

**PENGARUH KONSENTRASI INHIBITOR EKSTRAK DAUN JAMBU BIJI
DAN WAKTU PERENDAMAN TERHADAP LAJU KOROSI BAJA API 5L
GRADE B SCHEDULE 80 DALAM MEDIA AIR LAUT**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh

VICKY ZULFIKAR
NIM. 0910620099-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2014

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH KONSENTRASI INHIBITOR EKSTRAK DAUN JAMBU BIJI
DAN WAKTU PERENDAMAN TERHADAP LAJU KOROSI BAJA API 5L
GRADE B SCHEDULE 80 DALAM MEDIA AIR LAUT**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh

VICKY ZULFIKAR
NIM. 0910620099-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Purnami ST.,MT
NIP. 19770707 200812 1 005

Femiana Gapsari M. F. ST.,MT
NIP. 19820704 200812 2 002

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH KONSENTRASI INHIBITOR EKSTRAK DAUN JAMBU BIJI
DAN WAKTU PERENDAMAN TERHADAP LAJU KOROSI BAJA API 5L
GRADE B SCHEDULE 80 DALAM MEDIA AIR LAUT**

SKRIPSI KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :
VICKY ZULFIKAR
NIM. 0910620099-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus
Pada tanggal 22 Mei 2014

Majelis Penguji

Skripsi I

Skripsi II

Prof.Dr.Ir. Rudy Soenoko,M.Eng.Sc.
NIP. 19490911 198403 1 001

Dr.Eng Yudi Surya Irawan, ST.,M.Eng.
NIP. 19750710 199903 1 004

Skripsi III

Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST.,MT
NIP. 19750802 199903 2 002

Mengetahui,
**Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Brawijaya**

Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST.,MT
NIP. 19750802 199903 2 002

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas berkat rahmat-Nyalah penyusunan skripsi dengan judul "Pengaruh konsentrasi inhibitor dan waktu perendaman terhadap laju korosi baja API 5L" ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu guna memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan tak lepas dari bantuan, petunjuk dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

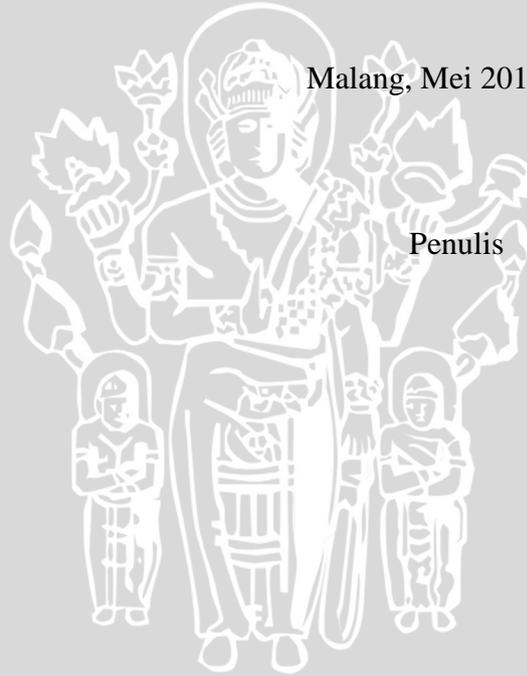
1. Kedua orang tua penulis, Bapak Solikin dan Ibu Liani, beserta keluarga atas doa dan dukungannya.
2. Bapak Dr.Eng Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya,
3. Bapak Purnami, ST., MT., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Serta dosen pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan, petunjuk, dan saran dalam penyusunan skripsi ini
4. Ibu Femiana Gapsari M.F, ST., MT selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan, petunjuk, dan saran dalam penyusunan skripsi ini
5. Bapak Tjuk Oerbandono, MSc. CSE. selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Teknik Produksi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya,
6. Ibu Francisca Gayuh U.D., ST., MT selaku dosen wali saya yang telah memberikan bimbingan dan motivasi selama menempuh kuliah di jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya
7. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan
8. Seluruh staff administrasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah banyak membantu
9. Saudari Wiwin Wahyuni yang telah memberikan banyak motivasi dan semangat dalam penulisan skripsi ini
10. Saudara M. Rizky Ichwani, Andita Nataria, Dekrit Halim, dan Dimas dwi teman seperjuangan skripsi yang selalu membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Keluarga besar Laboratorium Metrologi Industri, Teman-teman asisten semua terimakasih atas bantuannya

12. Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Universitas Brawijaya khususnya angkatan 2009 (**Black Mamba**) yang secara langsung maupun tidak langsung membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
13. Mas temon, Mas harun, dan Mas Bajul yang telah banyak memberikan saran, masukan, dan arahan dalam penulisan skripsi ini
14. Serta semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak memungkinkan penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan skripsi ini masih sangat jauh dari sempurna, maka dari itu penulis sangat mengharapkan masukan, saran dan kritik dari berbagai pihak. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan juga bagi pembaca pada umumnya.

