



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PENAMBAHAN BERAS KETAN HITAM SEBAGAI
INHIBITOR ORGANIK DENGAN KONSENTRASI 500 gpl
UNTUK MATERIAL BAJA SPCC DI LARUTAN HCl 0,1 M**

SKRIPSI

**REMON YONASA HORASMUKI TAMBUNAN
0606075201**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI METALURGI DAN MATERIAL**

**DEPOK
JULI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PENAMBAHAN BERAS KETAN HITAM SEBAGAI
INHIBITOR ORGANIK DENGAN KONSENTRASI 500 gpl
UNTUK MATERIAL BAJA SPCC DI LARUTAN HCl 0,1 M**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**REMON YONASA HORASMUKI TAMBUNAN
0606075201**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI METALURGI DAN MATERIAL**

**DEPOK
JULI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya Saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah Saya nyatakan dengan benar.

Nama : Remon Yonasa Horasmuki Tambunan

NPM : 0606075201

Tanda Tangan :

Tanggal : 12 Juli 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Remon Yonasa Horasmuki Tambunan
NPM : 0606075201
Program Studi : Metalurgi Dan Material
Judul Skripsi : Studi Penambahan Beras Ketan Hitam Sebagai
Inhibitor Organik Dengan Konsentrasi 500 gpl Untuk
Material Baja SPCC Di Larutan HCl 0,1 M

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Johny Wahyuadi, DEA .

Penguji 1 : Ir. Andi Rustandi, MT.

Penguji 2 : Dwi Marta Nurjaya, ST., MT.

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 24 Juni 2010

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis naikkan bagi Tuhan Yesus Kristus karena atas kuasa, berkat, dan pertolongan-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir di DTMM dan dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “Studi Penambahan Beras Ketan Hitam Sebagai Inhibitor Organik Dengan Konsentrasi 500 gpl Untuk Material Baja SPCC Di Larutan HCl 0,1 M” sebagai hasil dan suatu bukti pertanggungjawaban penulis selama menjalani Tugas Akhirnya.

Skripsi merupakan salah satu syarat wajib bagi mahasiswa untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik. Karena itu, segala usaha penulis selama belajar empat tahun di DTMM yang telah berhasil dilalui dengan baik dan yang telah mengantarkan penulis ke proses akhir mendorong dan memotivasi penulis untuk mengerjakan Skripsinya dengan baik pula.

Penulis ingin mengucapkan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis selama pengerjaan Skripsi ini.

1. Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyuadi, DEA. sebagai Dosen Pembimbing penulis, Prof. Dr. –Ing. Ir. Bambang Suharno sebagai Kepala Departemen DTMM, dan Dr. Ir. Sri Harjanto, P.hD. sebagai Pembimbing Akademis Penulis,
2. Orang tua dan keluarga penulis, dan
3. Teman-teman tim Tugas Akhir penulis serta teman-teman penulis.

Semoga Tuhan membalas semua kebaikan kalian dan memberkati kalian.

Akhir kata penulis berharap agar Skripsi yang masih merupakan penelitian awal ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, baik bagi penulis maupun pihak lain yang menjadikan Skripsi ini sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya.

Depok, 12 Juli 2010

Penulis

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

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

Nama : Remon Yonasa Horasmuki Tambunan
NPM : 0606075201
Program Studi : Metalurgi Dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

**Studi Penambahan Beras Ketan Hitam Sebagai Inhibitor Organik Dengan
Konsentrasi 500 gpl Untuk Material Baja SPCC Di Larutan HCl 0,1 M**

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

Demikian pernyataan ini Saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 12 Juli 2010

Yang menyatakan

Remon Yonasa Horasmuki Tambunan

ABSTRAK

Nama : Remon Yonasa Horasmuki Tambunan
Program Studi : Metalurgi Dan Material
Judul : Studi Penambahan Beras Ketan Hitam Sebagai Inhibitor Organik Dengan Konsentrasi 500 gpl Untuk Material Baja SPCC Di Larutan HCl 0,1 M

Justifikasi beras ketan hitam sebagai inhibitor organik ditentukan dengan membandingkan laju korosi baja SPCC yang diuji rendam di larutan HCl 0,1 M dengan dan tanpa penambahan beras ketan hitam 500 gpl. Hasilnya beras ketan hitam dapat menekan laju korosi dengan efisiensi 63,952 - 81,2412 % selama waktu uji rendam 3 – 7 hari. Penelitian ini merupakan penelitian tahap awal sehingga mekanisme penghambatannya secara mendetail tidak mencakup bagian dari penelitian ini. Namun pendekatan secara elektrokimia dilakukan untuk membantu justifikasinya dan meramalkan mekanisme yang terjadi dari perubahan potensial logam dan pH larutan.

Kata kunci : beras ketan hitam, inhibitor organik, uji rendam

ABSTRACT

Name : Remon Yonasa Horasmuki Tambunan
Study Program : Metallurgy And Material
Title : Study Of Adding Black Glutinous Rice As An Organic Inhibitor 500 gpl Concentration For SPCC Steel In 0.1 M HCl Solution

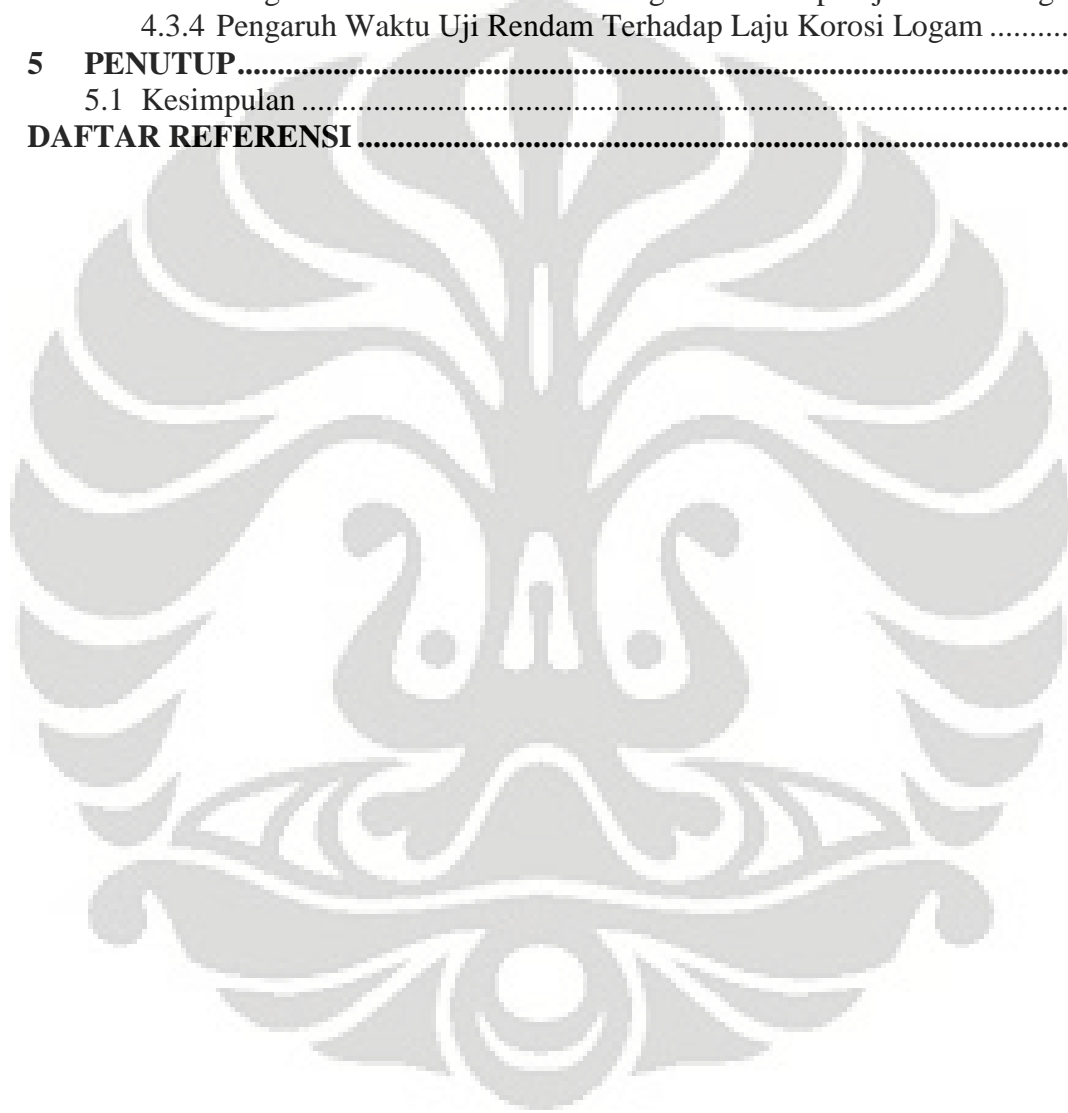
Justification black glutinous rice as an organic inhibitor was determined by comparing corrosion rate of immersed SPCC steel in 0.1 HCl solution with and without addition of 500 gpl black glutinous rice. The result black glutinous rice can inhibit corrosion rate of SPCC steel with the efficiency reaches 63,952 - 81,2412 % during 3 – 7 days of immersion test duration. This study was an early stage research so its detailed inhibition mechanism beyond this study objectives. But electrochemically approach study was done to help its justification and predicted the mechanism it took out of the changing of steel potential and pH solution.

Key word(s) : black glutinous rice, organic inhibitor, immersion test

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Prinsip Dasar Korosi	5
2.1.1 Pengertian Korosi	5
2.1.2 Jenis Korosi	6
2.1.3 Perhitungan Laju Korosi.....	7
2.2 Perlindungan Korosi Pada Larutan Encer.....	9
2.2.1 Proteksi Katodik	9
2.2.2 <i>Coatings</i>	10
2.2.3 Inhibitor	10
2.2.3.1 Inhibitor Anodik	12
2.2.3.2 Inhibitor Katodik.....	12
2.2.3.3 Inhibitor Presipitasi	13
2.2.3.4 Inhibitor Organik.....	14
2.2.3.5 <i>Volatile corrosion inhibitor</i>	14
2.3 Mekanisme Adsorpsi Inhibitor Organik Di Lingkungan HCl	15
3. METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Diagram Alir Penelitian	19
3.2 Alat Dan Bahan.....	19
3.3 Prosedur Kerja	20
3.3.1 Immersion Test.....	20
3.3.1.1 Persiapan Awal.....	20
3.3.1.2 Langkah Kerja Uji Rendam.....	21
3.3.1.3 Pembersihan Kupon	22
3.3.1.4 Menghitung <i>Corrosion Rate</i> (mpy).....	22

3.3.2 Pengukuran pH Dan Potensial Logam	22
4. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN.....	24
4.1 Hasil Pengujian <i>Weight Loss</i> Logam	24
4.2 Hasil Pengujian Ph Larutan Dan Potensial Logam.....	26
4.3 Pembahasan.....	29
4.3.1 Pengamatan Visual Terhadap Penambahan Beras Ketan Hitam	29
4.3.2 Pengaruh Perubahan pH Larutan Terhadap Laju Korosi Logam	30
4.3.3 Pengaruh Perubahan Potensial Logam Terhadap Laju Korosi Logam	32
4.3.4 Pengaruh Waktu Uji Rendam Terhadap Laju Korosi Logam	33
5 PENUTUP.....	35
5.1 Kesimpulan	35
DAFTAR REFERENSI	37



