



UNIVERSITAS INDONESIA

**Pengaruh Penambahan Ekstrak Sekam Beras Hitam terhadap
Penghambatan Korosi Logam Mild Steel dalam Larutan 1M HCl**

TESIS

**AHMAD MAKSUM
0806422870**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JULI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**Pengaruh Penambahan Ekstrak Sekam Beras Hitam terhadap
Penghambatan Korosi Logam Mild Steel dalam Larutan 1M HCl**

TESIS

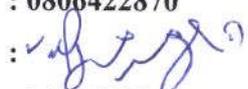
**Diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar
Magister Teknik**

**AHMAD MAKSUM
0806422870**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JULI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Ahmad Maksum
NPM : 0806422870
Tanda Tangan : 
Tanggal : 11 Juli 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Ahmad Maksum
NPM : 0806422870
Program Studi : Metalurgi dan Material
Judul Tesis : Pengaruh Penambahan Ekstrak Sekam Beras Hitam terhadap Penghambatan Korosi Logam Mild Steel dalam Larutan 1M HCl

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

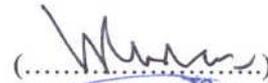
DEWAN PENGUJI

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



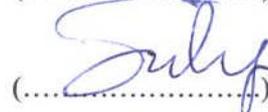
(.....)

Penguji : Ir. Andi Rustandi, MT



(.....)

Penguji : Dr. Ir. Sutopo, MSc



(.....)

Penguji : Dr. Ir. Muhammad Anis, M.Met



(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 11 Juli 2011

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat unyuk mencapai gelar Magister Teknik, Program Studi Teknik Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyuadi Soedarsono DEA, dan Ir. Andi Rustandi, MSc, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
- (2) Orang tua, keluarga dan teman-teman saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 11 Juli 2011

Penulis

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

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

Nama : Ahmad Maksum
NPM : 0806422870
Program Studi : Korosi dan Proteksi
Departemen : Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tesis

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

Pengaruh Penambahan Ekstrak Sekam Beras Hitam terhadap Penghambatan Korosi Logam Mild Steel dalam Larutan 1M HCl

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 : 11 Juli 2011

Yang menyatakan

(Ahmad Maksum)

ABSTRAK

Nama : Ahmad Maksum
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul : Pengaruh Penambahan Ekstrak Sekam Beras Hitam terhadap Penghambatan Korosi Logam Mild Steel dalam Larutan 1M HCl

Saat ini, penggunaan inhibitor kimia telah dibatasi karena dapat mencemari lingkungan. Sejalan dengan kepedulian akan kesehatan lingkungan, penelitian ini mempelajari efektifitas penghambatan korosi mild steel dalam larutan 1M HCl oleh ekstrak sekam padi hitam. Hasil yang didapatkan dari metode *weight loss* dan *potentiodynamic polarization* menunjukkan bahwa ekstrak sekam beras hitam bertindak sebagai *mixed-inhibitor* dalam lingkungan asam secara efektif, dimana efek inhibisi katodiknya lebih dominan. Efisiensi penghambatan ekstrak sekam beras hitam ini meningkat dengan peningkatan konsentrasi inhibitor, dan mencapai nilai efisiensi optimumnya 91% dengan penambahan 2000ppm ekstrak pada hari ke enam.

Kata kunci : Sekam Padi Beras Hitam, Inhibitor Korosi, *Mild Steel*, 1M HCl

ABSTRACT

Name : Ahmad Maksun
Study Program : Material and Metallurgy Department
Title : Inhibition Effect of Black Rice Husk Extract on Corrosion of Mild Steel in 1M HCl Solution

Currently, the use of chemical inhibitors has been limited because it can pollute the environment. In line with the concern for environmental health, this research studied the effectiveness of corrosion inhibition of mild steel in 1M HCl solution by extracts of black rice husk. Results obtained from the method of weight loss and potentiodynamic polarization shown that extracts of black rice husks act as mixed-inhibitor effectively in an acidic environment, where the cathodic inhibition effect is more dominant. Inhibition efficiency of black rice bran extracts was increased with increasing concentrations of inhibitors, and achieve optimum efficiency value of 91% with the addition of 2000ppm extract on day six.

Key words: Black Rice Husk, Corrosion inhibitors, Mild Steel, 1M HCl.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Hipotesis	4
1.5 Ruang Lingkup	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Korosi	6
2.2 <i>Corrosion Inhibitor</i>	10
2.3 Beras Hitam (<i>Oryza Sativa</i>)	16
BAB III METODE PENELITIAN.....	18
3.1 Persiapan sampel	19
3.2 Prosedur Pengujian	22
BAB IV HASIL PENELITIAN	25
4.1 Data Uji Perendaman (Immersion Test)	25
4.3 Data Uji Polarisasi	28
4.4 Data Uji Absorbansi Ekstrak Sekam Beras Hitam	29
BAB V PEMBAHASAN	31
5.1 Korosifitas Lingkungan	31
5.2 Pengaruh Konsentrasi Sekam dan Waktu Perendaman terhadap Laju Korosi	32
5.3 Pengaruh Konsentrasi Sekam dan Waktu Perendaman terhadap Efisiensi Inhibisi	33
5.4 Langmuir Adsorption Isotherm.....	35
5.5 Ekstrapolasi Tafel	37
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	40
6.1 Kesimpulan	40
6.2 Saran	40
DAFTAR REFERENSI	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Struktur Dasar Anthocyanin	3
Gambar 2.1. Diagram skematik sel elektrokimia besi	6
Gambar 2.2. Diagram Pourbaix besi (Fe)	8
Gambar 2.3. Contoh ilustrasi mekanisme penghambatan korosi Dengan polyphosphate	14
Gambar 2.4. Struktur biji padi	16
Gambar 3.1. Diagram alir Penelitian	18
Gambar 3.2. Sketsa sampel <i>weight loss</i>	20
Gambar 3.3. Skematik uji polarisasi	24
Gambar 4.1. Foto uji perendaman	25
Gambar 4.2. Perbandingan visual dari sampel yang telah direndam dalam 1M HCl dengan variasi konsentrasi ekstrak sekam	25
Gambar 4.3. Kurva Polarisasi pada larutan 1M HCl tanpa inhibitor	28
Gambar 4.4. Kurva Polarisasi pada larutan 1M HCl dengan inhibitor 2000 ppm	28
Gambar 4.5. Hasil Uji Absorbansi ekstrak sekam beras hitam dengan menggunakan UV-Vis Spektrofotometer	25
Gambar 5.1. Diagram Pourbaix Fe dengan dan tanpa ekstrak sekam	31
Gambar 5.2. Pengaruh Konsentrasi ekstrak sekam dan Waktu perendaman terhadap Laju korosi	33
Gambar 5.3. Grafik Pengaruh Konsentrasi ekstrak sekam dan Waktu perendaman terhadap Laju korosi	34
Gambar 5.4. Grafik Langmuir isotherm pada hari ke enam perendaman mild steel dalam larutan 1M HCl	35
Gambar 5.5. Kurva Polarisasi logam mild steel pada larutan 1M HCl dengan dan tanpa penambahan ekstrak sekam	37

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Komposisi campuran ekstrak sekam beras hitam dan 1M HCl	21
Tabel 4.1. Berat Kupon-kupon Mild Steel dalam 1M HCl tanpa inhibitor	26
Tabel 4.2 Berat Kupon-kupon Mild Steel dalam 1M HCl dengan 500 ppm ekstrak sekam	26
Tabel 4.3. Data Kehilangan Berat Mild Steel dalam 1M HCl dengan 1000 ppm ekstrak sekam	27
Tabel 4.4. Data Kehilangan Berat Mild Steel dalam 1M HCl dengan 2000 ppm ekstrak sekam	27
Tabel 4.5. Parameter polarisasi	29
Tabel 5.1. Pengaruh konsentrasi ekstrak sekam dan waktu perendaman terhadap Laju Korosi Mild Steel dalam 1M HCl	32
Tabel 5.2. Pengaruh konsentrasi ekstrak sekam dan waktu perendaman terhadap Efisiensi Inhibisi Korosi Mild Steel dalam 1M HC	33

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 *Relationship among some of the units commonly used for corrosion rates*

LAMPIRAN 2 *Approximate pH Values at 25°C*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Padi telah menjadi bagian dari kehidupan masyarakat Indonesia sehingga tidak dapat dipungkiri bahwa komoditas ini telah turut mempengaruhi tatanan politik dan stabilitas nasional. Selain sebagai makanan pokok lebih dari 95% penduduk, padi juga telah menjadi sumber mata pencaharian sebagian besar petani di pedesaan. Dewasa ini usahatani padi mampu menyediakan lapangan kerja bagi sekitar 20 juta rumah tangga petani. Akan tetapi, usahatani padi yang telah terlanjur terbelenggu dalam pertanian subsisten belum mampu memberikan nilai tambah yang layak bagi keluarga petani, meskipun secara keseluruhan produksi padi telah memberikan kontribusi lebih dari Rp 120 triliun bagi perekonomian nasional[1].

Sebagai bahan pangan utama penduduk, padi merupakan sumber ekonomi yang penting di Indonesia. Karena besar kecilnya kontribusi usahatani padi terhadap pendapatan rumah tangga petani ditentukan oleh luas penguasaan lahan, maka kebijakan di bidang usahatani padi akan lebih banyak dinikmati oleh petani dengan skala usaha yang luas. Padahal, sebagian besar petani di Indonesia adalah petani-petani skala kecil yang hanya mempunyai lahan kurang dari satu hektar.

Untuk mengantisipasi masalah tersebut di atas, sektor pertanian harus dibangun secara terpadu mulai dari aspek pengembangan teknologi pertanian, pengolahan dan pemasaran hasil dan produk olahannya, serta peningkatan nilai tambah produk sampingnya.

Di sisi lain, kerugian yang diakibatkan oleh korosi ternyata jauh lebih besar bila dibandingkan dengan kerugian yang diakibatkan oleh bencana alam. Sebagai misal, total kerugian akibat korosi di negara Amerika adalah sebesar USD 276 milyar per tahun atau sekitar 3.1 % dari Pendapatan Kotor Nasionalnya[2]. Oleh karena itu, berbagai usaha pun dilakukan untuk mencegah atau mengurangi kerugian yang diakibatkan korosi tersebut, diantaranya adalah dengan menggunakan inhibitor. Inhibitor telah digunakan secara luas dalam berbagai

sistem di industri seperti *cooling systems, refinery units, chemicals, oil and gas production units, boiler* dan sebagainya.

Sejalan dengan kepedulian dunia akan pentingnya menjaga kesehatan dan kelestarian lingkungan, maka penelitian – penelitian tentang inhibitor yang ramah lingkungan pun semakin berkembang. Pada tahun 2004, penambahan *juice of citrus paradisi*[3] menunjukkan hasil yang menggembirakan dalam menghambat korosi logam mild steel di media HCl. Adapun tingkat efisiensi penghambatannya cenderung meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi inhibitor dan cenderung turun dengan peningkatan temperatur. Mekanisme penghambatan korosi yang terjadi diduga akibat adsorpsi komponen-komponen *juice* tersebut ke permukaan logam mild steel.

Efisiensi penghambatan korosi yang baik ini juga ditunjukkan oleh sintesa guanidine baru yang disebut *N-(5,6-diphenyl-4,5-dihydro-[1,2,4]triazin-3-yl)-guanidine* (NTG) dalam lingkungan asam, dimana *inhibition efficiency*-nya mencapai 99% dalam 1M HCl dan 96% dalam 0.5M H₂SO₄[4].

Perilaku penghambatan *carmine* dan *fast green dyes*[5] pada korosi logam mild steel dalam 0.5 M HCl pun diteliti dengan menggunakan metode mass loss, polarization dan electrochemical impedance (EIS). Dan hasil penelitiannya menunjukkan bahwa nilai efisiensi penghambatannya meningkat dengan peningkatan konsentrasi inhibitor. Nilai *inhibition efficiency* (IE) dari *fast green* (% η - 98) ternyata lebih tinggi dari *carmine* (% η - 92), dan mencapai maksimum dengan konsentrasi inhibitor 1×10^{-3} M solution. Kedua inhibitor berperan sebagai *mixed inhibitor* dengan efek katodik yang lebih dominan. Pada tahun itu juga, efek sinergis antara ekstrak *beet root* dengan Zn²⁺ dalam mengontrol korosi carbon steel dalam air sumur, terbukti efektif dalam mengurangi laju korosi, dimana *inhibition efficiency* (IE) dari campuran 4 mL *BR extract* dan 50 ppm Zn²⁺ mencapai 98% [6].

Dengan menggunakan metode *gravimetric*, *gasometric*, dan *thermometric*, *Ethanol Extract* dari *Piper guinensis*[7] telah terbukti dapat menghambat korosi logam Mild Steel, dimana terdapat variasi nilai *Inhibition Efficiency* (IE) - nya yang disebabkan oleh perbedaan konsentrasi ekstrak *Piper Guinensis*, temperatur, dan lama pencelupan.

Efek penghambatan tanaman obat lain seperti ekstrak *Areca catechu*[8], ekstrak *Musa species*[9], dan *karanj*[10], juga telah diteliti, dan menunjukkan hasil yang sama yaitu adanya pengaruh konsentrasi, interval waktu, dan range temperaturnya terhadap nilai *Inhibition Efficiency* atau Efektifitas Penghambatannya.

