



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI INHIBISI KOROSI BAJA API-5L (ASTM A53) DALAM AIR
FORMASI (*CONNATE WATER*) DENGAN EKSTRAK UBI UNGU
(*IPOMEA BATATAS*) MENGGUNAKAN METODE POLARISASI**

SKRIPSI

DZULFIQAR DIYANANDA

0806331355

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL

DEPOK

JULI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI INHIBISI KOROSI BAJA API-5L (ASTM A53) DALAM
AIR FORMASI (*CONNATE WATER*) DENGAN
EKSTRAK UBI UNGU (*IPOMEA BATATAS*)
MENGUNAKAN METODE POLARISASI**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

DZULFIQAR DIYANANDA

0806331531

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL

DEPOK

JULI 2012


HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
Telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Dzulfiqar Diyananda

NPM : 0806331531

Tanda Tangan :



Tanggal : 16 Juli 2012


HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh ,

Nama : Dzulfiqar Diyananda
NPM : 0806331531
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Studi Inhibisi Korosi Baja API-5L (ASTM A53)
dalam Air Formasi (*Connate Water*) dengan
Ekstrak Ubi ungu (*Ipomea Batatas*)
menggunakan Metode Polarisasi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyuadi M DEA ()

Penguji 1 : Dr. Ir. Sutopo, M.Sc ()

Penguji 2 : Ayende, S.T., M.Si ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 16 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik tanpa adanya kekurangan suatu apapun dalam pelaksanaan sampai akhirnya dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka untuk memenuhi salah satu syarat untuk menggapai gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi Penulis untuk menyelesaikan masa perkuliahan dan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyuadi M DEA, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Prof. Dr-Ing. Ir. Bambang Suharno, selaku Kepala Departemen Metalurgi dan Material FTUI.
3. Dr. Badrul Munir ST., M.Eng.Sc, selaku Pembimbing Akademis penulis selama menempuh studi di Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI.
4. Semua dosen beserta karyawan yang ada di Departemen Metalurgi dan Material FTUI, yang telah membantu saya baik secara materi perkuliahan ataupun moril selama masa perkuliahan.
5. Bapak Ayende dari Direktorat Jenderal Migas, yang telah banyak membantu penulis dari segi tema dan pengadaan bahan untuk penelitian.
6. Bapak Terry Atmajaya, ST dan Anugrah M. Raja, ST, dari PT. FSCM Mfg Indonesia, yang telah menyediakan waktu dan tempat untuk pengujian mekanis sampel penulis.
7. Seluruh Pihak CMPFA & SUCOFINDO *Laboratory*, yang telah memberikan pelayanan untuk pengujian karakterisasi sampel penulis.
8. Teman-teman laboratorium lantai 4: Ardiles Jeremia Sitorus, Vicky Indrafusa, Muhammad Mukhsin, Hutri Prianugrah, Brian Hermawan, serta seluruh

asisten dan teknisi laboratorium Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI atas kesediaannya membantu penulis dalam pemakaian alat pengujian.

9. Teman penelitian inhibitor & OIM FTUI 2012: Alfonsius Billy Joe Haslim & Aryo Eko, serta teman-teman penelitian 1 tema: Febbyka Rachmanda, Muhammad Rahardian, dan Tarsisius A.D, yang banyak membantu penulis selama proses penelitian tugas akhir ini dan berbagi pengalaman berharga di OIM.
10. Teman-teman Metal dari angkatan 2005-2011 yang sudah menjalani kuliah bersama selama ini, baik senang maupun susah. Solid, Tangguh, dan Tanggung Jawab.
11. Teman-teman Futsal Metal 2008-2012, IMMT FTUI 2009, serta untuk perkumpulan-perkumpulan yang pernah diikuti, telah memberikan banyak pengalaman berharga untuk perkembangan penulis.
12. Orang tua, kakak-adik, sanak saudara penulis, dan Srikandi Soeranggayoedha yang telah memberikan bantuan dukungan moral dan materil serta semangat hingga penulis dapat berkuliah 4 tahun dan menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, penulis ingin mengucapkan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak, baik yang telah disebut maupun tidak. Harapan besar dari selesainya skripsi ini, adalah perkembangan moral dan intelektual secara pribadi bagi penulis, serta kemajuan ilmu pengetahuan dan riset bagi DTMM FTUI, Nusa, dan Bangsa.

Jakarta, Juli 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Dzulfiqar Diyananda
NPM : 0806331531
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

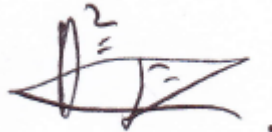
**“STUDI INHIBISI KOROSI BAJA API-5L (ASTM A53) DALAM
AIR FORMASI (*CONNATE WATER*) DENGAN
EKSTRAK UBI UNGU (*IPOMEA BATATAS*)
MENGUNAKAN METODE POLARISASI ”**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Nonekklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media atau formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis atau pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 16 Juli 2012

Yang menyatakan



(Dzulfiqar Diyananda)

ABSTRAK

Nama : Dzulfiqar Diyananda
NPM : 0806331531
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : **Studi Inhibisi Korosi Baja API-5L (ASTM A53) dalam Air Formasi (*Connate Water*) dengan Ekstrak Ubi Ungu (*Ipomea Batatas*) menggunakan Metode Polarisasi**

Mengisolir logam dari bahan korosi merupakan adalah cara yang paling efektif untuk mencegah korosi pada industri minyak dan gas bumi. Penggunaan inhibitor korosi alami menjadi alternatif baru untuk mencapai tujuan tersebut. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari perilaku inhibisi ekstrak ubi ungu dan dibandingkan dengan inhibitor kimia, menggunakan metode polarisasi.

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari perilaku inhibisi ekstrak ubi ungu dengan dibandingkan dengan inhibitor kimia, menggunakan metode polarisasi. Untuk karakterisasi sampel digunakan FTIR, OES, OM, hingga *software* LENNTECH *calculator*, serta program NOVA 1.8 dengan mesin AUTOLAB PGSTAT.

Laju korosi turun dan mencapai maksimum dengan penambahan 4 ml ekstrak ubi ungu dan 2 ml pada inhibitor kimia. Efisiensi inhibisi ekstrak ubi ungu mencapai 53,54% merupakan nilai inhibisi optimal yang didapatkan . Berdasarkan Kurva Polarisasi, *Ecorr* dan *Icorr* dapat disimpulkan bahwa ekstrak ubi ungu dan inhibitor kimia memiliki kecenderungan mekanisme inhibitor anodik dengan adanya lapisan pasif. Mekanisme inhibitor anodik dengan kecendrungan lapisan pasif menjadi bukti penting mekanisme inhibisi ekstrak ubi ungu

Kata kunci : inhibitor korosi alami, ubi ungu, polarisasi, lapisan pasif, antioksidan.

ABSTRACT

Name : Dzulfiqar Diyananda
NPM : 0806331355
Major : Metallurgy and Material Engineering
Title : **Corrosion Inhibition Study of ASTM A53 Steel in Connate Water with Sweet Potato Extracts (*Ipomea Batatas*) using Polarization Method**

Isolate the metal from corrosion of materials is the most effective way to prevent corrosion in oil and gas industry. The use of green corrosion inhibitor become a new alternative to achieve that goal. This study was conducted to study the inhibition behavior of sweet potato extract and compared with chemical inhibitor, using the polarization method.

This study was conducted to study the inhibition behavior of sweet potato extract and compared with chemical inhibitor, using the polarization method. For characterizing of samples are used FTIR, OES, OM, LENNTECH calculator software, and NOVA 1.8 software with AUTOLAB PGSTAT machine.

Corrosion rate decreased and reached a maximum with the addition of 4 ml sweet potato extract and 2 ml of chemical inhibitor. Inhibition efficiency of sweet potato extract reach 53,54%. Based on the polarization curve, E_{corr} , current density, it can be concluded that the sweet potato extract has a mechanism of anodic inhibitor, to block reaction at metal surface. The anodic mechanism which existence of passive film becomes important evidence of inhibition mechanism of sweet potato extract.

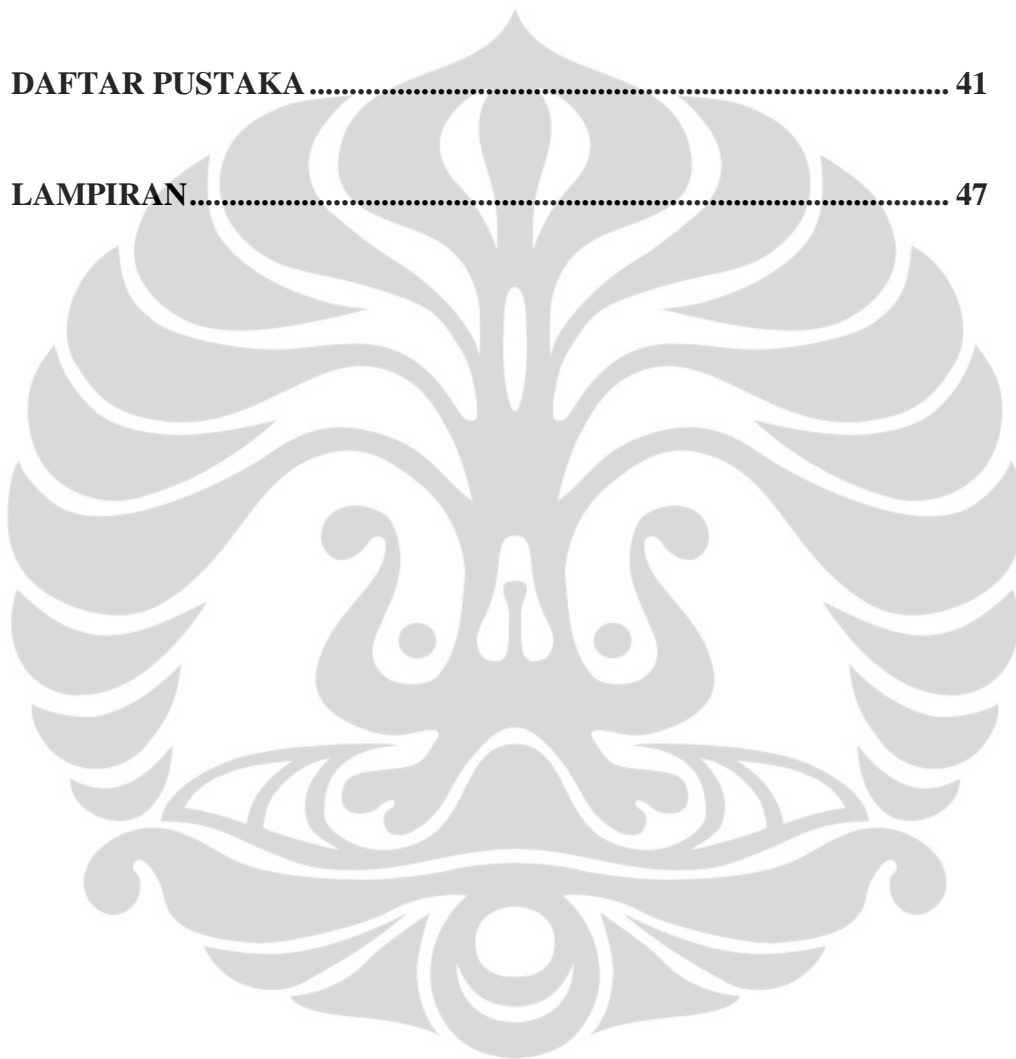
Keywords : green corrosion inhibitor, sweet potato, polarization, passive film, antioxidant

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR RUMUS.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Prinsip Dasar Korosi	5
2.2 Korosi pada Industri Minyak dan Gas.....	5
2.2.1 Korosi Galvanis	6
2.2.2 Korosi Erosi.....	6
2.2.3 Korosi Celah.....	7
2.2.4 Korosi Retak Tegang.....	7
2.3 Air Formasi (<i>Connate Water</i>).....	8
2.4 Baja API-5L	8
2.5 Kerak (<i>Scale</i>).....	9
2.6 <i>Saturation Index</i>	11

2.6.1 <i>Langelier Saturation Index (LSI)</i>	11
2.6.2 <i>Ryznar Stability Index (RSI)</i>	12
2.7 Inhibitor Korosi	13
2.7.1 Mekanisme Inhibitor	14
2.7.2 Klasifikasi Inhibitor Korosi.....	15
2.8 Metode Pengukuran Laju Korosi	18
2.8.1 Metode Polarisasi Elektrokimia	18
2.8.2 Metode Hukum Faraday.....	21
2.9 <i>Green Corrosion Inhibitors</i>	21
2.9.1 Ubi Ungu (<i>Ipomea Batatas</i>).....	21
2.8.2 Aktivitas Antioksidan.....	22
BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	23
3.2 Alat dan Bahan.....	24
3.2.1 Alat	24
3.2.2 Bahan.....	24
3.3 Prosedur Penelitian.....	26
3.3.1 Preparasi Sampel	26
3.3.2 Persiapan Larutan	26
3.3.3 Pembuatan Inhibitor	27
3.3.4 Pengukuran Nilai pH	27
3.3.5 Pengujian Polarisasi	27
3.3.6 Pengambilan Data	28
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Kurva Polarisasi	29
4.1.1 Kurva Polarisasi Ubi Ungu.....	29
4.1.2 Kurva Polarisasi Inhibitor Kimia X.....	30
4.2 Hasil Pengamatan dan Pembahasan Laju Korosi	31
4.3 Hasil Perhitungan dan Pembahasan Efisiensi Inhibisi	34
4.4 Hasil Pengukuran dan Pembahasan pH Lingkungan	36

4.5 Hasil Pengamatan dan Mekanisme Inhibisi	37
BAB V KESIMPULAN.....	39
5.1. Kesimpulan.....	39
5.2. Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN.....	47



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Mekanis dari Berbagai Baja API-5L.....	9
Tabel 2.2 Scale Paling Umum di <i>Oilfield</i>	10
Tabel 2.3 Interpretasi <i>Ryznar Stability Index</i> (RSI).....	13
Tabel 2.4 Perbandingan Aktivitas Antioksidan & Eff. Inhibisi Beberapa Buah	19
Tabel 3.1 Hasil Karakterisasi Baja API-5L.....	25
Tabel 3.2 Hasil Karakterisasi Air Formasi	25
Tabel 3.3 Hasil Konversi Inhibitor.....	28
Tabel 4.1 Laju Korosi Ekstrak Ubi Ungu dan Inhibitor Kimia X	31
Tabel 4.2 Efisiensi Inhibisi Ekstrak Ubi Ungu dan Inhibitor Kimia X	34
Tabel 4.3 Perubahan pH Lingkungan dengan Penambahan Ekstrak Ubi Ungu	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	a) Dua Logam yang Berbeda dan Disambung. b) Bentuk Kerusakan Akibat Korosi Galvanis	6
Gambar 2.2	Mekanisme Korosi Erosi	7
Gambar 2.3	Mekanisme Propagasi Korosi Celah	7
Gambar 2.4	a) Faktor Penting Penyebab SCC. b) Bentuk Kerusakan SCC. .	8
Gambar 2.5	Pembentukan <i>Scale</i> pada <i>Tubing</i>	10
Gambar 2.6	a) Laju Korosi sebagai Fungsi Inhibitor. b) Efisiensi Inhibitor sebagai Fungsi Konsentrasi Inhibitor	14
Gambar 2.7	Klasifikasi Inhibitor Organik/Adsorpsi	15
Gambar 2.8	Kurva Polarisasi dengan Kehadiran Inhibitor Katodik	16
Gambar 2.9	Diagram Polarisasi Aktif-Pasif Logam Menunjukkan Pengaruh Arus pada Konsentrasi Inhibitor Anodik.....	17
Gambar 2.10	Proteksi Korosi dengan Inhibitor Organik	18
Gambar 2.11	Kurva Polarisasi yang menunjukkan Ekstrapolarisasi Tafel ...	19
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	25
Gambar 4.1	Kurva Polarisasi Inhibitor Ubi Ungu.....	29
Gambar 4.2	Kurva Polarisasi Inhibitor Kimia X.....	30
Gambar 4.3	Grafik Hasil Pengamatan Laju Korosi Inhibitor Ubi Ungu.....	33
Gambar 4.4	Grafik Hasil Pengamatan Laju Korosi pada Inhibitor Kimia .. X	33
Gambar 4.5	Grafik Hasil Perhitungan Efisiensi Inhibisi Ubi Ungu.....	34
Gambar 4.6	Grafik Hasil Perhitungan Efisiensi Inhibisi Inhibitor Kimia....	35
Gambar 4.7	Grafik Perubahan pH Lingkungan.....	36
Gambar 4.8	Foto Sampel.....	38

DAFTAR RUMUS

Persamaan 2.1 Reduksi Oksigen (Asam)	5
Persamaan 2.2 Reduksi Oksigen (Basa).....	5
Persamaan 2.3 Evolusi Hidrogen (Asam)	5
Persamaan 2.4 Evolusi Hidrogen (Basa).....	5
Persamaan 2.5 Deposisi Logam	5
Persamaan 2.6 Reduksi Ion Logam	5
Persamaan 2.7 Korosi Logam	5
Persamaan 2.8 Oksidasi Ion Ferrous	5
Persamaan 2.9 Evolusi Oksigen	5
Persamaan 2.10 <i>Langelier Saturation Index (LSI)</i>	12
Persamaan 2.11 <i>Ryznar Stability Index (RSI)</i>	12
Persamaan 2.12 <i>Overvoltage/ Overpotential</i>	19
Persamaan 2.13 <i>Butler-Volmer</i>	19
Persamaan 2.14 Penyederhanaan <i>Overvoltage&Butler-Volmer</i>	19
Persamaan 2.15 Efisiensi Inhibisi Korosi.....	20
Persamaan 2.16 Laju Korosi Hukum Faraday.....	21
Persamaan 4.1 Laju Efisiensi Korosi.....	34

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran1	Sertifikat Karakterisasi Air Formasi	47
Lampiran2	Perhitungan LSI dengan LENNTECH Calculator	48
Lampiran3	Perhitungan RSI dengan LENNTECH Calculator.....	49
Lampiran4	Sertifikat Karakterisasi Komposisi Kimia API-5L.....	50
Lampiran5	Sertifikat Material dan Produk Pipa KHI.....	51
Lampiran6	Spesifikasi Dimensi dan Sifat Mekanis Pipa API-5L KHI.....	52
Lampiran7	Foto Sirup Ubi Ungu.....	54
Lampiran8	Resistansi Korosi Relatif	54
Lampiran9	Hasil Pengujian Polarisasi Tanpa Inhibitor dengan AUTOLAB	55
Lampiran10	Hasil Pengujian Polarisasi Eks. Kulit Ubi ungu denagn AUTOLAB	56
Lampiran11	Hasil Pengujian Polarisasi Inhibitor Kimia X dengan AUTOLAB	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG PENELITIAN

Korosi adalah degradasi material (biasanya logam) karena reaksi kimia dengan lingkungannya^[1]. Banyak anggota masyarakat awam yang belum menyadari tentang besarnya kerugian akibat korosi. Di Amerika Serikat, biaya tahunan yang dikeluarkan untuk masalah korosi untuk infrastruktur bahkan mencapai \$22.6 milyar per tahun. Pengeluaran terbesar dialokasikan untuk jembatan layang sebesar 37%, kemudian perpipaan transmisi gas dan *liquid* sebesar 31%, penyimpanan bahan berbahaya sebesar 31%, serta saluran air dan pelabuhan sebesar 1%^[2-3]. Di Indonesia, berdasarkan data INDOCOR tahun 2001, nilai kerugian akibat korosi ini diperkirakan mencapai \$2 milyar per tahun^[4].

Dalam proses pendistribusian industri minyak mentah, sering dijumpai adanya masalah-masalah yang dapat mengganggu aliran fluida yang melewati pipa saluran minyak^[5]. Baja API 5L adalah salah satu baja yang digunakan pada aplikasi transportasi air, minyak dan gas alam. Salah satu problematika yang sering terjadi pada proses pendistribusian *crude oil* adalah terdapatnya endapan yang disebut kerak (*scale*). Kerak tersebut adalah hasil pengendapan mineral yang berasal dari air formasi yang terproduksi bersama minyak dan gas. Kerak didefinisikan sebagai suatu deposit dari senyawa-senyawa anorganik yang terendapkan dan membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu substansi^[6]. Adanya kerak menimbulkan banyak masalah dalam produksi minyak dan gas karena dapat mengganggu proses pendistribusian fluida, di samping itu biaya yang harus dikeluarkan untuk keperluan pembersihan dan pencegahannya juga tinggi.

Salah satu pencegahan terbentuknya kerak pada pipa distribusi *crude oil* adalah dengan menginjeksikan bahan-bahan kimia yang dapat mencegah kerak (*scale inhibitor*). Pada umumnya *scale inhibitor* yang digunakan di ladang-ladang minyak dibagi atas dua tipe, yaitu *inhibitor* anorganik dan *inhibitor* organik.

Inhibitor anorganik seperti fosfat, kromat, silikat, dan arsenat merupakan jenis bahan kimia berbahaya, mahal, dan tidak ramah lingkungan.^[7] Hal ini menyebabkan pengaplikasian inhibitor tersebut menjadi terbatas. Penggunaan inhibitor jenis ini dapat dapat menyebabkan polusi pada lingkungan dan pada akhirnya juga dapat berdampak bagi makhluk hidup. Sedangkan, inhibitor ekstrak bahan alam (organik) mengandung atom N, O, P, S, dan atom-atom yang memiliki pasangan elektron bebas. Unsur-unsur yang mengandung pasangan elektron bebas ini akan membentuk senyawa kompleks dengan logam.^[7] Efektivitas ekstrak bahan alam sebagai inhibitor korosi tidak terlepas dari kandungan nitrogen yang terdapat dalam senyawaan kimianya seperti daun tembakau yang mengandung senyawa-senyawa kimia antara lain nikotin, hidrazin, alanin, quinolin, anilin, piridin, amina, dan lain-lain.

Pada umumnya, jenis Inhibitor organik yang digunakan tersebut mengandung senyawa-senyawa antioksidan. Secara kimia, pengertian senyawa antioksidan adalah senyawa pemberi elektron. Antioksidan bekerja dengan cara mendonorkan elektronnya kepada senyawa yang bersifat oksidan, sehingga aktivitas senyawa oksidan tersebut bisa dihambat.^[8]

1.2 RUMUSAN MASALAH

Ubi jalar ungu merupakan salah satu variasi dari tanaman ubi jalar (*Ipomea batatas*). Tanaman ini biasa disebut ubi ungu karena ubi jalar ini berwarna ungu. Ubi ungu diketahui mempunyai banyak kandungan yang bermanfaat dalam bidang kesehatan. Sebagai contoh ubi ungu berguna untuk mencegah kanker, penuaan, hepatitis, stress, dan lain-lain. Hal ini disebabkan karena telah diketahui bahwa dalam kandungan ubi ungu terdapat zat antioksidan sebagai penangkal radikal bebas^[9].

Han, X, Shen, T, Lou, H, et.al^[10-11] melakukan penelitian tentang peranan antioksidan, di mana menunjukkan bahwa senyawa fenolik memiliki sifat antioksidan. Fungsi senyawa fenol sendiri sebagai gugus alkohol (-OH) adalah berikatan dengan oksigen membentuk H₂O sehingga menghambat reaksi oksidasi, di mana, reaksi tersebut merupakan reaksi dari proses korosi. Lalu, senyawa antosianin yang juga merupakan kumpulan dari senyawa fenolik akhirnya berguna sebagai reduktor kuat pada sebuah reaksi kimia.

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah mengetahui peran ubi ungu dalam pencegahan korosi atau kerak yang terjadi pada baja API 5L dengan lingkungan air formasi. Dalam penelitian ini, ubi ungu, diharapkan mendapatkan variabel konsentrasi optimum beserta efisiensi inhibitor ubi ungu dalam menghambat proses korosi. Selanjutnya, penelitian ini akan mempelajari mekanisme penghambatan korosi yang terjadi pada sampel yang ada. Berdasarkan hal tersebut lalu dapat diketahui bagaimana pengaruh hubungan variabel optimum konsentrasi inhibitor pada laju korosi baja API5L dan inhibitor ubi ungu.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh ekstrak ubi ungu dan inhibitor kimia X sebagai *inhibitor* pada lingkungan air formasi dengan metode *polarisasi*.
2. Mengetahui mekanisme penghambatan ekstrak ubi ungu dan inhibitor kimia X sebagai inhibitor organik atau anorganik.
3. Mengetahui jumlah kadar optimal ekstrak ubi ungu dan inhibitor kimia X sebagai inhibitor organik atau anorganik.

1.4 RUANG LINGKUP PENELITIAN

a. Material

1. Plat baja ringan dengan ukuran 3 x 2 x 1 cm.
2. Ekstrak ubi ungu
3. Air formasi

b. Parameter Penelitian

1. Konsentrasi ekstrak ubi ungu bervariasi dari 0, 2 ml, 4 ml, 6 ml dan 8 ml, dan 10 ml.
2. Pengukuran polarisasi hanya digunakan pada konsentrasi 0ml-10ml dilakukan pada suhu ruang.
3. Pengujian polarisasi sesuai dengan standar ASTM-G3, G5, G59, dan G102.^[12]

c. Tempat Penelitian

1. Pengujian polarisasi menggunakan alat-alat yang ada di Laboratorium Korosi dan Perlindungan Logam di Departemen Teknik Metalurgi dan Material – FTUI.

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan ini, sistematika penulisan disusun agar konsep dalam penulisan skripsi menjadi berurutan sehingga akan didapat kerangka alur pemikiran yang mudah dan praktis. Sistematika tersebut dapat diartikan dalam bentuk banyak bab-bab yang saling berkaitan dengan yang lain. Bab-bab tersebut diantaranya:

Bab 1 Pendahuluan

Membahas mengenai latar belakang penulisan, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab 2 Teori Penunjang

Membahas mengenai teori korosi secara umum baik pengertian dan jenis-jenis korosi perlindungan terhadap korosi, polarisasi, aspek dan teoritis inhibitor, dan korosi pada air formasi

Bab 3 Metodologi Penelitian

Membahas mengenai diagram alir penelitian, alat dan bahan yang diperlukan untuk penelitian, dan prosedur penelitian.

Bab 4 Hasil Penelitian dan Pembahasan

Membahas mengenai pengolahan data yang didapat dari penelitian serta menganalisa hasil penelitian baik berupa angka, gambar, dan grafik, serta membandingkan dengan teori dan literatur.

Bab 5 Kesimpulan

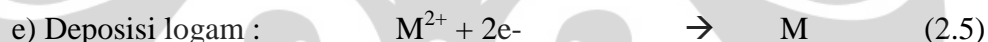
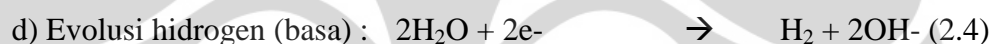
Membahas mengenai kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran-saran yang bisa dimanfaatkan berdasarkan hasil penelitian.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Prinsip Dasar Korosi

Korosi adalah interaksi antara bahan (biasanya logam) dengan lingkungannya, yang menghasilkan kerusakan pada material dan lingkungan Groysman. A. (2010)^[1]. Untuk menyebabkan terjadinya korosi, maka ada syarat dan komponen yang harus dipenuhi, seperti:

1. Adanya katoda, yaitu suatu material yang mengalami reaksi reduksi karena memiliki potensial yang lebih positif jika diukur dengan perhitungan potensial. Reaksi katodik pada korosi logam antara lain^[1]:



2. Adanya anoda, yaitu suatu material yang mengalami reaksi oksidasi dan mengalami kehilangan material (*loss material*) karena memiliki potensial yang lebih negatif jika diukur dengan penghitungan potensial. Reaksi anodik pada korosi logam antara lain^[1]:



3. Media elektrolit (elektronik/ionik), sebagai media penghantar arus listrik.
4. Adanya arus listrik antara katoda dan anoda.

2.2 Korosi pada Industri Minyak dan Gas

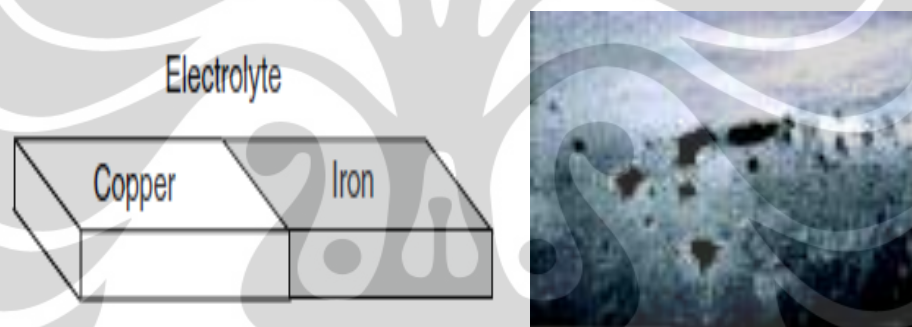
Industri minyak dan gas – terutama mengenai eksplorasi, operasi produksi, operator lapangan biasanya memiliki pasokan minyak dan gas bumi yang tidak terputus ke titik ekspor atau pengolahan^[13]. Pipa-pipa dan komponen perlengkapan dari *lining* selalu menghadapi resiko degradasi material dengan berbagai kondisi,

mulai dari perubahan komposisi fluida, perubahan kondisi operasi tekan, dan perubahan suhu. Degradasi material ini menyebabkan penurunan sifat mekanis seperti kekuatan, keuletan, kekuatan impact, dsb.; menyebabkan *loss of materials*, pengurangan ketebalan, dan pada akhirnya mengalami kegagalan/*failure*.