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Korosi Logam M Pada Larutan HCl.....	5
Gambar 2.2	Skema Jenis-Jenis Korosi	7
Gambar 2.3	Diagram Polarisasi Logam M Dengan Penambahan Inhibitor Anodik12	
Gambar 2.4	Diagram Polarisasi Logam M Dengan Penambahan Inhibitor Katodik13	
Gambar 2.5	Struktur Molekul <i>Aniline</i>	16
Gambar 2.6	Struktur Molekul <i>Benzenethiol</i>	17
Gambar 2.7	Struktur Molekul <i>2-Aminobenzenethiol</i>	17
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	19
Gambar 4.1	Grafik Pengurangan Berat Logam Terhadap Waktu	24
Gambar 4.2	Grafik <i>Corrosion Rate</i> Logam Terhadap Waktu.....	25
Gambar 4.3	Grafik Efisiensi Inhibitor Terhadap Waktu	26
Gambar 4.4	Grafik Perubahan pH Larutan Terhadap Waktu.....	27
Gambar 4.5	Grafik Perubahan Potensial Logam Terhadap Waktu	29
Gambar 4.6	Pemetaan Diagram Pourbaix Untuk Keadaan Logam Pada Sistem Yang Terinhibisi	33

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Distribusi Kualitas Ketahanan Korosi Suatu Material	8
Tabel 4.1	Data Pengurangan Berat Logam.....	24
Tabel 4.2	Data <i>Corrosion Rate</i> Logam Dan Efisiensi Inhibitor	25
Tabel 4.3	Data pH Larutan	26
Tabel 4.4	Data Perubahan pH Larutan	27
Tabel 4.5	Data Potensial Logam.....	28
Tabel 4.6	Data Perubahan Potensial Logam.....	29



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Foto Hasil Pengujian	39
Lampiran B. Standard Pengujian.....	46



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Korosi pada industri dapat menyebabkan kegagalan proses, kerusakan alat produksi, kerugian secara ekonomi akibat menurunnya efisiensi produksi, dan dapat menyebabkan masalah bagi keselamatan pekerja. Data menyebutkan kerugian ekonomi akibat korosi pada sektor perindustrian di Amerika Serikat mencapai 126 milyar US\$ pada 1982 ^[1]. Data juga menyebutkan pada 1986 di Virginia, Amerika Serikat, kegagalan pada pipa gas akibat korosi dan erosi menyebabkan kebakaran pada pembangkit tenaga nuklir dan menewaskan 12 orang pekerja ^[1]. Contoh di atas hanya beberapa dari banyak kasus akibat korosi yang terjadi di industri. Karena itu korosi harus dikurangi dan ditanggulangi dalam perawatan dan pemeliharaan industri.

Korosi dapat dikurangi (reaksi korosi) dengan banyak cara, salah satunya dengan penambahan zat inhibitor yang dapat memperlambat reaksi korosi pada suatu sistem dimana bahan atau material yang ingin dilindungi ada di dalamnya. Inhibitor bekerja dengan mekanisme yang berbeda-beda untuk suatu inhibitor untuk memperlambat korosi untuk material tertentu pada lingkungan tertentu. Inhibitor sebagai suatu zat kimiawi dalam usahanya untuk memperlambat korosi material juga akan bereaksi dengan lingkungan material tersebut. Reaksi tersebut memungkinkan terjadinya perubahan sifat awal dari lingkungan yang memang diinginkan sesuai prinsip kerjanya dan dapat menjadi sesuatu yang bersifat racun. Mengingat isu mengenai lingkungan menjadi hal yang harus diperhatikan dan ditangani serius dewasa ini, perkembangan ilmu dan teknologi dalam industri juga harus berjalan sinergis dengan isu tersebut.

Pemanfaatan dan penelitian inhibitor organik sebagai *green inhibitor* dewasa ini banyak dikembangkan sebagai bentuk pemanfaatan dan daya dukung sumber daya alam dalam kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi. Bahan organik yang terdapat di alam seperti tanaman dan buah-buahan mengandung unsur yang memiliki sifat anti-oksidan yang dapat menangkal radikal bebas. Atas dasar itulah bahan organik

tersebut dimanfaatkan sebagai inhibitor yang dapat mencegah reaksi oksidasi material oleh unsur anti-oksidan yang terkandung di dalamnya melalui suatu mekanisme tertentu. Pemakaian inhibitor organik yang tidak mencemari lingkungan menjadi nilai lebih bila dibandingkan dengan inhibitor anorganik. Selain itu, dengan tersedianya bahan organik di alam yang tak terhitung jumlahnya biaya investasi dapat ditekan untuk biaya produksi dan penelitian. Namun, kecocokan antara mekanisme, kebutuhan, dan efektifitasnya terhadap suatu sistem lingkungan tertentu membutuhkan penelitian yang lebih mendalam. Karena itulah riset yang mengarah ke sana harus terus dikembangkan.

Pada penelitian ini, beras ketan hitam sebagai suatu bahan organik akan dimanfaatkan sebagai inhibitor organik untuk material baja SPCC di larutan HCl 0,1 M. Kondisi larutan ini merepresentasikan pemakaian inhibitor organik pada kondisi lingkungan yang dipenuhi HCl atau lingkungan dengan konsentrasi asam kuat, seperti pada sumur pipa minyak dan gas pada industri perminyakan ketika pengeboran dengan bantuan injeksi HCl (*acid treatment*), *ore reduction*, *pickling* material oleh HCl, *chemical cleaning and processing*, dan tempat penyimpanan larutan asam pada industri farmasi dan pada industri makanan atau minuman kemasan (*food processing*). Mengingat HCl adalah media yang sangat korosif, kandidat material yang dapat berinteraksi langsung dengan HCl diharapkan tidak memiliki *corrosion rate* lebih dari 0,5 mm/yr^[2]. Karena itulah pemakaian HCl (khususnya *pickling*) untuk material yang umum ditambahkan inhibitor dengan inhibitor organik yang biasa digunakan karena efektifitasnya^[3].

1.2 Perumusan Masalah

Beras ketan hitam sebagai suatu inhibitor organik akan diteliti untuk melihat justifikasi bahan organik ini dalam menghambat korosi. Penelitian ini merupakan penelitian tahap awal dan terbatas untuk mendapatkan justifikasinya sebagai suatu inhibitor organik, sehingga mekanisme yang mendetail secara keseluruhan di luar masalah yang ditetapkan.

Beras ketan hitam akan ditambahkan ke dalam suatu larutan yang korosif untuk memudahkan justifikasinya yang dilihat dari keadaan suatu sampel yang direndam di larutan tersebut, sehingga pemilihan sampel dapat ditentukan secara acak dengan syarat sampel tidak mendapatkan perlakuan panas permukaan maupun perlakuan untuk meningkatkan ketahanan korosinya.

Pengujian yang dilakukan berdasarkan pada uji rendam dengan variabel uji adalah waktu uji rendam dan perbedaan kondisi lingkungan (dengan dan tanpa penambahan beras ketan hitam) pada setiap variabel waktu uji rendam yang sama untuk melihat efisiensinya. Perubahan kondisi sampel dan lingkungan dapat dipelajari untuk membantu justifikasinya.

1.3 Tujuan Penelitian

- a. Mengetahui justifikasi dan peran beras ketan hitam sebagai suatu inhibitor organik.
- b. Melihat kecenderungan mekanisme kerja beras ketan hitam sebagai suatu inhibitor organik di larutan HCl 0,1 M.
- c. Mengetahui efisiensi beras ketan hitam sebagai suatu inhibitor organik.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

- a. Sampel yang digunakan adalah baja SPCC yang diuji rendam di dalam larutan HCl 0,1 M.
- b. Konsentrasi beras ketan hitam yang digunakan untuk semua pengujian dengan penambahan beras ketan hitam adalah sama, yaitu 500 gpl.
- c. Pengujian untuk mengetahui pengaruh penambahan beras ketan hitam dilihat dari perubahan pH lingkungan dan potensial baja SPCC di larutan HCl 0,1 M dengan dan tanpa penambahan beras ketan hitam.
- d. Efisiensi inhibitor didapat dengan mengolah data dari *corrosion rate* dengan metode *weight loss* dari sampel yang direndam di larutan rendam

dengan dan tanpa penambahan beras ketan hitam sesuai variabel waktu rendamnya, yaitu waktu uji rendam selama tiga, lima, dan tujuh hari.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Prinsip Dasar Korosi

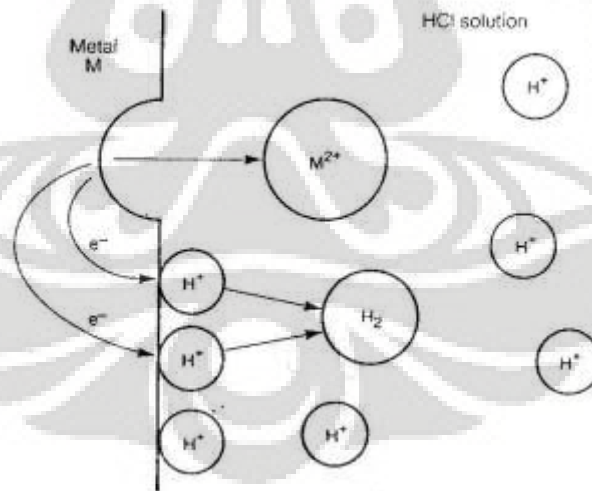
2.1.1 Pengertian Korosi

Korosi adalah degradasi material (biasanya logam) akibat reaksi elektrokimia material tersebut dengan lingkungannya. Lingkungan tersebut dapat berupa air, udara, gas, larutan asam, dll ^[4]. Berdasarkan kondisi lingkungan di atas, korosi dapat dibagi menjadi korosi basah dan korosi kering.

Komponen-komponen yang merupakan syarat terjadinya korosi adalah ^[5]:

- Anoda, sebagai tempat terjadinya reaksi oksidasi,
- Katoda, sebagai tempat terjadinya reaksi reduksi,
- Media elektrolit (elektronik/ionik), sebagai media penghantar arus listrik, dan
- Arus listrik antara katoda dan anoda.

Salah satu contohnya adalah reaksi korosi logam pada larutan HCl.



