



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI INHIBISI KOROSI BAJA API-5L (ASTM A53) DALAM AIR
FORMASI (*CONNATE WATER*) DENGAN EKSTRAK KULIT BUAH
SAWO (*MANILKARA ZAPOTA*) MENGGUNAKAN METODE
POLARISASI**

SKRIPSI

ALFONSIUS BILLY JOE HASLIM

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
KULIT BUAH SAWO (*MANILKARA ZAPOTA*)
MENGUNAKAN METODE POLARISASI**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

ALFONSIUS BILLY JOE HASLIM

0806331355

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 : Alfonsius Billy Joe Haslim

NPM : 0806331355

Tanda Tangan :



Tanggal : 16 Juli 2012


HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh ,

Nama : Alfonsius Billy Joe Haslim
NPM : 0806331355
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Studi Inhibisi Korosi Baja API-5L (ASTM A53)
dalam Air Formasi (*Connate Water*) dengan
Ekstrak Kulit Buah Sawo (*Manilkara Zapota*)
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. Johny 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 dan Dr. Ir. Winarto M.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. Pihak BPKLN, yang telah membantu pembiayaan kuliah dan percepatan S2 Korsi *FAST TRACK* bagi penulis.
6. Bapak Ayende dari Direktorat Jenderal Migas, yang telah banyak membantu penulis dari segi Tema, dan pengadaan bahan untuk penelitian.
7. 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.

8. Seluruh Pihak CMPFA & SUCOFINDO *Laboratory*, yang telah memberikan pelayanan untuk pengujian karakterisasi sampel penulis.
9. Teman-teman laboratorium lantai 4: Ardiles Jeremia Sitorus, Vicky Indrafusa, Muhammad Mukhsin, Hutri Pri Nugrah, Brian Hermawan, serta seluruh asisten dan teknisi laboratorium Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI atas kesediaannya membantu Penulis dalam pemakaian alat pengujian.
10. Teman penelitian inhibitor & OIM FTUI 2012: Dzulfiqar Diyananda & 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 & berbagi pengalaman berharga di OIM.
11. Teman-teman Metalurgi angkatan 2008 yang sudah menjalani kuliah bareng selama 4 tahun ini, baik senang maupun susah. Solid, Tangguh, dan Tanggung Jawab.
12. Teman-teman S2 Korosi dan Material DTMM, NACE SC-UI, KUKTEK UI, Futsal Metalurgi 2011-2012, IMMT FTUI 2009, serta buat perkumpulan-perkumpulan yang pernah diikuti, telah memberikan banyak pengalaman berharga untuk perkembangan penulis.
13. Orang Tua, kakak-adik, dan sanak saudara penulis, 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 terima kasih 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 sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini, :

Nama : Alfonsius Billy Joe Haslim
NPM : 0806331355
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 KULIT BUAH
SAWO (*MANILKARA ZAPOTA*) MENGGUNAKAN METODE
POLARISASI ”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Nonekklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia 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



(Alfonsius Billy Joe Haslim)

ABSTRAK

Nama : Alfonsius Billy Joe Haslim
NPM : 0806331355
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : **Studi Inhibisi Korosi Baja API-5L (ASTM A53) dalam Air Formasi (*Connate Water*) dengan Ekstrak Kulit Buah Sawo (*Manilkara Zapota*) 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. Bahan alam dipilih sebagai alternatif karena bersifat aman, mudah didapatkan, bersifat *biodegradable*, biaya murah, dan ramah lingkungan.

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari perilaku inhibisi ekstrak kulit sawo & 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 8ml ekstrak kulit sawo dan 2ml inhibitor kimia. Efisiensi inhibisi ekstrak kulit sawo mencapai 43,02% akibat kondisi pH yang tidak optimal (antara 4,6 hingga 5,9). Berdasarkan Kurva Polarisasi, *Ecorr*, Rapat Arus, dan Resistansi Polarisasi, dapat disimpulkan bahwa ekstrak kulit sawo memiliki mekanisme adsorpsi (inhibitor anodik) dan inhibitor kimia dengan mekanisme adsorpsi dan sekedar memblokir reaksi pada permukaan logam. Terbentuknya deposit *ferric tannate* pada permukaan logam menjadi bukti penting terhadap mekanisme inhibisi ekstrak kulit sawo, yang mengandung senyawa *tannin*.

Kata kunci : inhibitor korosi alami, kulit sawo, polarisasi, adsorpsi, *ferric tannate*

ABSTRACT

Name : Alfonsius Billy Joe Haslim
NPM : 0806331355
Major : Metallurgy and Material Engineering
Title : **Corrosion Inhibition Study of ASTM A53 Steel in Connate Water with Sapodilla Skin Extracts (*Manilkara Zapota*) 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. Green inhibitor chosen as an alternative because it is safe, easily available, biodegradable, low cost, and environmentally friendly.

This study was conducted to study the inhibition behavior of sapodilla skin 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 8 ml sapodilla skin extract and 2 ml of chemical inhibitor. Inhibition efficiency of sapodilla skin extract reach 43,02%, due to pH condition are not optimal (between 4,6 to 5,9). Based on the polarization curve, E_{corr} , current density, and polarization resistance, it can be concluded that the sapodilla skin extract has a mechanism of adsorption (anodic inhibitor) and chemical inhibitor with the mechanism of adsorption, to block reaction at metal surface. Formation of ferric tannate deposition on metal surface become important proof for the mechanism of inhibition sapodilla skin extract, which containing tannin compound.

Keywords: green corrosion inhibitor, sapodilla skin, polarization, adsorption, ferric tannate.

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.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
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.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Korosi di Industri <i>Oil & Gas</i>	6
2.1.1 Korosi Galvanis	6
2.1.2 Korosi Erosi.....	7
2.1.3 Korosi Celah.....	7
2.1.4 Korosi Retak Tegang.....	7
2.2 Air Formasi (<i>Connate Water</i>).....	8
2.3 Baja API-5L	9
2.4 Kerak (<i>Scale</i>).....	10
2.5 <i>Saturation Index</i>	11

2.5.1 <i>Langelier Saturation Index (LSI)</i>	12
2.5.2 <i>Ryznar Stability Index (RSI)</i>	12
2.6 Inhibitor Korosi	13
2.6.1 Klasifikasi Inhibitor Korosi.....	14
2.6.2 <i>Green Corrosion Inhibitors</i>	17
2.7 Buah Sawo (<i>Manilkara Zapota</i>).....	18
2.7.1 Aktivitas Antioksidan.....	19
2.7.2 Senyawa Tannin	20
2.8 Metode Pengukuran Laju Korosi	22
2.8.1 Metode Polarisasi Elektrokimia	22
2.8.2 Metode Hukum Faraday.....	24
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	25
3.2 Alat dan Bahan.....	25
3.2.1 Alat	25
3.2.2 Bahan.....	26
3.3 Prosedur Kerja	26
3.3.1 Prosedur Karakterisasi Gugus Fungsi FTIR.....	26
3.3.2 Prosedur Ekstraksi Kulit Sawo.....	26
3.3.3 Prosedur Preparasi Sampel API-5L.....	27
3.3.4 Prosedur Karakterisasi Komp. Kimia & Kekerasan API-5L ..	28
3.3.5 Prosedur Karakterisasi Mikrostruktur Sampel API-5L.....	28
3.3.6 Prosedur Preparasi Air Formasi	29
3.3.7 Prosedur Karakterisasi Air Formasi	29
3.3.8 Prosedur Pengujian Polarisasi	29
3.3.9 Prosedur Pengujian Pengamatan Visual.....	30
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Hasil Pengamatan & Pembahasan Gugus Fungsi FTIR	31
4.2 Hasil Pengujian & Pembahasan Karakterisasi Air Formasi	31
4.3 Hasil Pengujian & Pembahasan Karakterisasi Baja API-5L.....	32

4.4 Hasil Pengamatan & Pembahasan Laju Korosi.....	33
4.5 Hasil Perhitungan & Pembahasan Efisiensi Inhibisi	35
4.6 Hasil Pengukuran dan Pembahasan pH Lingkungan	36
4.7 Hasil Pengamatan dan Pembahasan Kurva Polarisasi.....	38
4.8 Hasil Pengamatan dan Pembahasan Ecorr dan Icorr	41
4.9 Hasil Pengamatan dan Pembahasan Resistansi Polarisasi	44
4.10 Hasil Pengamatan Visual dan Pembahasan.....	45
BAB V KESIMPULAN.....	48
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN.....	64

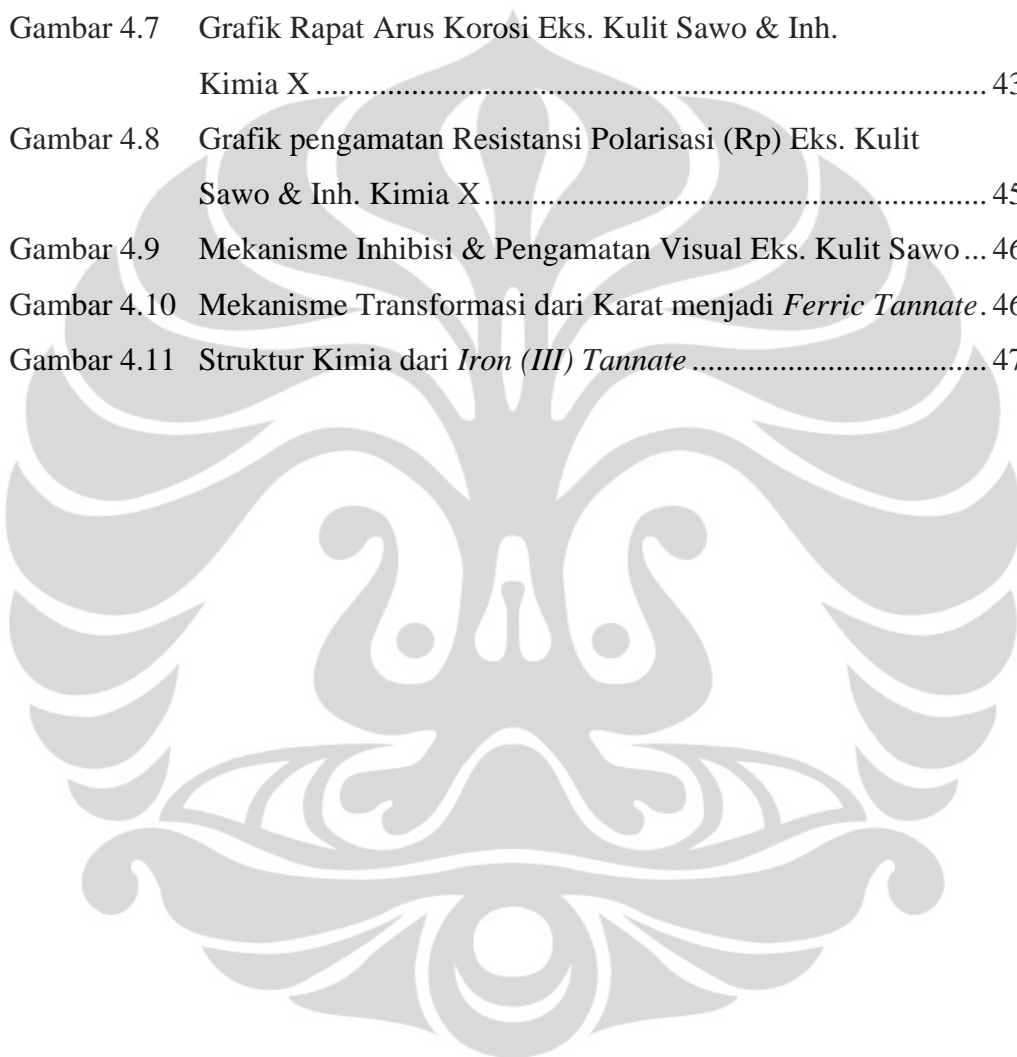
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Mekanis dari berbagai Baja API-5L	9
Tabel 2.2 Scale paling umum di <i>Oilfield</i>	11
Tabel 2.3 Interpretasi <i>Ryznar Stability Index</i> (RSI).....	13
Tabel 2.4 Perbandingan aktivitas antioksidan & eff. inhibisi beberapa buah .	19
Tabel 4.1 Hasil Karakterisasi Gugus Fungsi Ekstrak Kulit Sawo & Inhibitor Kimia X.....	31
Tabel 4.2 Hasil Karakterisasi Air Formasi.....	32
Tabel 4.3 Hasil Karakterisasi Baja API-5L.....	32
Tabel 4.4 Laju Korosi Eks. Kulit Sawo & Inh. Kimia X	33
Tabel 4.5 Eff. Inhibisi Eks. Kulit Sawo & Inh. Kimia X.....	35
Tabel 4.6 Perubahan pH lingkungan dengan Penambahan Eks. Kulit Sawo...	37
Tabel 4.7 Kurva Polarisasi Eks. Kulit Sawo & Inh. Kimia X.....	39
Tabel 4.8 Nilai Tafel Anodik & Katodik Kulit Sawo & Inh. Kimia X.....	41
Tabel 4.9 Ecorr & Icorr Eks. Kulit Sawo & Inh. Kimia X	41
Tabel 4.10 Pengamatan Laju Korosi dengan variabel Rapat Arus.....	44
Tabel 4.11 Resistansi Polarisasi Eks. Kulit Sawo & Inh. Kimia X	44

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	15
Gambar 2.9	Diagram polarisasi aktif-pasif logam menunjukkan pengaruh arus pada konsentrasi Inhibitor Anodik.....	16
Gambar 2.10	Proteksi Korosi dengan Inhibitor Organik	17
Gambar 2.11	Pohon Sawo (<i>Manilkara Zapota</i>)	18
Gambar 2.12	Struktur Molekul <i>Tannin</i>	21
Gambar 2.13	Kurva Polarisasi yang menunjukkan Ekstrapolarisasi Tafel	23
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	25
Gambar 3.2	Prosedur Karakterisasi Ekstrak Kulit Sawo & Inhibitor Kimia X	26
Gambar 3.3	Prosedur Ekstraksi Kulit Sawo.....	27
Gambar 3.4	Preparasi Sampel Polarisasi API-5L	27
Gambar 3.5	Preparasi Karakterisasi Komposisi Kimia dan Kekerasan Sampel API-5L.....	28
Gambar 3.6	Prosedur Karakterisasi Mikrostruktur API-5L.....	29
Gambar 3.7	Prosedur Preparasi Air Formasi.....	29
Gambar 3.8	Rangkaian Pengujian Alat Polarisasi.....	30
Gambar 3.9	Prosedur Pengujian Pengamatan Visual.....	30
Gambar 4.1	Grafik Hasil Pengamatan Laju Korosi	35
Gambar 4.2	Grafik Hasil Perhitungan Efisiensi Inhibisi.....	36
Gambar 4.3	Grafik Perubahan pH Lingkungan.....	38

Gambar 4.4	Representasi Skematis Tannin ketika Diaplikasikan pada Permukaan Berkarat.....	40
Gambar 4.5	Grafik Potensial Korosi (<i>Calc</i>) Eks. Kulit Sawo & Inh. Kimia X.....	42
Gambar 4.6	Grafik Potensial Korosi (<i>Obs</i>) Eks. Kulit Sawo & Inh. Kimia X.....	43
Gambar 4.7	Grafik Rapat Arus Korosi Eks. Kulit Sawo & Inh. Kimia X.....	43
Gambar 4.8	Grafik pengamatan Resistansi Polarisasi (<i>Rp</i>) Eks. Kulit Sawo & Inh. Kimia X.....	45
Gambar 4.9	Mekanisme Inhibisi & Pengamatan Visual Eks. Kulit Sawo...	46
Gambar 4.10	Mekanisme Transformasi dari Karat menjadi <i>Ferric Tannate</i> .	46
Gambar 4.11	Struktur Kimia dari <i>Iron (III) Tannate</i>	47



DAFTAR RUMUS

Persamaan 2.1 <i>Langelier Saturation Index (LSI)</i>	12
Persamaan 2.2 <i>Ryznar Stability Index (RSI)</i>	13
Persamaan 2.3 <i>Overvoltage/ Overpotential</i>	22
Persamaan 2.4 <i>Butler-Volmer</i>	22
Persamaan 2.5 Penyederhanaan <i>Overvoltage & Butler-Volmer</i>	23
Persamaan 2.6 Efisiensi Inhibisi	23
Persamaan 2.7 Laju Korosi	24
Persamaan 4.1 Reaksi <i>Iron (III) Oxides</i> menjadi <i>Iron (III) Tannate</i>	47
Persamaan 4.2 Reaksi <i>Iron (III) Oxides</i> menjadi <i>Iron (III) Tannate</i>	47
Persamaan 4.3 Reaksi <i>Iron (III) Oxides</i> menjadi <i>Iron (III) Tannate</i>	47
Persamaan 4.4 Reaksi <i>Iron (III) Oxides</i> menjadi <i>Iron (III) Tannate</i>	47
Persamaan 4.5 Reaksi <i>Iron (III) Oxides</i> menjadi <i>Iron (III) Tannate</i>	47
Persamaan 4.6 Reaksi <i>Iron (III) Oxides</i> menjadi <i>Iron (III) Tannate</i>	47
Persamaan 4.7 Reaksi <i>Iron (III) Oxides</i> menjadi <i>Iron (III) Tannate</i>	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Karakterisasi FTIR Ekstrak Kulit Sawo	64
Lampiran 2 Hasil Karakterisasi FTIR Inhibitor Kimia X	65
Lampiran 3 Sertifikat Karakterisasi Air Formasi	66
Lampiran 4 Perhitungan LSI dengan LENNTECH Calculator	67
Lampiran 5 Perhitungan RSI dengan LENNTECH Calculator	68
Lampiran 6 Sertifikat Karakterisasi Komposisi Kimia API-5L	69
Lampiran 7 Sertifikat Material dan Produk Pipa KHI	70
Lampiran 8 Spesifikasi Dimensi dan Sifat Mekanis Pipa API-5L KHI	71
Lampiran 9 Foto Sampel Hasil Pengujian Kekerasan HRA	73
Lampiran 10 Foto Mikrostruktur Baja API-5L	74
Lampiran 11 Foto Ukuran Butir Baja API-5L	75
Lampiran 12 Resistansi Korosi Relatif	76
Lampiran 13 Hasil Pengujian Polarisasi Tanpa Inhibitor dengan AUTOLAB	77
Lampiran 14 Hasil Pengujian Polarisasi Eks. Kulit Sawo dengan AUTOLAB	78
Lampiran 15 Hasil Pengujian Polarisasi Inhibitor Kimia X dengan AUTOLAB	84

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Korosi adalah interaksi antara bahan (biasanya logam) dengan lingkungannya, yang menghasilkan kerusakan pada material dan lingkungan^[1]. Tidak banyak anggota masyarakat yang sadar mengenai betapa besarnya kerugian akibat korosi. Walaupun kebanyakan orang mengaku tidak menyukai korosi, pengalaman mereka biasanya terbatas. Pada tahun 2003, Saudi Aramco melakukan studi untuk mendefinisikan biaya korosi terhadap produksi minyak dan pemurniannya^[2]. Mereka menemukan bahwa 25% biaya perawatan plant *gas sweetening* dikeluarkan untuk pengendalian korosi, 17% biaya perawatan plant *gas fractionation* untuk korosi, 28% biaya perawatan operasi produksi *onshore*, sedangkan untuk *offshore* dibutuhkan 60-70% biaya perawatan untuk korosi. Berdasarkan data NACE^[3], biaya yang dikeluarkan oleh USA untuk penanggulangan korosi pada distribusi gas sebesar \$5 milyar, eksplorasi dan pemurnian minyak & gas sebesar \$1,4 milyar, serta penyulingan minyak sebesar \$3,7 milyar.

Mengisolir logam dari bahan korosi adalah cara yang paling efektif untuk mencegah korosi elektrokimia. Di antara beberapa metode yang tersedia, penggunaan inhibitor korosi adalah cara yang efektif untuk mencapai tujuan tersebut^[4-7]. Inhibitor dapat berbentuk komponen organik dan anorganik, dan mereka biasanya larut dalam lingkungan cair^[8]. Namun, beberapa diantara inhibitor organik dan anorganik tersebut beracun, *non-biodegradable*, dan mahal untuk disintesis^[9]. 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^[10-12].

Literatur ilmiah korosi telah mencatat sejumlah penelitian dari ekstrak tumbuhan, dari bagian daun, batang, buah, ataupun akar tumbuhan, yang memiliki

sifat inhibisi korosi. Beberapa ekstrak tersebut berasal dari *Argan Hulls*^[13], *Caffeic Acid*^[4], *Laurus Nobilis*^[5], *Spirulina Platensis*^[14], dan *Uncaria Gambir*^[15] menjadi inhibitor korosi yang cukup efektif & disebut sebagai *green corrosion inhibitor*.

1.2. Rumusan Masalah

Dalam proses pendistribusian minyak mentah atau crude oil, sering dijumpai adanya masalah-masalah yang dapat mengganggu aliran fluida yang melewati pipa, dimana pipa API 5L digunakan dalam aplikasi tersebut^[16]. Salah satu problematika yang sering terjadi pada proses pendistribusian *crude oil* adalah terdapatnya endapan yang disebut kerak (*scale*), dimana kerak didefinisikan sebagai suatu deposit dari senyawa-senyawa anorganik yang terendapkan dan membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu substansi^[17]. Kerak yang terbentuk pada pipa-pipa akan memperkecil diameter dan menghambat aliran fluida pada sistem pipa tersebut. terganggunya aliran fluida dapat menyebabkan suhu semakin naik dan tekanan menjadi semakin tinggi, maka kemungkinan pipa akan pecah dan rusak. Penyebab langsung terbentuknya *scale* adalah penurunan tekanan, perubahan temperatur, dan bercampurnya dua macam mineral yang susunan mineral yang dikandungnya tidak saling cocok. Selama ini, Pencegahan terbentuknya kerak diladang-ladang minyak khususnya di dalam pipa distribusi *crude oil* adalah dengan menginjeksikan bahan-bahan kimia yang dapat mencegah kerak (*scale inhibitor*).

Sawo adalah tanaman tropis yang ketinggiannya mencapai 10-20 m, dan tersebar dari Meksiko Tengah menuju Yucatan Penisula dan Amerika Tengah^[18]. Di Indonesia, tanaman sawo telah lama dikenal dan banyak ditanam mulai dari dataran rendah sampai tempat dengan ketinggian 1200 m dpl, seperti di Jawa dan Madura^[19]. Sawo merupakan buah dengan sumber antioksidan alami terbaik^[20-22], dimana M. Isabelle, et. al. (2010) menemukan bahwa senyawa fenolik adalah kontributor utama dari aktivitas antioksidan Sawo^[23]. T. Ahmed, et. al. (2011) menyatakan bahwa sawo mengandung *moisture* sebesar 69,0% - 75,7%, asam askorbat sebesar 8,9 - 41,4 mg/100g, total asam 0,09 - 0,15%, pH diantara 5,0 -

5,3, *total soluble solids* 17,4° – 23,7°, dan kandungan tannin yang bervariasi antara 3,16 – 6,45% karena dari kulitnya^[24].

Aplikasi tanin dalam bidang korosi sudah digunakan cukup luas, diantaranya sebagai *coating antifouling*^[25] & *conversion coating*^[26]. Sebagai inhibitor, Tannin telah digunakan selama bertahun-tahun dalam berbagai bentuk, sebagai bahan *surface treatment* logam, *oxygen scavengers*, atau pembentuk film^[27]. Studi efisiensi menghambat korosi telah dilakukan sejumlah peneliti, dengan hasil kontroversial^[28]. M. Favre, et. al. Menemukan kehadiran *hydrolysable tannin (gallic acid)* menginhibisi pembentukan magnetite ketika diproduksi *lepidocrocite*^[29-30]. J.J.C. Galvan, et. al. (1992)^[31] melakukan penelitian dengan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) dengan hasil tidak ada peningkatan yang cukup besar dari resistansi polarisasi (Rp) dari baja akibat perlakuan permukaan karat dengan tannin. Di sisi lain, sejumlah peneliti telah mengembangkan tannin primer yang menyediakan sifat *excellent anticorrosive*^[32-34]. A.A. Rahim, et. al. (2007)^[35-36] menemukan bahwa *mangrove tannin* dan monomer *flavanoid* nya merupakan inhibitor korosi potensial untuk baja dan medium asam. Menurut Ross dan Francis, (1978) sejumlah karat dikonversi menjadi produk yang lebih stabil, inert, dan *adherent*^[37]. Beberapa hasil kontradiksi diatas mungkin disebabkan oleh keragaman material yang digunakan dalam penelitian yang berbeda^[38-39].

Hingga saat ini belum ada studi mengenai kulit sawo sebagai inhibitor korosi, dimana sawo kaya akan senyawa tannin. Hasil dari penelitian ini dapat menjadi acuan untuk dikembangkan sebagai produk *corrosion control* ramah lingkungan kedepannya.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menentukan sifat dari air formasi dan karakterisasi baja API-5L yang akan digunakan pada studi inhibisi ekstrak kulit sawo, dan dibandingkan dengan inhibitor kimia X.

2. Mempelajari perilaku inhibisi ekstrak kulit sawo dengan pengujian polarisasi elektrokimia, dan dibandingkan dengan inhibitor kimia X.
3. Mengetahui mekanisme pembentukan deposit *ferric-tannate* dengan pengamatan visual.

1.4. Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Pengujian Karakterisasi Air Formasi dilakukan di SUCOFINDO *Laboratory Service*.
2. Pengujian Komposisi Kimia (OES) Baja API-5L dilakukan di CMPFA, Departemen Teknik Metalurgi dan Material – FTUI.
3. Pengujian Kekerasan Baja API-5L dilakukan di PT. FSCM Indonesia.
4. Pengujian Mikrostruktur Baja API-5L dilakukan di Laboratorium Metalografi, DTMM – FTUI.
5. Pengujian Polarisasi Elektrokimia, Pengamatan Visual, dan Pengaruh pH dilakukan di Laboratorium Korosi & Perlindungan Logam, DTMM – FTUI.

Sedangkan batasan penelitian ini adalah:

1. Media lingkungan air yang digunakan adalah air formasi (*connate water*) yang berasal dari daerah rawa.
2. Baja API-5L yang digunakan berukuran 8” x Sch 40 x 1000mm, didapatkan dari PT. Surya Besindo Sakti.
3. Ekstrak Kulit Sawo berasal dari kulit sawo alami yang direndam dalam air selama 24 jam.
4. Variabel konsentrasi ekstrak kulit sawo dan inhibitor kimia X yang digunakan yaitu 2ml, 4ml, 6ml, 8ml, dan 10ml.
5. Pengamatan pH lingkungan dilakukan pada setiap variabel konsentrasi ekstrak.
6. Waktu perendaman sampel untuk pengamatan visual selama 5 hari.

1.5. Sistematika Penulisan

Pada Tugas Akhir ini, sistematika penulisan disusun dalam bentuk per bab agar didapat kerangka tulisan dan pemikiran yang mudah dan praktis. Tugas Akhir ini tersusun atas 5 bab, diantaranya:

BAB I. Pendahuluan

Pada bab ini dibahas mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup & batasan penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II. Tinjauan Pustaka

Pada bab ini dijelaskan mengenai korosi di industri *oil & gas*, air formasi (*connate water*), baja API-5L, kerak (*scale*), *saturation index*, inhibitor korosi, *green corrosion inhibitor*, buah sawo (*manilkara zapota*), Aktivitas antioksidan, senyawa *tannin*, dan metode pengukuran laju korosi.

BAB III. Metode Penelitian

Bab ini berisi tentang diagram alir penelitian, alat & bahan yang digunakan, serta prosedur penelitian.

BAB IV. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pada bab ini diberikan hasil penelitian serta pembahasan dari pengujian karakterisasi air formasi, karakterisasi API-5L, kemudian pengamatan laju korosi, perhitungan efisiensi inhibisi, pengukuran pH lingkungan, pengamatan kurva polarisasi, pengamatan potensial dan rapat arus korosi, dan resistansi polarisasi untuk ekstrak kulit sawo dan inhibitor kimia X. Pembahasan terakhir yaitu pengamatan visual pembentukan *ferric-tannate* dengan ekstrak kulit sawo.

BAB V. Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan, serta saran penelitian ini untuk perbaikan dan pengembangan kedepannya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

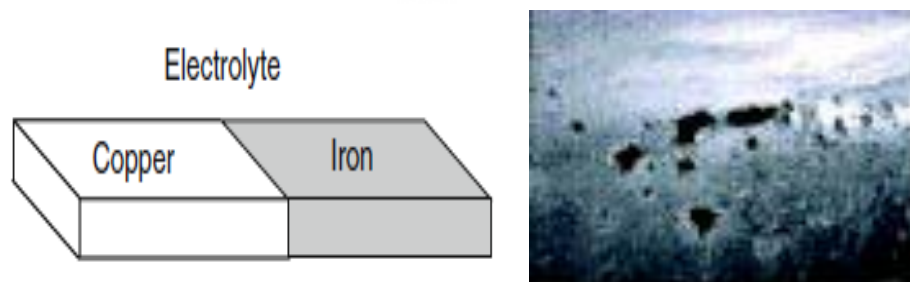
2.1. Korosi di Industri *Oil & Gas*

Industri minyak dan gas – terutama mengenai eksplorasi, operasi produksi, operator lapangan biasanya ingin memiliki pasokan minyak dan gas bumi yang tidak terputus ke titik ekspor atau pengolahan^[40]. Pipa-pipa dan komponen perlengkapan dari *lining* akan mengalami degradasi material dengan berbagai kondisi dari sumur akibat perubahan komposisi fluida, *souring* sumur selama periode tertentu, perubahan kondisi operasi tekan, dan suhu. Degradasi material menyebabkan penurunan sifat mekanis seperti kekuatan, keuletan, kekuatan impact, dsb.; menyebabkan *loss of materials*, pengurangan ketebalan, dan pada akhirnya mengalami kegagalan/*failure*.

Groysman. A. (2010)^[1] mendefinisikan korosi sebagai interaksi antara bahan (biasanya logam) dengan lingkungannya, yang menghasilkan kerusakan pada material dan lingkungan. Naili. K. (2010)^[40] mendeskripsikan korosi yang terjadi pada industri *oil & gas* dalam berbagai bentuk, diantaranya:

2.1.1. Korosi Galvanis

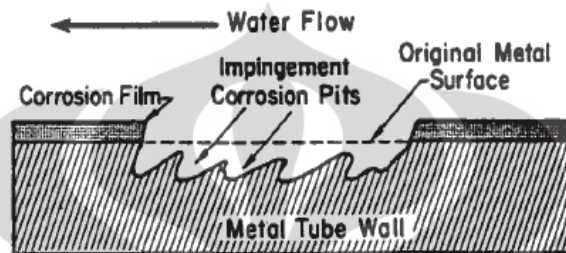
Yaitu korosi yang terjadi karena terdapat hubungan antara dua logam yang disambung, terdapat perbedaan potensial diantara keduanya, serta terpapar pada lingkungan elektrolit. Kehadiran gas H_2S dan temperatur rendah mendorong bentuk korosi galvanis ini.



Gambar 2.1. a) Dua logam berbeda yang disambung. b) bentuk kerusakan akibat korosi galvanis^[40-41].

2.1.2. Korosi Erosi

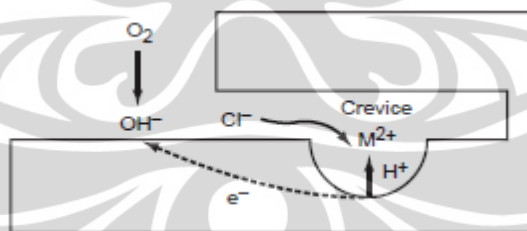
Yaitu korosi yang terjadi karena tercegahnya pembentukan film pelindung yang disebabkan oleh kecepatan aliran fluida yang tinggi, misalnya abrasi pasir. Laju korosi meningkat partikel suspensi pasir atau padatan dalam fluida dan bergantung pada laju aliran fluida, densitas dan morfologi padatan dalam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



Gambar 2.2. Mekanisme korosi erosi^[42].

2.1.3. Korosi Celah

Yaitu korosi yang terjadi di sela-sela gasket, 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.