Malang, Mei 2014

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Definisi Korosi	5
2.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Korosi	5
2.3.1 Material	5
2.3.2 Lingkungan	6
2.4 Macam-macam Korosi	12
2.5 Perhitungan Laju Korosi	15
2.6 Cara Pencegahan Korosi	16
2.7 Daun Jambu Biji	19
2.8 Hipotesa	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Metode Penelitian	21
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	21

3.3	Variabel Penelitian	21
3.4	Alat dan Bahan	22
	3.4.1 Peralatan yang digunakan.....	22
	3.4.1 Bahan yang digunakan	24
3.5	Prosedur Penelitian.....	26
	3.5.1 Prosedur Penyiapan Spesimen	26
	3.5.2 Prosedur Pembuatan Ekstrak Daun Jambu Biji	26
	3.5.3 Prosedur Pembuatan Larutan	26
	3.5.4 Langkah Percobaan	26
	3.5.5 Tahap Pengambilan Data	27
3.6	Diagram Alir Penelitian.....	28

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Hasil Uji dengan Metode Kehilangan Berat.....	29
4.2	Efisiensi Inhibitor	31
4.3	Analisa Data dan Pembahasan	32
	4.3.1 Laju Korosi Baja API 5L dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor	32
	4.3.2 Laju Korosi Baja API 5L dengan Variasi Waktu Perendaman	35
	4.3.3 Efisiensi Inhibitor	37