Gambar 2.1 Skema Korosi Logam M Pada Larutan HCl ^[1]

Reaksi elektrokimia yang dimaksud adalah reaksi reduksi-oksidasi yang disertai transfer elektron yang berjalan setimbang. Larutan HCl berperan sebagai

media elektrolit ionik tempat terjadinya reaksi di atas. Logam M teroksidasi (terkorosi) membebaskan ion logamnya ke larutan, sedangkan ion H^+ dari HCl tereduksi membentuk gas H_2 melalui reaksi ^[1]:



2.1.2 Jenis Korosi ^[1]

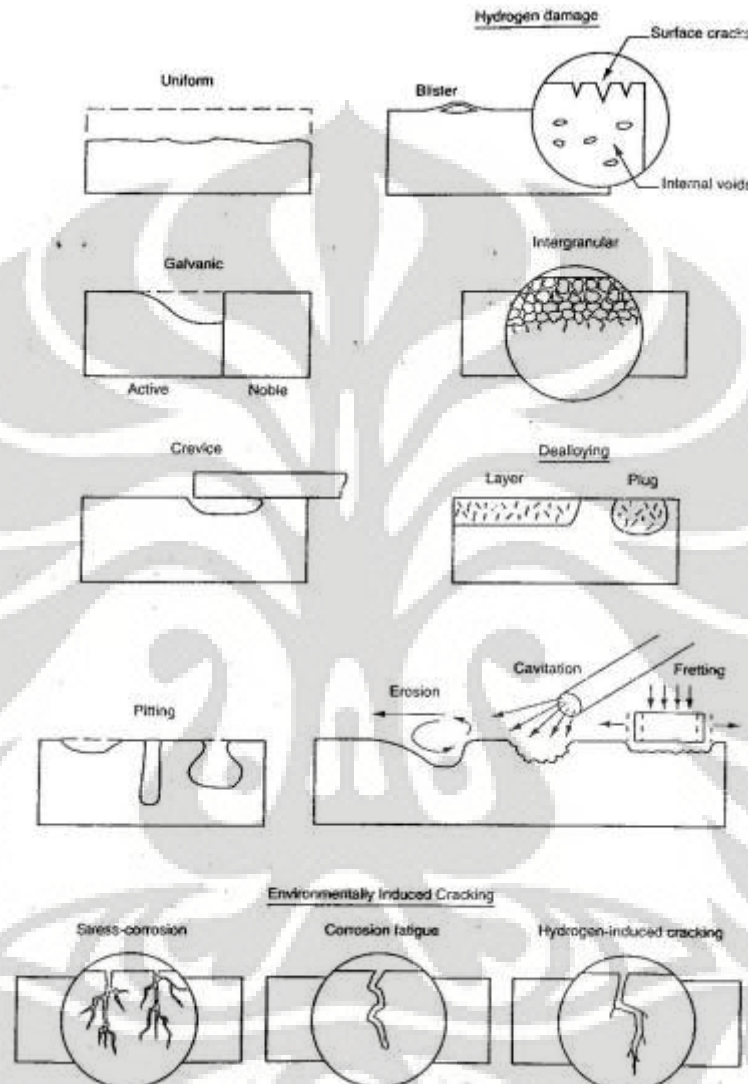
- a. Korosi Seragam,
- b. Korosi Galvanik,
- c. Korosi Celah (*Crevice*),
- d. Korosi *Pitting*,
- e. *Environmentally Induced Cracking*,
- f. *Hydrogen Damage*,
- g. Korosi Batas Butir,
- h. *Dealloying*, dan
- i. Korosi Erosi.

Jenis korosi di atas masing-masing dipengaruhi kondisi lingkungan, jenis dan karakteristik material, perlakuan terhadap material tersebut, kehadiran material lain, dan faktor non-lingkungan lain yang mungkin ada.

Pada media korosif HCl, beberapa jenis korosi logam yang dapat timbul antara lain:

- a. Korosi Seragam, ditandai dengan reaksi elektrokimia (dengan HCl) yang merata di sepanjang permukaan logam sehingga permukaan terkikis dan logam menjadi tipis.
- b. Korosi *Pitting*, yaitu serangan korosi terlokalisasi yang menghasilkan *pit*. Biasanya terjadi akibat rusaknya lapisan pasif logam oleh Cl^- pada daerah tertentu (*pit*) sehingga menghasilkan sel elektrokimia dengan *pit* sebagai sel anoda dan daerah pasif logam sebagai sel katoda karena perbedaan potensial.

c. *Hydrogen Damage*, yang dapat terjadi akibat difusi atom hidrogen ke batas butir logam dan dapat mengakibatkan *hydrogen blistering*, *hydrogen induce cracking*, dan mengurangi keuletan ditinjau dari aspek metalurgi.



Gambar 2.2 Skema Jenis-Jenis Korosi ^[1]

2.1.3 Perhitungan Laju Korosi

Perhitungan laju korosi merupakan salah satu *corrosion monitoring* yang digunakan untuk mengetahui kecepatan suatu material untuk terkorosi, sehingga waktu ketika material tersebut mulai terkorosi dapat diprediksi. Selain itu, *life time*

material, mekanisme korosi material tersebut, dan evaluasi dan variasi kontrol lingkungan untuk perlindungan material tersebut dapat dipelajari lebih lanjut ^[1].

Teknik *corrosion monitoring* dapat dibagi menjadi kinetika (*weight loss*) dan elektrokimia (diagram polarisasi, *linear polarization resistance*, *electrochemical impedance spectroscopy*, potensial korosi, dan *electrochemical noise*) ^[4]. Namun metode yang sering digunakan adalah *weight loss*.

Prinsip dari metode *weight loss* adalah logam yang terkorosi akan mengalami pengurangan berat. Pada pengujian di laboratorium, *weight loss* didapat dari *immersion test* sesuai ASTM G 31 – 72. Suatu logam tertentu dibentuk berupa kupon dengan ukuran dan bentuk tertentu kemudian direndam dalam suatu media korosif (biasanya larutan) dengan kondisi-kondisi pengujian tertentu. Akibatnya logam tersebut akan terkorosi dan mengalami perubahan berat terhadap berat awal sebelum pengujian (hampir seluruhnya mengalami pengurangan berat). Berat yang hilang diasumsikan terjadi akibat korosi seragam dan bukan korosi terlokalisasi. Laju korosi (*corrosion rate*) berupa laju korosi rata-rata yang didapat melalui persamaan ^[6]:

$$\text{Corrosion Rate (mpy)} = \frac{(3.65 \cdot 10^6 \times W)}{(A \times D \times T)} \quad (2.2)$$

, dengan

- W = berat kupon yang hilang (gr),
- A = luas permukaan kupon (cm²),
- D = berat jenis kupon (gr/cm³), dan
- T = waktu perendaman kupon (jam).

Tabel 2.1 Distribusi Kualitas Ketahanan Korosi Suatu Material ^[1]

Relative Corrosion Resistance ^a					
	mpy	mm/yr	µm/yr	nm/h	pm/s
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	20–50
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+

Universitas Indonesia

Semakin besar nilai *corrosion rate* menunjukkan semakin cepat suatu material untuk terkorosi. Perbandingan *corrosion rate* dan ketahanan korosi suatu material dapat dilihat pada tabel di atas.

2.2 Perlindungan Korosi Pada Larutan Encer (*Aqueous Solutions*)^[7]

Metode perlindungan korosi dapat dibagi-bagi menjadi beberapa pendekatan, antara lain termodinamika (Diagram Pourbaix), kinetika (proteksi katodik), lapisan pelindung (proteksi anodik, *coatings*, dan inhibitor), desain struktural, kontrol lingkungan, dan *metallurgical design*.

Metode-metode perlindungan di atas untuk suatu material disesuaikan dengan jenis, karakteristik, dan aplikasi material tersebut, kondisi lingkungan, biaya, ketersediaan, dan efektivitas dan efisiensi metode perlindungan tersebut untuk material dan kondisi lingkungannya. Pada logam, perlindungan preventif yang biasa dan banyak digunakan karena pertimbangan-pertimbangan di atas antara lain proteksi katodik, *coatings*, dan inhibitor.

2.2.1 Proteksi Katodik^[4]

Proteksi katodik adalah pengontrolan reaksi korosi dimana reaksi oksidasi pada Sel Galvanik dikonsentrasikan di anoda dan menekan reaksi di katoda pada sel yang sama. Atau dengan kata lain perlindungan suatu logam dengan cara mengalirkan elektron ke arah logam tersebut sehingga potensial logam tersebut terhadap lingkungannya turun dan mencapai nilai potensial proteksi sehingga logam tidak terkorosi lagi.

Terdapat dua metode proteksi katodik, yaitu anoda korban dan arus tanding. Pada metode anoda korban, logam dilindungi oleh logam atau paduan lain yang lebih aktif yang dihubungkan dalam suatu media elektrolit sehingga akan diperoleh arus listrik dari reaksi Galvanik yang terjadi. Sedangkan pada metode arus tanding, logam yang ingin dilindungi mengalirkan arus tanding AC yang dapat diatur melalui *rectifier* ke suatu anoda (sebagai kutub positif) sehingga logam terlindungi (sebagai katoda). Arus timbul bukan akibat beda potensial, tetapi dari *rectifier* sehingga dapat

diatur agar didapatkan arus proteksi yang sesuai. Karena itulah anoda yang digunakan biasanya *inert*.

Proteksi katodik merupakan perlindungan eksternal suatu logam dan biasa digunakan untuk melindungi pipa bawah laut dan pipa lepas pantai (minyak dan gas bumi).

2.2.2 *Coatings* ^[4]

Fungsi lapisan *coating* adalah untuk mengisolasi elemen reaktif suatu logam dari lingkungan yang korosif di seluruh permukaannya sehingga reaksi logam dengan lingkungannya terhambat. *Coating* biasanya dilakukan di akhir proses pembentukan logam untuk meningkatkan sifat permukaannya. *Coating* berperan dalam perlindungan eksternal logam. Untuk aplikasi pada pipa, biasanya metode perlindungan ini dikombinasikan dengan proteksi katodik untuk meningkatkan efektivitasnya ^[7].

Secara umum, *coating* dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

- a. Pelapis Logam: *electroplating, electroless-plating, hot dip galvanizing, pack cementation, cladding, thermal spraying, dan physical vapor deposition.*
- b. Pelapis Anorganik: *anodizing, chromate filming, phosphate coating, nitriding, dan lapisan pasif.*
- c. Pelapis Organik, dengan tiga metode proteksi, yaitu *barrier effect, sacrificial effect, dan inhibition effect.*

2.2.3 Inhibitor ^[4]

Inhibitor merupakan zat atau substansi kimia yang ditambahkan ke dalam lingkungan korosif dalam jumlah yang relatif kecil (10-80 ppm) yang digunakan untuk menurunkan laju reaksi korosi suatu logam pada lingkungan korosif tersebut. Inhibitor memperlambat laju reaksi melalui prinsip-prinsip kerja sebagai berikut.

- a. Meningkatkan polarisasi anodik atau katodik.
- b. Mengurangi difusi ion pada permukaan logam.
- c. Meningkatkan tahanan listrik pada permukaan logam.

Sedangkan mekanisme interaksi antara inhibitor dengan lingkungan dan logamnya yang dapat terjadi yaitu:

- a. *Interface inhibition*, dengan pembentukan lapisan tipis sebagai pelindung logam tersebut.
- b. *Interphase inhibition*, dengan penurunan tingkat korosifitas lingkungan misalnya pengurangan kadar oksigen, netralisasi gas yang bersifat asam, dan pengaturan pH.

Inhibitor dapat dikatakan bekerja secara efektif apabila memenuhi kriteria-kriteria berikut:

- a. Dapat menurunkan laju korosi logam yang diinhibisi,
- b. Dapat melindungi seluruh permukaan logam dari serangan korosi,
- c. Memiliki konsentrasi yang rendah,
- d. Tidak menghasilkan endapan (deposit) pada permukaan logam, dan
- e. Tidak beracun.