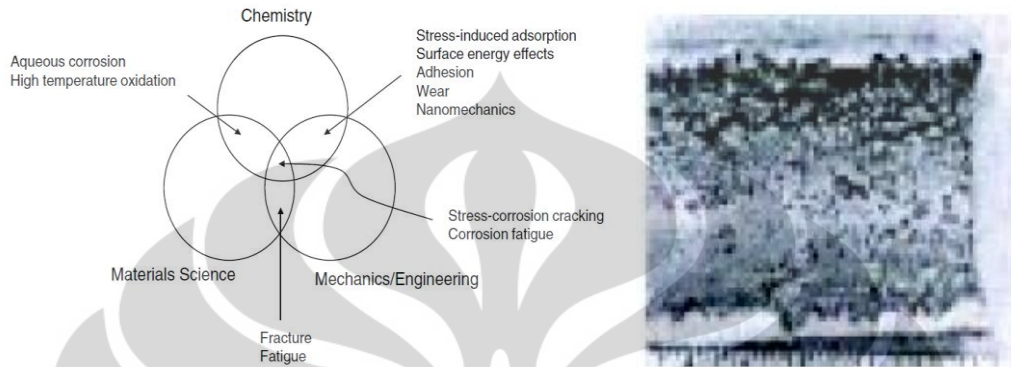


Gambar 2.3. Mekanisme propagasi korosi celah^[42].

2.1.4. Korosi Retak Tegang

Yaitu korosi 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 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. a) faktor penting penyebab SCC. b) bentuk kerusakan SCC^[40-41].

2.2. Air Formasi (*Connate Water*)

Air formasi merupakan air limbah hasil pengeboran minyak bumi yang banyak mengandung garam serta dapat digunakan untuk berbagai keperluan, misalkan kandungan KCl untuk bahan pupuk^[43]. Air merupakan unsur penting di dalam reservoir minyak, karena air menentukan terakumulasinya minyak bumi di dalam reservoir^[44]. 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.

Susunan kimia air formasi berbeda dari lapangan minyak yang satu dengan lapangan yang lain. Jika dibandingkan dengan air laut, biasanya terdapat perbedaan yang khas yaitu tidak adanya sulfat di dalam air formasi, serta kadar klorida pada umumnya jauh lebih tinggi dari lingkungan lainnya^[45].

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^[45].

2.3. Baja API 5L

Baja yang digunakan dalam perpipaan industri *oil & gas* adalah API 5L, *American Petroleum Institute*, dengan berbagai grade, mengikuti kekuatan mekanis nya, akibat dari komposisi kimianya^[46-47]. Tabel 2.1 menampilkan *yield strength* dan *mechanical strength* dari berbagai grade baja API 5L, dimana semakin tinggi gradenya, maka semakin tinggi nilai kekuatannya. Perbedaan karakteristik performa baja ini dapat disebabkan oleh sifat batas butir dan juga presipitasi karbon nitrida^[48-50].

Tabel 2.1. Sifat mekanis dari berbagai baja API 5L^[51].

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*^[52], yang dilakukan menggunakan proses *submerged arc welding*. Jenis baja ini adalah *High Strength Low Alloy (HSLA)*^[53], dimana 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*^[54].

Dalam proses produksinya, baja tersebut di *hot rolled* pada temperatur tinggi ketika memiliki struktur kristal *austenite* (γ) yang diikuti dengan pendinginan yang relatif cepat^[55]. Selama pendinginan cepat, *austenite* sebagian berubah menjadi *proeutectoid ferrite* (α) dan *austenite* (γ) yang tersisa berubah menjadi *pearlite*, yang menyebabkan struktur mikronya menjadi *proeutectoid*

ditambah *pearlite*. Pearlite terdiri atas *pearlitic ferrite* dan *cementite*^[56-57]. Karakteristik baja ini lebih lanjut diatur dalam ASTM A53^[58].

2.4. 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^[17-18]. *Scaling* adalah presipitasi padat, bahan *adherent* pada permukaan logam dan bahan lainnya^[59]. 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^[60-64]. Gambar 2.5 menunjukkan pembentukan kerak pada *tubing* yang tentu saja akan menyebabkan *flow restriction* serius.



Gambar 2.5. Pembentukan Scale pada Tubing^[65].

Pembentukan kerak dapat dipengaruhi oleh perubahan temperatur, tekanan, pH, dan tekanan parsial $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ ^[66-67]. Kerak yang umum terbentuk di lingkungan *oilfield* yaitu Kalsium Sulfat (CaSO_4), Kalsium Karbonat (CaCO_3), Barium Sulfat

(BaSO₄), Stronsium Sulfat (SrSO₄), Besi Karbonat (FeCO₃), dan Besi Hidroksida^[68]. Tabel 2.2 mendefinisikan kerak yang umum terbentuk bersama variabel primer yang mempengaruhi kelarutannya.

Tabel 2.2. Scale paling umum di *oilfield*^[69].

Name	Chemical Formula	Primary Variabel
Calcium Carbonate	CaCO ₃	Partial Pressure of CO ₂ , temperature, total dissolved salts, pH.
Calcium Sulfate: Gypsum Hemihydrate Anhydrite	CaSO ₄ .2H ₂ O. CaSO ₄ .1/2H ₂ O. CaSO ₄ .	Temperature, total 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.

2.5. Saturation Index

Untuk mengetahui apakah suatu media air bersifat korosif atau tidak biasanya dilihat dari besarnya nilai *Langelier Saturation Index*^[70] (LSI) dan *Ryznar Stability Index*^[71] (RSI). Dari besaran LSI dan RSI dapat diketahui apakah suatu air tersebut bersifat korosif atau *balanced*^[72]. 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^[73].

2.5.1. 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*^[74-75]. LSI adalah indikator yang paling banyak digunakan untuk potensial kerak air^[76-77]. 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^[78]. LSI secara sederhana mengindikasikan *driving force* untuk pembentukan dan pertumbuhan kerak dengan pH sebagai variabel utamanya. LSI dapat ditulis dengan persamaan^[79]:

$$LSI = pH - pH_s \quad (2.1)$$

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 (dibawah -1.5), maka tidak berpotensi membentuk kerak dan air akan melarutkan $CaCO_3$. Jika nilai LSI positif (diatas 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^[80].

2.5.2. Ryznar Stability Index (RSI)

Dalam upaya untuk mengamankan indeks kuantitatif, Ryznar (1944) 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^[81]:

$$RSI = 2pH_s - pH \quad (2.2)$$

RSI didasarkan pada korelasi data empiris berbasis ketebalan *scale* yang diamati dalam sistem air ke kimia air^[82]. 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 2.3.

Tabel 2.3. Interpretasi Ryznar Stability Index (RSI)^[82].

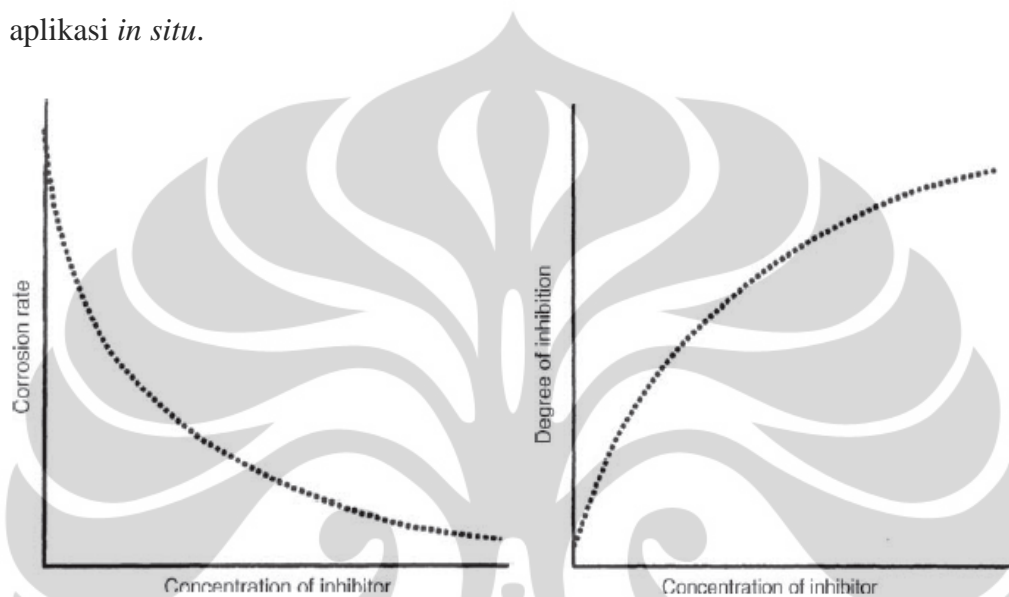
Nilai RSI	Indikasi
4.0 – 5.0	<i>Severe scalling</i>
5.0 – 6.0	<i>Moderate to slight scalling</i>
6.0 – 7.0	<i>Stable water, slight tendency for dissolving of scale</i>
7.0 – 7.5	<i>Dissolving of scale, corrosive</i>
7.5 – 9.0	<i>Intense dissolving of scale and corrosion</i>
>9.0	<i>Very intense dissolving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

2.6. 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^[83]. 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 6 a dan b. Gambar 6a menunjukkan hubungan antara konsentrasi inhibitor dan laju korosi, dimana laju korosi menurun dengan peningkatan konsentrasi inhibitor. Gambar 6b menunjukkan hubungan antara konsentrasi inhibitor dan derajat inhibisi, dimana peningkatan konsentrasi akan meningkatkan derajat inhibisi. Hubungan ini

dipelajari oleh sieverts dan leug, dan Gambar tersebut mirip dengan *adsorption isotherms*^[84]. Inhibitor korosi menurunkan laju korosi dengan berbagai cara, seperti yang dinyatakan Rani & Basu, (2012)^[85], diantaranya: adsorpsi ion/molekul ke permukaan logam, meningkatkan atau menurunkan reaksi anodik dan/atau katodik, menurunkan laju difusi reaktan menuju permukaan logam, menurunkan ketahanan elektrik permukaan logam, dan memiliki keuntungan aplikasi *in situ*.



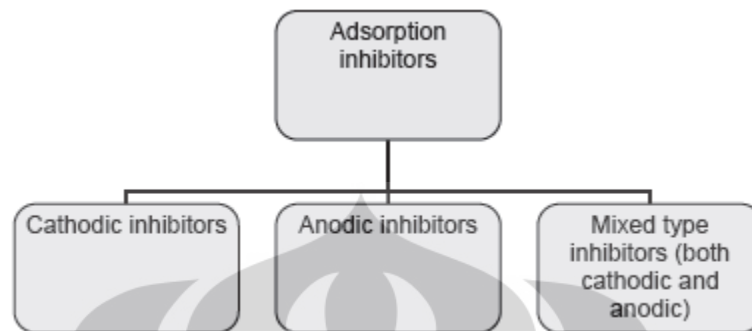
Gambar 2.6. a) laju korosi sebagai fungsi konsentrasi inhibitor. b) efisien inhibitor sebagai fungsi konsentrasi inhibitor^[84].

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.

2.6.1. Klasifikasi Inhibitor Korosi

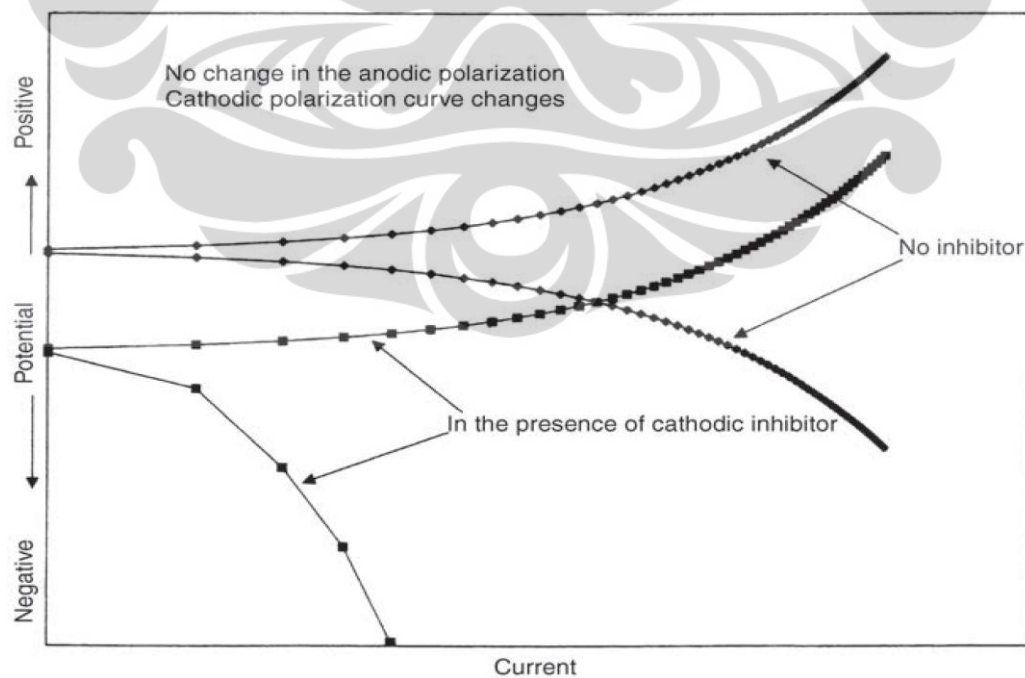
Snavely & Hackerman, (1970)^[86] membagi inhibitor dalam beberapa kelas, yaitu: *passivators*, *precipitators*, *vapor phase*, *cathodic*, *anodic*, *neutralizing*, dan *absorbants*. Sedangkan inhibitor korosi organik/adsorpsi dapat diklasifikasikan sebagai anodik, katodik, atau keduanya. Klasifikasi inhibitor organik/adsorpsi

dilihat dari reaksi pada permukaan logam dan bagaimana potensial logam dipengaruhi.



Gambar 2.7. Klasifikasi Inhibitor Organik/Adsorpsi^[84].

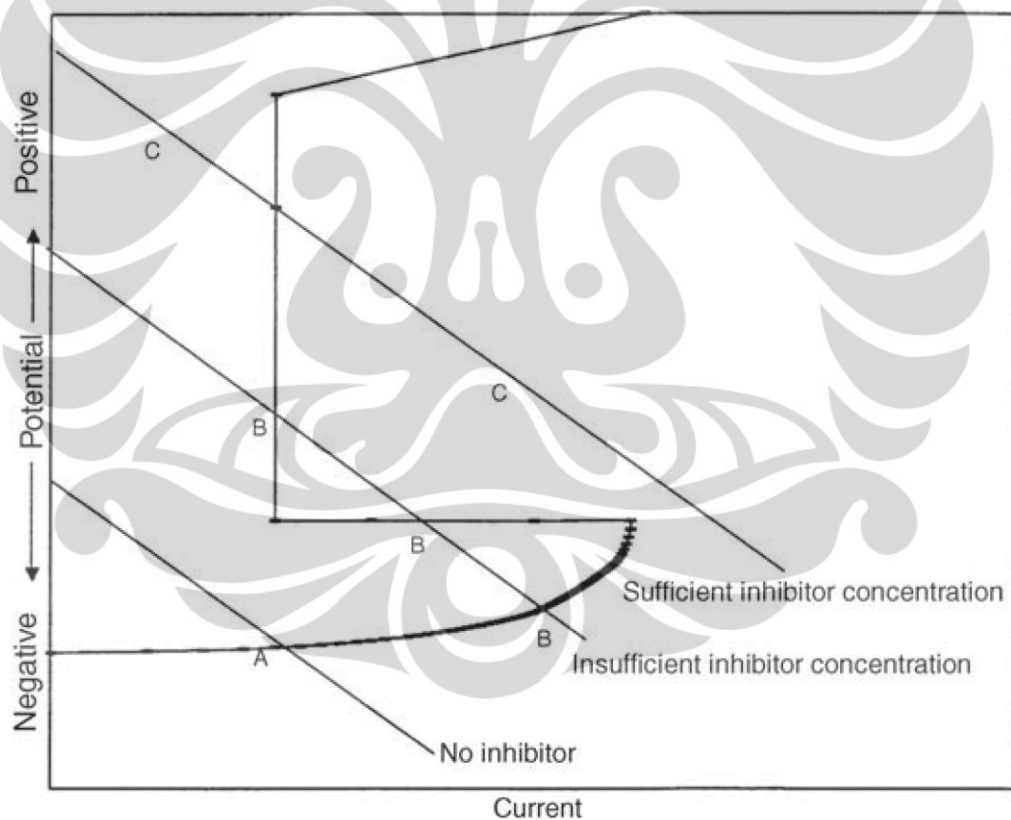
Inhibitor katodik menghambat evolusi hidrogen pada larutan asam atau mereduksi oksigen pada larutan netral atau alkali. Inhibitor katodik juga diteliti dimana *branch* katodik pada kurva polarisasi terpengaruh ketika inhibitor katodik ditambahkan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8. Terdapat perbedaan jarak pada *branch* katodik pada sistem terinhibisi dan tidak terinhibisi^[87]. 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^[87].

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, memblok 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.

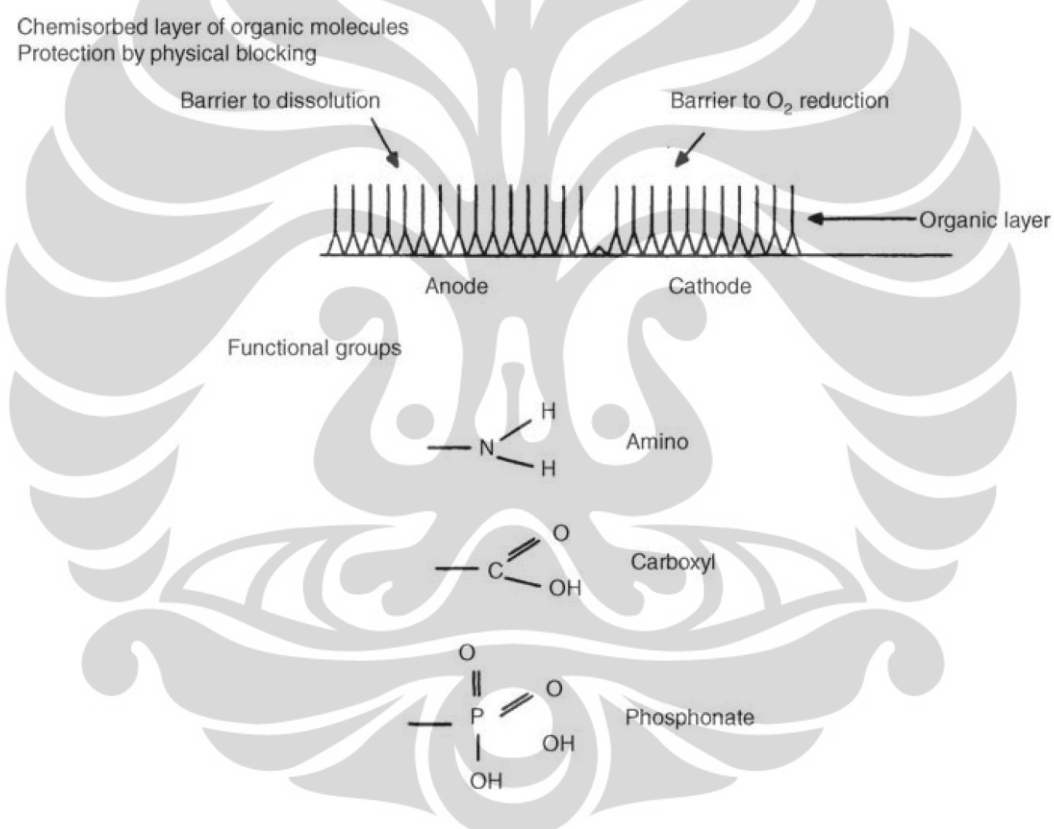


Gambar 2.9. Diagram polarisasi aktif-pasif logam menunjukkan pengaruh arus pada konsentrasi inhibitor anodik^[87].

Gambar diatas 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^[84].

2.6.2. Green Corrosion Inhibitors

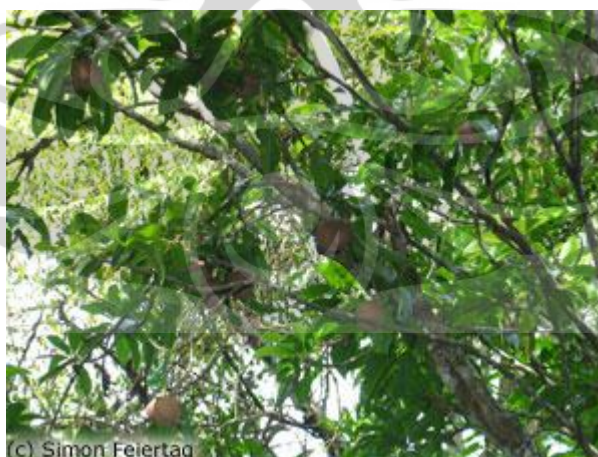
Penggunaan inhibitor korosi adalah cara yang efektif untuk mengisolir logam dari bahan korosi untuk mencegah korosi elektrokimia^[4-7]. Umumnya inhibitor korosi berasal dari senyawa organik dan anorganik, namun beberapa diantara inhibitor tersebut beracun, *non-biodegradable*, dan mahal untuk

disintesis^[9]. 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^[88].

Bedasarkan 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^[10].

2.7. Buah Sawo (*Manilkara Zapota*)

Sawo adalah tanaman tropis yang ketinggiannya mencapai 10-20 m, dan tersebar dari Meksiko Tengah menuju Yucatan Peninsula dan Amerika Tengah^[18]. Sawo merupakan spesies co-dominan di hutan cemara tinggi dan hutan sub gugur menengah-tinggi^[89-91]. Beberapa produk non-kayu diperoleh dari spesies ini, seperti lateks, yang digunakan untuk produksi permen karet. Buahnya dikumpulkan dalam pekarangan yang biasanya dijual oleh keluarga setempat, dan daun memiliki sifat obat^[92].



Gambar 2.11. Pohon Sawo (*Manilkara Zapota*)^[93].

Sawo dapat menghasilkan bunga dan buah-buahan sepanjang tahun, meskipun terjadi penurunan cukup besar selama musim kering (Desember-Mei) dan sangat reproduktif pada musim hujan (Juni-Oktober)^[94].

2.7.1. Aktivitas Antioksidan

Konsumsi buah dan sayuran dikaitkan dengan penurunan jumlah penyakit degeneratif, salah satunya karena antioksidan, yang dapat menginhibisi atau memperlambat oksidasi substrat *oxidisable* dalam reaksi berantai^[95]. M. Kaneria, et. al. (2012)^[21] dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa Sawo memiliki level antioksidan yang tinggi. Leong & Shui (2002)^[22] dalam penelitiannya mendapatkan bahwa Sawo memiliki kadar antioksidan yang ekstrim tinggi dibandingkan 26 buah penelitian lainnya. Sehingga Sawo memiliki potensi yang sangat besar untuk diteliti sebagai inhibitor korosi, dan beberapa parameter penting dari antioksidan adalah *Total Phenolic Content* (TPC) dan *Hydrophilic Oxygen Radical Absorbance Capacity* (H-ORAC).

M. Isabelle, et. al. (2010)^[23] melakukan penelitian aktivitas antioksidan terhadap 38 buah di Singapura, dimana Sawo memiliki H-ORAC dan TPC paling tinggi dibandingkan buah-buahan lainnya. Perbandingan H-ORAC dan TPC Sawo sangatlah rendah, yaitu 3,04. Rasio perbandingan yang rendah antara H-ORAC dan TPC menyiratkan bahwa senyawa fenolik adalah kontributor utama dari aktivitas antioksidan Sawo. Temuan ini juga diusulkan oleh Shui, Wong, & Leong. (2004)^[20]. Tabel 2.4 membandingkan efisiensi inhibisi beberapa buah-buahan, dibandingkan dengan TPC dan H-ORAC nya.

Tabel 2.4. Perbandingan Aktivitas Antioksidan dan Efisiensi Inhibisi Beberapa Buah^[6,23,96-98].

Buah	H-ORAC (μmol TE/g FW)	TPC (mg GAE/ g FW)	$\frac{H - ORAC}{TPC}$	Eff. Inhibisi (%)	Keterangan
Banana	9,77	2,17	4,50	71	<i>Peal</i> , H ₂ SO ₄ , Mild Steel
Mangosteen	19,20	2,69	7,14	88,14 – 97,45	<i>Pericarp</i> , HCl, Mild Steel
Orange	21,94 – 26,19	1,38-1,59	15,89 – 16,47	25,8 – 88,1	HCl 1M, Mild Steel

Sapodilla	48,47	15,94	3,04	-	Kulit, Air Formasi, API 5L
-----------	-------	-------	------	---	----------------------------------

Berdasarkan perbandingan Tabel diatas, dapat diperkirakan bahwa Sawo dapat digunakan sebagai inhibitor korosi, dengan memberikan efisiensi inhibisi yang baik.

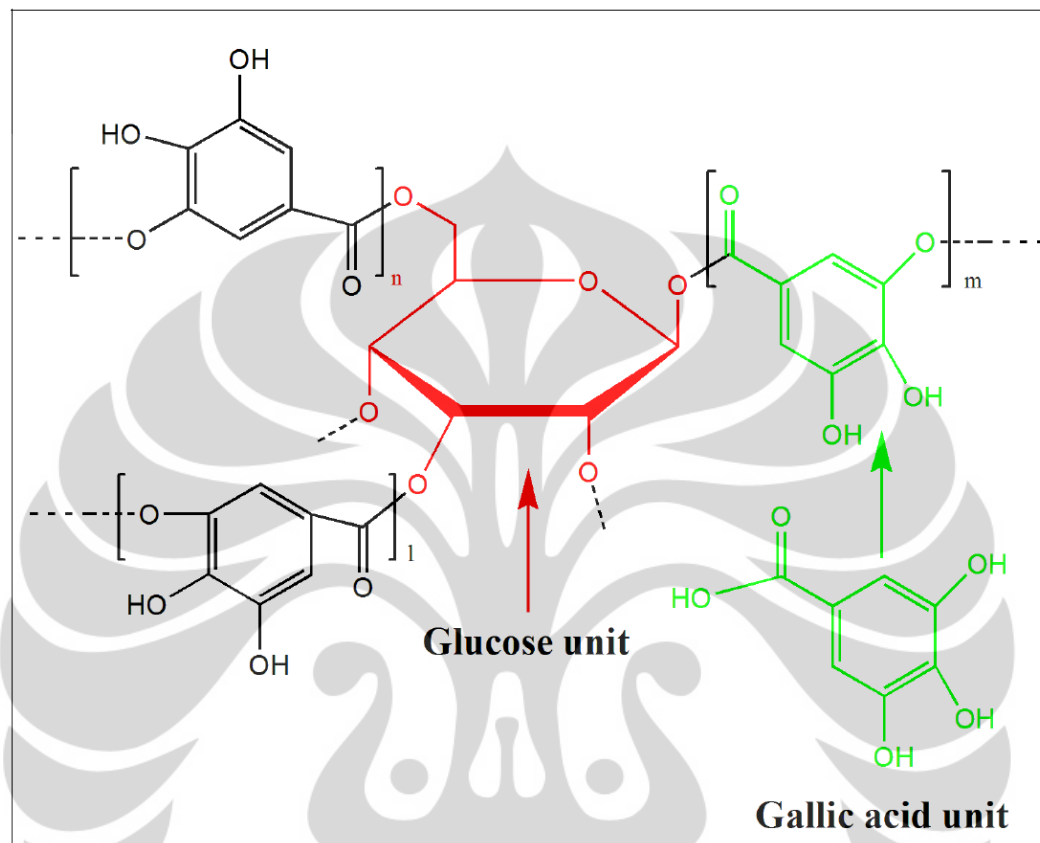
2.7.2. Senyawa *Tannin*

K.S. Jamuna, et. al. (2011)^[99] dalam penelitiannya ditemukan bahwa Sawo mengandung *Tannin* dan Polifenol. T. Ahmed, et. al. (2011)^[24] menyatakan bahwa sawo mengandung *moisture* sebesar 69,0% - 75,7%, asam askorbat sebesar 8,9 - 41,4 mg/100g, total asam 0,09 - 0,15%, pH diantara 5,0 - 5,3, *total soluble solids* 17,4° - 23,7°, dan kandungan *tannin* yang bervariasi antara 3,16 - 6,45% karena dari kulitnya.

Nama '*Tannin*' berasal dari bahasa perancis '*Tanin*' (zat *Tanning*) dan digunakan untuk berbagai polifenol alami^[100]. Sejak zaman kuno diketahui bahwa zat organik tertentu memiliki sifat *tanning*. *Tannin* merupakan molekul besar dengan berat molekul 500-3000 kD^[101]. *Tannin* merupakan senyawa yang dapat larut dalam air, gliserol, alkohol, dan hidroalkohol, tetapi tidak dapat larut dalam petroleum eter, benzene dan eter, terdekomposisi pada suhu 210°C, titik nyala 210°C, dan terbakar pada suhu 526°C^[102-103]. Gambar 12 menunjukkan struktur dari *tannin*, dimana terdapat senyawa aromatik dalam rantai kimia tersebut. Komponen dasar *Tannin* adalah glukosa, asam *gallic*, asam *ellagic*, dan *flavanoid*^[104].

Tannin, senyawa polifenol alami yang tidak beracun dan *biodegradable*, diaplikasikan dalam formulasi *solvent* dan *waterbone pre-treatment*, diekstrak dari sumber tanaman yang telah digunakan sebagai inhibitor korosi dalam media *aqueous*^[36,105]. Secara umum, *Tannin* dibedakan atas *condensed* dan *hydrosable*^[106-109]. Contoh dari *condensed tannin* adalah *mangrove*, *quebracho*, dan *mimosa* yang mengandung oligomer dan *flavanoid*. Sedangkan contoh *hydrolysable tannin* adalah *chestnut* yang tersusun atas gula (umumnya glukosa)

dan asam gallic^[110]. Senyawa *hydrolysable tannin*, yaitu *chestnut*, memiliki struktur yang lebih beragam dari mimosa dan beberapa penelitian dilakukan untuk menentukan struktur dan jumlah relatif dari masing-masing konstituennya.



Gambar 2.12. Struktur Molekul Tannin^[111].

Aplikasi tanin dalam bidang korosi sudah digunakan cukup luas, seperti pada bidang *paints*, *adhesives* dan *coating*^[112]. X. Chen, et. al. (2008)^[26] melakukan studi terhadap tannin yang digunakan sebagai *conversion coating* pada paduan magnesium AZ91D. Tanin juga telah disebut sebagai konverter karat sejak keberadaannya mengubah karat aktif menjadi oksida *non-reactive protective*^[33]. Ross & Francis (1978)^[113] menemukan bahwa tannin mempercepat pembentukan fasa *magnetite* sebagai lapisan antikorosi. Sifat *protective* didapatkan dari reaksi komponen polifenol dari molekul tanin dengan ion *ferric* sehingga membentuk jaringan *cross-linked* padat yaitu *ferric-tannates*^[114].

Tannin telah digunakan selama bertahun-tahun sebagai inhibitor korosi dalam berbagai bentuk, sebagai bahan *surface treatment* logam, *oxygen scavengers*, atau pembentuk film^[27]. Studi tanin sebagai inhibitor korosi telah dilakukan, dengan

tanaman *Rhizophora Apiculata*, mampu menurunkan laju korosi pada material baja ringan dan tembaga^[106,115]. P.O. Ameh, et. al. (2012)^[116] menemukan bahwa tannin melakukan mekanisme adsorpsi dengan membentuk layer pada permukaan *mild steel*. Sehingga adsorpsi pembentukan lapisan pasif merupakan perkiraan mekanisme inhibisi dari Sawo.

2.8. Metode Pengukuran Laju Korosi

Terdapat berbagai macam metode pengukuran laju korosi. Pada penelitian kali ini, yang akan digunakan serta dibahas yaitu metode polarisasi elektrokimia dan metode hukum faraday.

