. Pada spesimen baja karbon 1a memiliki nilai laju korosi 0.39360529 mm/yr sedangkan nilai laju korosi pada spesimen galvanis 1b sebesar 0.229090565 mm/yr. Pada spesimen baja karbon 2a memiliki nilai laju korosi 0.30752352 mm/yr sedangkan nilai laju korrosi pada spesimen galvanis 2b sebesar 0.194639456 mm/yr. Pada spesimen baja karbon 3a memiliki nilai laju korosi 0.30752352 mm/yr sedangkan nilai laju korrosi pada spesimen galvanis 3b sebesar 0.228929172 mm/yr. Nilai rata rata laju korosi yang didapat, pada spesimen baja karbon adalah 0.33621745 mm/yr dan pada spesimen galvanis adalah 0.21755306 mm/yr.

Tabel 4. 20 Perbandingan Laju Korosi Pada Salinitas 60⁰/₀₀, Waktu Perendaman 720 Jam

Label Spesimen	Salinitas (‰)	Laju Korosi Karbon (mm/year)	Laju Korosi Galvanis (mm/year)
1a 1b	60	0.7950100	0.122857001
2a 2b	60	0.8327552	0.568660561
3a 3b	60	0.7521020	0.144818807

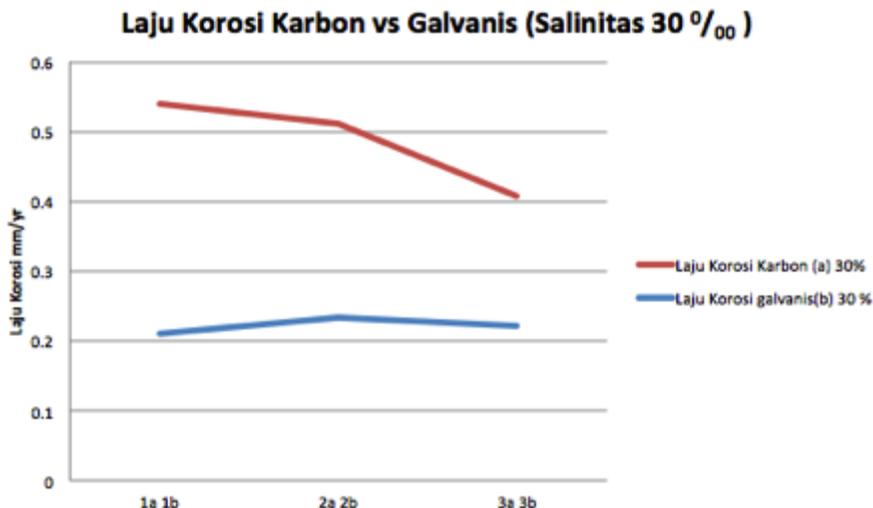


Gambar 4. 32 Laju Korosi Pada Spesimen Baja Karbon dan Galvanis (Salinitas 30 ‰)

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa perbandingan nilai laju korosi setiap spesimen yang sama hasilnya tidak jauh berbeda secara signifikan dengan yang lainnya. Untuk spesimen baja karbon dan galvanis memiliki besar nilai yang linier positif. Ditunjukkan juga bahwa nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen galvanis lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen karbon. Pada spesimen baja karbon 1a memiliki nilai laju korosi 0.7950100 mm/yr sedangkan nilai laju korosi pada spesimen galvanis 1b sebesar 0.122857001 mm/yr. Pada spesimen baja karbon 2a memiliki nilai laju korosi 0.8327552 mm/yr sedangkan nilai laju korrosi pada spesimen galvanis 2b sebesar 0.568660561 mm/yr. Pada spesimen baja karbon 3a memiliki nilai laju korosi 0.7521020 mm/yr sedangkan nilai laju korrosi pada spesimen galvanis 3b sebesar 0.144818807 mm/yr. Nilai rata rata laju korosi yang didapat, pada spesimen baja karbon adalah 0.336217451 mm/yr dan pada spesimen galvanis adalah 0.217553064 mm/yr.

4.10.2 Analisa Perbandingan Laju Korosi Pada Spesimen Baja Karbon dan Galvanis Dengan Variasi Kecepatan Aliran

Label spesimen	Salinitas (‰)	Laju Korosi Karbon (mm/year)	Laju Korosi galvanis (mm/year)
1a 1b	30	0.54016	0.21014
2a 2b	30	0.51009	0.23314
3a 3b	30	0.40748	0.22170

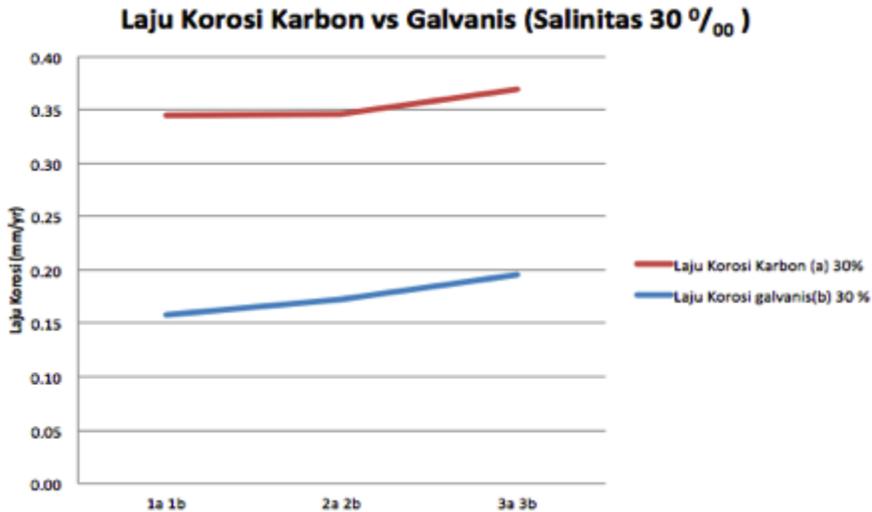


Gambar 4.33 Laju korosi pada spesimen baja karbon dan galvanis dengan kecepatan aliran 3.95 m/s (Salinitas 30‰)

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa perbandingan nilai laju korosi setiap spesimen yang sama hasilnya tidak jauh berbeda secara signifikan dengan yang lainnya. Untuk spesimen baja karbon dan galvanis memiliki besar nilai yang linier positif. Ditunjukkan juga bahwa nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen galvanis lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen karbon. Pada spesimen baja karbon 1a memiliki nilai laju korosi 0.54016 mm/yr sedangkan nilai laju korosi pada spesimen galvanis 1b sebesar 0.21014 mm/yr. Pada spesimen baja karbon 2a memiliki nilai laju korosi 0.51009 mm/yr sedangkan nilai laju korrosi pada spesimen galvanis 2b sebesar 0.23314 mm/yr. Pada spesimen baja karbon 3a memiliki nilai laju korosi 0.40748 mm/yr sedangkan nilai laju korrosi pada spesimen galvanis 3b sebesar 0.22170 mm/yr. Nilai rata rata laju korosi yang didapat, pada spesimen baja karbon adalah 0.48591 mm/yr dan pada spesimen galvanis adalah 0.22166 mm/yr.

Tabel 4.6.3 Perbandingan Laju Korosi pada salinitas 30‰, waktu perendaman 120 jam dengan kecepatan aliran 3.3 m/s

Label spesimen	Salinitas (‰)	Laju Korosi Karbon (mm/year)	Laju Korosi galvanis (mm/year)
1a 1b	30	0.34477	0.157866776
2a 2b	30	0.34634	0.17301285
3a 3b	30	0.36850	0.196203722

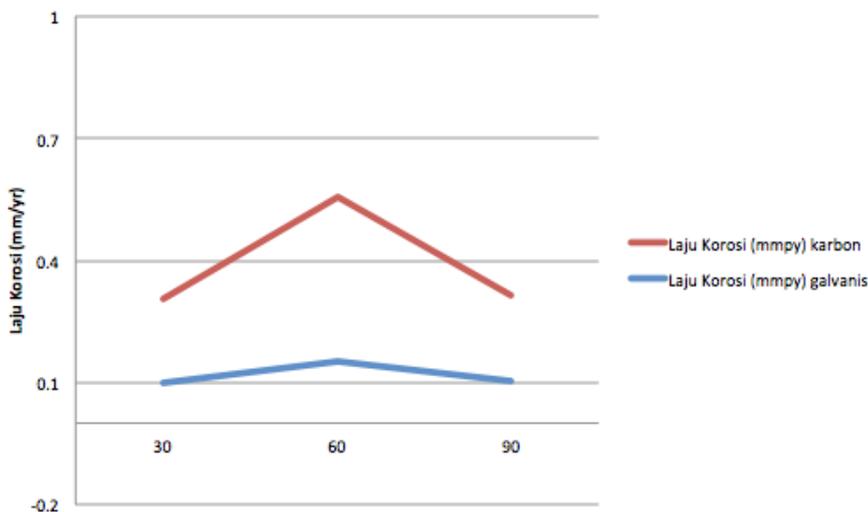


Gambar 4.34 Laju korosi pada spesimen baja karbon dan galvanis dengan kecepatan aliran 3.3 m/s (Salinitas 30‰)

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa perbandingan nilai laju korosi setiap spesimen yang sama hasilnya tidak jauh berbeda secara signifikan dengan yang lainnya. Untuk spesimen baja karbon dan galvanis memiliki besar nilai yang linier positif. Ditunjukkan juga bahwa nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen galvanis lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen karbon. Pada spesimen baja karbon 1a memiliki nilai laju korosi 0.34477 mm/yr sedangkan nilai laju korosi pada spesimen galvanis 1b sebesar 0.157866776 mm/yr. Pada spesimen baja karbon 2a memiliki nilai laju korosi 0.34634 mm/yr sedangkan nilai laju korrosi pada spesimen galvanis 2b sebesar 0.17301285 mm/yr. Pada spesimen baja karbon 3a memiliki nilai laju korosi 0.36850 mm/yr sedangkan nilai laju korrosi pada spesimen galvanis 3b sebesar 0.196203722 mm/yr. Nilai rata rata laju korosi yang didapat, pada spesimen baja karbon adalah 0.353204845 mm/yr dan pada spesimen galvanis adalah 0.175694449 mm/yr.

4.7 Analisa Pengaruh Salinitas

Tingkat salinitas air laut yang dipengaruhi oleh kadar garam yang terkandung didalam air laut tersebut turut mempengaruhi laju korosi pada logam. Dalam penelitian kali ini, kadar salinitas larutan yang digunakan 30 ‰, 60 ‰ dan 90 ‰. Untuk salinitas 90 ‰ perendaman dilakukan selama 120 jam saja tanpa ada variasi waktu perendaman, variasi waktu perendaman untuk 30 ‰ dan 60 ‰ adalah 120 jam dan 720 jam. Dan tambahan perendaman dilakukan yaitu dengan memberikan aliran pada larutan (salinitas 30 ‰) terhadap spesimen baja karbon dan galvanis dengan lama perendaman 120 jam. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan data laju korosi pada masing-masing salinitas yang diujikan. Berikut adalah hasil laju korosi berdasarkan tingkat salinitasnya.



Gambar 4.35 Laju Korosi Berdasarkan Salinitas pada Spesimen Uji pada Salinitas 30⁰/₀₀, 60⁰/₀₀ dan 90⁰/₀₀.

Berdasarkan grafik yang dihasilkan dari perhitungan laju korosi yang terjadi, diketahui bahwa semakin besar persentase salinitas pada larutan maka akan semakin besar pula nilai laju korosi nya. Besar persentase salinitas pada larutan dipengaruhi oleh kadar garam (NaCl) yang terlarut. Semakin besar kandungan garamnya, maka semakin besar pula persentase salinitasnya. Tetapi pada salinitas 90⁰/₀₀ terjadi penurunan nilai laju korosi pada kedua spesimen. Berdasarkan teori pasivitas, pada kadar garam (salinitas) tertentu dan pada suhu tertentu tingkat laju korosi akan menurun. Pasivitas adalah pasivitas adalah lepasnya suatu unsur akibat reaksi kimia yang dialami oleh beberapa logam dan paduan pada suatu kondisi lingkungan khusus. Logam dan paduan yang mengalami pasivitas diantaranya besi, nikel, silicon, chromium, titanium dan paduan- paduannya. Kondisi dimana laju korosi menurun pada kadar garam tertentu dinamakan kondisi pasif sehingga larutan garam selain bisa bersifat katalisator (pemicu/pemercepat) juga bisa bersifat sebagai inhibitor.

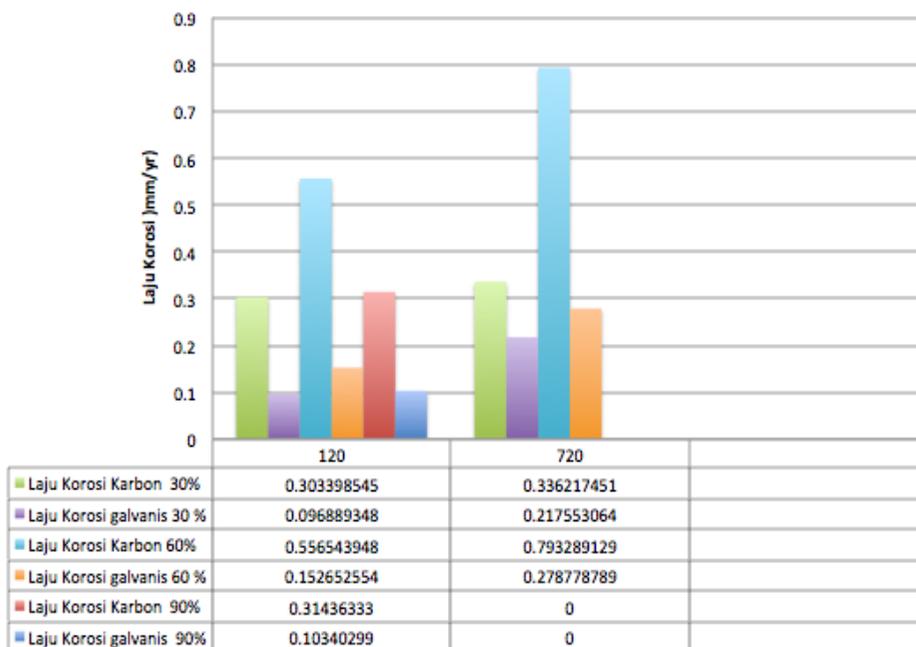
Korosi merupakan proses oksidasi sebuah logam dengan udara atau elektrolit lainnya, dimana udara atau elektrolit akan mengalami reduksi. Senyawa yang terdapat yang termasuk larutan elektrolit adalah air hujan yang bersifat asam atau air laut yang mengandung garam. Garam sendiri merupakan senyawa kimia yang bersifat pengoksidasi atau bersifat pe-reduksi, sehingga dengan kata lain semakin tinggi tingkatan kadar garam (salinitas) pada larutan akan semakin mempercepat laju korosi yang diterima oleh spesimen.

Namun untuk ukuran perairan didunia, secara umum dapat disimpulkan jika semakin besar kadar salinitas air laut semakin besar pula tingkat laju korosi yang dapat terjadi pada spesimen. Hal ini karena kadar salinitas di perairan dunia, yang umumnya dilalui kapal memiliki kadar garam sekitar 3⁰/₀₀ - 4⁰/₀₀.

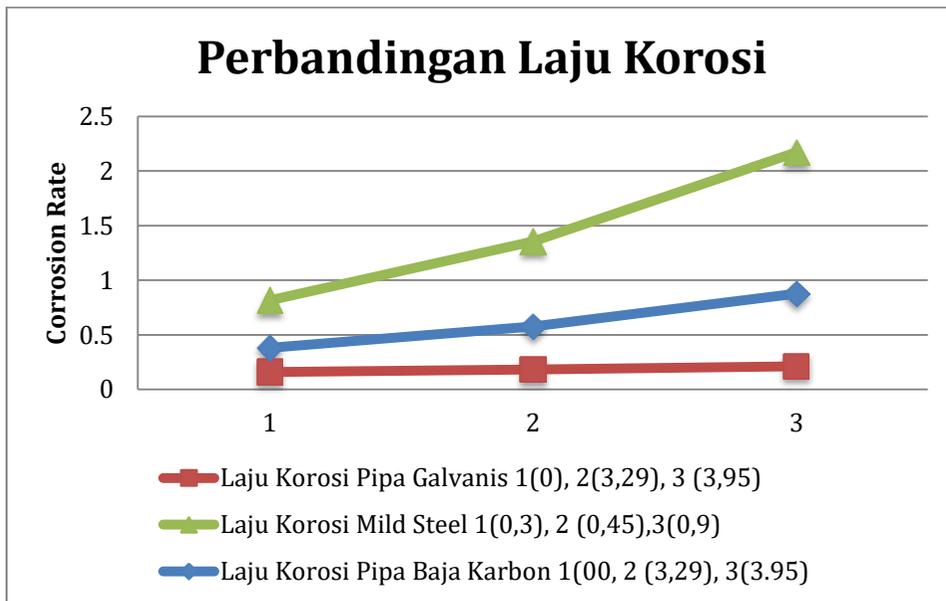
4.8 Analisa Pengaruh Waktu Perendaman

Lama waktu perendaman (120 jam dan 720 jam) pada spesimen di larutan korosif akan mempengaruhi tingkat laju korosi yang terjadi pada setiap spesimen. Antar spesimen mengalami tingkat laju korosi yang berbeda beda pada setiap variasi waktu perendaman. Berdasarkan data pada tabel (*Perbandingan Perhitungan Laju Korosi Antara Potensiostat dengan Faraday*), menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai laju korosi pada setiap perbedaan waktu perendaman, baik pada spesimen baja karbon maupun spesimen galvanis. Hal ini disebabkan karena besar nilai laju korosi berbanding lurus dengan waktu perendaman. Semakin lama waktu perendaman, maka nilai laju korosi juga akan bertambah besar. Hal ini dipengaruhi oleh larutan korosif NaCl bereaksi dengan spesimen semakin lama. Akibat dari reaksi larutan dan spesimen akan menyebabkan besar nilai laju korosi semakin bertambah seiring lama waktu perendaman. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan data laju korosi pada masing-masing lama waktu perendaman yang diujikan. Berikut adalah hasil laju korosi berdasarkan waktu perendaman.