Sedangkan efisiensi inhibitor dapat dihitung melalui persamaan berikut ^[3]:

$$\text{Efisiensi Inhibitor (\%)} = \frac{(CR_{\text{uninhibited}} - CR_{\text{inhibited}})}{CR_{\text{uninhibited}}} \times 100\% \quad (2.3)$$

, dengan

$CR_{\text{uninhibited}}$ = *corrosion rate* logam pada sistem yang tidak terinhibisi, dan

$CR_{\text{inhibited}}$ = *corrosion rate* logam pada sistem yang terinhibisi.

Inhibitor merupakan perlindungan internal logam. Karena itu, metode perlindungan ini biasanya menjadi pilihan utama dalam perlindungan logam terhadap korosi.

Inhibitor dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa pendekatan. Berdasarkan fungsinya, inhibitor dibagi menjadi sebagai berikut:

- a. Inhibitor Anodik,
- b. Inhibitor Katodik,
- c. Inhibitor Presipitasi,
- d. Inhibitor Organik, dan
- e. *Volatile Corrosion Inhibitor*.

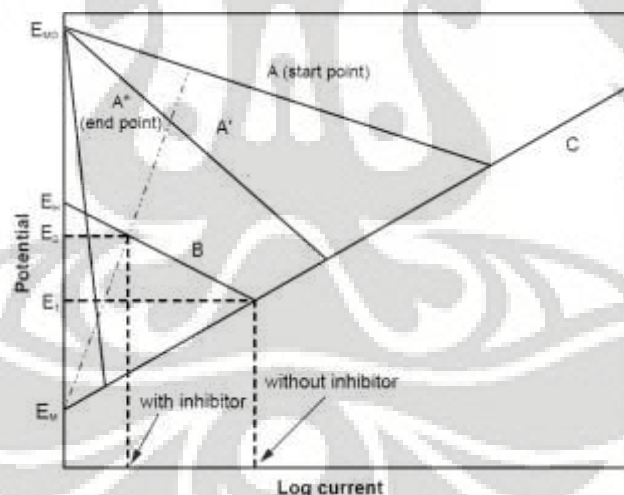
2.2.3.1 Inhibitor Anodik

Inhibitor anodik bekerja dengan mengurangi laju korosi suatu logam dengan memperlambat reaksi elektrokimia di anoda melalui pembentukan lapisan pasif di permukaan logam tersebut sehingga logam terlindung dari korosi. Penambahan inhibitor ini menyebabkan perubahan anodik yang sangat besar pada potensial korosi sehingga memaksa logam untuk bergerak ke wilayah pasifnya dan menggeser potensial korosi logam ke nilai yang lebih *noble*.

Terdapat dua jenis inhibitor anodik, yaitu:

- Oxidizing anions*, yang dapat membentuk lapisan pasif pada baja tanpa kehadiran oksigen. Contohnya antara lain kromat, nitrit, dan nitrat.
- Non-oxidizing ions*, yang dapat membentuk lapisan pasif pada baja dengan kehadiran oksigen. Contohnya antara lain fosfat, tungstat, dan molybdat.

Inhibitor anodik adalah inhibitor yang paling efektif dan paling banyak digunakan diantara jenis inhibitor yang lain ^[3].



Gambar 2.3 Diagram Polarisasi Logam M Dengan Penambahan Inhibitor Anodik ^[3]

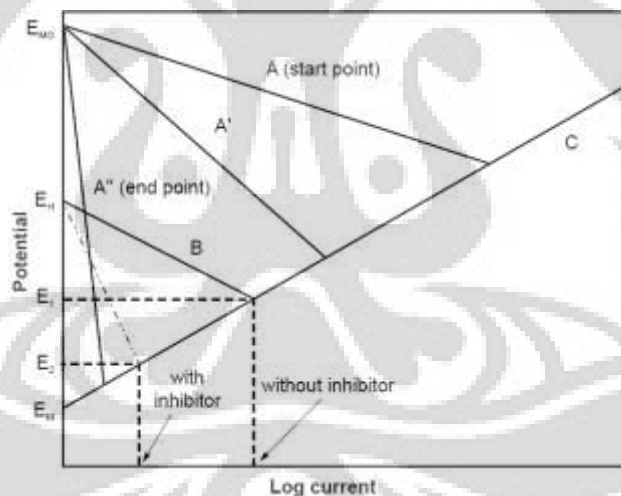
2.2.3.2 Inhibitor Katodik

Inhibitor katodik bekerja dengan menghambat reaksi katodik suatu logam dan membentuk presipitat di wilayah katoda yang dapat meningkatkan impedansi

permukaan sekaligus membatasi difusi pereduksi untuk melindungi logam tersebut. Karena reaksi anodik dan katodik berjalan setimbang, maka penghambatan reaksi katodik akan menyebabkan reaksi anodik (korosi logam) terhambat juga. Penambahan inhibitor katodik menyebabkan potensial korosi dan rapat arus korosi logam turun.

Terdapat tiga jenis inhibitor katodik, yaitu:

- Racun katoda, yang dapat menghambat reaksi evolusi hidrogen. Contohnya antara lain sulfida, selenida, arsenat, bismunat, dan antimonat.
- Presipitat katoda, yang dapat mengendap membentuk oksida sebagai lapisan pelindung pada logam. Contohnya antara lain kalsium, seng, dan magnesium.
- Oxygen scavengers*, yang dapat mengikat oksigen terlarut sehingga mencegah reaksi reduksi oksigen pada katoda. Contohnya antara lain hidrasin, natrium sulfit, dan hidroksil amin HCl.



Gambar 2.4 Diagram Polarisasi Logam M Dengan Penambahan Inhibitor Katodik ^[3]

2.2.3.3 Inhibitor Presipitasi

Inhibitor presipitasi bekerja dengan membentuk presipitat di seluruh permukaan suatu logam yang berperan sebagai lapisan pelindung untuk menghambat reaksi anodik dan katodik logam tersebut secara tidak langsung.

Contoh yang umum dari inhibitor ini adalah silikat dan fosfat. Natrium silikat baik digunakan sebagai *water softeners* untuk mencegah terjadinya *rust water*. Namun pemakaiannya sangat dipengaruhi pH dan *Saturation Index*. Selain itu fosfat membutuhkan oksigen untuk meningkatkan efektivitas kerjanya. Silikat dan fosfat sangat berguna pada sistem lingkungan dimana aditif yang bersifat racun tidak ada atau ditambahkan.

2.2.3.4 Inhibitor Organik

Inhibitor organik bekerja dengan membentuk senyawa kompleks yang mengendap (adsorpsi) pada permukaan logam sebagai lapisan pelindung yang bersifat hidrofobik yang dapat menghambat reaksi logam tersebut dengan lingkungannya. Reaksi tersebut dapat berupa reaksi anodik, reaksi katodik, ataupun keduanya. Hal ini tergantung dari reaksi pada permukaan logam dan potensial logam tersebut^[8]. Selain fungsi utamanya tersebut, inhibitor organik juga dapat menetralkan konstituen korosif dan mengabsorpsi konstituen korosif tersebut. Bila ditambahkan dengan konsentrasi yang tepat, inhibitor dapat melindungi seluruh permukaan logam^[3].

Inhibitor organik akan teradsorpsi pada permukaan tergantung dari muatan inhibitor dan muatan logam untuk membentuk ikatan dari senyawa kompleks tersebut. Kation inhibitor seperti amin atau anion inhibitor seperti sulfonat akan teradsorpsi tergantung muatan logam tersebut negatif atau positif.

Efektivitas perlindungan inhibitor ini dipengaruhi komposisi kimia, struktur molekul dan gugus fungsinya, ukuran dan berat molekul, dan afinitas inhibitor tersebut terhadap logamnya.

2.2.3.5 Volatile Corrosion Inhibitor

Volatile corrosion inhibitor bekerja dengan menurunkan tingkat korosifitas lingkungan tempat suatu logam yang ingin dilindungi berada sebagai senyawa yang dialirkan melalui lingkungan tertutup menuju lingkungan korosif tersebut dengan cara penguapan dari sumbernya.

Inhibitor jenis ini yang sering digunakan adalah *morpholine* dan *hydrazine* pada *boiler*. Senyawa di atas dialirkan sebagai uap untuk mencegah korosi pada

condenser tubes untuk menetralkan suasana asam dan menggeser pH ke suasana yang tidak terlalu asam.

Pemakaian yang efisien dari inhibitor jenis ini dapat menghasilkan proses inhibisi secara cepat dan dapat digunakan untuk waktu yang lama ^[3].

2.3 Mekanisme Adsorpsi Inhibitor Organik Di Lingkungan HCl

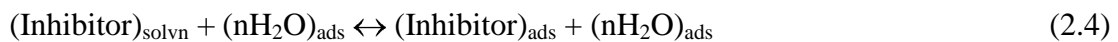
Inhibitor organik di lingkungan HCl akan teradsorpsi pada permukaan logam yang ada di lingkungan tersebut yang biasanya tidak mengandung oksida pada larutan asam.

Umumnya inhibitor organik teradsorpsi pada permukaan logam melalui tiga cara, yaitu ^[9]:

- a. *Physical Adsorption*, yang terbentuk hasil dari interaksi elektrostatik antara inhibitor dengan permukaan logam. Logam yang diberi muatan positif akan mengikat inhibitor dengan muatan negatif. Begitu juga dengan sebaliknya. Ikatan ini terbentuk dengan cepat dan bersifat bolak-balik namun mudah hilang atau rusak dari permukaan logam.
- b. *Chemisorptions*, yang terbentuk dari transfer atau *sharing* muatan antara molekul dari inhibitor dengan permukaan logam. Jenis adsorpsi ini merupakan adsorpsi yang paling efektif karena tidak bersifat bolak-balik. Hanya saja adsorpsi ini berjalan lebih lambat dibanding *physical adsorption*.
- c. *Film Forming*.

Adsorpsi tersebut dipengaruhi oleh struktur inhibitor, komposisi larutan sebagai media elektrolit, sifat bawaan dari logam, dan potensial elektrokimia pada lapisan antar muka logam-larutan. Adsorpsi inhibitor organik biasanya melibatkan minimal dua dari jenis-jenis adsorpsi di atas yang berjalan secara simultan. Sebagai contoh, adsorpsi inhibitor organik pada logam di lingkungan HCl ^[8] adalah kombinasi *chemisorptions-physical adsorption* yang memberikan perlindungan fisik dan kimiawi.

Adsorpsi diawali dengan pertukaran molekul air (*physical adsorption*) yang teradsorpsi pada permukaan logam melalui reaksi ^[9]:



Selanjutnya inhibitor yang telah teradsorpsi bereaksi (*chemisorptions*) dengan kation logam yang telah teroksidasi ^[10].

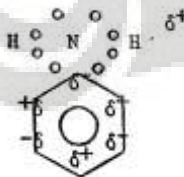


Terjadi transfer/*sharing* muatan dan elektron antara gugus atom yang tidak berpasangan dari struktur molekul dari inhibitor organik yang mengalami kecenderungan muatan tertentu di larutan HCl dengan atom valensi pada orbital logam M yang memiliki energi elektron (ikatan) yang paling rendah ^[9].

Adsorpsi di atas membentuk senyawa kompleks pada lapisan antar muka logam-larutan yang disebut *organo metallic complex layer* ^[8] yang dapat menghambat reaksi permukaan.