2.8.1. Metode Polarisasi Elektrokimia

Polarisasi elektrokimia (atau yang sering dikenal dengan polarisasi) merupakan perubahan potensial akibat mengalirnya arus^[41]. 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:

$$n = E - E_0 \quad (2.3)$$

Dimana E adalah potensial elektroda untuk sejumlah kondisi aliran arus, dan E_0 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^[117] yaitu:

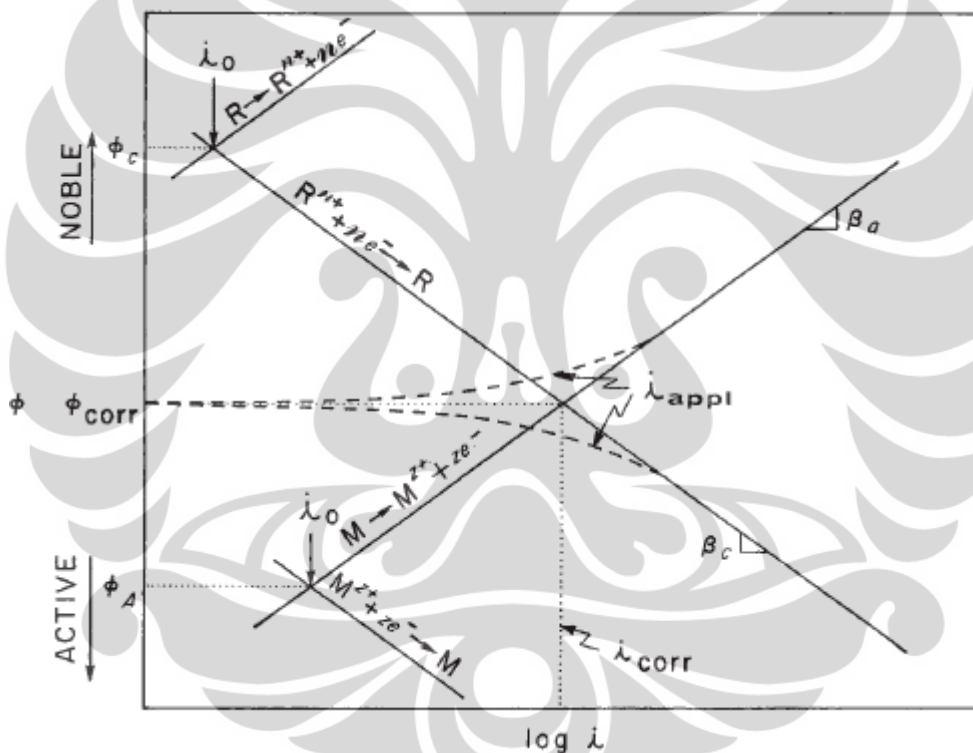
$$i_{reaction} = i_0 \left\{ \exp \left(-\beta \frac{nF}{RT} n_{reaction} \right) - \exp \left((1 - \beta) \frac{nF}{RT} n_{reaction} \right) \right\} \quad (2.4)$$

Dimana $i_{reaction}$ 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:

$$n = a \pm b \log|i| \quad (2.5)$$

Dimana b merupakan kemiringan dari reaksi anodik dan katodik, tanda (+) untuk potensial lebih anodik, sedangkan tanda (-) untuk potensial lebih katodik. Selain menggunakan persamaan diatas, dapat digunakan metode ekstrapolasi tafel untuk mendapatkan potensial korosi (E_{corr}), arus korosi (I_{corr}), dan kemiringan tafel seperti yang dilihat pada Gambar 13 berikut ini.



Gambar 2.13. Kurva Polarisasi yang menunjukkan ekstrapolasi Tafel^[118].

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

$$\%I = \frac{CR_{unh} - CR_{inh}}{CR_{unh}} \times 100\% \quad (2.6)$$

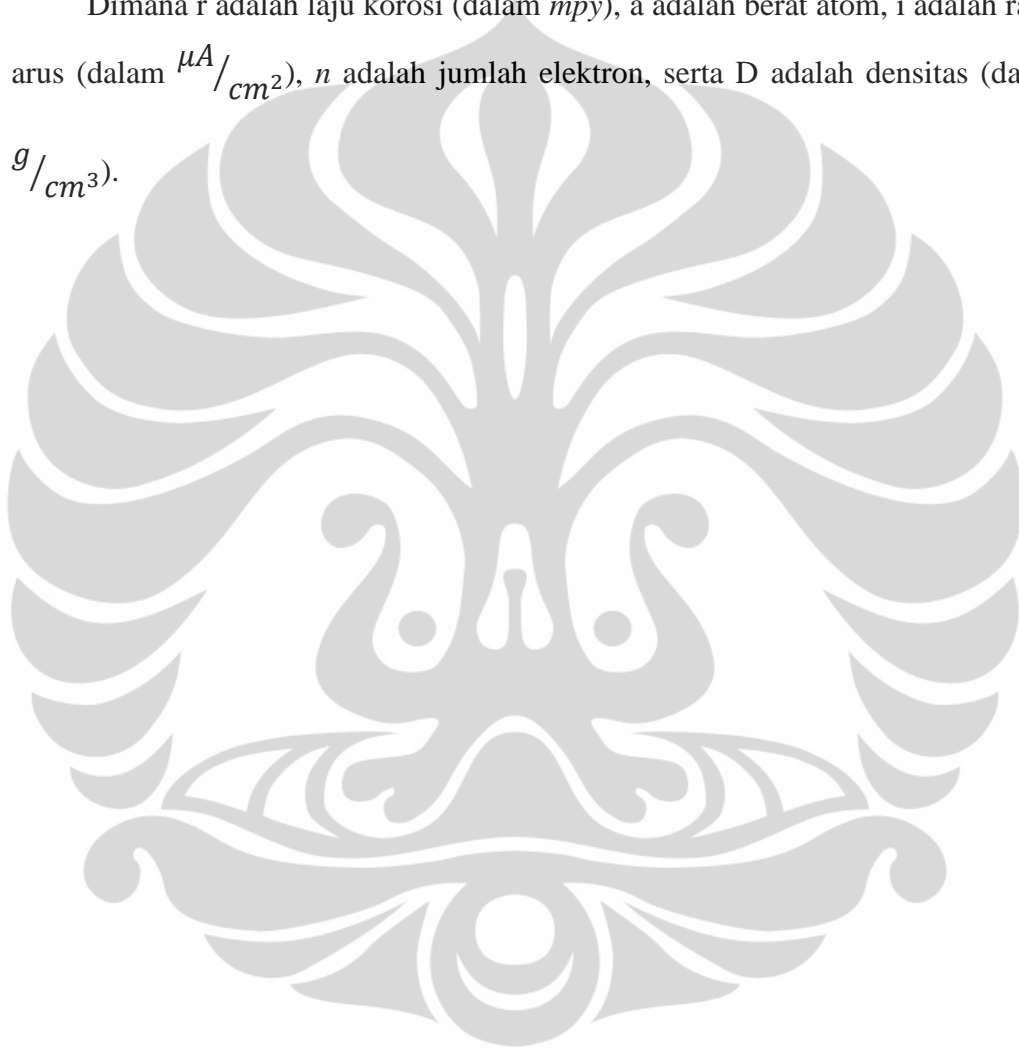
Dimana CR_{unh} adalah laju korosi blanko, sedangkan CR_{inh} adalah laju korosi dengan penambahan ekstrak kulit sawo/ inhibitor kimia.

2.8.2. Metode Hukum Faraday

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

$$r = 0,129 \frac{ai}{nD} \text{ (in mpy)} \quad (2.7)$$

Dimana 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).

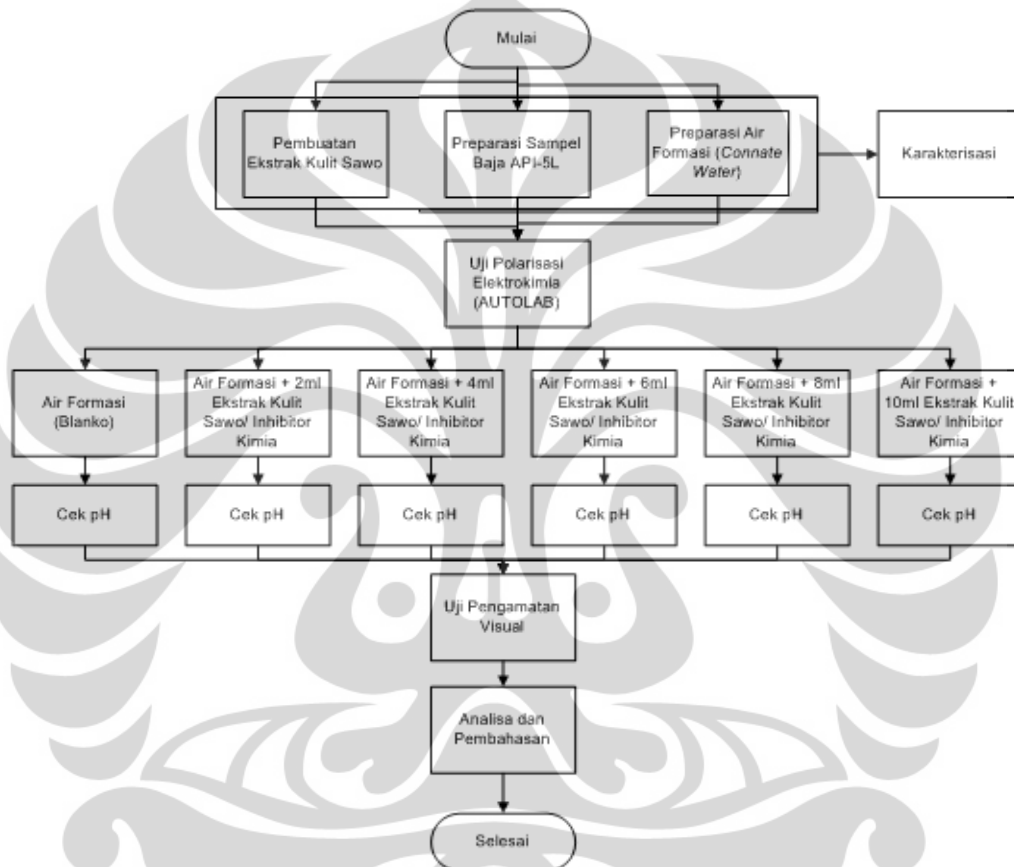


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Kerangka metode penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1 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

1. AUTOLAB PGSTAT.
2. Perkin Elmer Spectrum 2.
3. Elektroda Standar Ag/AgCl.

4. Multimeter dan pH meter digital.
5. Mesin dan Kertas Amplas, Gunting, *Double Tip*, *Hair Dryer*.
6. Kamera, Kain bekas.
7. Beaker Glass, Alat Solder.

3.2.2. Bahan

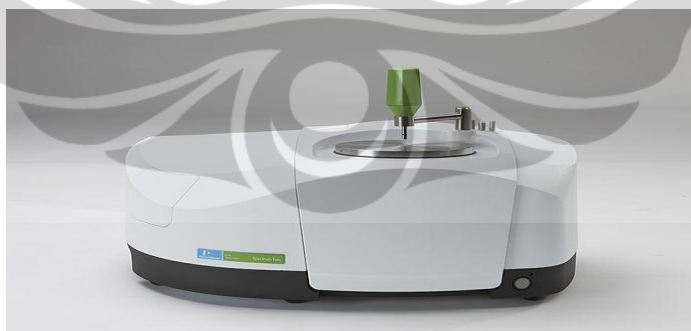
1. 1,1 Kg buah sawo.
2. Inhibitor kimia X.
3. Air Tawar.
4. Baja API-5L, dimensi: diameter 1 cm, tebal 7 mm.
5. Resin + Hardener.
6. Kabel listrik.
7. Air Formasi.

3.3. Prosedur Kerja

Terdapat berbagai prosedur kerja dalam penelitian ini, diantaranya:

3.3.1. Prosedur Karakterisasi Gugus Fungsi FTIR

Prosedur karakterisasi menggunakan Perkin Elmer Spectrum 2, pada interval panjang gelombang 4500 – 450 cm^{-1} , untuk melihat gugus fungsi aktif pada ekstrak kulit sawo & inhibitor kimia X.



Gambar 3.2. Prosedur Karakterisasi Eks. Kulit Sawo & Inh. Kimia X

3.3.2. Prosedur Ekstraksi Kulit Sawo

1. 0,4 gram kulit sawo diperoleh dari buah sawo seberat 1,1 kg, kemudian dibersihkan dan dijemur selama 2 hari.

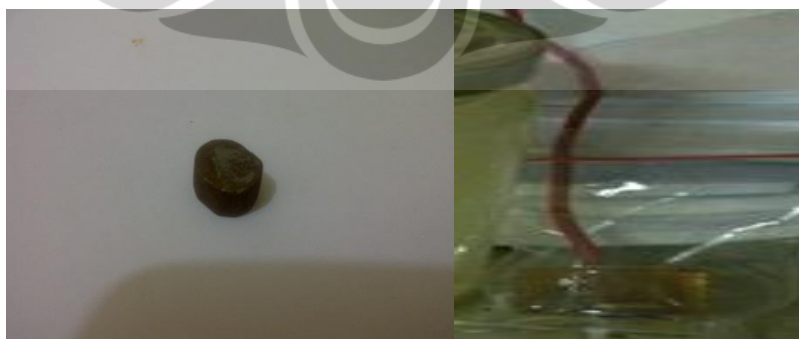
2. Setelah kering, kemudian dimasukkan ke dalam baskom dan direndam dalam air panas 1000ml, dengan temperatur 60-70°C selama 24 jam.
3. Setelah direndam, kulit sawo dipisahkan & air rendaman dimasukkan ke dalam kemasan kaca.



Gambar 3.3. Prosedur Ekstraksi Kulit Sawo.

3.3.3. Prosedur Preparasi Sampel API-5L

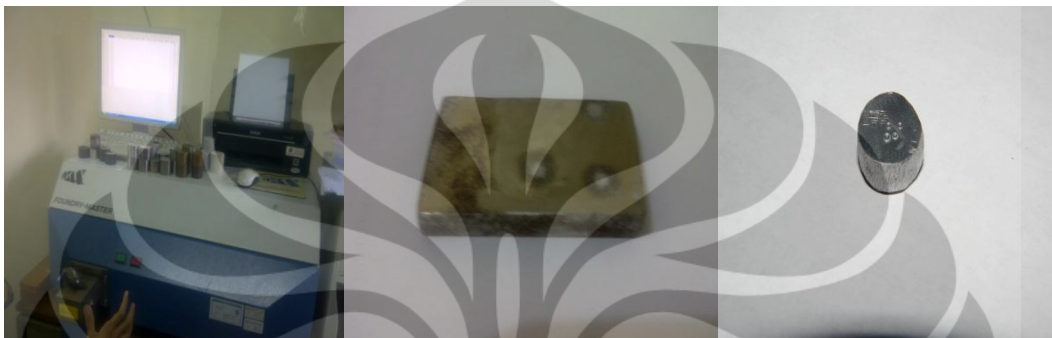
1. Sampel API-5L, dengan diameter 1 cm & tebal 7mm, di gerinda terlebih dahulu untuk membersihkan permukaannya.
2. Siapkan kabel listrik, kemudian solder sampel untuk membuat kabel dan sampel tersambung & terkait, gunakan multimeter untuk memastikan sampel dan kabel telah terpasang.
3. Mounting sampel yang telah terpasang kabel untuk mempermudah pegangan, dengan menggunakan resin + hardener untuk mempercepat mounting cepat mengeras.
4. Setelah mounting selesai, bersihkan permukaan dengan kertas amplas berukuran #240 dan #600 untuk membersihkan permukaan sampel polarisasi, sesuai dengan ASTM G5 – 94^[120].



Gambar 3.4. Preparasi Sampel Polarisasi API-5L.

3.3.4. Prosedur Karakterisasi Komposisi Kimia & Kekerasan Sampel API-5L

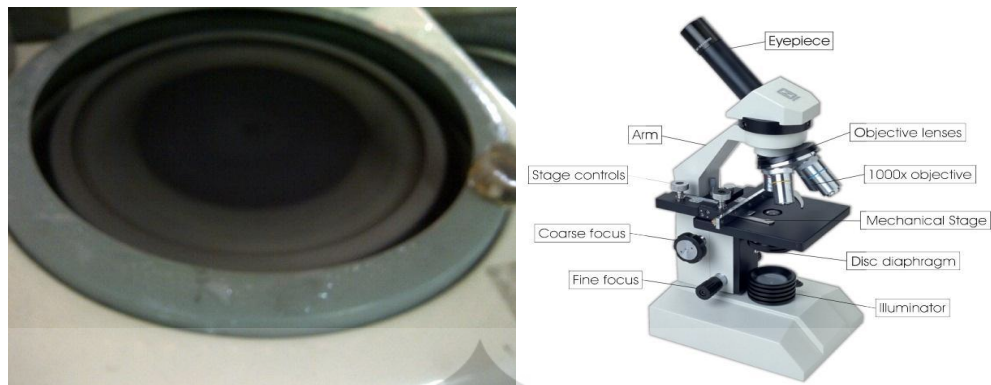
Karakterisasi API-5L dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia material tersebut, menggunakan Optical Emission Spectroscopy (OES) di CMPFA, DTMM-FTUI. Sedangkan untuk mendapatkan nilai kekerasan sampel, menggunakan alat uji *rockwell* di PT. FSCM Indonesia.



Gambar 3.5. Preparasi Karakterisasi Komposisi Kimia & Kekerasan Sampel API-5L.

3.3.5. Prosedur Karakterisasi Mikrostruktur Sampel API-5L

1. Sampel API-5L yang berukuran sama dengan sampel polarisasi, dipersiapkan dengan di gerinda untuk pembersihan permukaan awal.
2. Mounting sampel dengan menggunakan resin + hardener untuk mempercepat mounting cepat mengeras.
3. Mengamplas sampel dengan ukuran #120, #220, #400, #600, #1000, dan #1500, dengan perbedaan arah sampel pada setiap pergantian kertas amplas.
4. Memoles sampel, menggunakan bubuk alumina + kain beludru, sampai goresan bekas amplas menghilang.
5. Sampel di etsa, menggunakan Nital 2% untuk melihat struktur fasa, dan Picral 3% untuk melihat ukuran butir sampel, kemudian dibersihkan dengan air serta dikeringkan menggunakan *hair dryer*.
6. Melihat mikrostruktur sampel, menggunakan mikroskop optik, dengan perbesaran 200x dan 500x.
7. Prosedur preparasi sampel ini diatur dalam ASTM G1-03^[121].



Gambar 3.6. Prosedur Karakterisasi Mikrostruktur API-5L.

3.3.6. Prosedur Preparasi Air Formasi

1. Menyaring air formasi dari pengotor, menggunakan kain bekas dengan ditampung sementara menggunakan *beaker glass*.
2. Memindahkan air hasil saring, dari *beaker glass* ke dalam jerigen air dengan bantuan corong.

3.3.7. Prosedur Karakterisasi Air Formasi

Karakterisasi Air Formasi dilakukan di SUCOFINDO *Laboratory*, untuk menentukan nilai alkalinitas, hidroksida, kalsium sebagai CaCO_3 , klorida, oksigen terlarut, minyak & lemak, pH, sulfat, temperatur, dan TDS.

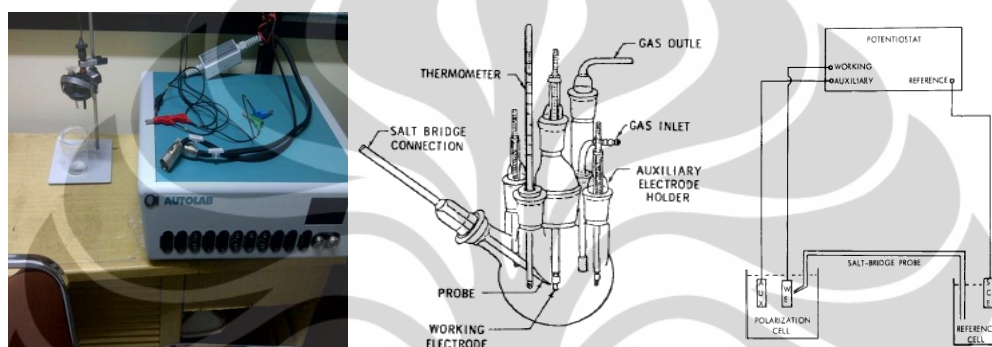


Gambar 3.7. Prosedur Preparasi Air Formasi.

3.3.8. Prosedur Pengujian Polarisasi

1. Memasukkan Air Formasi kedalam labu polarisasi, kemudian membersihkan sampel dengan ukuran kertas amplas #240 dan #600 & diulangi sebelum polarisasi dengan penambahan ekstrak kulit sawo.

2. Mengukur nilai pH sebelum dan sesudah polarisasi, diulangi ketika dengan penambahan ekstrak kulit sawo.
3. Menempatkan elektroda kerja, elektroda bantu dan elektroda *reference* pada labu polarisasi.
4. Memasukkan parameter-parameter polarisasi seperti densitas, luas area sampel, dan laju scan pada software NOVA 1.8.
5. Melakukan hal yang sama untuk *Chemical Inhibitor*.
6. Prosedur pengujian polarisasi *potentiodynamic* merujuk pada ASTM G5^[120].



Gambar 3.8. Rangkaian Alat Pengujian Polarisasi.

3.3.9. Prosedur Pengujian Pengamatan Visual

1. Menyiapkan gelas air mineral kosong, air formasi, ekstrak kulit sawo, dan sampel API 5L.
2. Memasukkan air formasi dan sampel kedalam gelas, kemudian tambahkan ekstrak kulit sawo.
3. Tutup bagian atas gelas dengan kertas, kemudian bagian sisi-sisi gelas dikencangkan menggunakan lem.
4. Diamkan selama 5 hari, kemudian amati hasilnya.



Gambar 3.9. Prosedur Pengujian Pengamatan Visual.

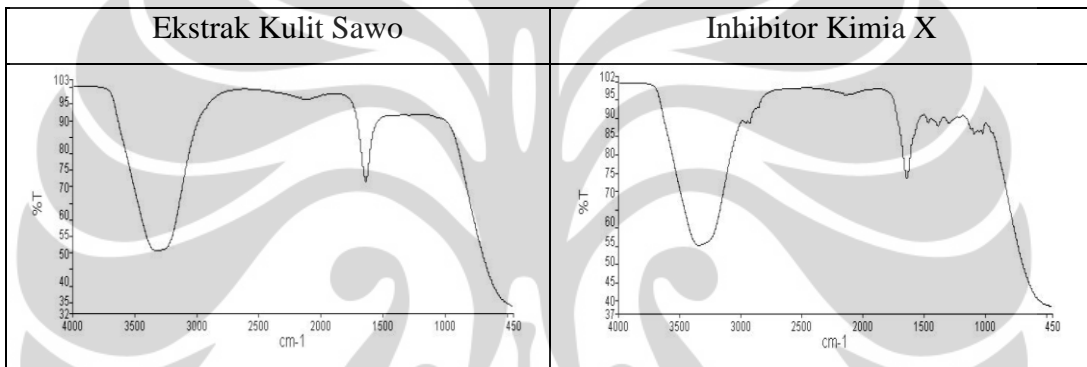
BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengamatan dan Pembahasan Karakterisasi Gugus Fungsi FTIR

Karakterisasi ekstrak kulit sawo dan inhibitor kimia X telah dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi aktif, menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Hasil karakterisasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1. Hasil Karakterisasi Gugus Fungsi Eks. Kulit Sawo & Inh. Kimia X.



Berdasarkan tabel 4.1., dapat dilihat bahwa ekstrak kulit sawo & inhibitor kimia X memiliki kurva dominan pada daerah panjang gelombang antara 3500-3000 cm^{-1} . Berdasarkan literatur, diketahui bahwa alkohol merupakan gugus fungsi yang dapat terdeteksi pada panjang gelombang tersebut. Sehingga dapat disimpulkan, bahwa ekstrak kulit sawo dan inhibitor kimia X didominasi oleh gugus fungsi alkohol.

4.2. Hasil Pengujian dan Pembahasan Karakterisasi Air Formasi

Karakterisasi Air Formasi telah dilakukan untuk mendapatkan nilai alkalinitas, hidroksida, kadar kalsium, kandungan klorida, oksigen terlarut, kadar minyak dan lemak, pH, kandungan sulfat, temperatur air, dan nilai TDS. Hasil karakterisasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.2 dibawah ini.

Perhitungan LSI dan RSI dilakukan berdasarkan data diatas dengan menggunakan *LENNTECH Calculator*^[122]. Untuk perhitungan LSI, didapatkan indeks sebesar 0,38. Berdasarkan P. Melidis, et. al. (2007)^[78], maka kerak akan

terbentuk dan presipitasi CaCO_3 terjadi. Menurut *LENNTECH Calculator*, berdasarkan Langelier (1936) maka air akan jenuh akibat kalsium karbonat dan kerak terbentuk, dan berdasarkan Carrier (1965) maka sedikit kerak terbentuk dan korosif.

Tabel 4.2. 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	$^{\circ}\text{C}$
10	<i>Total Dissolved Solids (TDS)</i>	19218	mg/L

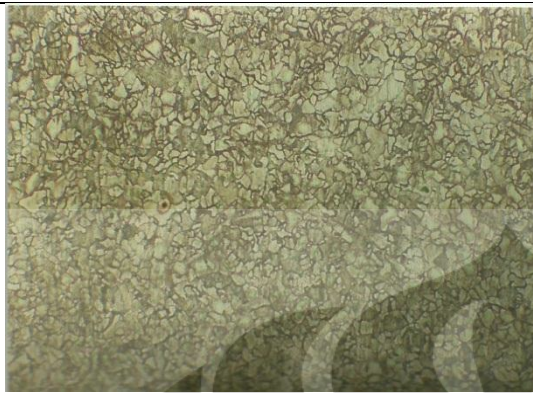
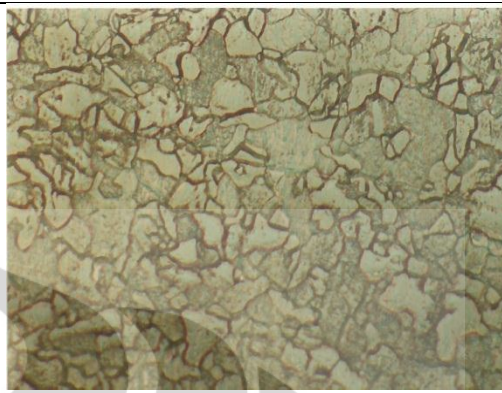
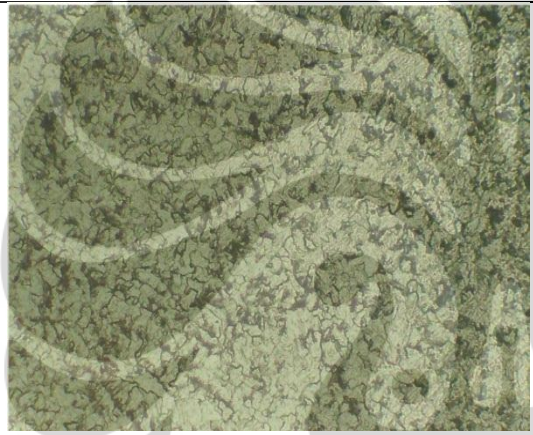
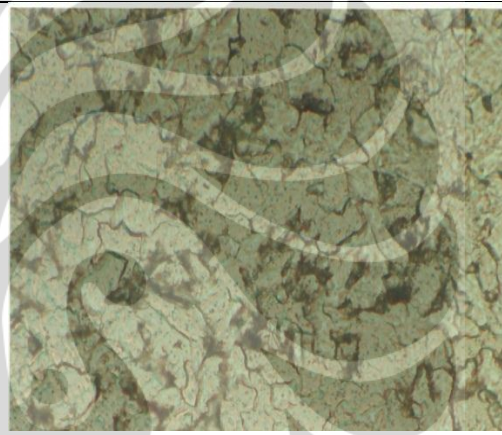
Untuk perhitungan RSI, didapatkan indeks sebesar 6,5. Berdasarkan A.E. El-Rawajfeh, et. al. (2005)^[82], maka air berada dalam kondisi stabil dengan sedikit kecenderungan kerak akan larut. Menurut *LENNTECH Calculator*, berdasarkan Ryznar (1942) maka air dalam kondisi tidak ada kesulitan, serta berdasarkan Carrier (1965) maka air dalam kondisi sedikit kerak atau korosi.

4.3. Hasil Pengujian dan Pembahasan Karakterisasi Baja API-5L

Karakterisasi baja API-5L telah dilakukan untuk mendapatkan nilai komposisi kimia, kekerasan, dan mikrostruktur material. Hasil karakterisasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.3. Hasil Karakterisasi Baja API-5L.

Komposisi	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr
Kimia	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			
							
Etsa: Nital 2-3 %, Perbesaran: 200x				Etsa: Nital 2-3%, Perbesaran: 500x			
							
Etsa: Picral 30%, Perbesaran: 200x				Etsa: Picral 30%, Perbesaran: 500x			

Berdasarkan Tabel 4.3, menurut ASTM A53 – 02^[58], maka komposisi kimia baja tersebut cenderung sesuai dengan spesifikasi *grade A*. Untuk mikrostruktur, didominasi fasa *ferrite* dengan warna cerah dan sedikit fasa *pearlite* dengan warna gelap^[123].

4.4. Hasil Pengamatan dan Pembahasan Laju Korosi

Berdasarkan pengujian polarisasi elektrokimia, didapatkan laju korosi untuk ekstrak kulit sawo & inhibitor kimia X. Hasil pengamatan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.4. serta Gambar 4.1. dibawah ini

Tabel 4.4. Laju Korosi Eks. Kulit Sawo & Inh. Kimia X.

No	Penambahan	Laju Korosi Sawo (mpy)	Laju Korosi X (mpy)
1	Tanpa Inhibitor	8,69	8,69

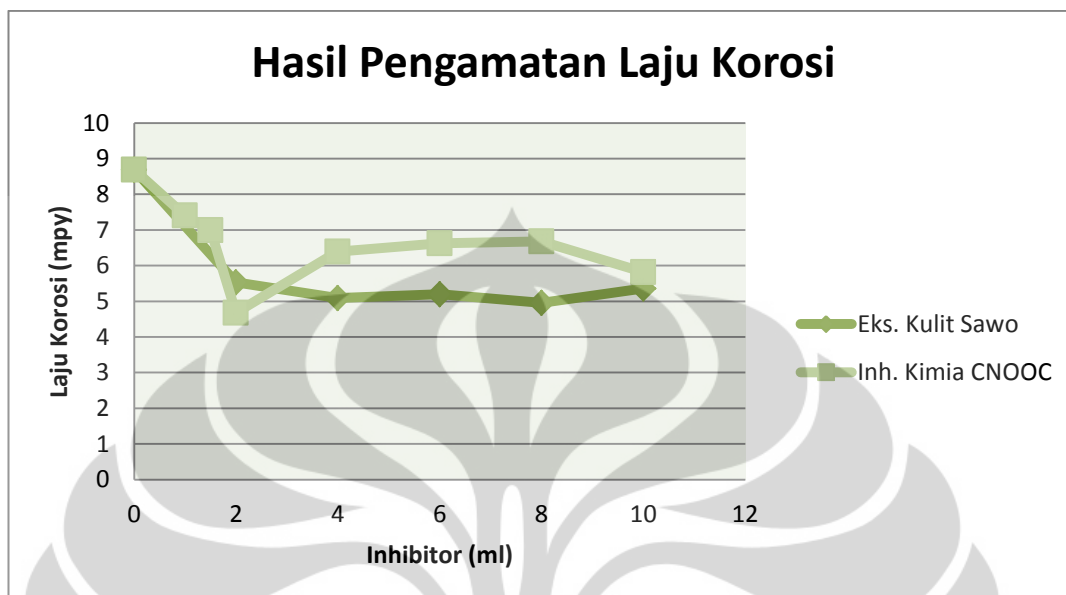
2	1ml	-	7,40
3	1,5ml	-	6,99
4	2ml	5,53	4,68
5	4ml	5,09	6,39
6	6ml	5,19	6,62
7	8ml	4,95	6,68
8	10ml	5,36	5,82

Laju korosi mengalami penurunan dengan penambahan ekstrak kulit sawo dan inhibitor kimia X. Penurunan optimum untuk ekstrak kulit sawo yaitu pada 8ml, sedangkan untuk inhibitor kimia X yaitu pada penambahan 2ml. Berdasarkan Gambar 4.1, terlihat penurunan laju korosi menggunakan ekstrak kulit sawo lebih stabil dibandingkan dengan inhibitor kimia X. Menurut M.G. Fontana, (1986)^[124], penambahan ekstrak kulit sawo 8ml membuat ketahanan korosi meningkat dari *good* hingga *excellent*, begitu juga inhibitor kimia X 4ml.

Penurunan laju korosi dengan penambahan unsur *tannin* (terdapat pada kulit sawo) telah ditemukan oleh sejumlah peneliti. M. Oki, et. al. (2011)^[125] dalam percobaannya menemukan penurunan laju korosi sesuai dengan jumlah penambahan senyawa *tannin*. Dijelaskan menggunakan pendekatan *Langmuir isotherm*, bahwa tidak ada interaksi molekul adsorpsi pada permukaan. Berdasarkan pendekatan *Temkin* dan *Frumkin*, diasumsikan pengaruh *multiple layer* dan beberapa interaksi antara molekul di permukaan masing-masing. Penurunan laju korosi juga didapatkan pada paduan aluminium dengan menggunakan *tannin*^[112].