Dari sekian banyak penelitian tentang sekam padi, ternyata belum ada penelitian yang mengeksplorasi manfaat sekam padi sebagai inhibitor korosi ini. Padahal, beras hitam Indonesia mengandung antosianin[11,12] yang tinggi, bahkan terbesar kedua setelah beras hitam Taiwan[13]. Di samping itu, kandungan antosianin (*Cyanidin 3-Glucoside* and *Peonidin 3-Glucoside*) yang tinggi pada beras hitam tersebut juga terbukti dapat berfungsi efektif sebagai antioksidan[14-18]. Dengan kandungan antosianinnya tersebut, ekstrak sekam beras hitam (*oryza sativa*) diharapkan dapat digunakan juga sebagai inhibitor korosi. Untuk itu, penelitian lebih lanjut mengenai hal ini perlu dilakukan.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka penelitian ini ditujukan untuk menjawab permasalahan sebagai berikut :

1. Apakah sekam beras hitam dapat digunakan sebagai inhibitor korosi logam mild steel dalam lingkungan 1M HCl ?
2. Seberapa efisienkah efek penghambatan korosi yang terjadi pada logam mild steel dalam media 1M HCl dengan penambahan konsentrasi ekstrak sekam beras hitam ?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Dari penelitian kali ini dimaksudkan untuk mempelajari mekanisme dan efektifitas penambahan ekstrak sekam beras hitam sebagai inhibitor korosi logam mild steel dalam larutan 1M HCl dengan tujuan :

1. Mengetahui laju korosi mild steel dalam larutan 1M HCl dengan dan tanpa penambahan ekstrak sekam beras hitam,
2. Mengetahui efisiensi ekstrak sekam beras hitam sebagai inhibitor korosi mild steel dalam larutan 1M HCl, dan
3. Mengetahui mekanisme inhibisi dari ekstrak sekam beras hitam tersebut.

1.4 HIPOTESIS

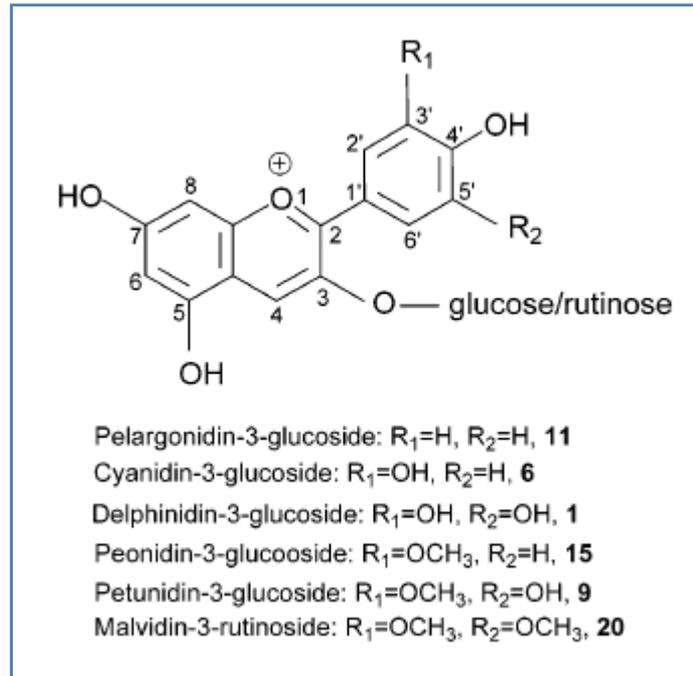
Acid corrosion adalah korosi material pada lingkungan asam, sebagian besar material logam akan terkorosi pada lingkungan yang asam. *Carbon steel* sebagai salah satu material teknik sangat rentan terhadap *acid corrosion*. Besi sebagai komponen utama bereaksi dengan ion-ion hidrogen membentuk ion – ion besi disertai pembentukan gas H₂ dengan mekanisme reaksi seperti berikut :



Selama proses reaksi ini, ion-ion besi terlarut ke dalam larutan dan mengakibatkan berat besi berkurang (*weight loss*). Semakin cepat ion-ion besi terlarut, semakin cepat pula laju korosi dari besi tersebut.

Corrosion inhibitor dari senyawa organik umumnya bekerja dengan mekanisme adsorpsi dari molekul dan ion pada permukaan logam. Inhibitor organik ini biasanya akan membentuk *hydrophobic film* (lapisan tipis yang bersifat hidrofobik) pada permukaan logam yang akan melindungi logam dari agresifitas lingkungannya[19,20].

Berdasarkan penelitian sebelumnya, beras hitam mengandung senyawa *anthocyanin* terutama *cyanidin 3-glucoside*[21]. Adapun struktur dasar senyawa *anthocyanin* bisa digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1.1. Struktur dasar *Anthocyanin*.

Heteroatom O dari antosianin ini diharapkan memungkinkan terjadinya adsorpsi yang menjadi ciri umum *corrosion inhibitor* dari senyawa organik.

1.5 RUANG LINGKUP PENELITIAN

Untuk mencapai tujuan diatas maka penelitian kali dilakukan pada larutan HCl dengan bahan uji mild steel dan dibatasi pada:

1. Tekanan operasi selama percobaan dianggap konstan pada tekanan atmosferik (1 atm),
2. Temperatur percobaan dianggap konstan pada temperature ruang,
3. Konsentrasi HCl 1 Molar,
4. Konsentrasi ekstrak sekam beras hitam bervariasi dari 0, 500, 1000, dan 2000 ppm,
5. Variabel waktu perendaman adalah 2, 4, 6, 8, 10, 12, dan 14 hari,
6. Laju korosi diukur berdasarkan *weight loss* pada kupon, dan
7. Mekanisme inhibisi diamati dengan polarisasi.

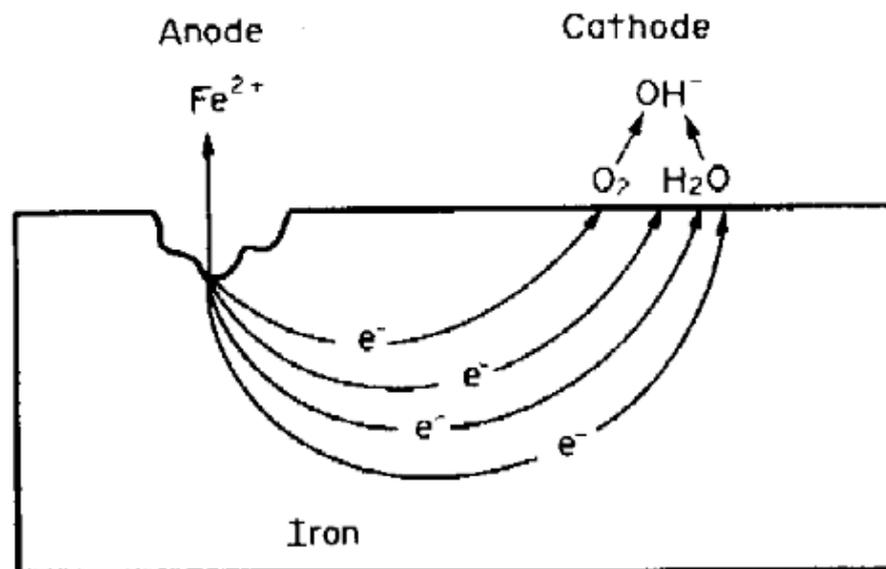
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 KOROSI

2.1.1 Definisi Korosi[20]

Korosi dapat didefinisikan sebagai degradasi material atau sifatnya oleh reaksi elektrokimia ketika berinteraksi dengan lingkungannya. Agar korosi dapat terjadi, ada tiga elemen dasar yang harus terpenuhi:

- Elektrolit, yaitu larutan yang dapat menghantarkan arus listrik
- Anoda, yaitu material/logam mengalami oksidasi (logam yang terkorosi)
- Katoda, bagian logam mengalami reduksi (logam yang tidak terkorosi)



Gambar 2.1. Diagram skematik sel elektrokimia besi[20].

2.1.2 Reaksi Anodik[20]

Anoda adalah sisi logam yang terkorosi dimana desolusi logam berlangsung. Logam terdesolusi dan memindahkan ion logam ke dalam larutan. Atom bermuatan positif terlepas dari permukaan dan masuk ke dalam elektrolit sebagai ion. Elektron sebagai arus listrik mengalir ke katoda yang akan mengkonsumsi elektron. Proses ini dikenal sebagai proses oksidasi.

Reaksi anodik pada logam secara umum dapat dituliskan sebagai berikut :



Sebagai contoh logam besi (Fe), reaksi anodik akan berlangsung seperti :



2.1.3 Reaksi Katodik[20]

Reaksi katodik adalah reaksi yang mengkonsumsi elektron sehingga disebut juga sebagai proses reduksi. Sebagai contoh, ion H^{+} yang terdapat pada elektrolit asam akan membentuk gas hidrogen.

Bentuk reaksi katodik yang mungkin terjadi pada korosi sebagai berikut :

- a. Evolusi hidrogen pada lingkungan asam



- b. Reduksi oksigen pada lingkungan asam



- c. Reduksi oksigen pada lingkungan netral dan alkalin



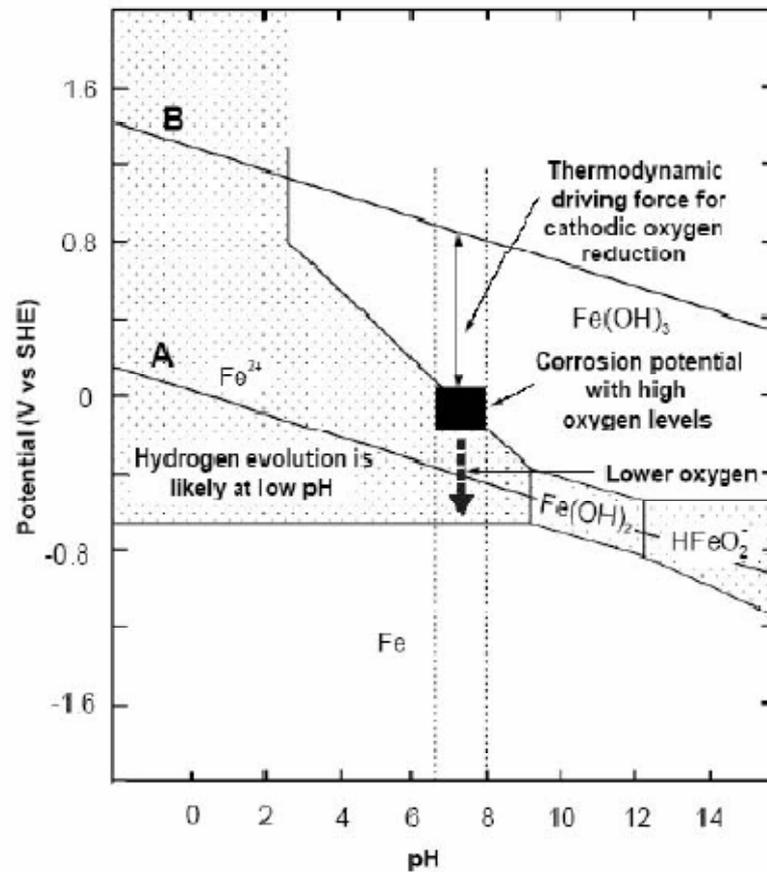
- d. Reduksi ion logam



2.1.4 Diagram Pourbaix[20]

Diagram potensial/pH atau sering disebut sebagai diagram Pourbaix bisa dianggap sebagai peta yang menunjukkan kondisi potensial (*oxidizing power*) dan pH (keasaman ataupun kebasaaan) untuk berbagai kemungkinan fase stabil dalam sistem elektrokimia. Garis batas diagram membagi area kestabilan untuk fase yang berbeda yang diturunkan dari persamaan Nerst. Diagram Pourbaix dapat digunakan untuk memperkirakan apakah logam akan berada dalam kondisi terkorosi, imun ataupun dalam kondisi pasif. Namun, prediksi tentang laju korosi tidak dapat dilakukan dengan diagram Pourbaix ini.

Diagram Pourbaix logam besi (Fe) dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 2.2. Diagram Pourbaix besi (Fe)[20].