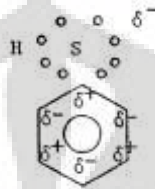
Lapisan teradsorpsi tersebut dapat bertindak sebagai pelindung wilayah anodik, wilayah katodik, ataupun keduanya. Kecenderungan fungsi anodik-katodik dari inhibitor organik dapat dilihat dari desain dan struktur inhibitor organik tersebut. Sebagai contoh, selama adsorpsi pada HCl inhibitor organik dapat memerankan peran antara lain sebagai berikut ^[8]:

- a. *Proton Acceptors*, yaitu inhibitor organik yang menerima muatan positif dari larutan asam sehingga bermuatan positif (kation) dan bermigrasi ke katoda. Karena itu struktur inhibitor organik yang seperti ini memiliki fungsi katodik dan banyak digunakan pada lingkungan asam. Contohnya antara lain *anilines*, *quinolines*, dan *aliphatic amines*.



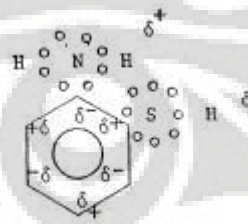
Gambar 2.5 Struktur Molekul *Aniline* ^[8]

- b. *Electron Acceptors*, yaitu inhibitor organik yang memiliki kemampuan untuk menerima elektron dan efektif untuk korosi dengan reaksi anodik. Struktur inhibitor organik ini memiliki kepadatan elektron yang tinggi dan pada larutan asam diasumsikan memiliki muatan negatif. Contohnya antara lain *organic peroxides*, *organic thiols*, dan kromat.



Gambar 2.6 Struktur Molekul *Benzenethiol* ^[8]

- c. *Mixed Molecules*, yaitu inhibitor organik yang memiliki lebih dari satu gugus utama pada struktur molekulnya dengan *proton acceptor* pada satu gugus utama dan *electron acceptor* pada gugus utama yang lain (*inductomeric*). Salah satu sifat ini akan dominan tergantung pada kondisi lingkungan. Karena inhibitor jenis ini dapat bertindak sebagai inhibitor katodik atau anodik, inhibitor ini juga disebut inhibitor *ambiodic*. Contohnya adalah *2-aminobenzenethiol*. Struktur seperti ini juga memungkinkan inhibitor *ambiodic* untuk membentuk garam dari dua gugus utama tersebut dan dapat membebaskan ion organik pada lingkungan asam seperti HCl yang dapat mengurangi tingkat keasaman lingkungan tersebut.



Gambar 2.7 Struktur Molekul *2-Aminobenzenethiol* ^[8]

Selain dari desain dan strukturnya, fungsi tersebut juga dapat dilihat dari kecenderungan perubahan potensial korosi logamnya. Perubahan ke arah yang lebih

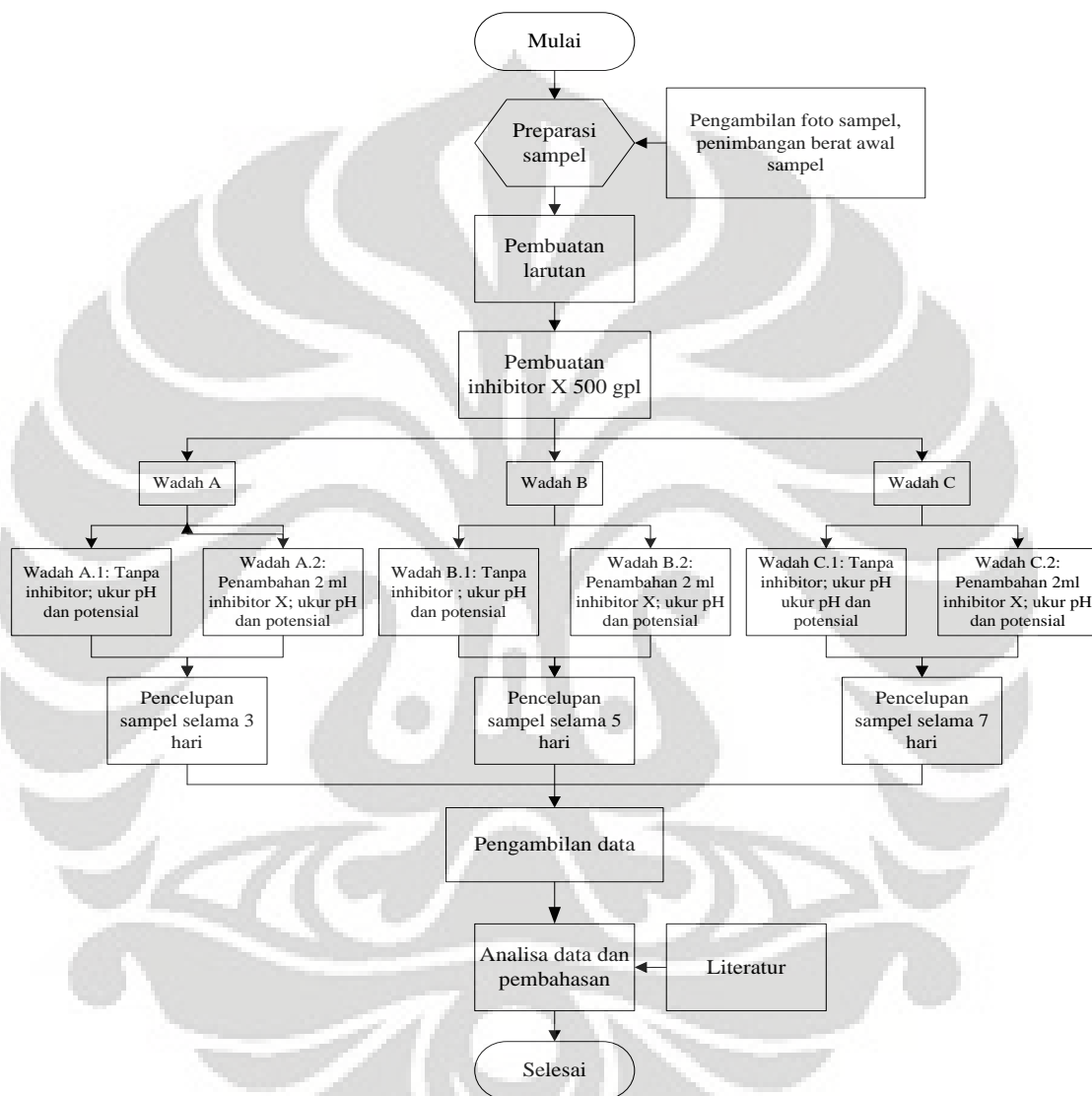
Universitas Indonesia

positif menunjukkan penghambatan proses anodik. Perubahan ke arah yang lebih negatif menunjukkan penghambatan proses katodik. Sedangkan perubahan nilai potensial yang kecil menunjukkan penghambatan proses anodik dan katodik ^[3].



BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat Dan Bahan

3.2.1 Alat

- a. Mesin potong.

- b. Bor.
- c. Mesin dan kertas amplas.
- d. *Cutter* dan gunting.
- e. *Beaker glass* 1000 ml.
- f. Labu *Erlenmeyer* 1000 ml.
- g. Pipet.
- h. pH meter.
- i. Multimeter.
- j. Elektroda kalomel.
- k. Kamera digital.
- l. Mesin *Ultrasonic Agitator*.
- m. *Hair Dryer*.

3.2.2 Bahan

- a. SPCC.
- b. HCl 37% Merck.
- c. Beras ketan hitam.
- d. Wadah plastik (dari Aqua 600 ml).
- e. Benang kain.
- f. Kertas label.
- g. *Toluene*.
- h. *Acetone*.
- i. NaHCO_3 .
- j. Inhibitor *Baracor*.

3.3 Prosedur Kerja

3.3.1 *Immersion Test* ^[6]

3.3.1.1 Persiapan Awal

- a. Persiapan Kupon

Potong lembaran plat baja SPCC (tebal ± 1 mm) menjadi kupon berukuran 20×25 mm sebanyak 18 buah kemudian amplas sampai halus. Lubangi bagian tengah dengan menggunakan bor. Setelah dilubangi, luas permukaan yang didapat untuk satu kupon adalah $1052,32 \text{ mm}^2$. Catat masing-masing beratnya. Pemetaan kupon untuk pengujian adalah sebagai berikut:

- Enam kupon untuk waktu uji rendam selama 3 hari (tiga kupon di larutan dengan penambahan inhibitor dan tiga kupon di larutan tanpa penambahan inhibitor).
- Enam kupon untuk waktu uji rendam selama 5 hari (tiga kupon di larutan dengan penambahan inhibitor dan tiga kupon di larutan tanpa penambahan inhibitor).
- Enam kupon untuk waktu uji rendam selama 7 hari (tiga kupon di larutan dengan penambahan inhibitor dan tiga kupon di larutan tanpa penambahan inhibitor).

b. Persiapan Larutan Rendam HCl 0,1 M

Siapkan 10 ml HCl 37% (Merck) untuk dilarutkan dengan *aquades* sampai 1000 ml pada *beaker glass* 1000 ml untuk mendapatkan larutan HCl 0,1 M, kemudian simpan di dalam labu *Erlenmeyer* 1000 ml. Dengan menggunakan rasio perbandingan volum larutan untuk larutan rendam terhadap luas permukaan kupon ^[6] $0,4 \text{ ml/mm}^2$, rata-rata volum larutan rendam yang dibutuhkan untuk satu kupon adalah 425 ml. Siapkan sampai 7650 ml larutan HCl 0,1 M untuk keseluruhan kupon (18 buah).

c. Persiapan Inhibitor Beras Ketan Hitam 500 gpl

Siapkan 50 gr beras ketan hitam, tuang ke dalam wadah plastik, kemudian tambahkan 100 ml air untuk mendapatkan beras ketan 500 gpl. Tutup wadah selama ± 12 jam sebelum pemakaiannya sebagai inhibitor.

3.3.1.2 Langkah Kerja Uji Rendam

- a. Tuangkan 425 ml larutan HCl 0,1 M ke dalam masing-masing 18 buah wadah plastik.

- b. Pada setiap kupon, masukkan benang melalui lubang pada kupon kemudian ikat benang pada kedua ujung wadah plastik sehingga kupon dapat ditenggelamkan di dalam larutan rendam dengan posisi yang konstan.
- c. Masukkan 20 tetes inhibitor beras ketan 500 gpl ke dalam setiap wadah plastik berisi kupon untuk pemetaan pengujian dengan inhibitor yang sesuai.
- d. Identifikasi setiap wadah plastik berisi kupon dengan kertas label untuk pemetaan pengujian yang sesuai untuk memudahkan pengamatan visual.

3.3.1.3 Pembersihan Kupon ^[11]

- a. Keluarkan kupon untuk difoto sebelum melakukan pembersihan.
- b. Celupkan kupon ke dalam *toluene* cukup lama untuk menghilangkan minyak atau *paraffin* pada permukaan kupon. Cuci dengan *acetone* kemudian keringkan dengan *hair dryer*.
- c. Masukkan kupon ke dalam *beaker glass* berisi larutan HCl 37% Merck 200 ml yang sudah ditambahkan 2 ml inhibitor *Baracor* untuk *pickling* dan menghilangkan *scale* dan produk korosi. Masukkan *beaker glass* tersebut ke dalam mesin *Ultrasonic Agitator* untuk mempercepat proses.
- d. Celupkan kupon ke dalam larutan NaHCO_3 lewat jenuh selama 1 menit untuk menghilangkan suasana asam kemudian bilas dengan *aquadesh*.
- e. Cuci langsung kupon dengan *acetone* dan keringkan dengan *hair dryer*. Foto kupon dan hitung beratnya sesudah melakukan pembersihan.