Penambahan inhibitor korosi kimia mampu menurunkan laju korosi^[126-128]. Penurunan laju korosi yang tidak stabil juga ditemukan oleh E.S. Meresht, et. al. (2012)^[129], 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. Menurut M. Bouklah, et. al. (2006)^[130], laju korosi yang kembali meningkat akibat kapasistas

gugus fungsi untuk teradsorpsi pada permukaan baja sudah maksimum, dan tidak dapat membentuk lapisan lindung yang stabil.



Gambar 4.1. Grafik Hasil Pengamatan Laju Korosi.

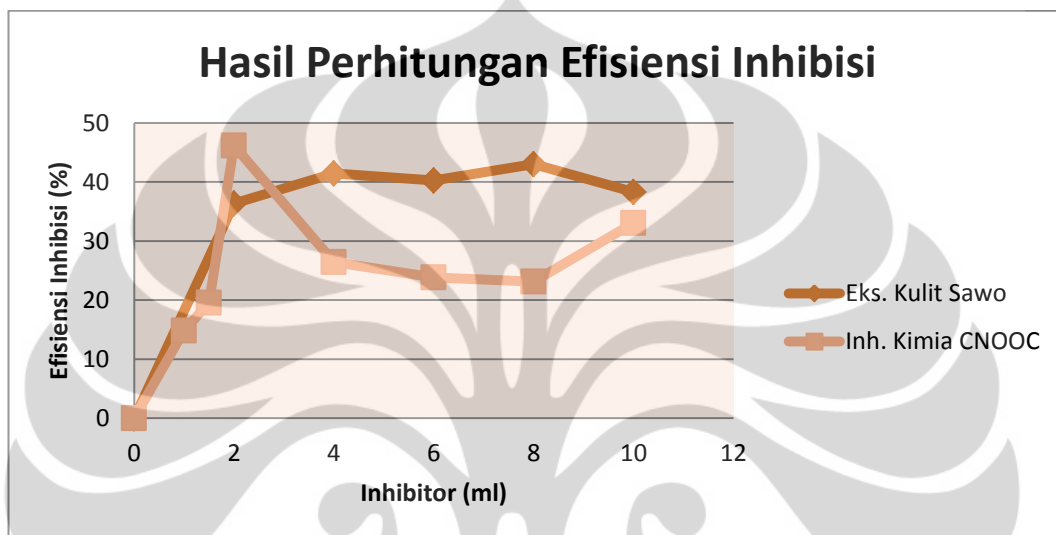
4.5. Hasil Perhitungan dan Pembahasan Efisiensi Inhibisi

Berdasarkan pengujian polarisasi elektrokimia, dilakukan perhitungan efisiensi inhibisi terhadap penambahan ekstrak kulit sawo & inhibitor kimia X. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.5. Efisiensi Inhibisi Eks. Kulit Sawo & Inh. Kimia X.

No	Penambahan	Eff. Inhibisi Sawo (%)	Eff. Inhibisi X (%)
1	Tanpa Inhibitor	-	-
2	1ml	-	14,82
3	1,5ml	-	19,56
4	2ml	36,34	46,16
5	4ml	41,47	26,42
6	6ml	40,25	23,82
7	8ml	43,02	23,15
8	10ml	38,32	33,03

Efisiensi inhibisi ekstrak kulit sawo mencapai titik maksimum pada penambahan 8ml, dengan persentase inhibisi yang stabil sebanding dengan penambahan ekstrak kulit sawo. 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^[125].



Gambar 4.2. Grafik Hasil Perhitungan Efisiensi Inhibisi.

Peningkatan efisiensi inhibisi ekstrak kulit sawo juga dialami oleh inhibitor kimia X. Peningkatan konsentrasi inhibitor menyebabkan molekul inhibitor lebih banyak untuk teradsorpsi pada permukaan logam, menyediakan cakupan permukaan lebih dengan senyawa bertindak sebagai inhibitor adsorpsi^[131]. Mekanisme adsorpsi dapat dijelaskan dengan pendekatan *langemuir*. Peningkatan konsentrasi inhibitor kimia cenderung berbanding lurus dengan meningkatnya efisiensi inhibisi^[132-134]. Secara struktur molekul, nilai efisiensi inhibisi yang baik dapat disebabkan oleh kehadiran struktur heterosiklik/aromatik. Sedangkan penyebab nilai inhibisi yang kembali turun, selain akibat produk tidak stabil juga senyawa pada inhibitor yang tidak sesuai dengan material dan lingkungannya.

4.6. Hasil Pengukuran dan Pembahasan pH Lingkungan

Perubahan pH lingkungan sebelum dan sesudah pengujian polarisasi diukur menggunakan pH meter digital, dengan variabel penambahan ekstrak kulit sawo.

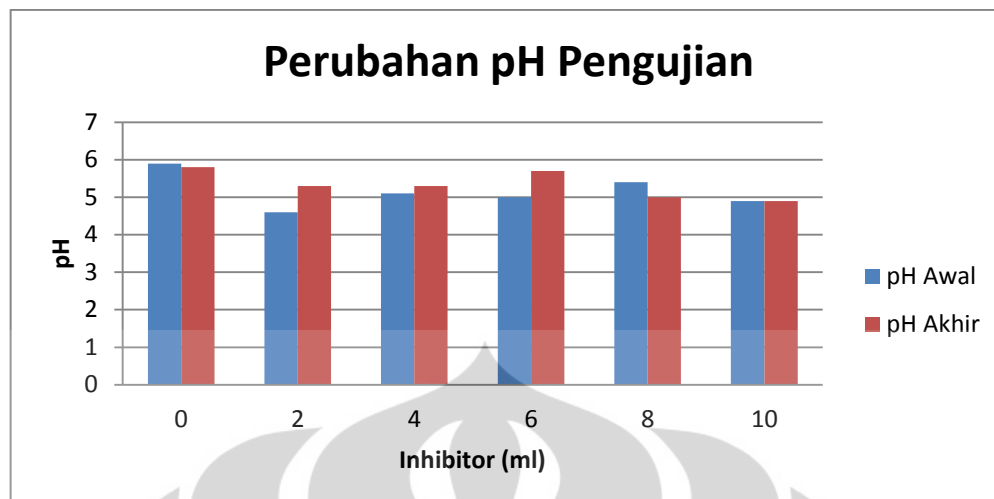
Hasil pengukuran perubahan pH tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.6. Perubahan pH Lingkungan dengan Penambahan Ekstrak Kulit Sawo.

No	Penambahan	pH Awal	pH Akhir
1	Tanpa Inhibitor	5,9	5,8
2	2ml	4,6	5,3
3	4ml	5,1	5,3
4	6ml	5	5,7
5	8ml	5,4	5
6	10ml	4,9	4,9

Berdasarkan Tabel 4.6 dan Gambar 4.3, dapat dilihat bahwa terdapat perubahan pH sebelum dan sesudah pengujian polarisasi. Tidak terjadi perubahan pH yang signifikan dengan penambahan jumlah ekstrak kulit sawo, dengan rentang 5,9 hingga terendah 4,6. Efisiensi inhibisi ekstrak kulit sawo yang bernilai rendah disebabkan oleh kondisi keasaman lingkungan, dengan salah satu faktor utama yaitu tingkat keasaman larutan *tannin*.

S. Yahya, et. al. (2011)^[112] menemukan bahwa peningkatan pH hingga bernilai 12, tidak ada mekanisme inhibisi dan laju korosi meningkat dengan peningkatan konsentrasi *tannin*, pada media larutan NaCl dengan material paduan aluminium. A.A. Rahim, et. al. (2008)^[105], dalam penelitiannya ditemukan bahwa kemampuan inhibisi *mangrove tannin* mencapai titik optimum pada pH 0.5-2.0, pada material baja *pre-rusted* dalam lingkungan NaCl 3,5%. A.A. Rahim, et. al. (2007)^[36] menemukan bahwa efisiensi inhibisi dari semua *tannin* (*mangrove*, *mimosa*, *quebracho*, *chestnut*, dan *condensed*) ditemukan menurun dengan meningkatnya pH. Sehingga untuk meningkatkan efisiensi inhibisi, disarankan untuk mengekstrak kulit sawo menggunakan alkohol dengan tingkat keasaman tinggi & diaplikasikan pada lingkungan dengan nilai pH rendah.



Gambar 4.3. Grafik Perubahan pH Lingkungan.

4.7. Hasil Pengamatan dan Pembahasan Kurva Polarisasi

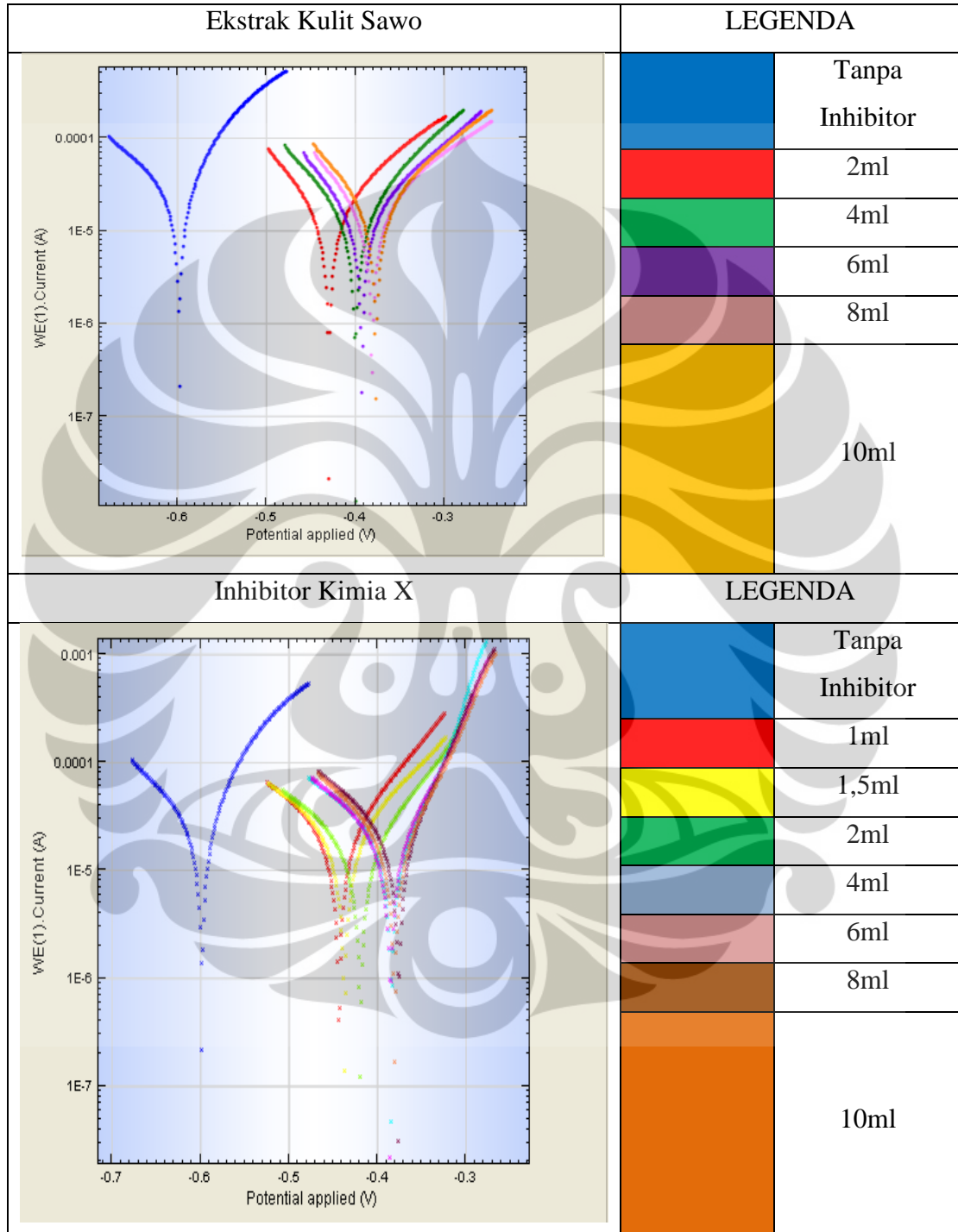
Berdasarkan pengujian polarisasi elektrokimia, didapatkan kurva polarisasi ekstrak kulit sawo dan inhibitor kimia X dengan variabel jumlah penambahannya. Kurva polarisasi ekstrak kulit sawo dan inhibitor kimia X dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Berdasarkan Tabel 4.7, dapat dilihat bahwa penambahan ekstrak kulit mampu menggeser kurva polarisasi ke arah potensial yang lebih positif. Menurut V.S. Sastri. (2011)^[84] bahwa perubahan potensial ke arah positif diklasifikasikan sebagai inhibitor anodik, dengan mekanisme pasivasi. Inhibitor anodik cenderung efektif pada rentang pH 6,5-10,5. Penurunan laju korosi dan efisiensi inhibisi yang tidak maksimal dapat disebabkan oleh penambahan ekstrak kulit sawo yang tidak sesuai, sehingga mekanisme pasivasi yang terjadi tidaklah maksimal dan masih terdapat daerah aktif logam (berdasarkan kurva pasivasi logam).

Kecenderungan senyawa *tannin* menggeser kurva polarisasi dengan potensial ke arah positif telah dikemukakan oleh sejumlah peneliti, seperti M. Morcillo, et. al. (1992) dan A.A. Rahim, et. al. (2008)^[105,134]. Menurut M. Morcillo, bahwa aplikasi *tannin* pada permukaan baja berkarat yaitu mempromosikan pembentukan *ferric-tannate* kompleks pada permukaan terluar. Lapisan tersebut berwarna biru kehitaman dengan terdapat retak. Sisa *tannin* yang larut dalam air tersumbat di pori-pori karat. Mekanisme *tannin* ketika

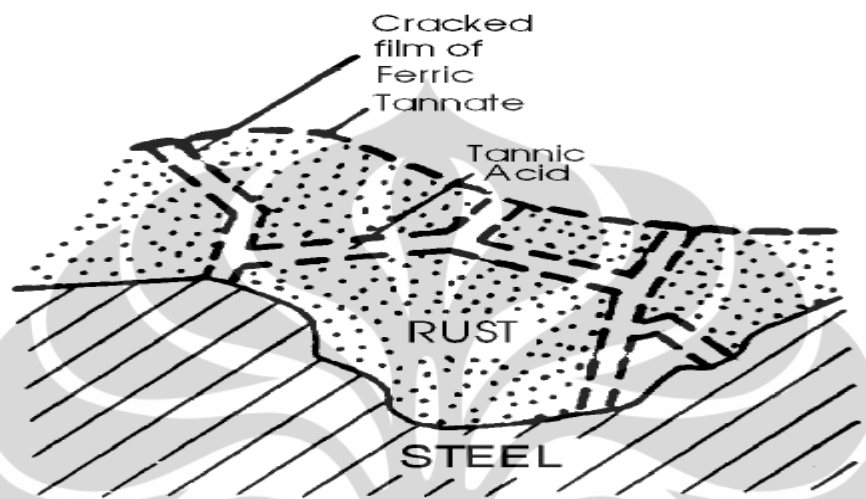
diaplikasikan pada permukaan berkarat dapat dilihat pada Gambar 4.4 dibawah ini.

Tabel 4.6. Kurva Polarisasi Ekstrak Kulit Sawo & Inhibitor Kimia X.



Berdasarkan *tafel slope* anodik dan katodik ekstrak kulit sawo (Tabel 4.7), dapat dilihat bahwa nilai *tafel* anodik meningkat setelah penambahan 2ml ekstrak

kulit sawo, kemudian cenderung stabil. Sedangkan nilai tafel katodik cenderung paralel pada setiap penambahan ekstrak kulit sawo. Menurut I. Ahamad, et. al. (2010)^[127] pergeseran pada kemiringan nilai tafel anodik dapat disebabkan oleh adsorpsi inhibitor pada permukaan logam.



Gambar 4.4. Representasi Skematis Tannin ketika Diaplikasikan pada Permukaan Berkarat^[134].

Sedangkan untuk inhibitor kimia X, dapat dilihat bahwa kurva cenderung bergeser ke arah kanan (potensial positif). Perubahan nilai E_{corr} tanpa inhibitor dengan penambahan 1ml mencapai +131 mV, dimana perubahan E_{corr} maksimum terjadi pada penambahan 8ml dengan nilai +220 mV. Menurut Ferreira dan lainnya^[135-136], apabila perubahan potensial korosi tanpa inhibitor dan dengan inhibitor diatas 85 mV, maka inhibitor dapat dikategorikan sebagai tipe katodik atau anodik. Apabila perubahan potensial dibawah 85 mV, maka dikategorikan sebagai inhibitor campuran. Sehingga kemungkinan inhibitor kimia X memiliki tipe anodik atau katodik.

Seiring dengan pertambahan jumlah inhibitor kimia X, terlihat adanya perubahan sedikit *tafel slope* anodik dan katodik (Tabel 4.8). A.Y. Musa, et. al. (2010)^[137] menjelaskan bahwa inhibitor bertindak dengan bloking sederhana permukaan material. S.S.A. El-Rehim, et. al. (2001)^[138] mengindikasikan bahwa inhibitor pertama-tama beradsorpsi pada permukaan logam dan terhambat oleh sekedar memblokir tempat-tempat reaksi pada permukaan logam tanpa mempengaruhi reaksi anodik dan katodik. Menurut Emeregul dan lainnya^[139-140],

bahwa inhibitor tipe tersebut memiliki indikasi tidak ada pengaruh terhadap evolusi hidrogen dan disosiasi besi, dan memiliki mekanisme bloking pada logam.

Tabel 4.8. Nilai Tafel Anodik dan Katodik Eks. Kulit Sawo & Inh. Kimia X.

No	Penambahan	Eks. Kulit Sawo		Inhibitor Kimia X	
		β_a (mV/dec)	β_c (mV/dec)	β_a (mV/dec)	β_c (mV/dec)
1	Tanpa Inhibitor	54,33	100,6	54,33	100,6
2	1ml	-	-	89,46	129,28
3	1,5ml	-	-	96,93	149,25
4	2ml	101,41	86,64	78,10	109,33
5	4ml	89,63	85,78	56,27	138,04
6	6ml	103,12	72,3	59,87	134,41
7	8ml	96,56	72,32	54,57	131,46
8	10ml	87,76	77,44	62,88	114,64

4.8. Hasil Pengamatan dan Pembahasan Potensial dan Rapat Arus Korosi

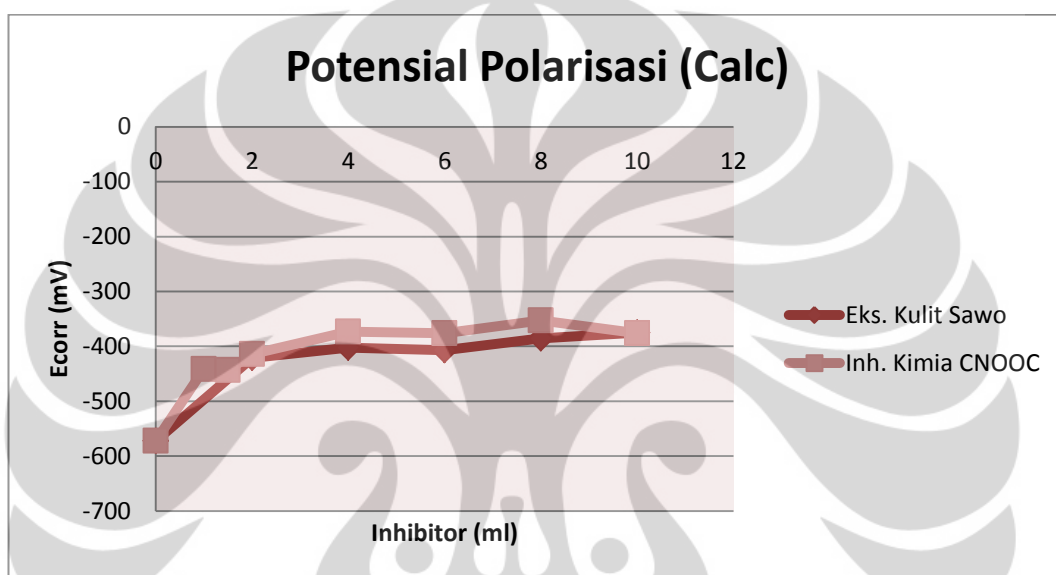
Dengan melakukan pengujian polarisasi elektrokimia, dilakukan pengamatan terhadap potensial korosi (E_{corr}) dan rapat arus Korosi (I_{corr}). Hasil potensial korosi dan rapat arus korosi dengan penambahan ekstrak kulit sawo dan inhibitor kimia X dapat dilihat pada Tabel 4.9 dibawah ini.

Gambar 4.5 dan 4.6 menunjukkan potensial korosi untuk *calc* dan *obs*, dimana dapat dilihat bahwa memiliki kecenderungan yang sama untuk ekstrak kulit sawo dan inhibitor kimia X. Untuk ekstrak kulit sawo, perubahan potensial ke arah positif diklasifikasikan sebagai inhibitor anodik, dengan mekanisme pasivasi. Sedangkan untuk inhibitor kimia X, dengan perubahan E_{corr} diatas 85 mV maka dapat dikategorikan sebagai inhibitor katodik atau anodik.

Tabel 4.9. Potensial dan Rapat Arus Korosi Eks. Kulit Sawo & Inh. Kimia X.

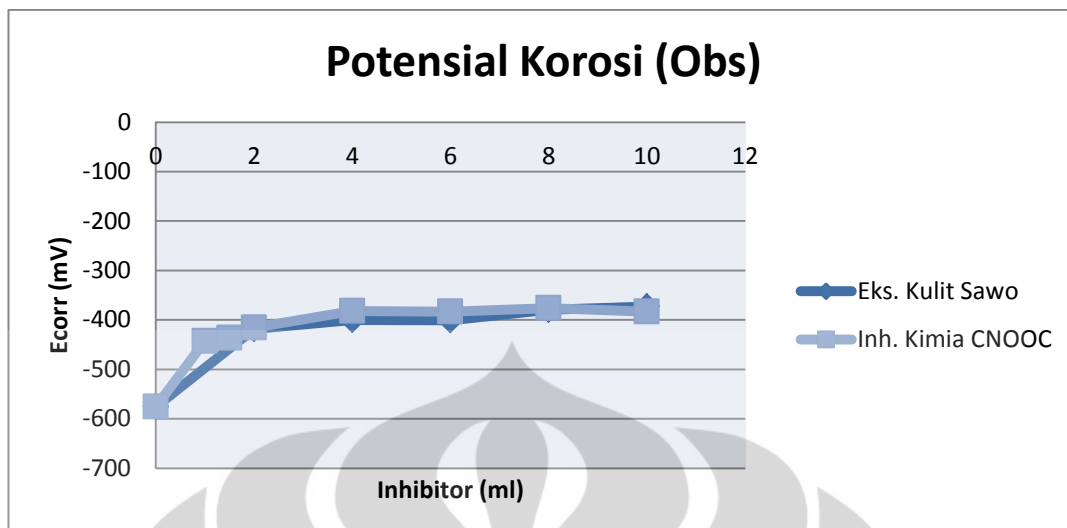
No	Penambahan	E_{corr} (Calc) mV		E_{corr} (Obs) mV		I_{corr} ($\mu A/cm^2$)	
		Sawo	X	Sawo	X	Sawo	X
1	Tanpa Inhibitor	-572,24	-572,24	-575,71	-575,71	19,00	19,00

2	1ml	-	-441,39	-	-442,95	-	16,18
3	1,5ml	-	-443,19	-	-436,64	-	15,28
4	2ml	-420,83	-413,75	-418,31	-415,94	12,10	10,23
5	4ml	-402,65	-373,23	-400,18	-382,01	11,12	13,98
6	6ml	-406,97	-376,14	-400,78	-383,53	11,35	14,48
7	8ml	-385,38	-352,77	-379,39	-376,43	10,83	14,60
8	10ml	-374,68	-375,94	-372,86	-383,43	11,72	12,70

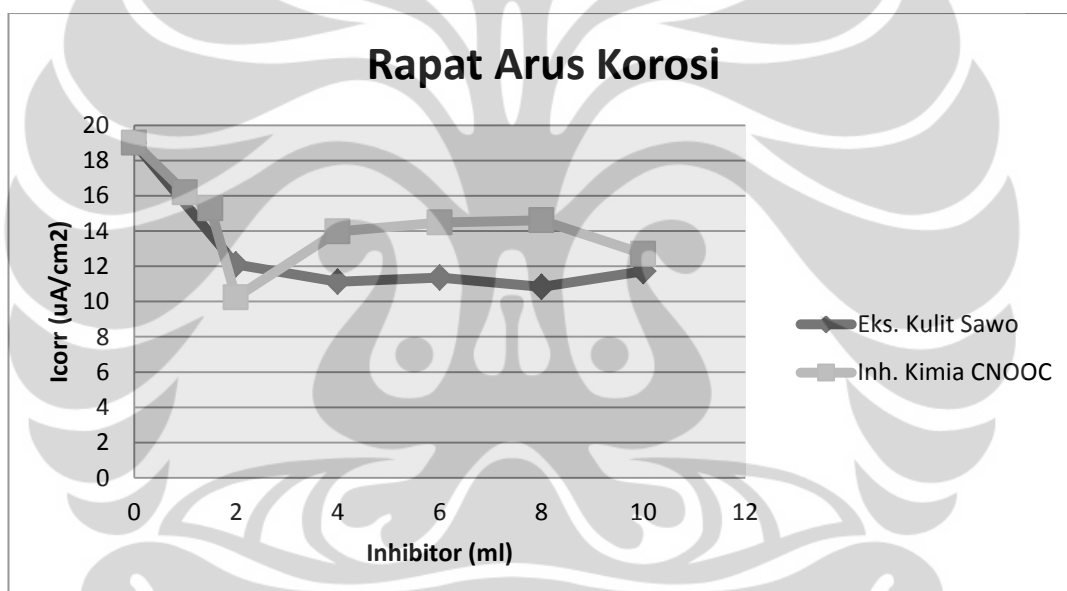


Gambar 4.5. Grafik Potensial Korosi (*Calc*) Eks. Kulit Sawo & Inh. Kimia X.

Sedangkan untuk rapat arus korosi (Gambar 4.7), baik untuk ekstrak kulit sawo dan inhibitor kimia X sama-sama mengalami penurunan berbanding terbalik dengan penambahan jumlah inhibitor. Untuk penambahan ekstrak kulit sawo, akibat penurunan rapat arus, dinamakan *oxygen reduction* yang biasanya dibawah kontrol difusi. *Tannin* mungkin bereaksi dengan ion hidroksil untuk mengendapkan senyawa tidak larut di daerah katodik, sehingga menyelimuti katoda dari elektrolit dan mencegah akses oksigen ke daerah tersebut^[141]. Sedangkan pada rapat arus tinggi, *ion transport* menuju permukaan elektroda menjadi polarisasi konsentrasi, sehingga spesies elektroaktif tidak dapat mencapai permukaan elektroda dengan kecepatan tinggi yang cukup^[142].



Gambar 4.6. Grafik Potensial Korosi (*Obs*) Ekstrak Kulit Sawo & Inhibitor Kimia X.



Gambar 4.7. Grafik Rapat Arus Korosi Ekstrak Kulit Sawo & Inhibitor Kimia X.

Penurunan rapat arus korosi inhibitor kimia X juga ditemukan pada inhibitor kimia lainnya. D.K. Yadav, et. al. (2010)^[126] menyatakan bahwa laju reaksi elektrokimia mengalami penurunan akibat pembentukan lapisan *barrier* pada permukaan logam oleh molekul inhibitor. Penurunan arus korosi juga mengindikasikan adsorpsi senyawa pada daerah katodik permukaan logam^[143].

Nilai rapat arus dapat digunakan untuk menentukan laju korosi (menggunakan persamaan 2.7.). Dengan berat atom Fe = 55.8, nilai $n = 2$, serta

nilai berat jenis = 7,87 maka terlihat perubahan laju korosi seperti yang tertera pada Tabel 4.10 dibawah ini.

Tabel 4.10. Pengamatan Laju Korosi dengan variabel Rapat Arus (I_{corr}).

No	Penambahan	Laju Korosi Sawo (mpy)	Laju Korosi X (mpy)
1	Tanpa Inhibitor	8,69	8,69
2	1ml	-	7,40
3	1,5ml	-	6,99
4	2ml	5,53	4,68
5	4ml	5,09	6,39
6	6ml	5,19	6,62
7	8ml	4,95	6,68
8	10ml	5,36	5,81

Berdasarkan Tabel 4.10, dapat dilihat bahwa penurunan rapat arus mampu mempengaruhi penurunan laju korosi. Sama seperti pembahasan pada subbab 4.3, penambahan ekstrak kulit sawo 4ml mampu merubah ketahanan korosi dari *good* menjadi *excellent*, dan penambahan inhibitor X 2ml mampu mengubah ketahanan korosi sama seperti ekstrak kulit sawo.

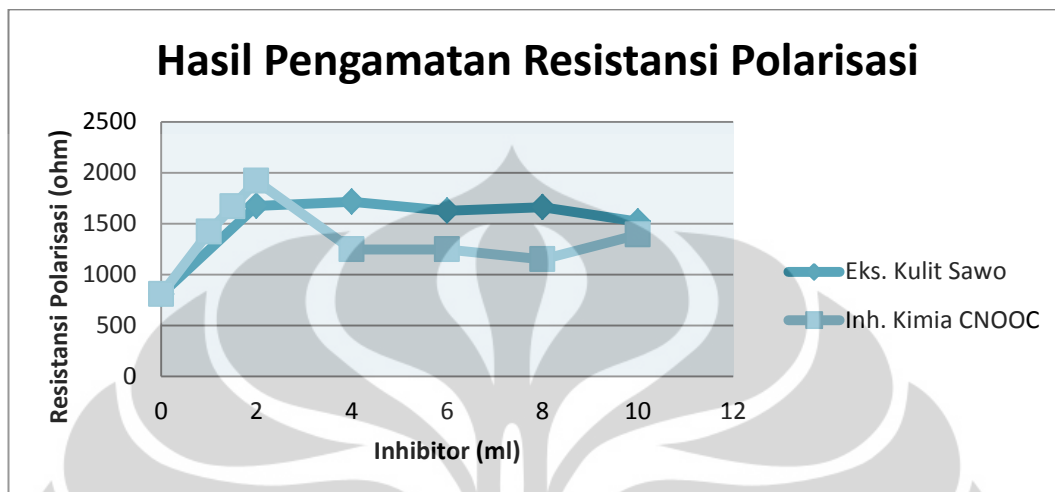
4.9. Hasil Pengamatan dan Pembahasan Resistansi Polarisasi

Berdasarkan pengujian polarisasi elektrokimia, dilakukan pengamatan terhadap resistansi polarisasi (R_p) sebelum dan sesudah ditambah ekstrak kulit sawo dan inhibitor kimia X. Hasil pengamatan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.11 dibawah ini.

Tabel 4.11. Resistansi Polarisasi Ekstrak Kulit Sawo & Inhibitor Kimia X.

No	Penambahan	R_p Sawo (ohm)	R_p X (ohm)
1	Tanpa Inhibitor	804,23	804,23
2	1ml	-	1420,35
3	1,5ml	-	1666,7
4	2ml	1674,75	1919,55
5	4ml	1713,45	1244,85

6	6ml	1627,90	1245,65
7	8ml	1662,25	1147,90
8	10ml	1519,85	1389,45



Gambar 4.8. Grafik Pengamatan Resistansi Polarisasi (Rp) Ekstrak Kulit Sawo & Inhibitor Kimia X.

Berdasarkan Gambar 4.8, dapat dilihat peningkatan resistansi polarisasi dengan menambahkan 2ml ekstrak kulit sawo, kemudian cenderung stabil pada penambahan selanjutnya. Sedangkan pada penambahan inhibitor kimia X, resistansi polarisasi mencapai maksimum pada penambahan 2ml inhibitor, kemudian mengalami penurunan yang cukup signifikan pada penambahan selanjutnya. Pada penambahan ekstrak kulit sawo, peningkatan resistansi korosi dengan senyawa *tannin* telah ditemukan oleh J. Gust dan lainnya^[144-145]. Gust & Swalski, (1994), menyatakan bahwa reaksi *tannin* dan komponen *rust-phase* terjadi pada lapisan karat pada permukaan karat, hanya ikatan monokompleks yang terbentuk, meningkatkan resistansi korosi dari *converted rust*. Gust & Wawer, (1995), menemukan bahwa meningkatkan masa molekul dan posisi orto grup OH dari molekul polifenol dapat meningkatkan resistansi korosi yang diberikan pada material oleh *converted rust*.