2.1.5 Bentuk-Bentuk Korosi[20]

Perbedaan bentuk-bentuk korosi ini menunjukkan fenomena korosi yang terjadi berdasarkan penampakan luarnya.

a. Korosi Seragam (*Uniform Corrosion*)

Korosi seragam merupakan bentuk korosi yang paling umum. Korosi seragam dicirikan dengan reaksi kimia atau elektrokimia yang berlangsung seragam pada seluruh permukaan yang terpapar. Logam menjadi menipis dan pada saatnya akan mengalami kegagalan. Korosi seragam dapat dicegah dengan cara pemilihan material yang baik, *coating*, inhibitor dan proteksi katodik.

b. Korosi Galvanik (*Galvanic Corrosion*)

Perbedaan potensial biasanya terjadi antara dua logam berbeda ketika berada pada lingkungan korosif atau konduktif. Jika logam-logam ini diletakkan bersentuhan atau terhubung secara elektrik, perbedaan potensial menghasilkan

aliran elektron. Korosi pada material yang lebih kecil ketahanan korosinya akan meningkat, sementara korosi pada material yang lebih tahan akan berkurang jika dibandingkan dengan masing-masing logam jika keduanya tidak terhubung. Material yang lebih rendah ketahanan korosinya menjadi anoda dan material yang lebih besar ketahanan korosinya menjadi katoda. Umumnya logam katodik hanya sedikit terkorosi atau bahkan tidak terkorosi.

c. Korosi Celah (*Crevice Corrosion*)

Korosi celah merupakan korosi lokal yang terjadi pada celah dan area penutup lainnya pada permukaan logam yang terpapar pada media korosif. Bentuk korosi ini biasanya diikuti dengan sejumlah kecil larutan yang diam yang disebabkan oleh lubang, permukaan gasket, sambungan *lap joint*, permukaan deposit serta celah antara baut dan kepala *rivet*. Sehingga bentuk korosi ini disebut dengan korosi celah.

d. Korosi Sumur (*Pitting*)

Pitting adalah bentuk korosi lokal ekstrim yang menghasilkan lubang pada logam. Lubang *pit* bisa berdiameter besar atau kecil namun umumnya lubangnya relatif kecil. *Pitting* bisa menyendiri atau saling berdekatan sehingga kelihatan seperti permukaan kasar. Umumnya *pitting* digambarkan sebagai rongga atau lubang dengan diameter lubang kira-kira lebih kecil dan atau sama dengan kedalamannya. *Pitting* merupakan salah satu bentuk korosi merusak karena susah untuk dideteksi, bentuk korosi lokal dan sering menyebabkan kegagalan yang katastrofik. Contoh kasus kegagalan *pitting* adalah *pitting* yang disebabkan oleh klorida dan kandungan ion Cl.

e. Korosi Batas Butir (*Intergranular Corrosion*)

Intergranular corrosion merupakan bentuk korosi lokal yang terjadi pada dan atau dekat dengan batas butir dengan relatif sedikit korosi pada butir sehingga paduan logam rusak atau kehilangan kekuatannya. Korosi batas butir dapat disebabkan oleh impuritas pada batas butir, pengayaan salah satu unsure paduan dan kehilangan salah satu unsur paduan pada daerah batas butir. Contoh kasus adalah fenomena sensitisasi pada baja tahan karat dimana terjadi penipisan unsur Cr pada area batas butir sehingga rawan terjadi *intergranular corrosion*.

f. *Selective Leaching*

Selective leaching merupakan penghilangan salah satu unsur dari paduan solid oleh proses korosi. Contoh kasus yang paling umum adalah penghilangan selektif dari seng (Zn) dalam paduan kuningan yang disebut dengan *dezincification*.

g. *Korosi Erosi (Erosion-Corrosion)*

Erosion-corrosion merupakan percepatan atau peningkatan laju deteriorasi atau serangan logam oleh pergerakan relatif antara fluida korosif dan permukaan logam. Umumnya melibatkan pergerakan yang cepat dan efek keausan atau abrasi. Logam hilang dari permukaan sebagai ion terlarut atau membentuk produk korosi solid yang secara mekanis menyapu permukaan logam. Korosi erosi dicirikan dengan ditemukannya alur (*groove*), bentuk selokan, bentuk gelombang, lubang melingkar dan lembah yang menunjukkan pola arah.

h. *Stress Corrosion Cracking (SSC)*

SSC mengacu kepada terjadinya *cracking* yang disebabkan oleh keberadaan yang simultan antara logam yang rawan, tegangan tarik dan media tertentu yang korosif. Morfologi retakan dapat terjadi dengan menyusuri batas butir (*intergranular*) ataupun membelah batas butir (*transgranular*). Tidak semua kombinasi logam-lingkungan rawan terjadi SSC. Sebagai contoh, *stainless steel* rawan terjadi retakan pada lingkungan klorida tapi tidak pada lingkungan amonia sedangkan kuningan rawan retak pada lingkungan amonia tapi tidak pada lingkungan klorida. *Stainless steel* tidak rawan terjadi retakan pada asam sulfat, asam nitrat dan asam asetat tapi rawan terhadap klorida dan kaustik.

2.2 *CORROSION INHIBITOR*[20]

Salah satu cara untuk mengontrol dan mencegah korosi adalah dengan *corrosion inhibitor*, dimana dengan penambahan zat kimia tertentu dalam jumlah yang sedikit ke dalam lingkungan dapat mengurangi agresifitas lingkungan atau menurunkan laju korosi. Inhibitor bekerja dengan penyerapan ion atau molekul ke dalam permukaan logam. Mereka mengurangi laju korosi dengan menaikkan atau menurunkan reaksi anodik dan atau katodik, mengurangi laju difusi reaktan ke dalam permukaan logam atau mengurangi tahanan listrik dari permukaan logam.

2.2.1 Tipe Inhibitor

a. *Volatile Inhibitor*

Disebut juga dengan *vapour phase inhibitor*. Proses korosi juga bisa terjadi pada lingkungan uap, sehingga inhibitor berfase uap juga diperlukan. Ketika molekul inhibitor dalam uap bertemu dengan permukaan logam, adsorpsi inhibitor akan terjadi sehingga terbentuk lapisan pelindung. Sebagai contoh adalah inhibitor dari gugus amin dan nitrit.

b. **Inhibitor Anodik (Pasifasi)**

Inhibitor pasifasi merupakan tipe inhibitor anodik yang menyebabkan pergeseran kurva anodik dari kurva polarisasi. Jenis ini mempunyai kemampuan untuk mempasifasi permukaan logam. Kemampuan mempasifasi logam dalam media tanpa oksigen disebut dengan *oxidizing anion*, misalkan kromat, nitrit dan nitrat. *Non oxidizing anion* seperti pospat, tungstate dan molibdat memerlukan oksigen untuk mempasifasi.

Jenis inhibitor ini banyak digunakan dan mempunyai efisiensi yang tinggi. Namun, konsentrasi inhibitor harus selalu dijaga di atas konsentrasi minimum. Jika konsentrasi berada di bawah konsentrasi minimum, logam dapat mengalami korosi lokal seperti halnya *pitting*.

c. **Inhibitor Presipitat**

Inhibitor jenis ini umumnya mampu membentuk lapisan film seperti halnya silikat dan fosfat. Inhibitor ini efektif membatasi reaksi anodik dan katodik. Mereka membentuk endapan pada permukaan logam dan membentuk *protective barrier*. Efisiensi inhibitor ini tergantung kepada nilai pH dan indeks saturasi.

d. **Inhibitor Katodik**

Inhibitor katodik mengurangi laju reaksi katodik seperti reduksi oksigen pada lingkungan netral ataupun evolusi hidrogen pada lingkungan asam. Mekanisme inhibisi inhibitor katodik melalui cara sebagai berikut :

- Racun katodik dimana proses reduksi katodik ditekan misalnya dengan menghalangi penggabungan hidrogen. Namun hal ini meningkatkan resiko

terjadinya *hydrogen induced cracking* (HIC). Contoh inhibitor katodik adalah arsenic dan antimony.

- Endapan katodik, misalnya kalsium dan magnesium yang dapat mengendapkan oksida membentuk *protective layer* yang berfungsi sebagai barrier pada permukaan logam.
- *Oxygen Scavenger*, misalnya hidrazin dan sulfit yang dapat mengurangi kandungan oksigen dalam sistem untuk mengurangi laju korosi.

e. Inhibitor Organik

Inhibitor ini umumnya merupakan inhibitor *film forming* yang dapat membentuk lapisan hidrofobik pada permukaan logam untuk mencegah pelarutan logam. Efisiensi inhibitor tergantung pada komposisi kimia dan struktur molekul dalam hubungannya dengan afinitas terhadap logam. Contoh inhibitor organik adalah sulfonat, fosfonat dan inhibitor dari gugus amin.

f. Inhibitor Inorganik

Inhibitor jenis ini mengurangi laju korosi anion negatif yang dibawanya. Yang lazim digunakan adalah inhibitor garam kristalin seperti sodium kromat dan molibdat.

g. Inhibitor Campuran

Dalam prakteknya, inhibitor jarang digunakan sebagai senyawa tunggal. Formulasi inhibitor dapat melalui pencampuran dua atau lebih inhibitor yang mempunyai karakteristik yang berbeda.

2.2.2 *Green Inhibitor*

Seiring dengan menguatnya permasalahan lingkungan, penelitian banyak ditujukan kepada aplikasi inhibitor yang ramah lingkungan. Inhibitor yang bersifat racun mulai ditinggalkan. Inhibitor berbasis nitrit mempunyai daya inhibisi yang baik namun penggunaannya berangsur-angsur berkurang karena sifatnya yang beracun. Nitrit mempunyai kecenderungan untuk meracuni hemoglobin jika terserap ke dalam aliran darah. Demikian juga dengan inhibitor berbasis kromat yang mulai ditinggalkan. Inhibitor berbasis kromat sangat stabil pada berbagai sistem namun bersifat racun dan karsinogen[22].

Banyak *corrosion inhibitor* alternatif dikembangkan untuk mengurangi pengaruh buruk terhadap manusia, hewan dan lingkungan pada umumnya. Penggunaan inhibitor yang ramah lingkungan bervariasi dari penggunaan logam jarang seperti lanthanum dan cerium sampai kepada senyawa organik seperti amin. Lebih jauh lagi, pemanfaatan *green inhibitor* dari bahan herbal marak dikembangkan[19].

Corrosion inhibitor dari senyawa organik umumnya bekerja dengan mekanisme absorpsi dari molekul dan ion pada permukaan logam. Adsorpsi dapat melalui cara sebagai berikut[20]:

- Physisorpsi karena gaya elektrostatis antara ion yang menghibisi atau dipole dan muatan listrik dari permukaan logam
- Chemisorpsi karena interaksi pasangan electron yang tidak berpasangan dengan logam untuk membentuk ikatan. Hal ini berlangsung ketika ada heteroatom seperti P, S, N dan O ada dengan pasangan electron sendiri dan atau cincin aromatic dalam molekul adsorpsi
- Kombinasi dari keduanya

Berdasarkan definisinya, *corrosion inhibitor* adalah senyawa kimia yang ketika ditambahkan dalam jumlah sedikit kedalam lingkungan korosif mampu menurunkan laju korosi[20], sehingga efektivitas *corrosion inhibitor* dapat diukur berdasarkan kemampuannya menurunkan laju korosi melalui persamaan:

$$EI (\%) = 100 \times (CR_{\text{uninhibited}} - C_{\text{rinhibited}}) / CR_{\text{uninhibited}} \quad (2.7)$$

Dimana $CR_{\text{uninhibited}}$: laju korosi tanpa inhibitor

$CR_{\text{inhibited}}$: laju korosi dengan inhibitor

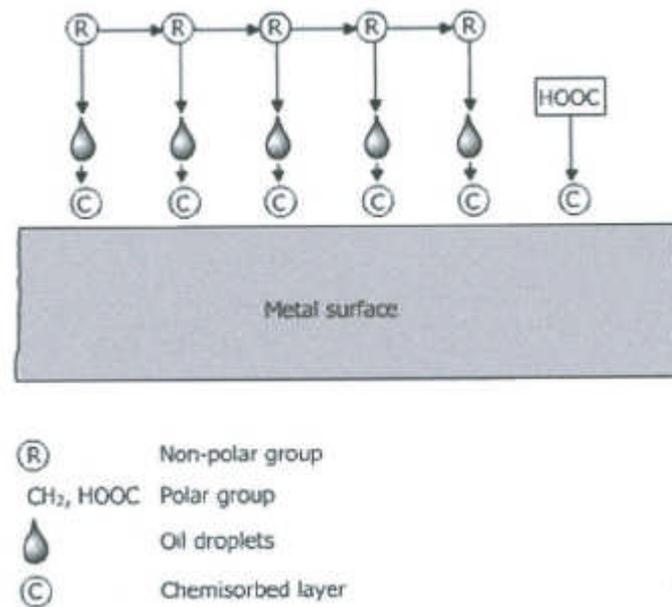
Mekanisme adsorpsi *organic corrosion inhibitor* pada permukaan logam diawali dengan penggeseran molekul – molekul air yang teradsorpsi pada permukaan logam oleh molekul – molekul inhibitor. Hal ini disebabkan karena tegangan permukaan air lebih tinggi bila dibandingkan dengan tegangan permukaan inhibitor, sehingga mengakibatkan daya tarik permukaan metal terhadap inhibitor pun menjadi lebih tinggi bila dibandingkan terhadap air. Proses yang terjadi dapat digambarkan sebagai berikut :



Selanjutnya inhibitor berikatan dengan ion – ion Fe^{2+} yang terbentuk pada permukaan metal membentuk senyawa kompleks logam-inhibitor.



Senyawa kompleks inilah yang diharapkan mampu menahan dan membatasi interaksi langsung dari logam dengan larutan korosi sehingga performa inhibisi sangat dipengaruhi oleh pembentukan dan stabilitas lapisan senyawa kompleks ini.



Gambar 2.3. Contoh ilustrasi mekanisme penghambatan korosi dengan *polyphosphate*[23].

2.2.3 Adsorpsi

Penyerapan suatu zat oleh zat lain disebut sorpsi. Ada dua jenis sorpsi, yaitu absorpsi dan adsorpsi. Pada adsorpsi, zat yang diserap hanya terdapat pada bagian permukaan zat penyerap, sedangkan pada absorpsi, zat atau ion yang diserap masuk ke bagian dalam zat penyerap. Adsorpsi semata-mata hanya suatu efek permukaan, sedangkan dalam absorpsi, zat cair dan gas yang diabsorpsi menembus kedalam ruang - ruang kapiler dari zat pengabsorpsi.

Ada dua jenis komponen yang terlibat dalam adsorpsi, yaitu zat terserap (adsorbat) dan zat penyerap (adsorben). Molekul-molekul teradsorpsi pada

permukaan adsorben terjadi melalui dua cara, yaitu secara fisik (*fisiosorpsi*) dan adsorpsi secara kimia (*chemisorpsi*).

Fisiosorpsi disebut juga adsorpsi fisik. Pada fisiosorpsi, gaya-gaya yang bekerja antara adsorbat dan adsorben adalah gaya Van der Waals. Suatu zat yang diadsorpsi secara fisik (fisiosorpsi) bisa didesorpsi dari zat padat dengan menaikkan temperatur dan mengurangi tekanan. Molekul terikat dengan ikatan yang lemah dan energi yang dilepaskan pada fisiosorpsi relatif rendah sekitar 20 kJ/mol.