3.3.1.4 Menghitung *Corrosion Rate* (mpy)

- a. Hitung berat kupon yang hilang sebelum dan sesudah uji rendam.
- b. Gunakan Persamaan (2.2) untuk menghitung *corrosion rate* (mpy).

3.3.2 Pengukuran pH Dan Potensial Logam

- a. Ukur pH larutan sebelum (setelah inhibitor beras ketan hitam diteteskan ke dalam larutan rendam) dan sesudah uji rendam menggunakan pH meter.
- b. Ukur potensial logam (kupon) sebelum (setelah inhibitor beras ketan hitam diteteskan ke dalam larutan rendam) dan sesudah uji rendam terhadap

elektroda kalomel dengan menggunakan multimeter. Konversi dilakukan dengan menggunakan persamaan ^[1]:

$$V \text{ (vs SHE)} = V \text{ (vs SCE)} + 0,241 \quad (3.1)$$



BAB 4
HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian *Weight Loss* Logam

Tabel 4.1 Data Pengurangan Berat Logam

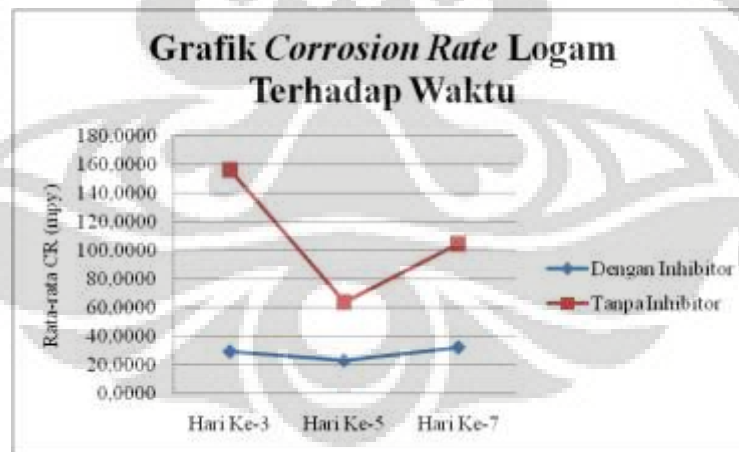
No Kupon	Waktu Pengujian	Status Inhibitor	W_0 (gr)	W_1 (gr)	ΔW (gr)	Rata-rata ΔW (gr)
1	Tiga hari	Dengan inhibitor	3.5236	3.4553	0.0683	0.049
2			3.8189	3.7755	0.0434	
3			3.7606	3.7254	0.0352	
4		Tanpa inhibitor	3.665	3.5058	0.1592	0.261
5			3.7505	3.5441	0.2064	
6			3.6332	3.2157	0.4175	
7	Lima hari	Dengan inhibitor	3.7035	3.6465	0.057	0.064
8			3.6546	3.5755	0.0791	
9			3.7914	3.7354	0.056	
10		Tanpa inhibitor	3.8603	3.6435	0.2168	0.1776
11			3.9488	3.8018	0.147	
12			3.9298	3.7607	0.1691	
13	Tujuh hari	Dengan inhibitor	3.5188	3.3541	0.1647	0.1255
14			3.6454	3.5274	0.118	
15			3.7226	3.6288	0.0938	
16		Tanpa inhibitor	3.8994	3.5968	0.3026	0.4078
17			3.7384	3.2971	0.4413	
18			3.827	3.3476	0.4794	

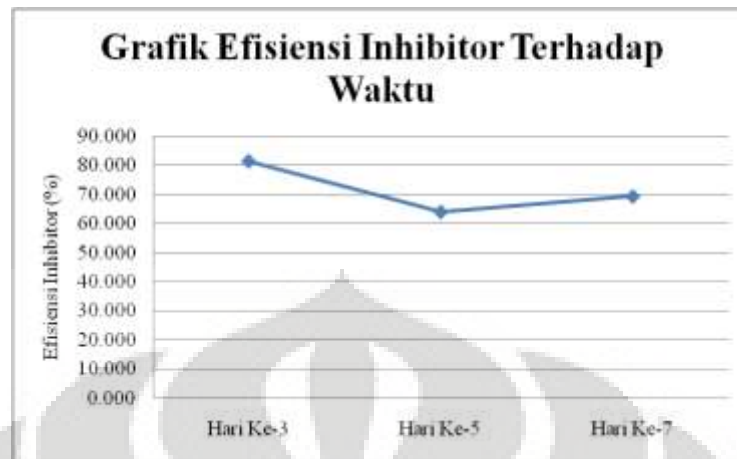


Gambar 4.1 Grafik Pengurangan Berat Logam Terhadap Waktu

Tabel 4.2 Data *Corrosion Rate* Logam Dan Efisiensi Inhibitor

No Kupon	Waktu Pengujian	Status Inhibitor	ΔW (gr)	CR (mpy)	Rata-rata CR (mpy)	Efisiensi Inhibitor (%)
1	Tiga hari	Dengan inhibitor	0.0683	40.921	29.3377	81.2412
2			0.0434	26.0025		
3			0.0352	21.0896		
4		Tanpa inhibitor	0.1592	95.3824	156.3944	
5			0.2064	123.6616		
6			0.4175	250.1391		
7	Lima hari	Dengan inhibitor	0.057	20.4904	23.0188	63.952
8			0.0791	28.435		
9			0.056	20.131		
10		Tanpa inhibitor	0.2168	77.9356	63.8559	
11			0.147	52.8438		
12			0.1691	60.7883		
13	Tujuh hari	Dengan inhibitor	0.1647	42.2904	32.2249	69.2226
14			0.118	30.2991		
15			0.0938	24.0853		
16		Tanpa inhibitor	0.3026	77.6993	104.7032	
17			0.4413	113.3137		
18			0.4794	123.0967		

**Gambar 4.2** Grafik *Corrosion Rate* Logam Terhadap Waktu



Gambar 4.3 Grafik Efisiensi Inhibitor Terhadap Waktu

4.2 Hasil Pengujian Ph Larutan Dan Potensial Logam

Tabel 4.3 Data pH Larutan

No Kupon	Waktu Pengujian	Status Inhibitor	pH Awal	Rata-rata pH Awal	pH Akhir	Rata-rata pH Akhir
1	Tiga hari	Dengan inhibitor	1.5	1.48	1.4	1.41
2			1.48		1.4	
3			1.45		1.42	
4		Tanpa inhibitor	1.35	1.33	1.38	1.40
5			1.34		1.39	
6			1.3		1.43	
7	Lima hari	Dengan inhibitor	1.42	1.5	1.82	1.89
8			1.57		1.91	
9			1.5		1.94	
10		Tanpa inhibitor	1.32	1.32	1.85	1.91
11			1.32		1.89	
12			1.31		2	
13	Tujuh hari	Dengan inhibitor	1.52	1.48	2.1	1.99
14			1.49		2.04	
15			1.43		1.83	
16		Tanpa inhibitor	1.3	1.30	1.82	1.83
17			1.3		1.81	
18			1.3		1.86	

Tabel 4.4 Data Perubahan pH Larutan

No Kupon	Waktu Pengujian	Status Inhibitor	Rata-rata pH Awal	Rata-rata pH Akhir	Rata-rata Perubahan pH	Rata-rata Perubahan pH (%)
1	Tiga hari	Dengan inhibitor	1.48	1.41	0.07	4.74
2						
3						
4		Tanpa inhibitor				
5						
6						
7	Lima hari	Dengan inhibitor	1.5	1.89	0.39	26.28
8						
9						
10		Tanpa inhibitor				
11						
12						
13	Tujuh hari	Dengan inhibitor	1.48	1.99	0.51	34.46
14						
15						
16		Tanpa inhibitor				
17						
18						

**Gambar 4.4** Grafik Perubahan pH Larutan Terhadap Waktu

Tabel 4.5 Data Potensial Logam

No Kupon	Waktu Pengujian	Status Inhibitor	E_0 (V vs SHE)	Rata-rata E_0 (V vs SHE)	E_1 (V vs SHE)	Rata-rata E_1 (V vs SHE)
1	Tiga hari	Dengan inhibitor	-0.237	-0.239	-0.207	-0.214
2			-0.236		-0.215	
3			-0.244		-0.221	
4		Tanpa inhibitor	-0.255	-0.252	-0.203	-0.198
5			-0.253		-0.197	
6			-0.248		-0.195	
7	Lima hari	Dengan inhibitor	-0.235	-0.233	-0.198	-0.204
8			-0.239		-0.208	
9			-0.226		-0.206	
10		Tanpa inhibitor	-0.24	-0.238	-0.216	-0.216
11			-0.236		-0.203	
12			-0.237		-0.23	
13	Tujuh hari	Dengan inhibitor	-0.23	-0.228	-0.207	-0.210
14			-0.223		-0.213	
15			-0.231		-0.211	
16		Tanpa inhibitor	-0.232	-0.241	-0.19	-0.192
17			-0.246		-0.191	
18			-0.246		-0.194	

Tabel 4.6 Data Perubahan Potensial Logam

No Kupon	Waktu Pengujian	Status Inhibitor	Rata-rata E_0 (V vs SHE)	Rata-rata E_1 (V vs SHE)	Rata-rata Perubahan E (V vs SHE)	Rata-rata Perubahan E (%)
1	Tiga hari	Dengan inhibitor	-0.239	-0.214	0.025	10.321
2						
3						
4		Tanpa inhibitor	-0.252	-0.198	0.054	21.296
5						
6						
7	Lima hari	Dengan inhibitor	-0.233	-0.204	0.029	12.571
8						
9						
10		Tanpa inhibitor	-0.238	-0.216	0.021	8.976
11						

12						
13	Tujuh hari	Dengan inhibitor	-0.228	-0.210	0.018	7.749
14						
15		Tanpa inhibitor	-0.241	-0.192	0.050	20.580
16						
17						
18						



Gambar 4.5 Grafik Perubahan Potensial Logam Terhadap Waktu

4.3 Pembahasan

4.3.1 Pengamatan Visual Terhadap Penambahan Beras Ketan Hitam

Penambahan beras ketan hitam ke dalam larutan HCl 0,1 M menyebabkan perubahan warna (Lampiran), dari warna yang tidak berwarna menjadi larutan berwarna merah jambu yang hampir mendekati warna larutan beras ketan hitam itu sendiri yang berwarna merah darah. Hal ini menandakan pencampuran beras ketan hitam terjadi di dalam larutan tersebut. Pencampuran terjadi cukup cepat ditandai dengan perubahan warna larutan yang cukup cepat juga.

Beras ketan hitam bekerja sesuai prinsip kerja inhibitor organik yaitu adsorpsi. Terjadi transfer/*sharing* muatan dan elektron antara gugus atom yang tidak berpasangan pada beras ketan hitam yang mengalami kecenderungan muatan tertentu di larutan HCl 0,1 M dengan atom valensi pada orbital d di konfigurasi atom Fe^[12] dari baja SPCC yang memiliki energi ikatan yang rendah.