4.10. Hasil Pengamatan Visual dan Pembahasan

Pengamatan visual, dengan cara merendam baja didalam air formasi, ekstrak kulit sawo, serta menggunakan wadah gelas air mineral, dilakukan untuk mempelajari mekanisme inhibisi senyawa *tannin* dalam ekstrak kulit sawo. Hasil

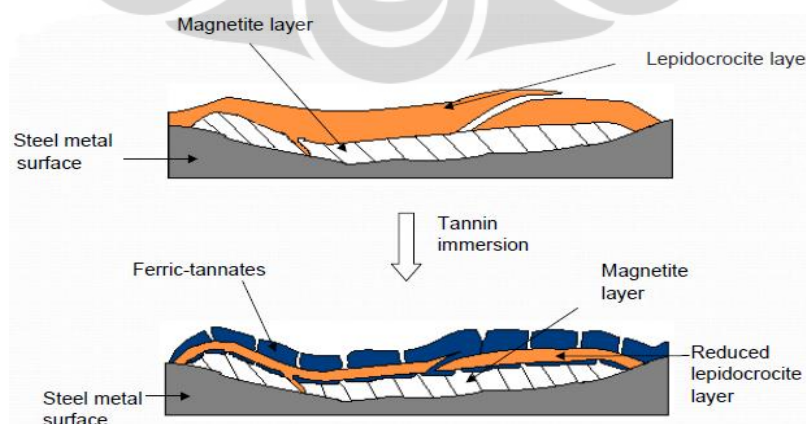
perendaman selama 5 hari beserta mekanismenya ditampilkan pada Gambar 4.10 dibawah ini.



Gambar 4.9. Mekanisme Inhibisi dan Pengamatan Visual Ekstrak Kulit Sawo.

Selama perendaman berlangsung, terlihat adanya lapisan coklat yang menempel pada atas permukaan logam. Lapisan coklat tersebut cukup rapuh dan melepas ketika dikeluarkan. Setelah dikeluarkan, terlihat adanya daerah pada permukaan baja yang berwarna biru agak gelap. Sejumlah peneliti menyebut warna biru agak gelap tersebut dengan sebutan *ferric-tannate*.

R.S. Peres, et. al. (2012)^[28], dalam penelitiannya mengemukakan bahwa *nonadherent ferric tannate complex* terbentuk di permukaan logam pada pH 6 dengan adanya *black wattle tannin*. Pada pH tersebut terbentuk lapisan dengan proteksi jangka pendek terhadap korosi. *Tannates* tersebut memiliki struktur *amorphous*, dengan derajat *sealing* nya dipengaruhi oleh waktu dan humiditas lingkungan^[146]. reaksi pembentukannya *ferric-tannate* paling cepat dengan *lepidocrocite*, kemudian *magnetite*, dan paling lambat dengan *goethite*^[147]. Mekanisme transformasi dari karat menjadi *ferric-tannate* dijelaskan pada Gambar 4.11 dibawah ini.

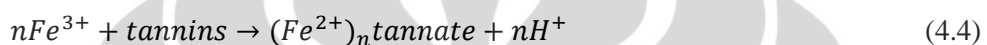


Gambar 4.10. Mekanisme Transformasi dari Karat menjadi *Ferric-Tannate*^[148].

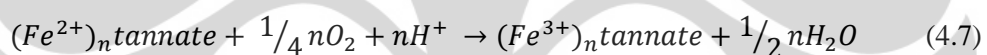
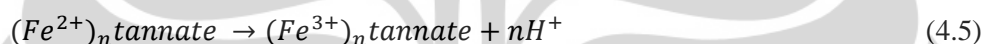
A.A. Rahim, et. al. (2007)^[36], menjelaskan secara sederhana konversi yang relatif mudah dari *iron (III) oxides* menjadi deposit biru-hitam *iron (III) tannate* (Gambar 4.12) dengan reaksi kimia berikut:



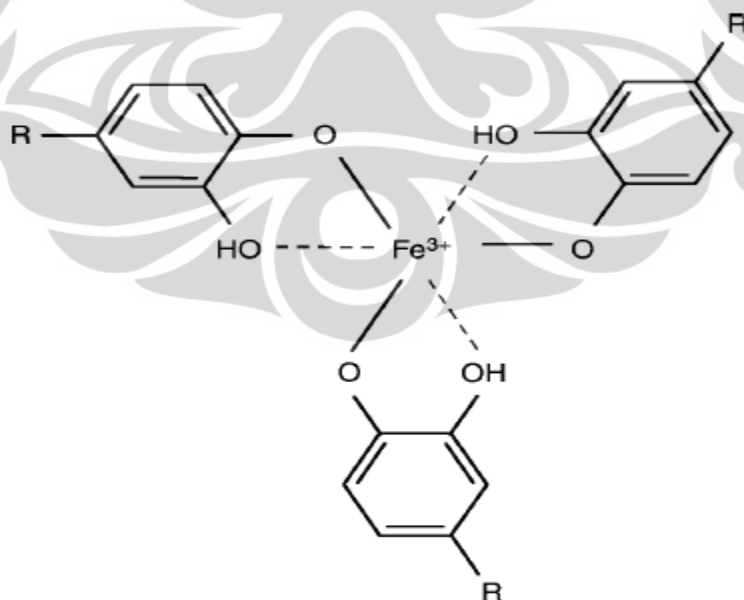
Diikuti dengan reduksi ion Fe^{3+} dan reaksi dengan *tannin*,



Sehingga,



Berdasarkan reaksi diatas, dapat dilihat pula bahwa pembentukan *iron (III) tannate* diikuti dengan reaksi perubahan oksigen menjadi H_2O .



Gambar 4.11. Struktur Kimia dari *Iron (III) Tannate*^[149].

BAB V

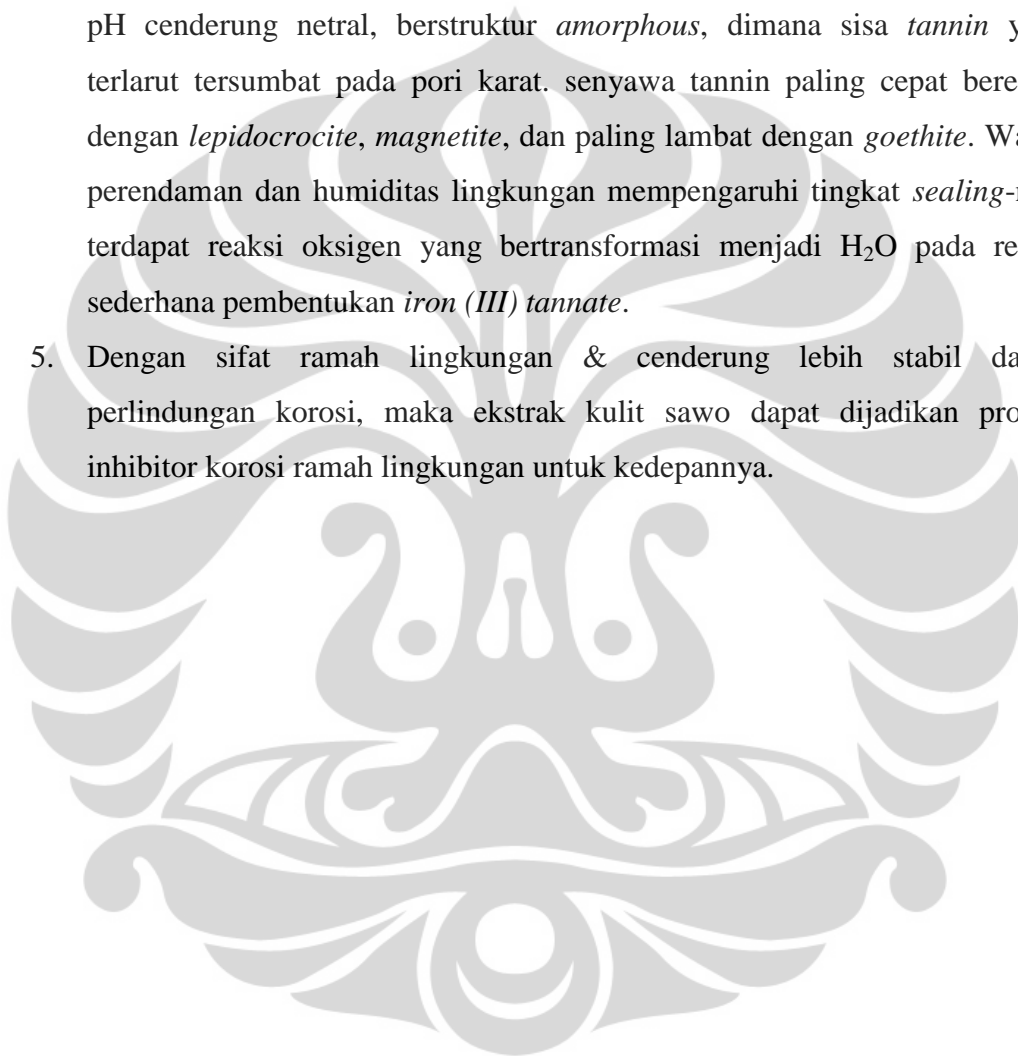
KESIMPULAN

Terdapat beberapa kesimpulan dalam penelitian ini, diantaranya:

1. Ekstrak kulit sawo & inhibitor kimia X didominasi oleh gugus fungsi organik alkohol, air formasi yang digunakan memiliki sifat sedikit membentuk kerak atau korosif, dan material baja API-5L yang digunakan memiliki mikrostruktur yang didominasi oleh fasa *ferrite*.
2. Penambahan 8ml ekstrak kulit sawo mampu merubah ketahanan korosi dari *good* menjadi *excellent*. Dengan pendekatan temkin dan frumkin, adanya pengaruh *multiple layer* dan interaksi antar molekul di permukaan logam. efisiensi inhibisi sawo yang tidak maksimal (43,02% pada 8ml) disebabkan oleh beberapa hal, dimana kemampuan inhibisi senyawa *tannin* mencapai maksimum pada kondisi asam. Berdasarkan kurva polarisasi dan *tafel slope*, disimpulkan bahwa ekstrak kulit sawo diklasifikasikan sebagai inhibitor anodik, dengan mekanisme adsorpsi dan memiliki efek pasivasi pada logam. Analisa kurva polarisasi tersebut didukung oleh pergeseran potensial korosi, dan penurunan rapat arus korosi menunjukkan ekstrak kulit sawo memiliki mekanisme reduksi oksigen. Peningkatan resistansi polarisasi dapat disebabkan oleh terbentuknya ikatan monokompleks dari senyawa *tannin*, peningkatan masa molekul, serta posisi orto grup OH.
3. Penambahan 2ml inhibitor kimia X mampu merubah ketahanan korosi dari *good* menjadi *excellent*. Secara umum chemical inhibitor memiliki mekanisme pembentukan lapisan tipis pada permukaan logam, dimana laju korosi yang kembali meningkat dapat disebabkan ketidakmampuan inhibitor untuk membentuk lapisan lindung yang stabil dengan mampu adsorpsi telah maksimum. Peningkatan efisiensi inhibisi *chemical inhibitor* dapat dipengaruhi oleh struktur aromatik. Berdasarkan kurva polarisasi, peningkatan potensial (+131mV), perubahan tidak signifikan *slope* anodik dan katodik, serta penurunan rapat arus, disimpulkan bahwa inhibitor kimia X tidak memiliki mekanisme *mixed-type*, mengindikasikan inhibitor

pertama-tama teradsorpsi pada permukaan logam dengan hanya sekedar memblokir reaksi pada daerah permukaan logam tanpa mempengaruhi reaksi anodik dan katodik.

4. Terdapatnya lapisan dengan warna biru-hitam pada permukaan logam setelah perendaman 5 hari, dengan penambahan ekstrak kulit sawo. Lapisan tersebut disebut *ferric-tannate/iron (III) tannate*. Lapisan ini terbentuk pada pH cenderung netral, berstruktur *amorphous*, dimana sisa *tannin* yang terlarut tersumbat pada pori karat. senyawa tannin paling cepat bereaksi dengan *lepidocrocite*, *magnetite*, dan paling lambat dengan *goethite*. Waktu perendaman dan humiditas lingkungan mempengaruhi tingkat *sealing*-nya. terdapat reaksi oksigen yang bertransformasi menjadi H₂O pada reaksi sederhana pembentukan *iron (III) tannate*.
5. Dengan sifat ramah lingkungan & cenderung lebih stabil dalam perlindungan korosi, maka ekstrak kulit sawo dapat dijadikan produk inhibitor korosi ramah lingkungan untuk kedepannya.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Groysman. (2010). *Corrosion for Everybody*. Springer Science + Business Media B. V.
- [2] R. Tems, & A.M. Al-Zahrani. (2006). Cost of Corrosion in Oil Production & Refining. *Saudi Aramco Journal of Technology*. pp. 2-14.
- [3] NACE International. *Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States*.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] A. Rustandi, J.W. Soedarsono, & B. Suharno. (2012). The Use of Mixture of Piper Betle and Green Tea as a Green Corrosion Inhibitor for API X-52 Steel in Areated 3,5% NaCl Solution at Various Rotation Rates. *Advanced Materials Research*. Vol. 383-390, pp. 5418-5425.
- [9] 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.
- [10] 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*. Vol. 51, issue. 9, pp. 1935-1949.

- [11] A. Craddock, et. al. (2006). A New Class of Green Corrosion Inhibitors: Development and Application. *SPE International Oilfield Corrosion Symposium*. Aberdeen, UK.
- [12] W. Bogaerts, et. al. (2009). Use of Different Natural Extracts from Tropical Plants as Green Inhibitors for Metals, *Clean Technology Conference & Expo*, Houston, TX.
- [13] L. Afia, et. al. (2012). Argan hulls extract: green inhibitor of mild steel corrosion in 1M HCl solution. *Research on Chemical Intermediates*. Online first, 3 February 2012.
- [14] C. Kamal, & M. G. Sethuraman. (2012). *Spirulina Plantesis* – A novel green inhibitor for acid corrosion of mild steel. *Arabian Journal of Chemistry*. Vol. 5, pp. 155-161.
- [15] M. H. Hussin, & M. J. Kassim. (2010). Electrochemical Studies of Mild Steel Corrosion Inhibition in Aqueous Solution by *Uncaria gambir* Extract. *Journal of Physical Science*. Vol. 21, no. 1, pp. 1-13.
- [16] 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.
- [17] F.N Kemmer. (1979). *The Nalco Water Hand Book*. Nalco Chemical Co. New York: Mc-Graw Hill Book Co.
- [18] L.S. Pebla, & V.P. Tabla. (2007). Phenology and Pollination of Manilkara Zapota in forest and Homogardens. *Forest Ecology and Management*. Vol. 248, pp. 136-142.
- [19] Menegristek Bidang Pendayagunaan dan Permasyarakatan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi. (2000). *Sawo*. Jakarta: Penulis.
- [20] G. Shui, S.P Wong, & L.P Leong. (2004). Characterization of antioxidants and change of antioxidants level during storage of *Manilkara Zapota L.* *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 52, pp. 7834-7841.
- [21] M. Kaneria, B. Kanani, & S. Chanda. (2012). Assessment of effect of hydroalcoholic and decoction methods on extraction of antioxidants from selected Indian medicinal plants. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. pp. 195-202.

- [22] L.P. Leong, & G. Shui. (2002). An Investigation of Antioxidant Capacity of Fruits in Singapore Markets. *Food Chemistry*. Vol. 76, pp. 69-75.
- [23] M. Isabelle, et. al. (2010). Antioxidant activity and profiles of common fruit in Singapore. *Food Chemistry*. Vol. 12, no. 3, pp. 77-84.
- [24] T. Ahmed, et. al. (2011). Preparation of Jam from Sapota (Archras Zapota). *The Agriculturists*. Vol. 9, no. 1 & 2, pp. 1-7.
- [25] N. Bellotti, et. al. (2012). "Quebracho" tannin derivative and boosters biocidies for new antifouling formulations. *Journal of Coatings Technology and Research*. Published Online: 28 February 2012.
- [26] X. Chen, et. al. (2008). Study of The Formation and Growth of Tannic Acid based Conversion Coating on AZ91D Magnesium Alloy. *Surface and Coating Technology*. Vol. 204, no. 5, pp. 736-747.
- [27] K.W. Tan, & M.J. Kassim. (2011). A Correlation Study on the Phenolic Profiles and Corrosion Inhibition Properties of Mangrove Tannins (Rhizophora Apiculata) as Affected by Extraction Solvents. *Corrosion Science*. Vol. 53, pp. 569-574.
- [28] R.S. Peres, E. Cassel, & D.S. Azambuja. (2012). Black Wattle Tannin as Steel Corrosion Inhibitor. *International Scholarly Research Network (ISRN) Corrosion*. 9 p.
- [29] M. Favre, & D. Landlot. (1993). The Influence of Gallic Acid on The Reduction of Rust on Painted Steel Surface. *Corrosion Science*. Vol. 34, no. 9, pp. 1481-1494.
- [30] M. Favre, et. al. (1998). Influence of Gallic Acid on The Phase Transformation in Iron Oxide Layers below Organic Coatings Studied with Moessbauer Spectroscopy. *Corrosion Science*. Vol. 40, no. 4-5, pp. 793-803.
- [31] J.J.C. Galvan, et. al. (1992). Effect of Treatment with Tannic, Gallic and Phosphoric Acid on The Electrochemical Behavior of Rusted Steel. *Electrochimica Acta*. Vol. 37, no. 11, pp. 1983-1985.
- [32] G. Matamala, et. al. (1994). Use of Tannin Anticorrosive Reaction Primer to Improve Traditional Coating System. *Corrosion*. Vol. 50, no. 4, pp. 270-275.

- [33] G. Matamala, et. al. (2000). Comparasion of Steel Anticorrosive Protection Formulated with Natural Tannins Extracted from Acacia and from Pine Bark. *Corrosion Science*. Vol. 42, no. 8, pp. 1351-1362.
- [34] O.R. Pardini, et. al. (2001). Formulation and Testing of a Waterborne Primer Containing Chestnut Tannin. *Journal of Coatings Technology*. vol. 73, no. 913, pp. 99-106.
- [35] M.J. Kassim, A.A. Rahim, & M.A. Ismail. (2001). Anti-Corrosive Performance of Wash Primer Based on Mangrove Tannin. *Proceedings of the 15th Symposium of Malaysian Chemical Engineering (SOMChE '01)*. Johar Baru, Malaysia, pp. 323-327.
- [36] A.A. Rahim, et. al. (2007). Mangrove Tannins and Their Flavanoid Monomers as Alternative Steel Corrosion Inhibitors in Acidic Medium. *Corrosion Science*. Vol. 49, pp. 402-417.
- [37] T.K. Ross, & R.A. Francis. (1978). The Treatment of Rusted Steel with Mimosa Tannin. *Corrosion Science*. Vol. 18, no. 4, pp. 351-361.
- [38] O. Labodny-S, & F. Kapor. (2002). Corrosion Inhibition of Carbon Steel in the Near Neutral Media by Blends of Tannin and Calcium Gluconate. *Materials and Corrosion*. Vol. 53, no. 4, pp. 264-268.
- [39] C.A. Barrero, et. al. (2001). Possible Improvements in The Action of Some Rust Conventers. *Corrosion Science*. Vol. 43, no. 6, pp. 1003-1018.
- [40] Naili. K. (2010). Corrosion and its Mitigation in the Oil & Gas Industry – An Overview. *Petromin Pipeliner*. pp. 10-16.
- [41] E. McCafferty. (2010). *Introduction to Corrosion Science*. USA: Springer Science + Business Media, LLC.
- [42] J.R. Davis. (2000). *Corrosion: Understanding the Basics*. USA: ASM International.
- [43] 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.
- [44] S. Ratnakomala. (1997). Peranan Mikroorganisme di Ladang Minyak Bumi. *Warta Biotek*. ISSN: 0215-2835, no. 1-2, hal. 10-13.

- [45] R.P. Koesoemadinata. (1980). *Geologi, Minyak dan Gas Bumi*, jilid I. Bandung: ITB. hal. 57-59, 79-89.
- [46] American Petroleum Institute. (2008). *Summary of Technical Difference between API 5L (43rd ed.) and ISO 3183 (2nd ed.)/ API 5L (44th ed.)*.
- [47] Y. Terada, et. al. (1997). Development of API X100 UOE Line Pipe. *Nippon Steel Technical Report*, no. 72.
- [48] F.B. Pickering. (1975). High-Strength, Low-Alloy Steels – A Decade of Progress. *Micro-alloying* 75. p. 9.
- [49] L.F. Porter, & P.E. Repas. (1982). The Evolution of HSLA Steels. *Journal of Metals*. Vol. 34, no. 4, pp. 14-21.
- [50] T. Gladman, & D. Dulieu. (1974). Grain-Size Control in Steels. *Metal Science*. Vol. 8, p. 167.
- [51] M.V. Biezma, J.R. San Cristobal, & R. Martinez. *Risk of Failure Indices Applied to Selection of Materials for Pipelines*.
- [52] 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.
- [53] 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.
- [54] T. Gladman. (1997). *The Physical Metallurgy of Microalloyed Steels*. UK: The Institute of Materials. p. 185.
- [55] J.Q. Wang, et. al. (1999). Microstructure of X52 and X65 Pipeline Steels. *Journal of Materials Science*. Vol. 34, pp. 1721-1728.
- [56] J. Sojka, et. al. (2008). Role of Microstructure and Testing Conditions in Sulphide Stress Cracking of X52 and X60 API Steels. *Materials Science and Engineering A*. Vol. 480, issue 1-2, pp. 237-243.
- [57] J.Q. Wang, et. al. (1999). Boundary Characterization of X65 Pipeline Steel Using Analytical Electron Microscopy. *Journal of Materials Science*. Vol. 34, pp. 1711-1719.
- [58] ASTM A53/ A53 M – 02. *Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless*. ASTM International.

- [59] 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.
- [60] F. Civan. (2001). Modelling Well Performance under Non Equilibrium Deposition Condition, SPE 67234. *SPE Production and Operation Symposium*. Oklahoma, USA.
- [61] 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.
- [62] A.S. Fadairo, O. Omole, & O. Falode. (2008). Modelling Formation Damage Induced by Oilfield Scale. *Journal of Petroleum Science and Technology*.
- [63] 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.
- [64] 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.
- [65] 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.
- [66] 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.
- [67] J. Moghadasi, et. al. (2003). Scale Formation in Iranian Oil Reservoir and Production Equipment during Water Injection, SPE 80406. *The SPE 5th International Symposium on Oilfield Scale*. Aberdeen, UK.
- [68] J. Moghadasi, et. al. (2006). A New Model to Describe Particle Movement and Deposition in Porous Media, SPE 99391. *15th SPE Europe Conference and Exhibition*. Vienna, Austria.

- [69] 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.
- [70] W.F. Langelier. (1936). The Analytical Control of Anticorrosion Water Treatment. *Journal of the American Water Works Association*. Vol. 28, pp. 1500-1521.
- [71] 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.
- [72] W. Meisel. (1998). Degradation of Materials and Passivity. *Hyperfine Interaction*. Vol. 111, pp. 59-70.
- [73] 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.
- [74] G. Singh. (2006). A Survey of Corrosivity of Underground Mine Waters from Indian Coal Mines. *International Journal of Mine Waters*. pp. 21-32.
- [75] 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.
- [76] A. Withers. (2005). Options of Recarbonation, Remineralisation, and Disinfection for Desalination Plants. *Desalination*. Vol. 179, no. 1-3, pp. 11-24.
- [77] APHA, AWWA, & WEF. (1992). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th ed. Washington.
- [78] P. Melidis, et. al. (2007). Corrosion Control by Using Indirect Methods. *Desalination*. Vol. 213, pp. 152-158.
- [79] G. Patzay, et. al. (1997). Modeling of Scale Formation and Corrosion from Geothermal Water. *Electrochimica Acta*. Vol. 43, no. 1-2, pp. 137-147.
- [80] ASTM D3739 – 94. *Standard Practice for Calculation and Adjustment of the Langelier Saturation Index for Reverse Osmosis*.

- [81] 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.
- [82] 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.
- [83] C.C. Nathan. (1979). *Corrosion Inhibitors*. Houston: National Association of Corrosion Engineers.
- [84] V.S. Sastri. (2011). *Green Corrosion Inhibitors: Theory and Practice*. USA: John Wiley & Sons.
- [85] 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.
- [86] E.S. Snavely, & N. Hackerman. (1970). *NACE Basic Corrosion Course*. Houston: National Association of Corrosion Engineers.
- [87] N. Hackerman, & E.S. Snavely. (1984). *Corrosion Basics*, in: LSV Delinder (ed.). Houston: National Association of Corrosion Engineers.
- [88] 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.
- [89] M.A. Cairns, et. al. (2003). Composition and Aboveground Tree Biomass of a Dry Semi-Green Forest on Mexico's Yucatan Peninsula. *Forest Ecology and Management*. Vol. 186, pp. 125-132.
- [90] J.A. Cruz-Rodrigues, & L. Lopez-Mata. (2004). Demography of Seedling Bank of *Manilkara Zapota* (L.) Royen, in a Subtropical Rain Forest of Mexico. *Plant Ecology*. Vol.172, pp. 227-235.
- [91] T.D. Pennington. (1991). *The Genera of Zapotaceae*. Royal Botanic Gardens, Kew and New York Botanical Garden.
- [92] M.D. La Torre-Cuadros, & G.A. Islebe. (2003). Traditional Ecological Knowledge and Use of Vegetation in Southeastern Mexico: a Case Study from Solferino, Quintana Roo. *Biodiversity Conservation*. pp. 2455-2476.

- [93] Chico Zapote – Manilkara Zapota (L.) P. Royen – Sapotaceae. (http://www.ethnobotanik.org/Nutzpflanzen/Manilkara_zapota/Chico_Zapote_Manilkara_zapota.html) diakses 11 Mei 2012.
- [94] A. Mizhari, et. al. (2001). *Ecology Report for the Village of Poop and Poop State of Yucatan, Mexico*. Enhancing the Role of Forest Fruits in Sustaining Livelihood of Forest Margin Communities, DFID.
- [95] B.N. Ames, et. al. (1993). Oxidants, Antioxidants, and the Degenerative Diseases of Aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. Vol. 90, pp. 7915-7922.
- [96] A. Singh, E.E. Ebenso, & M.A. Quraishi. (2012). Corrosion Inhibition of Carbon Steel in HCl Solution by Some Plant Extract. *International Journal of Corrosion*. Vol. 2012, 20 p.
- [97] K.P.V. Kumar, M.S.N. Pillai, & G.R. Thusnavis. (2010). Pericarp of the Fruit of *Garcinia Mangostana* as Corrosion Inhibitor for Mild Steel in Hydrochloric Acid Medium. *Portugaliae Electrochimica Acta*. Vol. 28, no. 6, pp. 373-383.
- [98] A. Singh, V.K. Singh, & M.A. Quraishi. (2010). Effect of Fruit Extracts of Some Environmentally benign Green Corrosion Inhibitors on Corrosion of Mild Steel in Hydrochloric Acid Solution. *Journal of Materials and Environmental Science*. Vol. 1, no. 3, pp. 162-174.
- [99] K.S. Jamuna, et. al. (2011). Total Antioxidant Capacity in Aqueous Extract of Some Common Fruit. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. Vol. 2, no. 1, pp. 448-453.
- [100] A.A. Rahim, & J. Kassim. (2008). Recent Development of Vegetal Tannins In Corrosion Protection of Iron & Steel. *Recent Patents on Material Science*. Vol. 1, pp. 223-231.
- [101] S.H. Lim, et. al. (2006). Antimicrobial Activities of Tannin Extracted from *Rhizophora Apiculata* Barks. *Journal of Tropical Forest Science*. Vol. 18, no. 1, pp. 59-65.
- [102] A. Jayalaksmi, & A.G. Mathew. (1982). *Chemical Composition and Processing the Arecanut Palm (Areca catechu L)*. India: CPCRI Kasaragod.

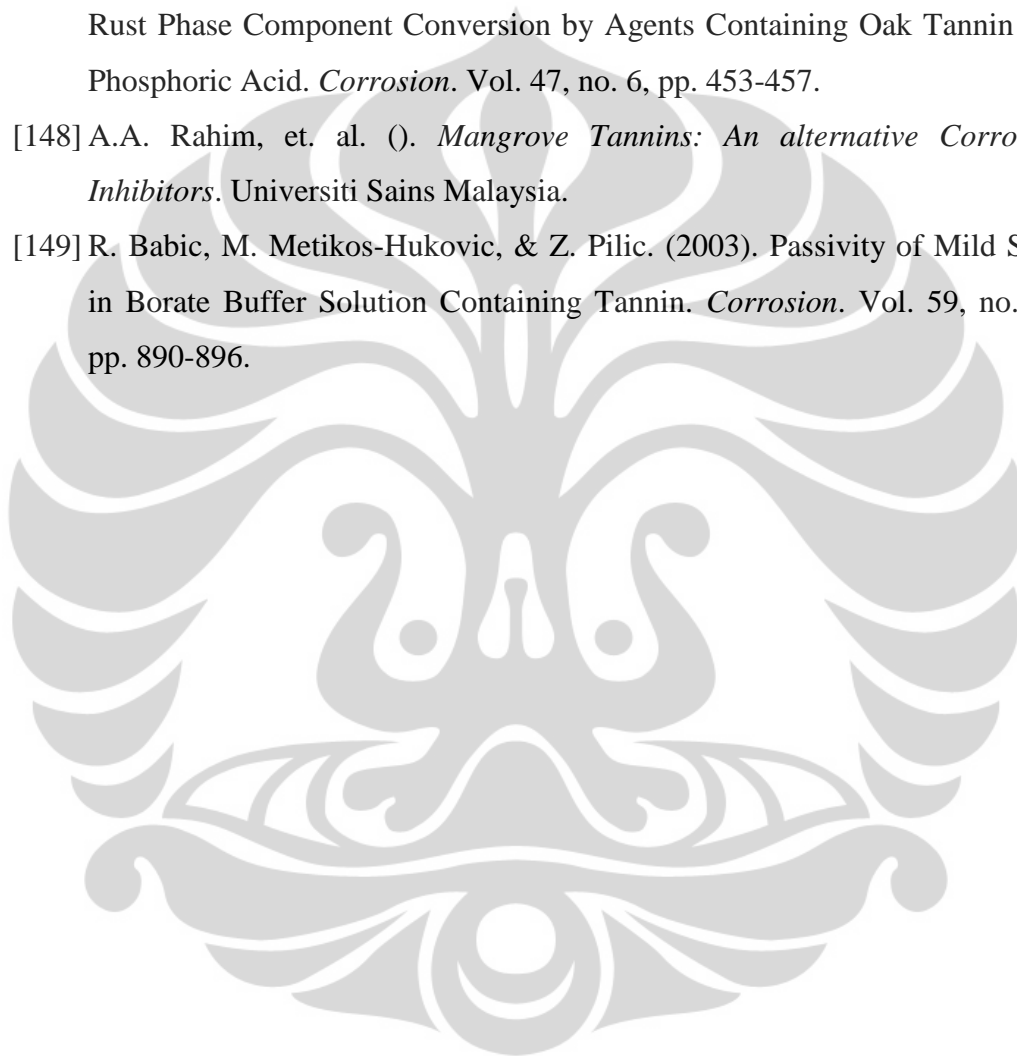
- [103] I. Sax, & R.J. Lewis. (1989). *Condensed Chemical Dictionary*, 11th ed. New York: Van Nostrand Reinhold Company.
- [104] J. Mabrou, et. al. (2004). Effect of Vegetal Tannin on Anodic Copper Dissolution in Chloride Solution. *Corrosion Science*. Vol. 46, pp. 1833-1847.
- [105] A.A. Rahim, et. al. (2008). Inhibitive Action of Mangrove Tannins and Phosphoric Acid on Pre-Rusted Steel via Electrochemical Methods. *Corrosion Science*. Vol. 50, pp. 1546-1550.
- [106] S. Yahya, et. al. (2008). Phase Transformation of Rust in the Presence of Various Tannins. *Journal of Physical Science*. Vol. 19, no. 1, pp. 31-41.
- [107] L-L. Zhang, et. al. (2010). Condensed Tannins from Mangrove Species *Kandelia Candel* and *Rhizophora Mangle* and Their Antioxidant Activity. *Molecules*. Vol. 15, pp. 420-431.
- [108] T. Okuda, T. Yoshida, & T. Hatano. (1989). New Methods of Analyzing Tannins. *Journal of Natural Products*. Vol. 52, no. 1, pp. 1-31.
- [109] Y.C. Danarto, S.A. Prihananto, Z.A. Pamungkas. (2011). Pemanfaatan Tannin dari Kulit Kayu Bakau sebagai Pengganti Gugus Fenol pada Resin Fenol Formaldehid. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”. D02-1 – DO2-5.
- [110] S. Martinez, & I. Stagljar. (2003). Correlation Between the Molecular Structure and The Corrosion Inhibition Efficiency of Chestnut Tannin in Acidic Solutions. *Journal of Molecular Structure (Theochem)*. Vol. 640, pp. 167-174.
- [111] E. Sharmin, S. Ahmad, & F. Zafar. *Renewable Resources in Corrosion Resistance*. New Delhi: Jamia Millia Islamia.
- [112] S. Yahya, et. al. (2011). Inhibitive Behavior of Corrosion of Aluminium Alloy in NaCl by Mangrove Tannin. *Sains Malaysiana*. Vol. 40, no. 9, pp. 953-957.
- [113] T.K. Ross, & R.A. Francis. (1975). The Treatment of Rusted Steel with *Mimosa* Tannin. *Corrosion Science*. Vol. 18, pp. 351-361.