Naili. K. (2010)^[13] mendeskripsikan korosi yang terjadi pada industri *oil&gas* dalam berbagai bentuk, diantaranya:

2.2.1 Korosi Galvanis

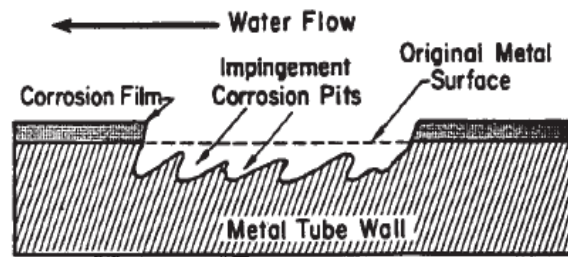
Korosi galvanis adalah korosi yang terjadi karena terdapat hubungan antara dua logam yang disambung, terdapat perbedaan potensial diantara keduanya, serta terpapar pada lingkungan elektrolit. Kehadiran gas H_2S dan temperatur rendah mendorong bentuk korosi galvanis ini.



Gambar 2.1 Dua Logam Berbeda yang Disambung. b) Bentuk Kerusakan Akibat Korosi Galvanis^[13,114].

2.2.2 Korosi Erosi

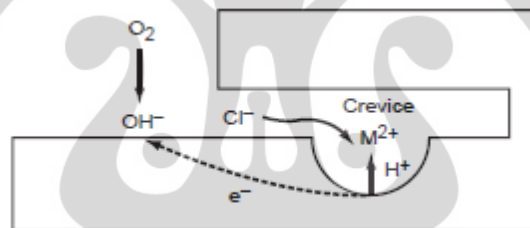
Korosi erosi adalah korosi yang terjadi karena tercegahnya pembentukan film pelindung yang disebabkan oleh kecepatan aliran fluida yang tinggi, misalnya abrasi pasir. Laju korosi meningkat partikel suspensi pasir atau padatan dalam fluida dan bergantung pada laju aliran fluida, densitas dan morfologi padatan dalam fluida.



Gambar 2.2 Mekanisme Korosi Erosi^[14].

2.2.3 Korosi Celah

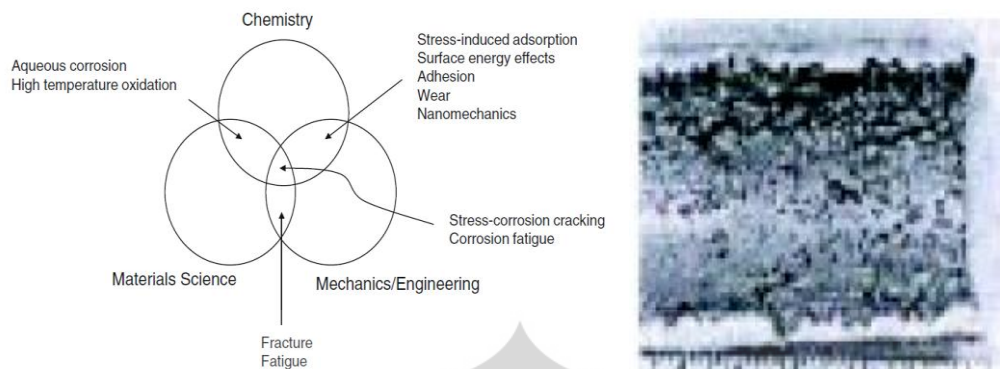
Korosi celah adalah korosi yang terjadi pada celah-celah, sambungan bertindih, sekrup-sekrup atau kelingan yang terbentuk oleh kotoran-kotoran endapan atau timbul dari produk-produk karat. Bentuk korosi ini adalah *pitting* yang terbentuk pada permukaan logam dan secara bertahap meluas pada logam tersebut.



Gambar 2.3 Mekanisme Propagasi Korosi Celah^[13].

2.2.4 Korosi Retak Tegang (SCC)

Korosi SCC adalah korosi yang berbentuk retak-retak yang tidak mudah dilihat, terbentuk dipermukaan logam dan berusaha merembet ke dalam. Ini banyak terjadi pada logam-logam yang banyak mendapat tekanan. Hal ini disebabkan kombinasi dari tegangan tarik dan lingkungan yang korosif sehingga struktur logam melemah. Kehadiran klorida (Cl^-) dalam fluida dapat menyerang material melalui efek *de-passivation* yang disebabkan oleh ion klorida dan cukup agresif pada material *Austenitic Stainless Steel*. Korosi retak tegang klorida sangat dipengaruhi oleh suhu, konsentrasi klorida, dan tegangan sisa pada logam. Kehadiran oksigen dan pH asam mempercepat korosi ini.



Gambar 2.4 Faktor Penting Penyebab SCC. b) Bentuk Kerusakan SCC^[11,15].

2.3 Air Formasi (*Connate Water*)

Air formasi adalah air limbah hasil pengeboran minyak bumi yang banyak mengandung garam serta dapat digunakan untuk berbagai keperluan, misalkan kandungan KCl untuk bahan pupuk^[16]. Air merupakan unsur penting di dalam *reservoir* minyak, karena air menentukan terakumulasinya minyak bumi di dalam *reservoir*^[17]. Air ini biasanya mengandung berbagai macam garam terutama NaCl, sehingga merupakan air asin. Air formasi mengandung berbagai kation-kation seperti Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} dan lainnya, serta anion-anion seperti Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- dan sebagainya.

Biasanya jika bila dibandingkan dengan air laut terdapat perbedaan yang khas yaitu tidak adanya sulfat di dalam air formasi, serta kadar klorida pada umumnya jauh lebih tinggi dari lingkungan lainnya^[18].

Air formasi diperkirakan berasal dari air laut yang ikut terendapkan dengan sedimen sekelilingnya, jadi merupakan “fosil air laut”. Peningkatan air garam pada air formasi disebabkan karena adanya adsorpsi dan pertukaran basa oleh batuan sekelilingnya yang meningkatkan konsentrasi klorida, selain itu pula disebabkan karena penguapan air laut pada waktu sedimentasi^[18].

2.4 Baja API 5L

Baja yang digunakan dalam perpipaan industri *oil & gas* adalah API 5L, *American Petroleum Institute*, dengan berbagai grade, mengikuti kekuatan mekanisnya, akibat dari komposisi kimianya^[19-20]. Tabel 2.1 menampilkan *yield strength* dan *mechanical strength* dari berbagai grade baja API 5L, di mana

semakin tinggi gradenya, maka semakin tinggi nilai kekuatannya. Perbedaan karakteristik performa baja ini dapat disebabkan oleh sifat batas butir dan juga presipitasi karbon nitrida^[31-35].

Tabel 2.1 Sifat Mekanis dari Berbagai Baja API 5L^[24].

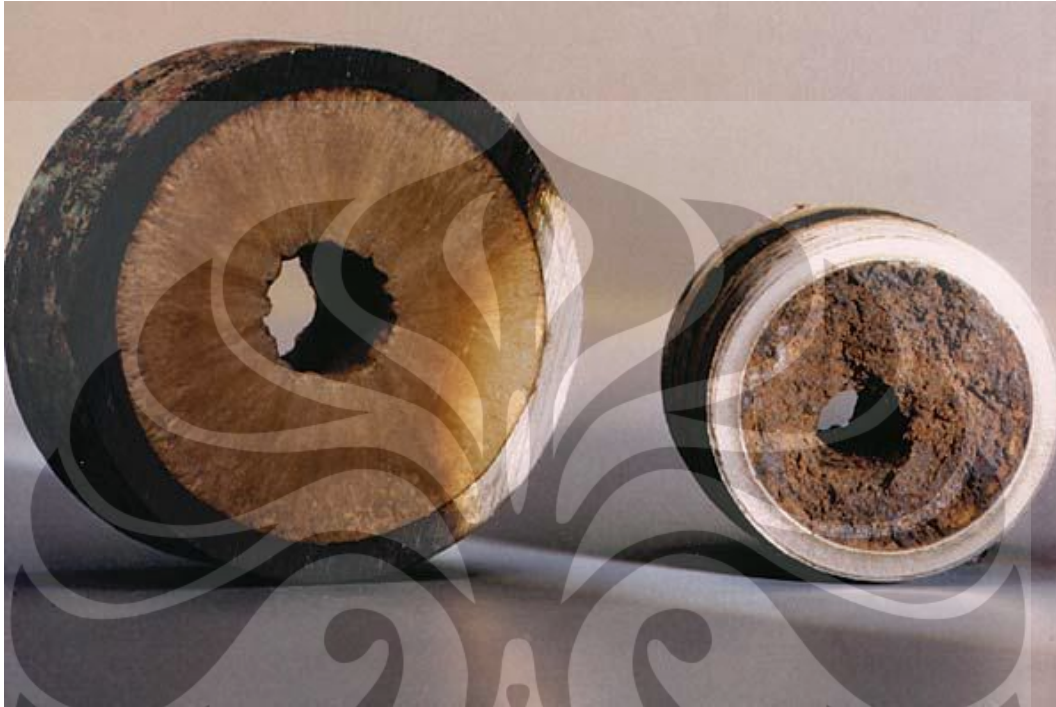
Grade	Yield Strength (MPa)	Mechanical Strength (MPa)
X42	289	413
X56	386	489
X60	413	517
X65	448	530
X70	482	565
X80	551	620
X100	690	760

Pipa baja API 5L secara reguler dibangun dengan *longitudinal welding*^[34], yang dilakukan menggunakan proses *submerged arc welding*. Jenis baja ini adalah *High Strength Low Alloy* (HSLA)^[35], di mana sifat presipitasi dan juga suhu kelarutannya adalah faktor-faktor kendali utama dari kinerja respon baja HSLA. Jenis baja ini diperlakukan *microalloyed* dengan elemen kimia seperti titanium, niobium, vanadium dan dimanufaktur dengan *Thermomechanically Controlled Rolling Process* (TMCP), untuk mengontrol *precipitation strengthening* dari presipitat *Nb carbonitride* ketika *rolling*, *cooling*, dan *coiling*^[36]. Karakteristik baja ini lebih lanjut diatur dalam ASTM A53^[37].

2.5 Kerak (Scale)

Kerak adalah hasil pengendapan mineral yang berasal dari air formasi yang terproduksi bersama minyak dan gas, didefinisikan sebagai suatu deposit dari senyawa-senyawa anorganik yang terendapkan dan membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu substansi^[38-39]. *Scaling* adalah presipitasi padat, bahan *adherent* pada permukaan logam dan bahan lainnya^[30]. Pembentukan kerak pada peralatan produksi minyak akhirnya menghasilkan produksi minyak yang lebih rendah dan kegagalan peralatan. Selain itu, masalah kerak dalam *water flooding*

terjadi sepanjang jalan dari fasilitas injeksi air ke sumur produksi^[31-35]. Gambar 5 menunjukkan pembentukan kerak pada *tubing* yang tentu saja akan menyebabkan *flow restriction* serius.



Gambar 2.5 Pembentukan Scale pada Tubing^[36].

Pembentukan kerak dapat dipengaruhi oleh perubahan temperatur, tekanan, pH, dan tekanan parsial $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ ^[37-38]. Kerak yang umum terbentuk di lingkungan *oilfield* yaitu Kalsium Sulfat (CaSO_4), Kalsium Karbonat (CaCO_3), Barium Sulfat (BaSO_4), Stronsium Sulfat (SrSO_4), Besi Karbonat (FeCO_3), dan Besi Hidroksida^[39]. Tabel 2.2 mendefinisikan kerak yang umum terbentuk bersama variabel primer yang mempengaruhi kelarutannya.

Tabel 2.2 Scale Paling Umum di *Oilfield*^[40].

Name	Chemical Formula	Primary Variabel
Calcium Carbonate	CaCO_3	Partial Pressure of CO_2 , temperature, total dissolved salts, pH.
Calcium Sulfate:	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.	Temperature, total

Gypsum Hemihydrate Anhydrite	CaSO ₄ .1/2H ₂ O. CaSO ₄ .	dissolved salts, pressure.
Barium Sulfate	BaSO ₄	Temperature, pressure.
Stronsium Sulfate	SrSO ₄	Temperature, pressure, total dissolved salts.
Iron Compounds: Ferrous Carbonate Ferrous Sulfide Ferrous Hydroxide Ferrous Hydroxide	FeCO ₃ FeS Fe(OH) ₂ Fe(OH) ₃	Corrosion, dissolved gas, pH.

2.6 Saturation Index

Untuk mengetahui apakah suatu media air bersifat korosif atau tidak biasanya dilihat dari besarnya nilai *Langelier Saturation Index*^[41] (LSI) dan *Ryznar Stability Index*^[42] (RSI). Dari besaran LSI dan RSI dapat diketahui apakah suatu air tersebut bersifat korosif atau *balanced*^[43]. LSI dan RSI adalah indeks saturasi CaCO₃ paling terkenal, meskipun faktanya bahwa indeks ini dianggap sangat konservatif. LSI dan RSI menentukan apakah air memiliki kemungkinan membentuk presipitat CaCO₃ (*supersaturated*) atau melarutkannya (*undersaturated*), dan perhitungan lainnya yaitu menentukan kuantitas presipitat atau terlarutnya CaCO₃^[44].

2.6.1 Langelier Saturation Index (LSI)

Langelier (1936) mengembangkan metode untuk menentukan *scaling* atau potensial korosi dari air, berdasarkan komposisi kimia, pH, kekerasan Ca, alkalinitas, temperatur, dan total kelarutan padatan untuk mencegah deposisi kerak dan untuk mengontrol korosi pada *heat exchangers* dan *circulating water lines*^[45-46]. LSI adalah indikator yang paling banyak digunakan untuk potensial kerak air^[47-48]. Indeks Saturasi dapat menggunakan bagan LSI apabila temperatur dalam Fahrenheit (°F) dan total kelarutan padatan (ppm) diketahui.

LSI murni sebuah indeks kesetimbangan dan hanya berhubungan dengan *driving force* termodinamika untuk pembentukan dan pertumbuhan kerak kalsium karbonat. LSI tidak memberikan indikasi berapa skala atau kalsium karbonat yang sebenarnya akan mengendap untuk membawa air menuju kesetimbangan^[49]. LSI secara sederhana mengindikasikan *driving force* untuk pembentukan dan pertumbuhan kerak dengan pH sebagai variabel utamanya. LSI dapat ditulis dengan persamaan^[50]:

$$LSI = pH - pH_s \quad 2.10$$

Dimana pH merupakan H air pada saat pengukuran, sedangkan pH_s merupakan pH pada saat *saturation* untuk *calcite* atau *calcium carbonate*. Jika nilai LSI negatif (di bawah -1.5), maka tidak berpotensi membentuk kerak dan air akan melarutkan $CaCO_3$. Jika nilai LSI positif (di atas 1.5/1.7), terjadi pembentukan kerak dan presipitasi $CaCO_3$ terjadi. Dan apabila nilai LSI mendekati nol, terjadinya *borderline scale potential*. Kualitas air, perubahan temperatur, atau penguapan akan mengubah nilai indeks. Perhitungan lebih lanjut mengenai LSI diatur dalam ASTM D3739^[51].

2.6.2 Ryznar Stability Index (RSI)

Dalam upaya untuk mengamankan indeks kuantitatif, Ryznar merumuskan suatu *stability index* yang secara umum tampak lebih representatif dari *corrosive/scale forming* secara alami dari air pendingin. RSI memberikan sebuah indeks untuk mengukur hubungan antara $CaCO_3$ *saturation state* dan *scale formation*. RSI dapat ditulis dengan persamaan^[52]:

$$RSI = 2pH_s - pH \quad 2.11$$

RSI didasarkan pada korelasi data empiris berbasis ketebalan *scale* yang diamati dalam sistem air ke kimia air^[53]. RSI menyediakan korespondensi yang mendekati antara perhitungan prediksi dan hasil yang diperoleh di lapangan.

Sebagai konsekuensinya dapat menggantikan LSI di berbagai aplikasi. Evaluasi RSI ditunjukkan pada tabel 3.

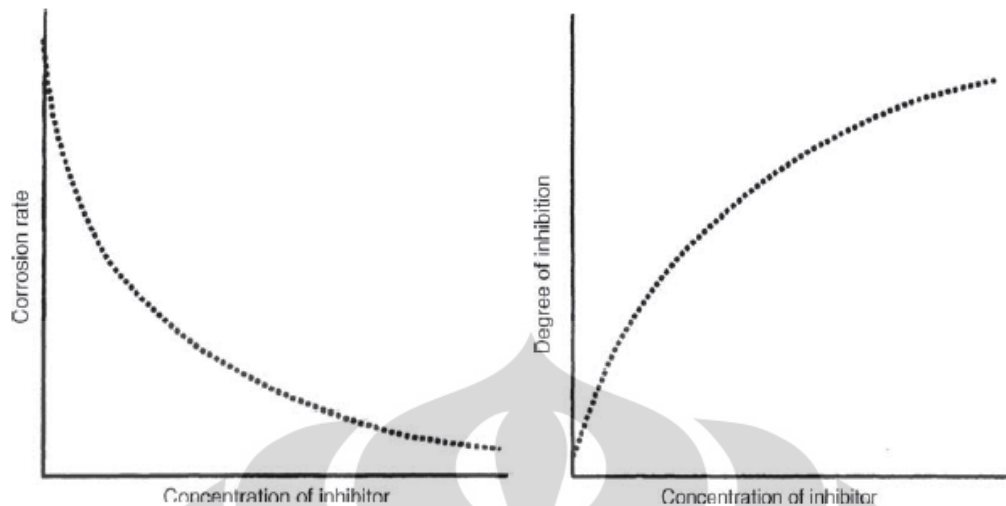
Tabel 2.3 Interpretasi Ryznar Stability Index (RSI)^[53].

RSI value	Indication
4.0 – 5.0	Severe scalling
5.0 – 6.0	Moderate to slight scalling
6.0 – 7.0	Stable water, slight tendency for dissolving of scale
7.0 – 7.5	Dissolving of scale, corrosive
7.5 – 9.0	Intense dissolving of scale and corrosion
>9.0	Very intense dissolving of scale and corrosion

2.7 Inhibitor Korosi

Inhibitor adalah substansi kimia yang ketika ditambahkan dalam konsentrasi kecil ke lingkungan, memberikan efek memeriksa, menurunkan, atau melindungi reaksi antara logam dengan lingkungannya^[54]. Inhibitor korosi ditambahkan ke berbagai sistem, seperti: *cleaning pads, cooling systems, various refinery units, pipelines, chemical operations, steam generators*, dan produk lainnya yang dipasarkan ke masyarakat umum. Inhibitor korosi adalah signifikansi utama dalam perlindungan logam. Agar bisa digunakan efektif, inhibitor harus sesuai dengan lingkungan tertentu, ekonomis untuk operasi perlakuan yang disetujui, dan memberikan kontribusi efek penurunan yang tinggi.

Secara umum, pengaruh inhibitor dapat dilihat pada gambar 2.6 a) dan 2.6 b). Gambar 2.6 a) menunjukkan hubungan antara konsentrasi inhibitor dan laju korosi, di mana laju korosi menurun dengan peningkatan konsentrasi inhibitor. Gambar 2.6 b) menunjukkan hubungan antara konsentrasi inhibitor dan derajat inhibisi, di mana peningkatan konsentrasi akan meningkatkan derajat inhibisi. Hubungan ini dipelajari oleh sieverts dan leug, dan gambar tersebut mirip dengan *adsorption isotherms*^[55].



Gambar 2.6 a) Laju Korosi sebagai Fungsi Konsentrasi Inhibitor.

b) Efisien Inhibitor sebagai Fungsi Konsentrasi Inhibitor^[55].

Efektifitas inhibitor telah ditentukan dengan berbagai cara dan kesimpulannya telah ditarik untuk menentukan faktor-faktor kontribusi terhadap efektifitas. Beberapa konsep umum diantaranya ukuran molekul organik, ikatan aromatik dan/atau konjugasi, panjang rantai karbon, kekuatan ikatan dengan substrat logam, tipe dan jumlah ikatan atom atau grup dalam molekul, kemampuan *layer* menjadi padat atau jaring silang, dan kemampuan untuk kompleks dengan atom sebagai padatan dengan kisi logam.

2.7.1 Mekanisme Inhibitor

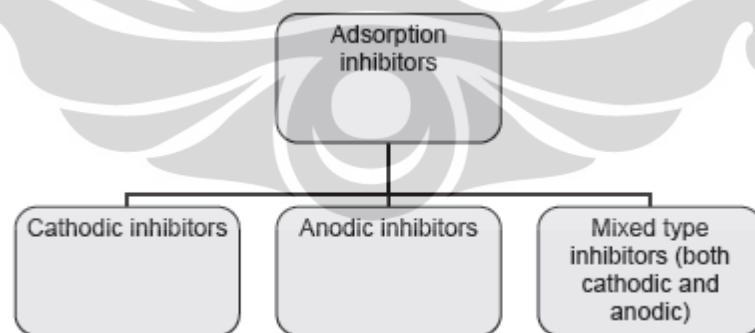
Mekanisme kerja dari inhibitor dapat dibagi menjadi^[54-56]:

1. Inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam, dan membentuk suatu lapisan tipis dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor. Lapisan ini tidak dapat dilihat oleh mata biasa, namun dapat menghambat penyerangan lingkungan terhadap logamnya.
2. Melalui pengaruh lingkungan (misal pH) menyebabkan inhibitor dapat mengendap dan selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam serta melindunginya terhadap korosi. Endapan yang terjadi cukup banyak, sehingga lapisan yang terjadi dapat teramati oleh mata.

3. Inhibitor lebih dulu mengkorosi logamnya, kemudian menghasilkan suatu zat kimia yang kemudian melalui peristiwa adsorpsi dari produk korosi tersebut membentuk suatu lapisan pasif pada permukaan logam.
4. Inhibitor menghilangkan konstituen yang agresif dari lingkungannya. Berdasarkan sifat korosi logam secara elektrokimia, inhibitor dapat mempengaruhi polarisasi anodik dan katodik. Bila suatu sel korosi dapat dianggap terdiri dari empat komponen yaitu: anoda, katoda, elektrolit dan penghantar elektronik, maka inhibitor korosi memberikan kemungkinan menaikkan polarisasi anodik, atau menaikkan polarisasi katodik atau menaikkan tahanan listrik dari rangkaian melalui pembentukan endapan tipis pada permukaan logam. Mekanisme ini dapat diamati melalui suatu kurva polarisasi hasil pengujian.

2.7.2 Klasifikasi Inhibitor Korosi

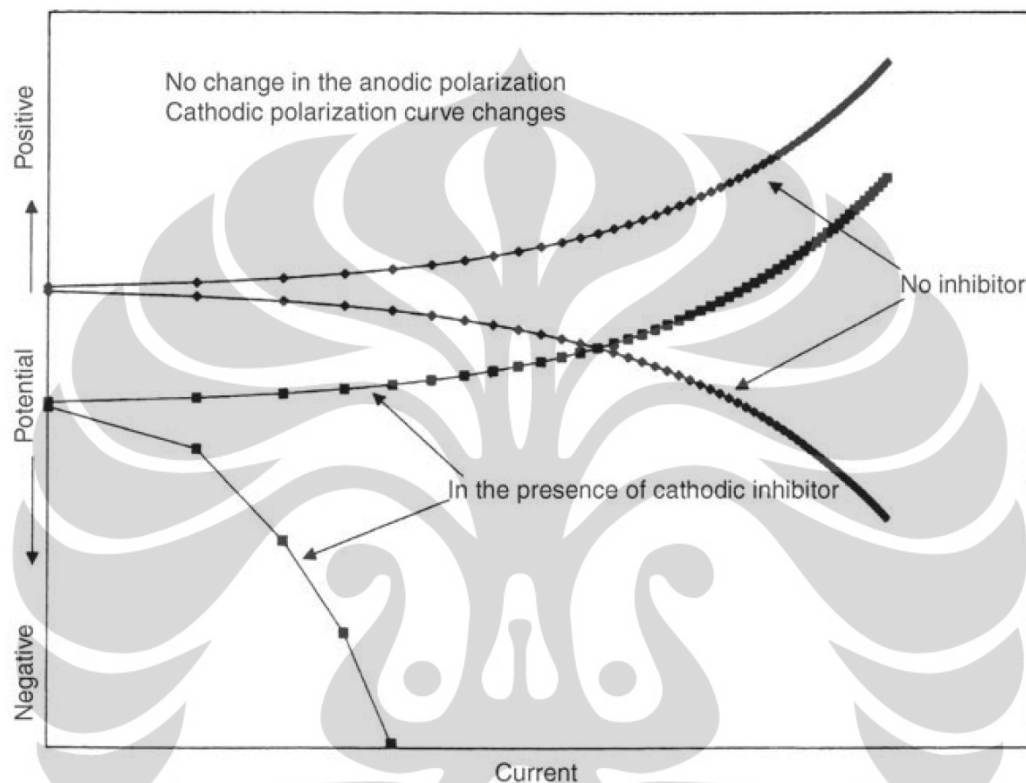
Snavely & Hackerman, (1970)^[57] membagi inhibitor dalam beberapa kelas, yaitu: *passivators*, *precipitators*, *vapor phase*, *cathodic*, *anodic*, *neutralizing*, dan *absorbants*. Sedangkan inhibitor korosi organik/adsorpsi dapat diklasifikasikan sebagai anodik, katodik, atau keduanya. Klasifikasi inhibitor organik/adsorpsi dilihat dari reaksi pada permukaan logam dan bagaimana potensial logam dipengaruhi.



Gambar 2.7 Klasifikasi Inhibitor Organik/Adsorpsi^[55].

Inhibitor katodik menginhibisi evolusi hidrogen pada larutan asam atau mereduksi oksigen pada larutan netral atau alkali. Inhibitor katodik juga diteliti dimana *branch* katodik pada kurva polarisasi terpengaruhi ketika inhibitor katodik

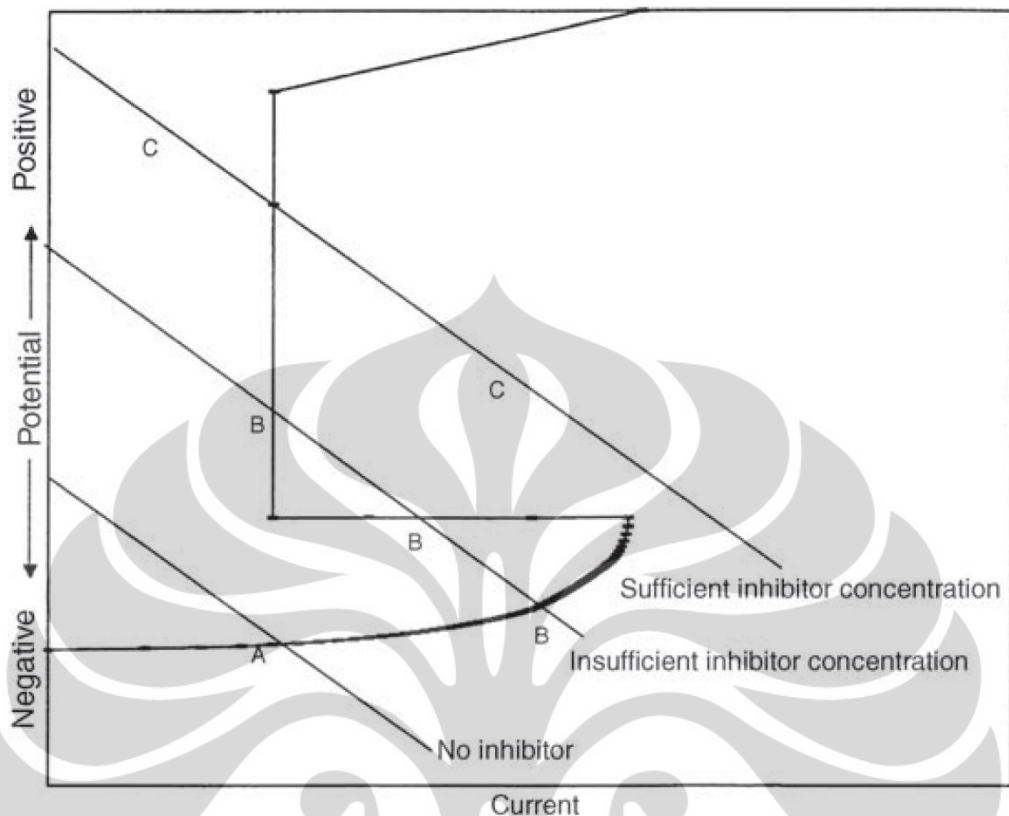
ditambahkan, seperti ditunjukkan pada gambar 2.8. Terdapat perbedaan jarak pada *branch* katodik pada sistem terinhibisi dan tidak terinhibisi^[58]. Substansi dengan *high overpotential* untuk hidrogen pada lingkungan asam dan membentuk produk tidak larut dalam larutan alkali, secara umum merupakan inhibitor katodik efektif.