Grafik Laju Korosi vs Waktu Perendaman



4.9 Pengaruh Kecepatan terhadap Laju Korosi



Gambar 4.36 Perbandingan Laju Korosi pada beberapa kecepatan

Pada gambar diatas menunjukkan grafik perbandingan laju korosi yang dipengaruhi oleh kecepatan pada percobaan Tugas Akhir ini dengan data percobaan pada penelitian paduan hasil laju korosi pada material mild steel yang disusun oleh Henrick Wall, Lars Wadso yang terlebih dahulu diteliti. Spesimen yang dibandingkan pada gambar tersebut adalah pipa baja karbon, pipa baja galvanis dan *mild steel*. Tujuan membandingkan laju korosi antara penelitian sebelumnya dengan penelitian ini adalah untuk memperoleh pengaruh kecepatan aliran terhadap laju korosi spesimen yang diteliti. Grafik yang berwarna hijau merupakan laju korosi *mild steel* pada masing masing kecepatan 0,3 m/s, 0,45 m/s dan 0,9 m/s pada suhu 50 derajat celcius. Grafik yang berwarna biru merupakan laju korosi pada pipa baja karbon dengan kecepatan masing-masing 0m/s, 3,3 m/s dan 3,95 m/s. Grafik yang berwarna merah merupakan laju korosi pipa baja galvanis pada masing masing kecepatan 0 m/s, 3,29 m/s dan 3,95 m/s. Dari gambar tersebut laju korosi yang paling tinggi adalah laju korosi material mildsteel. Walaupun kecepatan yang mengalir spesimen mild steel lebih rendah dari yang mengalir pipa baja karbon dan galvanis laju korosinya lebih tinggi. Hal tersebut bisa terjadi karena mild steel direndam pada suhu yang lebih tinggi dari pipa baja karbon dan galvanis. Laju aliran juga berpengaruh terhadap laju korosi pada material mild steel, semakin tinggi kecepatan maka semakin tinggi pula laju korosi yang diperoleh. Hal tersebut juga berlaku pada pipa baja karbon dan pipa baja galvanis. Pada pipa baja karbon laju korosi naik pada setiap kenaikan kecepatan. Namun nilai laju korosi pipa baja karbon tetap lebih tinggi

dari pipa baja galvanis. Dari data perbandingan laju korosi yang diperoleh diatas maka dapat disimpulkan bahwa laju korosi dipengaruhi oleh kecepatan. Semakin tinggi kecepatan aliran maka semakin tinggi pula laju korosinya. Hal itu terbukti pada material mild steel, pipa baja karbon, dan pipa baja galvanis.

4.10 Kategori Kerusakan Material Oleh Korosi

Berdasarkan ketentuan yang diatur oleh referensi buku korosi (Fontana 1987:172), maka diatur kategori kerusakan oleh korosi sesuai dengan besar nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen uji. Dalam penelitian ini, satuan laju korosi yang dihitung adalah mm/yr. Berikut merupakan tabel kategori kerusakan material oleh korosi pada spesimen.

Tabel 4.9.1 Kerusakan material oleh korosi merata

Ketahanan Relatif Korosi	Mpy (<i>mill per year</i>)	mm/yr	µm/yr	nm/h
<i>Outstanding</i>	<1	< 0,02	< 25	<2
<i>Excellent</i>	1 – 5	0,02 – 0,1	25 – 100	2 – 10
<i>Good</i>	5 – 20	0,1 – 0,5	100 – 500	10 – 150
<i>Fair</i>	20 – 50	0,5 – 1	500 – 1000	50 – 150
<i>Poor</i>	50 – 200	1 – 5	1000 – 5000	150 – 500
<i>Unexceptable</i>	200 +	5 +	5000 +	500 +

4.10.2 Kategori Ketahanan Material Terhadap Laju Korosi yang Terjadi

Jenis spesimen	Salinitas (%)	Waktu Perendaman (jam)	Laju Korosi Hukum Faraday (mm/year)	Kategori Ketahanan Relatif Korosi
Pipa Karbon	30	120	0.38975	<i>Good</i>
	60	120	0.3143002	<i>Good</i>
	90	120	0.52668	<i>Fair</i>
Pipa Galvanis	30	120	0.07600	<i>Excellent</i>
	60	120	0.10340	<i>Good</i>
Pipa Karbon	30	720	0.39361	<i>Good</i>
	60	720	0.79501	<i>Fair</i>
Pipa Galvanis	30	720	0.22909	<i>Good</i>
	60	720	0.12286	<i>Good</i>
Pada variasi kecepatan aliran 0.3 m/hour				
Pipa Karbon	30	120	0.54016	<i>Fair</i>
Pipa Galvanis	30	120	0.21014	<i>Good</i>

Pada variasi kecepatan aliran 0,2 m/hour				
Pipa Karbon	30	120	0.34477	Good
Pipa Galvanis	30	120	0.15787	Good

Dari data laju korosi didapatkan bahwa nilai ketahanan material terhadap laju korosi di dominasi oleh kategori “Good” dengan kisaran nilai laju korosi 0.1 – 0,5 mm/yr. Terdapat 3 nilai yang termasuk dalam kategori ketahanan “Fair” dengan kisaran nilai laju korosi 0.5 – 1 mm/yr. Pada kategori *fair* dialami oleh Pipa karbon salinitas 60 dengan waktu perendaman 720 jam, pipa karbon salinitas 90 dengan waktu perendaman 120 jam, dan pada pipa dengan kecepatan aliran 3.95 m/s. Dan pada kategori “Excellent” dengan kisaran nilai laju korosi 0.02 – 0.1 mm/yr terdapat pada spesimen pipa galvanis salinitas 30 dengan waktu perendaman 120 jam.

4.11 Analisa Hasil Mikro

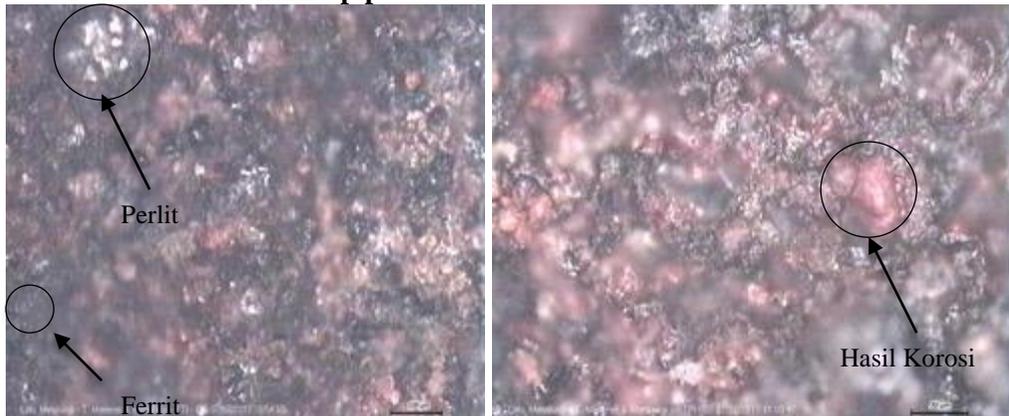
4.10.2 Struktur mikro pipa baja Karbon



Pada gambar diatas ditunjukkan bahwa morfologi permukaan spesimen pipa baja karbon sudah tidak *smooth* (halus), hal ini merupakan inisiasi timbulnya kerusakan pada permukaan akibat proses korosi. Apabila proses ini dilanjutkan, semakin lama akan terlihat produk korosi yang lebih jelas. Berdasarkan hasil foto mikro yang dilakukan terhadap spesimen dilakukan untuk mendapatkan fasa yang terbentuk pada tiap permukaan spesimen uji. Bila dilihat dari hasil laju korosi yang relatif kecil, unuk menghasilkan produk korosi fungsi waktu juga mempengaruhi, semakin lama waktu pengamatan maka nilai laju korosinya akan semakin besar pula, selain itu produk korosi dapat diamati secara visual. Hal tersebut akan diikuti oleh adanya perubahan morfologi permukaan, perubahan morfologi tersebut bisa berupa lubang atau retakan. Hasil foto mikro diatas didapatkan dari perbesaran 200 μ m, yang dapat dilihat fasa fasa penyusun spesimen. Fasa dari pipa baja karbon adalah Ferrit dan Perlit. Dimana perlit ditunjukkan dengan bagian yang mempunyai warna lebih cerah (cenderung putih), sedangkan bagian yang berwarna lebih gelap (cenderung hitam) disebut ferrit. Distribusi fasa yang terjadi pada spesimen tersebut cukup merata, tetapi pada beberpa

bagian terdapat kumpulan fasa perlit, yang menunjukkan bahwa sifat pipa baja karbon lebih keras.

4.10.2 Struktur mikro pipa Galvanis



Pada gambar diatas ditunjukkan bahwa morfologi permukaan spesimen pipa galvanis sudah tidak *smooth* (halus), hal ini merupakan inisiasi timbulnya kerusakan pada permukaan akibat proses korosi. Apabila proses ini dilanjutkan, semakin lama akan terlihat produk korosi yang lebih jelas. Berdasarkan hasil foto mikro yang dilakukan terhadap spesimen dilakukan untuk mendapatkan fasa yang terbentuk pada tiap permukaan spesimen uji. Hasil foto mikro diatas didapatkan dari perbesaran 200 μm , yang dapat dilihat fasa fasa penyusun spesimen. Fasa dari pipa baja karbon adalah Ferrit dan Perlit. Dimana perlit ditunjukkan dengan bagian yang mempunyai warna lebih cerah (cenderung putih), sedangkan bagian yang berwarna lebih gelap (cenderung hitam) disebut ferrit. Dari gambar diatas ditunjukkan bahwa pipa baja galvanis merupakan jenis pipa yang memiliki kandungan karbon rendah. Sementara untuk distribusi fasa sisi gelap lebih dominan dibanding sisi terang, Bila dilihat dari hasil laju korosi yang relatif kecil, unuk menghasilkan produk korosi fungsi waktu juga mempengaruhi, semakin lama waktu pengamatan maka nilai laju korosinya akan semakin besar pula, selain itu produk korosi dapat diamati secara visual. Hal tersebut akan diikuti oleh adanya perubahan morfologi permukaan, perubahan morfologi tersebut bisa berupa lubang atau retakan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Nilai laju korosi tertinggi yang terjadi pada pipa baja karbon adalah 0.79328913 mm/yr dengan salinitas 6% dan waktu perendaman 720 jam. Nilai laju korosi tertinggi yang terjadi pada pipa galvanis adalah 0.27877879 mm/yr dengan salinitas 6% dan waktu perendaman 720 jam.
2. Kategori ketahanan korosi pada spesimen didapatkan bahwa nilai ketahanan material terhadap laju korosi di dominasi oleh kategori “*Good*” dengan kisaran nilai laju korosi 0.1 – 0,5 mm/yr. Terdapat 3 nilai yang termasuk dalam kategori ketahanan “*Fair*” dengan kisaran nilai laju korosi 0.5 – 1 mm/yr. Pada kategori *fair* dialami oleh Pipa karbon salinitas 60 dengan waktu perendaman 720 jam, pipa karbon salinitas 90 dengan waktu perendaman 120 jam, dan pada pipa dengan kecepatan aliran 3.95 m/s. Dan pada kategori “*Excellent*” dengan kisaran nilai laju korosi 0.02 – 0.1 mm/yr terdapat pada spesimen pipa galvanis salinitas 30 dengan waktu perendaman 120 jam.
3. Berdasarkan hasil foto mikro dari specimen baja Karbon dan Galvanis didapatkan bahwa kondisi morfologi permukaan kedua specimen tampak sudah tidak *smooth* (halus) akibat timbulnya kerusakan akibat proses korosi yang terjadi.

5.2 SARAN

1. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan melanjutkan penelitian mekanisme pasivitas yang terjadi, untuk dijadikan sebagai inhibitor.
2. Untuk analisa struktur mikro yang lebih lengkap dapat dilakukan foto SEM-EDX untuk mengetahui struktur-struktur mikro pada specimen.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

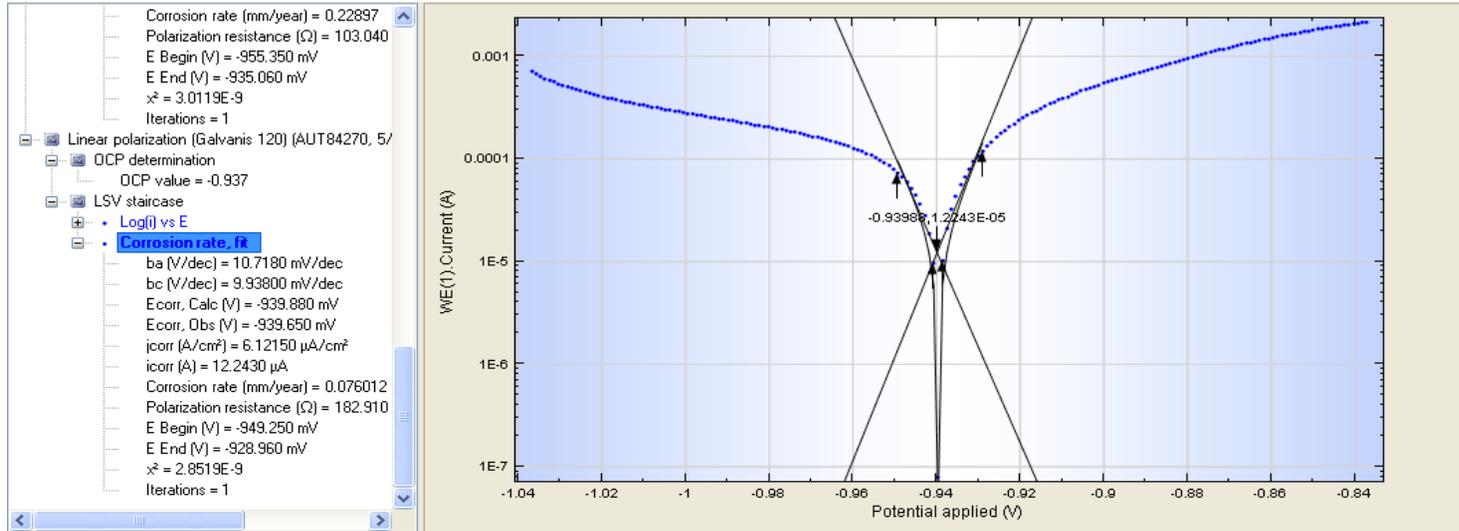
1. Yudha Kurniawan Afandi, Irfan Syarif, Admiaji 2012. “Analisa Laju Korosi pada pelat baja Karbon dengan Variasi ketebalan coating”, Jurusan T.Sistem Perkapalan – ITS Surabaya
2. Sutrisna, 2008, Pengaruh Konsentrasi Larutan AL₂SO₄ Terhadap Ketahanan Korosi Baja Galvanis Pada Pipa Air Minum. Jurusan Teknik Mesin. STTN Yogyakarta.
3. Supriyanto. 2007. Tugas Akhir. “Pengaruh Konsentrasi Larutan NaCl 2% dan 3,5% Terhadap Laju Korosi Pada Baja Karbon Rendah”. Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
4. Supomo, Heri 2003. Buku Ajar Korosi. Jurusan Teknik Perkapalan FTK – ITS Surabaya.
5. Minto Basuki, Abdul Aris Wacana Putra, 2012, Analisa Laju Korosi Duplex SS AWS
6. Kusumo, Eko. 2009. Tugas Akhir. “Studi Pengaruh Scratch Permukaan Terhadap Laju Korosi pada Pelat Baja Karbon Rendah”. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
7. <http://www.scribd.com/doc/korosi>) diakses pada 6 Februari 18.00
8. http://www.corrosionclinic.com/types_of_corrosion/uniform_corrosion.html) diakses pada 6 Februari 17.50
9. Hairul Arsyat, Suhardi., 1998. Studi Degradasi Material Pipa Jenis Baja ASTM A53 Akibat Media Korosif Air, Fakultas Teknik Mesin,.
10. Furqan, Muhammad. 2013. Macam-Macam Korosi. Jakarta[<http://m10mechanicalengineering.co.id/2013/11/macam-macam-bentuk-korosi.html> diakses pada 6 Februari 2017 pada jam 17.50]
11. Fontana, Mars G, 1986, Corrosion Engineering Third Edition, New York : Mc Graw- Hill.
12. Dimas Dwi Setyo, Purnami, Femiana Gapari, 2012, Pengaruh Jumlah Goresan pada Coating terhadap laju Korosi dengan variasi waktu perendaman”, Jurusan Teknik Mesin Fak. Teknik Universtas Brawijaya.
13. Budi Utomo , P.2010. Tugas Akhir, Jenis Korosi dan Penanggulangannya”, Semarang: Universitas Diponegoro.
14. Boyd, C.E. 1982. Water Quality in Warm Water Fish Pond. Auburn University Agricultural Experimenta Satation. Auburn Alabama.
15. ASTM (American Standart for Testing and Material). “ASTM G102 – 89 Corrosion Rate Calculation”. Amerika: ASTM International, (2002).
16. ASTM (American Standart for Testing and Material). "ASTM G1-90 vol 3.2 Faraday Law" Amerika: ASTM International, (2002).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Galvanis Galvanis salinitas 30 120 jam

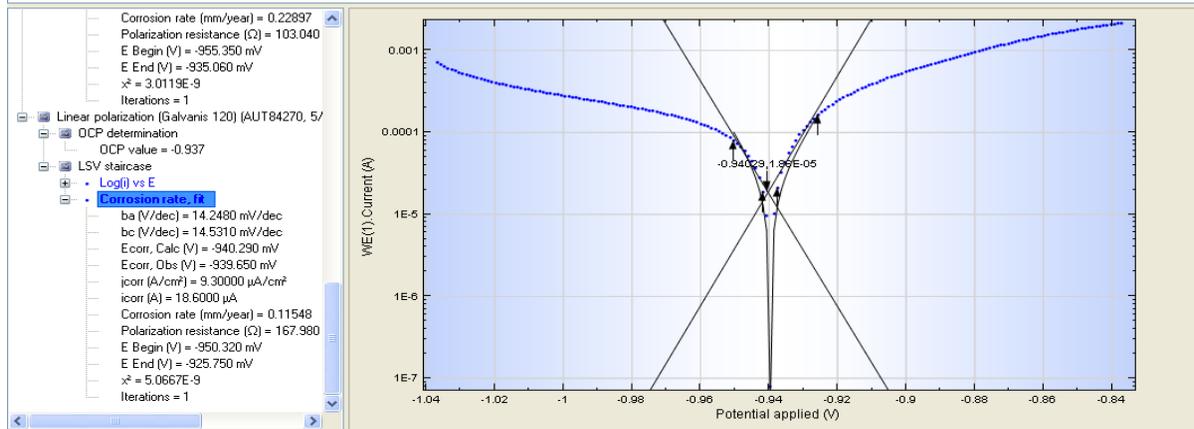
Larutan elektrolit : NaCl 3%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Galvanis Galvanis salinitas 30 120 jam