Pada kemisorpsi, partikel-partikel yang teradsorpsi melekat pada permukaan adsorben (adsorbat menempel dengan adsorben) melalui ikatan kimia yang bersifat *irreversible*, biasanya ikatan yang terjadi adalah ikatan kovalen koordinasi sehingga ikatan yang dimiliki sangat kuat. Kemisorpsi terjadi diawali dengan adsorpsi fisik, yaitu partikel-partikel adsorbat mendekati permukaan adsorben melalui gaya Van der Waals atau melalui ikatan hidrogen.

2.2.4 *Isoterm Adsorpsi*

Ada beberapa tipe isoterm adsorpsi yang dapat dijadikan referensi dalam mempelajari mekanisme adsorpsi inhibitor korosi, diantaranya adalah isoterm adsorpsi Langmuir dan Temkin. Isoterm adsorpsi Langmuir merupakan model adsorpsi paling sederhana, dengan asumsi bahwa tidak ada interaksi antara molekul adsorbat, lapisan yang terbentuk berupa *monolayer*, maksimum fraksi penutupan; $\theta = 1$ (saat permukaan adsorben jenuh dengan adsorbat), permukaan adsorbat homogen sehingga setiap area permukaan memiliki energi ikatan yang sama, dan molekul yang teradsorpsi terlokalisasi atau tidak bergerak pada permukaan. Isoterm Langmuir diekspresikan dalam persamaan :

$$\frac{\theta}{1-\theta} = KC \quad (2.11)$$

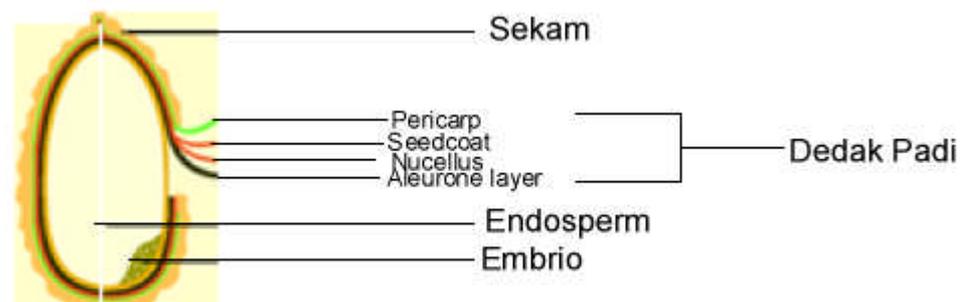
Dimana θ adalah fraksi permukaan yang tertutupi oleh inhibitor dengan konsentrasi C.

Jika nilai ΔG_{ads} negatif atau harga K semakin besar maka energi adsorpsi makin tinggi. Hasil tersebut menyatakan bahwa kespontanan proses adsorpsi dan stabilitas pada lapisan yang teradsorpsi pada permukaan adsorben.

2.3 BERAS HITAM (*ORYZA SATIVA*)

Padi adalah salah satu tanaman budidaya terpenting dalam peradaban. Produksi padi dunia menempati urutan ketiga dari semua serealia, setelah jagung dan gandum. Namun demikian, padi merupakan sumber karbohidrat utama bagi mayoritas penduduk dunia.

Kata "beras" mengacu pada bagian bulir padi (gabah) yang telah dipisahkan dari sekamnya. Pada salah satu tahap pemrosesan hasil panen padi, gabah ditumbuk dengan lesung atau digiling sehingga sekam (bagian luar dari gabah) terlepas dari isinya.



Gambar 2.4. Struktur biji padi.

Bagian isi, yang berwarna putih, kemerahan, ungu, atau bahkan hitam, inilah yang disebut beras. Beras sendiri secara biologi adalah bagian biji padi yang terdiri dari *aleurone* (lapis terluar yang sering kali ikut terbangun dalam proses pemisahan kulit), *endospermia* (tempat sebagian besar pati dan protein beras berada), dan *embrio* (yang merupakan calon tanaman baru dan dalam bahasa sehari-hari disebut sebagai mata beras).

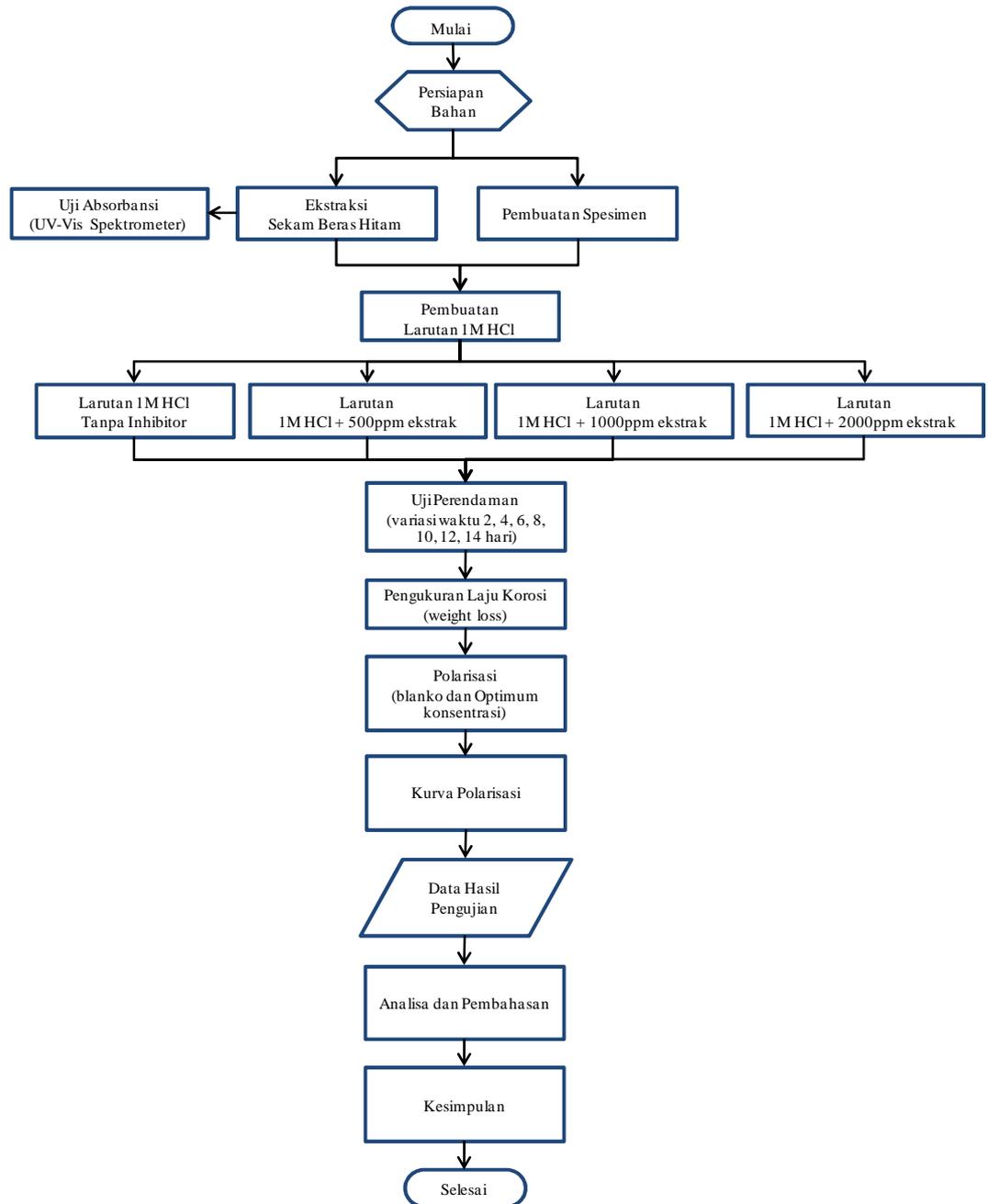
Sebagaimana bulir serealia lain, bagian terbesar dari beras didominasi oleh pati (sekitar 80-85%). Di samping itu, beras juga mengandung protein, vitamin (terutama pada bagian aleuron), mineral, dan air. Pati beras tersusun dari dua polimer karbohidrat yaitu *amilosa* (pati dengan struktur tidak bercabang) dan *amilopektin* (pati dengan struktur bercabang dan cenderung bersifat lengket).

Perbandingan komposisi kedua golongan pati ini sangat menentukan warna (transparan atau tidak) dan tekstur nasi (lengket, lunak, keras, atau pera). Ketan hampir sepenuhnya didominasi oleh amilopektin sehingga sangat lekat, sementara beras pera memiliki kandungan amilosa melebihi 20% yang membuat butiran nasinya terpecah-pecah (tidak berlekatan) dan keras.

Warna beras yang berbeda-beda disebabkan karena perbedaan gen yang mengatur warna aleuron, warna endospermia, dan komposisi pati pada endospermia[24]. Saat ini, konsumsi beras berwarna, seperti beras merah dan beras hitam, meningkat pesat karena kandungan fungsionalnya yang baik untuk kesehatan. Kandungan yang dimaksud adalah *anthocyanin*, yaitu sebuah gugus dari flavonoid yang menyebabkan beras berwarna merah atau hitam. *Anthocyanin* ini dikenal di dunia kesehatan karena dapat berperan sebagai antioksidan[16-18]. Hasil penelitian Min-Kyoung Kim[11] dan M.T. Le[13] menunjukkan bahwa *cyanidin-3-glucoside* (C3G) merupakan bagian terbesar dari kandungan *anthocyanin* dalam beras hitam.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan variabel yang akan dipergunakan adalah konsentrasi ekstrak sekam beras hitam dan waktu perendaman. Adapun urutan penelitian dapat dilihat pada diagram alir yang ada pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram alir Penelitian.

3.1 PERSIAPAN SAMPEL

3.1.1 Ekstraksi Sekam Beras Hitam

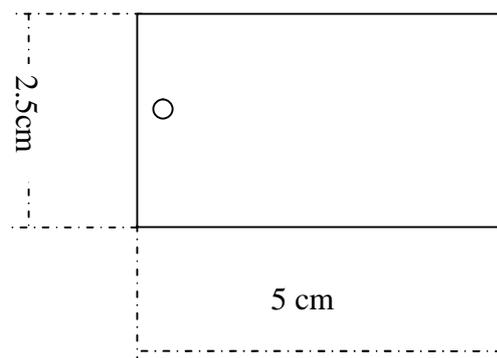
Sekam beras hitam seberat 25 gr yang dipakai dalam penelitian ini berasal dari sebuah penggilingan padi di kota Karanganyar. Sekam yang telah bersih dari kotoran tersebut dimasukkan sedikit demi sedikit ke dalam gelas ukur yang berisi 800 mL ethanol 70% yang telah mengalami proses pemanasan awal 60°C. Setelah itu, keduanya dipanaskan lagi pada temperatur 60°C selama 15 menit. Setelah dingin, campuran tersebut disaring dengan kertas saring whatman no.1 untuk memisahkan filtrat yang terbentuk. Lalu, dilakukan proses pemisahan bahan aktif sekam dari pelarutnya dengan cara dipanaskan sampai temperatur 79°C. Kemudian ekstrak yang didapatkan diuji absorbansi nya dengan menggunakan UV-Vis Spektrofotometer.

3.1.2 Penyiapan Sampel Logam

Prosedur Persiapan Sampel, mengacu pada ASTM G1 – 03, “*Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens*”[25].

- a. Peralatan dan Bahan
 1. Material yang akan di uji (*mild steel*, ketebalan 1 mm)
 2. Mesin potong
 3. Mesin dan kertas amplas grid 600, 800, 1000 dan 1200.
 4. Mesin bor 3 mm
 5. Neraca analitik
- b. Penyiapan sampel
 1. Potong plat baja dengan ukuran 5 x 2.5 cm untuk sampel uji *weight loss*, dan 1 x 1 cm untuk sampel uji polarisasi,
 2. Buat lubang pada ujung plat dengan mata bor 3 mm untuk sampel uji *weight loss*,
 3. Bersihkan kotoran – kotoran minyak, lemak dan *grease* yang menempel pada plat dengan menggunakan degreaser atau *alkali cleaning*,

4. Bersihkan karat yang terdapat pada permukaan plat dengan merendam didalam HCl 33% pada temperature 20 -30 °C selama 1 menit,
5. Haluskan permukaan plat dengan amplas grid 600, 800, 1000 dan 1200 hingga permukaan plat benar – benar halus dan rata,
6. Bilas plat dengan aquades hingga bersih dan keringkan dengan udara panas, dan
7. kemudian simpan di dalam desikator.



Gambar 3.2. Sketsa sampel *weight loss*

3.1.3 Pembuatan Larutan HCl 1 M dan Penambahan Ekstrak Sekam

- a. Peralatan dan bahan
 1. HCl 37% PA grade
 2. Labu takar 1000 ml
 3. Pipette volume
 4. Beaker glass 1000 ml
 5. Aquades
- b. Prosedur pembuatan larutan HCl 1M
 1. Siapkan labu takar yang bersih dan kering,
 2. Siapkan 550 ml aquades dalam *beaker glass*,
 3. Tuang sebagian aquades kedalam labu takar,
 4. Pipet 50 ml HCl 37% dan tuangkan ke dalam labu takar yang telah diisi aquades,

5. Tuangkan sisa aquades kedalam labu takar hingga ke garis batas,
6. Tutup labu takar dan kocok agar larutan homogen.

c. Penambahan ekstrak sekam ke dalam larutan HCl 1M

1. Tuangkan HCl 1 M ke dalam *beaker glass*
2. Tambahkan ekstrak sekam beras hitam dengan komposisi bervariasi (lihat table 3.1)
3. Aduk larutan selama 5 menit dengan cara manual ataupun menggunakan *magnetic stirrer*
4. Komposisi larutan diperlihatkan pada Table 3.1 sebagai berikut :

Tabel 3.1. Komposisi campuran ekstrak sekam beras hitam dan 1M HCl

No	Konsentrasi Ekstrak Sekam (ppm)	Kebutuhan	
		HCl 1M (mL)	Ekstrak Sekam (mL)
1	0	600	0
2	500	600	0.3
3	1000	600	0.6
4	2000	600	1.2

- d. Prosedur pengujian pH menggunakan pH meter atau *universal indicator* (sebelum dan sesudah injeksi inhibitor).