Gambar 2.8 Kurva Polarisasi dengan Kehadiran Inhibitor Katodik

Beberapa contoh inhibitor katodik adalah *inorganic phosphates, silicates, or borates* dalam *alkaline solutions*, yang menghambat reduksi oksigen pada site katodik. Substansi lainnya seperti karbonat, atau magnesium, karena keterbatasan kelarutannya, memblokir site katodik.

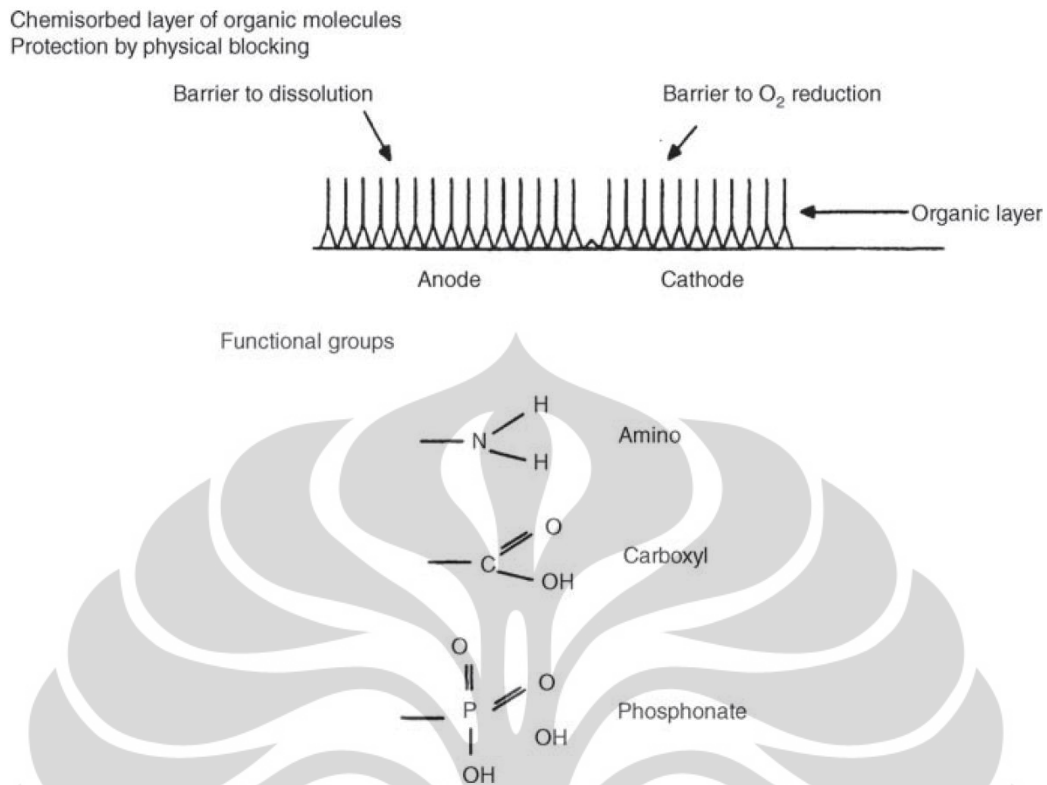
Inhibitor anodik secara umum efektif pada rentang pH 6.5 – 10.5 (dekat netral menuju dasar). *Oxyanions* seperti *chromates, molybdates, tungstates*, dan juga *sodium nitrite* merupakan inhibitor anodik yang efektif. *Oxyanions* ini memainkan peran dalam memperbaiki cacat dalam lapisan pasif besi oksida pada permukaan logam besi. Pada kasus kromat atau dikromat, konsentrasi inhibitor yang digunakan adalah *critical*. Diagram polarisasi potensiodinamik menunjukkan efek konsentrasi inhibitor anodik pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Diagram Polarisasi Aktif-Pasif Logam Menunjukkan Pengaruh Arus pada Konsentrasi Inhibitor Anodik.

Gambar 2.9 secara jelas menunjukkan pengaruh konsentrasi inhibitor. Secara jelas terlihat pada gambar bahwa proteksi diberikan ketika sejumlah inhibitor diberikan. Terlihat pula dari gambar bahwa perlindungan korosi yang buruk ketika konsentrasi inhibitor tidak cukup. Perilaku ini ditampilkan saat kromat digunakan sebagai inhibitor. Kadang-kadang dikromat dikenal sebagai “*dangerous inhibitor*” ketika konsentrasi inhibitor yang digunakan tidak cukup.

Inhibitor tipe gabungan mempengaruhi *branch* anodik dan katodik pada kurva polarisasi. Substansi organik berfungsi sebagai inhibitor tipe gabungan. Inhibitor organik teradsorpsi pada permukaan logam menyediakan *barrier* terhadap disolusi di anoda dan *barrier* reduksi oksigen pada site katoda, seperti ditunjukkan pada gambar 2.10 Grup yang berfungsi *protective* pada inhibitor organik gabungan dapat berupa *amino*, *carboxyl*, dan *phosphonate*.



Gambar 2.10 Proteksi Korosi dengan Inhibitor Organik^[55].

2.8. Metode Pengukuran Laju Korosi

2.8.1. Metode Polarisasi Elektrokimia

Polarisasi elektrokimia (atau yang sering dikenal dengan polarisasi) merupakan perubahan potensial akibat mengalirnya arus. Terdapat tiga tipe polarisasi, yaitu: (1) Polarisasi Aktivasi, yaitu polarisasi yang disebabkan oleh reaksi lambat elektroda. (2) Polarisasi Konsentrasi, yaitu polarisasi yang disebabkan oleh perubahan konsentrasi dalam reaktan atau produk dekat permukaan elektroda. Dan (3) Polarisasi *Ohmic*, yaitu polarisasi yang disebabkan oleh IR Drops dalam larutan atau melewati permukaan films, seperti oksida (atau garam). Derajat polarisasi didefinisikan sebagai *overvoltage* (atau *overpotential*)_n yang dirumuskan dengan persamaan:

$$n = E - E_o \quad (2.12)$$

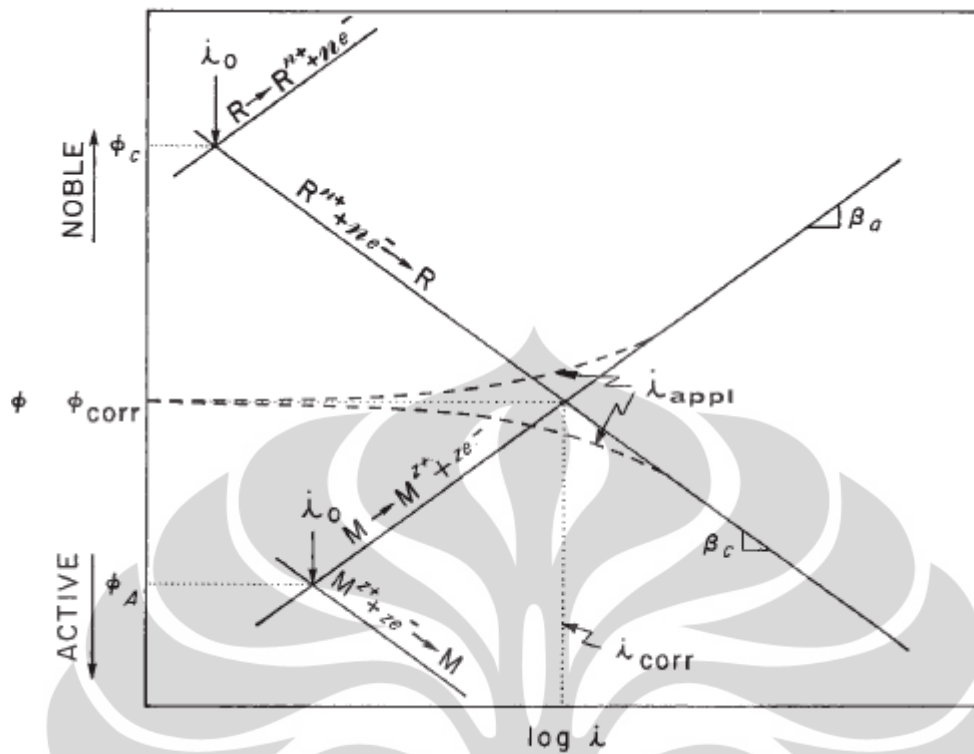
Di mana E adalah potensial elektroda untuk sejumlah kondisi aliran arus, dan E_o adalah potensial elektroda untuk aliran arus nol (disebut juga potensial sirkuit terbuka, potensial korosi, atau *rest potential*). Sedangkan untuk memahami arus korosi dalam polarisasi, dapat menggunakan persamaan Butler-Volmer yaitu:

$$i_{reaction} = i_o \left\{ \exp\left(-\beta \frac{nF}{RT} n_{reaction}\right) - \exp\left((1 - \beta) \frac{nF}{RT} n_{reaction}\right) \right\} \quad (2.13)$$

Di mana $i_{reaction}$ adalah arus anoda atau katoda. β adalah *charge transfer barrier* (koefisien simetri) untuk reaksi anodik dan katodik, biasanya mendekati 0.5. n adalah jumlah elektron. R adalah konstanta gas, yaitu $8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$. T adalah temperatur absolut (K). Dan F adalah $96,485 \text{ C/ (mol elektron)}$. Persamaan 2.3 dan 2.4 dapat disederhanakan menjadi:

$$n = a \pm b \log|i| \quad (2.14)$$

Di mana b merupakan kemiringan dari reaksi anodik dan katodik, tanda (+) untuk potensial lebih anodik, sedangkan tanda (-) untuk potensial lebih katodik. Selain menggunakan persamaan di atas, dapat digunakan metode ekstrapolasi tafel untuk mendapatkan potensial korosi (E_{corr}), arus korosi (I_{corr}), dan kemiringan tafel seperti yang dilihat pada gambar 2.11 berikut ini.



Gambar 2.11. Kurva Polarisasi yang Menunjukkan Ekstrapolasi Tafel^[118].

Berdasarkan kurva diatas, dalam penelitian ini dapat ditentukan nilai dari efisiensi inhibisi, dengan persamaan:

$$\%I = \frac{CR_{unh} - CR_{inh}}{CR_{unh}} \times 100\% \quad (2.15)$$

Di mana CR_{unh} adalah laju korosi blanko, sedangkan CR_{inh} adalah laju korosi dengan penambahan ekstrak ubi ungu/ inhibitor kimia.

2.8.2. Metode Hukum Faraday

Berdasarkan hukum Faraday, laju korosi dapat ditentukan dengan persamaan^[119]:

$$r = 0,129 \frac{ai}{nD} \text{ (in mpy)} \quad (2.16)$$

Di mana r adalah laju korosi (dalam mpy), a adalah berat atom, i adalah rapat arus (dalam $\mu A/cm^2$), n adalah jumlah elektron, serta D adalah densitas (dalam g/cm^3).

2.9 Green Corrosion Inhibitors

Penggunaan inhibitor korosi adalah cara yang efektif untuk mengisolir logam dari bahan korosi untuk mencegah korosi elektrokimia^[59-62]. Umumnya inhibitor korosi berasal dari senyawa organik dan anorganik, namun beberapa di antara inhibitor tersebut beracun, *non-biodegradable*, dan mahal untuk disintesis^[63]. Isu keamanan dan lingkungan inhibitor korosi yang muncul di industri selalu menjadi kekhawatiran global. Inhibitor ini dapat menyebabkan kerusakan sementara atau permanen yang menyerang sistem organ, ginjal, atau hati, mengganggu proses biokimia, atau mengganggu sistem enzim dalam tubuh^[64].

Berdasarkan hal-hal tersebut, maka penelitian diarahkan untuk menemukan sumber baru inhibitor korosi terutama dari bahan alami mulai banyak dilakukan. Bahan alam dipilih sebagai alternatif karena bersifat aman, mudah didapatkan, bersifat *biodegradable*, biaya murah, dan ramah lingkungan^[65].

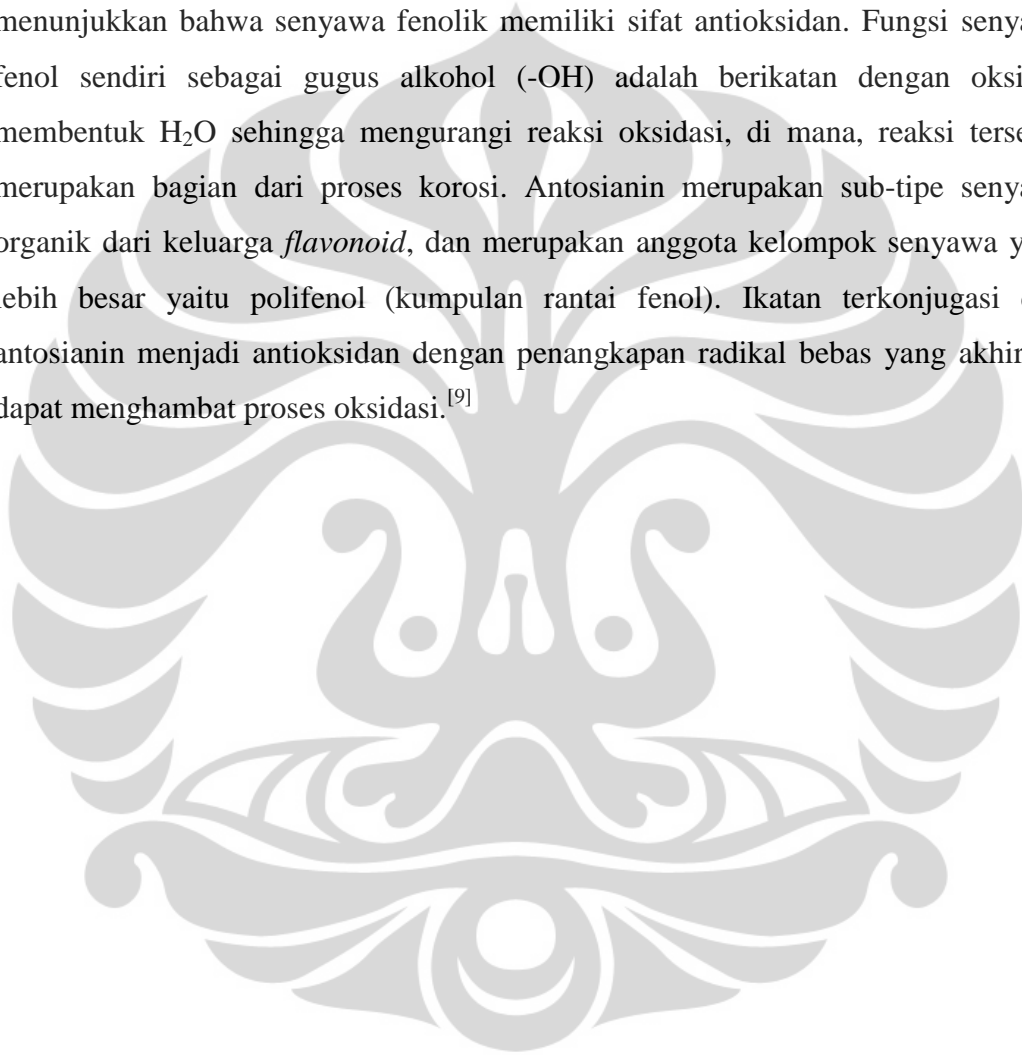
2.9.1 Ubi Ungu (Ipomea Batatas)

Ubi jalar ungu merupakan salah satu variasi dari tanaman ubi jalar (*Ipomea batatas*). Tanaman ini biasa disebut ubi ungu karena ubi jalar ini berwarna ungu. Ubi ungu diketahui mempunyai banyak kandungan yang bermanfaat dalam bidang

kesehatan. Dengan sifat antioksidannya ubi ungu dapat berfungsi sebagai pencegah penyakit kanker, stroke, penuaan dan lain-lain.^[8]

2.9.2 Aktivitas Antioksidan

Pengaruh antioksidan dalam ubi ungu dipengaruhi oleh antosianin. Han, X, Shen, T, Lou, H, et al.^[9] melakukan penelitian tentang peranan antioksidan, di mana menunjukkan bahwa senyawa fenolik memiliki sifat antioksidan. Fungsi senyawa fenol sendiri sebagai gugus alkohol (-OH) adalah berikatan dengan oksigen membentuk H₂O sehingga mengurangi reaksi oksidasi, di mana, reaksi tersebut merupakan bagian dari proses korosi. Antosianin merupakan sub-tipe senyawa organik dari keluarga *flavonoid*, dan merupakan anggota kelompok senyawa yang lebih besar yaitu polifenol (kumpulan rantai fenol). Ikatan terkonjugasi dari antosianin menjadi antioksidan dengan penangkapan radikal bebas yang akhirnya dapat menghambat proses oksidasi.^[9]

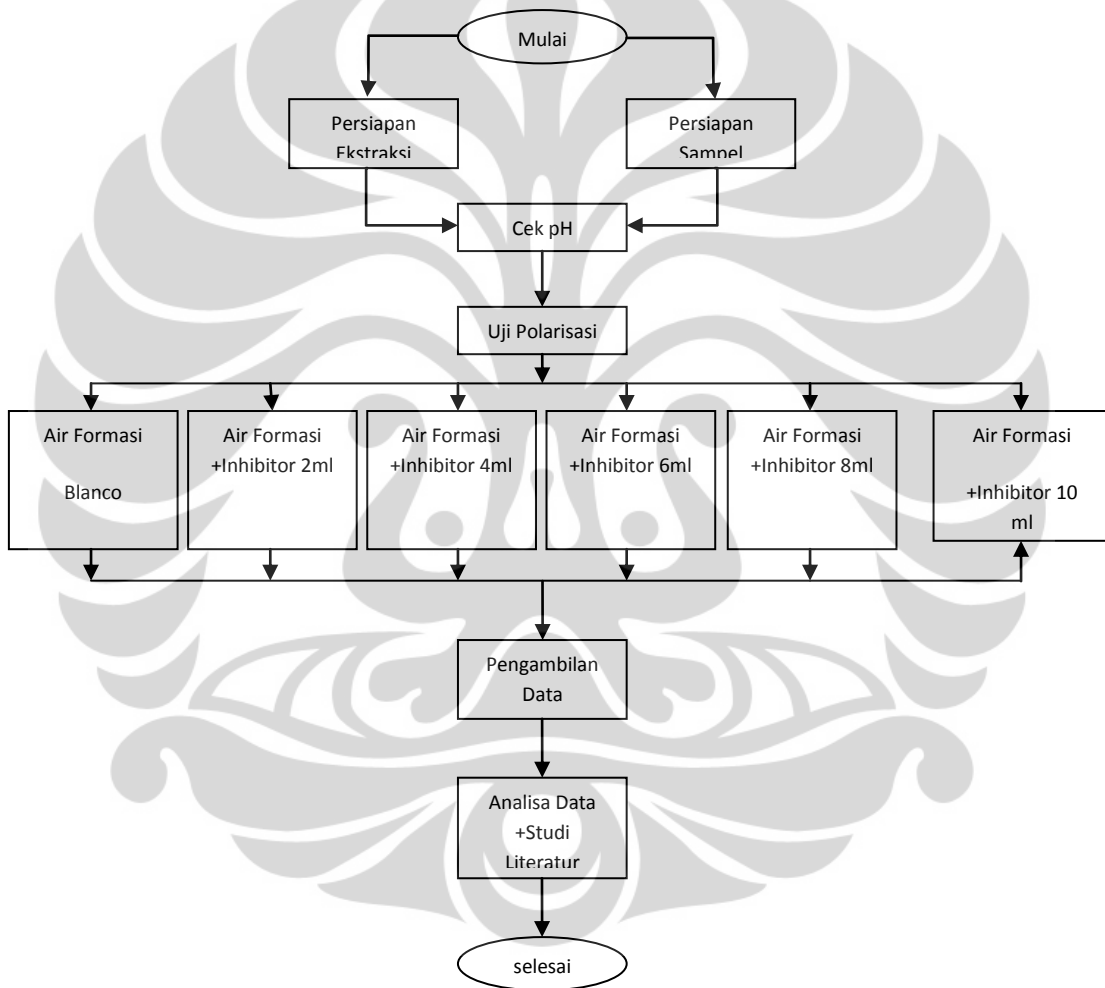


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Kerangka metode penelitian dapat dilihat dari diagram alir dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini diantaranya:

3.2.1 Alat

- Alat pemotong sampel
- Mesin gerinda
- Amplas #120 dan #240 #400 #600
- pH meter digital
- Kabel tembaga
- Multimeter
- Solder
- Jangka sorong
- Software NOVA 1.8 dan peralatan polarisasi
- Elektroda standar KCl
- Kapas
- Jarum Suntik
- Beaker Glass

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan untuk penelitian, antara lain:

- Baja API-5L
Dimensi pada baja API 5L 1.5x1.5x1.5 cm
Adapun komposisi baja tersebut:

Tabel 3.1. Hasil Karakterisasi Baja API 5L

Komposisi Kimia (%)	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr
	0,108	0,034	0,008	0,013	0,297	0,019	0,013
	Mo	Ti	Cu	Nb	V	Al	Fe
	0,006	0,003	0,043	<0,002	0,009	0,031	Balance
Nilai Kekerasan (HRA)				75 – 76			

- Air Formasi

Adapun komposisi air formasi:

Tabel 3.2. Hasil Karakterisasi Air Formasi.

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Alkalinitas	516	mg/L
2	Hidroksida	0	mg/L
3	Kalsium sebagai CaCO ₃	613	mg/L
4	Klorida	102731	mg/L
5	Oksigen Terlarut	5,2	mg/L
6	Minyak & Gemuk	28	mg/L
7	pH	7,3	-
8	Sulfat	9,9	mg/L
9	Temperatur	25	°C
10	<i>Total Dissolved Solids (TDS)</i>	19218	mg/L

- Aquades
- Ekstrak Ubi Ungu
- Resin
- Hardener

3.2 Prosedur Penelitian

Terdapat beberapa prosedur kerja dalam penelitian ini, diantaranya:

3.3.1 Preparasi Sampel

Dalam preparasi sampel dilakukan beberapa hal, antara lain:

- **Pemotongan sampel**
Material dipotong menjadi ukuran 1.5 x1.5cm. Kemudian dilakukan gerinda sehingga menjadi lingkaran dengan ukuran luas $\pm 1\text{cm}^2$. Pemotongan sampel ini dilakukan dengan alat pemotong yang terdapat di laboratorium TPB Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI. Untuk mendapatkan sampel berbentuk lingkaran, maka terlebih dahulu sampel dipotong menjadi persegi. Kemudian sampel digerinda sehingga tepinya membentuk lingkaran.
- **Penyolderan sampel**
Untuk menyambungkan kawat tembaga pada sampel polarisasi, maka perlu dilakukan penyolderan dengan menggunakan timah sebelum sampel *di-mounting*.
- **Mounting sampel**
Sampel polarisasi yang telah disolder *di-mounting* agar mempermudah pengamplasan permukaan sampel.
- **Pengamplasan sampel**
Sampel diampelas untuk menghilangkan oksida, meratakan, dan menghaluskan permukaan sampel. Pengamplasan dimulai dari kerta amplas #120, #240, #400 dan #600.
- **Pengujian arus**
Aliran arus pada sampel diuji dengan menggunakan multimeter. Apabila arus tidak dialirkan dengan baik, maka harus dilakukan proses mulai dari penyolderan kembali.

3.3.2. Persiapan Larutan

Larutan yang digunakan pada penelitian ini adalah air formasi.

3.3.3. Pembuatan Inhibitor

Inhibitor ekstrak ubi ungu adalah inhibitor yang digunakan secara langsung, yaitu berupa sirup ekstrak ubi ungu (tanpa gula). Volume Inhibitor yang digunakan adalah 2 ml, 4ml, 6ml, 8 ml, dan 10 ml untuk tiap pengujian polarisasi. Kandungan ekstrak ubi ungu yang terdapat dalam inhibitor sirup ekstrak ubi ungu adalah 0.6 gr/ml.

3.3.4. Pengukuran Nilai pH

Berhubungan dengan kestabilan inhibitor organik dalam menahan laju korosi. Pengukuran nilai pH dilakukan dengan menggunakan pH meter untuk setiap penambahan volume inhibitor ke dalam larutan air formasi. Pada pengukuran pH ini, cukup dilakukan sekali saja untuk setiap perubahan volume karena pada proses polarisasi, pH sebelum, dan sesudah pengujian relatif tidak akan berubah.

3.3.5. Pengujian Polarisasi

Pengujian polarisasi dilakukan dengan menggunakan *software* NOVA 1.8 yang dimiliki oleh laboratorium Korosi Departemen Metalurgi dan Material FTUI. Selain *software*, peralatan uji polarisasi melingkupi sistem sambungan arus, grafit, elektroda KCl, dan sebagainya juga dipersiapkan sebaik mungkin. Pengujian dilakukan dengan mengikuti standar ASTM-G3,G5,G59, dan G102. Kemudian kita akan mendapatkan kurva polarisasi dan laju korosi sebagai hasil dari pengaruh inhibitor terhadap tingkat korosi pada sampel tersebut. Untuk melakukan pengujian kembali, boleh digunakan sampel polarisasi yang sama, namun permukaan sampel harus dibersihkan terlebih dahulu dengan cara diamplas. Pada proses pengujian polarisasi, volume air formasi di dalam tabung adalah 150 ml. Maka untuk penambahan volume inhibitor ekstrak ubi ungu selanjutnya adalah setara dengan :

Tabel 3.3. Hasil Konversi Inhibitor

Volume Inhibitor	Konversi	Persentase
0	$0/150=0$	0%
2	$2/150=0.0133$	1.33%
4	$4/150=0.026667$	2.67%
6	$6/150=0.04$	4%
8	$8/150=0.0533$	5.3%
10	$10/150=0.066$	6.6 %

3.3.6. Pengambilan Data

Data yang didapatkan dari pengujian polarisasi tersebut adalah berupa kurva polarisasi serta laju korosi (*corrosion rate*).

BAB IV

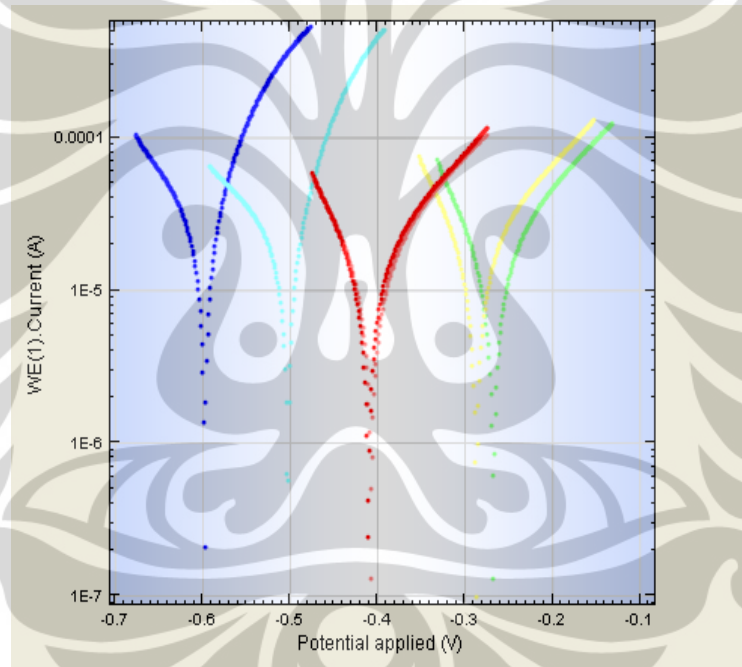
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Kurva Polarisasi

Kurva polarisasi yang didapat pada pengujian ini terbagi menjadi polarisasi inhibitor ubi ungu dan inhibitor kimia X.