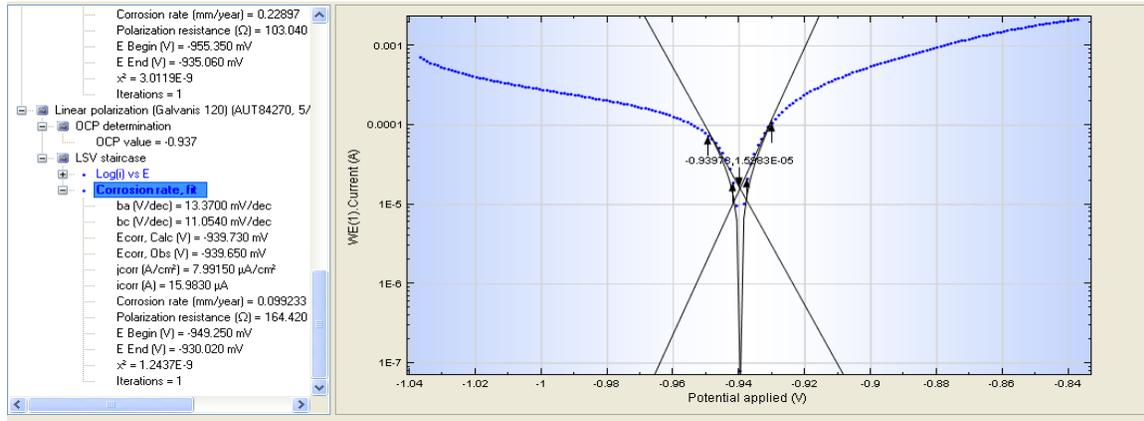
Larutan elektrolit : NaCl 3%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Galvanis salinitas 30 120 jam

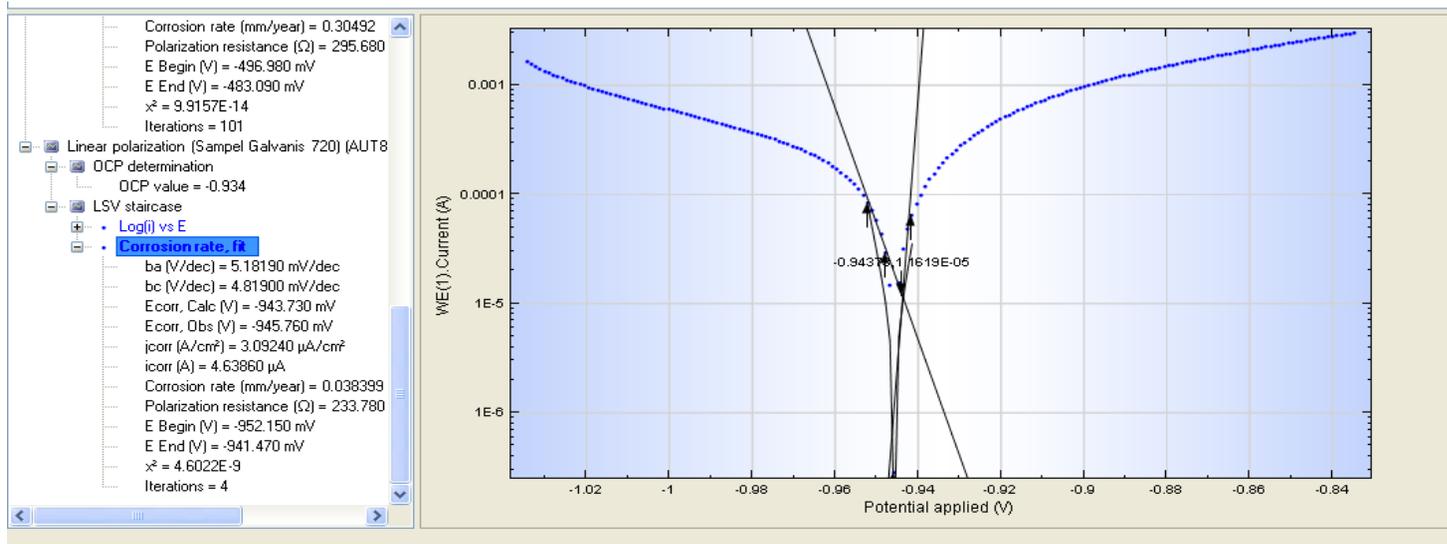
Larutan elektrolit : NaCl 3%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Galvanis Galvanis salinitas 30 720 jam

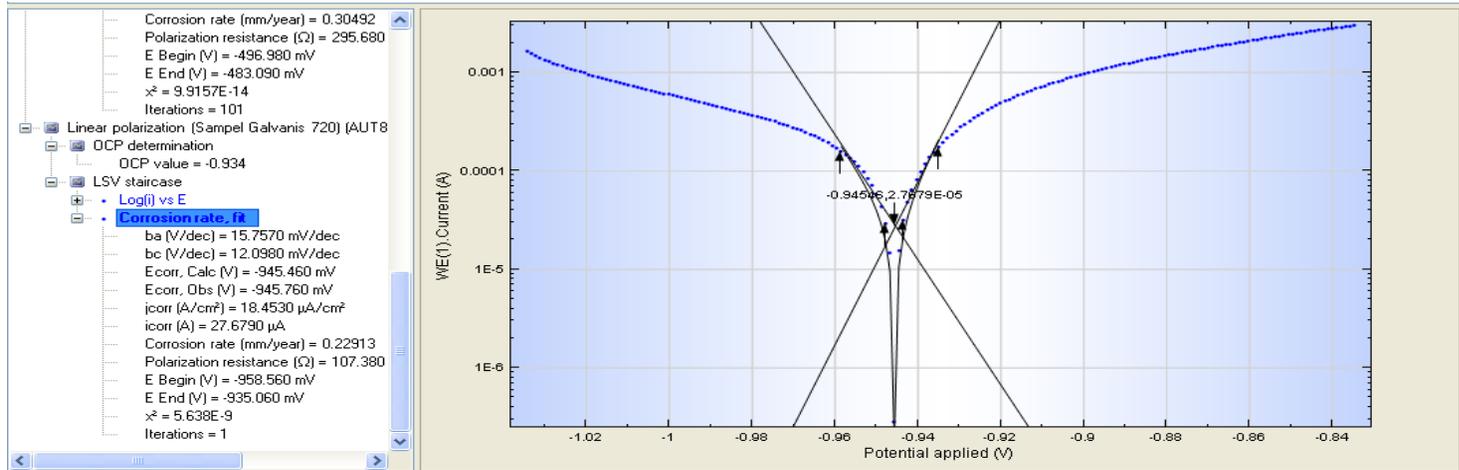
Larutan elektrolit : NaCl 3%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Galvanis salinitas 30 720 jam

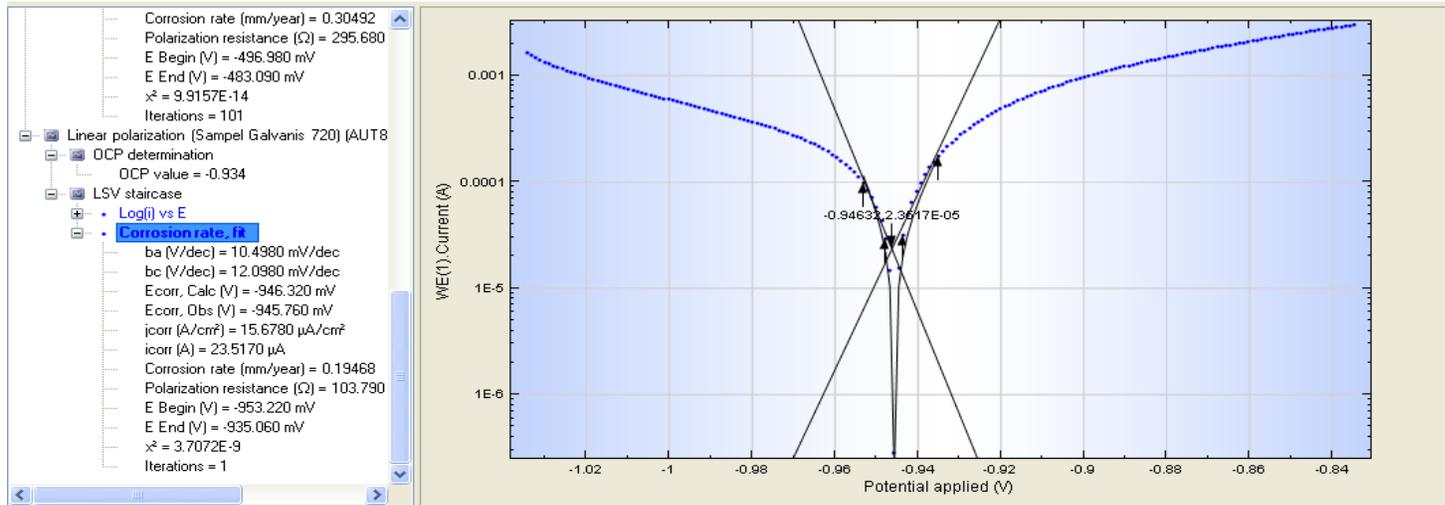
Larutan elektrolit : NaCl 3%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Galvanis salinitas 30 720 jam

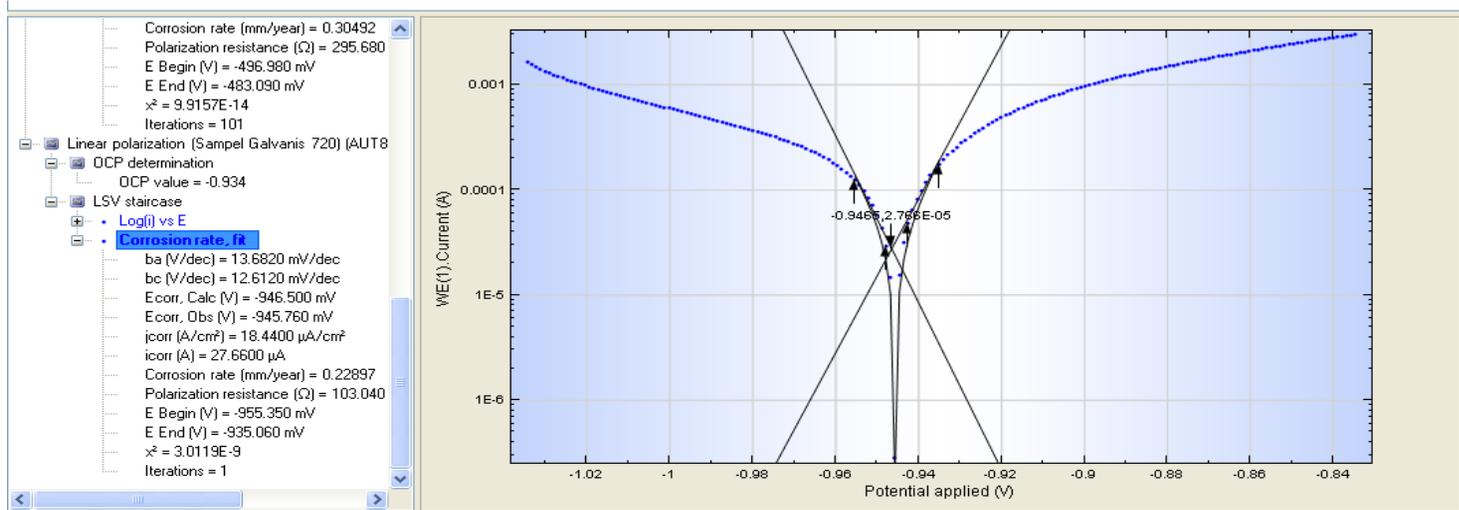
Larutan elektrolit : NaCl 3%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Galvanis salinitas 30 720 jam

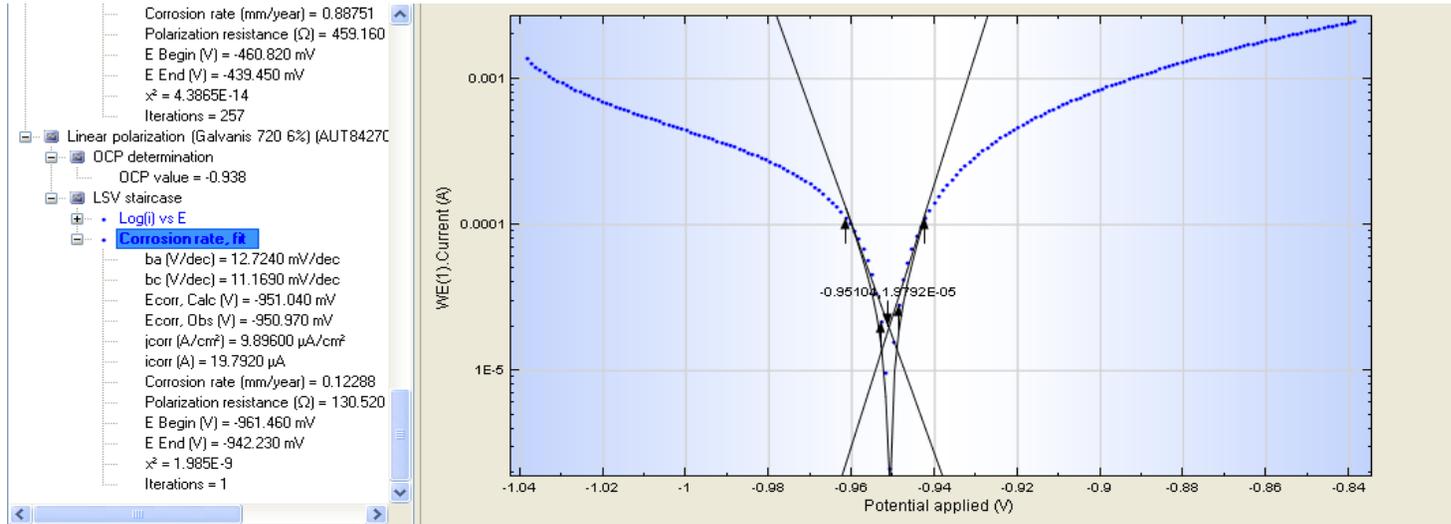
Larutan elektrolit : NaCl 3%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Galvanis salinitas 60 720 jam

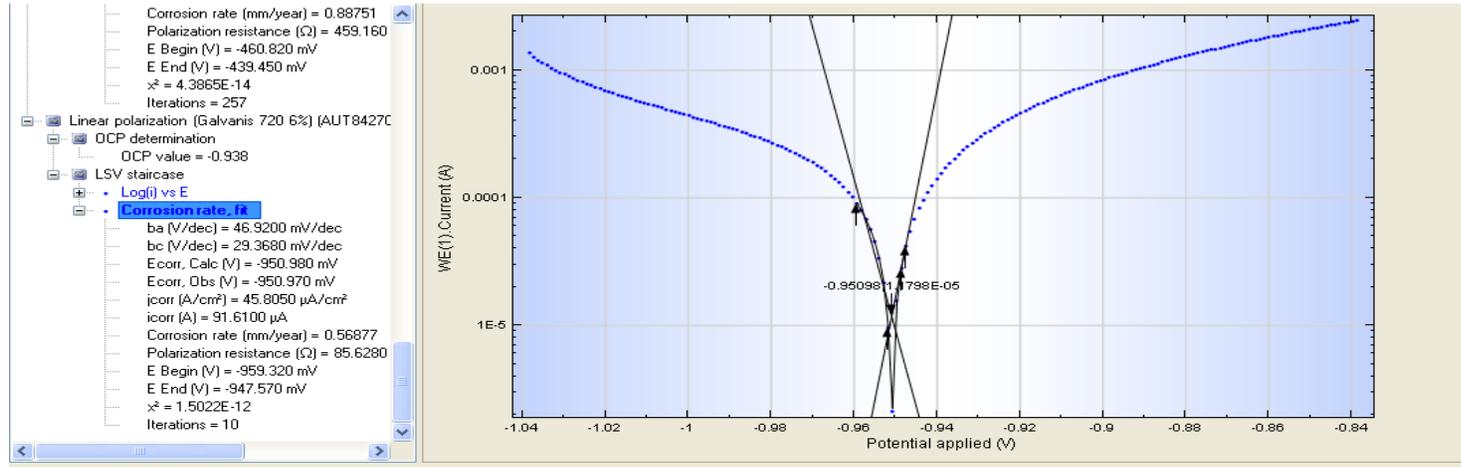
Larutan elektrolit : NaCl 6%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Galvanis salinitas 60 720 jam

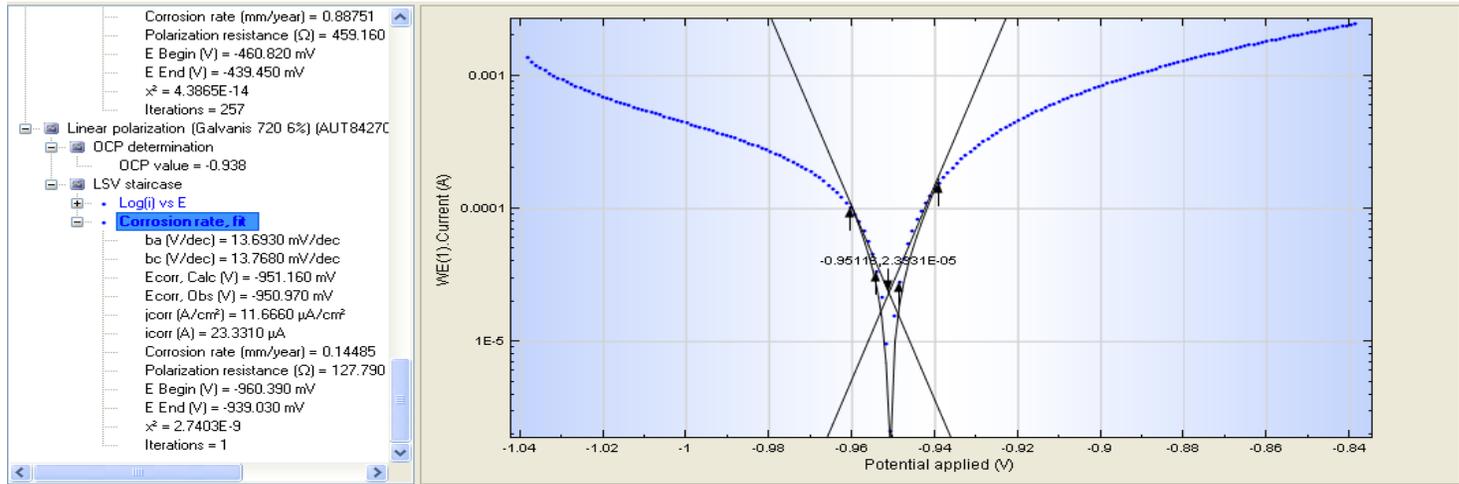
Larutan elektrolit : NaCl 6%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Galvanis salinitas 60 720 jam