3.2 PROSEDUR PENGUJIAN

3.2.1 Uji Perendaman dan Penghitungan Laju Korosi

Dalam pengujian ini, kupon-kupon mild steel yang telah disiapkan ditimbang sebelum proses perendaman, dan dicatat sebagai berat awal masing-masing kupon. Setelah diikat dengan tali pada lubangnya, kupon-kupon tersebut dicelupkan masing-masing ke dalam wadah yang telah diberi tanda sesuai dengan konsentrasi ekstrak sekam (0, 500, 1000, dan 2000 ppm) dan lama perendamannya (2, 4, 6, 8, 10, 12, dan 14 hari). Setelah mengalami perendaman selama waktu yang telah ditentukan, kupon-kupon tersebut dibersihkan, dikeringkan, dan ditimbang kembali untuk mendapatkan berat akhir setelah perendaman.

Kecepatan korosi yang terjadi dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut[25] :

$$CR = (87.6 \times W)/(D \times A \times T) \quad (3.1)$$

Dimana :

- CR = kecepatan korosi, *mmpy*
- W = berat yang hilang, *mg*
- D = *density*, gr/cm^3
- A = *luas permukaan specimen*, cm^2
- T = waktu pencelupan, *jam*

Effisiensi dari Inhibitor dapat ditentukan dari rumus di bawah ini[20] :

$$IE = \{(W_0 - W)/W_0\} \times 100\% \quad (3.2)$$

Dimana :

- IE = *Inhibitor efficiency*, %
- W_0 = berat yang hilang tanpa inhibitor, *gr*
- W = berat yang hilang dengan adanya inhibitor, *gr*

Surface Coverage dari adsorpsi isothermal Langmuir dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\theta = (W_0 - W)/W_0 \quad (3.3)$$

Dimana :

- θ = *Surface coverage*,
- W_0 = berat yang hilang tanpa inhibitor, *gr*
- W = berat yang hilang dengan adanya inhibitor, *gr*

3.2.2 Pengujian Polarisasi

Prosedur pengujian potensial polarisasi pada injeksi corrosion inhibitor yang menghasilkan penurunan laju korosi yang optimal mengacu kepada ASTM G5, *Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurement*[26].

a. Peralatan

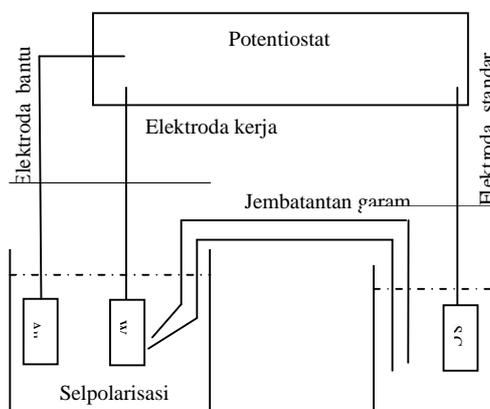
1. Bak (*chamber*) terdiri atas: elektroda uji, elektroda bantu, pipa kapiler dengan jembatan penghubung dengan elektroda referensi, saluran masuk dan keluar gas serta termometer.
2. Potentiostat
3. Peralatan (*instruments*) pengukur potensial.
4. Peralatan (*instruments*) pengukur arus.
5. Sirkuit polarisasi anoda.
6. Pegangan elektroda.
7. Elektroda yang terdiri atas: elektroda kerja (material uji), elektroda bantu dan elektroda referensi.

b. Prosedur percobaan.

1. Tuangkan larutan HCl 1M ke dalam sel polarisasi yang bersih dan kering.
2. Pasang elektroda bantu (platina), jembatan garam, dan komponen-komponen yang lain kemudian isi jembatan garam dengan larutan.
3. Persiapkan elektroda kerja, haluskan dengan amplas. Amplas ulang dengan amplas halus hingga goresan-goresan hilang.
4. Hitung luas permukaan elektroda
5. Pasang dalam pegangan elektroda (*electrode holder*).
6. Bersihkan permukaan elektroda dengan *degreaser* kemudian bilas dengan aquades.
7. Pasang specimen ke dalam sel pengujian dan atur *probe* jembatan garam dengan jarak 2 mm atau 2 kali diameter tip.
8. Baca potensial sirkuit terbuka sebagai potensial korosi setelah 55 menit perendaman.

9. Scan potensial:

- Mulai scan potensial atau tunggu setelah satu jam perendaman spesimen. Berawal dari potensial korosi (E_{corr}) untuk pengukuran potensiodinamik. Lanjutkan hingga + 1.6 V terhadap elektroda standar kalomel.
- Pada metoda potensiodinamik, lakukan potensiostatik dengan laju 50 mV setiap 5 menit. Catat arus pada voltase pada saat akhir tahapan lima menit. Tahapan ini diulang hingga potensial 1.6 V SCE.
- Plot kurva polarisasi



Gambar 3.3. Skematik uji polarisasi.

BAB IV HASIL PENELITIAN

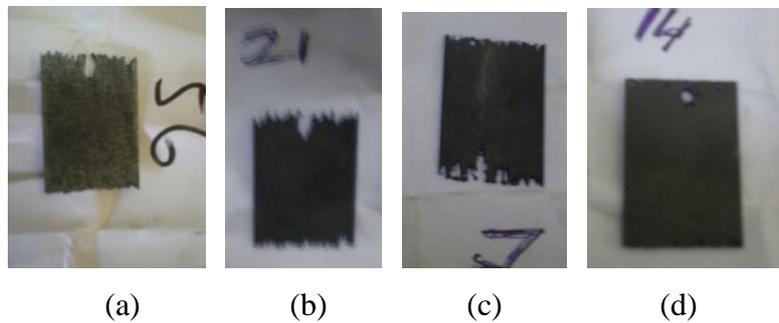
4.1 UJI PERENDAMAN (*IMMERSION TEST*)

4.1.1 Foto Uji Perendaman



Gambar 4.1. Foto uji perendaman.

4.1.2 Foto Sampel Setelah Perendaman



Gambar 4.2. Perbandingan visual dari sampel yang telah direndam dalam 1M HCl dengan variasi konsentrasi ekstrak sekam; (a) tanpa inhibitor setelah 10 hari; (b) 500 ppm setelah 14 hari; (c) 1000 ppm setelah 14 hari; (d) 2000 ppm setelah 14 hari.

4.1.3 Data Uji Perendaman

Hasil penimbangan kupon-kupon mild steel dapat dilihat pada Tabel 4.1 sampai table 4.4 sebagai berikut :

Tabel 4.1. Berat Kupon-kupon Mild Steel dalam 1M HCl tanpa inhibitor.

No. Kupon	W awal (gr)	W akhir (gr)	D (gr/cm ³)	A (cm ²)	T (day)
52a	5.92	5.53	7.87	17.01	2
52b	6.10	5.60	7.87	17.01	2
53a	5.64	4.70	7.87	17.01	4
53b	5.90	4.80	7.87	17.01	4
54a	5.30	3.71	7.87	17.01	6
54b	5.70	3.74	7.87	17.01	6
55a	5.34	3.03	7.87	17.01	8
55b	5.75	3.05	7.87	17.01	8
56a	5.80	2.55	7.87	17.01	10
56b	5.76	2.33	7.87	17.01	10
57a	5.78	1.84	7.87	17.01	12
57b	5.76	1.83	7.87	17.01	12
58a	6.14	1.24	7.87	17.01	14
58b	6.04	1.32	7.87	17.01	14

Tabel 4.2. Berat Kupon-kupon Mild Steel dalam 1M HCl dengan 500 ppm ekstrak sekam.

No. Kupon	W awal (gr)	W akhir (gr)	D (gr/cm ³)	A (cm ²)	T (day)
15a	6.11	6.01	7.87	17.01	2
15b	6.08	5.80	7.87	17.01	2
16a	4.88	4.63	7.87	17.01	4
16b	5.23	4.62	7.87	17.01	4
17a	5.06	4.31	7.87	17.01	6
17b	5.11	4.33	7.87	17.01	6
18a	5.40	4.33	7.87	17.01	8
18b	5.35	4.35	7.87	17.01	8
19a	5.54	3.55	7.87	17.01	10
19b	5.57	3.82	7.87	17.01	10
20a	5.41	3.01	7.87	17.01	12
20b	5.45	3.01	7.87	17.01	12
21a	5.96	2.83	7.87	17.01	14
21b	6.01	2.81	7.87	17.01	14

Tabel 4.3. Data Kehilangan Berat Mild Steel dalam 1M HCl dengan 1000 ppm ekstrak sekam.

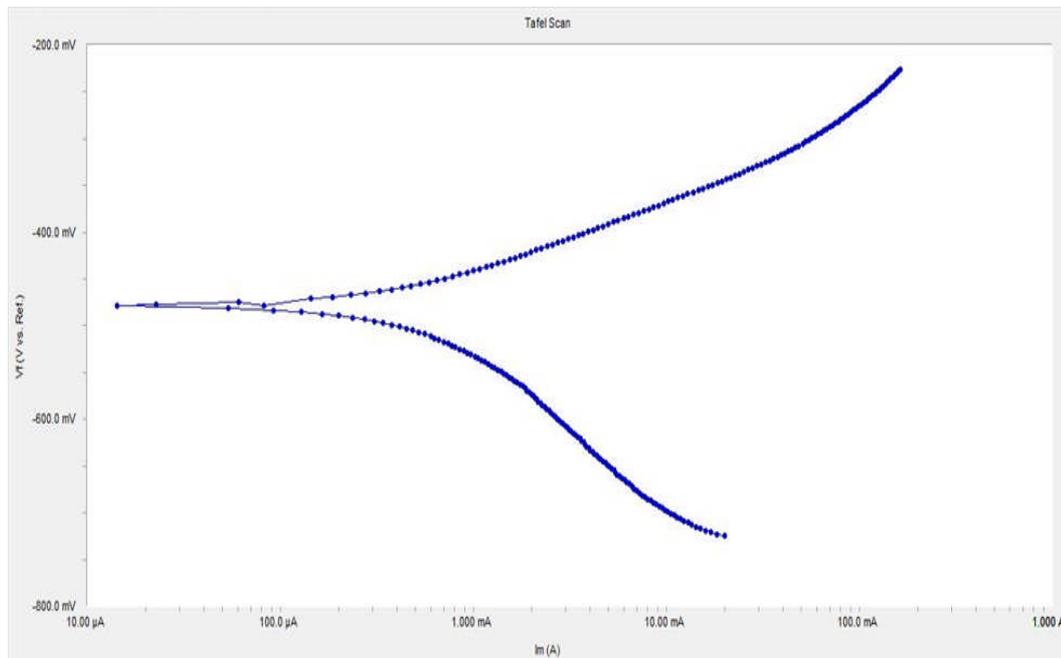
No. Kupon	W awal (gr)	W akhir (gr)	D (gr/cm ³)	A (cm ²)	T (day)
1a	6.19	6.11	7.87	17.01	2
1b	6.15	6.12	7.87	17.01	2
2a	5.75	5.57	7.87	17.01	4
2b	5.82	5.75	7.87	17.01	4
3a	5.69	5.43	7.87	17.01	6
3b	5.76	5.44	7.87	17.01	6
4a	5.75	5.06	7.87	17.01	8
4b	5.67	5.11	7.87	17.01	8
5a	5.88	4.80	7.87	17.01	10
5b	5.76	4.80	7.87	17.01	10
6a	5.75	3.76	7.87	17.01	12
6b	5.64	3.77	7.87	17.01	12
7a	5.84	3.59	7.87	17.01	14
7b	5.82	3.55	7.87	17.01	14

Tabel 4.4. Data Kehilangan Berat Mild Steel dalam 1M HCl dengan 2000 ppm ekstrak sekam.