4.1.1 Kurva Polarisasi Ubi Ungu

Kurva polarisasi ubi ungu dapat dilihat dibawah ini:

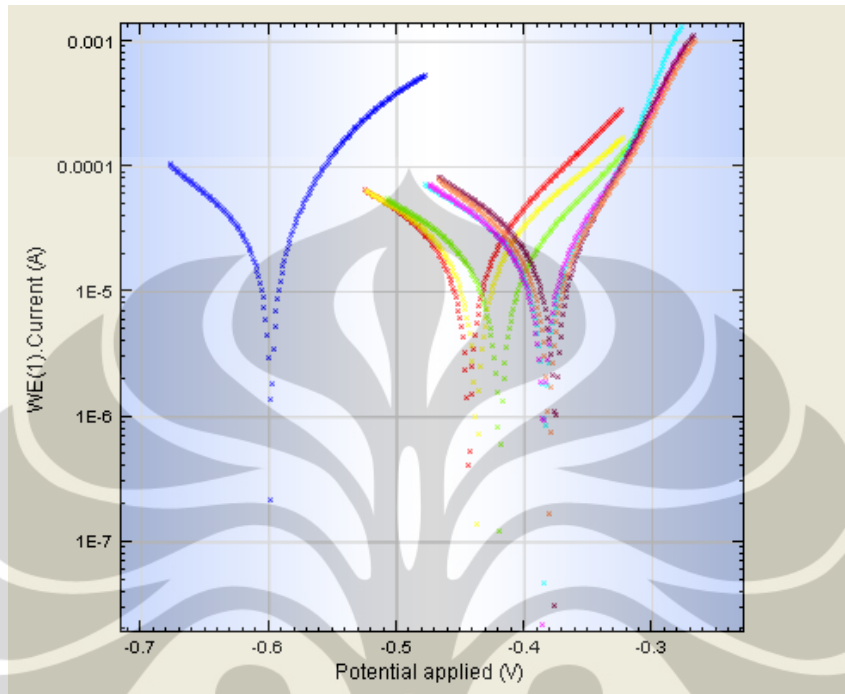










LEGENDA	
	0 ml
	2 ml
	4 ml
	6 ml
	8 ml
	10 ml

Gambar 4.1. Kurva Polarisasi Inhibitor Ubi Ungu

4.1.2 Kurva Polarisasi Inhibitor Kimia X

Kurva Polarisasi Inhibitor Kimia X dapat dilihat dibawah ini:



LEGENDA	
	Tanpa Inhibitor
	1 ml
	1.5 ml
	2 ml
	4 ml
	6 ml
	8 ml
	10 ml

Gambar 4.2. Kurva Polarisasi Inhibitor Kimia X

4.2 Hasil Pengamatan dan Pembahasan Laju Korosi

Berdasarkan pengujian polarisasi elektrokimia, didapatkan laju korosi untuk ekstrak ubi ungu dan inhibitor kimia X. Hasil pengamatan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1. serta gambar 4.1. dibawah ini:

Tabel 4.1. Laju Korosi Ekstrak Ubi Ungu & Inh. Kimia X.

No	Penambahan	Laju Korosi Ubi Ungu (mpy)	Laju Korosi X (mpy)
1	Tanpa Inhibitor	8.69	8.69
2	1ml	-	7.40
3	1,5ml	-	6.99
4	2ml	4.76	4.68
5	4ml	4.03	6.39
6	6ml	5.48	6.62
7	8ml	5.51	6.68
8	10ml	7.24	5.82

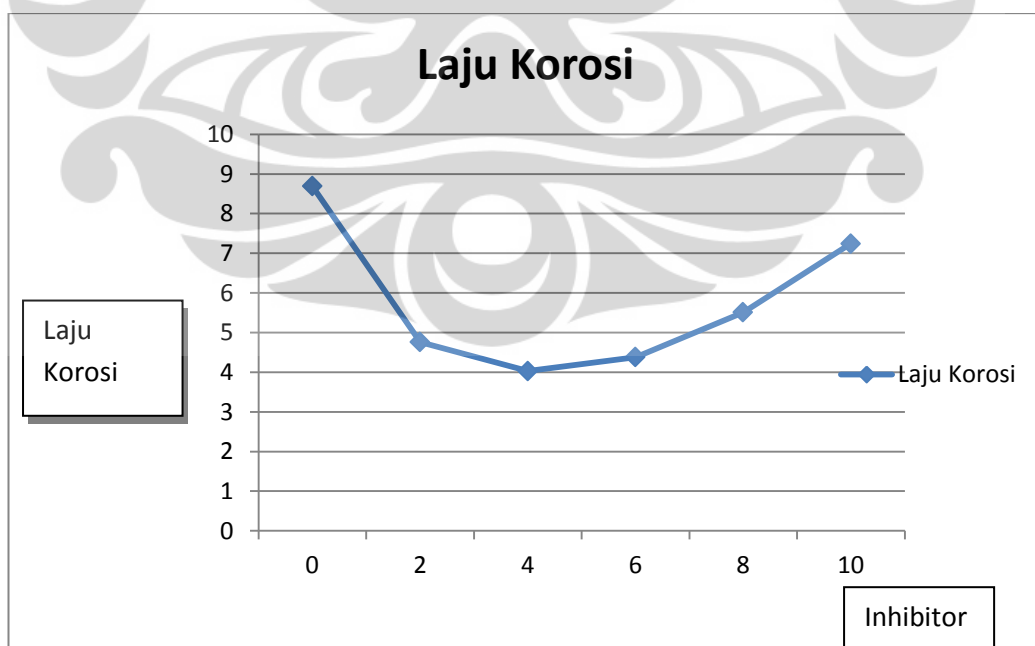
Terbukti ekstrak ubi ungu merupakan inhibitor korosi bisa dilihat dari laju korosi mengalami penurunan dengan penambahan ekstrak kulit ubi ungu. Dari data diatas dapat terlihat ketika sampel tidak ditambahkan inhibitor laju korosi berada pada 8.69 mpy. Ketika ditambahkan inhibitor 2 ml maka laju korosi mengalami penurunan menjadi 4.76 mpy. Kemudian ketika ditambah inhibitor 4 ml maka laju korosi mengalami penurunan menjadi 4.03 mpy. Ketika ditambahkan inhibitor 6 ml laju korosi turun menjadi 5.84 mpy. Selanjutnya dengan penambahan inhibitor sebanyak 8 ml dan 10 ml laju korosi mengalami penurunan 5.51 mpy dan 7.24 mpy.

Pada Inhibitor kimia X kembali terbukti bahwa inhibitor ini efektif meredam laju pada korosi. Ketika diberikan penambahan 1 ml dan 1,5 ml maka laju korosi mengalami penurunan 7.44 dan 6.99 mpy dibandingkan tanpa inhibitor yang mencapai 8.69 mpy. Setelah ditambahkan inhibitor kembali pada 2 ml dan

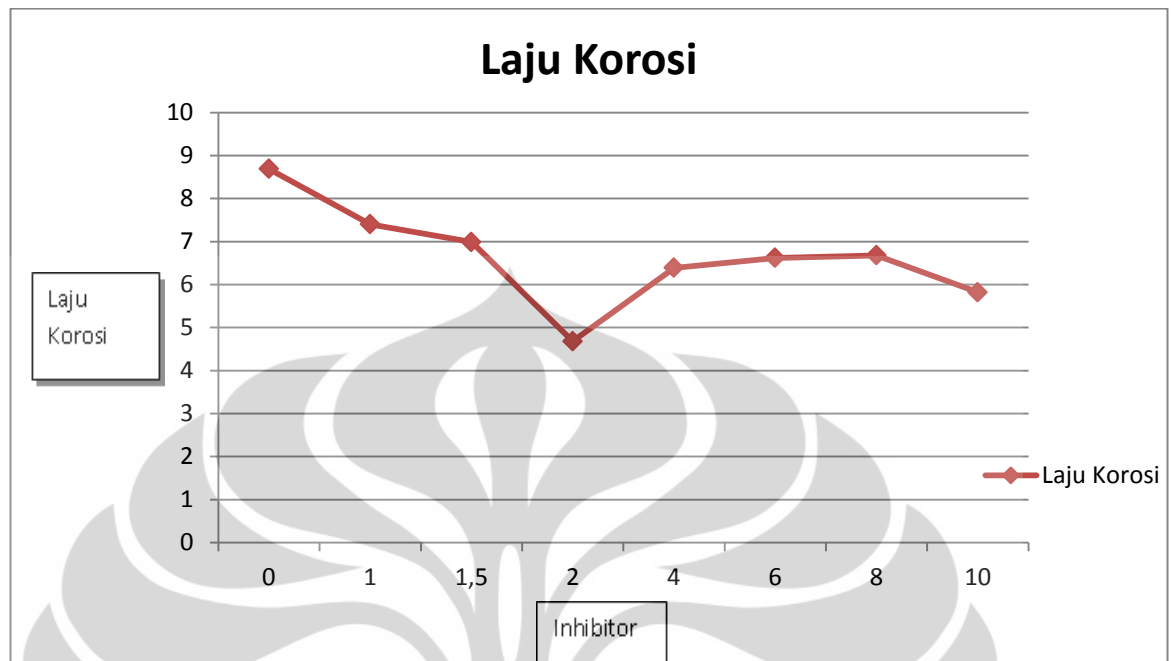
4ml maka inhibitor mencapai laju 4.68 dan 6.39 mpy. Kemudian ketika ditambahkan inhibitor pada 6 ml dan 8 ml maka laju korosi mencapai 6.62 dan 6.68 mpy. Terakhir, penambahan 10 ml efektif menurunkan laju korosi mencapai 5.82 mpy.

Penurunan optimum untuk ekstrak ubi ungu yaitu pada 4ml, yaitu, 4.03 mpy. Pada inhibitor kimia X penurunan laju korosi terjadi pada penambahan 2 ml, yaitu 4.68 mpy. Berdasarkan gambar 4.1, terlihat penurunan laju korosi menggunakan ekstrak ubi ungu lebih stabil dibandingkan dengan inhibitor kimia X. Menurut M.G. Fontana, (1986) ^[66], penambahan ekstrak ubi ungu 4 ml membuat ketahanan korosi meningkat dari *good* hingga *excellent*, begitu juga inhibitor kimia X di 2 ml. Pada aplikasinya diharapkan inhibitor bisa digunakan seefektif mungkin. Dari penelitian ini kadar 4 ml pada inhibitor ubi ungu dan kadar 2 ml pada Inhibitor X dapat dianggap sebagai jumlah yang cukup efektif.

Pada percobaan kedua inhibitor tersebut terlihat bahwa setelah mencapai titik optimum maka laju korosi berangsur naik. Menurut M. Bouklah, et. al. (2006)^[67], laju korosi yang kembali meningkat setelah batas optimum diakibatkan kapasitas gugus fungsi untuk teradsorpsi pada permukaan baja sudah maksimum, dan tidak dapat membentuk lapisan lindung yang stabil.



Gambar 4.3. Grafik Hasil Pengamatan Laju Korosi Inhibitor Ubi Ungu



Gambar 4.4. Grafik Hasil Pengamatan Laju Korosi pada Inhibitor Kimia X

4.3 Hasil Perhitungan dan Pembahasan Efisiensi Inhibisi

Untuk menghitung efisiensi inhibitor memakai rumus ^[68]:

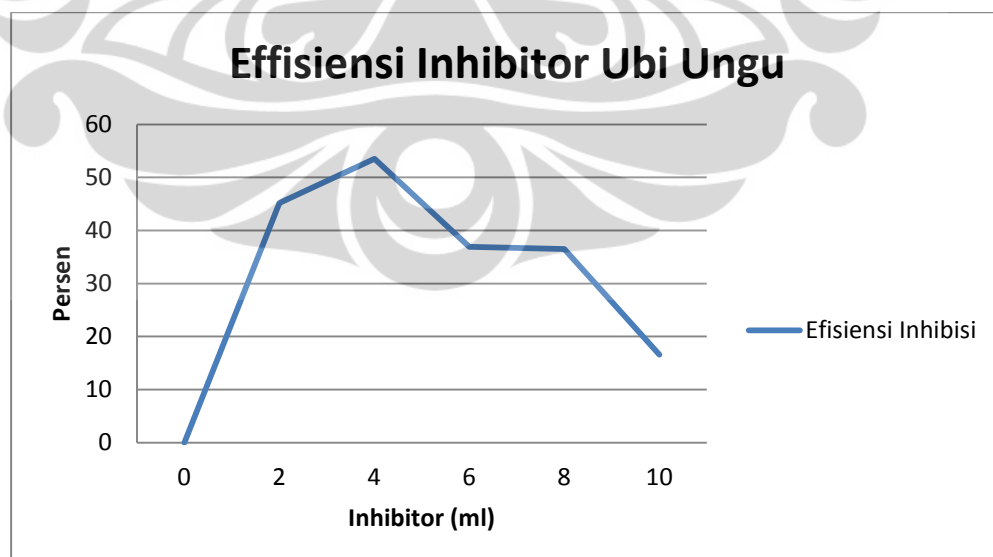
$$\text{Efisiensi (\%)} = \frac{\text{Laju korosi tanpa inhibitor} - \text{Laju korosi dengan inhibitor}}{\text{Laju korosi tanpa inhibitor}} \times 100\% \quad (4.1)$$

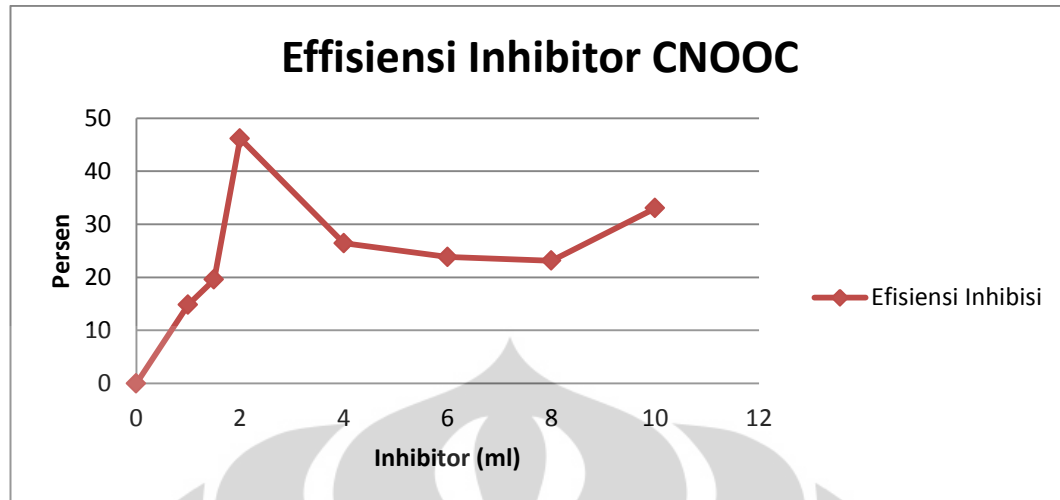
Berdasarkan pengujian polarisasi elektrokimia, dilakukan perhitungan efisiensi inhibisi terhadap penambahan ekstrak ubi ungu & inhibitor kimia X. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.2, gambar 4.3, dan gambar 4.4 di bawah ini.

Tabel 4.2. Efisiensi Inhibisi Eks. Ubi ungu & Inh. Kimia X.

No	Penambahan	Eff. Inhibisi Ubi Ungu(%)	Eff. Inhibisi X (%)
1	Tanpa Inhibitor	-	-
2	1ml	-	14.82
3	1,5ml	-	19.56
4	2ml	45.18	46.16
5	4ml	53.54	26.42
6	6ml	36.89	23.82
7	8ml	36.50	23.15
8	10ml	16.59	33.03

Efisiensi inhibisi ekstrak ubi ungu mencapai titik maksimum pada penambahan 4ml dengan efisiensi 53.54%, sedangkan, inhibitor X mengalami efisiensi maksimum pada penambahan 2 ml yaitu 46.16%. dengan persentase inhibisi yang stabil sebanding dengan penambahan ekstrak ubi ungu. Efisiensi inhibisi yang cenderung meningkat didukung oleh sejumlah peneliti, dimana menggunakan senyawa berbasis organik sebagai inhibitor untuk material baja pada berbagai konsentrasi dalam beragam jenis lingkungan^[69].

**Gambar 4.5.** Grafik Hasil Perhitungan Efisiensi Inhibisi. Ubi Ungu



Gambar 4.6. Grafik Hasil Perhitungan Efisiensi Inhibisi. Ubi Ungu

Peningkatan efisiensi inhibisi ekstrak ubi ungu juga dialami oleh inhibitor kimia X. Secara struktur molekul, nilai efisiensi inhibisi yang baik dapat disebabkan oleh kehadiran struktur heterosiklik/aromatic^[70]. Sedangkan penyebab nilai inhibisi yang kembali turun, selain akibat produk tidak stabil juga senyawa pada inhibitor yang tidak sesuai dengan material dan lingkungannya.

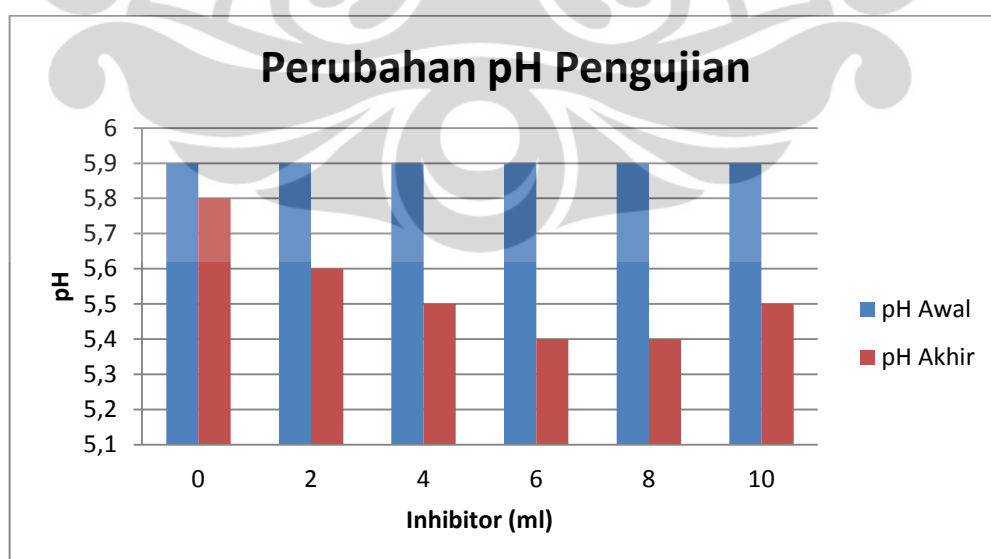
4.4 Hasil Pengukuran dan Pembahasan pH Lingkungan

Perubahan pH lingkungan sebelum dan sesudah pengujian polarisasi diukur menggunakan pH meter digital, dengan variabel penambahan ekstrak ubi ungu. Hasil pengukuran perubahan pH tersebut dapat dilihat pada tabel 4.3 dan gambar 4.4 dibawah ini:

Tabel 4.3. Perubahan pH Lingkungan dengan Penambahan Ekstrak Ubi Ungu.

No	Penambahan	pH sebelum ditambahkan	pH setelah ditambahkan
1	Tanpa Inhibitor	5.9	5.8
2	2ml	5.9	5.6
3	4ml	5.9	5.5
4	6ml	5.9	5.4
5	8ml	5.9	5.4
6	10ml	5.9	5.5

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa terdapat perubahan pH sebelum dan sesudah pengujian polarisasi. Dengan penambahan inhibitor dari 2 ml berangsur mengalami penurunan..Penurunan terbesar terjadi ketika penambahan 2 ml dengan selisih 0.2. Pada penambahan inhibitor mulai dari 4ml sampai 10 ml terlihat bahwa pH turun dengan selisih 0.1. Dari data tersebut diketahui bahwa terjadi perubahan pH yang tidak signifikan dengan penambahan jumlah ekstrak ubi ungu . Dari data diatas dapat dikatakan bahwa pengaruh inhibitor terhadap perubahan pH cukup stabil. Hal ini sesuai literature dimana pengaruh inhibitor ekstrak ubi ungu cukup stabil pada lingkungan asam^[71].

**Gambar 4.7.** Grafik Perubahan pH Lingkungan.

4.5 Mekanisme Inhibisi dan Hasil Pengamatan

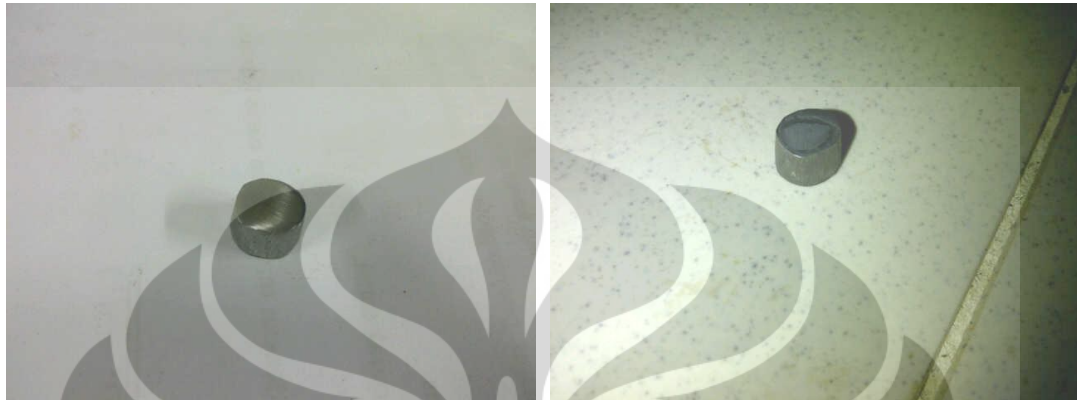
Mekanisme inhibisi yang terjadi pada studi inhibitor ubi ungu ini bisa bermacam macam. Berdasarkan tabel 4.1, dapat dilihat bahwa penambahan ekstrak ubi ungu mampu menggeser kurva polarisasi ke arah potensial yang lebih positif. Menurut V.S. Sastri. (2011)^[72] bahwa perubahan potensial ke arah positif diklasifikasikan sebagai inhibitor anodik, dengan mekanisme pasivasi. Dapat terlihat dari tabel di gambar 4.1. Setelah dilakukan penambahan inhibitor ubi ungu sebanyak 2, 4, 6,8, sampai 10 ml terlihat potensial logam bergerak semakin ke arah positif, walaupun tidak teratur. Senyawa antosianin juga cukup berperan menghambat korosi dikarenakan sifat antioksidannya.

Pada umumnya, studi mengenai inhibitor organik dengan menggunakan bahan-bahan alami sulit menentukan suatu mekanisme korosi yang pasti. Hal ini dikarenakan pada inhibitor organik terkandung berbagai zat-zat organik yang masing-masing memiliki perilaku yang berbeda-beda terhadap mekanisme reaksi korosi. Pada penelitian ini, pengaruh penambahan kadar inhibitor ekstrak ubi ungu menitikberatkan pada zat antosianin yang merupakan suatu zat antioksidan. Zat antosianin yang termasuk gugus flavanoid, yaitu keluarga besar dari gugus fenol (OH) juga memiliki kecenderungan untuk mengikat oksigen^[71].

Pada penelitian ini, penulis mendapatkan bahwa data yang diperoleh cenderung mengarah kepada mekanisme inhibitor anodik. Dimana perubahan potensial bergerak ke arah positif. Mengenai timbulnya lapisan pasif yang menghambat laju korosi, penulis mengasumsikan bahwa lapisan pasif tersebut berupa endapan senyawa antosianin atau zat organik lainnya pada permukaan logam, sehingga mempengaruhi reaksi anodik pada sistem korosi. Dengan adanya lapisan endapan senyawa organik pada permukaan logam, O₂ tidak dapat bereaksi dengan logam, sehingga mekanisme korosi yang mengoksidasi Fe menjadi Fe²⁺, tidak terjadi. Namun, mengenai lapisan pasif yang berupa endapan senyawa

organik tersebut perlu diadakan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui karakterisasi dari lapisan tersebut.

Melalui hasil pengamatan dapat dilihat pada gambar 4.8



Gambar 4.8. Foto Sampel

Sementara Inhibitor kimia X penambahan inhibitor korosi kimia mampu menurunkan laju korosi^[73]. Penurunan laju korosi yang tidak stabil juga ditemukan oleh E.S. Meresht, et. al. (2012)^[74], pada baja API X65 dalam larutan *carbonate*, menggunakan 2-butyne-1,4-diol sebagai *acetylenic alcohols*. Inhibitor kimia tersebut memiliki mekanisme pembentukan lapisan tipis pada permukaan logam, menyebabkan penurunan kekasaran permukaan dan secara efektif melindungi baja dari korosi. Lalu, pada inhibitor kimia X, secara struktur molekul, nilai efisiensi inhibisi yang baik dapat disebabkan oleh kehadiran struktur heterosiklik/aromatik yang bisa dijelaskan sebagai ikatan rantai tertutup. Dengan ikatan rantai tertutup maka kecenderungannya inhibitor dapat meminimalisasi reaksi-reaksi yang akan terjadi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

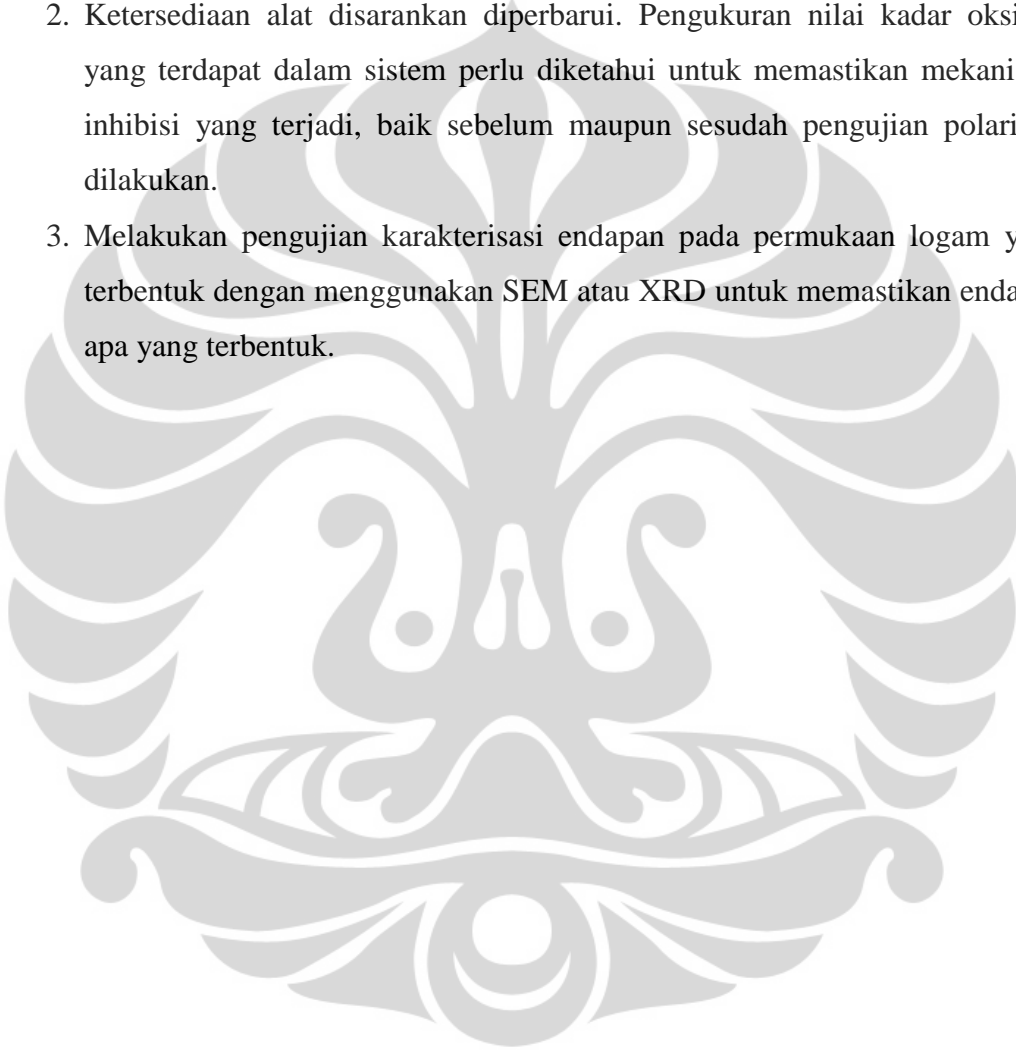
Terdapat beberapa kesimpulan dalam penelitian ini, diantaranya:

1. Pengujian penambahan inhibitor ekstrak ubi ungu dengan metode polarisasi cukup berhasil dalam aplikasinya dengan media air formasi dan sampel baja API-5L. Selanjutnya terjadi penurunan laju korosi dari 8.69 mpy ke 4.76 pada penambahan 2 ml. Selanjutnya terjadi penurunan kembali pada penuangan 4 ml yaitu 4.03 mpy. Kemudian laju korosi mengalami kenaikan pada penambahan inhibitor 6 ml, 8 ml, dan 10 ml dengan 5.84 mpy, 5.51 mpy, dan 7.24 mpy.
2. Pengujian penambahan inhibitor kimia X dengan metode polarisasi cukup berhasil dalam aplikasinya dengan media air formasi dan sampel baja API 5L. Selanjutnya terjadi penurunan laju korosi dari 8.69 mpy ke 7.4 mpy pada penambahan 1 ml. Selanjutnya terjadi penurunan kembali pada penuangan 1.5 ml yaitu 6.99 mpy. Kemudian laju korosi mengalami kenaikan pada penambahan inhibitor 2 ml, 4 ml, 6 ml, 8 ml, dan 10 ml dengan 4.68, 6.39, 6.62, dan 5.82 mpy.
3. Kadar penambahan inhibitor ekstrak ubi ungu memiliki efisiensi terbaik pada penuangan 4 ml, dengan laju korosi 4.03 mpy. Padap penambahan inhibitor kimia X memiliki efisiensi terbaik pada penuangan 2 ml, dengan laju korosi 4.68 mpy
4. Penambahan inhibitor ubi ungu lebih efektif disbanding inhibitor kimia X dengan dibuktikan menghambat laju korosi hingga 4.03 mpy dibandingkan Inhibitor X yang hanya 4.68 mpy.
5. Dalam penelitian ini, mekanisme inhibitor anodik yang terjadi pada ubi ungu dan inhibitor kimia X cenderung mengarah pada mekanisme pasivasi.