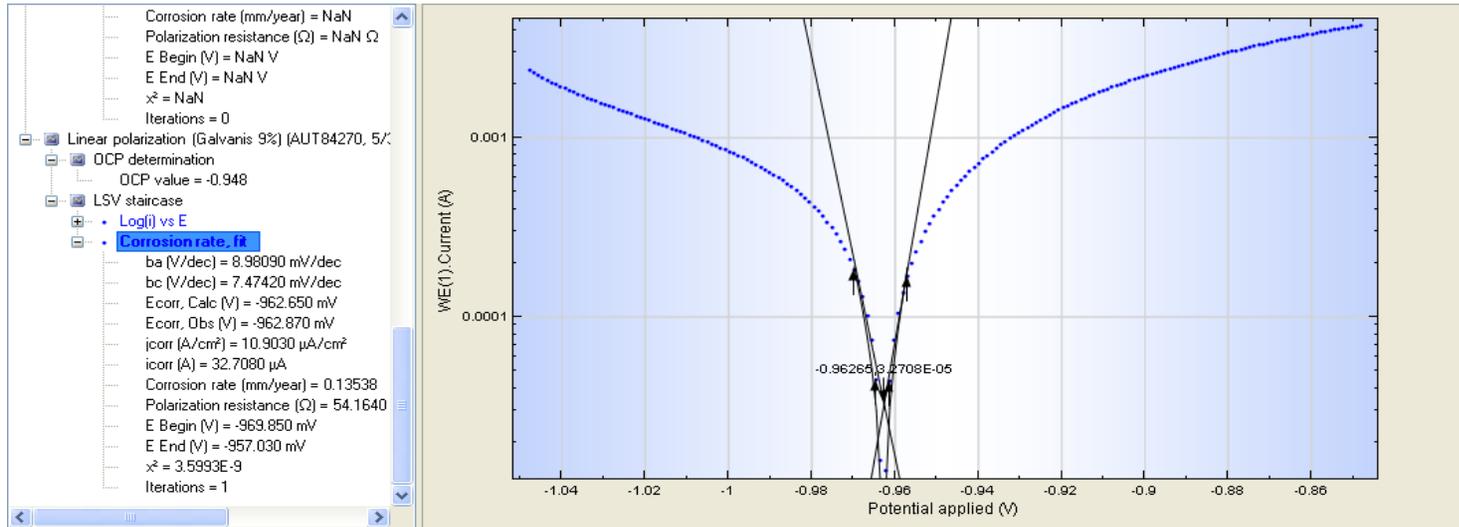
Larutan elektrolit : NaCl 6%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Galvanis salinitas 60 120 jam

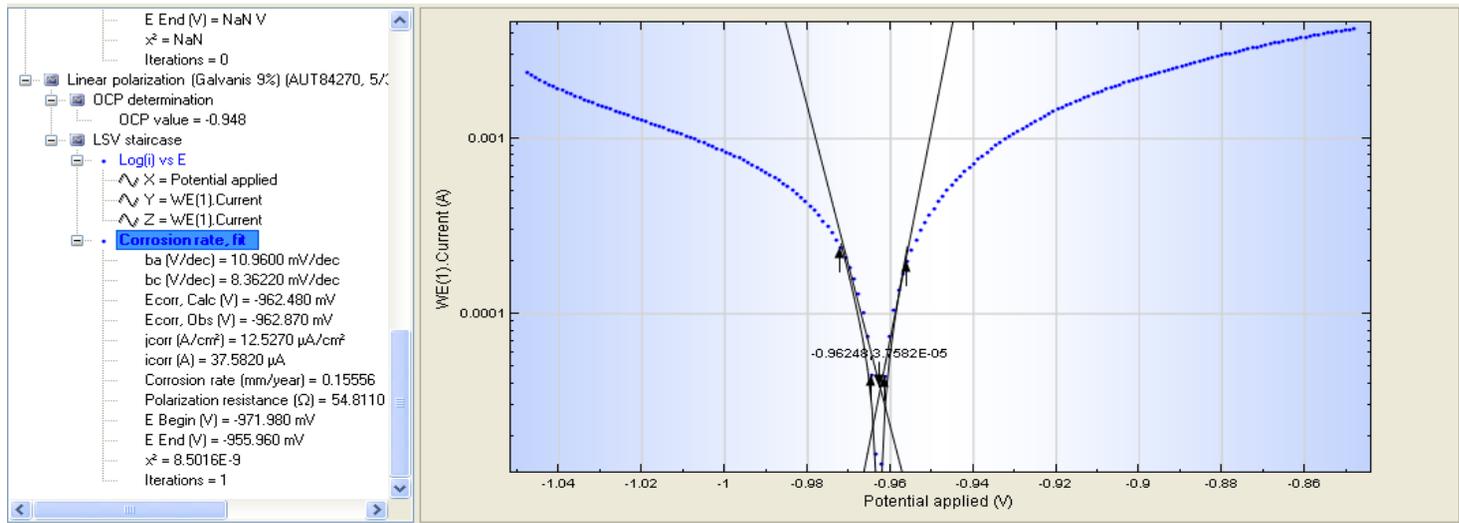
Larutan elektrolit : NaCl 6%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Galvanis salinitas 60 120 jam

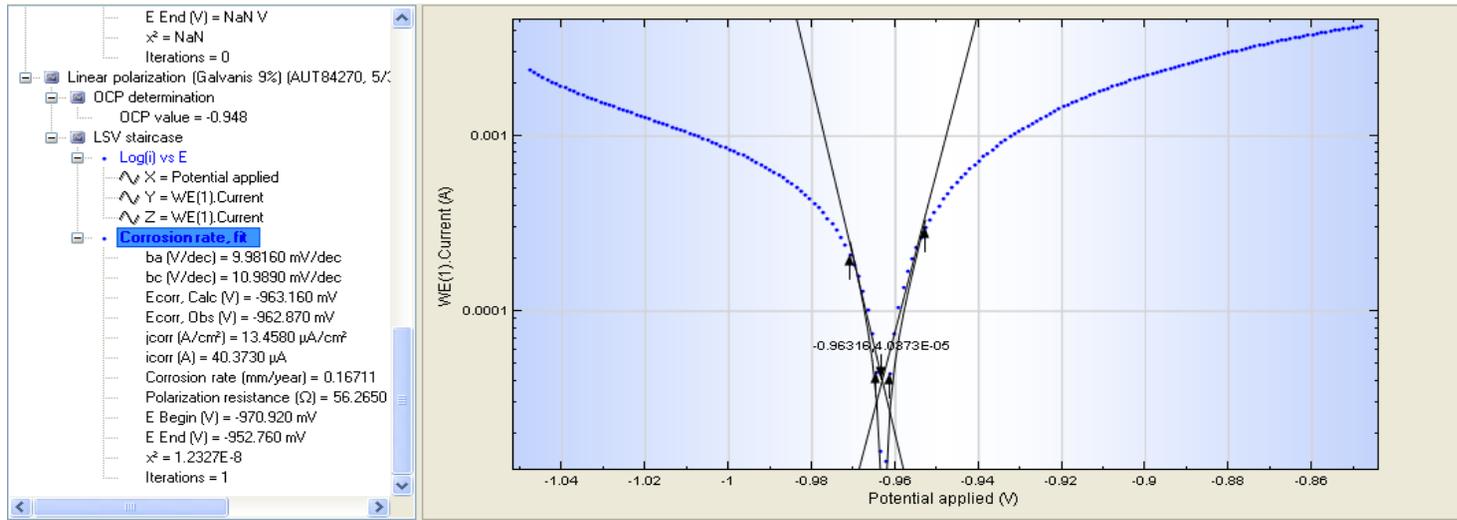
Larutan elektrolit : NaCl 6%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Galvanis salinitas 60 120 jam

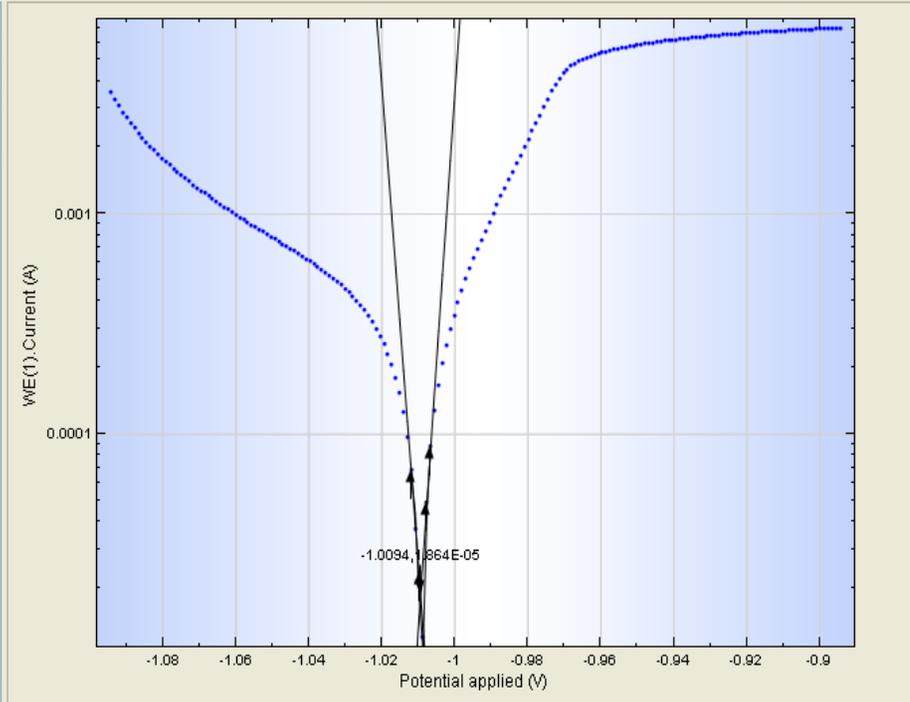
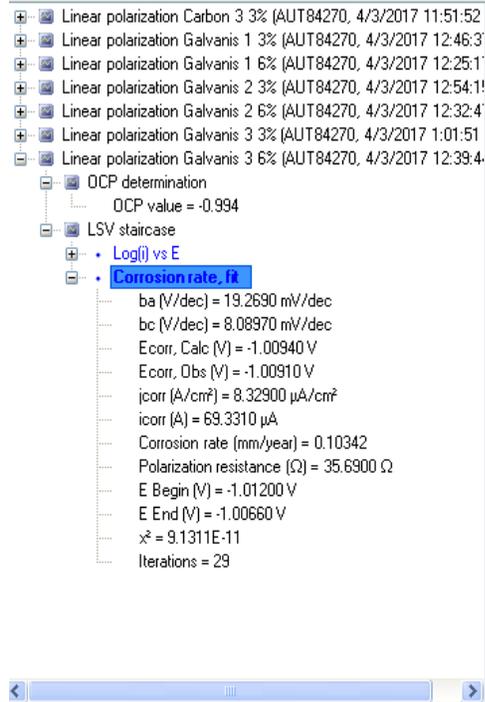
Larutan elektrolit : NaCl 6%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Galvanis salinitas 90 120 jam

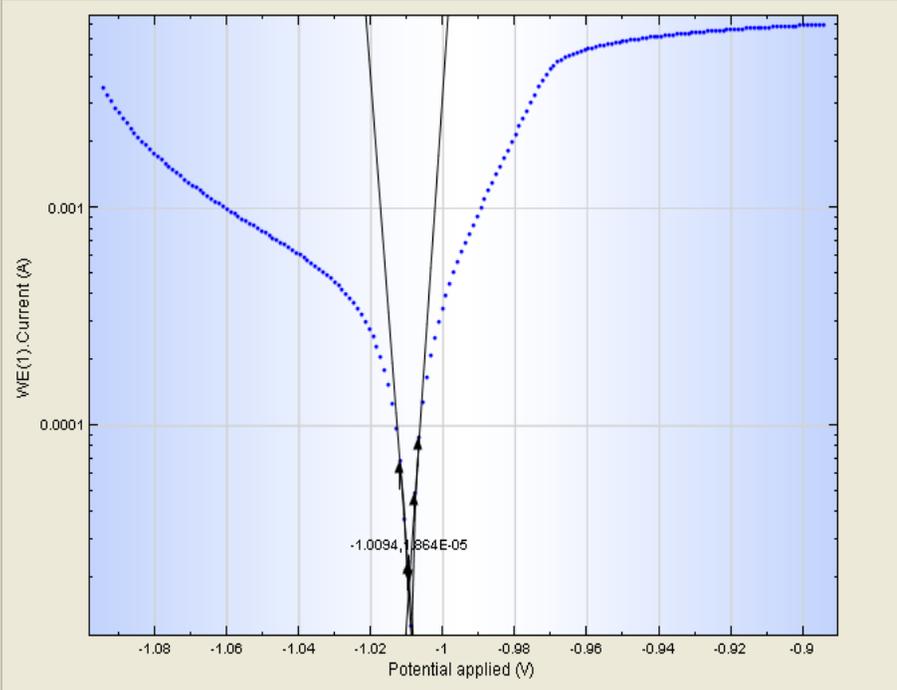
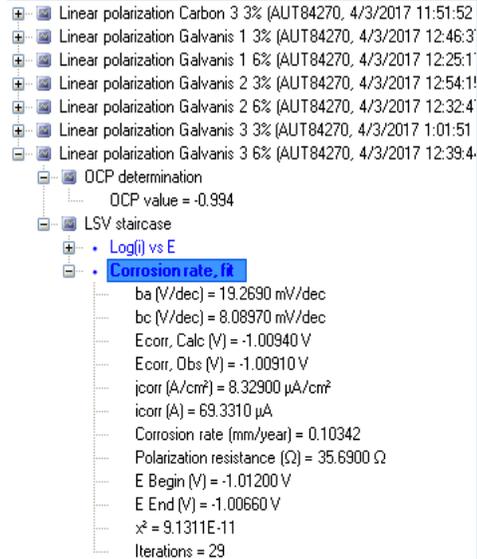
Larutan elektrolit : NaCl 6%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Galvanis salinitas 90 120 jam

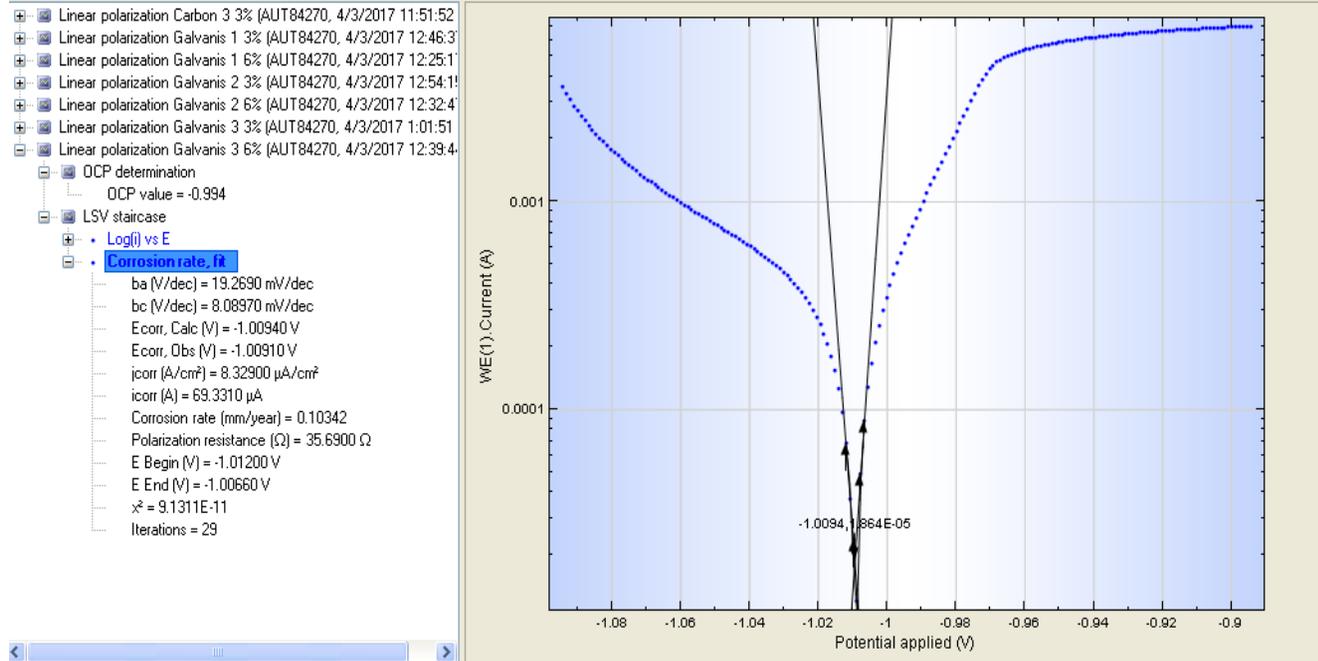
Larutan elektrolit : NaCl 6%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Galvanis salinitas 90 120 jam

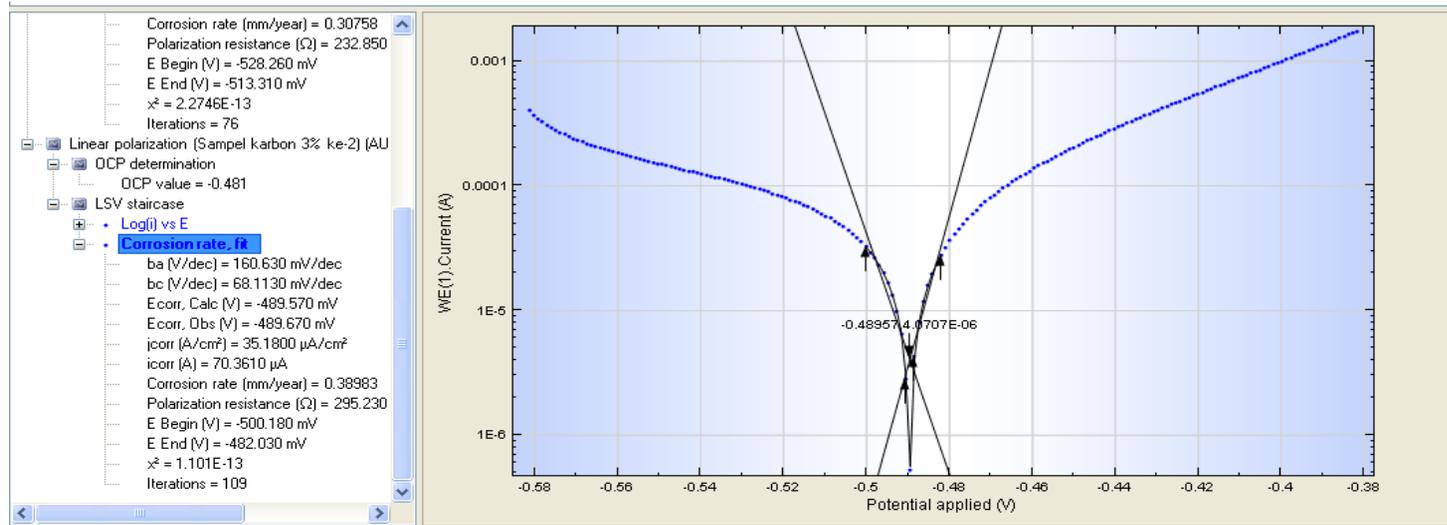
Larutan elektrolit : NaCl 6%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Karbon salinitas 30 120 jam