- [114] S. Martinez, & I. Stern. (1999). Ferric-Tannate Formation and Anti Corrosion Properties of Mimosa Tannin in Acidic Solution. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*. Vol. 13, no. 4, pp. 191-199.
- [115] A.M. Shah, et. al. (2011). Acid Corrosion Inhibition of Copper by Mangrove Tannin. *Journal of Pigment & Resin Technology*. Vol. 40, no. 2, pp. 118-122.
- [116] P.O. Ameh, L. Magaji, & T. Salihu. (2012). Corrosion Inhibition and Adsorption Behavior for Mild Steel by Ficus Glumosa Gum in H₂SO₄ Solution. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*. Vol. 6, no. 7, pp. 100-106.
- [117] P.R. Roberge. (2008). *Corrosion Engineering: Principles and Practice*. USA: McGraw-Hill Companies, Inc.
- [118] R.W. Revie, & H.H. Uhlig. (2008). *Corrosion and Corrosion Control: an introduction to corrosion science and engineering*, 4th ed. USA: John Wiley & Sons.
- [119] D.A. Jones. (1992). *Principles and Prevention of Corrosion*. USA: Macmillan Publishing Company.
- [120] ASTM G5 – 94. “Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurement”, ASTM International. 1999.
- [121] ASTM G1 – 03. “Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens”
- [122] LENNTECH Calculator. (<http://www.lenntech.com/calculators/>)
- [123] M.I. Onsoien, et. al. (2009). A CCT Diagram for an Offshore Pipeline Steel of X70 Type. *Welding Journal*. Vol. 88, 6 p.
- [124] M.G. Fontana. (1986). *Corrosion Engineering*, 3rd ed. USA: McGraw-Hill, Inc.
- [125] 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.

- [126] 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.
- [127] I. Ahamad, et. al. (2010). Thermodynamic, Electrochemical, and Quantum Chemical Investigation of Some Schiff Bases as Corrosion Inhibitors for Mild Steel in Hydrochloric Acid Solutions. *Corrosion Science*. Vol. 52, pp. 933-942.
- [128] K.F. Khaled, et. al. (2009). Some Benzotriazole Derivative as Corrosion Inhibitors for Copper in Acidic Medium: Experimental and Quantum Chemical Molecular Dynamics Approach. *Materials Chemistry and Physics*. Vol. 117, pp. 148-155.
- [129] 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.
- [130] 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.
- [131] S. Safak, et. al. (2012). Schiff Bases as Corrosion Inhibitor for Aluminium in HCl Solution. *Corrosion Science*. Vol. 54, pp. 251-259.
- [132] A.Y. Musa, et. al. (2012). Molecular Dynamic and Quantum Chemical Calculations for Pthalazine Derivatives as Corrosion Inhibitors of Mild Steel in 1 M HCl. *Corrosion Science*. Vol. 56, pp. 176-183.
- [133] Y. Yan, et. al. (2008). Electrochemical and Quantum Chemical Study of Purines as Corrosion Inhibitors for Mild Steel in 1M HCl Solution. *Electrochimica Acta*. Vol. 53, pp. 5953-5960.
- [134] M. Morcillo, et. al. (1992). Corrosion of Rusted Steel in Aqueous Solutions of Tannin Acid. *Corrosion*. Vol. 48, no. 12, pp. 1032-1039.
- [135] E.S. Ferreira, et. al. (2004). Evaluation of the Inhibitor Effect of L-ascorbic Acid on the Corrosion of Mild Steel. *Materials Chemistry and Physics*. Vol. 83, issue. 1, pp. 129-134.

- [136] W. Li, et. al. (2008). Some New Triazole Derivatives as Inhibitors for Mild Steel Corrosion in Acidic Medium. *Journal of Applied Electrochemistry*. Vol. 38, no. 3, pp. 289-395.
- [137] A.Y. Musa, et. al. (2010). Corrosion inhibitive property of 4-amino-5-phenyl-4H-1,2,4-triazole-3-thiol for mild steel corrosion in 1,0 M hydrochloric acid. *Corrosion Engineering, Science and Technology*. Vol. 45, no. 2, pp. 163-168.
- [138] S.S.A. El-Rahim, M.A.M. Ibrahim, & K.F. Khalid. (2001). The inhibition of 4-(2'-amino-5'-methylphenylazo) antipyrine on corrosion of mild steel in HCl solution. *Materials Chemistry and Physics*. Vol. 70, issue. 3, pp. 268-273.
- [139] K.C. Emeregul, & M. Hayvali. (2006). Studies on the Effect of a Newly Synthesized Schiff Base Compound from Phenazone and Vanillin on the Corrosion of Steel in 2 M HCl. *Corrosion Science*. Vol. 48, issue. 4, pp. 797-812.
- [140] A.K. Satapathy, et. al. (2009). Corrosion Inhibition by Justicia Gendarussa Plant Extract in Hydrochloric Acid Solution. *Corrosion Science*. Vol. 51, issue. 12, pp. 2848-2856.
- [141] K.R. Trethewey, & J. Chamberlein. (1990). *Corrosion for Science and Engineering*. Essex: Longman.
- [142] V. Branzoi, et. al. (2002). Aluminium Corrosion in Hydrochloric Acid Solutions and the Effect of Some Organic Inhibitors. *Materials Chemistry and Physics*. Vol. 78, pp. 122-131.
- [143] G. Bereket, & A. Pinarbasi. (2004). Electrochemical Thermodynamic and Kinetic Studies of the Behavior of Aluminium in Hydrochloric Acid Containing Various Benzotriazole Derivatives. *Corrosion Engineering, Science and Technology*. Vol. 39, pp. 308-312.
- [144] J. Gust, & J. Suwalski. (1994). Use of Mossbauer Spectroscopy to Study Reaction Products of Polyphenols and Iron Compounds. *Corrosion*. Vol. 50, no. 5, pp. 355-365.

- [145] J. Gust & I. Waiver. (1995). Relationship Between Radical Scavenging Effects and Anticorrosive Properties of Polyphenols. *Corrosion*. Vol. 51, no. 1, pp. 37-44.
- [146] J. Gust, & J. Bobrowicz. (1993). Sealing and Anti-corrosive Action of Tannin Rust Converters. *Corrosion*. Vol. 49, no. 1, pp. 24-30.
- [147] J. Gust. (1991). Application of Infrared Spectroscopy for Investigation of Rust Phase Component Conversion by Agents Containing Oak Tannin and Phosphoric Acid. *Corrosion*. Vol. 47, no. 6, pp. 453-457.
- [148] A.A. Rahim, et. al. (). *Mangrove Tannins: An alternative Corrosion Inhibitors*. Universiti Sains Malaysia.
- [149] R. Babic, M. Metikos-Hukovic, & Z. Pilic. (2003). Passivity of Mild Steel in Borate Buffer Solution Containing Tannin. *Corrosion*. Vol. 59, no. 10, pp. 890-896.



Lampiran 1 – Hasil Karakterisasi FTIR Ekstrak Kulit Sawo

PerkinElmer Spectrum Version 10.03.02
Wednesday, June 27, 2012 4:06 PM

Report

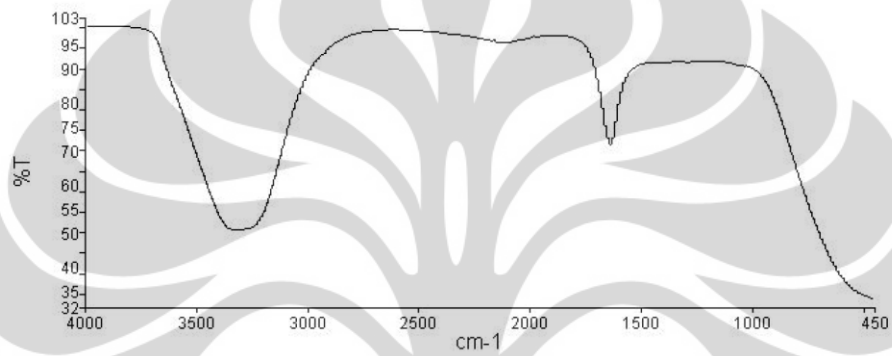
Filename

C:\Documents and Settings\dell\My Documents\CMPFA\28.06.2012 SPK 0872 Joe (Prof Johny)\Sawo.sp

Sample Details

Instrument

Spectrum Graph



Name	Description
Sawo	Sample 031 By Administrator Date Wednesday, June 27 2012

Compare Result

Lampiran 2 – Hasil Karakterisasi FTIR Inhibitor Kimia X

PerkinElmer Spectrum Version 10.03.02
Wednesday, June 27, 2012 4:06 PM

Report

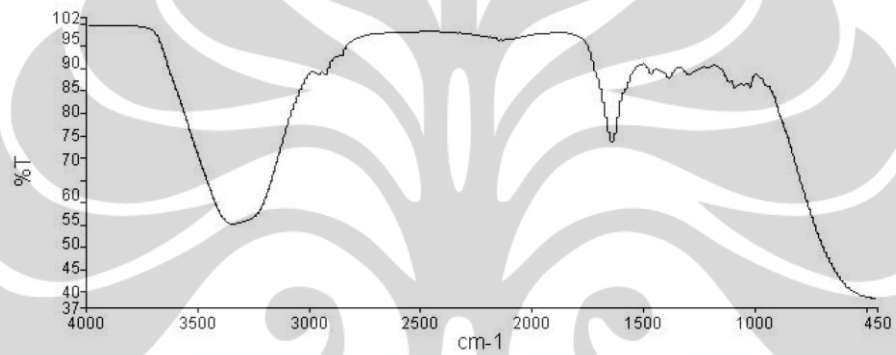
Filename

C:\Documents and Settings\dell\My Documents\CMPFA\28.06.2012 SPK 0872 Joe (Prof
Johny)\Kimia.sp

Sample Details

Instrument

Spectrum Graph



Name	Description
— Kimia	Sample 030 By Administrator Date Wednesday, June 27 2012

Compare Result

Lampiran 3 – 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 89321176/89321166
Email: jum.cbi@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

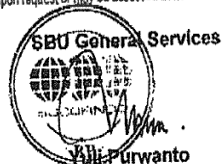
SAMPLE IDENTIFICATION : Air Formasi Minyak

Parameter	Unit	Test Results	Methods *) Part Number
Alkalinity	mg/L	518	2320 B
Hydroxide	mg/L	0	2320 B
Calcium as CaCO ₃	mg/L	613	3120 B, 3030 E
Chloride	mg/L	102731	4500-CI 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/J/LABLING-1/LRK/KLH



CBT.36.1389.12.20

Lampiran 4 – Perhitungan LSI dengan LENNTECH calculator

WATER TREATMENT SOLUTIONS

LENNTECH

Applications
Processes
Systems
Products
Library

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

Langelier Saturation Index Calculator

This calculator helps you determine the scaling potential of the water by using the Langelier 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
[Ca ²⁺]	613	*	mg/L
[HCO ₃ ⁻]	516	*	mg/L
Water temperature	25	*	degree C

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 Langelier Saturation Index

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

The Langelier 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 5 – 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

Lampiran 6 – 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 7 – Spesifikasi Material dan Produk Pipa KHI

Product Specification KHI

Material And Pipe Specification

Standard Specification	Grade		Application		Chemical Composition (%)				Mechanical Strength			
					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	25,282.00	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	56,565.60	390.0	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		
SS 540	0.30	1.60	0.040	0.040	56,565.60	390.0	88,474.40	610.0				
SS 540	0.30	1.60	0.040	0.040	56,565.60	390.0	78,321.60	540.0				
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 8 – 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
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	13460
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

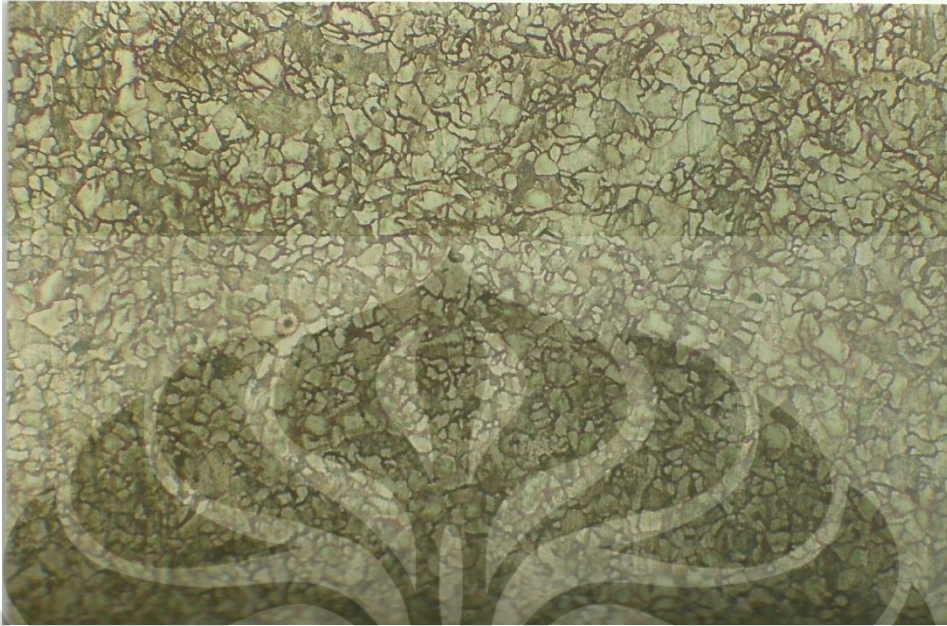
C

11/25/2009 6:59:37 PM

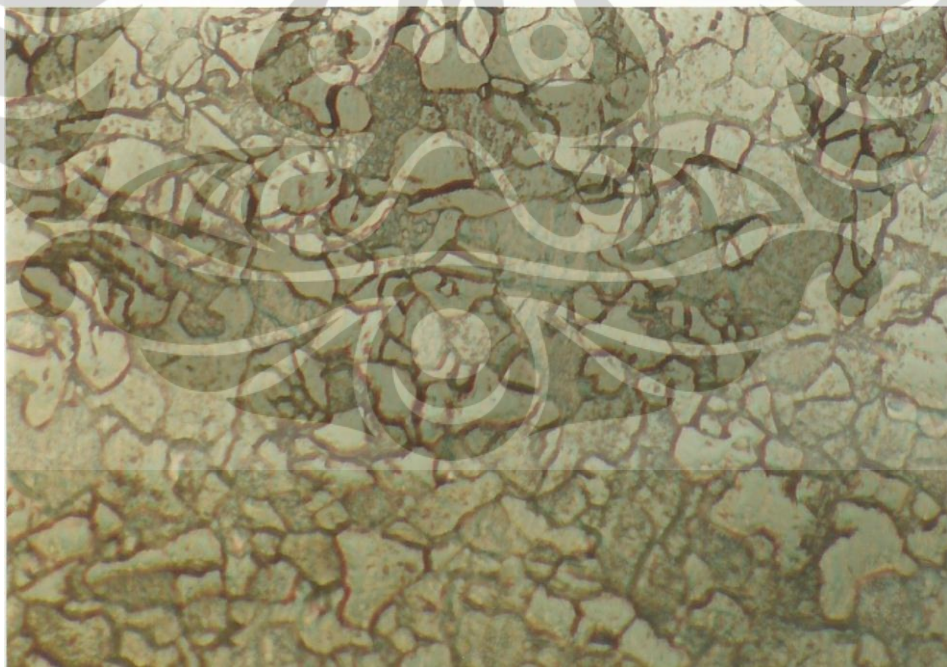
Lampiran 9 – Foto Sampel Hasil Pengujian Kekerasan HRA



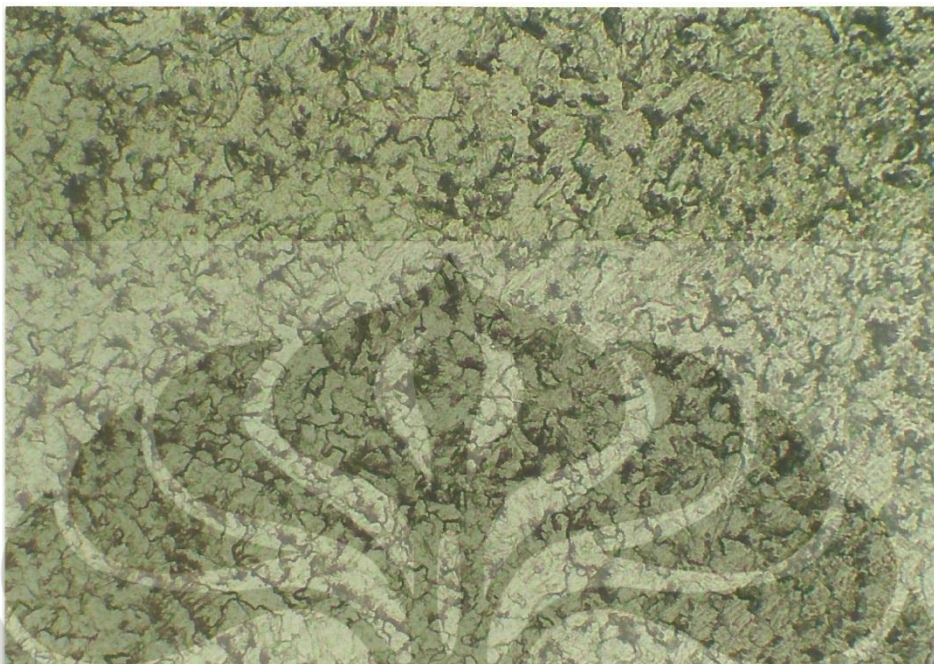
Lampiran 10 – Foto Mikrostruktur Baja API-5L



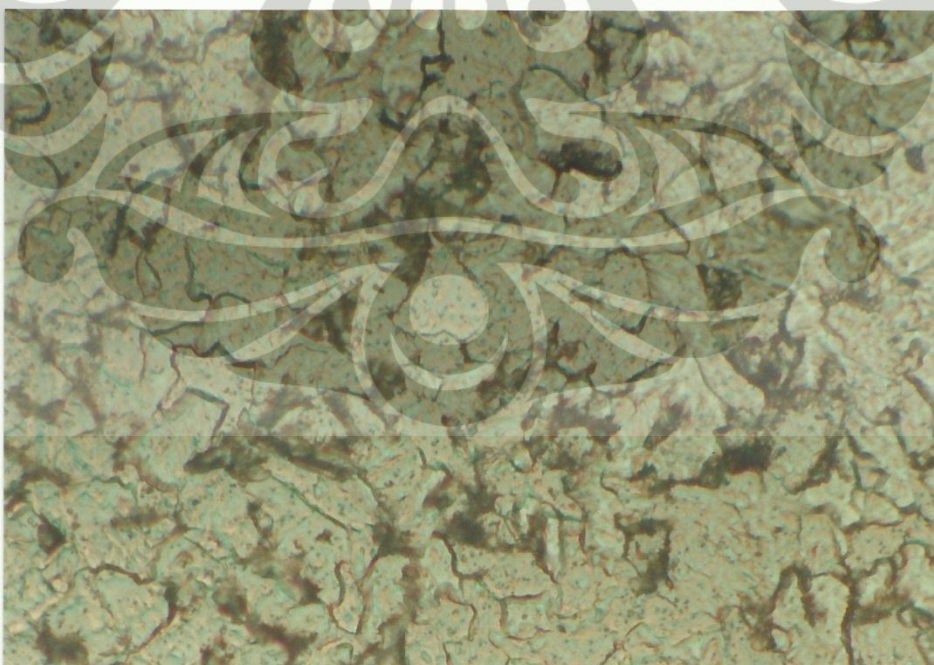
Etsa: Nital 2-3 %, Perbesaran: 200 X



Etsa: Nital 2-3%, Perbesaran: 500 X

Lampiran 11 – Foto Ukuran Butir Baja API-5L

Etsa: Picral 30%, Perbesaran: 200 X

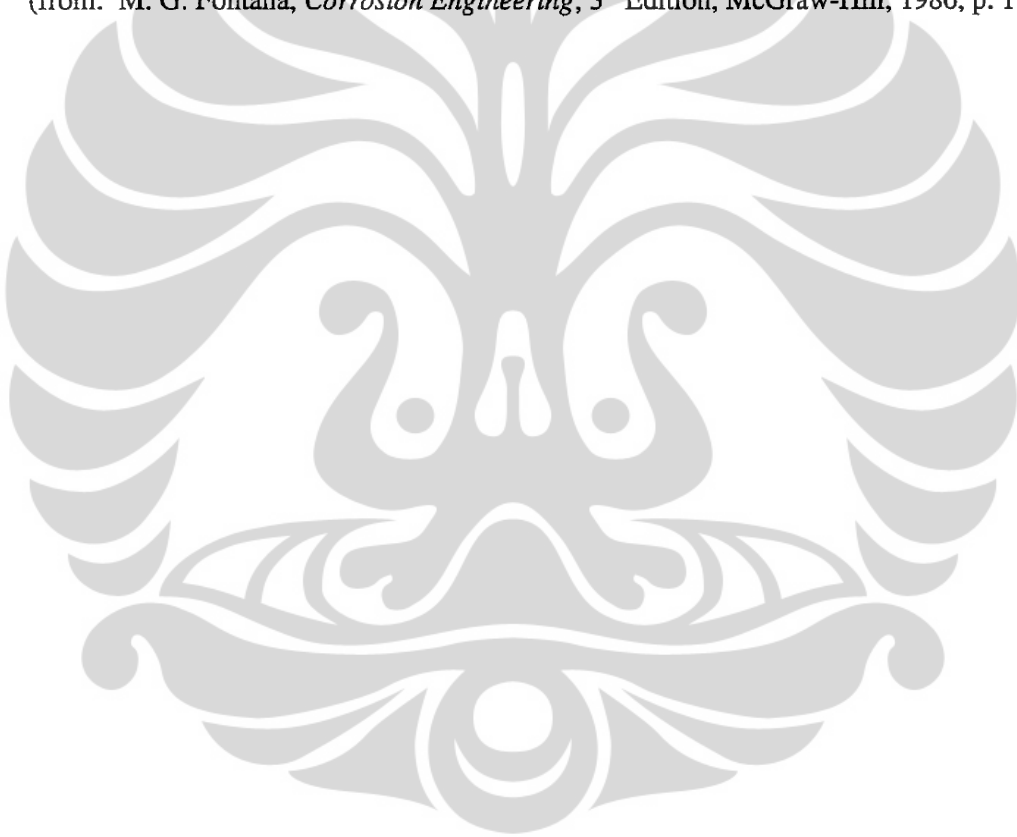


Etsa: Picral 30%, Perbesaran: 500 X

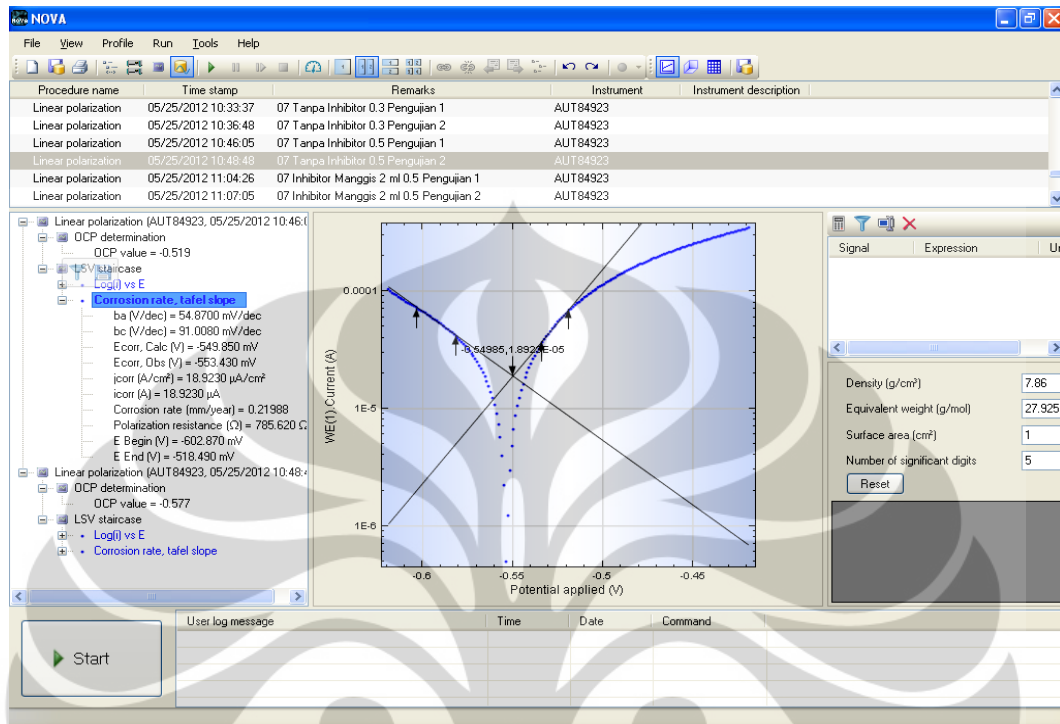
Lampiran 12 – Resistansi Korosi Relatif

Relative Corrosion Resistance	mpy	mm/yr	$\mu\text{m}/\text{yr}$	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+

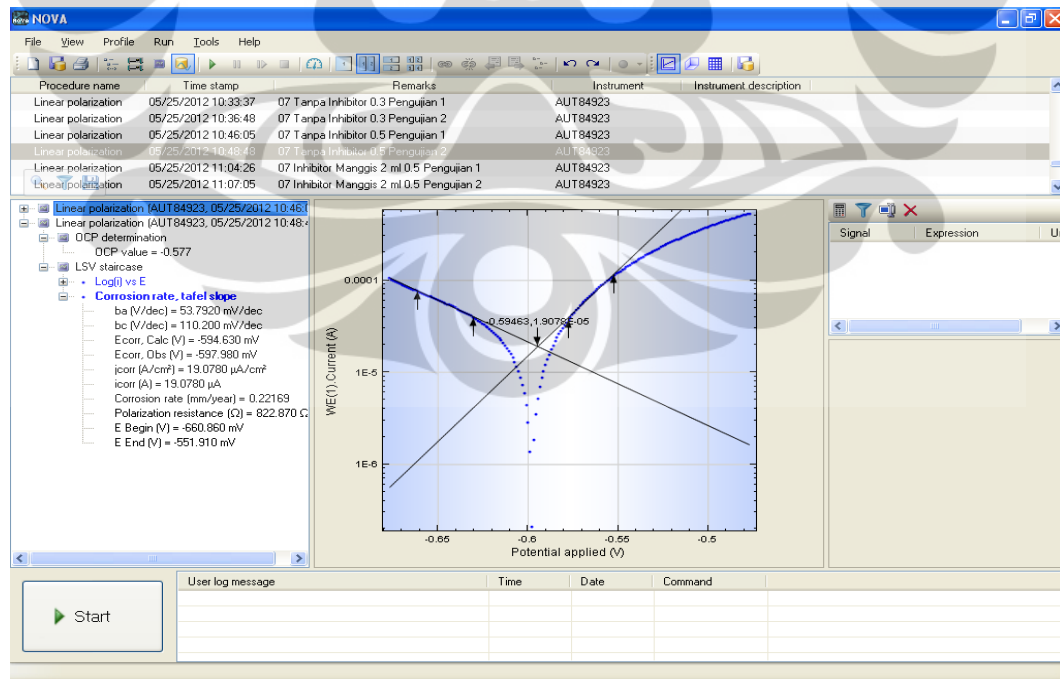
(from: M. G. Fontana, *Corrosion Engineering*, 3rd Edition, McGraw-Hill, 1986, p. 172)