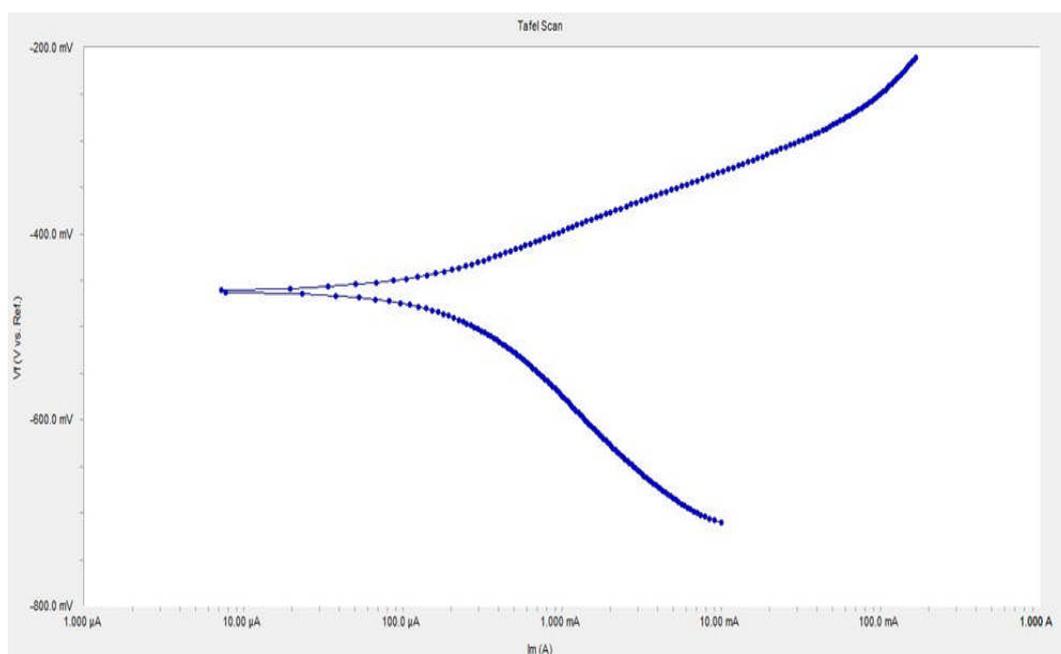
No. Kupon	W awal (gr)	W akhir (gr)	D (gr/cm ³)	A (cm ²)	T (day)
8a	5.87	5.83	7.87	17.01	2
8b	5.90	5.86	7.87	17.01	2
9a	6.10	5.97	7.87	17.01	4
9b	6.12	6.05	7.87	17.01	4
10a	5.62	5.53	7.87	17.01	6
10b	5.75	5.51	7.87	17.01	6
11a	5.71	5.34	7.87	17.01	8
11b	5.69	5.50	7.87	17.01	8
12a	6.05	5.61	7.87	17.01	10
12b	6.02	5.64	7.87	17.01	10
13a	5.54	4.85	7.87	17.01	12
13b	5.53	4.84	7.87	17.01	12
14a	6.07	5.09	7.87	17.01	14
14b	6.09	5.07	7.87	17.01	14

4.2 DATA UJI POLARISASI

Pengujian polarisasi telah dilaksanakan di Lab. Korosi, Departemen Teknik Metalurgi dan material untuk sampel tanpa inhibitor dan sampel dengan inhibitor 2000 ppm.



Gambar 4.3. Kurva Polarisasi pada larutan 1M HCl tanpa inhibitor.



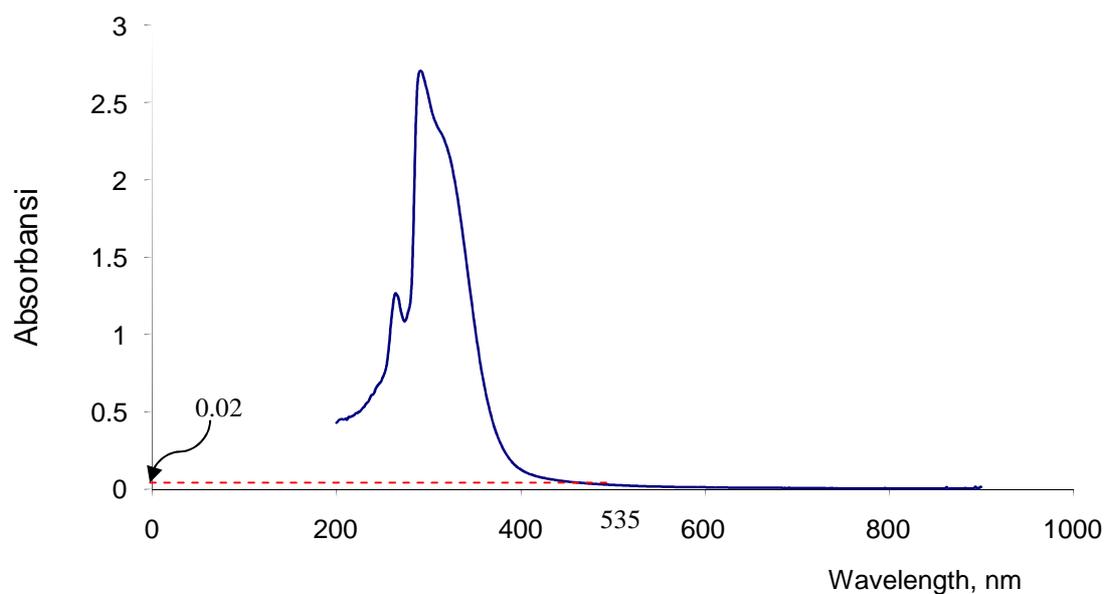
Gambar 4.4. Kurva Polarisasi pada larutan 1M HCl dengan inhibitor 2000 ppm.

Tabel 4.5. Parameter polarisasi

Larutan	E_{corr} (mV)	I_{corr} ($\mu A/cm^2$)	β_a (mV/dec)	β_c (mV/dec)	CR (mpy)
1M HCl	-478.0	603.0	96.5	183.5	98.33
1M HCl + 2000ppm ekstrak sekam	-461	183.0	78.8	155.9	29.90

4.4 DATA UJI ABSORBANSI EKSTRAK SEKAM BERAS HITAM

Hasil pengujian absorbansi ekstrak sekam, yang dilakukan dengan menggunakan UV-vis Spektrofotometer yang ada di Laboratorim Afiliasi Teknik Kimia UI, dapat dilihat sebagaimana Gambar 4.5 sebagai berikut :



Gambar 4.5. Hasil Uji Absorbansi ekstrak sekam beras hitam dengan menggunakan UV-Vis Spektrofotometer.

Jumlah kandungan antosianin atau *Total anthocyanin content* per sample (TAC, mg/kg) dianggap sebagai cyanidin 3-glucoside dan dihitung dengan menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh Abdel Aal, sebagai berikut[27]:

$$C = (A/\epsilon) \times (\text{vol}/1,000) \times MW \times (1/\text{sample wt}) \times 10^6 \quad (4.1)$$

Dimana C adalah konsentrasi dari total antosianin (mg/kg), A adalah absorbansi yang terbaca pada λ_{535} , ϵ adalah *molar absorptivity* ($C3G = 25,965 /M.cm$), Vol

adalah total volume dari ekstrak antosianin (mL), dan MW adalah berat molekul dari cyanidin 3-glucoside = 449.

Dalam pengujian ini, dimana sekam yang digunakan 25 gr, ekstrak yang diperoleh 240 ml, serta absorbansi pada λ_{535} yang terbaca adalah 0.02, maka persamaan di atas dapat dituliskan menjadi :

$$\begin{aligned} C &= (0.02/25,965) \times (240/1,000) \times 449 \times (1/25) \times 10^6 \\ &= 3.320 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

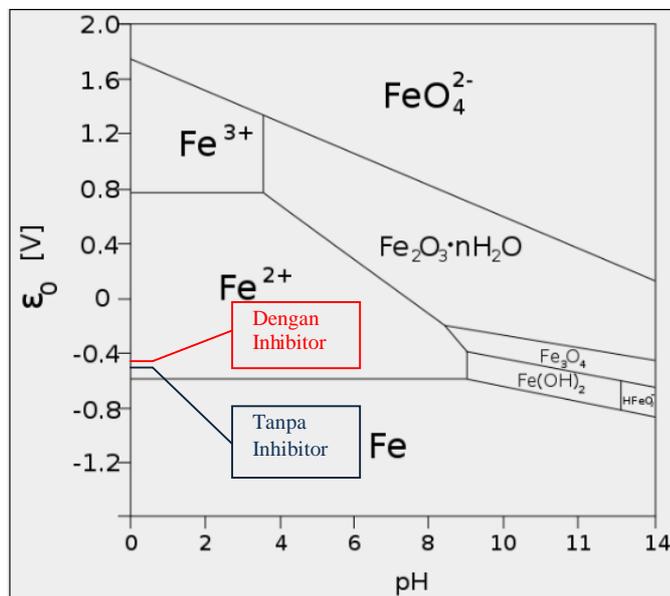
Jadi dengan menggunakan metode yang dikemukakan oleh Abdel-Aal di atas didapatkan jumlah kandungan antosianin dalam sekam sebesar 3.320 mg/kg atau 33.20 mg/100g. Hasil di atas menunjukkan bahwa proses ekstraksi yang dilakukan masih belum maksimal bila dibandingkan dengan proses ekstraksi yang dilakukan oleh Sompong[18] yang mendapatkan 244.83 mg antosianin dalam setiap 100 gr beras hitam china.

BAB V PEMBAHASAN

Penelitian mengenai pengaruh penambahan inhibitor dari ekstrak sekam beras hitam ini telah dilakukan terhadap baja karbon dengan pada lingkungan 1M HCl. Hasil dari penelitian dilakukan analisa sebagai berikut.

5.1 KOROSIFITAS LINGKUNGAN

Dengan memasukkan nilai E_{corr} dan pH yang didapatkan ke dalam diagram Pourbaix, maka korosifitas larutan terhadap logam bisa diprediksi sebagai berikut:



Gambar 5.1. Diagram Pourbaix Fe dengan dan tanpa ekstrak sekam.

Pada Tabel 4.5 terlihat peningkatan nilai E_{corr} yang disebabkan oleh penambahan 2000 ppm ekstrak sekam, yaitu dari -478 mV menjadi -461 mV. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan 2000 ppm ekstrak sekam akan menggeser nilai E_{corr} ke atas (lebih positif). Meskipun demikian, pada diagram pourbaix, sebagaimana terlihat pada Gambar 5.1, penambahan 2000 ppm ekstrak sekam tersebut tetap tidak merubah tingkat korosifitas fluida, dimana keduanya masih berada pada zona korosif.

5.2 PENGARUH KONSENTRASI EKSTRAK SEKAM DAN WAKTU PERENDAMAN TERHADAP LAJU KOROSI

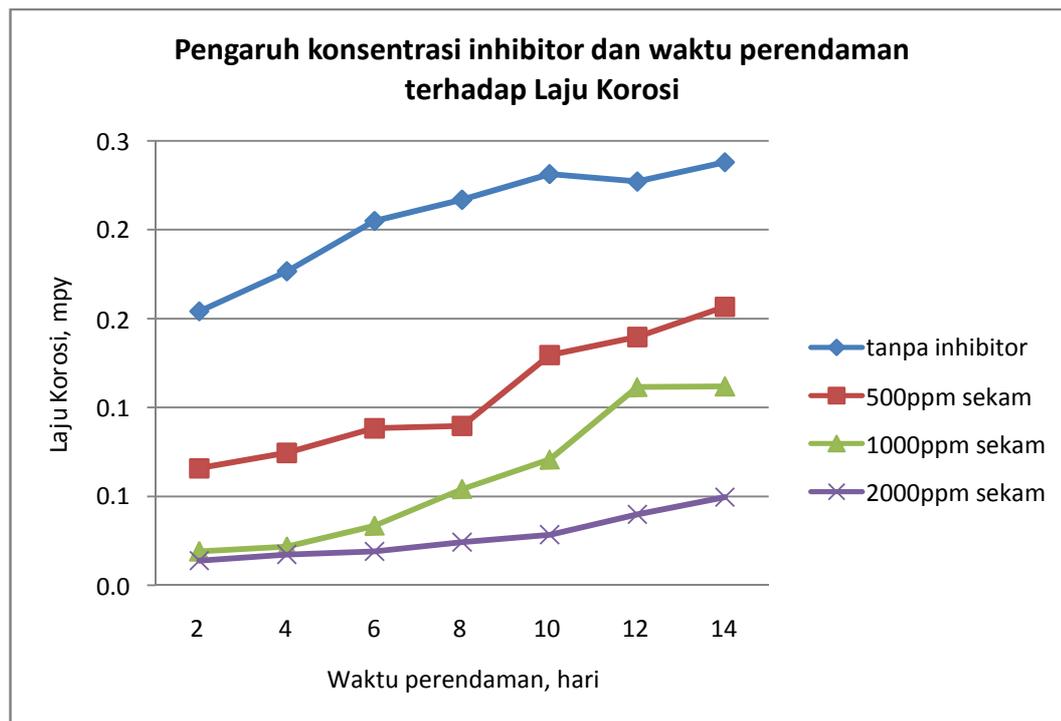
Dalam Uji perendaman digunakan variasi konsentrasi dan waktu perendaman, dimana untuk masing-masing kondisi pengujian menggunakan dua buah sampel yang kemudian diambil harga rata-ratanya. Hasil pengujian perendaman yang berkaitan dengan parameter korosi logam mild steel dalam lingkungan 1M HCl dengan dan tanpa penambahan ekstrak sekam dapat dilihat pada Tabel 5.1. Nilai laju korosi (*corrosion rate, CR*) dihitung menggunakan persamaan 3.1.

Tabel 5.1. Pengaruh konsentrasi ekstrak sekam dan waktu perendaman terhadap Laju Korosi Mild Steel dalam 1M HCl.

Waktu Perendaman (hari)	Laju Korosi (mpy)			
	blanko	500ppm	1000ppm	2000ppm
2	0.15	0.07	0.02	0.01
4	0.18	0.07	0.02	0.02
6	0.20	0.09	0.03	0.02
8	0.22	0.09	0.05	0.02
10	0.23	0.13	0.07	0.03
12	0.23	0.14	0.11	0.04
14	0.24	0.16	0.11	0.05

Agar lebih mudah dianalisa, maka data laju korosi (*Corrosion Rate, CR*) yang telah didapatkan dengan perhitungan di atas dapat disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.2. Pada Gambar 5.2 tersebut terlihat dengan jelas bahwa penambahan ekstrak sekam akan menurunkan laju korosi mild steel dalam 1M HCl dan dengan semakin tingginya konsentrasi ekstrak sekam, laju korosinya pun akan semakin rendah.

Selain itu, dari Gambar 5.2 juga terlihat bahwa dengan berjalannya waktu perendaman, laju korosi juga akan cenderung meningkat. Hal ini mengindikasikan pudarnya interaksi antara antosianin (dalam ekstrak sekam) dengan permukaan logam. Kondisi paling optimum dari pengujian ini tercapai pada penambahan 2000 ppm ekstrak sekam dimana nilai terendah dari laju korosi yang dicapai adalah 0.01 mpy.