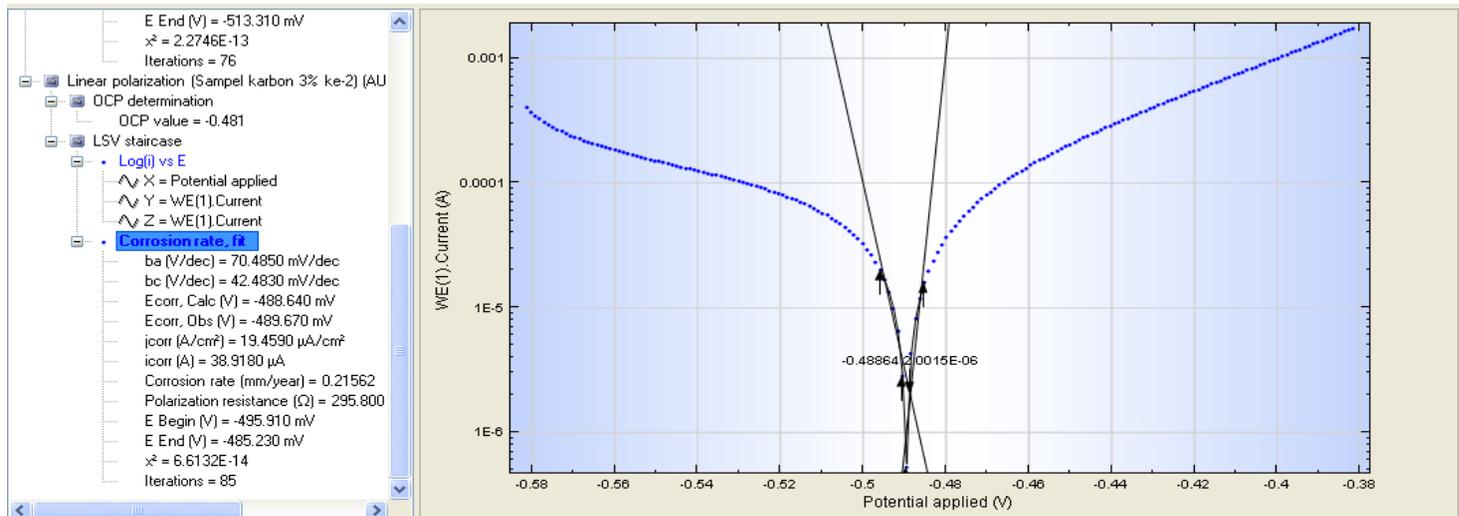
Larutan elektrolit : NaCl 3%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Karbon salinitas 30 120 jam

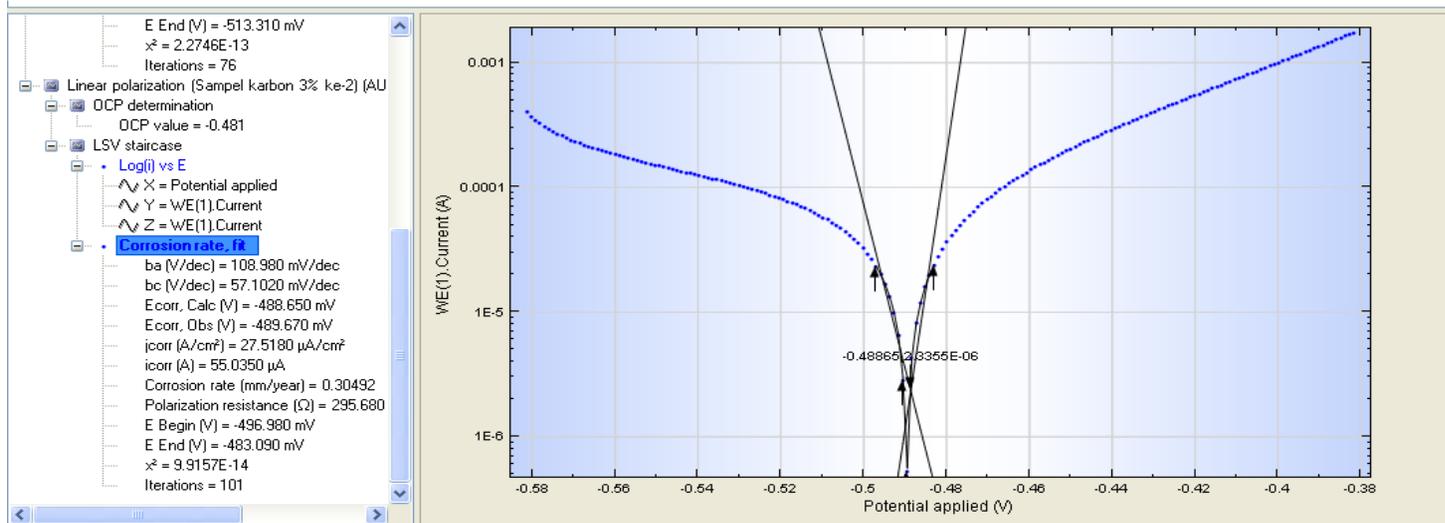
Larutan elektrolit : NaCl 3%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Karbon salinitas 30 120 jam

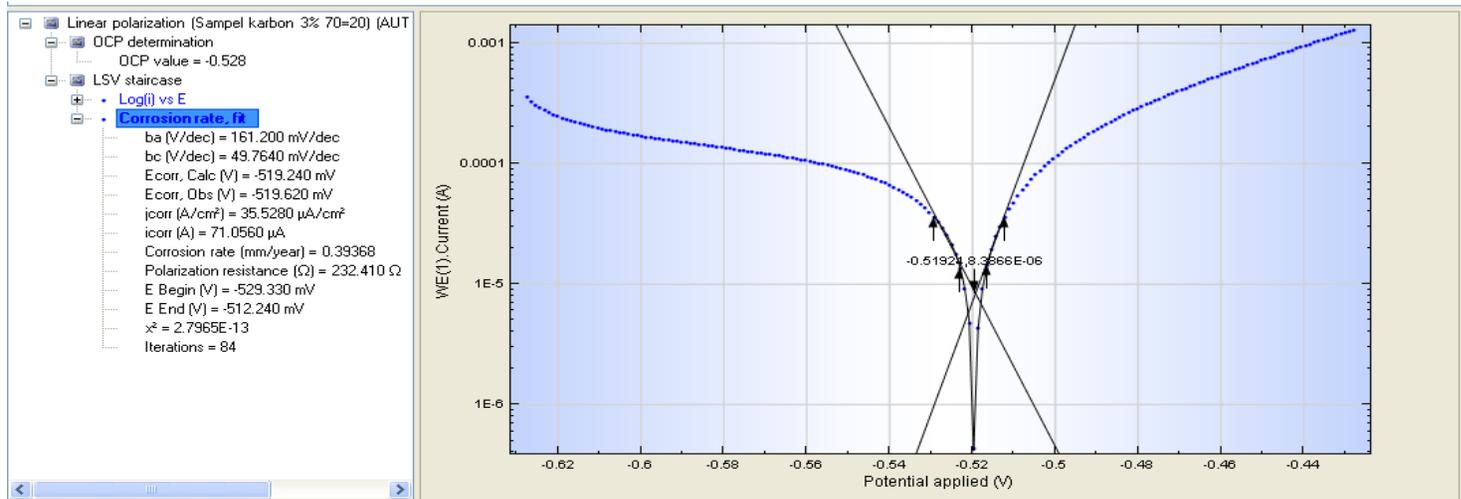
Larutan elektrolit : NaCl 3%



Hasil Analisa Polarisation Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Karbon salinitas 30 720 jam

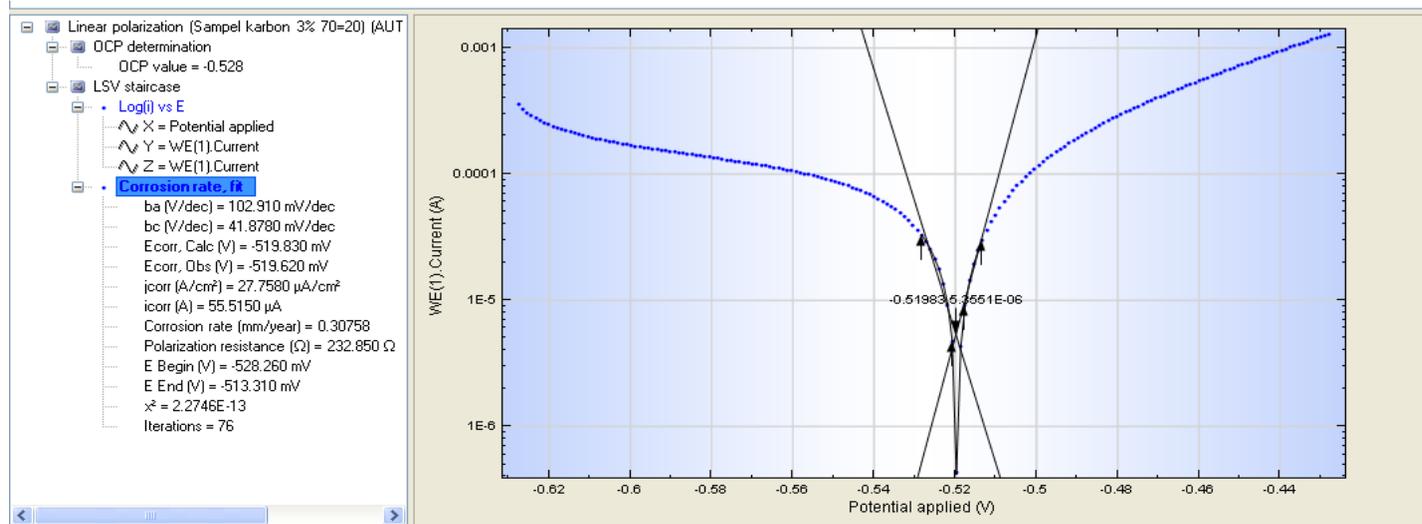
Larutan elektrolit : NaCl 3%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Karbon salinitas 30 720 jam

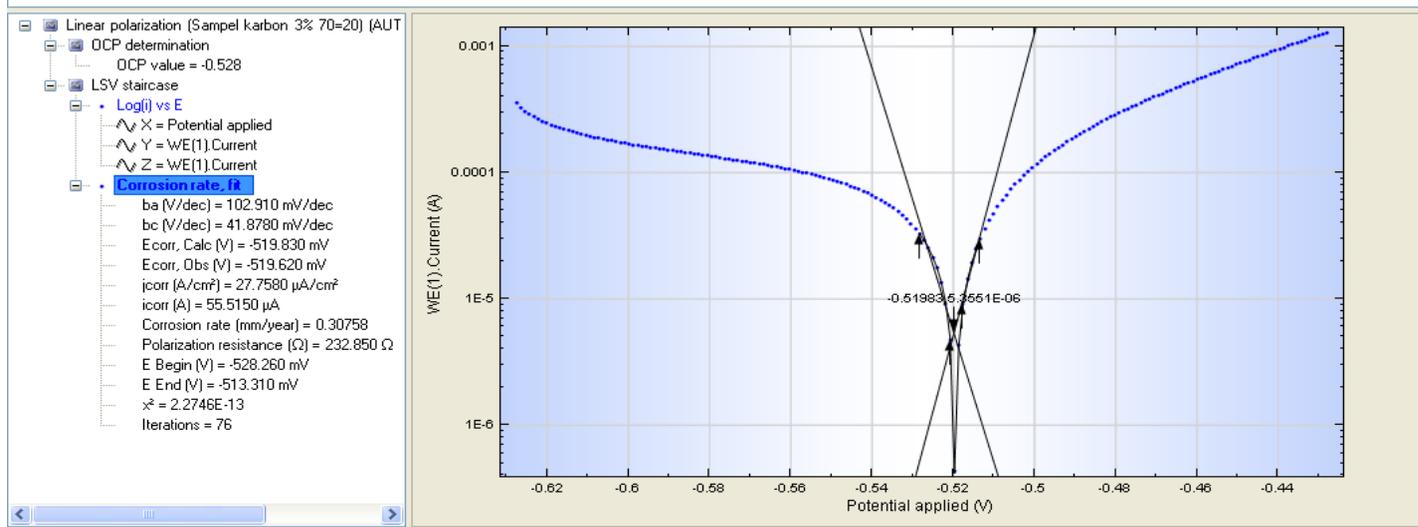
Larutan elektrolit : NaCl 3%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Karbon salinitas 30 720 jam

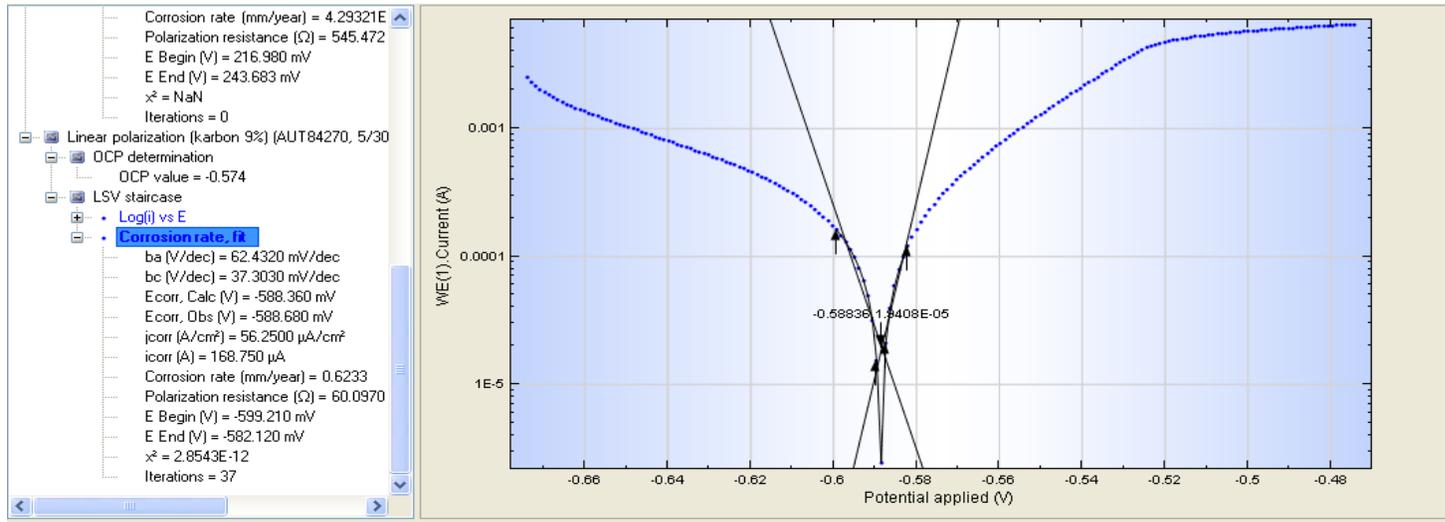
Larutan elektrolit : NaCl 3%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Karbon salinitas 60 120 jam

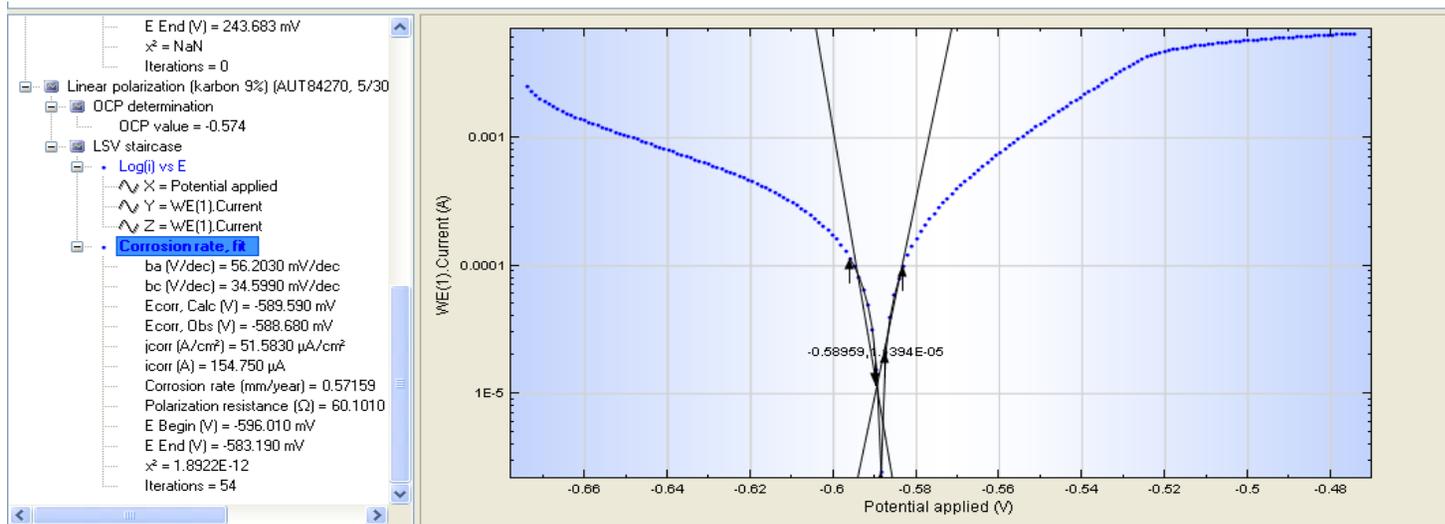
Larutan elektrolit : NaCl 6%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Karbon salinitas 60 120 jam)

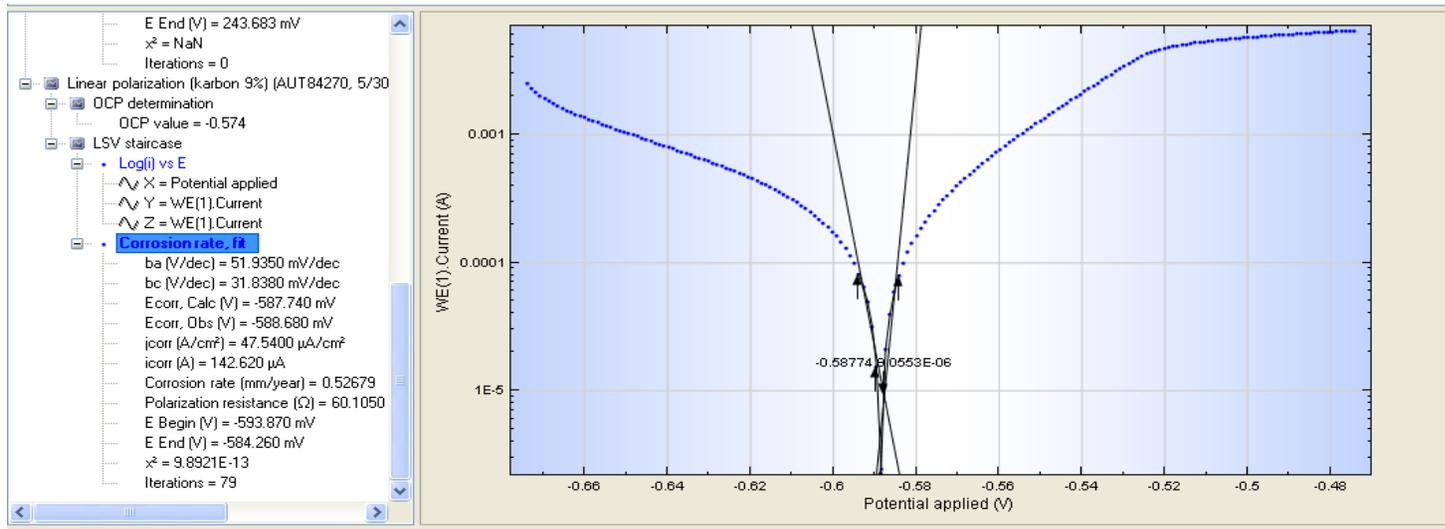
Larutan elektrolit : NaCl 6%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Karbon salinitas 60 120 jam