Lampiran 13 – Hasil Pengujian Polarisasi Tanpa Inhibitor dengan AUTOLAB

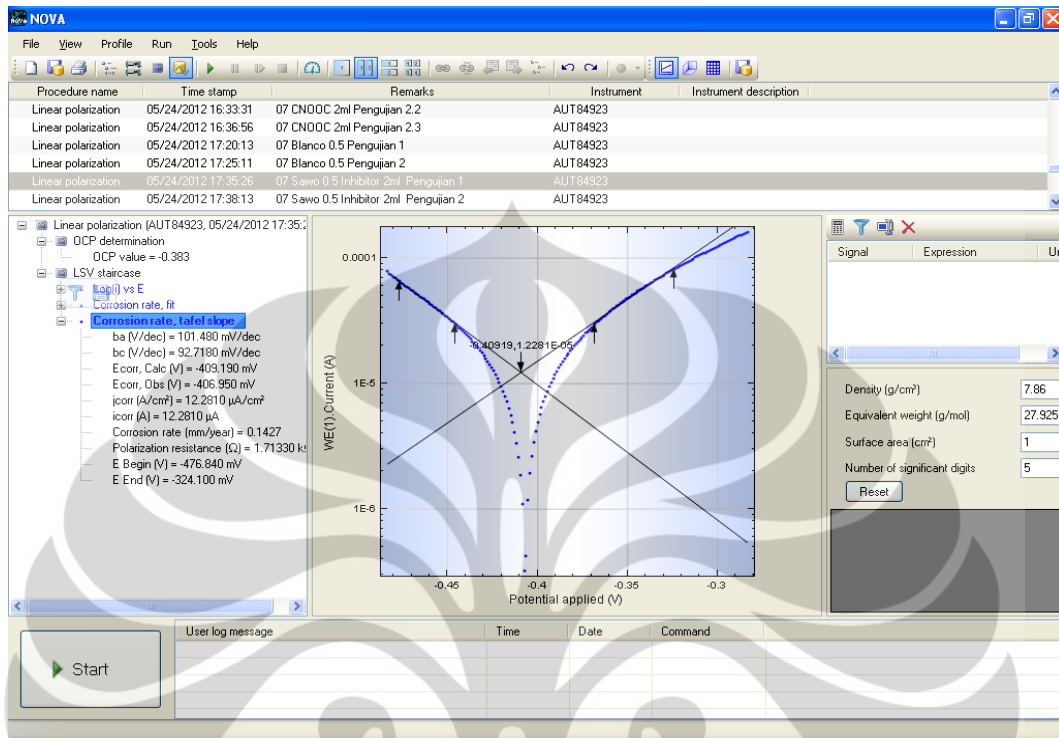


Tanpa Inhibitor, Pengujian 1

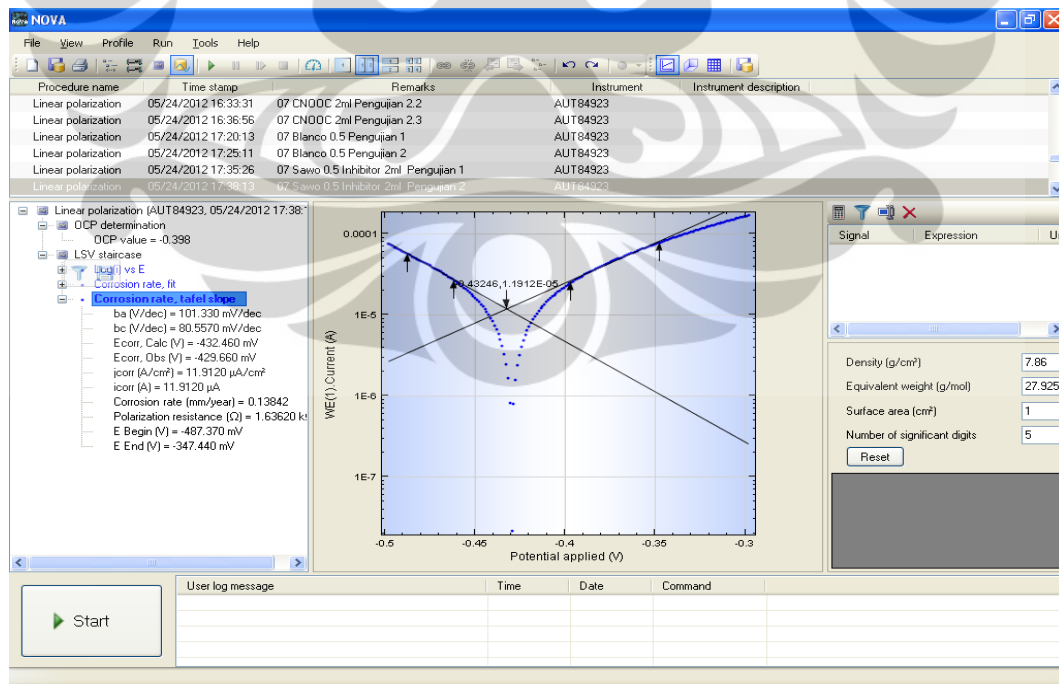


Tanpa Inhibitor, Pengujian 2

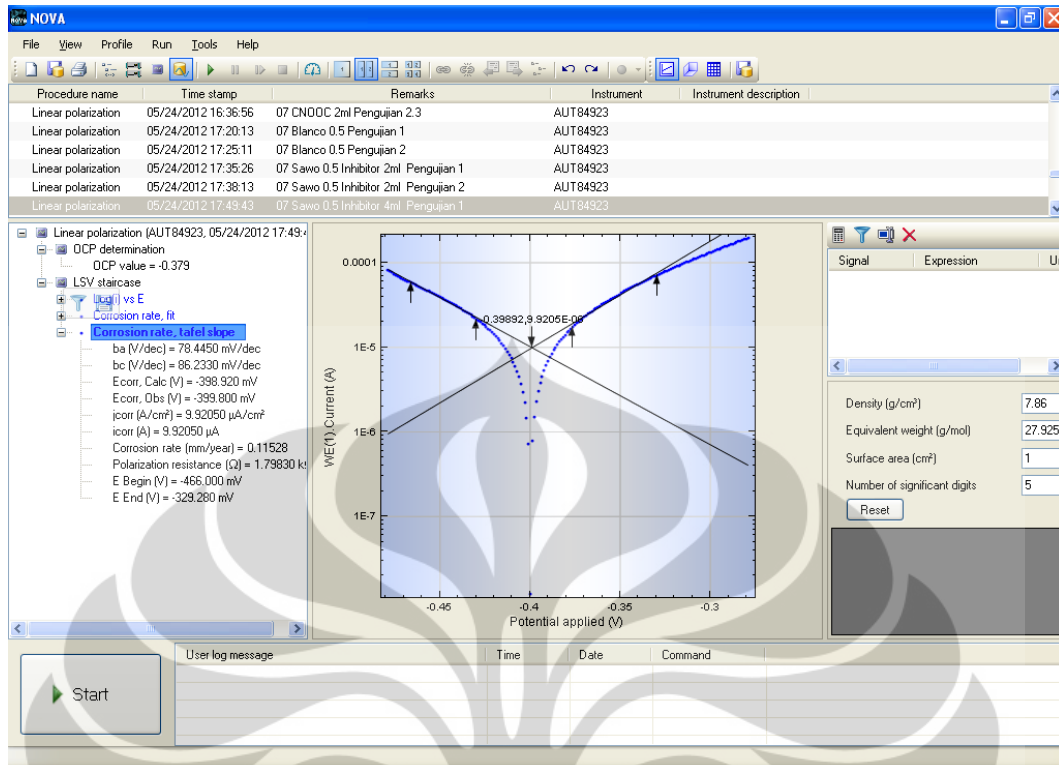
Lampiran 14 – Hasil Pengujian Polarisasi Eks. Kulit Sawo dengan AUTOLAB



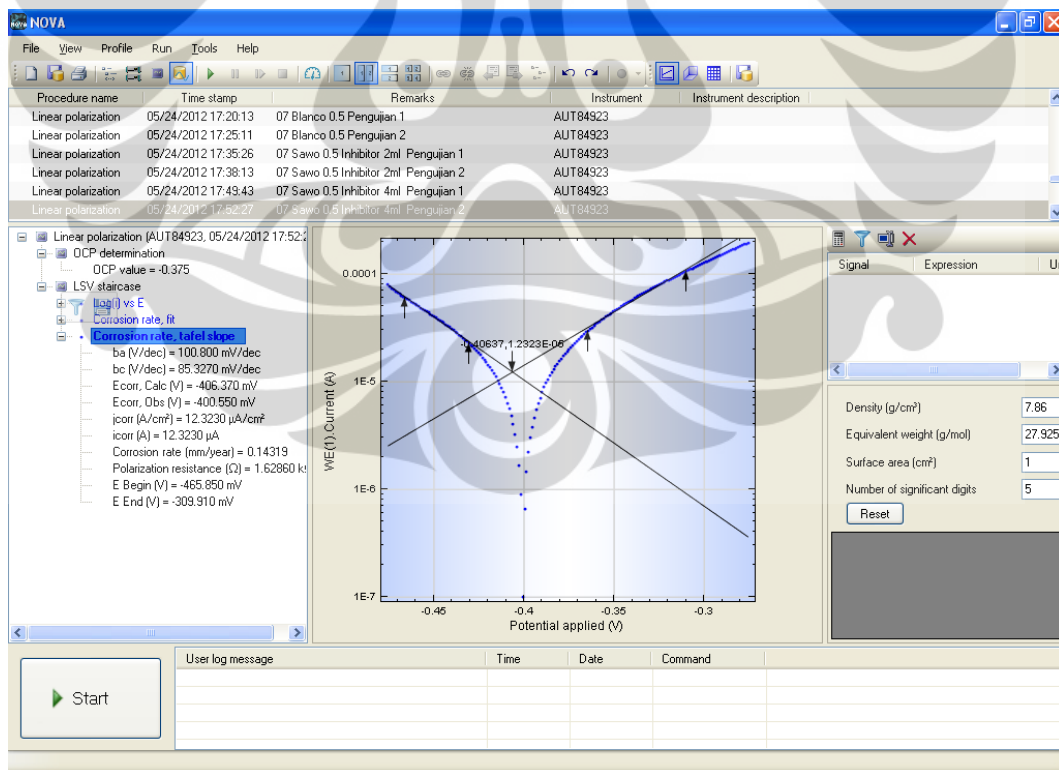
Eks. Kulit Sawo 2ml, Pengujian 1



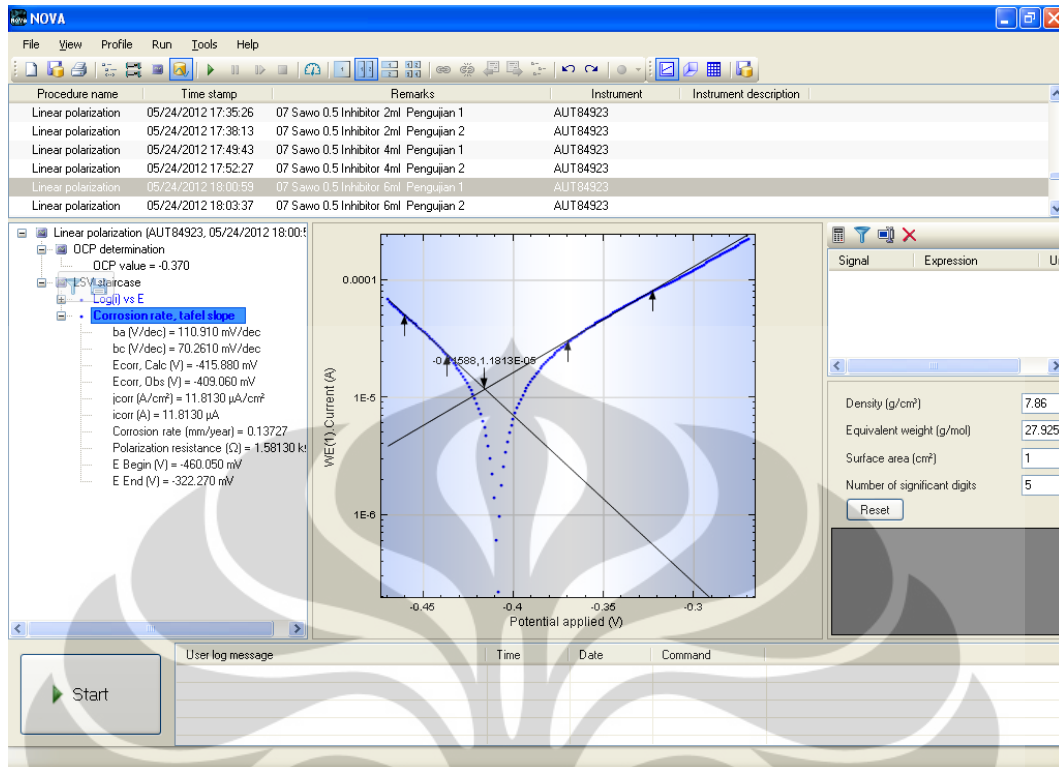
Eks. Kulit Sawo 2ml, Pengujian 2



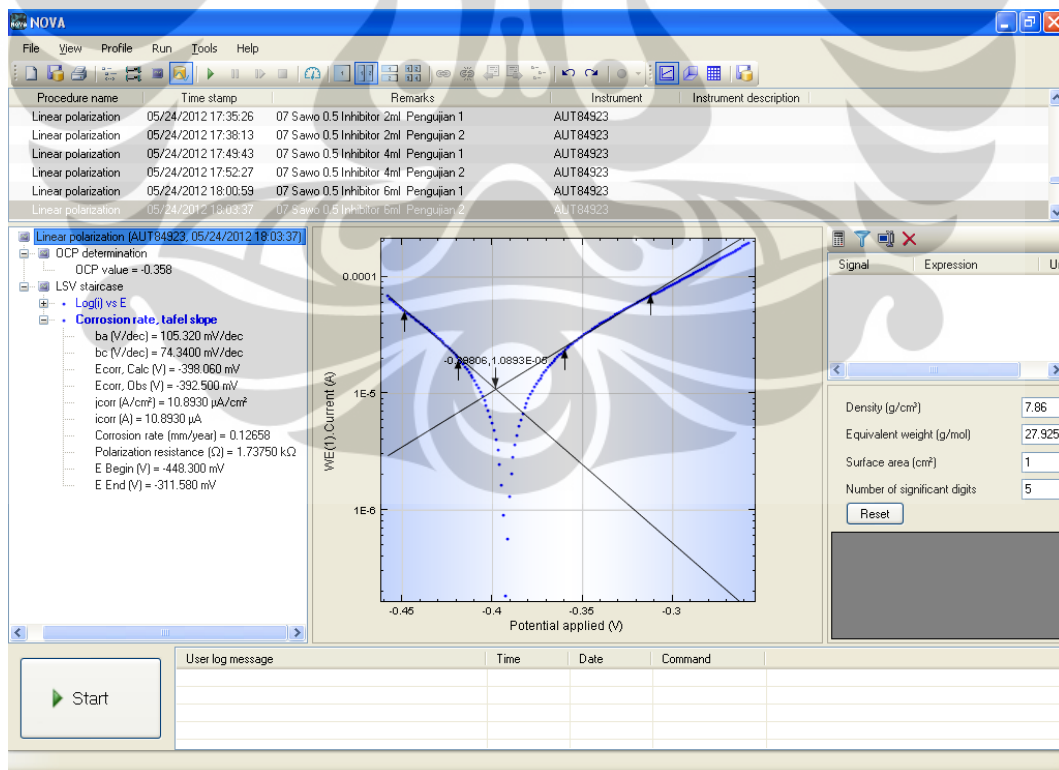
Eks. Kulit Sawo 4ml, Pengujian 1



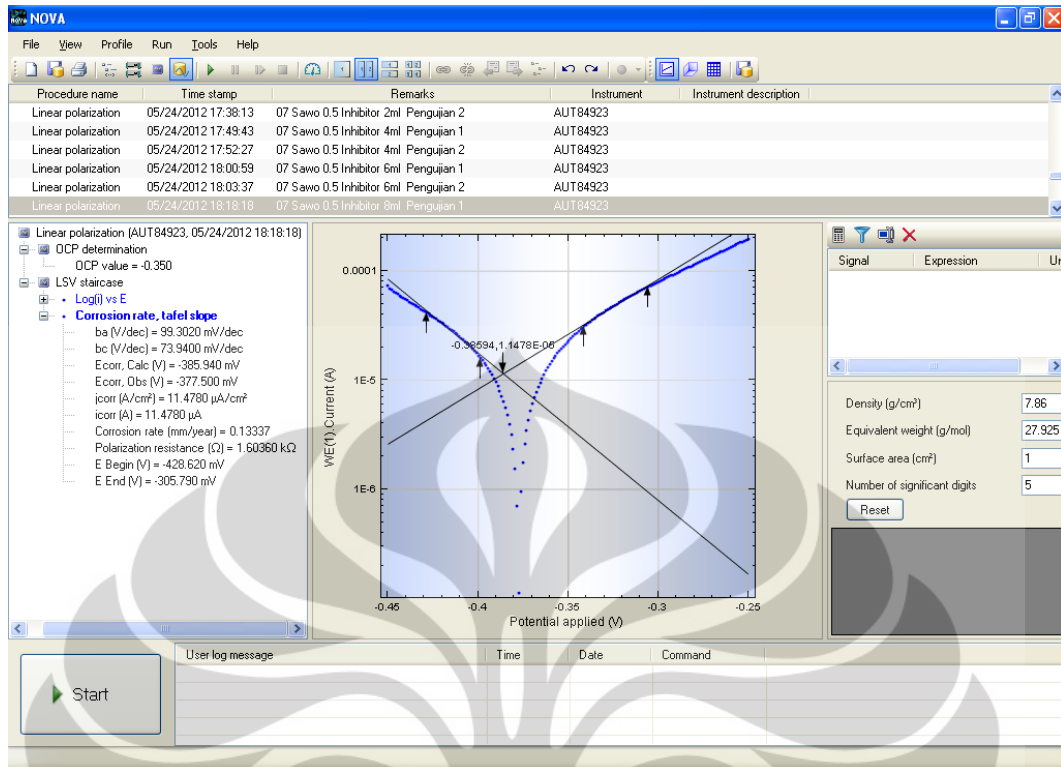
Eks. Kulit Sawo 4ml, Pengujian 2



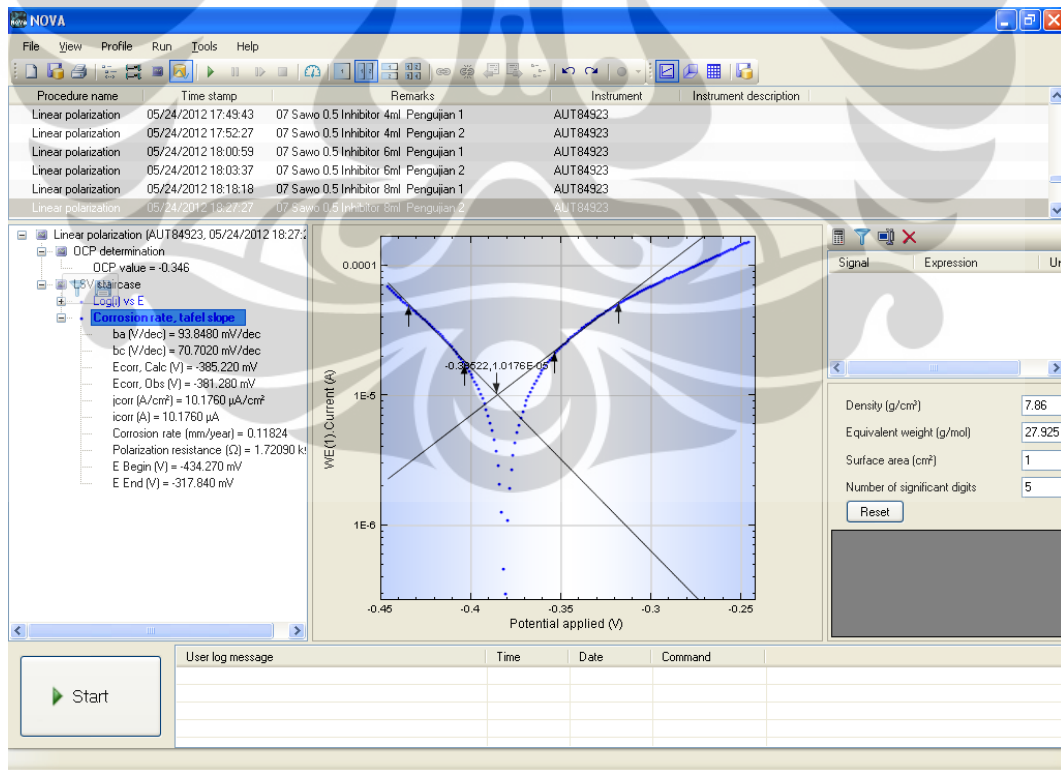
Eks. Kulit Sawo 6ml, Pengujian 1



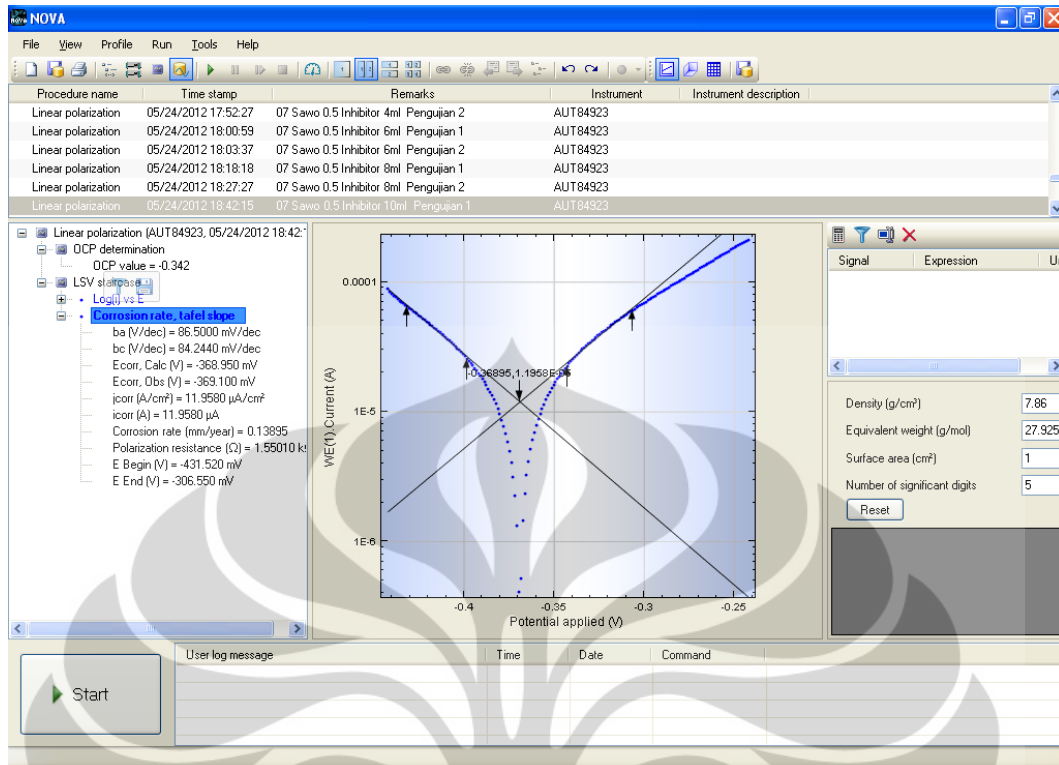
Eks. Kulit Sawo 6ml, Pengujian 2



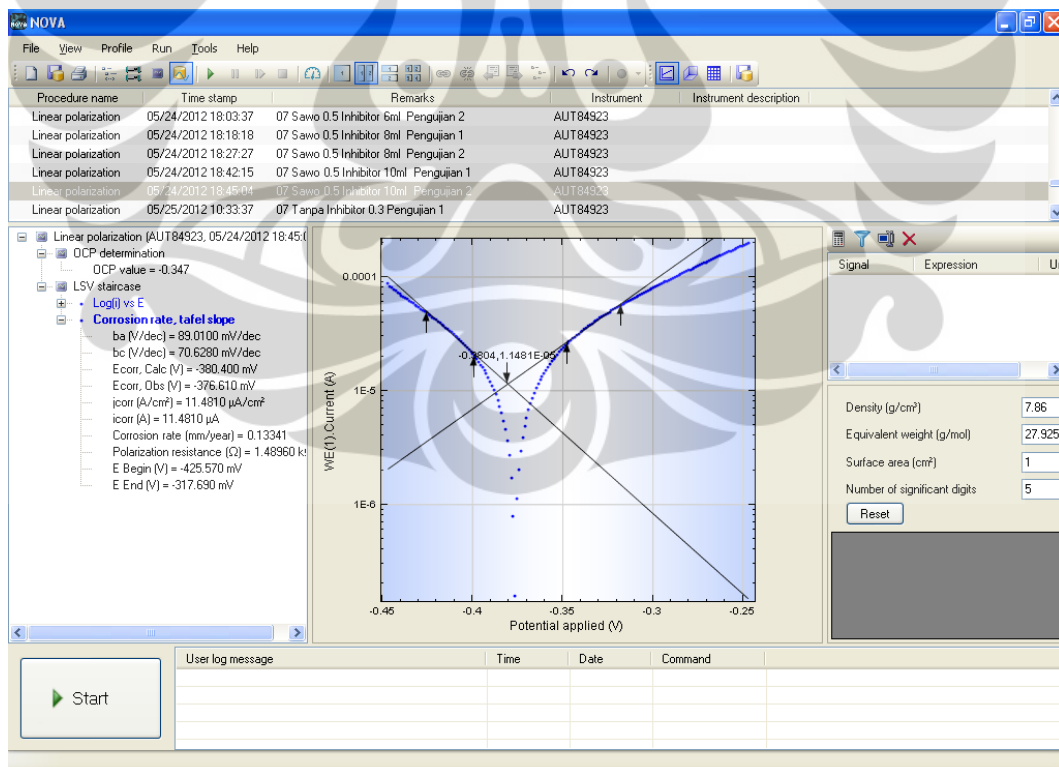
Eks. Kulit Sawo 8ml, Pengujian 1



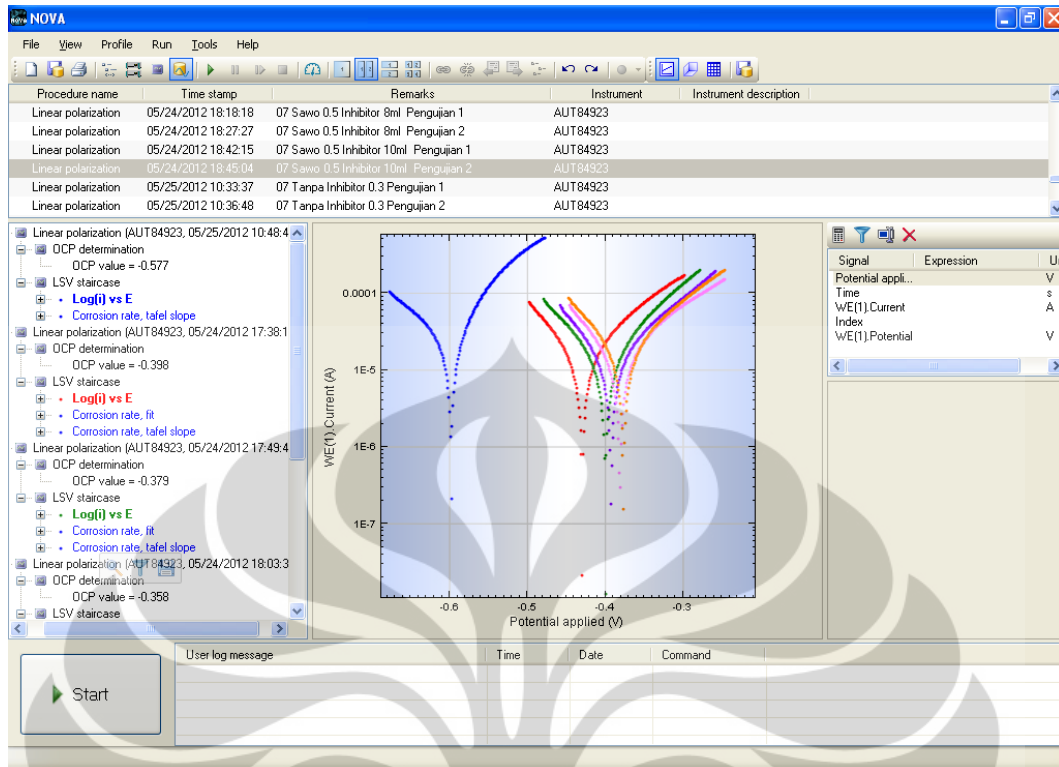
Eks. Kulit Sawo 8ml, Pengujian 2



Eks. Kulit Sawo 10ml, Pengujian 1

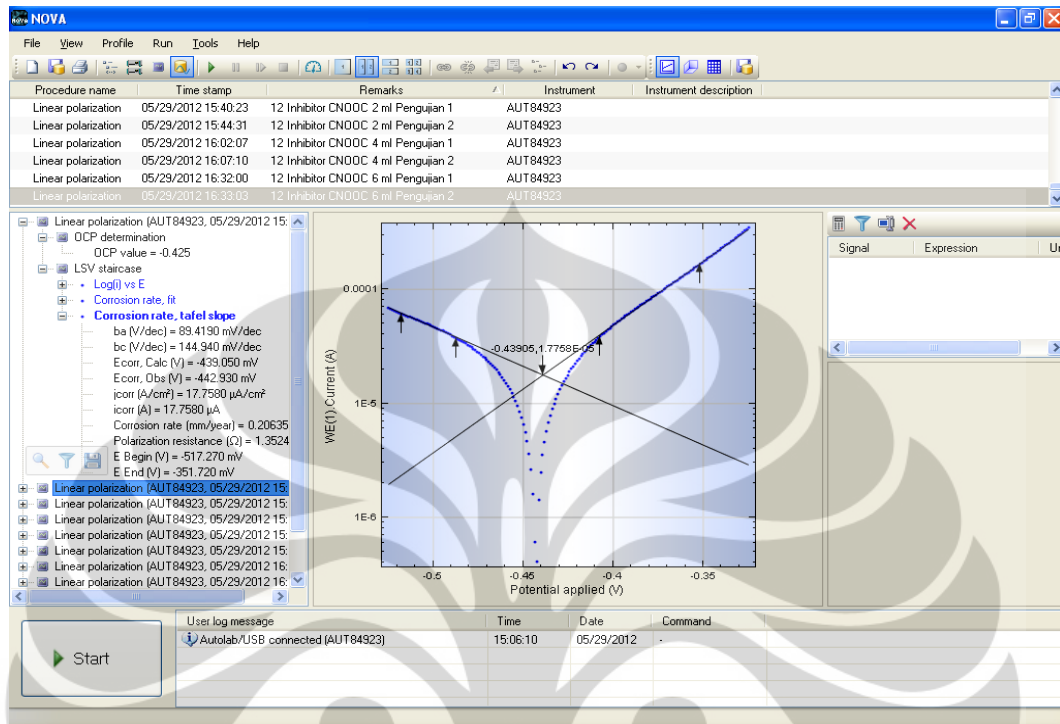


Eks. Kulit Sawo 10ml, Pengujian 2

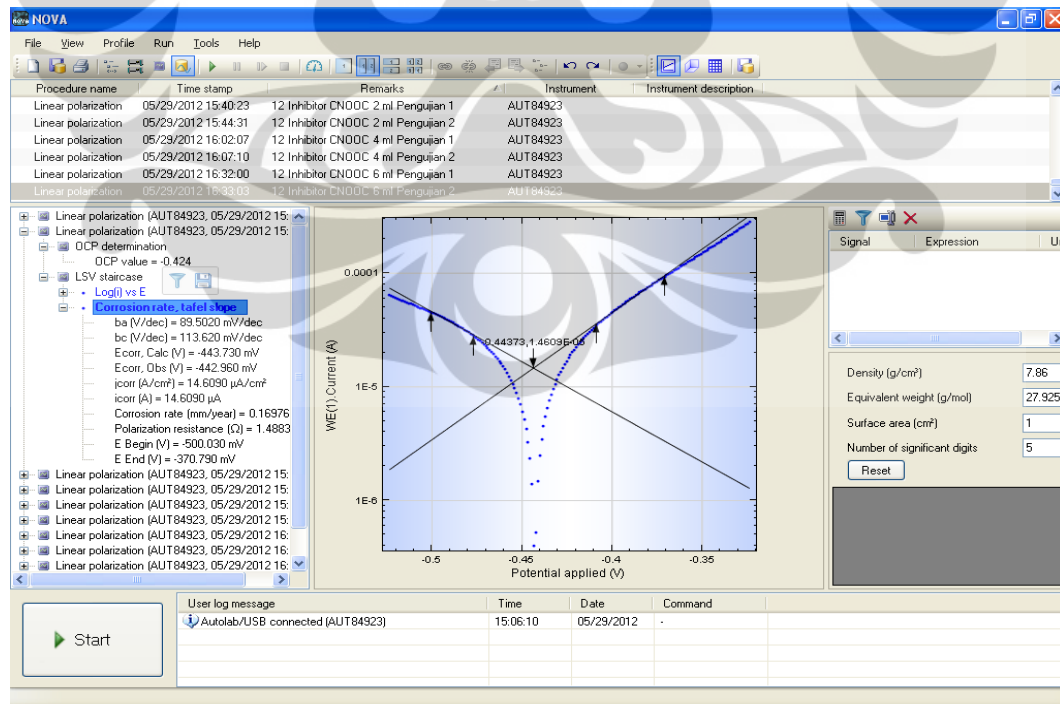


Kurva Gabungan Polarisasi Eks. Kulit Sawo

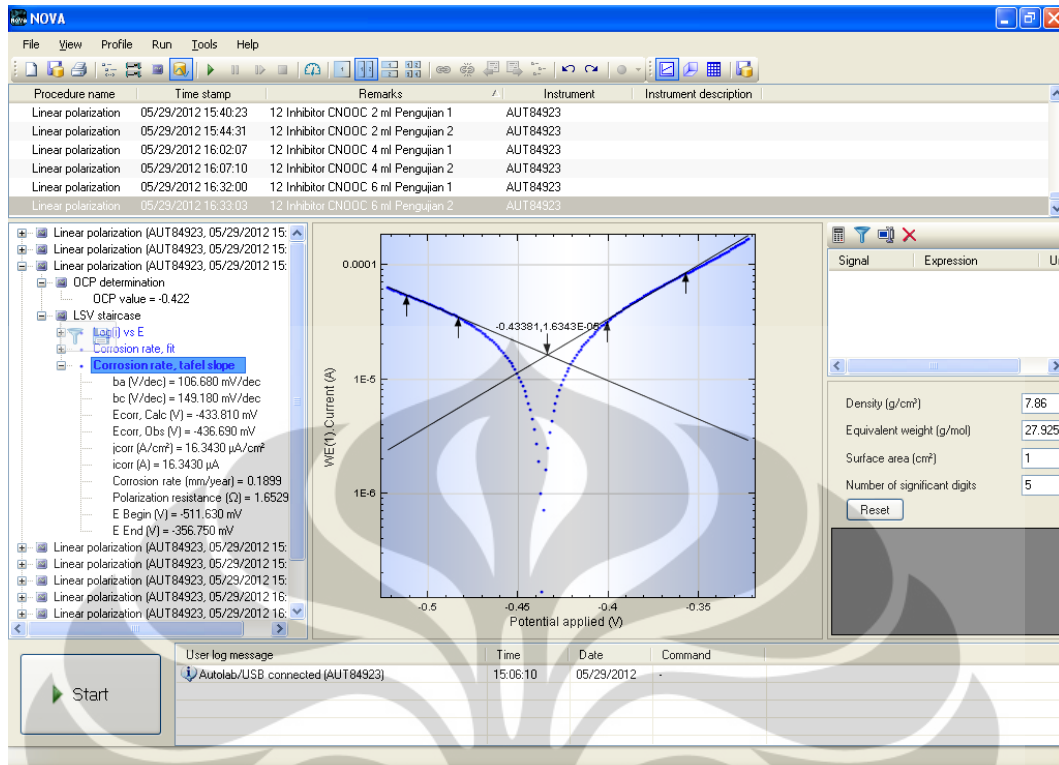
Lampiran 15 – Hasil Pengujian Polarisasi Inhibitor Kimia X dengan AUTOLAB