5.2. Saran

Penelitian ini tidak jauh dari kekurangan, sehingga penulis memberikan beberapa saran untuk pengembangan kedepannya, yaitu:

1. Perlu dilakukan pengujian komposisi kimia/senyawa pada ekstrak ubi ungu dan inhibitor kimia X, seperti menggunakan GC-MS atau FTIR.
2. Ketersediaan alat disarankan diperbarui. Pengukuran nilai kadar oksigen yang terdapat dalam sistem perlu diketahui untuk memastikan mekanisme inhibisi yang terjadi, baik sebelum maupun sesudah pengujian polarisasi dilakukan.
3. Melakukan pengujian karakterisasi endapan pada permukaan logam yang terbentuk dengan menggunakan SEM atau XRD untuk memastikan endapan apa yang terbentuk.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Groysman. (2010). *Corrosion for Everybody*. Springer Science + Business Media B. V.
- [2] K. R. Trehewey, & J. Chamberlain. (1991). *KOROSI, untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa* (edisi terjemahan). Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- [3] G. Schmitt, et. al. (2009). *Global Needs for Knowledge Dissemination, Research, and Development in Materials Deterioration and Corrosion Control*. The World Corrosion Organization.
- [4] G. H. Koch, et. al. (2001). *Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States*. Washington D. C.: FHWA.
- [5] digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-9781-Chapter1.pdf (diakses 18 Februari 2012).
- [6] M. Syahri, & B. Sugiarto. (2008). Scale Treatment pada Pipa Distribusi Crude Oil secara Kimiawi. *Prosiding Seminar Nasional Teknoin, Bidang Teknik Kimia dan Tekstil*. ISBN: 978-979-3980-15-7.
- [7] F.N Kemmer. (1979). *The Nalco Water Hand Book*. Nalco Chemical Co. New York: McGraw Hill Book Co.
- [8] Chang WH, Huang YF, Yeh TS et al. Effect of purple sweet potato leaves consumption on exercise-induced oxidative stress, and IL-6 and HSP72 levels. *J Appl Physiol*. 2010 Sep 23. 2010.
- [9] Han, X., Shen, T., Lou, H., 2007. " Dietary Polifenol and Their Biological Significance. *International Journal Molecular, Science* 8, pp 950-988
- [10] Dalimunthe, Indra Surya. "Kimia dari Inhibitor Korosi". Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- [11] K.P Vinod Kumar, et.al. (2010). Pericarp of the Fruit of *Garcinia Mangostana* as Corrosion Inhibitor for Mild Steel in Hydrochloric Acid Medium. *Portugalia Electrochimica Acta*. Vol. 28, no. 6, pp. 373-383.
- [12] ASTM G5 – 94. "Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurement", ASTM International. 1999.
- [13] Naili. K. (2010). Corrosion and its Mitigation in the Oil & Gas Industry – An Overview. *Petromin Pipeliner*. pp. 10-16.
- [14] J.R. Davis. (2000). *Corrosion: Understanding the Basics*. USA: ASM International.

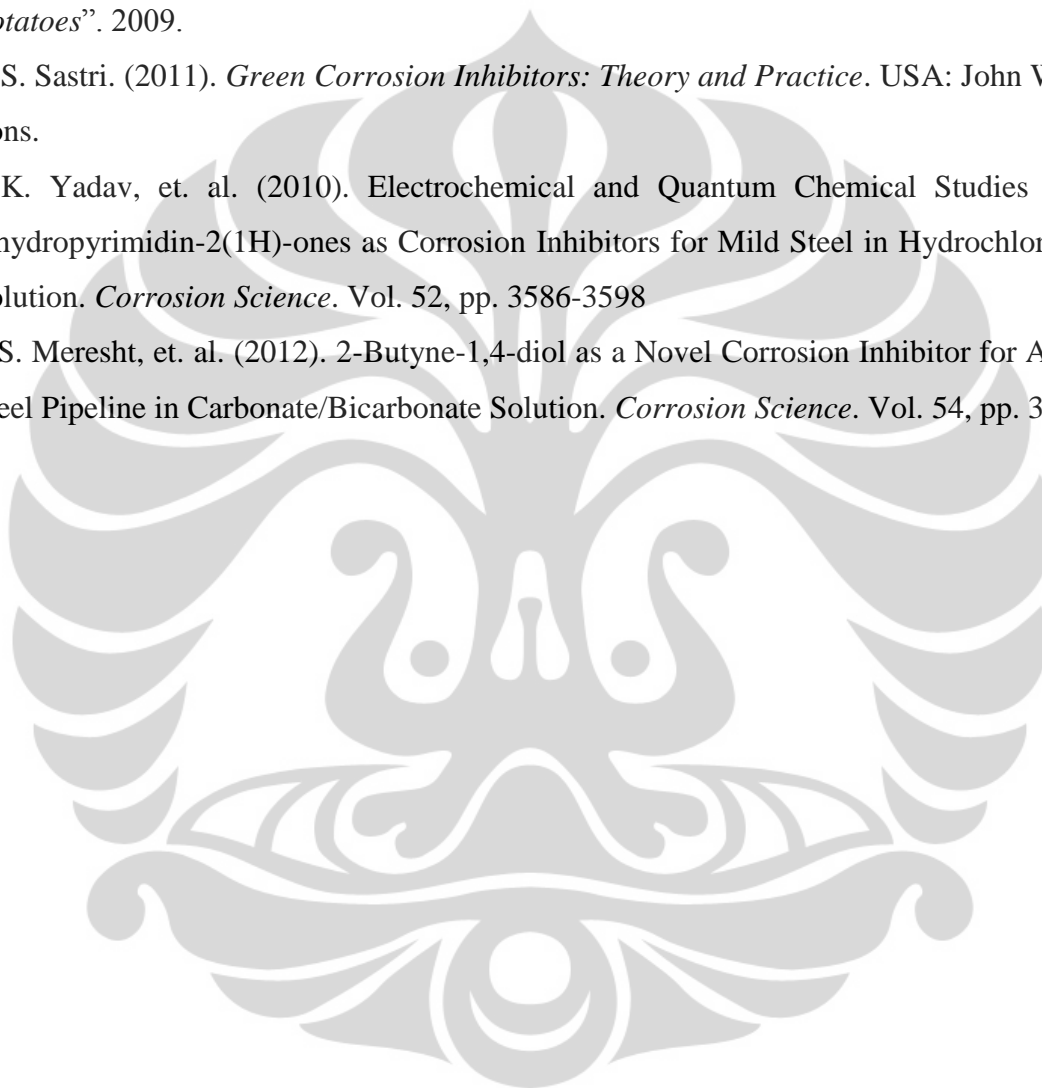
- [15] E. McCafferty. (2010). *Introduction to Corrosion Science*. USA: Springer Science + Business Media, LLC.
- [16] Arifien J.W, Sutanto, & Tjiptasmara. (2001). Penelitian Pemisahan KCl dan NaCl dalam Air Formasi secara Metode Trona. *Prosiding Seminar Nasional Kimia, Surakarta*. hal. 67-73.
- [17] S. Ratnakomala. (1997). Peranan Mikroorganisme di Ladang Minyak Bumi. *Warta Biotek*. ISSN: 0215-2835, no. 1-2, hal. 10-13.
- [18] R.P. Koesoemadinata. (1980). *Geologi, Minyak dan Gas Bumi*, jilid I. Bandung: ITB. hal. 57-59, 79-89.
- [19] American Petroleum Institute. (2008). *Summary of Technical Difference between API 5L (43rd ed.) and ISO 3183 (2nd ed.)/ API 5L (44th ed.)*.
- [20] Y. Terada, et. al. (1997). Development of API X100 UOE Line Pipe. *Nippon Steel Technical Report*, no. 72.
- [21] F.B. Pickering. (1975). High-Strength, Low-Alloy Steels – A Decade of Progress. *Microalloying* 75. p. 9.
- [22] L.F. Porter, & P.E. Repas. (1982). The Evolution of HSLA Steels. *Journal of Metals*. Vol. 34, no. 4, pp. 14-21.
- [23] T. Gladman, & D. Dulieu. (1974). Grain-Size Control in Steels. *Metal Science*. Vol. 8, p. 167.
- [24] B. Vargas-Arista, et. al. (2011). Deterioration of the Corrosion Resistance of Welded Joints in API5L X52 Steel Isothermally Aged. *International Journal of Electrochemical Science*. Vol. 6, pp. 367-378.
- [25] A. Friegel, et. al. (2005). Microstructural Characteristics of Different Commercially Available API 5L X65 Steels. *Journal of New Materials for Electrochemical Systems*. Vol. 8, pp. 115-119.
- [26] T. Gladman. (1997). *The Physical Metallurgy of Microalloyed Steels*. UK: The Institute of Materials. p. 185.
- [27] ASTM A53/ A53 M – 02. *Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless*. ASTM International.
- [28] M. Syahri, B. Sugiarto. (2008). Scale Treatment pada Pipa Distribusi Crude Oil secara Kimiawi. *Prosiding Seminar Nasional Teknoin*, bidang Teknik Kimia dan Tekstil. B-33–B-37.

- [29] F.N. Kemmer. (1979). *The Nalco Water Hand Book*. Nalco Chemical Co. New York: McGraw Hill Book Co.
- [30] O.A. Bamidele, O.A. Falode, & O. Omole. (2009). Effects of Oil Field Scale Deposition on Oil Production from Horizontal Wells. *Petroleum & Coal*. Vol. 51, no. 2, pp. 91-99.
- [31] F. Civan. (2001). Modelling Well Performance under Non Equilibrium Deposition Condition, SPE 67234. *SPE Production and Operation Symposium*. Oklahoma, USA.
- [32] A.S. Fadairo, O. Omole, & O. Falode. (2008). Effect of Oilfield Scale Deposition On Mobility Ratio, SPE 114488. *CIPC/SPE Gas Technology Symposium Joint Conference*. Alberta, Canada.
- [33] A.S. Fadairo, O. Omole, & O. Falode. (2008). Modelling Formation Damage Induced by Oilfield Scale. *Journal of Petroleum Science and Technology*.
- [34] F. Frank, Chang, & F. Civan. (1991). Modelling of Formation Damage Due to Physical & Chemical Interaction between Fluid and Reservoir Rock, SPE 22856. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. Dallas, Texas.
- [35] T. Haarberg, et. al. (1992). Scale Formation in Reservoir and Production Equipment during Oil Recovery II, equilibrium Model. *SPE Journal Production Engineering*. Vol. 7, no. 1.
- [36] K. Sandegan. (2006). Prediction of Mineral Scale Formation in Wet Gas Condensate Pipelines and In MEG (Mono Ethylene Glycol) Regeneration Plants. *Doctoral Thesis*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.
- [37] J.E. Mackey, R.I. Collins, & M.M. Jordan. (2003). PWRI: Scale Formation Risk Assessment and Management, SPE 80385. *The SPE 5th International Symposium on Oilfield Scale*. Aberdeen, UK.
- [38] APHA, AWWA, & WEF. (1992). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th ed. Washington.
- [39] P. Melidis, et. al. (2007). Corrosion Control by Using Indirect Methods. *Desalination*. Vol. 213, pp. 152-158.
- [40] A.B. Mohammed Bin Merdhah. (2007). The Study of Scale Formation in Oil Reservoir during Water Injection at High-Barium and High-Salinity Formation Water. *Master Thesis*. Universiti Teknologi Malaysia.
- [41] W.F. Langelier. (1936). The Analytical Control of Anticorrosion Water Treatment. *Journal of the American Water Works Association*. Vol. 28, pp. 1500-1521.

- [42] J.W. Ryznar. (1944). A New Index for Determining Calcium Carbonate Scale formed by a Water. *Journal of the American Water Works Association*. Vol. 36, p. 472.
- [43] W. Meisel. (1998). Degradation of Materials and Passivity. *Hyperfine Interaction*. Vol. 111, pp. 59-70.
- [44] A.E. Al-Rawajfeh, & E.M. Al-Shamaileh. (2007). Assessment of Tap Water Resources Quality and its Potential of Scale Formation and Corrosivity in Talifa Province, South Jordan. *Desalination*. Vol. 206, pp. 322-332.
- [45] G. Singh. (2006). A Survey of Corrosivity of Underground Mine Waters from Indian Coal Mines. *International Journal of Mine Waters*. pp. 21-32.
- [46] K.M. Zia, et. al. (1999). Langelier Calcium Carbonate Saturation Determination by Table Values. *International Journal of Agriculture & Biology*. Vol. 1, no. 4, pp. 353-355.
- [47] A. Withers. (2005). Options of Recarbonation, Remineralisation, and Disinfection for Desalination Plants. *Desalination*. Vol. 179, no. 1-3, pp. 11-24.
- [48] APHA, AWWA, & WEF. (1992). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th ed. Washington.
- [49] P. Melidis, et. al. (2007). Corrosion Control by Using Indirect Methods. *Desalination*. Vol. 213, pp. 152-158.
- [50] G. Patzay, et. al. (1997). Modeling of Scale Formation and Corrosion from Geothermal Water. *Electrochimica Acta*. Vol. 43, no. 1-2, pp. 137-147.
- [51] ASTM D3739 – 94. *Standard Practice for Calculation and Adjustment of the Langelier Saturation Index for Reverse Osmosis*.
- [52] M.F. Davil, et. al. (2009). Survey of Corrosion and Scalling Potential Produced Water from Ilam Water Treatment Plant. *World Applied Science Journal*. Vol. 7, pp. 1-6.
- [53] A.E. Al-Rawajfeh, H. Glade, & J. Ulrich. (2005). Scaling in multiple-effect distillers: the role of CO₂ release. *Desalination*. Vol. 182, pp. 209-219.
- [54] C.C. Nathan. (1979). *Corrosion Inhibitors*. Houston: National Association of Corrosion Engineers.
- [55] V.S. Sastri. (2011). *Green Corrosion Inhibitors: Theory and Practice*. USA: John Wiley & Sons.
- [56] B.E.A. Rani, & B.B.J. Basu. (2012). Green Inhibitors for Corrosion Protection of Metals and Alloys: an Overview. *International Journal of Corrosion*. Vol. 2012, 15 p.

- [57] E.S. Snively, & N. Hackerman. (1970). *NACE Basic Corrosion Course*. Houston: National Association of Corrosion Engineers.
- [58] N. Hackerman, & E.S. Snively. (1984). *Corrosion Basics*, in: LSV Delinder (ed.). Houston: National Association of Corrosion Engineers.
- [59] F. S. de Souza, & A. Spinelli. (2009). Caffeic acid as a green corrosion inhibitor for mild steel. *Corrosion Science*. Vol. 51, issue. 3, pp. 642-649.
- [60] Avci Gulsen. (2011). Corrosion inhibition of mild steel by *Laurus nobilis* leaves extract as green inhibitor. *Research on Chemical Intermediates*. Online first, 19 December 2011.
- [61] N. O. Eddy, & E. E. Ebenso. (2008). Adsorption and inhibitive properties of ethanol extracts of *Musa sapientum* peels as a green corrosion inhibitor for mild steel in H₂SO₄. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*. Vol. 2, no. 6, pp. 46-54.
- [62] S. Ghareba, & S. Omanovic. (2010). Interaction of 12-aminododecanoic acid with a carbon steel surface: Towards the development of 'green' corrosion inhibitors. *Corrosion Science*. Vol. 52, issue. 6, pp. 2104-2113.
- [63] O. K. Abiola, & Y. Tobun. (2010). *Cocos nucifera* L. Water as green corrosion inhibitor for acid corrosion of aluminium in HCl solution. *Chinese Chemical Letter*. Vol. 21, Issue. 12, pp. 1449-1452.
- [64] P.B. Raja, & M.G. Sethuraman. (2008). Natural Products as Corrosion Inhibitors for Metals in Corrosive Media – a Review. *Materials Letters*. Vol. 62, pp. 113-116.
- [65] A. Ostovari, et. al. (2009). Corrosion Inhibition of Mild Steel in 1 M HCl solution by Henna Extract: A Comparative Study of the Inhibition by Henna and Its Constituents (Lawson, Gallic Acid, Glucose, and Tannic Acid). *Corrosion Science*.
- [66] M.G. Fontana. (1986). *Corrosion Engineering*, 3rd ed. USA: McGraw-Hill, Inc.
- [67] M. Bouklah, et. al. (2006). Thermodynamic Properties of 2,5-bis(4-methoxyphenyl)-1,3,4-oxadiazole as a Corrosion Inhibitor for Mild Steel in Normal Sulfuric Acid Medium. *Corrosion Science*. Vol. 48, issue. 9, pp. 2831-2842.
- [68] Pratesa, Yudha. "Pengaruh Penambahan Inhibitor Natrium Sulfit terhadap laju Korosi Baja UNS 10180 Pada Lingkungan NaCl 3,5% Dengan Metode Polarisasi Menggunakan Alat Rotating Cylinder Electrode (RCE) Pada Keadaan Fluida Statis (0 RPM) dan Fluida Bergerak (1000 RPM)". Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI. Depok. 2010

- [69] M. Oki, et. al. (2011). Corrosion Inhibition of Mild Steel in Hydrochloric Acid by Tannins from *Rhizophora Racemosa*. *Materials Sciences and Applications*. No. 2, pp. 592-595.
- [70] S. Safak, et. al. (2012). Schiff Bases as Corrosion Inhibitor for Aluminium in HCl Solution. *Corrosion Science*. Vol. 54, pp. 251-259.
- [71] Kim, Youngmok and Goodner, Kevin. "Factors Influencing Quick Oxidation Of Purple Potatoes". 2009.
- [72] V.S. Sastri. (2011). *Green Corrosion Inhibitors: Theory and Practice*. USA: John Wiley & Sons.
- [73] D.K. Yadav, et. al. (2010). Electrochemical and Quantum Chemical Studies of 3,4-dihydropyrimidin-2(1H)-ones as Corrosion Inhibitors for Mild Steel in Hydrochloric Acid Solution. *Corrosion Science*. Vol. 52, pp. 3586-3598
- [74] E.S. Meresht, et. al. (2012). 2-Butyne-1,4-diol as a Novel Corrosion Inhibitor for API X65 Steel Pipeline in Carbonate/Bicarbonate Solution. *Corrosion Science*. Vol. 54, pp. 36-44.



LAMPIRAN

Lampiran 1 – Sertifikat Karakterisasi Air Formasi

Certificate No. 09531/DBBPAF
Date: May 8, 2012



Issuing Office:
Jl. Arteri Tol Cibitung No. 1, Cibitung Bekasi 17520, Indonesia
Phone/Fax: +62 21 88321178/88321188
Email: jum.cblg@sucofindo.co.id

REPORT OF ANALYSIS

CLIENT : AYENDE
Plaza Centris Lt. 6
Jl. HR. Rasuna Said Kav. B-5, Kuningan
Jakarta

TYPE OF SAMPLE : WATER

DATE RECEIVED : 25/04/2012

DATE OF ANALYSIS : 26/04/2012 to 08/05/2012

TESTED FOR : Physical and Chemical analysis

DESCRIPTION OF SAMPLE : Sample was submitted by client
Packing : Unsealed plastic bottle

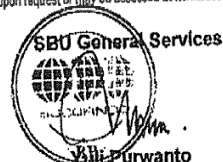
SAMPLE IDENTIFICATION : Air Formasi Minyak

Parameter	Unit	Test Results	Methods *) Part Number
Alkalinity	mg/L	516	2320 B
Hydroxide	mg/L	0	2320 B
Calcium as CaCO ₃	mg/L	613	3120 B, 3030 E
Chloride	mg/L	102731	4500-Cl D
Dissolved Oxygen	mg/L	5.2	4500-O G
Oil & Grease	mg/L	28	5520 B
pH	-	7.3	4500-H+-B
Sulfate	mg/L	9.9	4500-SO ₄ ²⁻ E
Temperature	°C	25	2550 B
Total Dissolved Solids	mg/L	19218	2540 C

*) Standard Methods, 21st Edition 2005, APHA-AWWA-WEF

This Certificate/report is issued under our General Terms and Conditions, copy of which is available upon request or may be accessed at www.sucofindo.co.id

Registered as Environmental Laboratory at
Ministry of Environment Republic of Indonesia
No. 0036/LP/LABLING-1/LRK/KLH



CBT.36.1389.12.20

Lampiran 2 – Perhitungan LSI dengan LENNTECH calculator

WATER TREATMENT SOLUTIONS

LENNTECH

Applications
Processes
Systems
Products
Library

[Home](#) > [Calculators](#) > [Langlier index calculator](#)

Langlier Saturation Index Calculator

This calculator helps you determine the scaling potential of the water by using the Langlier Saturation Index.

Give the values of your water analysis. All the fields with * are required.

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

Table 1: Input table

pH	7.3	*		
Conductivity in TDS	19218	*	mg/L	<input type="button" value="v"/>
[Ca ²⁺]	613	*	mg/L	<input type="button" value="v"/>
[HCO ₃ ⁻]	516	*	mg/L	<input type="button" value="v"/>
Water temperature	25	*	degree C	<input type="button" value="v"/>

Table 2 : Additional data

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

Table 3: Results Langlier Saturation Index

pH _s	6.9
LSI	0.38
Indication based on Langlier (1936)	Water is supersaturated with respect to calcium carbonate (CaCO ₃) and scale forming may occur.
Indication based on improved Langlier by Carrier (1965)	Slightly scale forming and corrosive.

The Langlier Saturation Index formula is

$$LSI = pH - pH_s$$

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

The indications for the LSI and the improved LSI by Carrier are based on the following values:

LSI	Indication
LSI < 0	Water is undersaturated with respect to calcium carbonate. Undersaturated water has a tendency to remove existing calcium carbonate protective coatings in pipelines and equipment.
LSI = 0	Water is considered to be neutral. Neither scale-forming nor scale removing.
LSI > 0	Water is supersaturated with respect to calcium carbonate (CaCO ₃) and scale forming may occur.

LSI (Carrier)	Indication
-2,0 < -0,5	Serious corrosion
-0,5 < 0	Slightly corrosion but non-scale forming
LSI = 0,0	Balanced but pitting corrosion possible
0,0 < 0,5	Slightly scale forming and corrosive
0,5 < 2	Scale forming but non corrosive

References:

[1] : Kevin Rafferty, *Scaling in geothermal heat pump systems*, U.S. Department of Energy (july 1999)

[2] : Metcalf and Eddy, *Wastewater Engineering Treatment and Reuse* 2003

Lampiran 3 – Perhitungan RSI dengan LENNTECH calculator

WATER TREATMENT SOLUTIONS

Request a

Applications
Processes
Systems
Products
Library
Language

[Home](#) > [Calculators](#) > [Ryznar Stability index](#)

Ryznar Stability Index Calculator

This calculator helps you determine the scaling potential of the water by using the Ryznar Stability Index

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

Table 1: Input table

pH	7.3	*	
Conductivity in TDS	19218	*	mg/l
[Ca ²⁺]	613	*	mg/L
[HCO ₃ ⁻]	516	*	mg/l
Water temperature	25	*	degree C

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

Table 2: Additional data

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

Table 3: Results Ryznar Stability Index

pH _s	6.9
RI	6.5
Indication base on Ryznar (1942)	No difficulties
Indication based on improved Ryznar index by Carrier 1965	Little scale or corrosion

The criteria used to give an indication are as shown in table 4 and 5

Table 4

RI	Indication (Ryznar 1942)
RI < 5,5	Heavy scale will form
5,5 < RI < 6,2	Scale will form
6,2 < RI < 6,8	No difficulties
6,8 < RI < 8,5	Water is aggressive
RI > 8,5	Water is very aggressive

Table 5

RI	Indication (Carrier 1965)
4,0 - 5,0	Heavy scale
5,0 - 6,0	Light scale
6,0 - 7,0	Little scale or corrosion
7,0 - 7,5	Corrosion significant
7,5 - 9,0	Heavy corrosion
>9,0	Corrosion intolerable

The Ryznar Stability Index formula is:

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

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

Ryznar gives only an indication about the aggressiveness of the water but carrier gives an indication about the scale and corrosion potential of the water.

References:

[1] : Kevin Rafferty, *Scaling in geothermal heat pump systems*, U.S. Department of Energy (july 1999)

[2] : Metcalf and Eddy, *Wastewater Engineering Treatment and Reuse* 2003

Universitas Indonesia

Studi inhibisi..., Azulfıqar Diyananda, FT UI, 2012

Lampiran 4 – Sertifikat Karakterisasi Komposisi Kimia API-5L



FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL
 KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 7872350, 78888111
 E-mail : lum@metal.ui.ac.id



LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
COMPOSITION TEST REPORT

Page 1 of 1

No Laporan <i>Report Nr</i>	161	Bahan <i>Material</i>	Steel
Pemakai Jasa <i>Customer</i>	Alfonsius Billy Joe Haslim - DTMM	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	Code: 1
Alamat <i>Address</i>	Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI	Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	11 April 2012
No Kontrak <i>Contract Nr.</i>	0417/PT.02/FT04/P/2012	Standar <i>Standard</i>	ASTM A751 ASTM E415
Tanggal Uji <i>Date of Test</i>	11 April 2012	Mesin Uji <i>Testing machine</i>	Optical Emission Spectrometer*

Kode Sampel Sample Code	C (%)	Si (%)	S (%)	P (%)	Mn (%)	Ni (%)	Cr (%)
1	0.108	0.034	0.008	0.013	0.297	0.019	0.013
	Mo (%)	Ti (%)	Cu (%)	Nb (%)	V (%)	Al (%)	Fe (%)
	0.006	0.003	0.043	<0.002**	0.009	0.031	Bal.

catatan :

* ketidakpastian bentangan dengan tingkat kepercayaan 95% dengan factor cakupan K=2

** (<) menunjukkan nilai berada di bawah *quantification limit* dari alat uji

Depok, 12 April 2012
 Manajer Teknis
 Laboratorium Uji
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material

(Ahmad Ashari, ST)

FF-25/ LU-DTMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM

Lampiran 5 – Spesifikasi Material dan Produk Pipa KHI



Material And Pipe Specification

Standard Specification	Chemical Composition (%)						Mechanical Strength			
	Grade	Application	C	Mn	P	S	Yield Strength		Ultimate Tensile Strength	
			max	max	max	max	Psi	N/mm2	Psi	N/mm2
API SL (*)	A25	Oil & Gas Line Pipe	0.21	0.60	0.03	0.03	25,382.00	175.0	44,962.40	310.0
	A		0.22	0.90	0.03	0.03	30,458.40	210.0	48,588.40	335.0
	B		0.26	1.20	0.03	0.03	35,534.80	245.0	60,191.60	415.0
	X42		0.26	1.30	0.03	0.03	42,061.60	290.0	74,695.60	515.0
	X46		0.26	1.40	0.03	0.03	46,412.80	320.0	83,092.40	435.0
	X52		0.26	1.40	0.03	0.03	52,214.40	360.0	86,718.40	460.0
	X56		0.26	1.40	0.03	0.03	56,565.60	390.0	71,069.60	490.0
	X60		0.26	1.40	0.03	0.03	60,191.60	415.0	75,420.80	520.0
	X65		0.26	1.45	0.03	0.03	65,268.00	450.0	77,594.40	535.0
	X70		0.26	1.65	0.03	0.03	70,344.40	485.0	82,672.80	530.0
ASTM A252	1	Steel Pipe Piles	-	-	0.050	-	29,733.20	205.0	50,038.80	345.0
	2		-	-	0.050	-	34,809.60	240.0	60,191.60	415.0
	3		-	-	0.050	-	44,962.40	310.0	65,993.20	455.0
ASTM A139	A	Steel Pipe Piles	0.25	1.00	0.0350	0.0350	29,733.20	205.0	47,863.20	330.0
	B		0.26	1.00	0.0350	0.0350	34,809.60	240.0	60,191.60	415.0
	C		0.28	1.20	0.0350	0.0350	42,061.60	290.0	60,191.60	415.0
	D		0.30	1.30	0.0350	0.0350	45,687.60	315.0	60,191.60	415.0
	E		0.30	1.40	0.0350	0.0350	52,214.40	360.0	65,993.20	455.0
ASTM A283	A	Steel pipe Piles	0.14	0.9	0.035	0.04	23,931.60	165.0	44,962.40	310.0
	B		0.17	0.9	0.035	0.04	26,832.40	185.0	60,191.60	415.0
	C		0.24	0.9	0.035	0.04	29,733.20	205.0	50,038.80	345.0
	D		0.27	0.9	0.035	0.04	33,359.20	230.0	65,268.00	450.0
	E		0.27	0.9	0.035	0.04	33,359.20	230.0	55,115.20	380.0
ASTM A53	A	Electric Resistance Welded	0.25	0.95	0.05	0.045	29,733.20	205.0	47,863.20	330.0
	B		0.30	1.20	0.05	0.045	34,809.60	240.0	60,191.60	415.0
ASTM A134	The Steel Grade Conform to ASTM A283									
JIS A5525	SKK 41/400	Steel Pipe Piles	0.25	-	0.04	0.04	34,084.40	235.0	58,016.00	400.0
	SKK 50/490		0.18	1.50	0.04	0.04	45,687.60	315.0	71,069.60	490.0
JIS A5530	SKY 41/400	Steel Pipe Piles	0.25	-	0.04	0.04	34,084.40	235.0	58,016.00	400.0
	SKY 50/490		0.18	1.50	0.04	0.04	45,687.60	315.0	71,069.60	490.0
JIS G3444	STK 30/290	General Structural Purpose	-	-	0.05	0.05	-	-	42,061.60	290.0
	STK 41/400		0.25	-	0.04	0.04	34,084.40	235.0	58,016.00	400.0
	STK 51/500		0.24	1.30	0.04	0.04	51,489.20	355.0	72,520.00	500.0
	STK 50/490		0.18	1.50	0.04	0.04	45,687.60	315.0	71,069.60	490.0
	STK 55/540		0.23	1.50	0.04	0.04	56,565.60	390.0	78,321.60	540.0
JIS G3101	SS 330	General Structural Purpose	-	-	0.050	0.050	28,282.80	195.0	47,863.20	330.0
	SS 400		-	-	0.050	0.050	34,084.40	235.0	62,367.20	430.0
	SS 490		-	-	0.050	0.050	39,886.00	275.0	58,016.00	400.0
	SS 540		-	-	0.050	0.050	39,886.00	275.0	73,970.40	510.0
	SS 540		0.30	1.60	0.040	0.040	56,565.60	390.0	71,069.60	490.0
AWWA C200	The Steel Grade Conform to ASTM A283									
BS 4360**	50B (1)	General Structural Purpose	0.20 (2)(3)	1.50(2)	0.05	0.05	51,489	355	71,069/92,825	490/640(7)
	55C (1)		0.22	1.6	0.04	0.04	79,772/101,528	550/700	62,367	430

* Applies only to API 5L 44th Ed PSL 1, for PSL 2 is as defined in API Specification for Line Pipe book, table 5 & 7
 ** Detail specification refers to BS4360 Standard

Lampiran 6 – Spesifikasi Dimensi dan Sifat Mekanis Pipa API 5L KHI

Nominal Size : Dia. 4.5 Inch (114.3 mm) - 12.75 inch
 [323.8 mm]
 Wall Thickness : 4.75 mm up to 12.75 mm
 Pipe Length : 5 up to 18 meter/pcs

Line Pipe : API 5L Grade A up to API 5L X 80
 Structural : ASTM A 53, ASTM A 252,
 & General Purposes : AWWA C200, AS 1163, AS 1396, BS
 1387, JIS G3444, SNI.