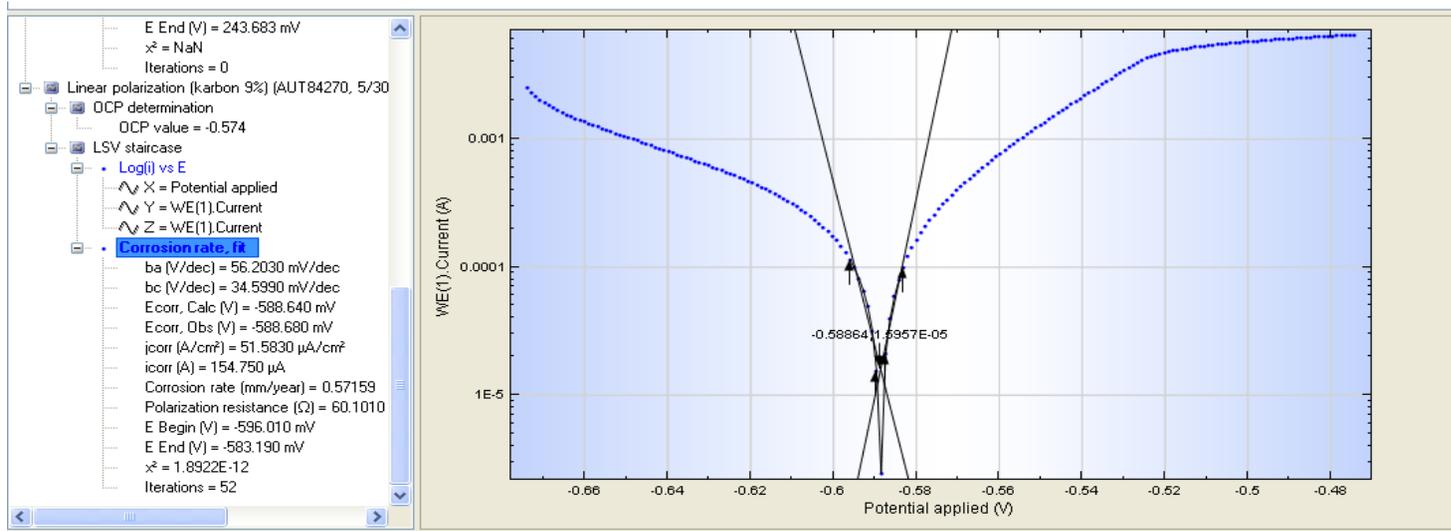
Larutan elektrolit : NaCl 6%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Karbon salinitas 60 120 jam

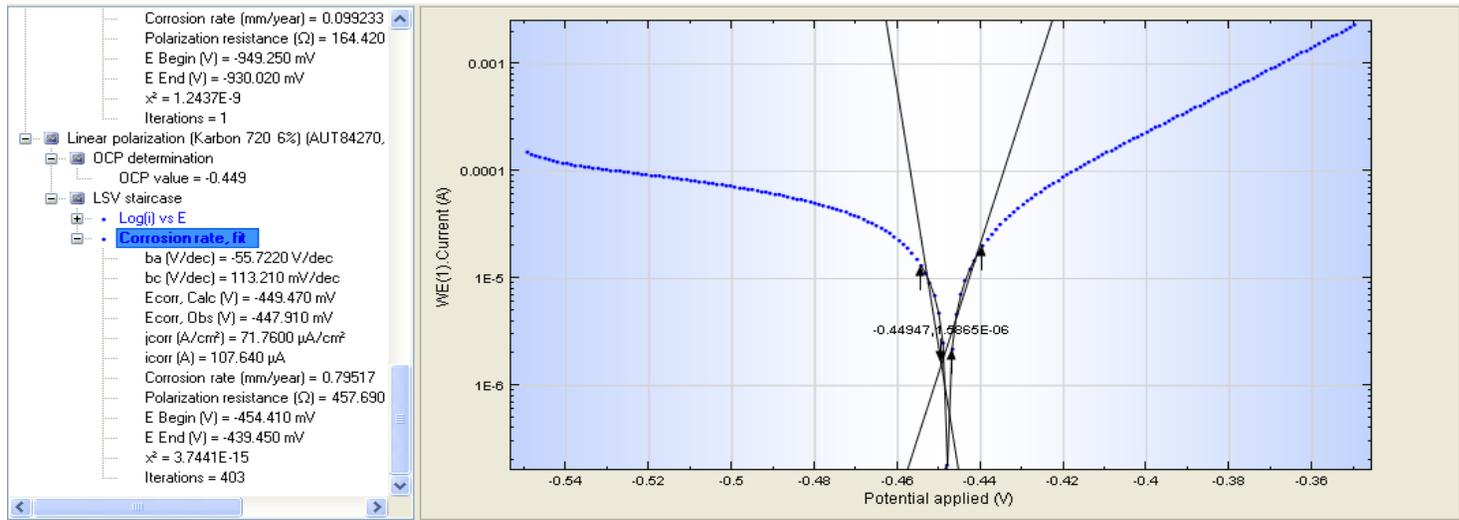
Larutan elektrolit : NaCl 6%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Karbon salinitas 60 720 jam)

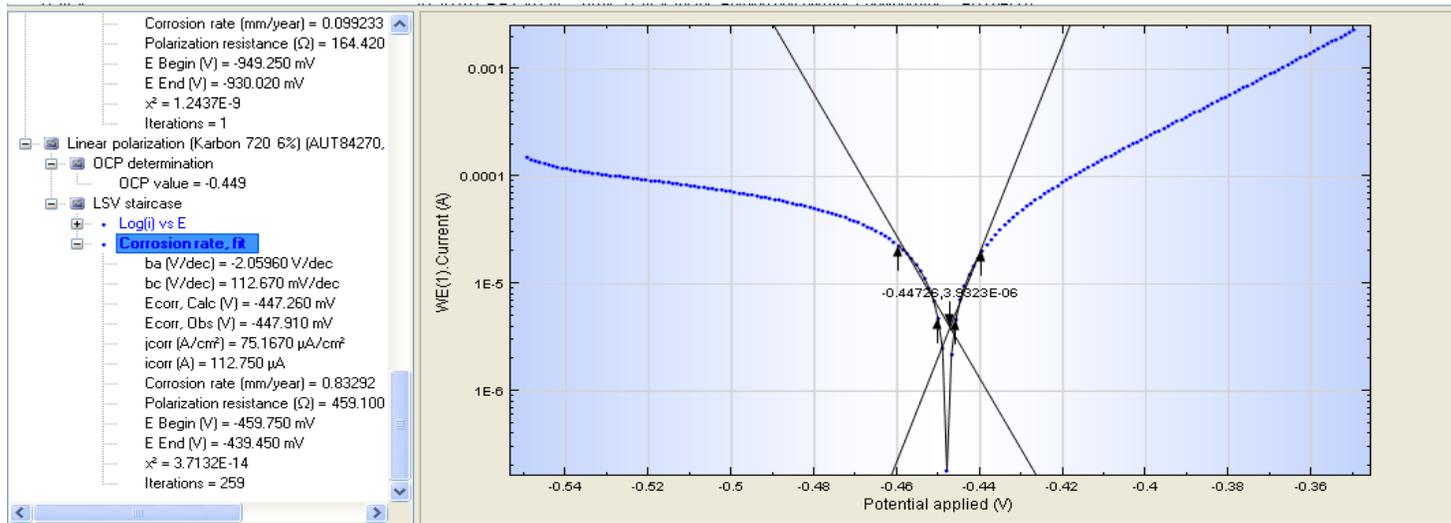
Larutan elektrolit : NaCl 6%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Karbon salinitas 60 720 jam)

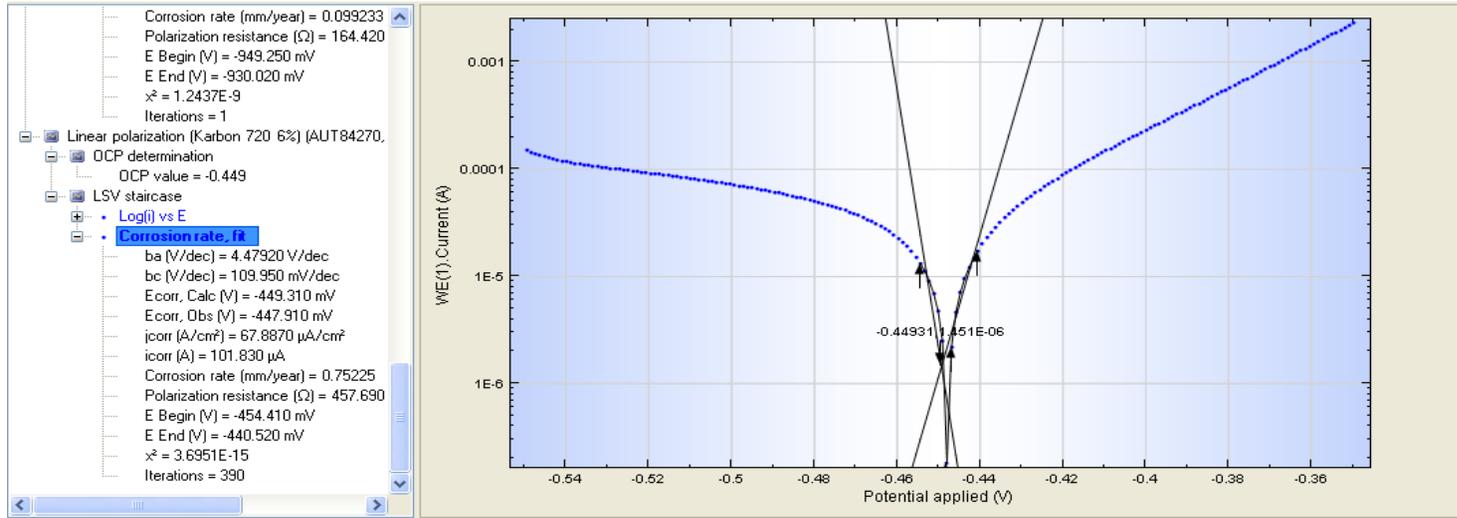
Larutan elektrolit : NaCl 6%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Karbon salinitas 60 720 jam)

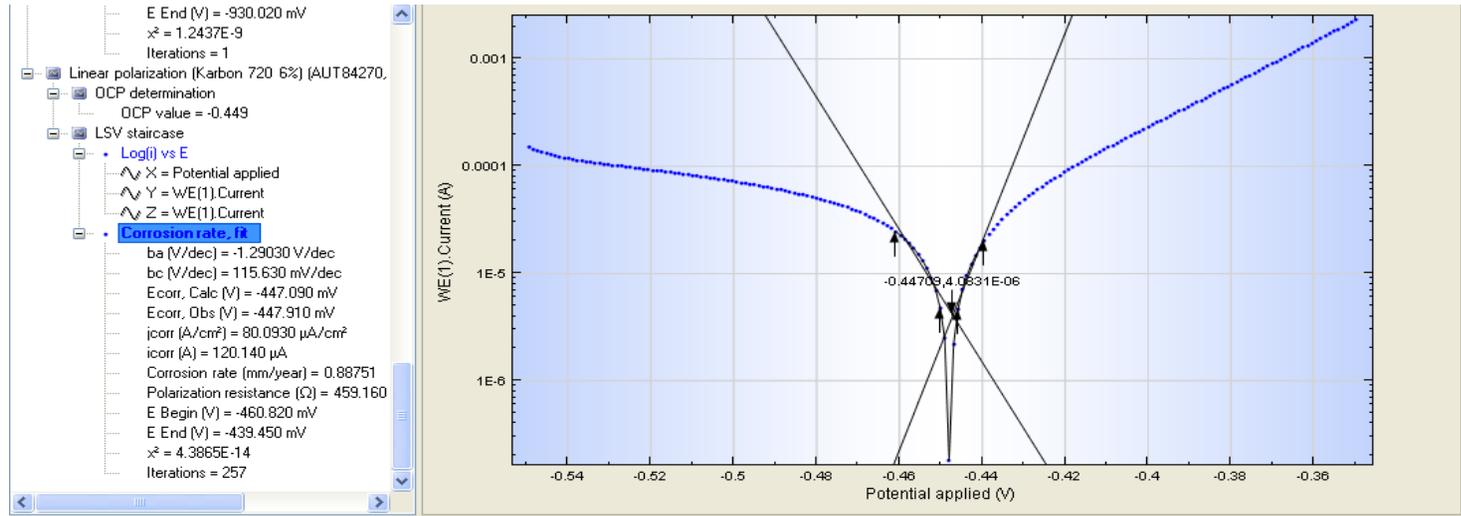
Larutan elektrolit : NaCl 6%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Karbon salinitas 60 720 jam)

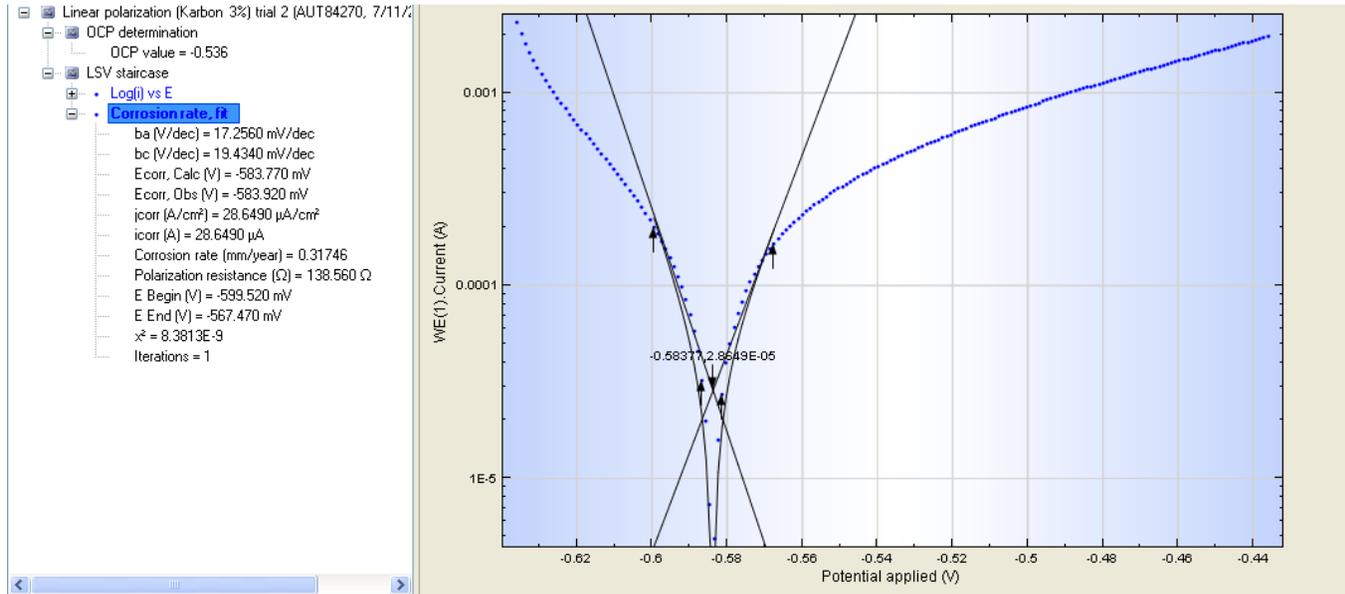
Larutan elektrolit : NaCl 6%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Karbon salinitas 90 120 jam

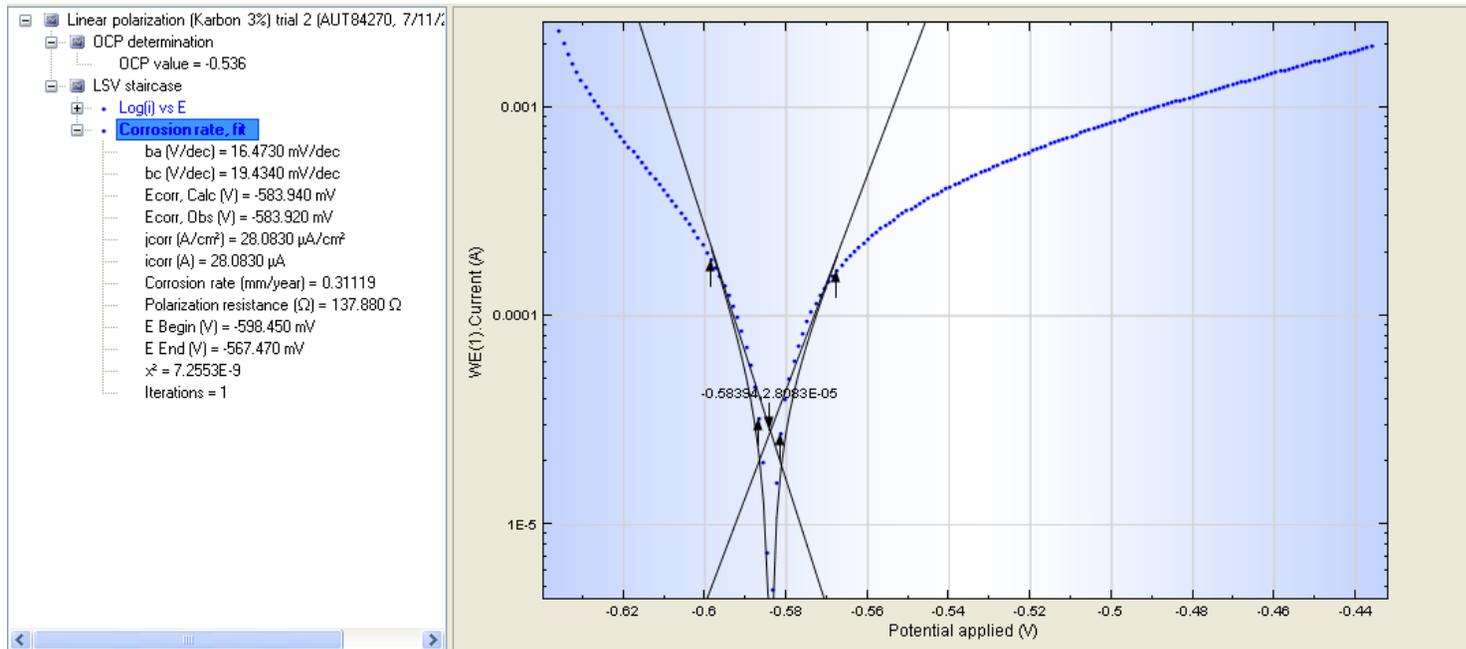
Larutan elektrolit : NaCl 9%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Karbon salinitas 90 120 jam