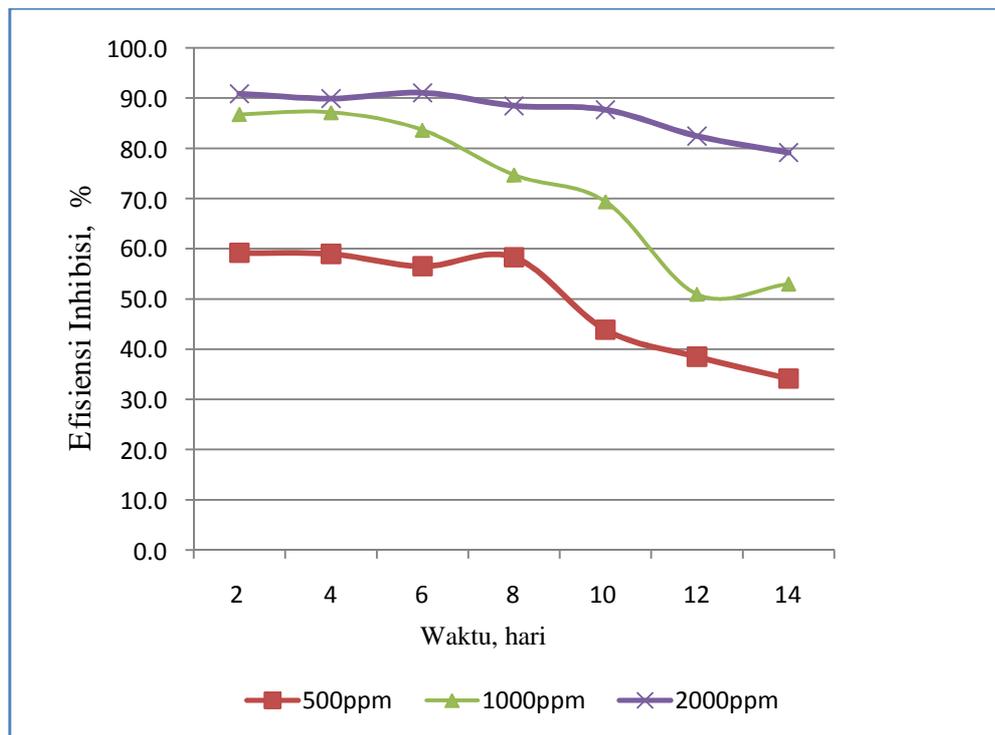
Gambar 5.2. Pengaruh Konsentrasi ekstrak sekam dan Waktu perendaman terhadap Laju korosi.

5.3 PENGARUH KONSENTRASI EKSTRAK SEKAM DAN WAKTU PERENDAMAN TERHADAP EFISIENSI INHIBISI EKSTRAK SEKAM

Hasil pengujian perendaman yang berkaitan dengan efisiensi penghambatan korosi logam mild steel dalam lingkungan 1M HCl dengan penambahan ekstrak sekam dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Gambar 5.3 di bawah ini. Nilai Effisiensi inhibisi dihitung menggunakan persamaan 3.2.

Tabel 5.2. Pengaruh konsentrasi ekstrak sekam dan waktu perendaman terhadap efisiensi penghambatan korosi Mild Steel dalam 1M HCl.

Waktu Perendaman (hari)	Effisiensi Inhibisi (%)		
	500ppm	1000ppm	2000ppm
2	57.3	87.6	91.0
4	57.8	87.6	90.2
6	56.9	83.7	90.7
8	58.7	75.0	88.8
10	44.0	69.5	87.7
12	38.5	51.0	82.5
14	34.2	53.0	79.2



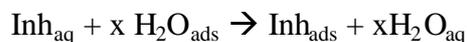
Gambar 5.3. Grafik hubungan efisiensi inhibisi terhadap waktu perendaman.

Grafik hubungan efisiensi inhibisi terhadap waktu perendaman, yang terlihat pada Gambar 5.3, menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi sekam yang ditambahkan akan meningkatkan nilai efektifitas penghambatannya. Selain itu, dari Gambar 5.3 tersebut juga terlihat bahwa nilai efektifitas penghambatannya cenderung stabil sampai batas waktu tertentu yang dipengaruhi oleh konsentrasi sekam. Semakin tinggi konsentrasi sekam akan semakin lama pula batas waktu dimana efektifitas penghambatannya relative stabil.

Dari Tabel 5.2 didapatkan Nilai Efektifitas maksimum yang dicapai adalah 91% pada konsentrasi optimum 2000 ppm ekstrak dan waktu perendaman enam hari. Fenomena stabilnya efektifitas inhibisi 2000ppm ekstrak sampai enam hari tersebut dimungkinkan adanya adsorpsi yang kuat dari kandungan antosianin dalam sekam ke permukaan logam.

5.4 LANGMUIR ADSORPTION ISOTHERM

Dalam lingkungan asam, inhibitor akan mengalami proses adsorpsi pada permukaan logam sebelum menurunkan laju korosi yang terjadi. Fenomena adsorpsi tersebut dapat digambarkan dengan persamaan :

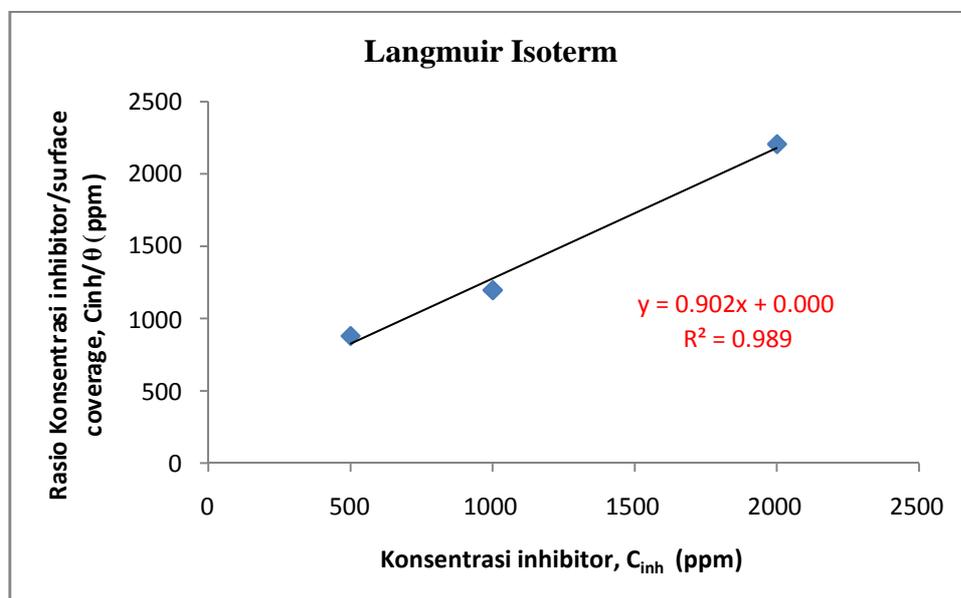


Ketika tercapai proses kesetimbangan sebagaimana digambarkan oleh persamaan di atas, maka dimungkinkan untuk menggambarannya dalam bentuk kurva adsorpsi isothermal. Langmuir menggambarkan hubungan antara *surface coverage* (θ) dengan konsentrasi inhibitor (C_{inh}) sebagai berikut :

$$C_{\text{inh}}/\theta = 1/K_{\text{ads}} + C_{\text{inh}} \quad \text{dengan} \quad K_{\text{ads}} = 1/C_{(\text{H}_2\text{O})} \exp(-\Delta G_{\text{ads}}/RT)$$

Dimana C_{inh} adalah konsentrasi, K_{ads} adalah konstanta keseimbangan adsorpsi, θ adalah *surface coverage*, dan ΔG_{ads} adalah standard adsorption free energy.

Dengan memasukkan data *weight-loss* (pada waktu yang optimum, yaitu enam hari) ke dalam persamaan 3.3, didapatkan hubungan antara rasio konsentrasi/*surface coverage* (θ/C_{inh}) dan konsentrasi inhibitor (C_{inh}) sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 5.4 di bawah ini.



Gambar 5.4. Grafik Langmuir isotherm pada hari ke enam perendaman mild steel dalam larutan 1M HCl.

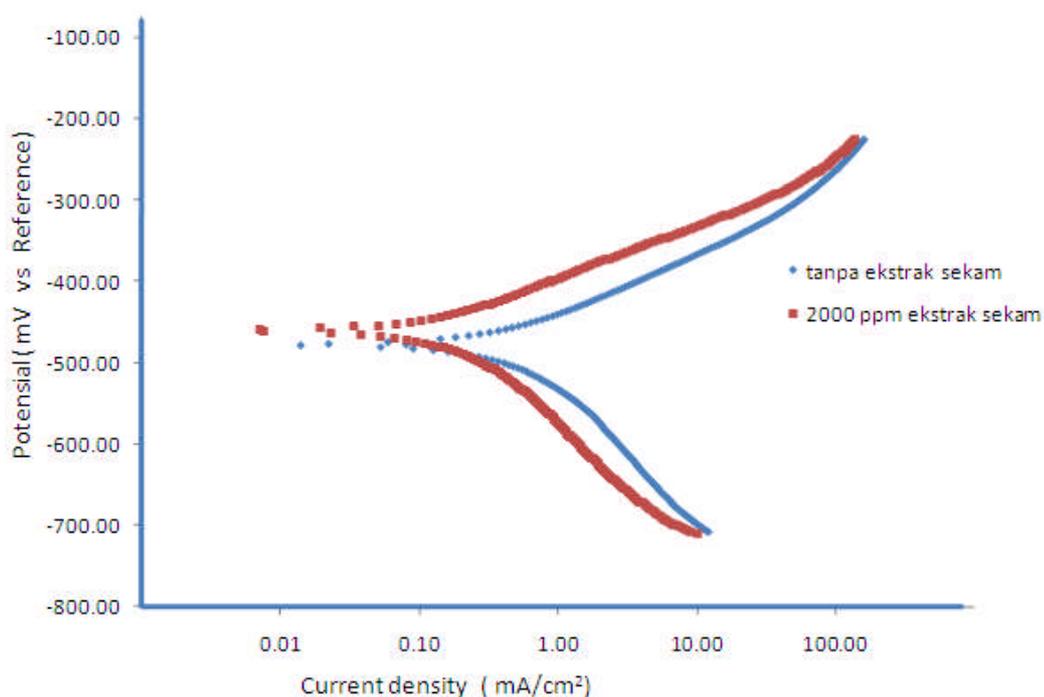
Dari Gambar 5.4 di atas, didapatkan nilai *Correlation coefficient*, $R^2 = 0.989$ dan *slope* = 0.902. Nilai *correlation coefficient* (0.989) dan *slope* (0.902) yang tinggi

tersebut menunjukkan bahwa proses adsorpsi ekstrak sekam ke permukaan logam memenuhi *Langmuir adsorption isotherm*. Dan hal tersebut semakin memperkuat dugaan terjadinya proses *physisorption* molekul antosianin dalam sekam ke permukaan logam mild steel.

Pada Gambar 5.3 juga terlihat kecenderungan efektifitas penghambatan ekstrak sekam terhadap korosi mild steel dalam media 1M HCl yang menurun setelah melewati waktu optimal (6 hari). Hal ini menandakan pudarnya efek inhibisi akibat putusya interaksi antara ekstrak sekam dengan permukaan logam mild steel.

5.5 EKSTRAPOLASI TAFEL

Hasil uji polarisasi yang telah dilakukan terhadap sample dalam larutan 1M HCl tanpa inhibitor (blangko) dan dengan penambahan ekstrak sekam 2000ppm, digabung agar proses perbandingan keduanya menjadi lebih mudah. Gambar 5.5 di bawah ini merupakan kurva gabungan hasil polarisasi korosi mild steel dengan dan tanpa inhibitor sekam.



Gambar 5.5. Kurva Polarisasi logam mild steel pada larutan 1M HCl dengan dan tanpa penambahan ekstrak sekam.

Dari kurva polarisasi yang terlihat pada Gambar 5.5 di atas, dapat ditunjukkan bahwa dengan penambahan 2000 ppm ekstrak sekam terjadi penurunan rapat arus dari $603 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ menjadi $183 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Hal ini semakin membuktikan bahwa penambahan ekstrak sekam pada media 1M HCl dapat menurunkan laju korosi logam mild steel sebagaimana ditunjukkan oleh hasil pengujian *weight loss*.

Selain itu, dari Gambar 5.5 juga terlihat adanya penurunan rapat arus dari $603 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ menjadi $183 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Hal tersebut dipengaruhi oleh penurunan nilai β_a dan β_c akibat penambahan 2000 ppm ekstrak sekam. Perubahan nilai β_a dan β_c tersebut menunjukkan bahwa adsorpsi senyawa antosianin mempengaruhi dissolusi logam di anoda sekaligus evolusi hidrogen di katoda.

Penurunan nilai β_a dari 96.5 mV/dec menjadi 78.8 mV/dec mengindikasikan bahwa proses dissolusi logam Fe di anoda mengalami penghambatan dengan adanya penambahan ekstrak sekam. Bagian logam yang bermuatan positif (karena melepaskan elektron) dan molekul antosianin yang juga bermuatan positif berinteraksi secara tidak langsung dengan adanya adanya ion negatif Cl^- (dalam larutan) yang bertindak sebagai penghubung (*bridge*). Ion negatif Cl^- tersebut ter-adsorb ke atas permukaan logam di satu sisi, sementara di sisi lain juga mengikat bagian dari molekul antosianin yang bermuatan positif. Proses adsorpsi dari inhibitor yang bermuatan positif ke atas permukaan logam yang juga bermuatan positif dengan adanya ion negatif ini disebut *synergistic adsorption* (adsorpsi sinergis).