ASTM A 53 STEEL LINE PIPE GRADE A & B

Nominal Size In	Outside Diameter		Wall Thickness		sch.No.	Weight		Test Pressure			
	In	mm	In	mm		lbs/ft	kg/m	Grade A		Grade B	
								psi	kPa	psi	kPa
4	4.500	114.3	0.188	4.78	-	8.66	12.91	1500	10340	1750	12070
			0.219	5.56	-	10.01	14.91	1750	12070	2040	14070
			0.237	6.02	40/STD	10.79	16.07	1900	13100	2210	15240
			0.250	6.35	-	11.35	16.90	2000	13790	2330	16660
			0.250	6.35	-	11.35	16.90	2000	13790	2330	16660
6	6.625	168.3	0.188	4.78	-	12.92	19.27	1020	7030	1190	8200
			0.219	5.56	-	14.98	22.31	1190	8200	1390	9580
			0.250	6.35	-	17.02	25.36	1360	9380	1580	10890
			0.280	7.11	40/STD	18.97	28.26	1520	10480	1780	12270
			0.312	7.92	-	21.04	31.32	1700	11720	1980	13650
			0.344	8.74	-	23.08	34.39	1870	12890	2180	15030
			0.375	9.52	-	25.03	37.28	2040	14070	2380	16410
8	8.625	219.1	0.188	4.78	-	16.94	25.26	780	5380	920	6340
			0.203	5.16	-	18.26	27.22	850	5860	1000	6890
			0.219	5.56	-	19.66	29.28	910	6270	1070	7380
			0.250	6.35	20	22.36	33.31	1040	7170	1220	8410
			0.277	7.04	30	24.70	36.31	1160	7800	1350	9310
			0.312	7.92	-	27.70	41.24	1300	8960	1520	10480
			0.322	8.18	40/STD	28.55	42.55	1340	9240	1570	10820
			0.344	8.74	-	30.42	45.34	1440	9930	1680	11580
			0.375	9.52	-	33.04	49.20	1570	10820	1830	12620
			0.406	10.31	60	35.64	53.08	1700	11720	2000	13790
			0.438	11.13	-	38.30	57.08	1830	12620	2130	14690
			0.500	12.70	80	43.39	64.64	2090	14410	2430	16750
10	10.750	273.0	0.188	4.78	-	21.21	31.62	630	4340	730	5090
			0.203	5.16	-	22.87	34.08	680	4690	800	5520
			0.219	5.56	-	24.63	36.67	730	5030	860	5930
			0.250	6.35	20	28.04	41.75	840	5790	980	6760
			0.279	7.09	-	31.20	46.49	930	6410	1090	7520
			0.307	7.80	30	34.24	51.01	1030	7100	1200	8270
			0.344	8.74	-	38.23	56.96	1150	7930	1340	9240
			0.365	9.27	40/STD	40.48	60.29	1220	8410	1430	9860
			0.438	11.13	-	48.19	71.87	1470	10140	1710	11790
			0.500	12.70	60/XS	54.74	81.52	1670	11510	1950	13440
			12	12.750	323.8	0.203	5.16	-	27.20	40.55	570
0.219	5.56	-				29.31	43.63	620	4270	720	4960
0.250	6.35	20				33.38	49.71	710	4900	820	5650
0.281	7.14	-				37.42	55.75	790	5450	930	6410
0.312	7.92	-				41.45	61.69	880	6070	1030	7100
0.330	8.38	30				43.77	65.18	930	6410	1090	7520
0.344	8.74	-				45.58	67.90	970	6690	1130	7790
0.375	9.52	STD				49.56	73.78	1060	7310	1240	8550
0.406	10.31	40				53.52	79.70	1150	7930	1340	9240
0.438	11.13	-				57.59	85.82	1240	8550	1440	9930
0.500	12.70	-				65.42	97.43	1410	9720	1650	11380
0.562	14.27	60				73.15	108.92	1590	10960	1850	12760

Chemical Composition [%]

ASTM A53	Carbon	Manganese	Phosphorus	Sulfur	Copper	Nickel	Chromium	Molybdenum	Vanadium	Cu+Ni+Cr+Mo+V
Grade A	0.25	0.950	0.05	0.045	0.40	0.40	0.40	0.15	0.08	1.00
Grade B	0.30	1.200	0.05	0.045	0.40	0.40	0.40	0.15	0.08	1.00

Mechanical Properties :

	Yield Strength (mm)	Tensile Strength (mm)
Grade A	30,000 psi (205Mpa)	48,000 psi (330 Mpa)
Grade B	35,000 psi (240Mpa)	60,000 psi (415 Mpa)

■ : KHI Production Range

A

API 5 L Standard Weights Plain End Line Pipe Dimensions

1 Nominal Size Diameter	2 Specified Outside Thickness	3 Specified Wall Unit Length	4 Plain-end Weight per Diameter	5 Calculated Inside	6-15 Minimum Test Pressure (kPa x 100)													
					D (mm)	t (mm)	wpe (kg/m)	d (mm)	Grade									
									A	B	X42	X46	X52	X56	X60	X65	X70	X80
8 5/8	219.1	12.7	64.64	193.7	STD.	144	168	207	207	207	207	207	207	207	207	207		
					ALT.	180	193	252	276	312	336	360	390	420	480			
10 3/4	273.1	4.8	3176	263.5	STD.	44	51	87	95	107	115	124	134	144	165			
					ALT.	55	64	87	95	107	115	124	134	144	165			
		5.2	3435	262.7	STD.	47	55	94	103	116	125	134	145	156	179			
					ALT.	59	69	94	103	116	125	134	145	156	179			
		5.6	3694	261.9	STD.	51	59	101	111	125	135	144	156	168	192			
					ALT.	64	74	101	111	125	135	144	156	168	192			
		6.4	4209	260.3	STD.	58	68	116	126	143	154	165	178	192	207			
					ALT.	73	85	116	126	143	154	165	178	192	220			
		7.1	4657	258.9	STD.	65	75	128	140	159	171	183	198	207	207			
					ALT.	81	94	128	140	159	171	183	198	213	244			
		7.8	5103	257.5	STD.	71	83	141	154	174	187	201	207	207	207			
					ALT.	89	103	141	154	174	187	201	218	235	268			
		8.7	5672	255.7	STD.	79	92	157	172	194	207	207	207	207	207			
					ALT.	99	115	157	172	194	209	224	243	262	299			
		9.3	6050	254.5	STD.	85	98	168	184	207	207	207	207	207	207			
					ALT.	106	123	168	184	208	223	240	259	280	320			
		11.1	7172	250.9	STD.	101	118	200	207	207	207	207	207	207	207			
					ALT.	126	147	200	219	248	267	286	310	334	381			
12.7	8155	247.7	STD.	116	134	207	207	207	207	207	207	207	207					
			ALT.	144	168	229	251	284	305	327	354	382	436					
12 3/4	323.9	4.8	37.77	314.3	STD.	37	43	73	80	90	97	104	113	122	139			
					ALT.	46	54	73	80	90	97	104	113	122	139			
		5.2	40.87	313.5	STD.	40	46	79	87	98	105	113	122	132	151			
					ALT.	50	58	79	87	98	105	113	122	132	151			
		5.6	43.96	312.7	STD.	43	50	85	93	106	113	122	132	142	162			
					ALT.	54	63	85	93	106	113	122	132	142	162			
		6.4	50.11	311.1	STD.	49	57	97	106	121	130	139	150	162	185			
					ALT.	61	71	97	106	121	130	139	150	162	185			
		7.1	55.47	309.7	STD.	54	63	108	118	134	144	154	167	180	206			
					ALT.	68	79	108	118	134	144	154	167	180	206			
		7.9	61.56	308.1	STD.	61	71	120	131	149	160	172	186	200	207			
					ALT.	76	88	120	131	149	160	172	188	200	229			
		8.4	65.35	307.1	STD.	64	75	128	140	158	170	183	198	207	207			
					ALT.	81	94	128	140	158	170	183	198	213	243			
		8.7	67.62	306.5	STD.	67	78	132	145	164	176	189	205	207	207			
					ALT.	83	97	132	145	164	176	189	205	221	252			
		9.5	73.65	304.9	STD.	73	85	145	158	179	192	206	207	207	207			
					ALT.	91	106	145	158	179	192	206	223	241	368			
10.3	79.65	303.3	STD.	79	92	157	171	194	207	207	207	207	207					
			ALT.	99	115	157	171	194	209	224	242	261	298					
11.1	85.62	301.7	STD.	85	99	169	185	207	207	207	207	207	207					
			ALT.	106	124	169	185	209	225	241	261	281	322					
12.7	97.46	298.5	STD.	97	113	193	207	207	207	207	207	207	207					
			ALT.	122	142	193	211	239	257	276	299	322	368					
14.3	109.18	295.3	STD.	110	128	207	207	207	207	207	207	207	207					
			ALT.	137	160	218	238	269	290	311	336	363	414					

■ : KHI Production Range

Rev 0, Dec.2006

C

11/25/2009 6:59:37 PM

Lampiran 7 – Foto Sirup Ubi Ungu

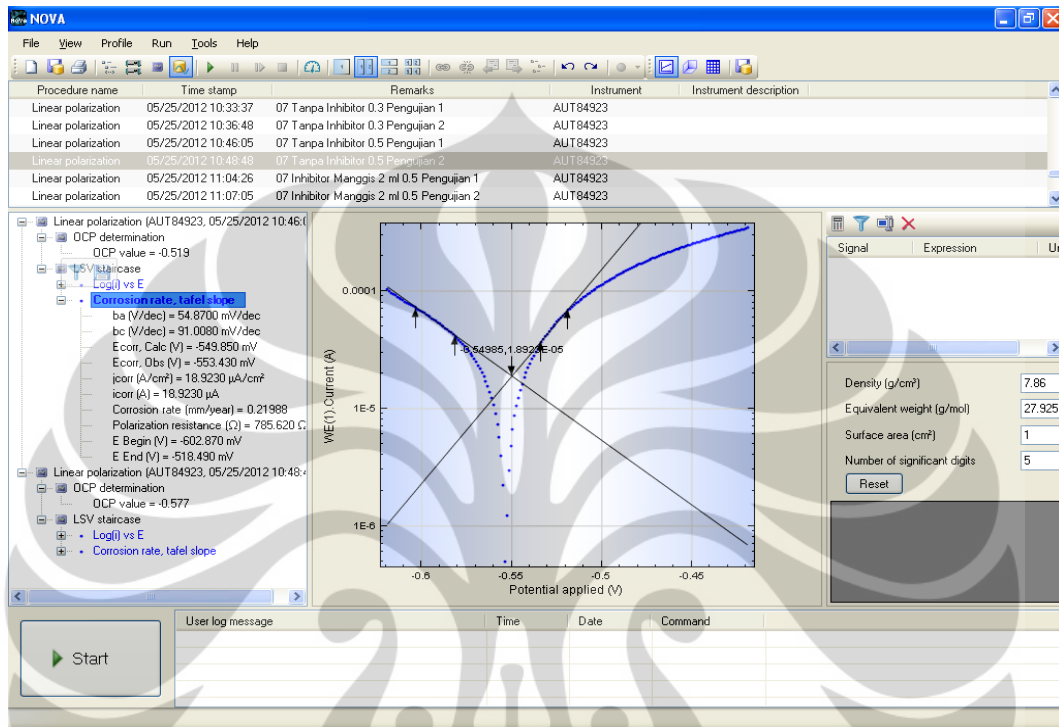


Lampiran 8 – Resistansi Korosi Relatif

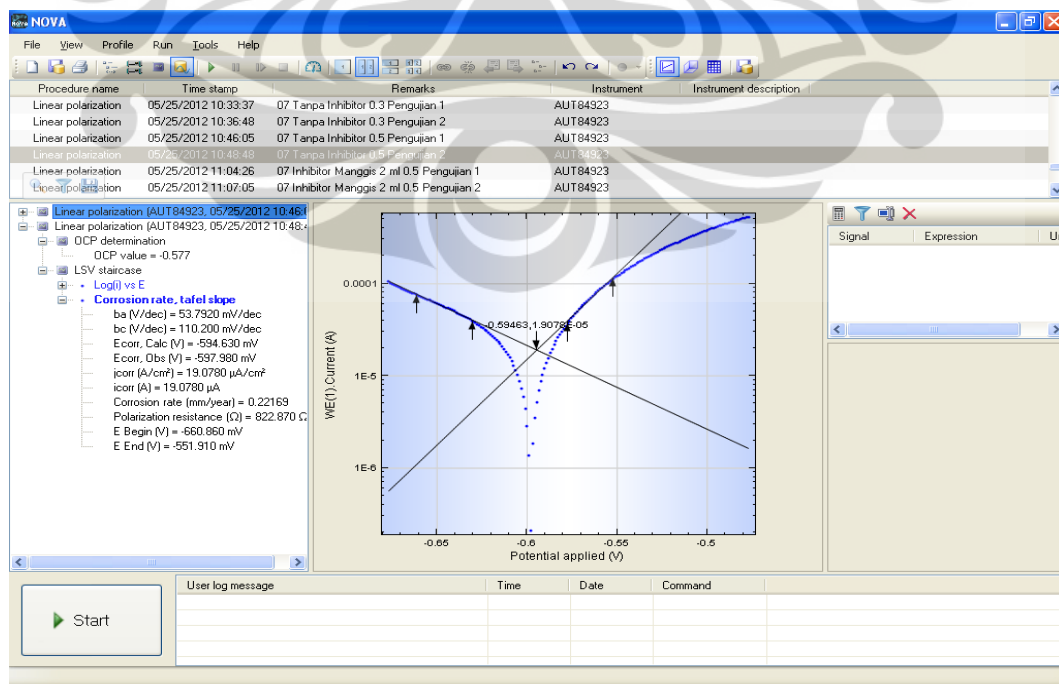
Relative Corrosion Resistance	mpy	mm/yr	$\mu\text{m/yr}$	nm/hr	pm/sec
Outstanding	<1	<0.02	<25	<2	<1
Excellent	1-5	0.02-0.1	25-100	2-10	1-5
Good	5-20	0.1-0.5	100-500	10-50	5-20
Fair	20-50	0.5-1	500-1000	50-150	20-50
Poor	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200
Unacceptable	200+	5+	5000+	500+	200+

(from: M. G. Fontana, *Corrosion Engineering*, 3rd Edition, McGraw-Hill, 1986, p. 172)

Lampiran 9– Hasil Pengujian Polarisasi Tanpa Inhibitor dengan AUTOLAB

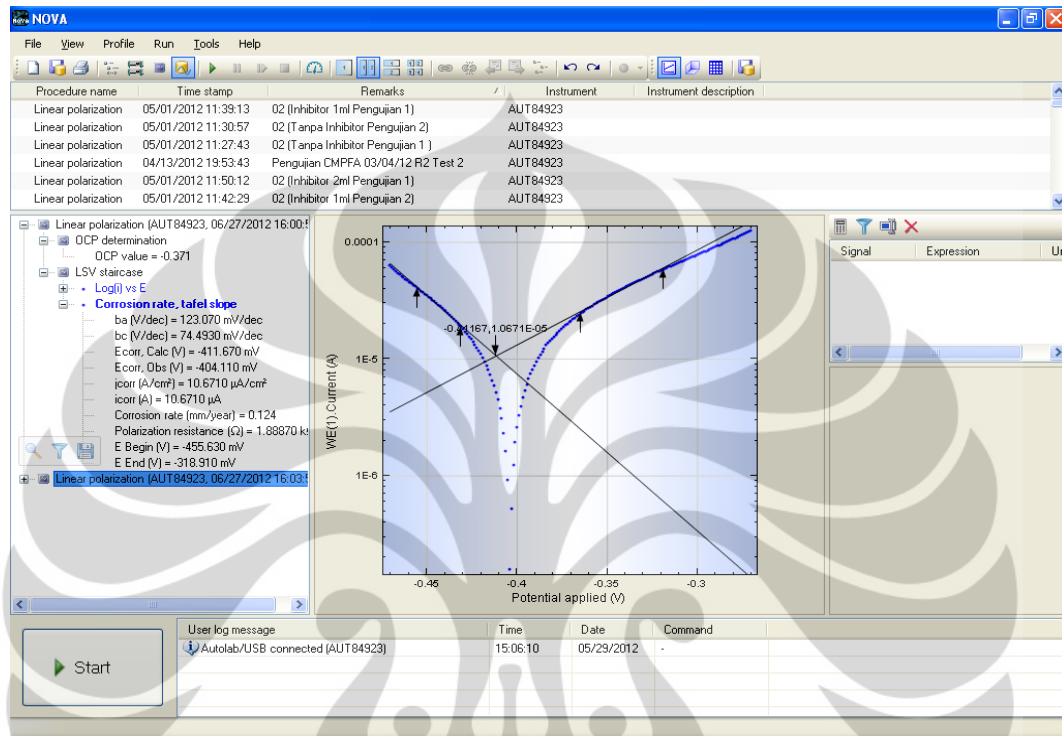


Tanpa Inhibitor, Pengujian 1

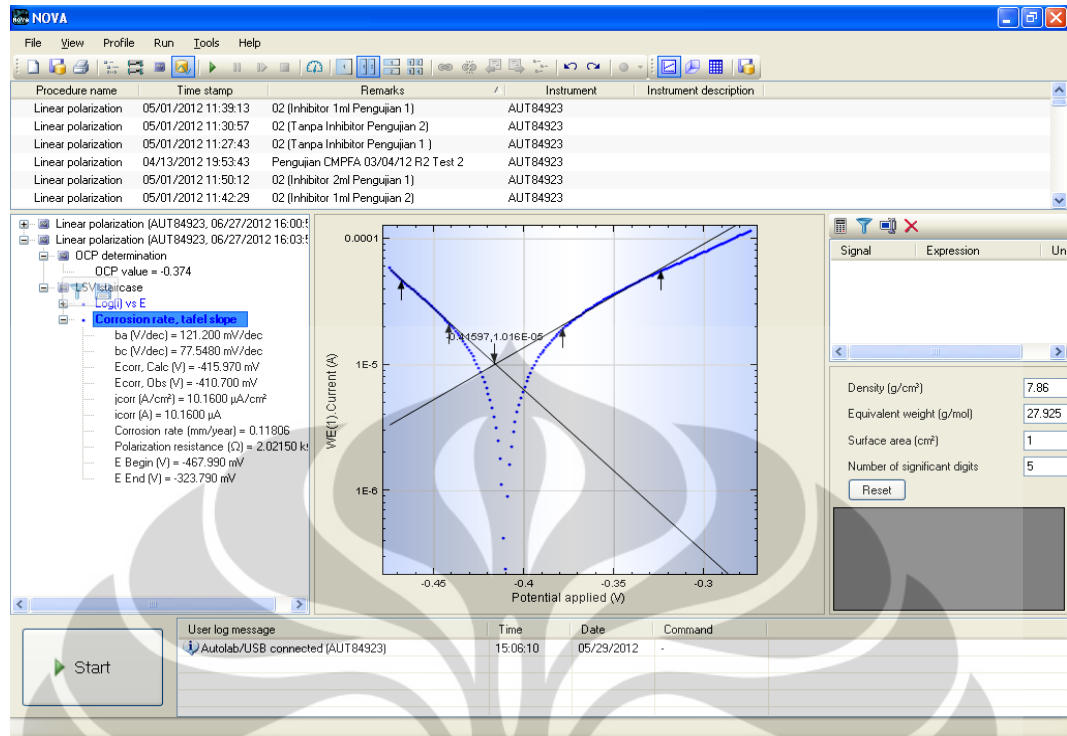


Tanpa Inhibitor, Pengujian 2

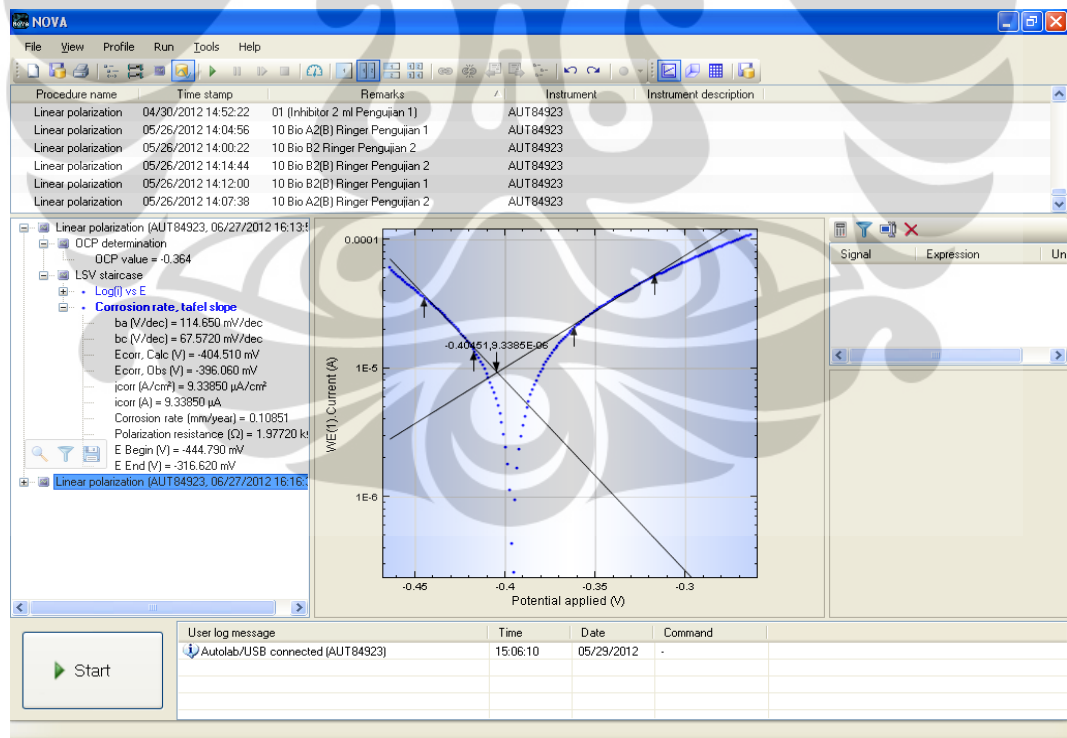
Lampiran 10 – Hasil Pengujian Polarisasi Eks. Ubi Ungu dengan AUTOLAB