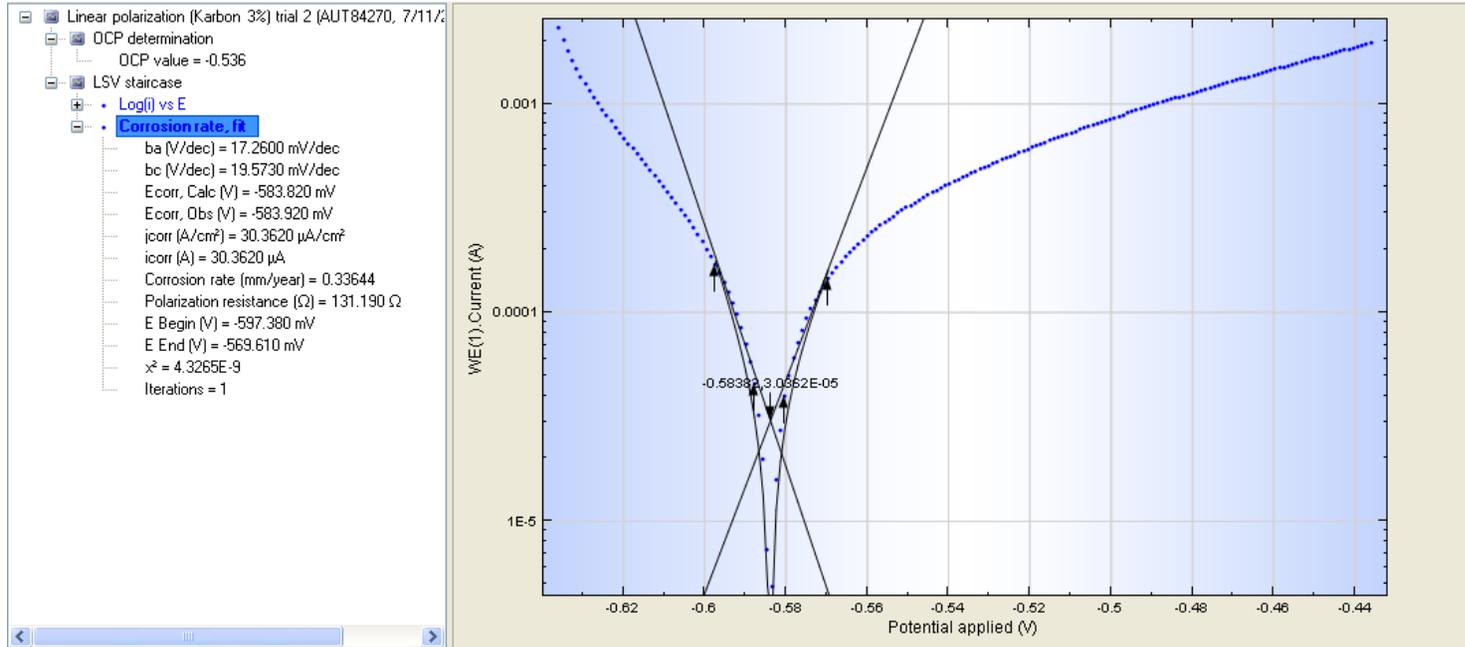
Larutan elektrolit : NaCl 9%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Karbon salinitas 90 120 jam

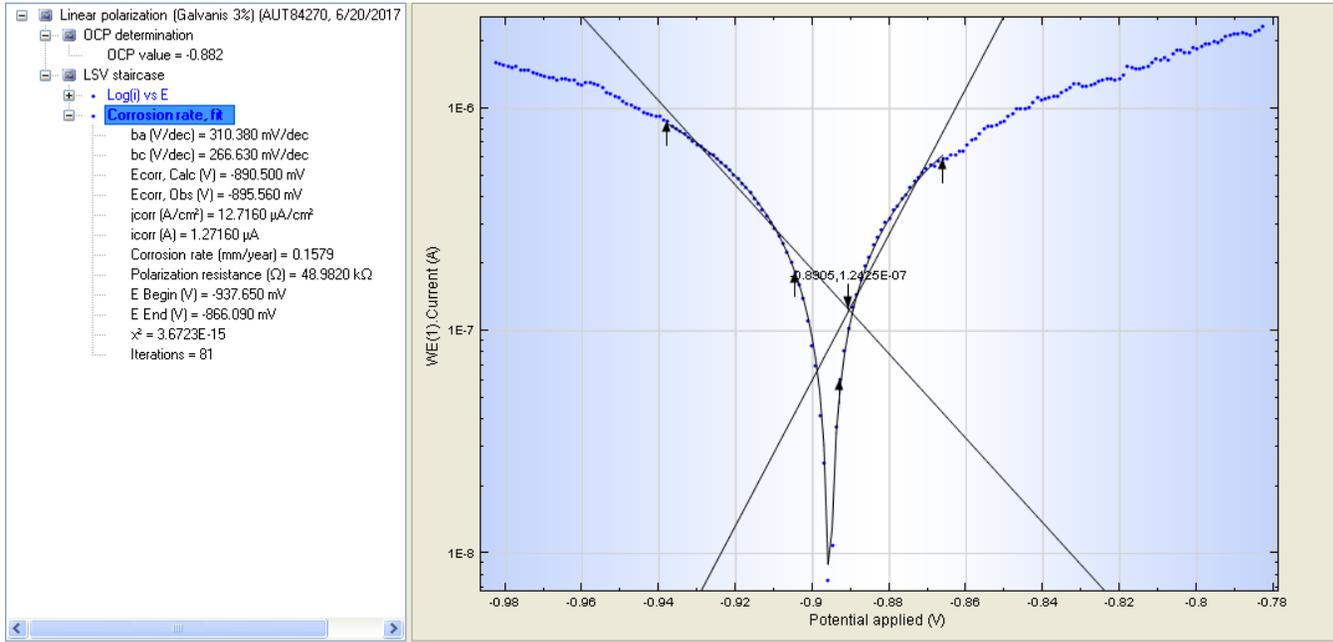
Larutan elektrolit : NaCl 9%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Galvanis salinitas 30 120 jam kec 3.3 m/s

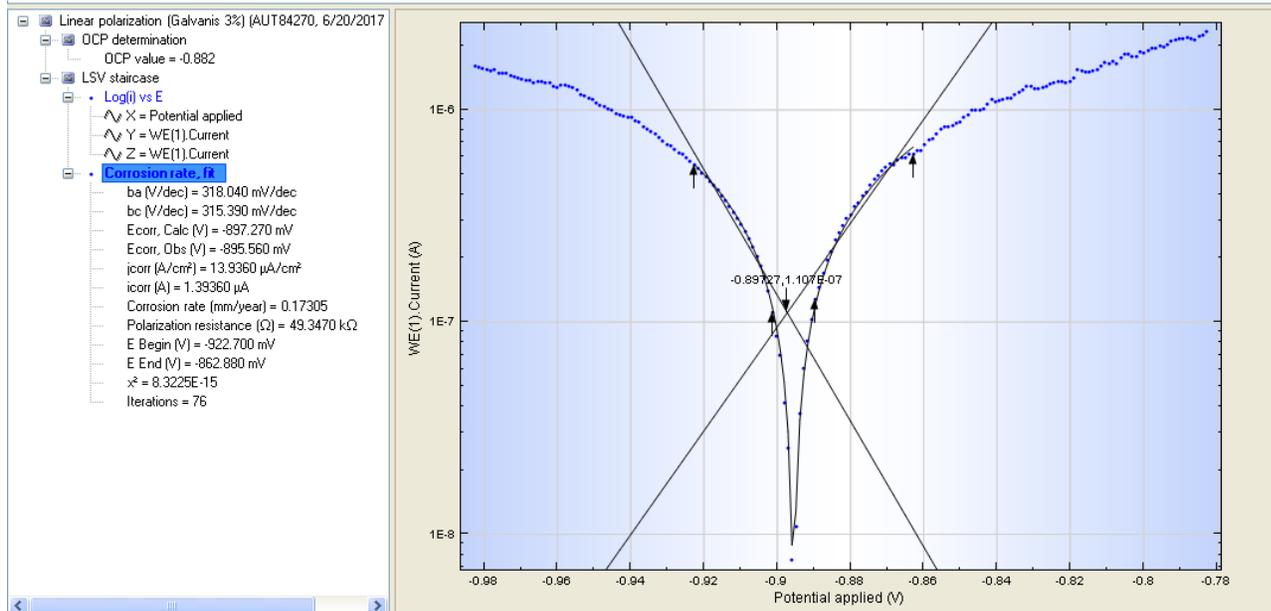
Larutan elektrolit : NaCl 3%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Galvanis salinitas 30 120 jam kec 3.3 m/s

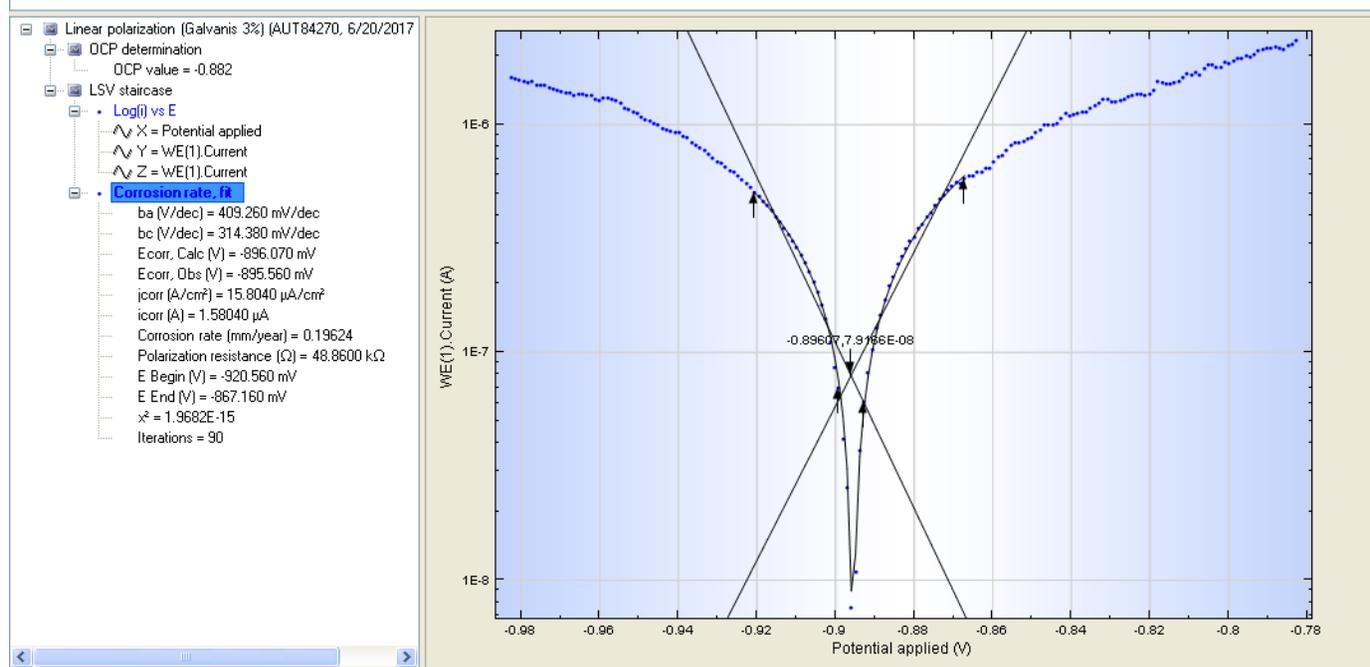
Larutan elektrolit : NaCl 3%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Galvanis salinitas 30 120 jam kec 3.3 m/s)

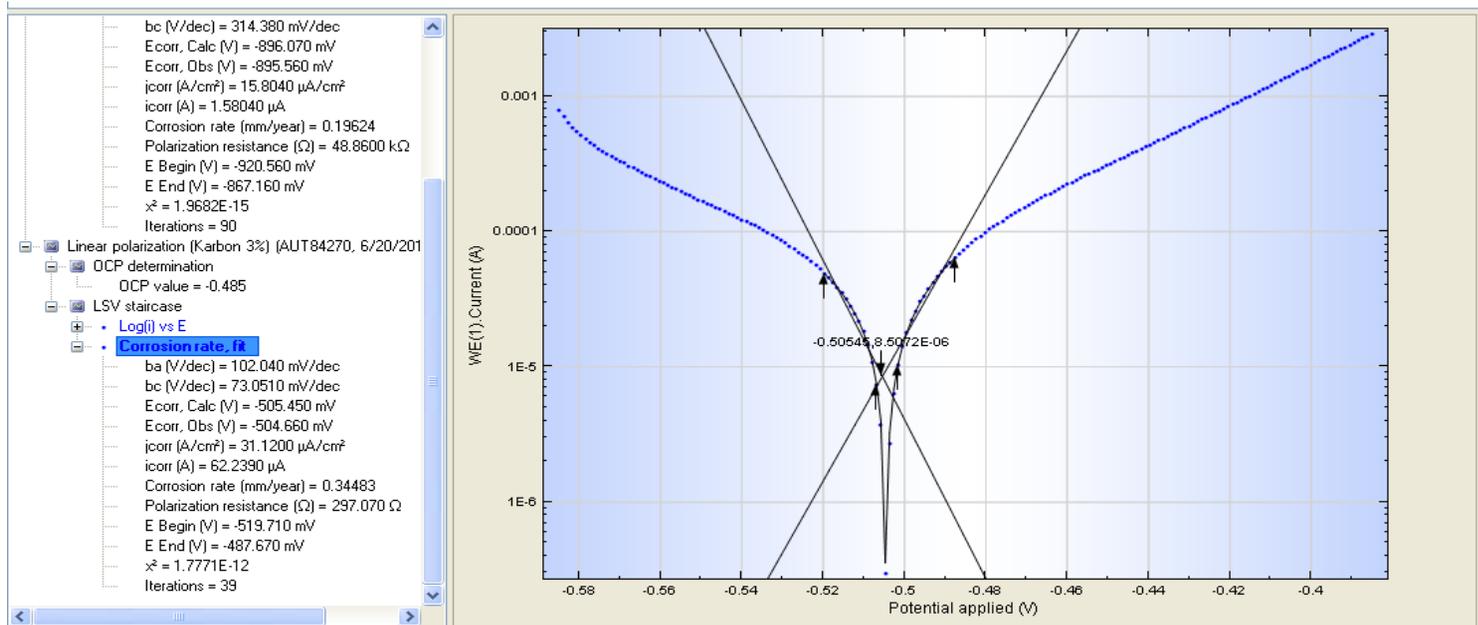
Larutan elektrolit : NaCl 3%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Karbon salinitas 30 120 jam kec 3.3 m/s

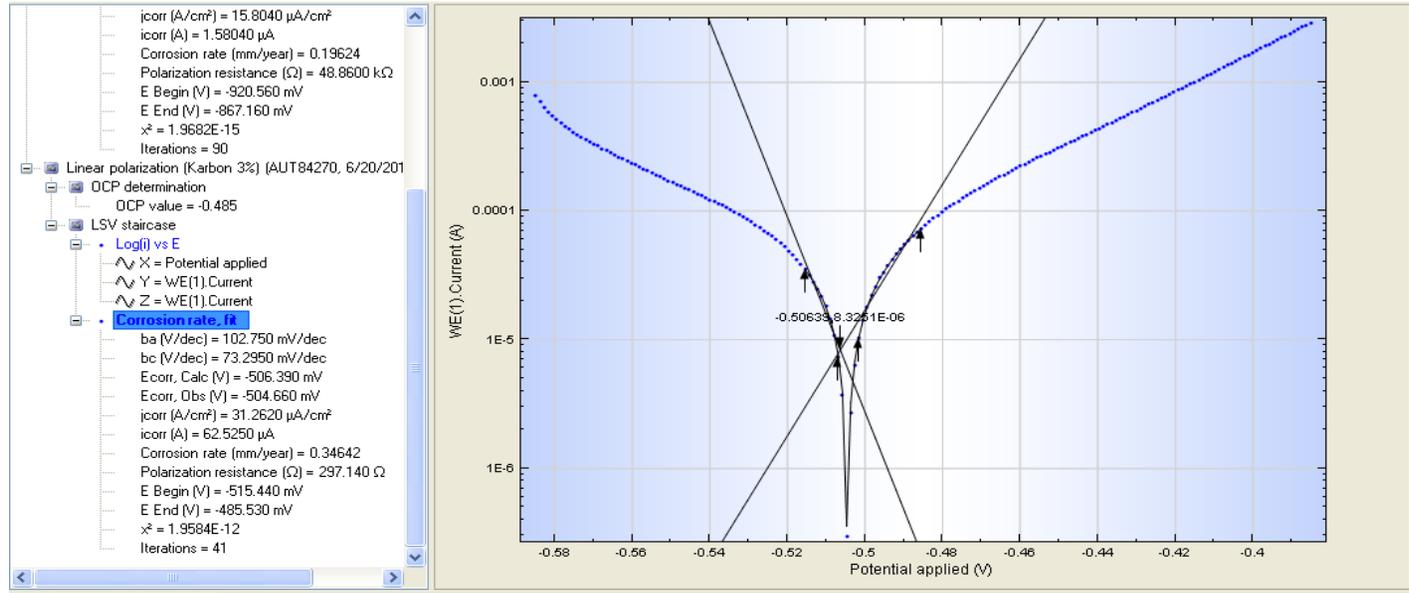
Larutan elektrolit : NaCl 3%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Karbon salinitas 30 120 jam kec 3.3 m/s