Universitas Indonesia

Adsorpsi tersebut membentuk senyawa kompleks pada lapisan antar muka logam dengan larutan. Di dalam larutan HCl 0,1 M, penambahan beras ketan hitam membentuk lapisan berwarna perak seperti warna logam asalnya (Lampiran). Hasilnya lapisan tersebut melindungi baja SPCC dari korosi di larutan HCl yang berjalan sesuai persamaan ^[1]:



Hasil perlindungan ini dapat dilihat dari laju korosi baja SPCC di larutan HCl 0,1 M dengan penambahan beras ketan hitam yang lebih kecil daripada larutan HCl 0,1 M tanpa penambahan beras ketan hitam (**Tabel 4.2**). Untuk pembahasan selanjutnya kondisi larutan (lingkungan) dengan penambahan beras ketan hitam disebut sistem yang terinhibisi dan kondisi larutan (lingkungan) tanpa penambahan beras ketan hitam disebut sistem yang tidak terinhibisi.

Walaupun demikian, pada permukaan baja SPCC pada sistem yang terinhibisi, inisiasi korosi muncul berupa bintik-bintik coklat kecil di seluruh permukaan baja SPCC (Lampiran). Namun ini masih jauh lebih sedikit bila dibandingkan dengan yang ada di permukaan baja SPCC pada sistem yang tidak terinhibisi yang seluruh permukaannya tertutup lapisan berwarna coklat. Diduga itu adalah produk korosinya, yaitu *hematite* ^[4].

4.3.2 Pengaruh Perubahan pH Larutan Terhadap Laju Korosi Logam

Dari **Tabel 4.3**, penambahan beras ketan hitam menyebabkan pH larutan cenderung berubah ke arah yang lebih netral. Perubahan ini dapat memberikan gambaran bahwa beras ketan hitam bersifat basa. Indikasi lain adalah beras ketan hitam bekerja dengan menetralkan konstituen korosif melalui pembebasan ion organik hasil reaksi dengan logam dan pembentukan garam hasil reaksi gugus-gugus utama pada struktur molekulnya dengan ion Cl⁻. Hal ini bisa dilihat dari perubahan warna lingkungan ketika dilakukan penambahan beras ketan hitam. Ini adalah alternatif perlindungan lain dari inhibitor organik selain adsorpsi.

Walaupun demikian, pH larutan pada sistem yang tidak terinhibisi pada akhir waktu uji rendamnya juga berubah ke arah yang lebih netral dan memiliki nilai perubahan yang lebih besar dari pH larutan pada sistem yang terinhibisi (**Tabel 4.4** dan **Gambar 4.4**). Ini terjadi akibat reaksi pembentukan garam FeCl_2 dari ion Cl^- pada larutan yang berikatan dengan ion Fe^{2+} dari reaksi anoda dari Persamaan (4.1). Hanya saja garam ini langsung bermigrasi ke larutan dan ion Cl^- yang berikatan ada dalam jumlah yang sedikit sehingga kandungan HCl dalam larutan masih banyak dan masih bersifat korosif. Sedangkan pada sistem yang terinhibisi, garam yang terbentuk dan bermigrasi ke larutan masih menunggu masa dan kekuatan adsorpsi inhibitor yang melindungi permukaan logam. Sehingga walaupun pH larutan pada sistem yang terinhibisi lebih rendah, laju korosi baja SPCC lebih kecil.

Pada waktu uji rendam selama lima hari, laju korosi baja SPCC pada sistem yang terinhibisi memiliki laju korosi yang paling rendah (**Gambar 4.2**). Pada kondisi ini, pH larutan pada sistem yang terinhibisi memiliki nilai yang lebih rendah dari pH larutan pada sistem yang tidak terinhibisi (**Tabel 4.3**), berbeda dengan waktu uji rendam selama tiga dan lima hari yang memiliki nilai pH larutan yang lebih besar pada sistem yang terinhibisi dibanding pH larutan pada sistem yang tidak terinhibisi. Hal ini dipengaruhi adsorpsi dan kondisi lingkungan. Diperkirakan pada kondisi di waktu uji rendam selama lima hari kekuatan adsorpsi beras ketan hitam maksimal sehingga diperoleh laju korosi yang paling kecil^[9]. Saat kondisi adsorpsi maksimal, molekul beras ketan hitam tidak ada yang bermigrasi ke larutan sehingga pH larutan memiliki nilai yang kecil. Dengan kata lain beras ketan hitam tidak ada yang terlarut kembali ke larutan yang menjadikan larutan memiliki pH yang lebih besar karena tercampur beras ketan yang bersifat basa. Hal ini dapat dibuktikan pada waktu uji rendam selama tujuh hari pH larutan pada sistem yang terinhibisi kembali memiliki nilai yang lebih besar. Pada saat itu, ikatan dan adsorpsi beras ketan hitam sudah lemah sehingga beras ketan hitam terlarut kembali ke larutan hasil reaksi *reversible* dari Persamaan (2.4) sehingga laju korosi baja SPCC kembali naik (**Gambar 4.2**) dan membantu kenaikan nilai pH larutan (**Tabel 4.3**). Sedangkan pada waktu uji selama

tiga hari beras ketan hitam belum teradsorpsi seluruhnya atau masih menunggu masa adsorpsi maksimalnya, sehingga pH larutan lebih besar karena beras ketan hitam masih sebagian berada di lingkungan.

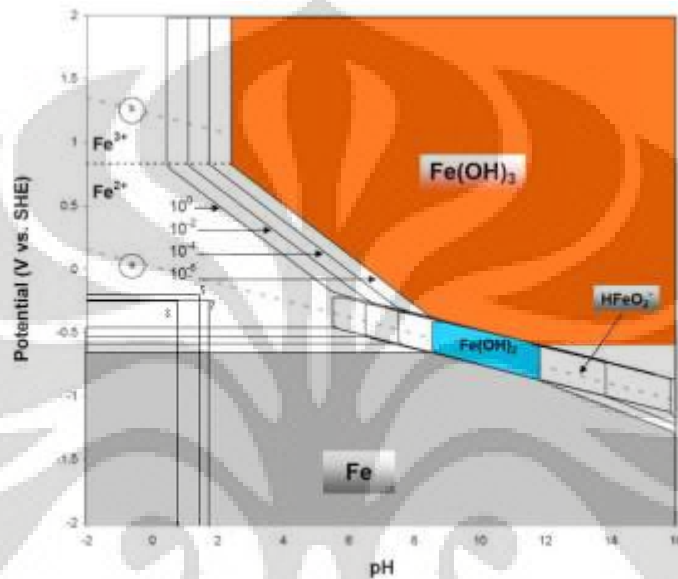
4.3.3 Pengaruh Perubahan Potensial Logam Terhadap Laju Korosi Logam

Potensial baja SPCC pada sistem yang terinhibisi memiliki nilai yang lebih positif terhadap sistem yang tidak terinhibisi (**Tabel 4.5**). Karena potensial tersebut merupakan potensial standard baja SPCC di larutan HCl 0,1 M terhadap elektroda standard SCE, perbedaan tersebut memperlihatkan adanya perubahan kondisi larutan yang memaksa baja SPCC untuk memiliki potensial yang berbeda terhadap kondisi awalnya. Potensial baja SPCC pada sistem yang terinhibisi memiliki nilai yang lebih positif yang menandakan baja SPCC lebih bersifat *noble* dan menjauhi potensial korosinya ^[1].

Beras ketan hitam membentuk lapisan pelindung yang dapat melindungi seluruh permukaan logam karena logam menunjukkan perubahan nilai potensial anodik dan katodik ^[3]. Dari **Tabel 4.5** di kolom yang menunjukkan nilai potensial sesudah pengujian selesai, pada waktu uji rendam selama tiga dan tujuh hari baja SPCC pada sistem yang terinhibisi cenderung memiliki nilai potensial yang lebih negatif (fungsi katodik), sedangkan pada waktu uji rendam selama lima hari nilai potensial lebih positif seperti prinsip proses anodik. Sehingga dapat dikatakan beras ketan hitam sebagai inhibitor organik dapat menghambat reaksi anodik dan katodik. Laju korosi paling kecil terjadi pada waktu uji rendam selama lima hari ketika beras ketan hitam melakukan fungsi kontrol anodik.

Walaupun laju korosi paling kecil diperoleh ketika beras ketan hitam sedang menjalankan fungsi kontrol anodik, tidak dapat dikatakan bahwa beras ketan hitam lebih memiliki kecenderungan untuk menghambat reaksi anodik. Pada reaksi logam di HCl, perlindungan logam pada umumnya (termasuk penambahan inhibitor) selalu menekan laju korosi di katodik yang mencegah reduksi hidrogen dari ion H^+ yang terbentuk dari disosiasi HCl. Reaksi tersebut harus ditekan karena reaksi reduksi itulah yang berjalan setimbang dengan reaksi korosi logam. Selain itu dari data

potensial logam dan pH larutan pada sistem yang terinhibisi saat waktu uji rendam selesai yang dipetakan ke Diagram Pourbaix seperti **Gambar 4.6** di bawah, logam tidak berada di keadaan pasifnya sesuai prinsip kerja fungsi anodik. Logam berada di daerah korosifnya (Fe^{2+}) dan teroksidasi di anoda seperti Persamaan (4.1). Hanya saja reaksi tersebut terhambat di permukaannya secara kinetikanya (laju korosi).



Gambar 4.6 Pemetaan Diagram Pourbaix Untuk Keadaan Logam Pada Sistem Yang Terinhibisi

4.3.4 Pengaruh Waktu Uji Rendam Terhadap Laju Korosi Logam

Dari **Gambar 4.1**, didapat hubungan semakin lama waktu perendaman menyebabkan berat baja SPCC yang hilang juga semakin banyak. Hal ini sesuai dengan Persamaan (2.2) dimana W berbanding lurus dengan T . Namun untuk baja SPCC pada sistem yang tidak terinhibisi, pengurangan berat pada waktu uji rendam selama lima hari memiliki nilai yang paling lebih kecil (**Gambar 4.1**) dibandingkan waktu uji rendam lainnya sehingga mempengaruhi laju korosinya (**Gambar 4.2**). Mungkin hal ini disebabkan perubahan sifat alami di permukaan material. Walaupun demikian, secara *linear* semakin lama waktu rendam pengurangan berat semakin

besar pula. Pada sistem yang terinhibisi, laju korosi paling minimal terjadi pada waktu uji rendam selama lima hari dengan grafik *linear* yang agak konstan rata.

Efisiensi inhibitor memiliki nilai paling besar pada waktu uji rendam selama tiga hari. Walaupun laju korosi pada waktu uji rendam selama lima hari paling kecil dibandingkan dua variabel waktu uji rendam yang lain, rentang perbandingan laju korosi antara sistem yang terinhibisi dan sistem yang tidak terinhibisi mempunyai nilai paling kecil di antara yang lain sehingga menyebabkan efisiensi inhibitorynya juga paling kecil.



BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

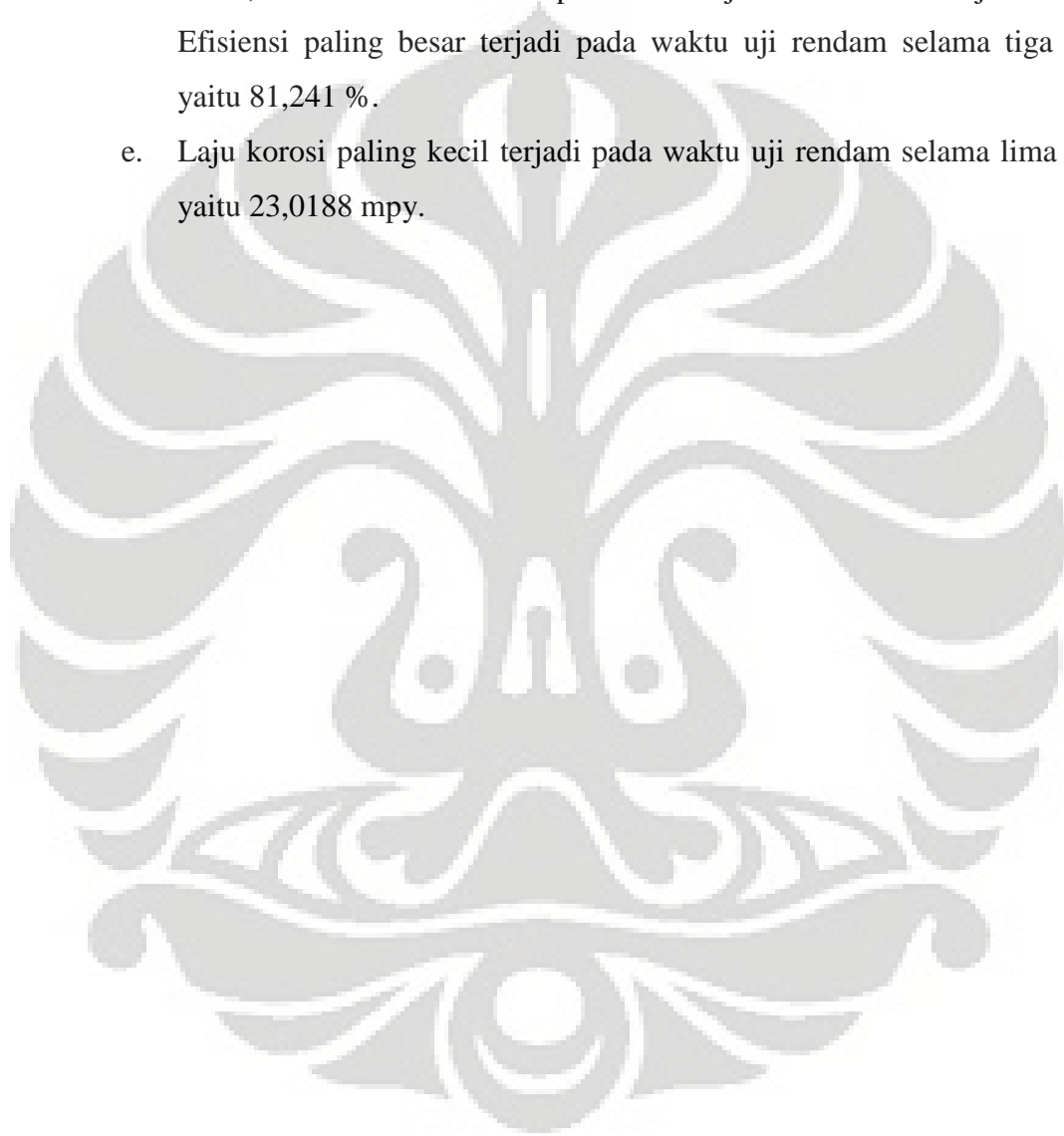
- a. Beras ketan hitam dapat dijadikan sebagai inhibitor organik untuk material baja SPCC karena laju korosi (mpy) untuk baja SPCC pada sistem yang terinhibisi lebih kecil dari laju korosi (mpy) pada sistem yang tidak terinhibisi:
 - 29,3377 pada sistem yang terinhibisi dengan 156,3944 pada sistem yang tidak terinhibisi untuk waktu uji rendam selama tiga hari,
 - 23,0188 pada sistem yang terinhibisi dengan 63,8559 pada sistem yang tidak terinhibisi untuk waktu uji rendam selama lima hari, dan
 - 32,2249 pada sistem yang terinhibisi dengan 104,7032 pada sistem yang tidak terinhibisi untuk waktu uji rendam selama tujuh hari.
 - b. Adsorpsi beras ketan hitam pada permukaan baja SPCC di larutan HCl 0,1 M membentuk lapisan dengan warna yang sama seperti warna logam asalnya.
 - c. Potensial (V) kupon baja SPCC pada larutan HCl 0,1 M terhadap SHE adalah sebagai berikut.
 - -0,214 pada sistem yang terinhibisi dan -0,198 pada sistem yang tidak terinhibisi untuk waktu uji rendam selama tiga hari (menurunkan potensial logam sesuai prinsip fungsi katodik),
 - -0,204 pada sistem yang terinhibisi dan -0,216 pada sistem yang tidak terinhibisi untuk waktu uji rendam selama lima hari (menaikkan potensial logam sesuai prinsip fungsi anodik), dan
 - -0,210 pada sistem yang terinhibisi dan -0,192 pada sistem yang tidak terinhibisi untuk waktu uji rendam selama tujuh hari (menurunkan potensial logam sesuai prinsip fungsi katodik).
- Beras ketan hitam sebagai inhibitor organik dapat menghambat reaksi anodik dan katodik.

d. Efisiensi beras ketan hitam sebagai inhibitor organik berkisar antara 63,952 – 81,2412 % dengan pemetaan sebagai berikut:

- 81,2412 % untuk efisiensi pada waktu uji rendam selama tiga hari,
- 63,952 % untuk efisiensi pada waktu uji rendam selama lima hari, dan
- 69,2226 % untuk efisiensi pada waktu uji rendam selama tujuh hari.

Efisiensi paling besar terjadi pada waktu uji rendam selama tiga hari, yaitu 81,241 %.

e. Laju korosi paling kecil terjadi pada waktu uji rendam selama lima hari, yaitu 23,0188 mpy.



DAFTAR REFERENSI

- [1] Jones, Denny A. (1997). *Principles And Prevention Of Corrosion*. Singapore: Prentice Hall.
- [2] ASM International. (1995). *Handbook Of Corrosion Data* (2nd ed.). Philadelphia: Craig, Bruce D., & David B. Anderson.
- [3] Roberge, Pierre R. (2000). *Handbook Of Corrosion Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- [4] Riastuti, Rini & Andi Rustandi. (2008). *Diktat Mata Kuliah Korosi Dan Proteksi Logam*. Depok.
- [5] Manganon, Pat L. (1999). *The Principles Of Material Selection For Engineering Design*. Florida: Prentice Hall.
- [6] ASTM International. (2004). *ASTM Designation G 31-72 Standard Practice For Laboratory Immersion Corrosion Testing Of Metals*. Philadelphia: ____.
- [7] ASM International. (1992). *Metals Handbook Volume 13: Corrosion* (4th ed.). Philadelphia: Korb, Lawrence J., & David L. Olson.
- [8] NACE International. (1973). *Corrosion Inhibitor*. Texas: Nathan, C. C.
- [9] Revie, R. Winston. (2000). *Uhlig's Corrosion Handbook* (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons Inc.
- [10] Zor, S., F. Kandemirli, & M. Bingul. (2007, October 26). Inhibition Effects Of Methionine And Tyrosine On Corrosion Of Iron In HCl Solution: Electrochemical, FTIR, And Quantum-Chemical Study. *Protection Of Metals And Physical Chemistry Of Surfaces: Molecular And Supramolecular Structures At The Interfaces*, 45 (1), 46-53. February 10, 2009. <http://www.springerlink.com/content/a61483712113180u/>
- [11] NACE International. (2005). *NACE Standard RP0775-2005 Item No. 21017 Standard Recommended Practice Preparation, Installation, Analysis, And Interpretation Corrosion Coupons In Oilfield Operations*. Texas: ____.
- [12] Elewady, G. Y. (2008, June 24). Pyrimidine Derivatives As Corrosion Inhibitors For Carbon-Steel In 2M Hydrochloric Acid Solution. *International*

Journal Of Electrochemical Science, 3 (2008), 1149-1161. September 8, 2008.

<http://www.electrochemsci.org/papers/vol3/3101149.pdf>



Universitas Indonesia

LAMPIRAN A. FOTO HASIL PENGUJIAN**A.1** Foto Sampel Kupon 1, 2, Dan 3**A.2** Foto Sampel Kupon 1, 2, Dan 3 Sebelum Pembersihan**A.3** Foto Sampel Kupon 1, 2, Dan 3 Setelah Pembersihan**Universitas Indonesia**



A.4 Foto Sampel Kupon 4, 5, Dan 6



A.5 Foto Sampel Kupon 4, 5, Dan 6 Sebelum Pembersihan



A.6 Foto Sampel Kupon 4, 5, Dan 6 Setelah Pembersihan



A.7 Foto Sampel Kupon 7, 8, Dan 9



A.8 Foto Sampel Kupon 7, 8, Dan 9 Sebelum Pembersihan



A.9 Foto Sampel Kupon 7, 8, Dan 9 Setelah Pembersihan



A.10 Foto Sampel Kupon 10, 11, Dan 12



A.11 Foto Sampel Kupon 10, 11, Dan 12 Sebelum Pembersihan



A.12 Foto Sampel Kupon 10, 11, Dan 12 Setelah Pembersihan



A.13 Foto Sampel Kupon 13, 14, Dan 15



A.14 Foto Sampel Kupon 13, 14, Dan 15 Sebelum Pembersihan



A.15 Foto Sampel Kupon 13, 14, Dan 15 Setelah Pembersihan



A.16 Foto Sampel Kupon 16, 17, Dan 18



A.17 Foto Sampel Kupon 16, 17, Dan 18 Sebelum Pembersihan



A.18 Foto Sampel Kupon 16, 17, Dan 18 Setelah Pembersihan



A.19 Foto Contoh Gantungan



A.20 Foto Perbandingan Sampel Kupon 3 Dan 4



A.21 Foto Perbandingan Sampel Kupon 15 Dan 16

Universitas Indonesia

LAMPIRAN B. STANDARD PENGUJIAN

B.1 ASTM Designation G 31-72 Standard Practice For Laboratory Immersion Corrosion Testing Of Metals:

- B.1.1 ASTM Designation G 31-72 Pasal (8.9.2) untuk volum larutan dan perbandingannya terhadap luas permukaan kupon.
- B.1.2 ASTM Designation G 31-72 Pasal (8.11.4.2) untuk durasi waktu uji rendam.
- B.1.3 ASTM Designation G 31-72 Pasal (11) untuk perhitungan laju korosi (mpy).

B.2 NACE Standard RP0775-2005 Item No. 21017 Standard Recommended Practice Preparation, Installation, Analysis, And Interpretation Corrosion Coupons In Oilfield Operations:

- B.2.1 NACE Standard RP0775-2005 Item No. 21017 Pasal (2.3) untuk pembersihan kupon.