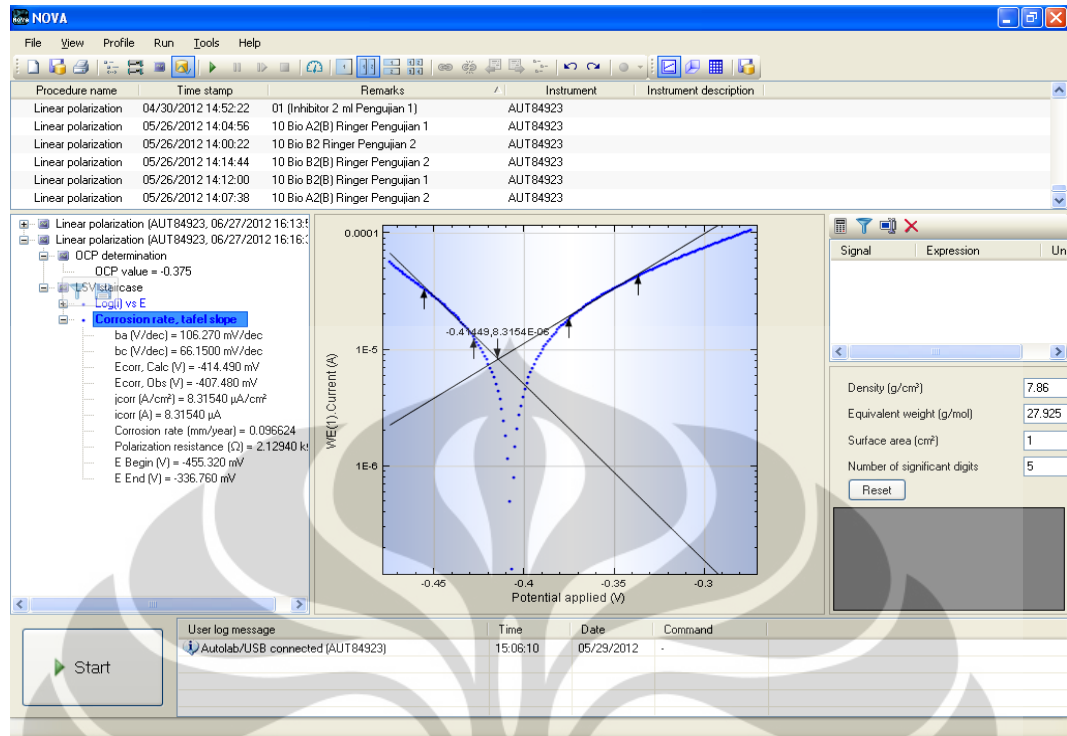
Eks. Ubi Ungu 2 ml, Pengujian 1



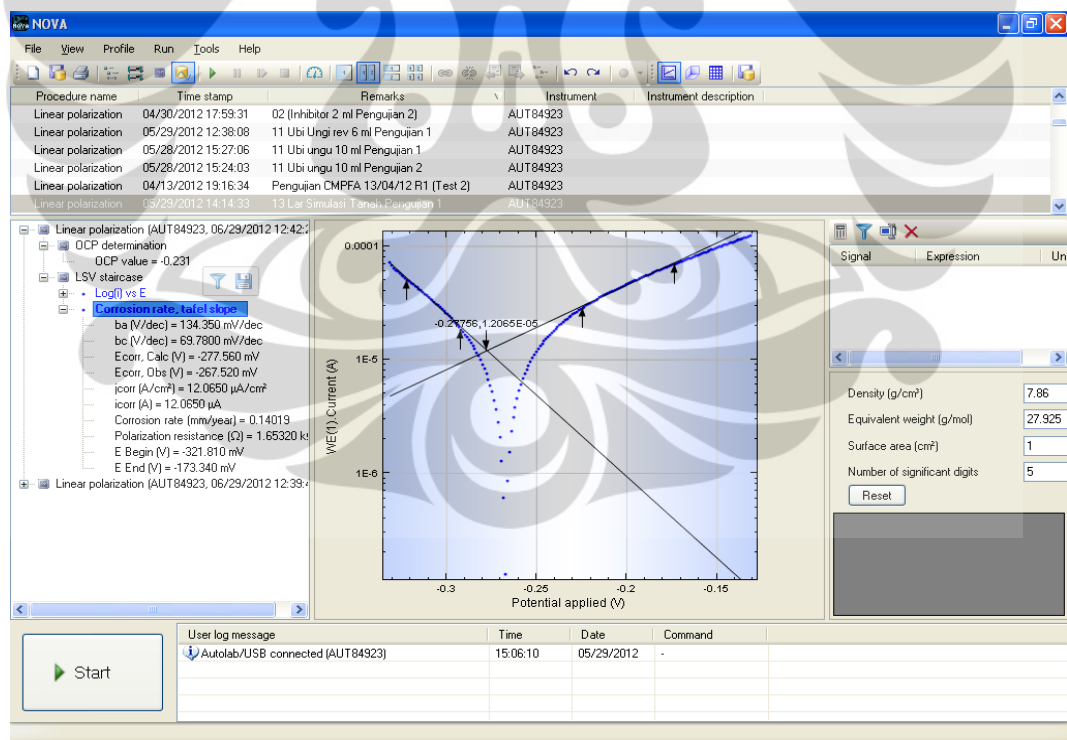
Eks. Ubi Ungu 2 ml, Pengujian 2



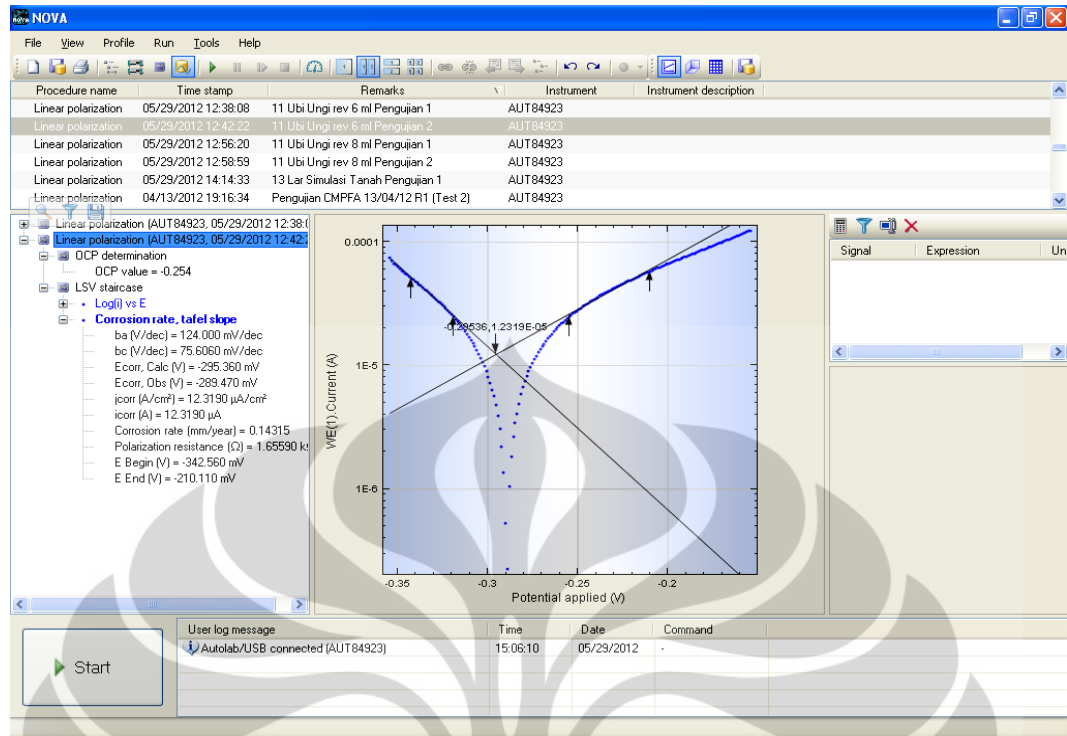
Eks. Ubi Ungu 4 ml, Pengujian 1



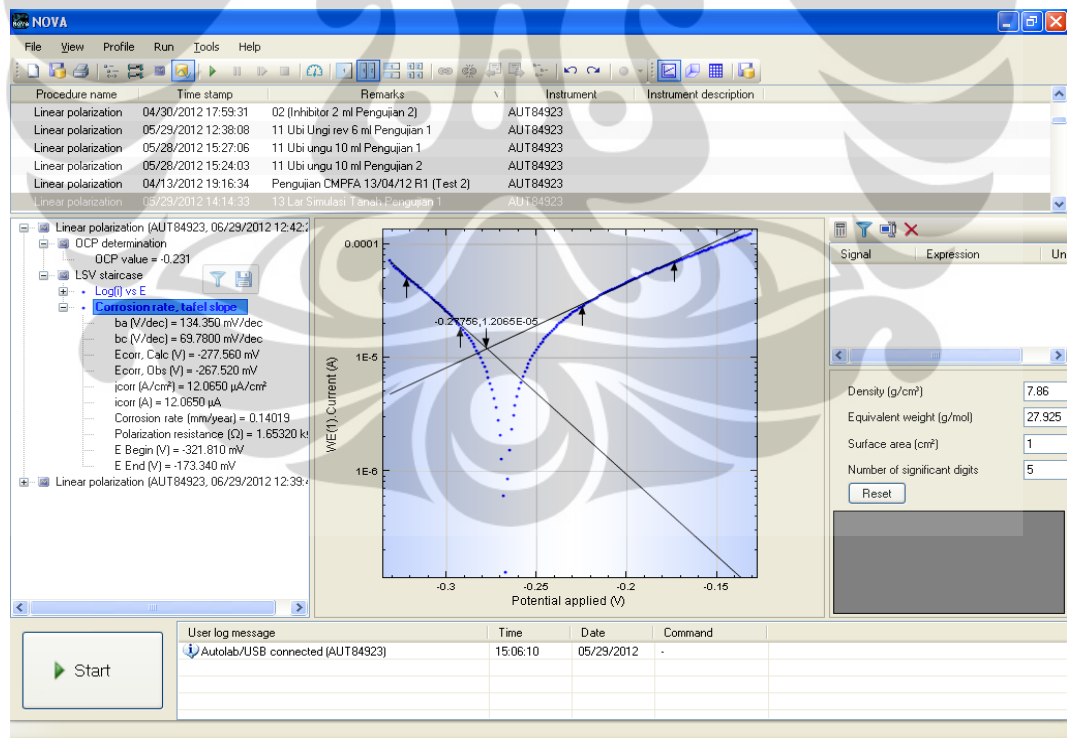
Eks. Ubi Ungu 4 ml, Pengujian 2



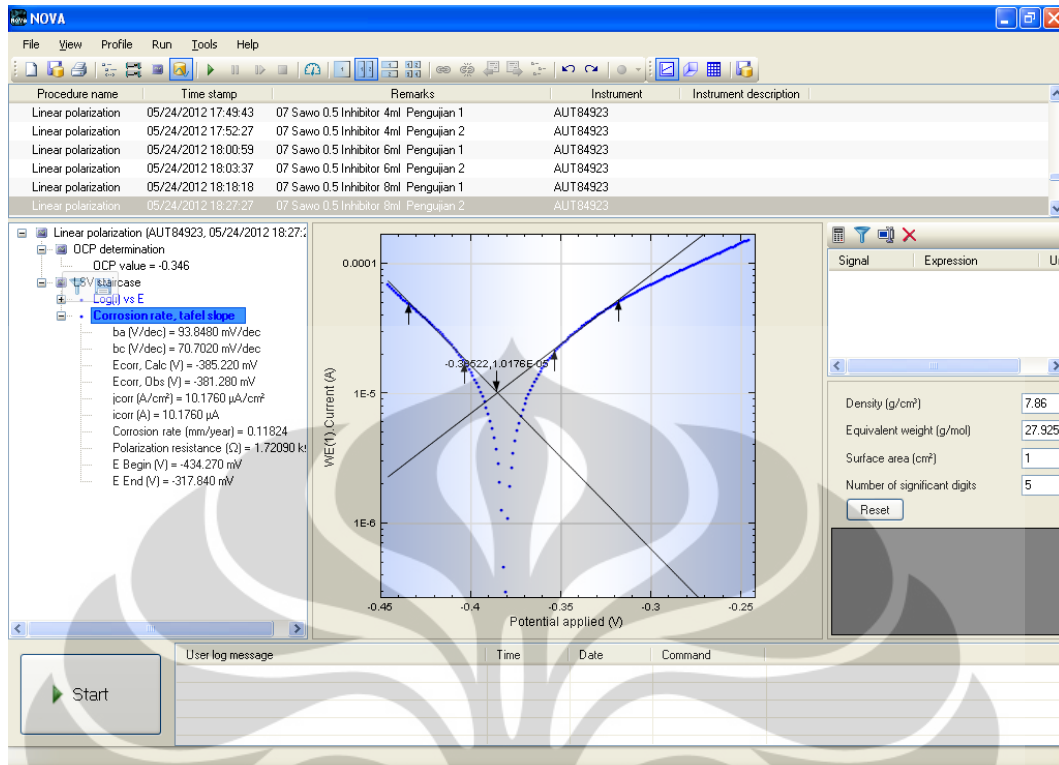
Eks. Ubi Ungu 6 ml, Pengujian 1



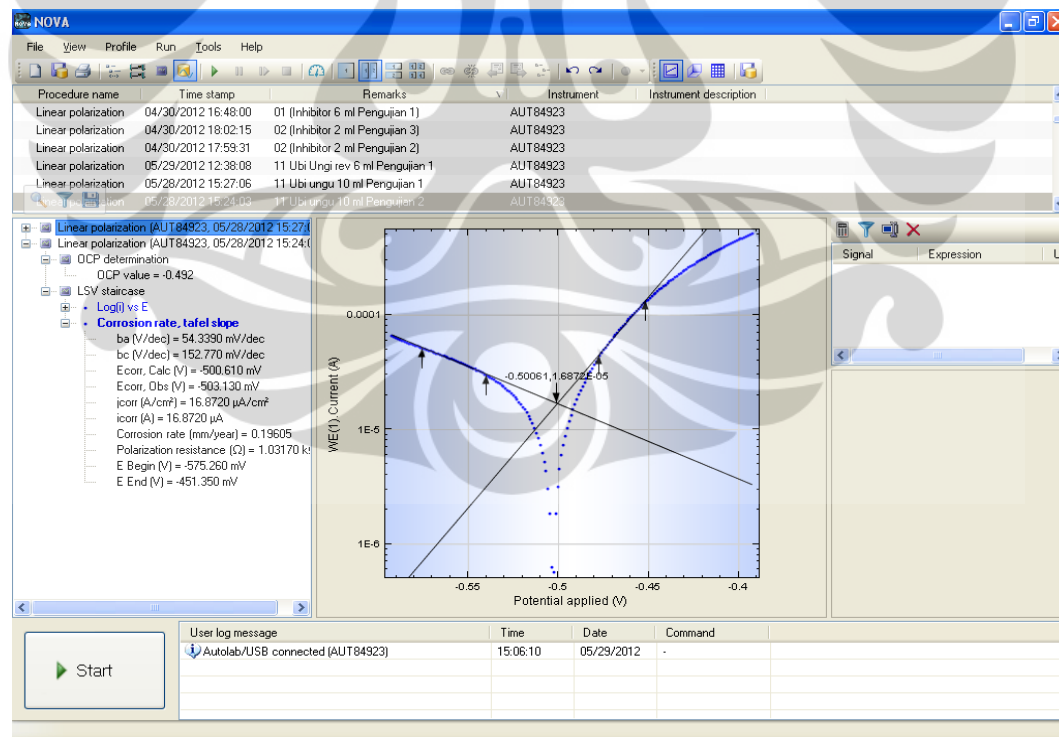
Eks. Ubi Ungu 6 ml, Pengujian 2



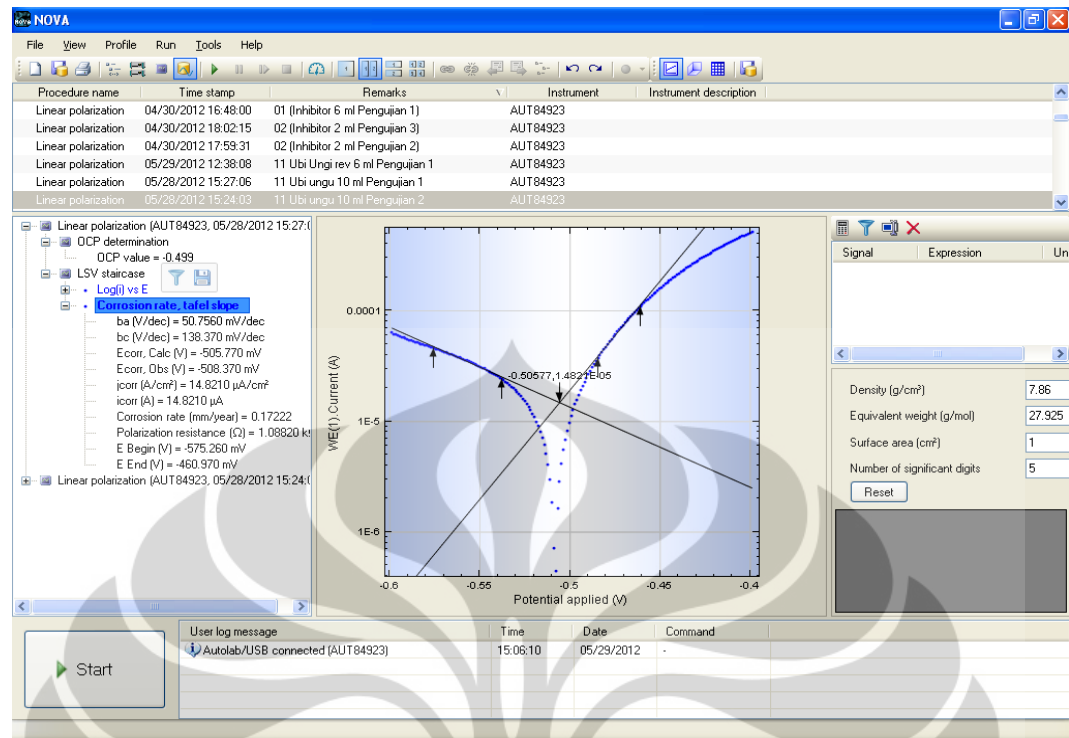
Eks. Ubi Ungu 8 ml, Pengujian 1



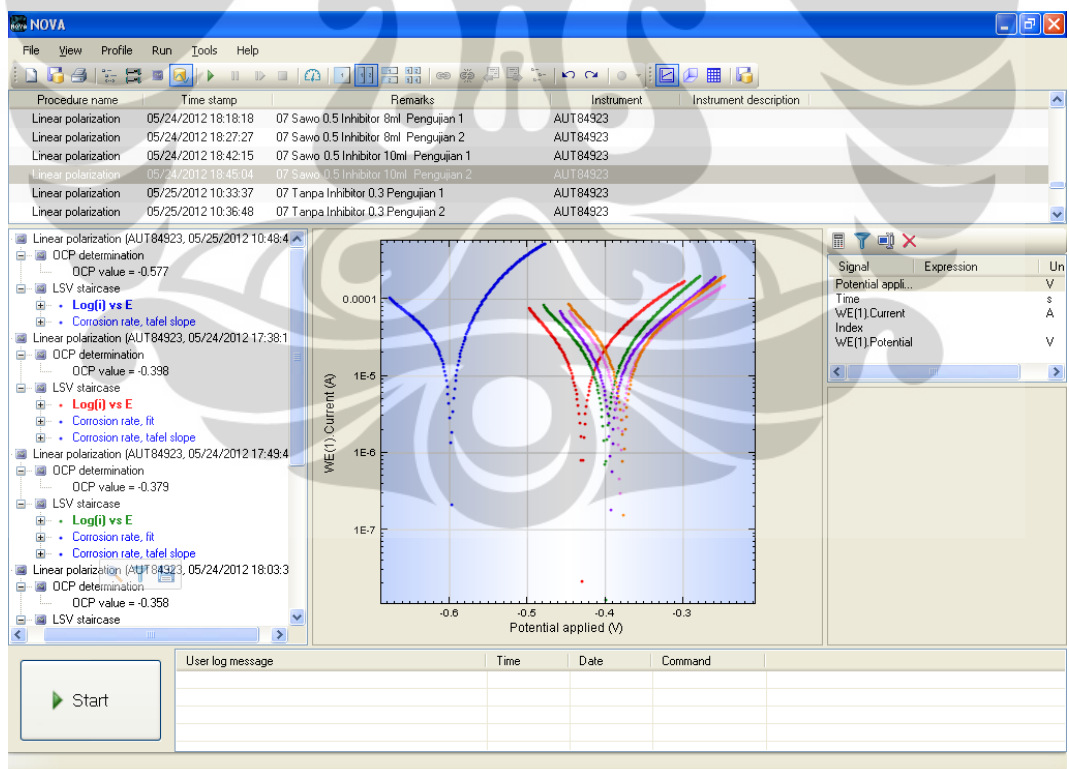
Eks. Ubi Ungu 8 ml, Pengujian 2



Eks. Ubi Ungu 10 ml, Pengujian 1

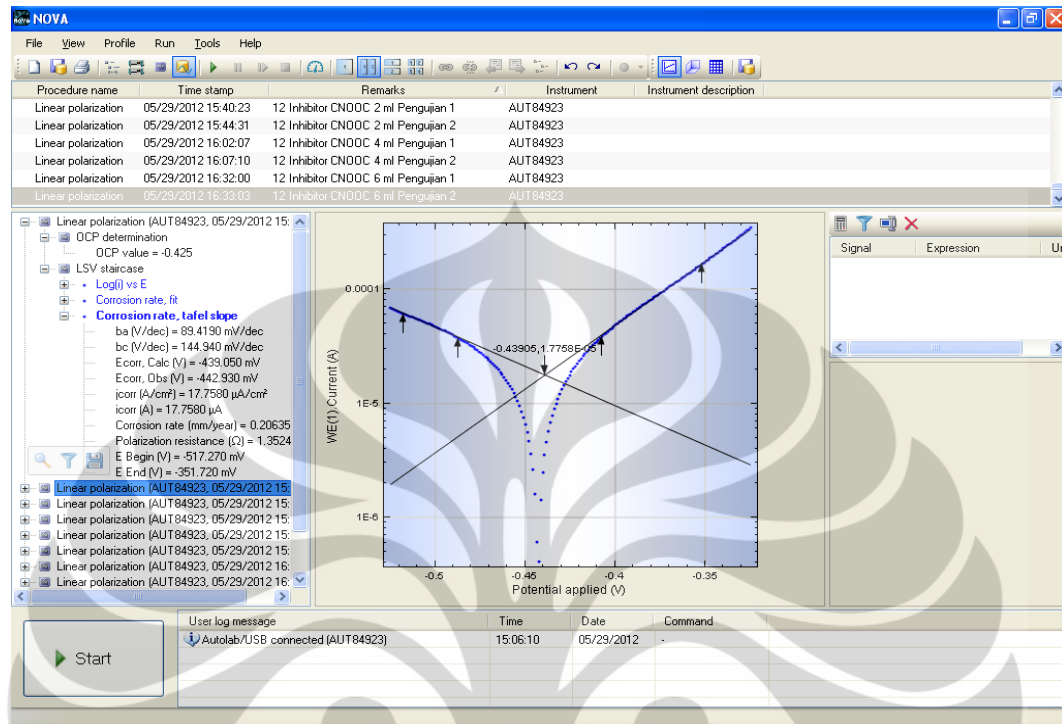


Eks. Ubi Ungu 10 ml, Pengujian 2

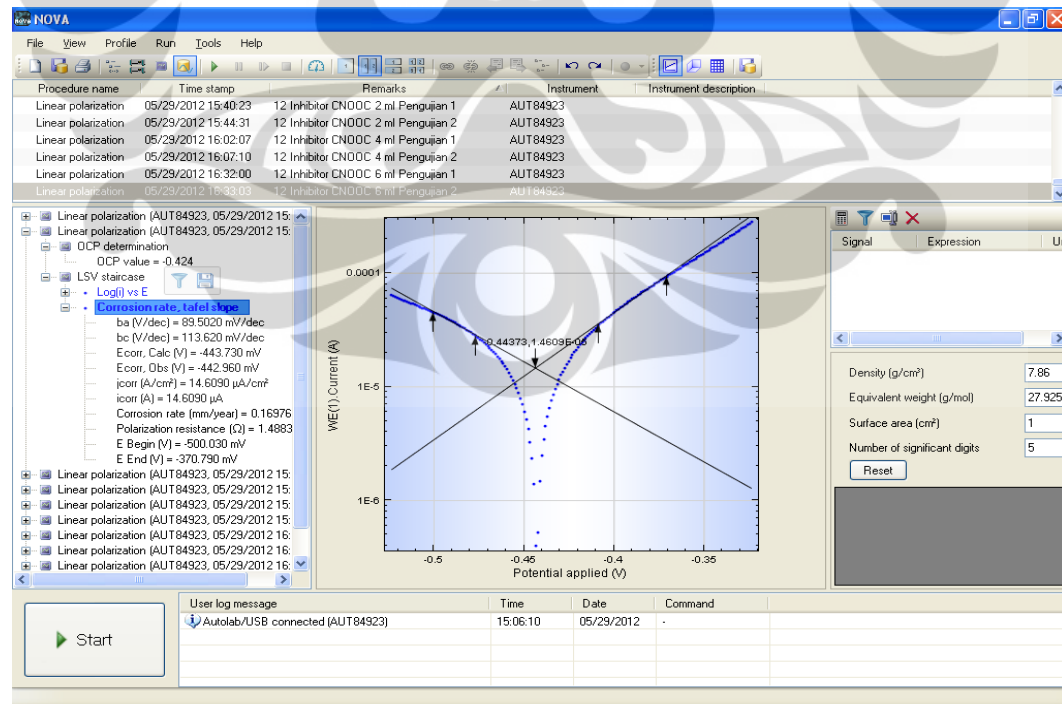


Kurva Gabungan Polarisasi Eks Ubi Ungu

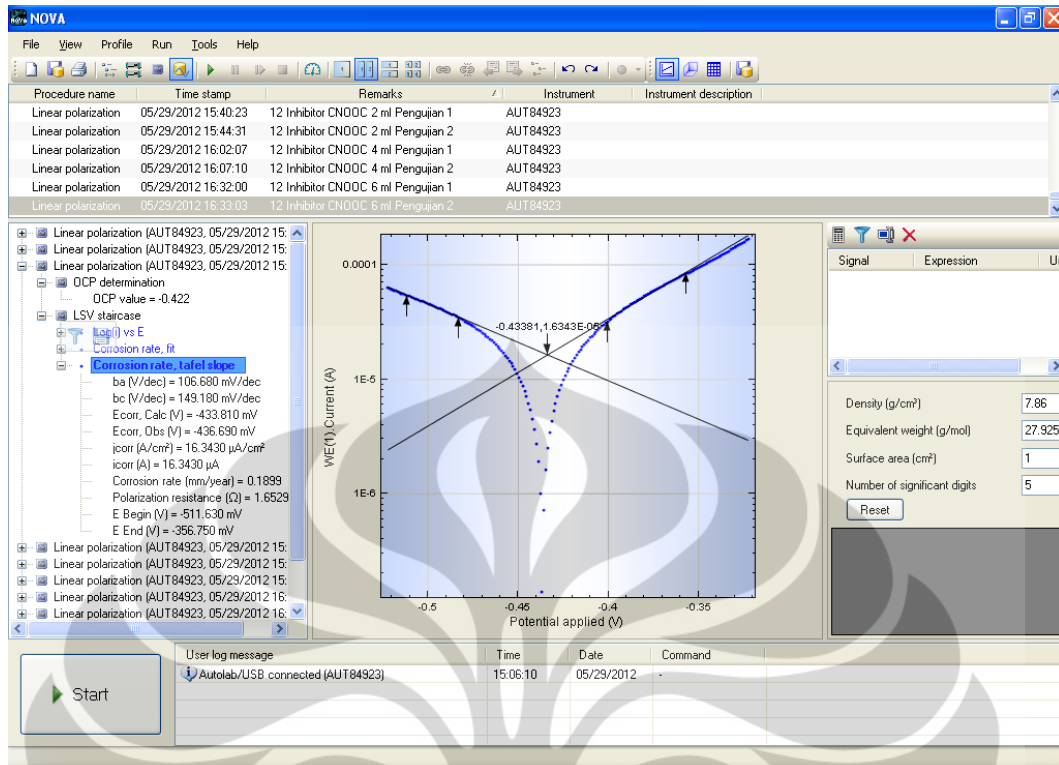
Lampiran 11 – Hasil Pengujian Polarisasi Inhibitor Kimia X dengan AUTOLAB