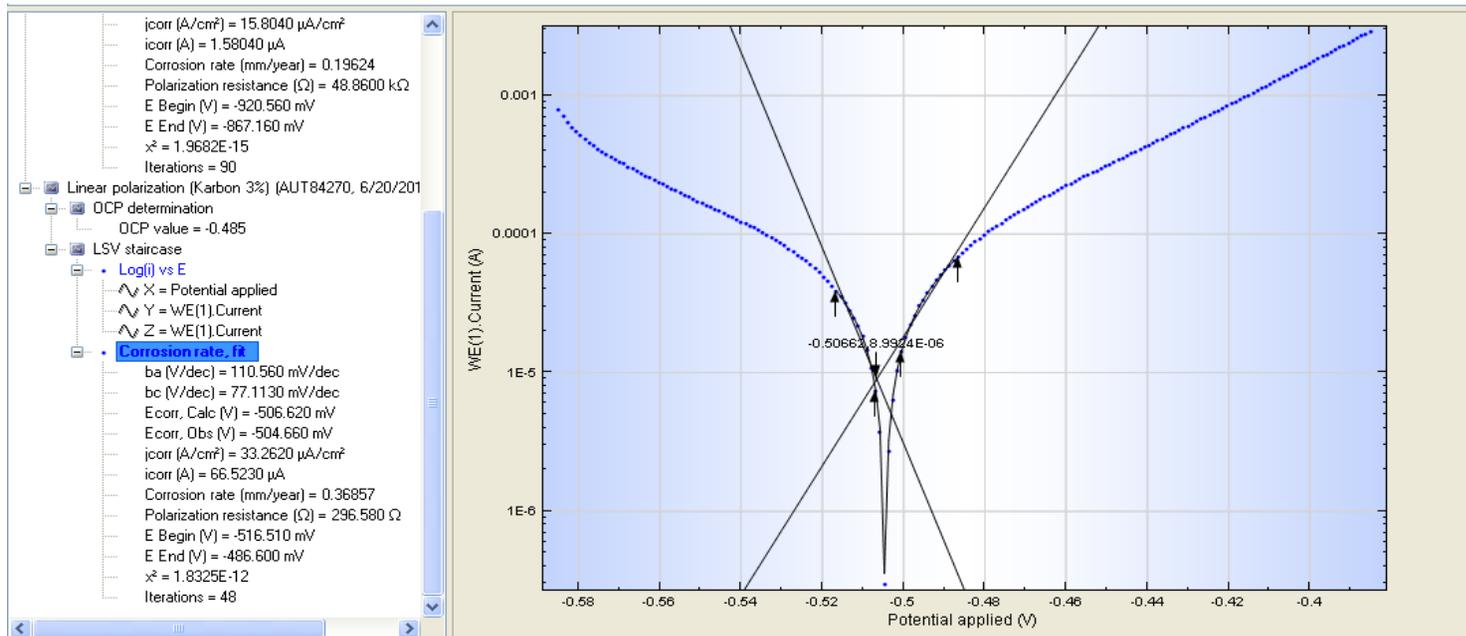
Larutan elektrolit : NaCl 3%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Karbon salinitas 30 120 jam kec 3.3 m/s

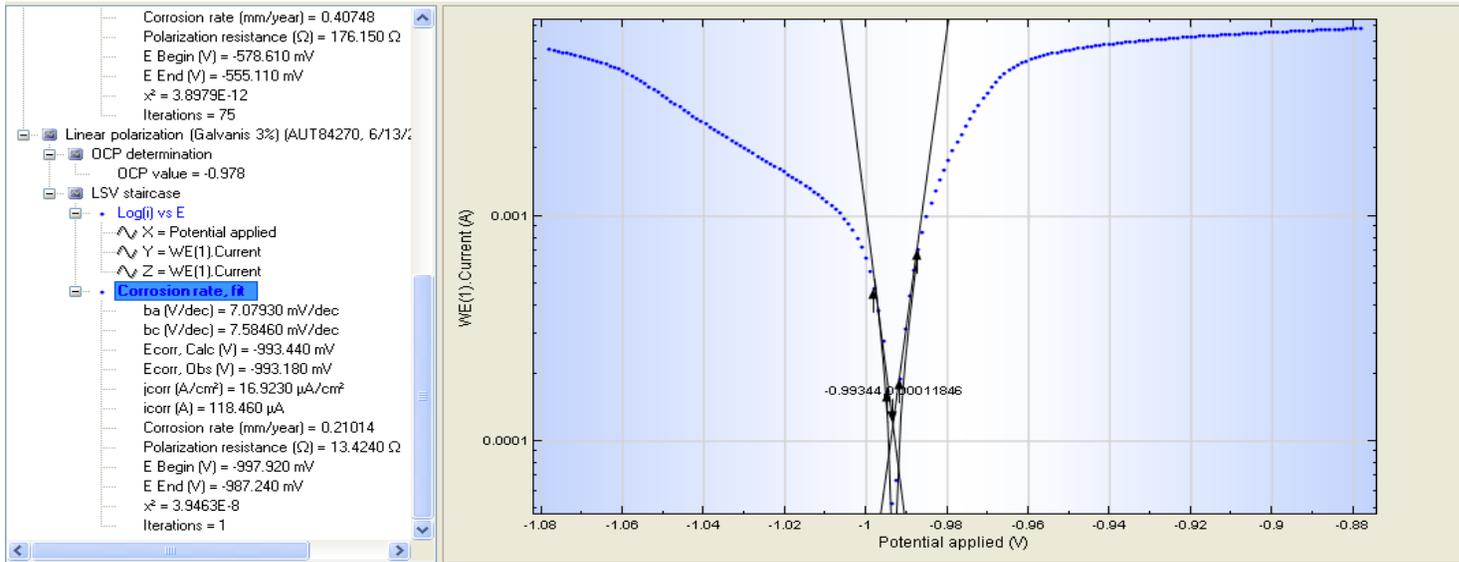
Larutan elektrolit : NaCl 3%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Galvanis salinitas 30 120 jam kec 3.95 m/s

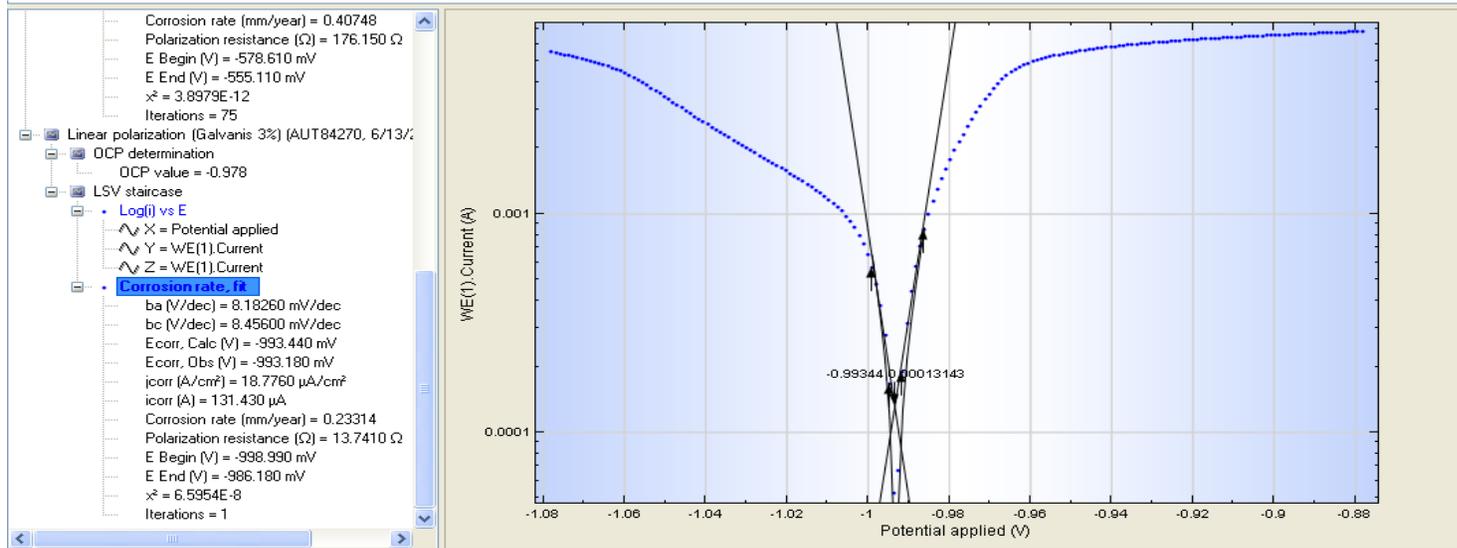
Larutan elektrolit : NaCl 3%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Galvanis salinitas 30 120 jam kec 3.95 m/s

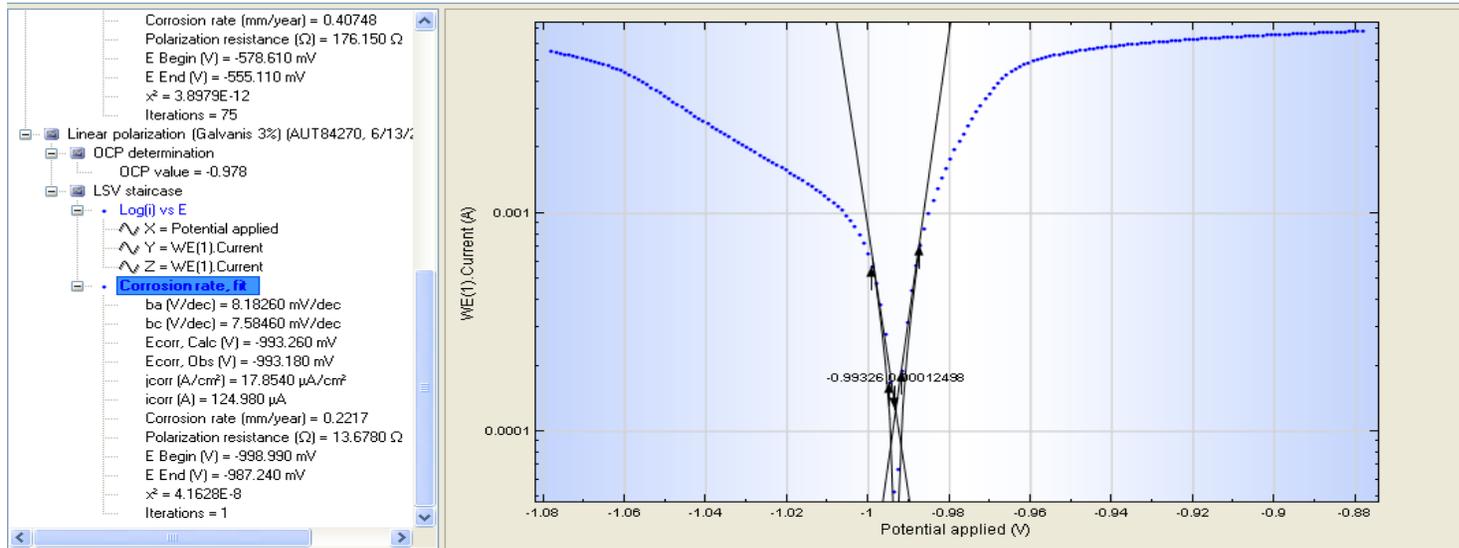
Larutan elektrolit : NaCl 3%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Galvanis salinitas 30 120 jam kec 3.95 m/s

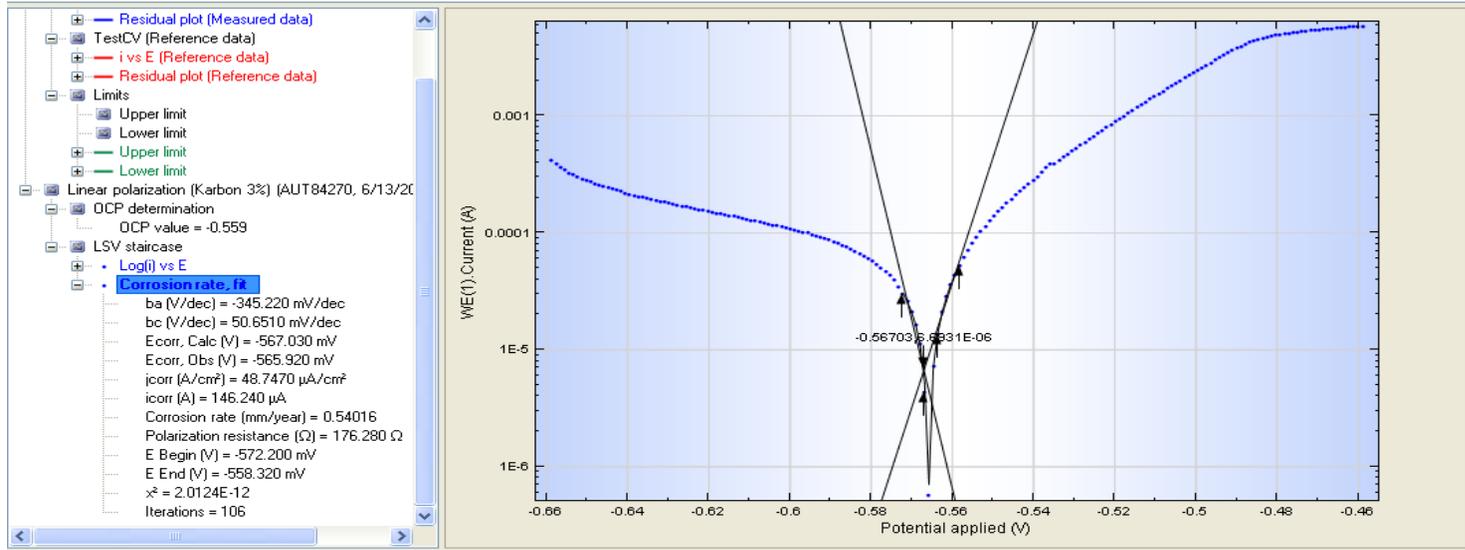
Larutan elektrolit : NaCl 3%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Karbon salinitas 30 120 jam kec 3.95 m/s

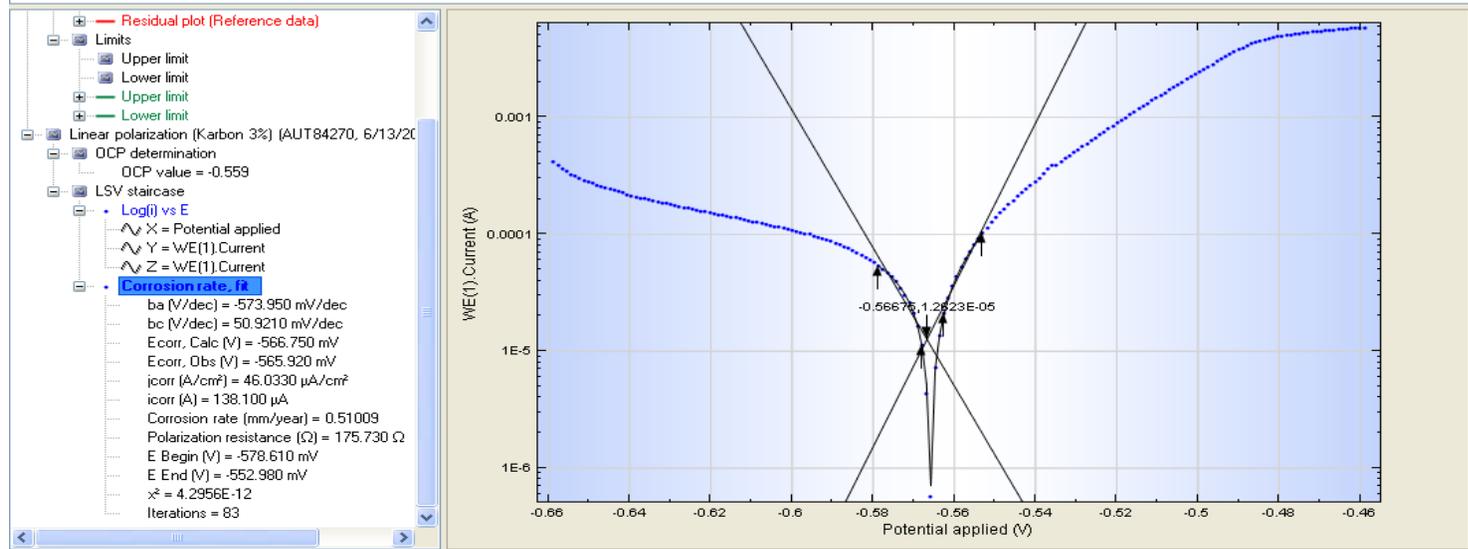
Larutan elektrolit : NaCl 3%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Karbon salinitas 30 120 jam kec 3.95 m/s

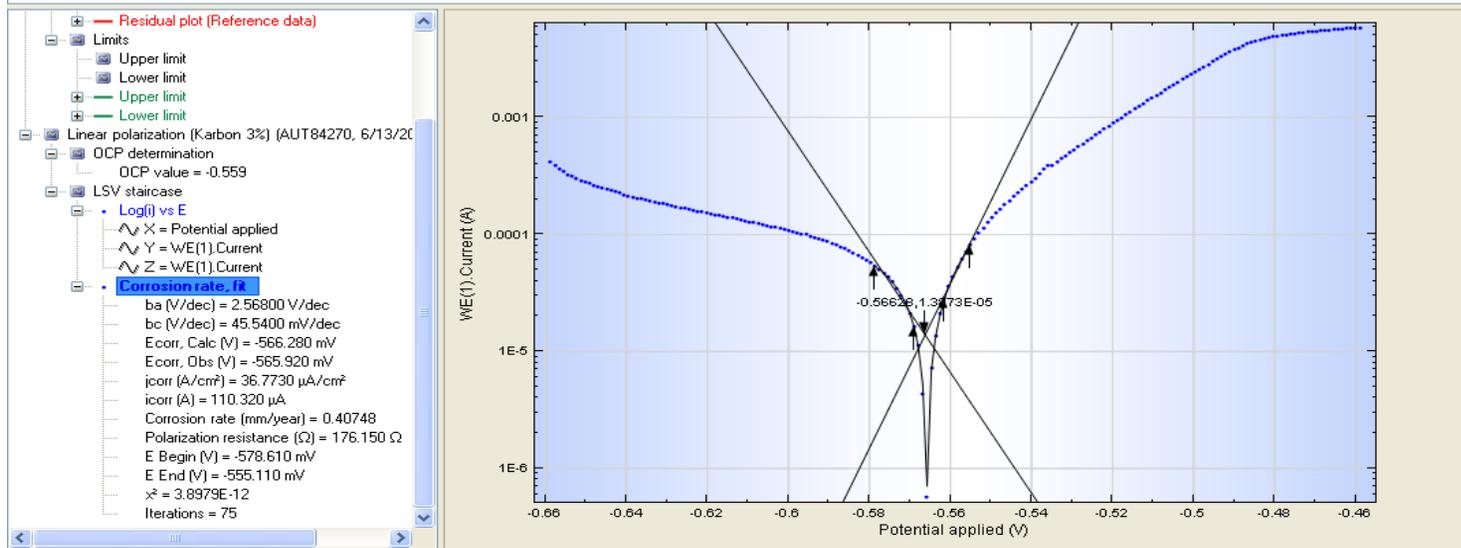
Larutan elektrolit : NaCl 3%



Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Karbon salinitas 30 120 jam kec 3.95 m/s

Larutan elektrolit : NaCl 3%



BIODATA PENULIS



Franky Yonatan Hutaeruk merupakan anak kedua dari lima bersaudara yang lahir di Padang 22 Desember 1993. Lahir dari pasangan Wesly Hasudungan Hutaeruk dan Ida Juliana Simanjuntak. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari SD St. Fransiskus Pandan kemudian bersekolah di SMP Negeri 2 Pandan Nauli, SMA Negeri 1 Plus Matauli Pandan, Pendidikan D3 di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Pendidikan S1 Teknik Sistem Perkapalan Institut teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS).

Selama kuliah aktif berbagai organisasi seperti HIMA ME PPNS, NHHKB Manyar, ITS Solar Car dan MBP. Pada akhir Studinya penulis menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “ Analisa Laju Korosi pada Pipa Baja Karbon dan Pipa Baja Galvanis dengan Metode Elektrokimia”. Buku ini merupakan buku ilmiah yang kedua yang penulis tulis yang menjadikan penulis Sarjana Teknik.