Di samping terjadi penghambatan anodik sebagaimana dibahas di atas, penghambatan katodik juga terindikasi dengan adanya penurunan nilai β_c yang terlihat pada Gambar 5.5 atau Tabel 4.5. Penghambatan pada reaksi katodik ini, mungkin disebabkan karena adanya adsorpsi molekul antosianin yang bermuatan positif ke bagian permukaan logam yang bermuatan negatif. Fenomena penghambatan katodik ini juga terindikasi dari jumlah gas hidrogen yang terlihat pada pengujian *immersion*, dimana jumlah gas hidrogen pada spesimen tanpa inhibitor terlihat lebih banyak bila dibandingkan dengan spesimen uji dengan penambahan inhibitor.

Pada Gambar 5.5 juga terlihat adanya pergeseran potensial korosi ke arah yang lebih positif, yaitu dari -478.0 mV menjadi -461.0 mV. Hal tersebut menunjukkan bahwa meskipun terjadi penghambatan pada kedua reaksi (anodik dan katodik), ternyata penghambatan pada reaksi anodik lebih dominan.

Mekanisme penghambatan campuran (*mixed type inhibitor*) yang ditunjukkan oleh ekstrak sekam beras hitam dalam penelitian ini, senada dengan mekanisme yang ditunjukkan oleh ekstrak batang *Karanj* (*Pongamia pinnata*)[1],

ekstrak daun *Murraya koenigii*[2], ekstrak batang *Cyamopsis Tetragonaloba*[3], ekstrak daun *Citrus aurantiifolia*[4], ekstrak daun *Ricinus Communis*[5], ekstrak akar *Rauvolfia serpentina*[6], dan ekstrak *Black pepper*[7] dalam penelitian-penelitian sebelumnya. Oleh sebab itu, perilaku ekstrak sekam beras hitam ini semakin memperkuat pernyataan bahwa pada umumnya inhibitor dari bahan organik berperilaku sebagai *mixed type inhibitor*[8].

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap ekstrak sekam beras hitam sebagai corrosion inhibitor pada larutan 1M HCl dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Ekstrak sekam beras hitam dapat digunakan sebagai *corrosion inhibitor* pada lingkungan 1M HCl dengan efisiensi optimum 91% pada penambahan 2000 ppm ekstrak dan dalam waktu perendaman enam hari,
2. Ekstrak sekam bertindak sebagai *mixed type corrosion inhibitor* dengan inhibisi anodik yang lebih dominan, sehingga menyebabkan pergeseran potensial korosi ke arah yang lebih positif, yaitu dari nilai -478.0 menjadi -461.0 mV vs Reference.

6.2 SARAN

Ekstrak sekam beras hitam terbukti dapat menghambat korosi mild steel dalam lingkungan 1M HCl. Meskipun demikian, agar penelitian berikutnya lebih meningkat, terdapat hal-hal yang perlu dipertimbangkan sebagai berikut :

1. Inhibitor yang akan digunakan sebaiknya disimpan dengan baik karena sangat rentan terhadap perubahan kondisi lingkungan,
2. Untuk menentukan ketepatan hasil, penambahan metode dan jumlah pengujian perlu dilakukan.
3. Metode ekstraksi dan pengujian kandungan bahan dasar inhibitor sebaiknya dilakukan untuk mendapatkan konsentrasi ekstrak yang tinggi dan konsisten.

DAFTAR REFERENSI

- [1] A. Apriyantono, *Peningkatan Produksi Padi Menuju 2020*, Jakarta: Departemen Pertanian Republik Indonesia, 2008.
- [2] G.H. Koch, M.P.H. Brongers, and N.G. Thompson, "Corrosion Cost and Preventive Strategies in The United States," *NACE International*, 2002, pp. 3-4.
- [3] A.K. Olusegun, N.C. Oforka, and E.E. Ebenso, "The Inhibition of Mild Steel Corrosion in an Acidic Medium by the Juice of Citrus Paradisi (Grapefruit)," *The Journal of Corrosion Science and Engineering*, vol. 8, 2004, pp. 1-10.
- [4] K.F. Khaled, "New Synthesized Guanidine Derivative as a Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in Acidic Solutions," *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 3, 2008, pp. 462 - 475.
- [5] R.A. Prabhu, T.V. Venkatesha, and A.V. Shanbhag, "Carmines and Fast Green as Corrosion Inhibitors for Mild Steel in Hydrochloric Acid Solution," *J. Iran. Chem. Soc.*, vol. 6, 2009, pp. 353-363.
- [6] J.A. Selvi, S. Rajendran, V.G. Sri, A.J. Amalraj, and B. Narayanasamy, "Corrosion Inhibition by Beet Root Extract," *Electrochimica Acta*, vol. 27, 2009, pp. 1-11.
- [7] E.E. Ebenso, N.O. Eddy, and A.O. Odiongenyi, "Corrosion inhibitive properties and adsorption behaviour of ethanol extract of Piper guinensis as a green corrosion inhibitor for mild steel in H₂SO₄," *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, vol. 2, 2008, pp. 107-115.
- [8] K.P.V. Kumar, M.S.N. Pillai, and G.R. Thusnavis, "Green corrosion inhibitor from seed extract of Areca catechu for mild steel in hydrochloric acid medium," *Journal of Materials Science*, vol. 46, 2011, pp. 5208-5215.
- [9] N.O. Eddy, S.A. Odoemelam, and A.O. Odiongenyi, "Ethanol Extract of Musa Species Peels as a Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel : Kinetics, Adsorption and Thermodynamic Considerations," *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, vol. 8, 2009, pp. 243-255.
- [10] A. Singh, I. Ahamad, and V.K. Singh, "Inhibition effect of environmentally benign Karanj (Pongamia pinnata) seed extract on corrosion of mild steel in hydrochloric acid solution," *J Solid State Electrochem*, vol. 15, 2011, pp. 1087-1097.
- [11] K. Min-Kyoung, K. Han-ah, K. Kwangoh, K. Hee-seon, Y.S. Lee, and K.Y. Ho, "Identification and quantification of anthocyanin pigments in colored rice," *Nutrition Research and Practice*, vol. 2, 2008, pp. 46-49.

- [12] S. Yafang, Z. Gan, and B. Jinsong, "Total phenolic content and antioxidant capacity of rice grains with extremely small size," *Journal of Agricultural Research*, vol. 6, 2011, pp. 2289-2293.
- [13] M.T. Le and Y. Yang, "Morphological Characterization and Phytochemical Analysis of Pigmented Rice Cultivars from Diverse Regions," *AAES Research Studies*, vol. 540, 2005, pp. 77-86.
- [14] S.-cheol Lee, J.-han Kim, S.-moon Jeong, J.-uk Ha, K.C. Nam, and D.U. Ahn, "Antioxidant Activity of Organic Solvent Extracts from Far Infrared-Treated Rice Hulls," *Food Science and Biotechnology*, vol. 13, 2004, pp. 172-175.
- [15] P.N. Chen, S.C. Chu, H.L. Chiou, C.L. Chiang, S.F. Yang, and Y.S. Hsieh, "Cyanidin 3-Glucoside and Peonidin 3-Glucoside Inhibit Tumor Cell Growth and Induce Apoptosis In Vitro and Suppress Tumor Growth In Vivo," *Nutrition and Cancer*, vol. 53, 2005, pp. 232-243.
- [16] F. Chemistry, "Antioxidant Activities of Purple Rice Bran Extract and Its Effect on the Quality of Low-NaCl , Phosphate-Free Patties Made from Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*) Belly Flap Meat Introduction," *Journal of Food Science*, vol. 74, 2009, pp. 268-277.
- [17] S.H. Nam, S.P. Choi, M.Y. Kang, N. Kozukue, and M. Friedman, "Antioxidative , Antimutagenic , and Anticarcinogenic Activities of Rice Bran Extracts in Chemical and Cell Assays," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 53, 2005, pp. 816-822.
- [18] R. Sompong, S. Siebenhandl-ehn, G. Linsberger-martin, and E. Berghofer, "Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand , China and Sri Lanka," *Food Chemistry*, vol. 124, 2011, pp. 132-140.
- [19] P.B. Raja and M.G. Sethuraman, "Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media — A review," *Materials Letters*, vol. 62, 2008, pp. 113 - 116.
- [20] P.R. Roberge, *Handbook of Corrosion Engineering*, New York: McGraw-Hill, 2000.
- [21] I. Kaneda, F. Kubo, and H. Sakurai, "Antioxidative Compounds in the Extracts of Black Rice Brans," *Journal of Health Science*, vol. 52, 2006, pp. 495-511.
- [22] Yin Jin Yee, "Green Inhibitors for Corrosion Control : A Study on the Inhibitive Effects of Extracts of Honey and *Rosmarinus Officinalis* L. (Rosemary)," University of Manchester Institute of Science and Technology, 2004.

- [23] Z. Ahmad, "Corrosion Control by Inhibition," *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control*, Butterworth-Heinemann, 2006, pp. 352-384.
- [24] D. Suardi and I. Ridwan, "Beras Hitam, Pangan Berkhasiat yang Belum Populer," *Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, vol. 31, 2009, pp. 9-10.
- [25] V.S. Bagotsky, *Fundamentals of Electrochemistry*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [26] ASTM, "Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic," *Annual Book of ASTM Standards*, ASTM, 1987, pp. 79-85.
- [27] E.-S.M. Abdel-Aal and P. Hucl, "A Rapid Method for Quantifying Total Anthocyanins in Blue Aleurone and Purple Pericarp Wheats," *Cereal Chemistry*, vol. 76, 1999, pp. 350-354.
- [28] M.A. Quraishi, A. Singh, V. Kumar, D. Kumar, and A. Kumar, "Green approach to corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid and sulphuric acid solutions by the extract of *Murraya koenigii* leaves," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 122, 2010, pp. 114-122.
- [29] S. Subhashini, R. Rajalakshmi, A. Prithiba, and A. Mathina, "Corrosion Mitigating Effect of *Cyamopsis Tetragoloba* Seed Extract on Mild Steel in Acid Medium," *Journal de Physique (main title)*, vol. 7, 2010, pp. 1133-1137.
- [30] R. Saratha, S.V. Priya, and P. Thilagavathy, "Investigation of *Citrus aurantiifolia* Leaves Extract as Corrosion Inhibitor for Mild Steel in 1 M HCL," *E-Journal of Chemistry*, vol. 6, 2009, pp. 785-795.
- [31] R. Saratha, N. Kasthuri, and P. Thilagavathy, "Environment friendly acid corrosion inhibition of mild steel by *Ricinus communis* Leaves," *Der Pharma Chemica*, vol. 1, 2009, pp. 249-257.
- [32] P.B. Raja and M.G. Sethuraman, "Studies on the Inhibition of Mild Steel Corrosion by *Rauvolfia serpentina* in Acid Media," *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 19, 2010, pp. 761-766.
- [33] M.A. Quraishi, D.K. Yadav, and I. Ahamad, "Green Approach to Corrosion Inhibition by Black Pepper Extract in Hydrochloric Acid Solution," *The Open Corrosion Journal*, 2009, pp. 56-60.

LAMPIRAN 1

RELATIONSHIPS AMONG SOME OF THE UNITS COMMONLY USED FOR CORROSION RATES

Unit	mdd	Factor for Conversion to				
		$\text{g/m}^2/\text{d}$	$\mu\text{m/yr}$	mm/yr	mils/yr	in./yr
Milligrams per square decimetre per day (mdd)	1	0.1	$36.5/d$	$0.365/d$	$1.144/d$	$0.00144/d$
Grams per square metre per day ($\text{g/m}^2/\text{d}$)	10	1	$365/d$	$0.365/d$	$14.4/d$	$0.0144/d$
Micrometres per year ($\mu\text{m/yr}$)	$0.0274d$	$0.00274d$	1	0.001	0.0394	0.0000394
Millimetres per year (mm/yr)	$27.4d$	$2.74d$	1000	1	39.4	0.0394
Mils per year (mils/yr)	$0.696d$	$0.0696d$	25.4	0.0254	1	0.001
Inches per year (in/yr)	$696d$	$69.6d$	25400	25.4	1000	1

Note: d is metal density in grams per cubic centimetre (g/cm^3).

Sumber : *NACE, CORROSION ENGINEER ' S REFERENCE Third Edition, Houston: NACE International, 2002.*

LAMPIRAN 2

APPROXIMATE pH VALUES AT 25°C

Solution	Concentration		pH	Solution	Concentration		pH
	N	g/L			N	g/L	
Acids				Bases			
Hydrochloric	1	36.5	0.1	Sodium hydroxide	1	40.01	14.0
	0.1	3.65	1.1		0.1	4.00	13.0
	0.01	0.365	2.0		0.01	0.40	12.0
Sulfuric	1	49.0	0.3	Potassium hydroxide	1	56.1	14.0
	0.1	4.9	1.2		0.1	5.61	13.0
	0.01	0.49	2.1		0.01	0.56	12.0
Sulfurous	0.1	4.1	1.5	Sodium carbonate	0.1	5.3	11.6
Ortho-phosphoric	0.1	3.27	1.5	Sodium bicarbonate	0.1	4.2	8.4
Formic	0.1	4.60	2.3	Trisodium phosphate	0.1	5.47	12.0
Acetic	1	60.05	2.4	Ammonia	1	17.03	11.6
	0.1	6.01	2.9		0.1	1.7	11.1
	0.01	0.60	3.4		0.01	0.17	10.6
Carbonic (saturated)			3.8	Calcium carbonate (saturated)			9.4
Hydrogen sulfide	0.1	3.41	4.1	Calcium hydroxide (saturated)			12.4
Hydrocyanic	0.1	2.70	5.1				

Sumber : *NACE, CORROSION ENGINEER ' S REFERENCE Third Edition,*
Houston: NACE International, 2002.