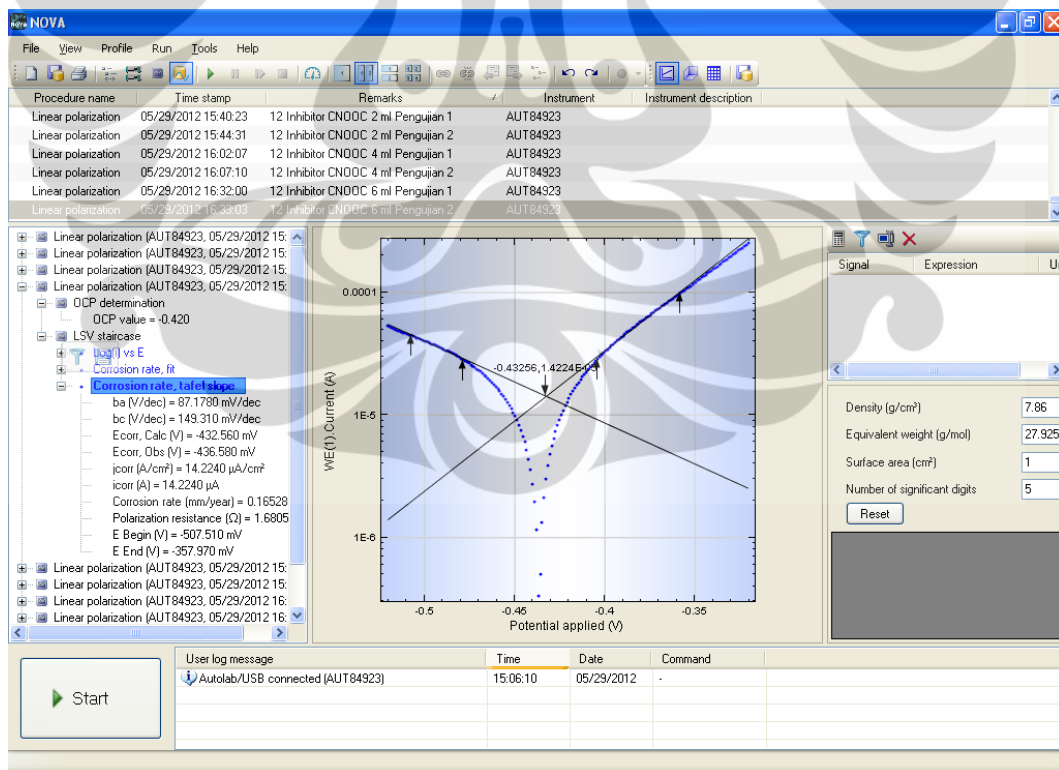
Inhibitor Kimia X 1ml, Pengujian 1



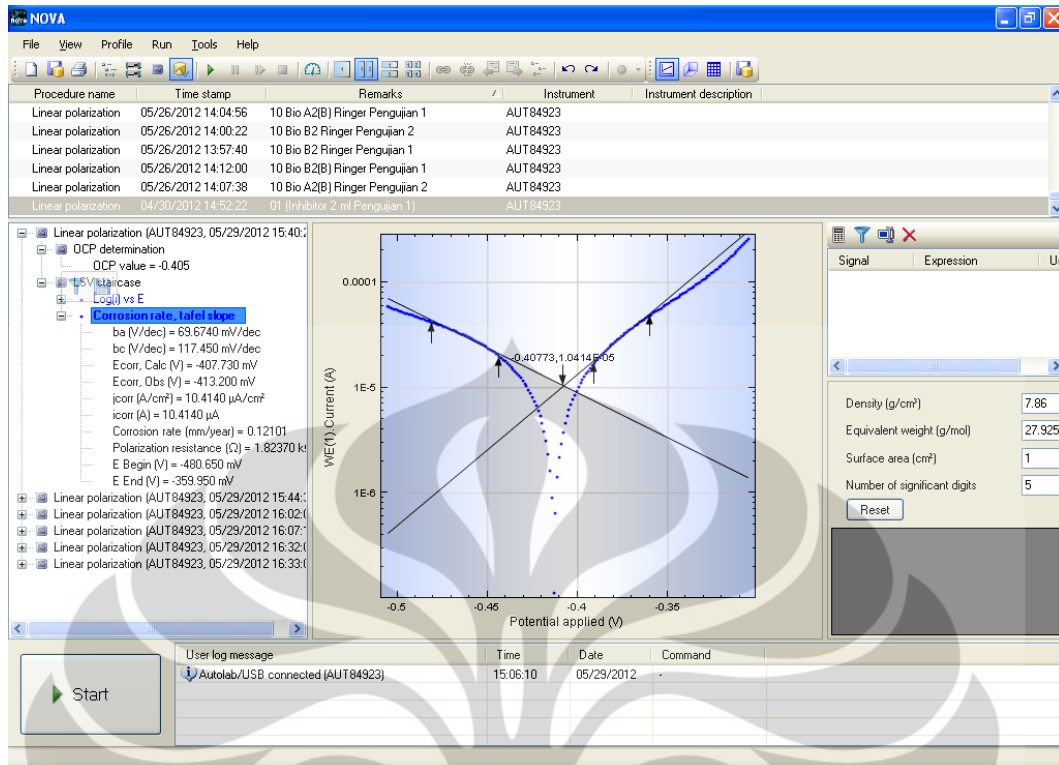
Inhibitor Kimia X 1ml, Pengujian 2



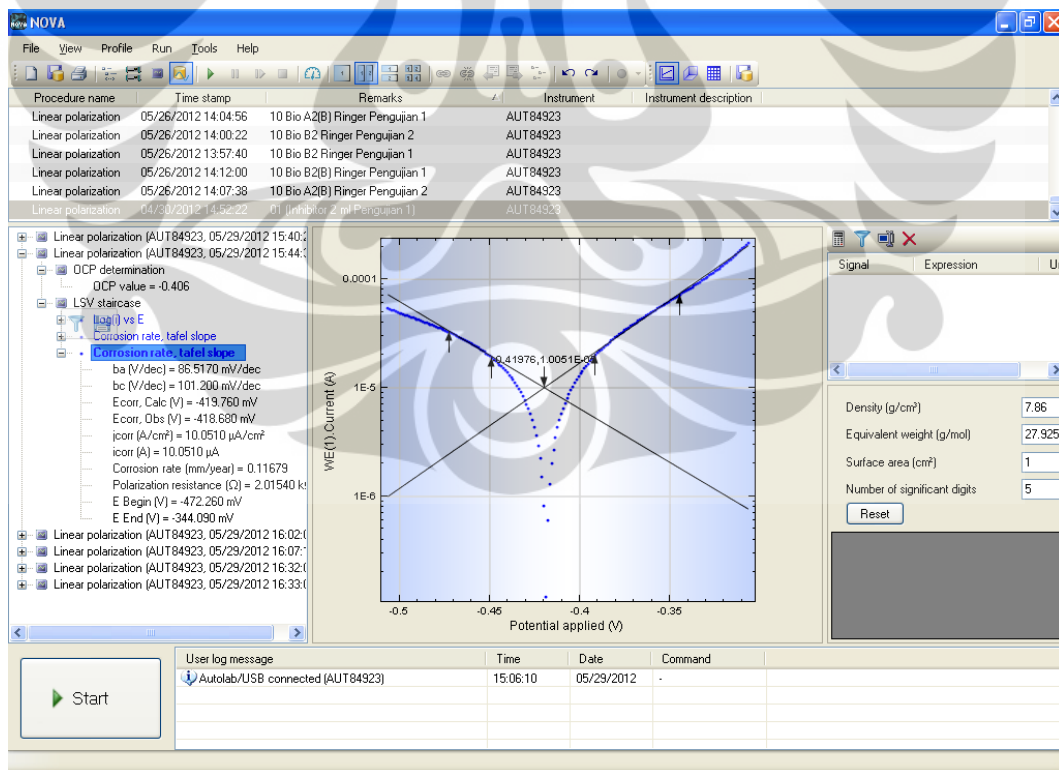
Inhibitor Kimia X 1,5 ml, Pengujian 1



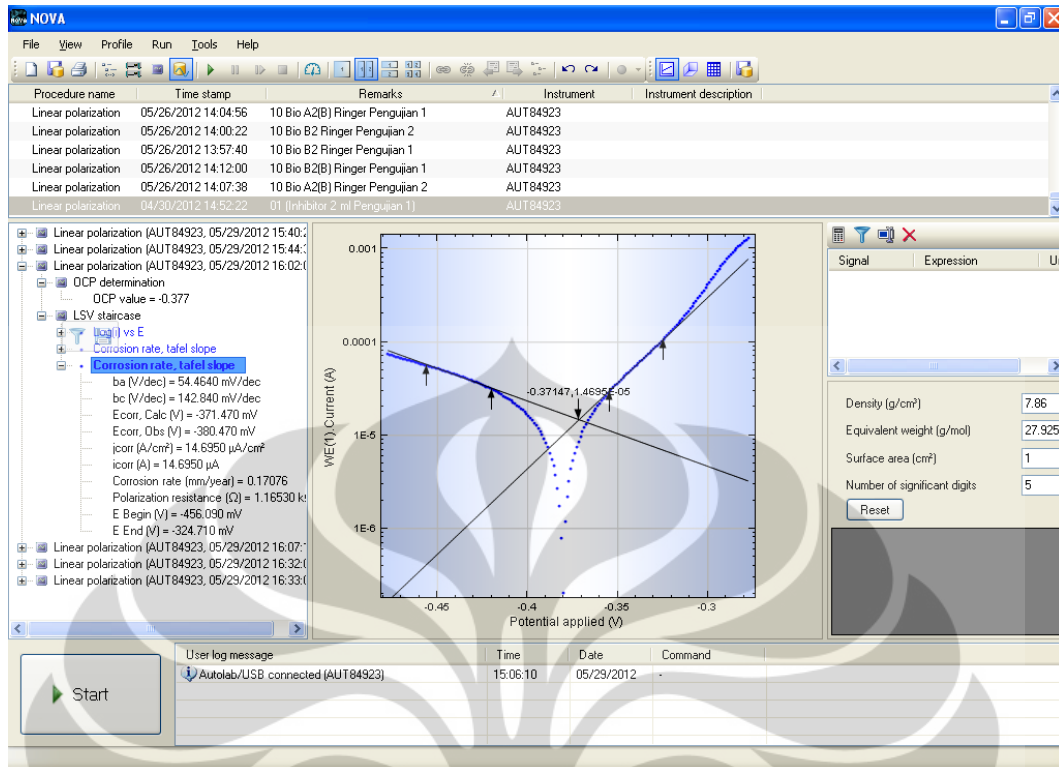
Inhibitor Kimia X 1,5 ml, Pengujian 2



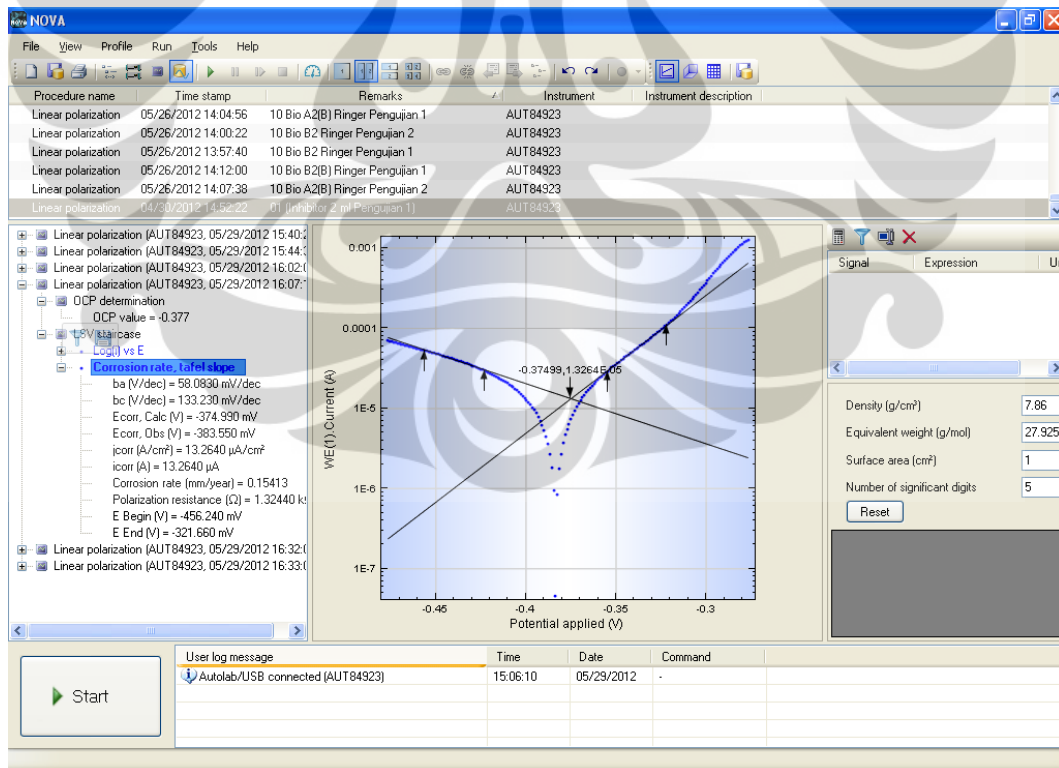
Inhibitor Kimia X 2ml, Pengujian 1



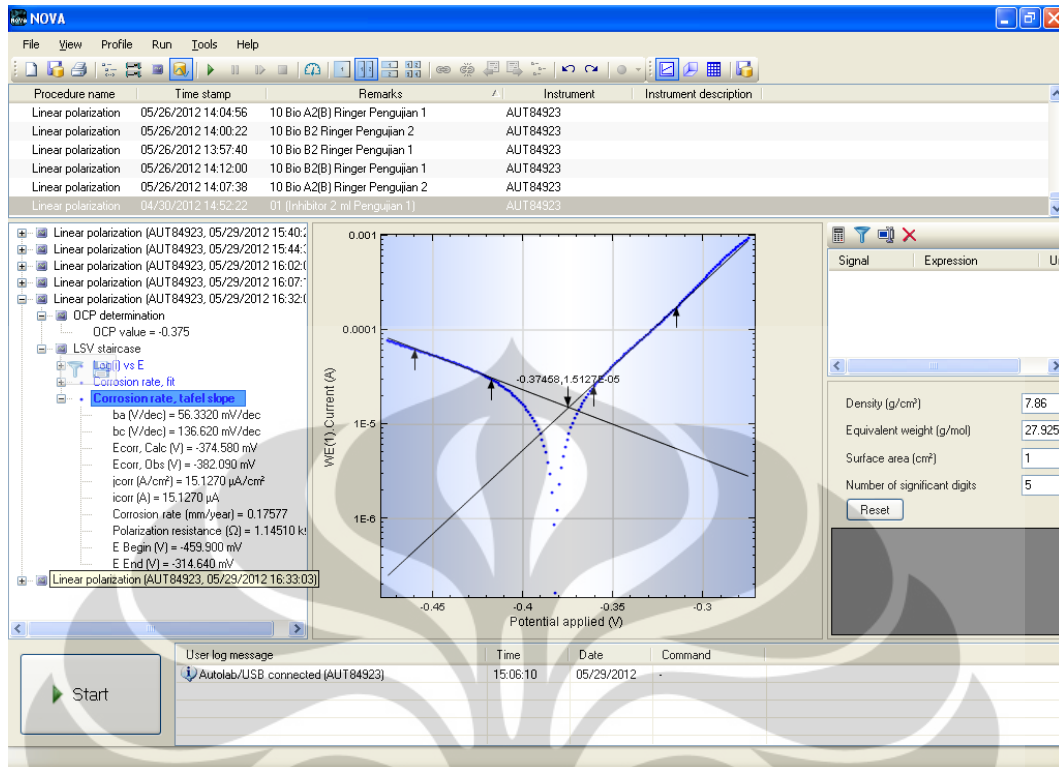
Inhibitor Kimia X 2ml, Pengujian 2



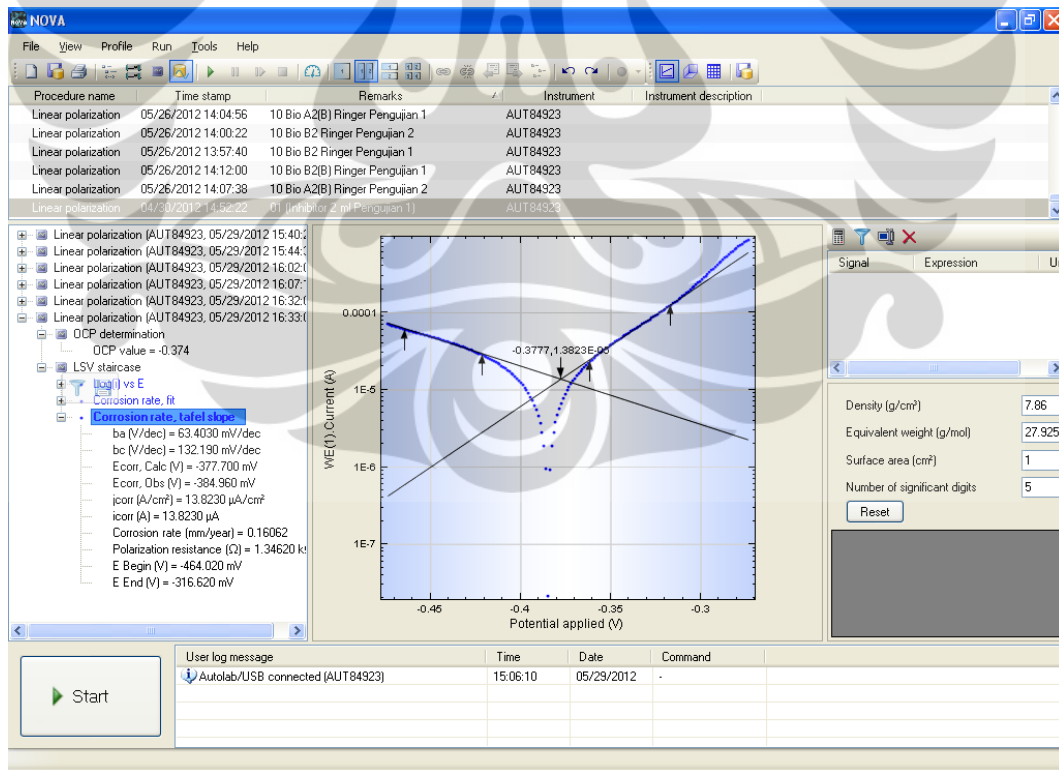
Inhibitor Kimia X 4ml, Pengujian 1



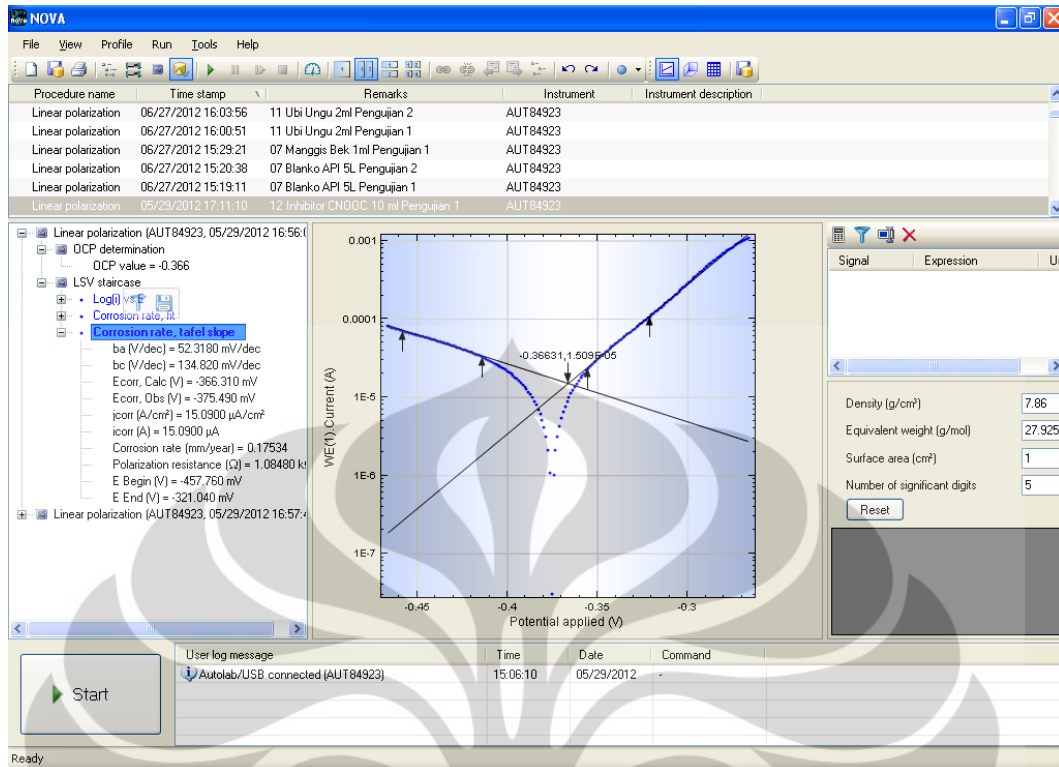
Inhibitor Kimia X 4ml, Pengujian 2



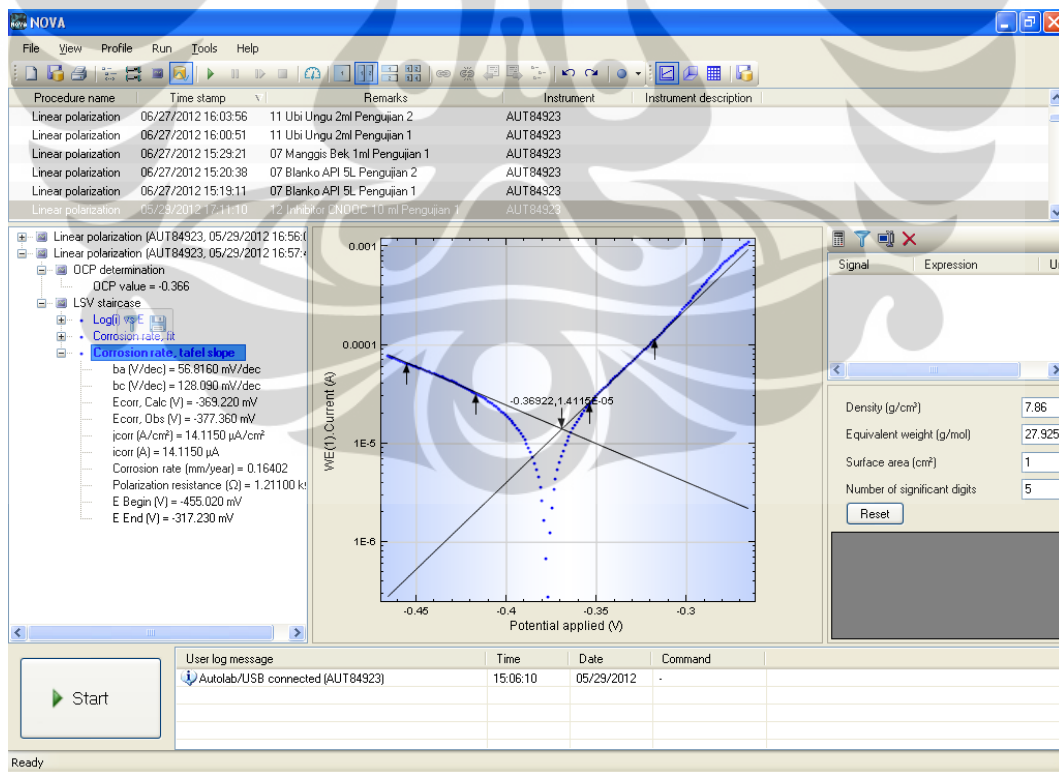
Inhibitor Kimia X 6ml, Pengujian 1



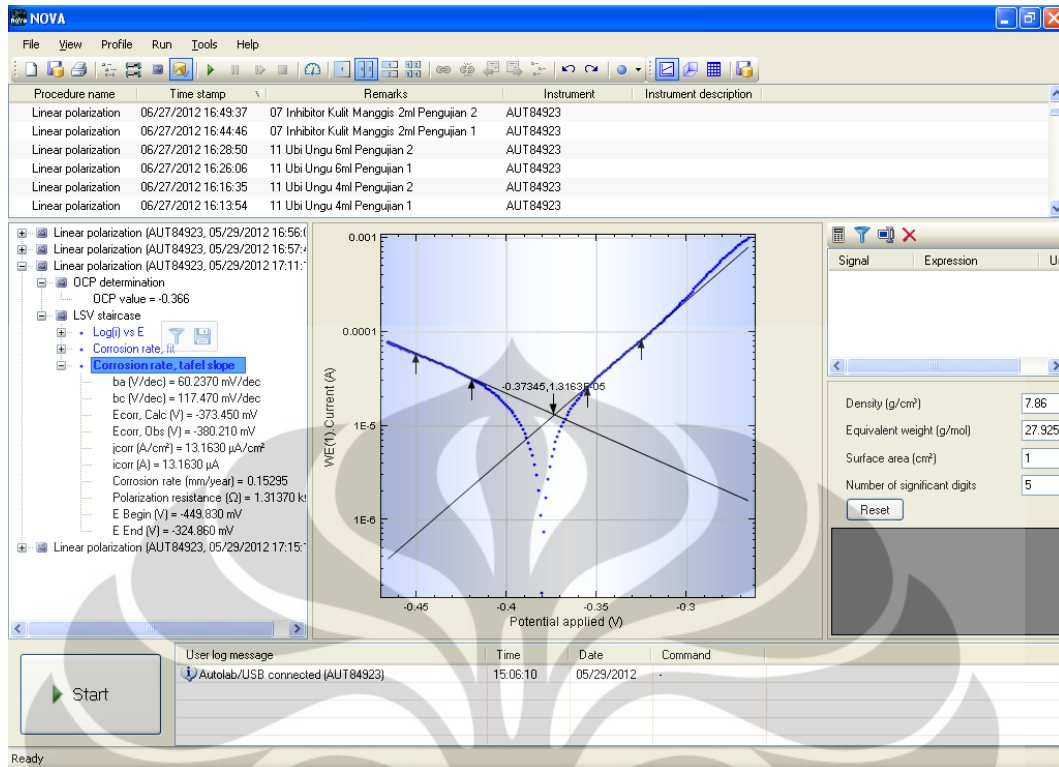
Inhibitor Kimia X 6ml, Pengujian 2



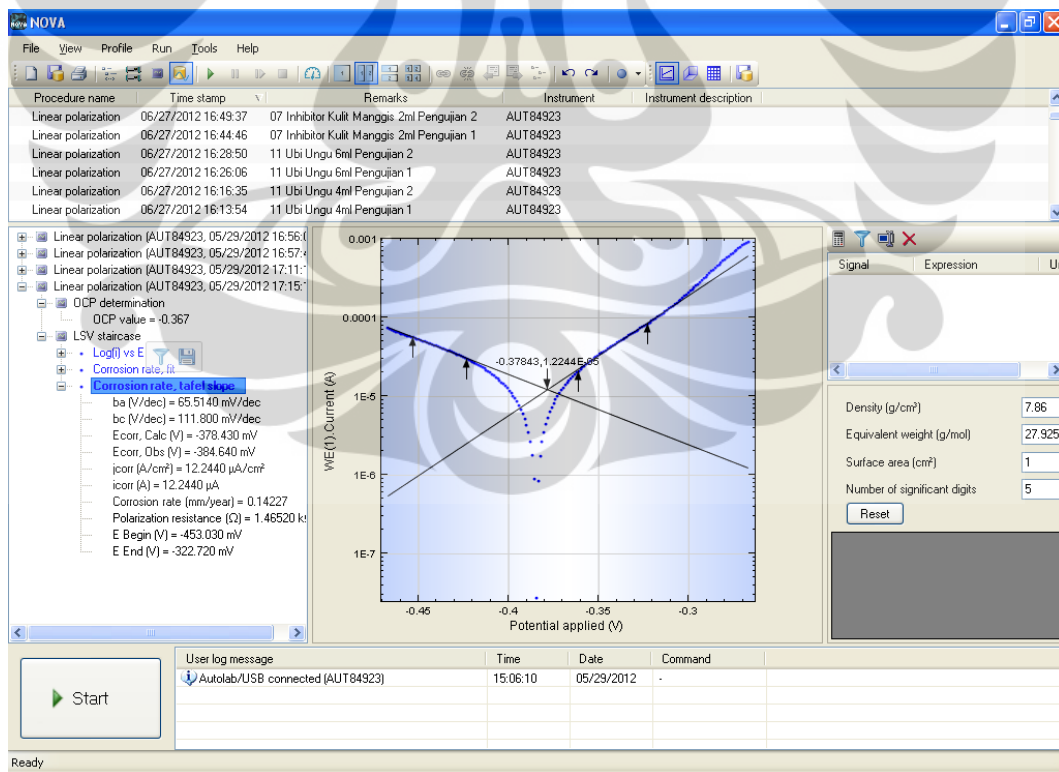
Inhibitor Kimia X 8ml, Pengujian 1



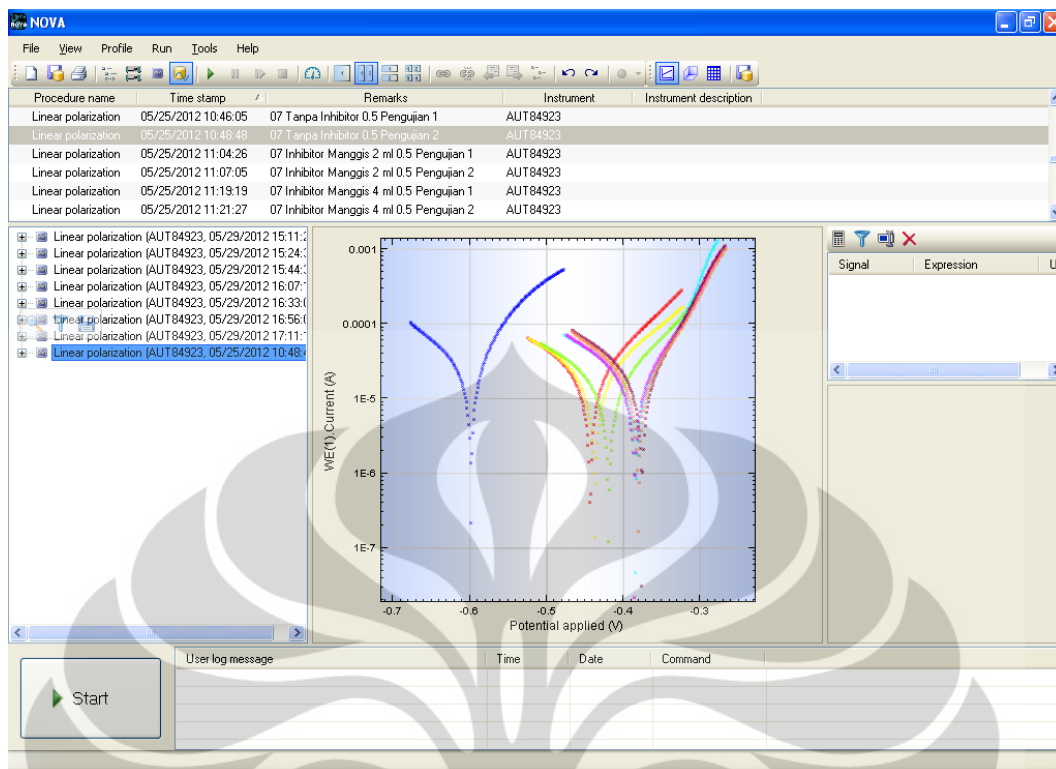
Inhibitor Kimia X 8ml, Pengujian 2



Inhibitor Kimia X 10ml, Pengujian 1



Inhibitor Kimia X 10ml, Pengujian 2



Kurva Gabungan Polarisasi Inhibitor Kimia X