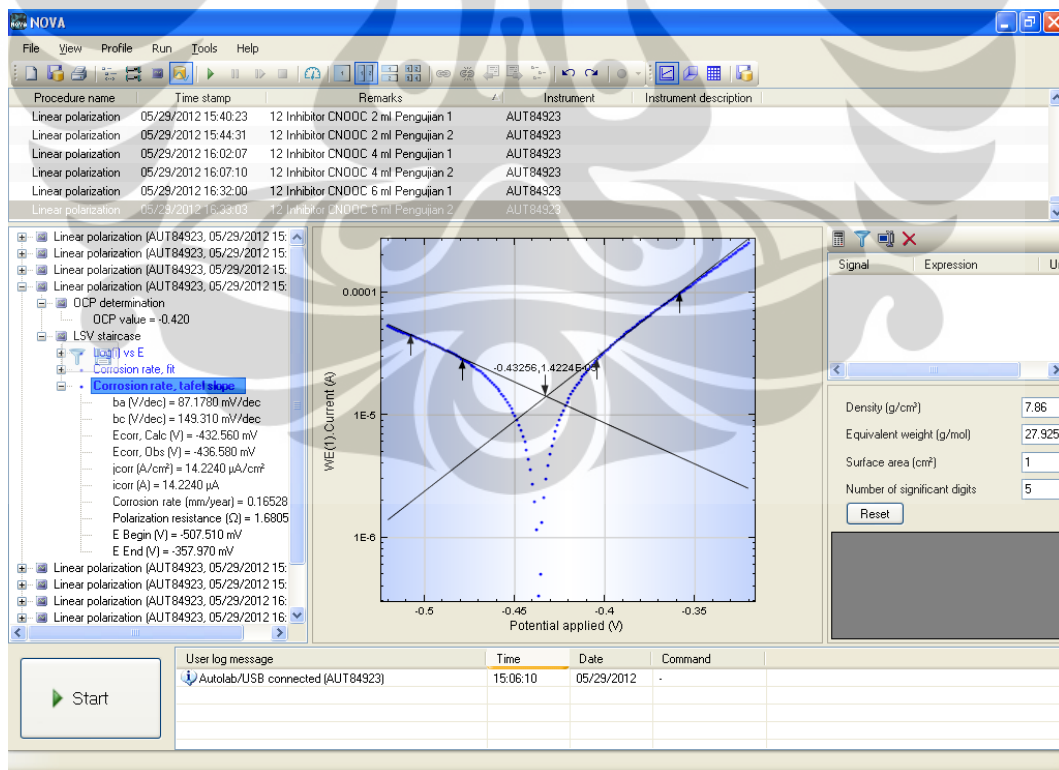
Inhibitor Kimia X 1ml, Pengujian 1



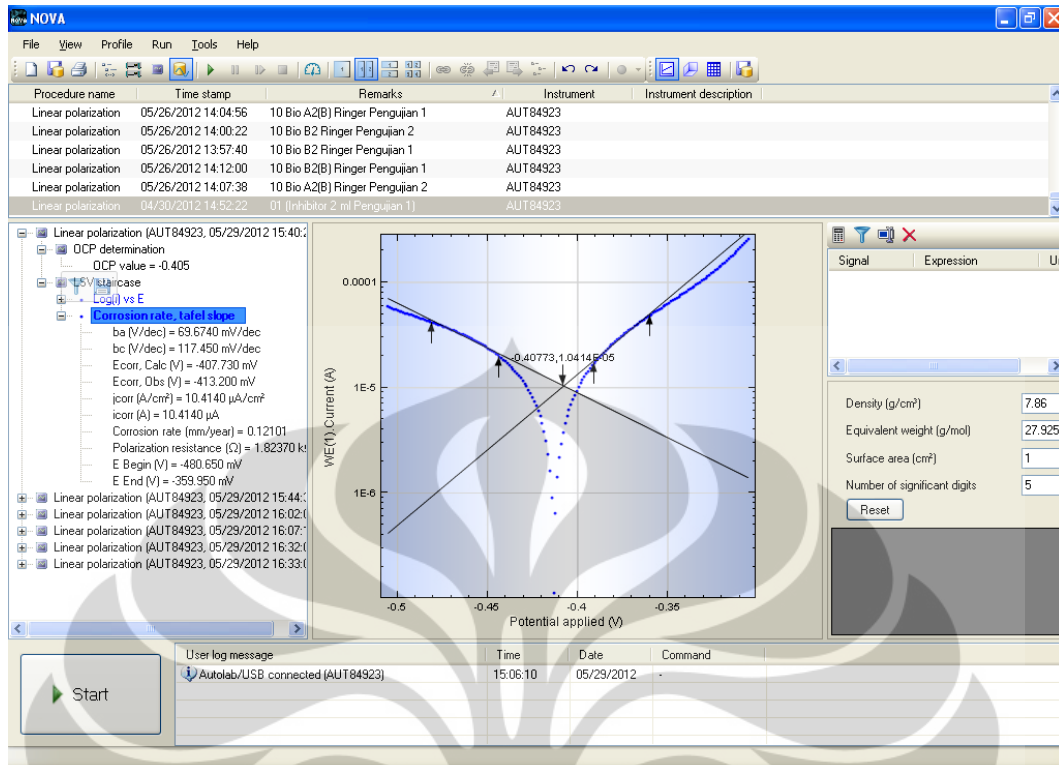
Inhibitor Kimia X 1 ml, Pengujian 2



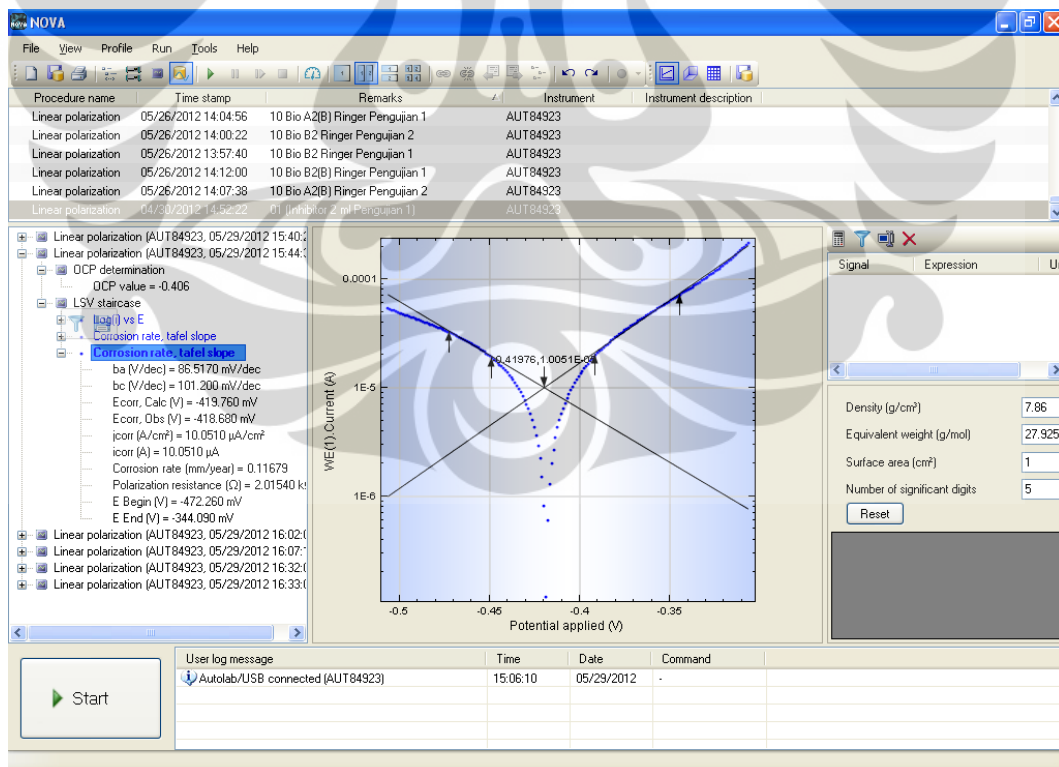
Inhibitor Kimia X 1,5 ml, Pengujian 1



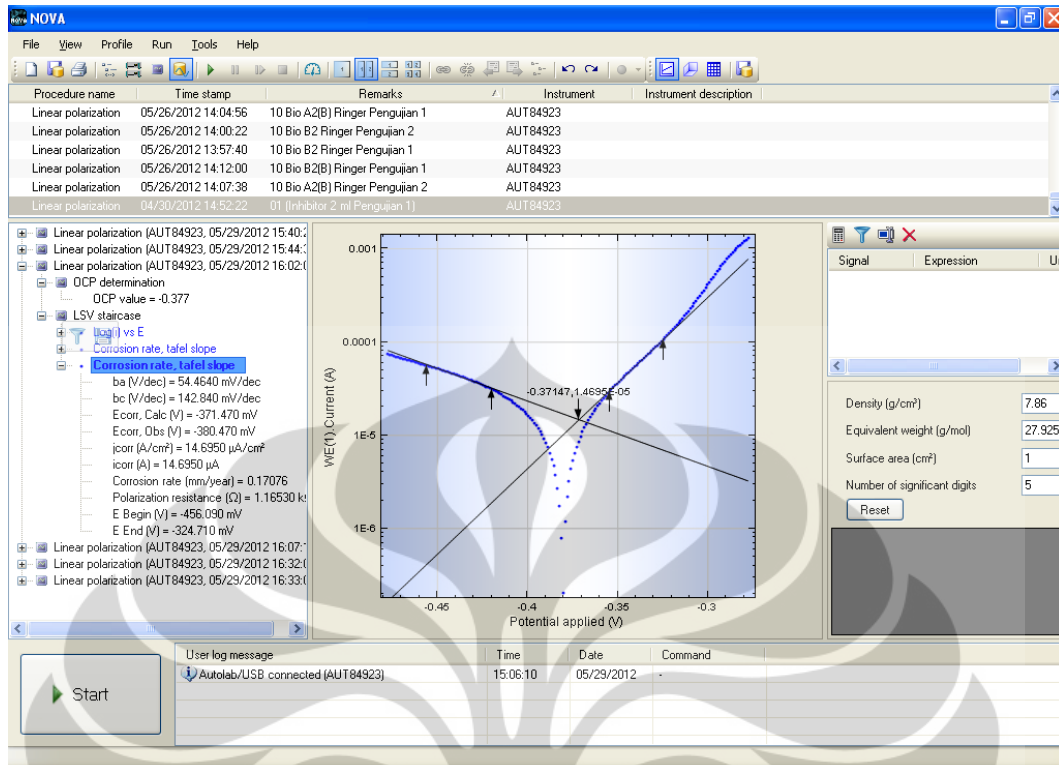
Inhibitor Kimia X 1,5 ml, Pengujian 2



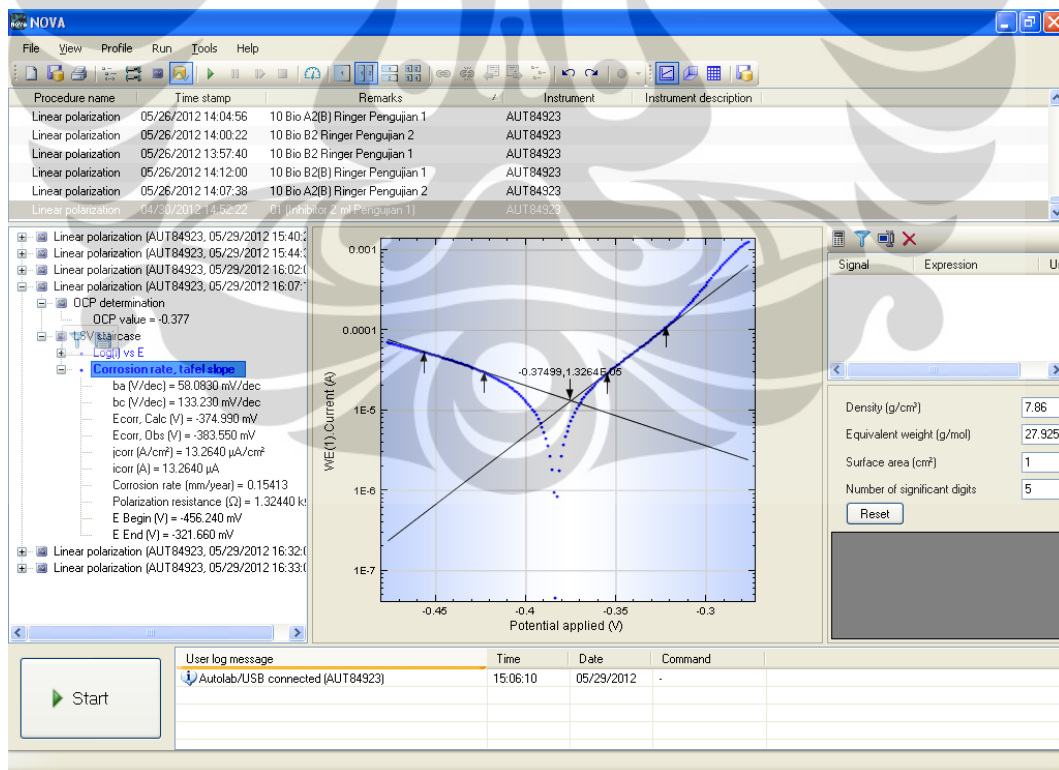
Inhibitor Kimia X 2 ml, Pengujian 1



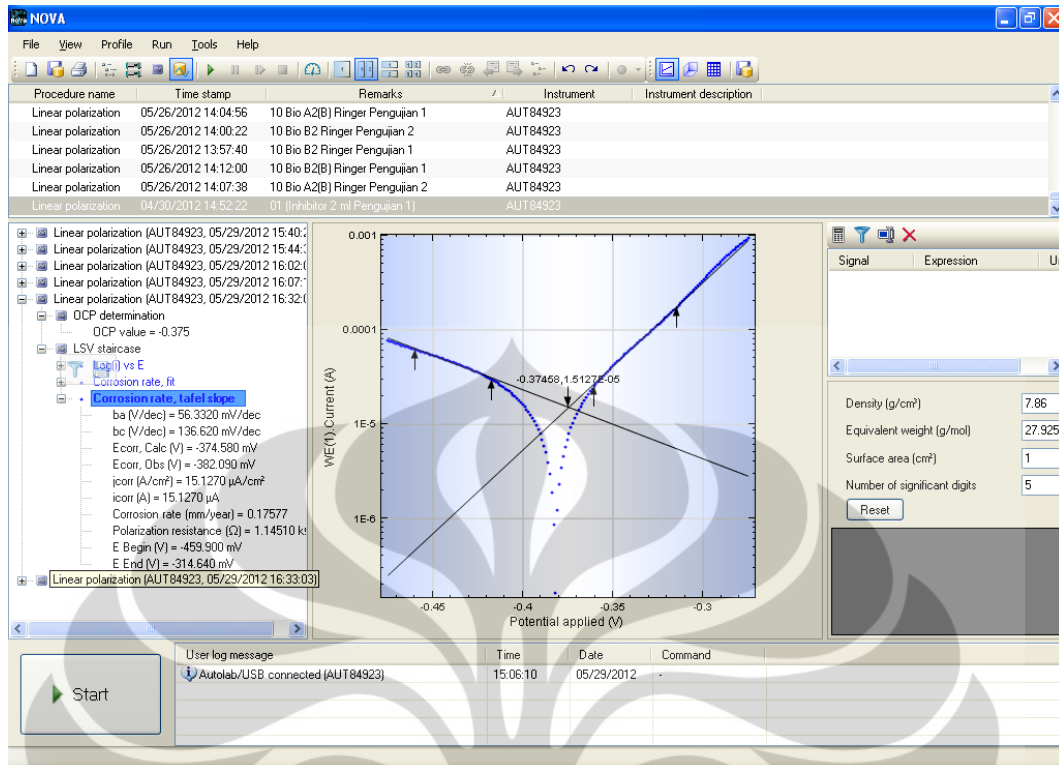
Inhibitor Kimia X 2 ml, Pengujian 2



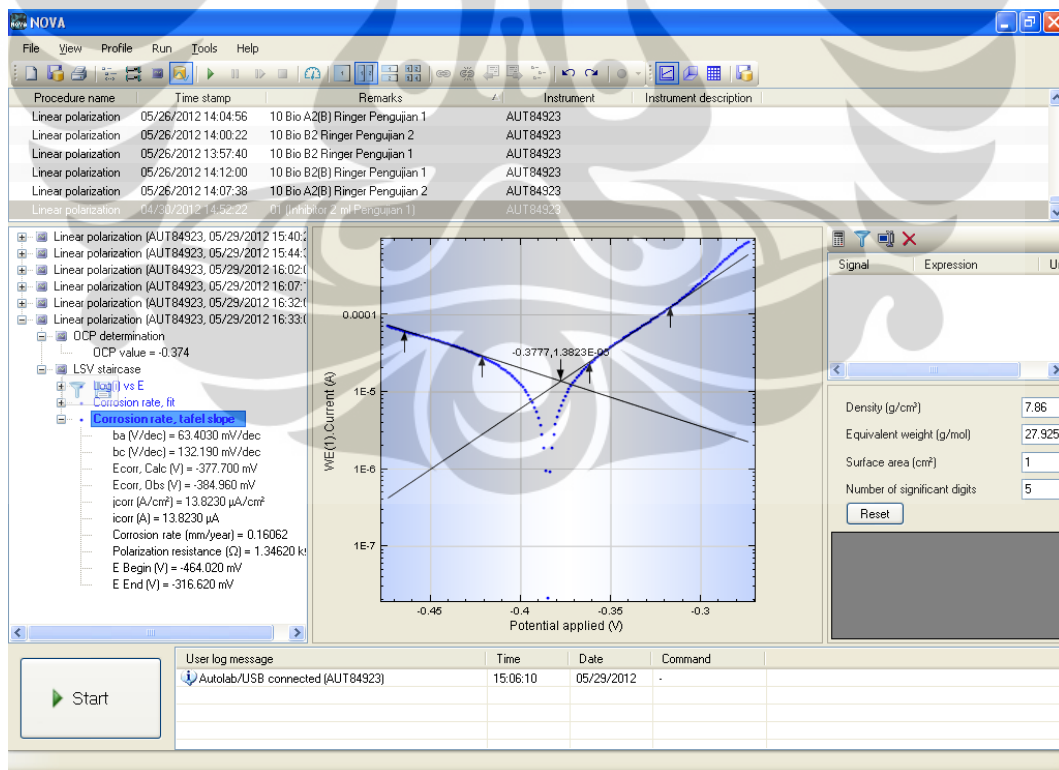
Inhibitor Kimia X 4 ml, Pengujian 1



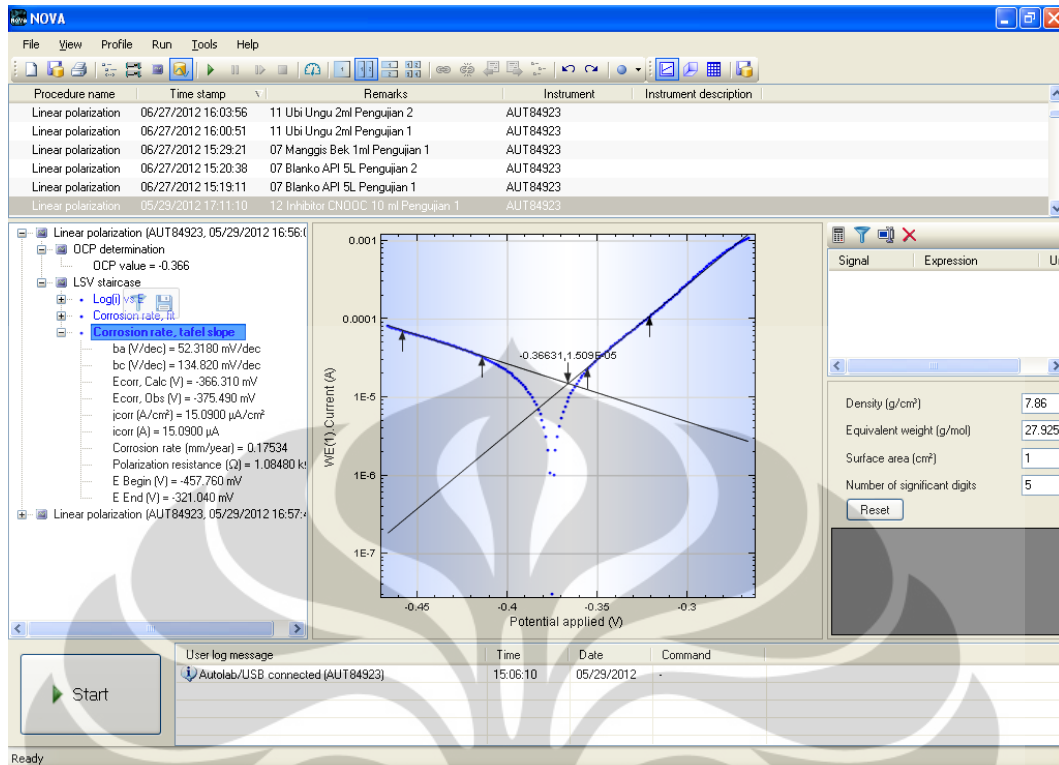
Inhibitor Kimia X 4 ml, Pengujian 2



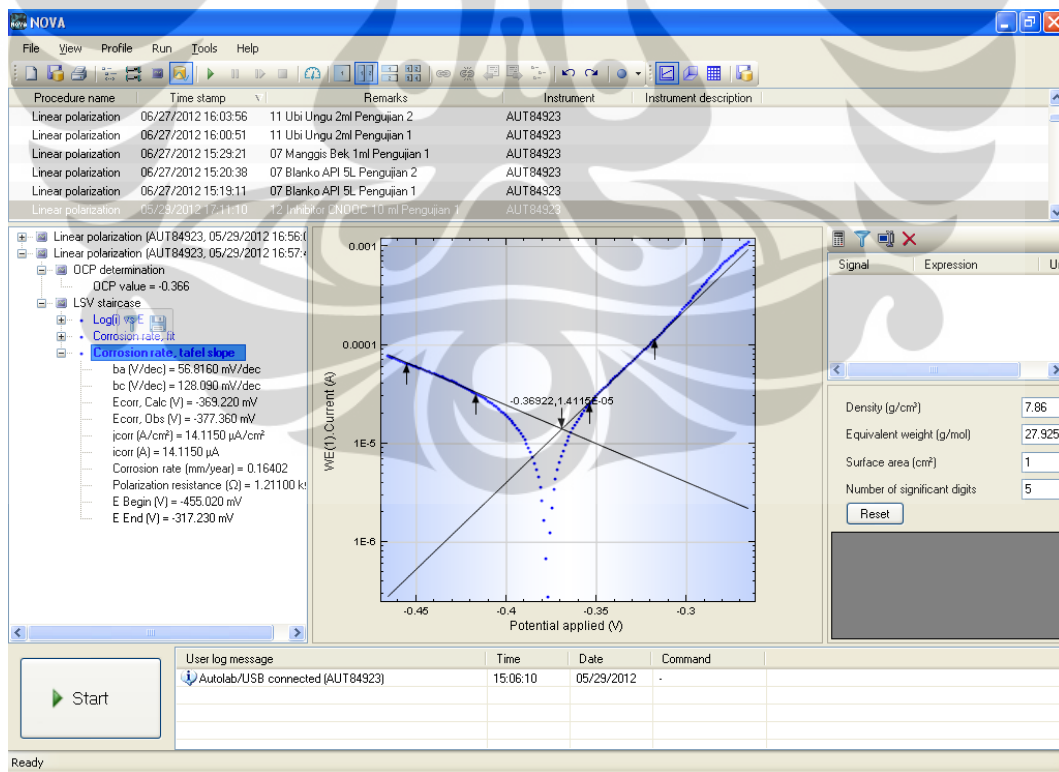
Inhibitor Kimia X 6 ml, Pengujian 1



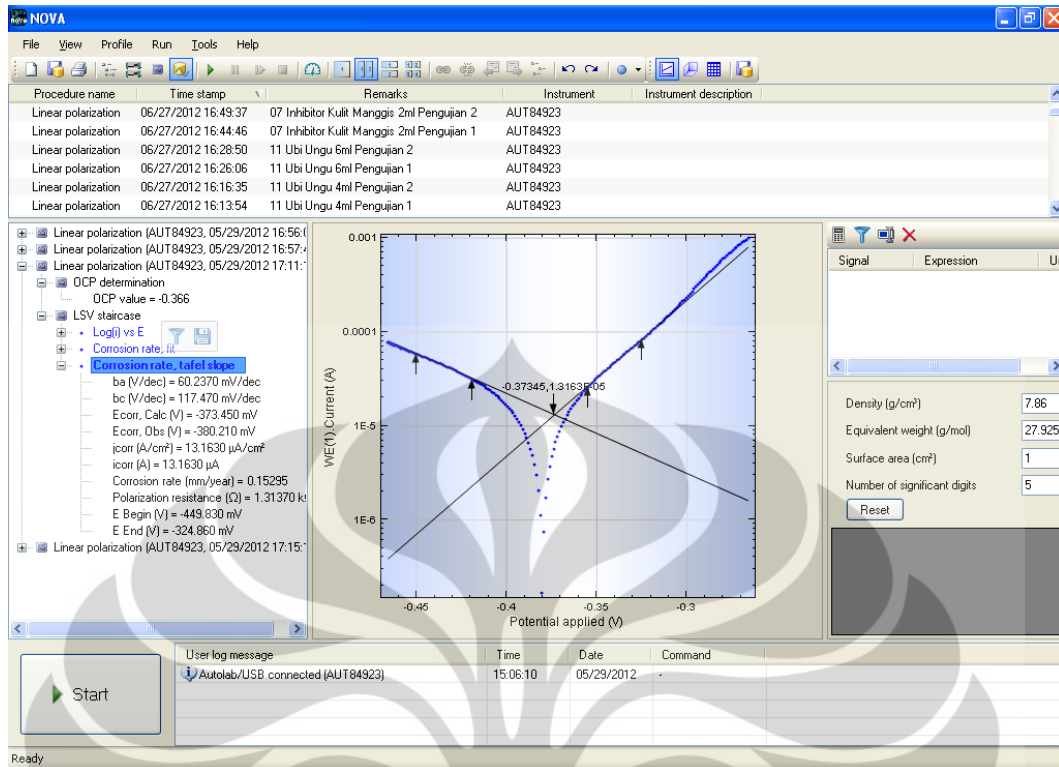
Inhibitor Kimia X 6 ml, Pengujian 2



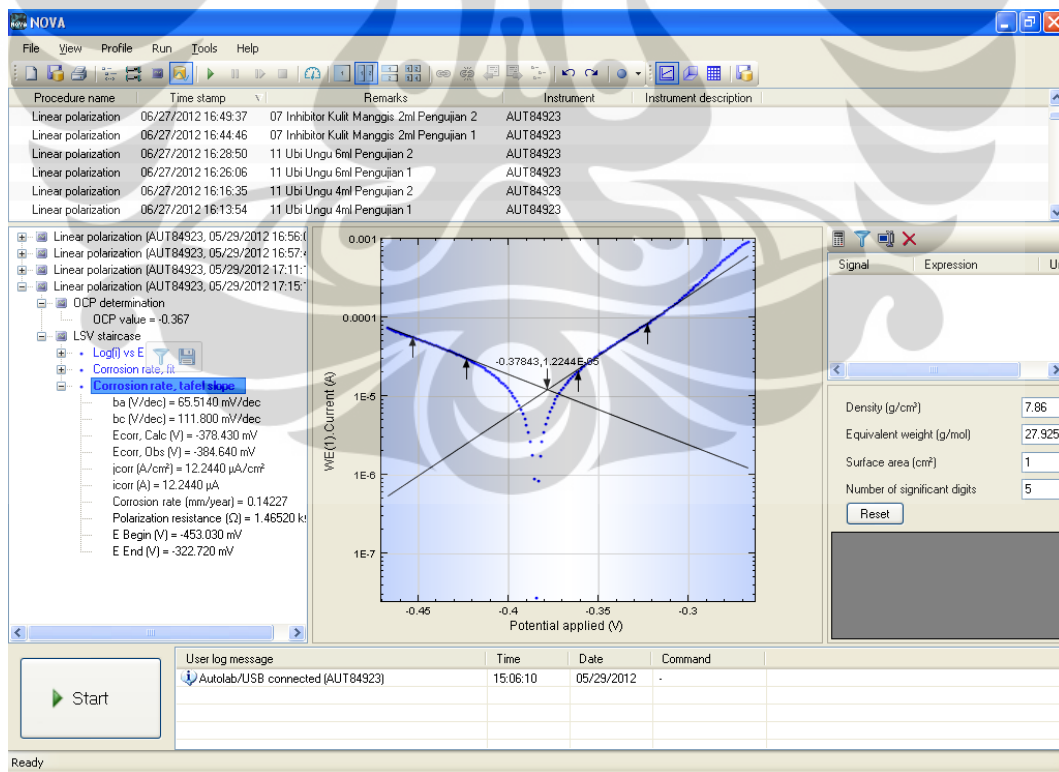
Inhibitor Kimia X 8 ml, Pengujian 1



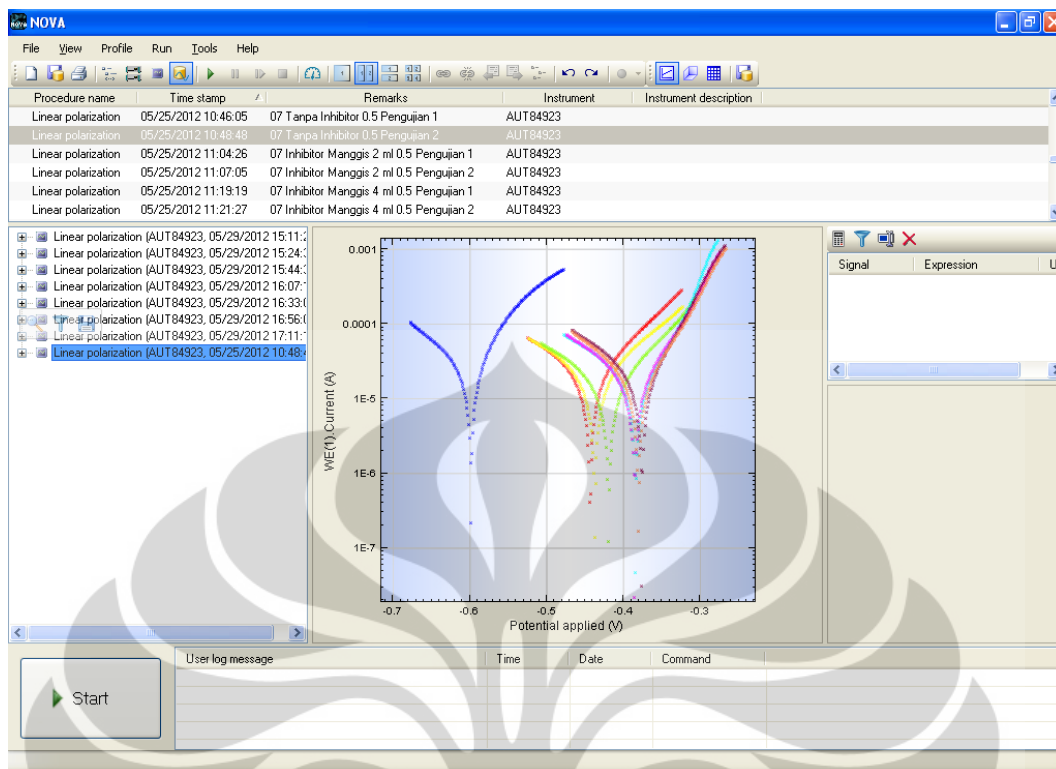
Inhibitor Kimia X 8 ml, Pengujian 2



Inhibitor Kimia X 10 ml, Pengujian 1



Inhibitor Kimia X 10 ml, Pengujian 2



Kurva Gabungan Polarisasi Inhibitor Kimia X