BAB V PENUTUP

5.1.	Kesimpulan	39
5.2.	Saran	39

DAFTAR PUSTAKA

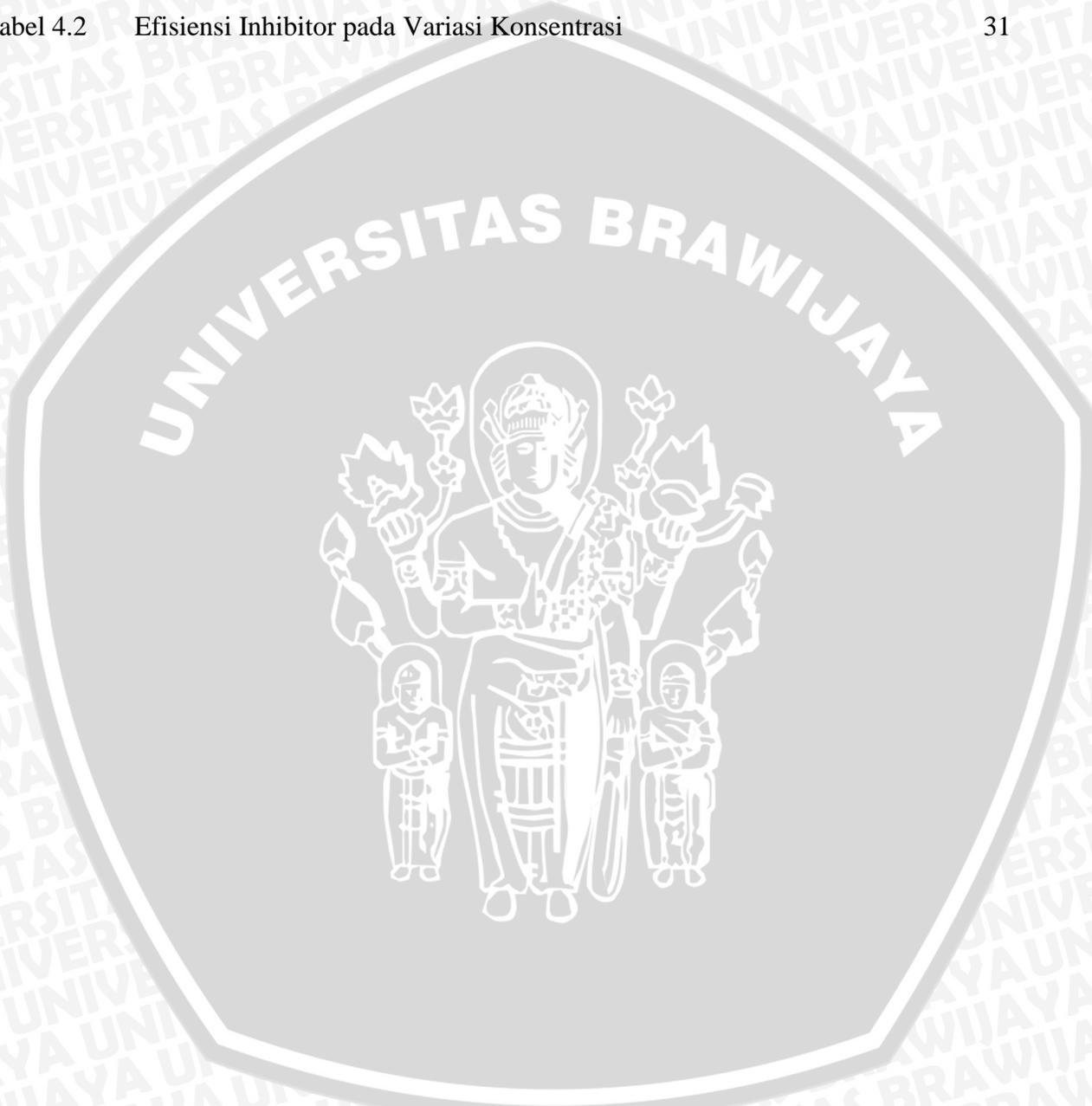
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Korosi Akibat Temperatur Tinggi	8
Gambar 2.2	Koloni Bakteri pada Permukaan Besi yang Terkorosi	9
Gambar 2.3	Korosi oleh Kandungan Garam yang Tinggi	10
Gambar 2.4	Pengotor yang Mempercepat Korosi pada Permukaan Logam	11
Gambar 2.5	Permukaan Logam yang Kasar Mengalami Korosi	11
Gambar 2.6	Korosi Galvanis	12
Gambar 2.7	Korosi Celah	13
Gambar 2.8	Korosi Erosi	14
Gambar 2.9	<i>Pitting</i>	14
Gambar 2.10	<i>Stress Corrosion Cracking</i>	15
Gambar 2.11	Daun Jambu Biji	19
Gambar 3.1	Power Hacksaw	22
Gambar 3.2	Gelas Beker	23
Gambar 3.3	Timbangan Elektrik	23
Gambar 3.4	Centrifugal Sand Paper Machine	24
Gambar 3.5	Dimensi Spesimen	25
Gambar 3.6	Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 4.1	Dimensi Spesimen Uji	29
Gambar 4.2	Grafik Pengaruh Konsentrasi Inhibitor terhadap Laju Korosi Baja API 5L	32
Gambar 4.3	Grafik Pengaruh Waktu Perendaman terhadap Laju Korosi Baja API 5L	35
Gambar 4.4	Grafik Pengaruh Konsentrasi Inhibitor terhadap Efisiensi Inhibitor	37

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Spesifikasi Baja API 5L	6
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian Laju Korosi Baja API 5L <i>Schedule 80</i>	30
Tabel 4.2	Efisiensi Inhibitor pada Variasi Konsentrasi	31



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Sertifikat Bahan

Lampiran 2 ASTM G1



RINGKASAN

Vicky Zulfikar, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2014, Pengaruh Konsentrasi Inhibitor dan Waktu Perendaman terhadap Laju Korosi Baja API 5L. Dosen Pembimbing : Purnami dan Femiana Gapsari M.F

Korosi adalah kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki. Dalam bidang industri yang saat ini banyak menggunakan peralatan dari logam yang rentan akan korosi. Upaya pengendalian dan perawatan terhadap peristiwa korosi sangatlah penting untuk mengurangi kerugian yang ditimbulkannya. Maka diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengantisipasi korosi. Salah satu cara untuk mencegah korosi adalah dengan penggunaan inhibitor. Inhibitor yang digunakan dalam penelitian ini adalah ekstrak daun jambu biji. Dipilih ekstrak daun jambu biji karena cukup banyak tersedia dan lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan inhibitor kimia sintesis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi inhibitor dari ekstrak daun jambu biji sebagai penghambat korosi dan waktu perendamannya terhadap laju korosi.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan metode eksperimental nyata (*true experiment research*) yang langsung digunakan ke obyek yang akan diuji. Pada penelitian ini menggunakan baja API 5L (*American Petroleum Institute*) *grade B schedule 80* yang biasanya digunakan pada industri perminyakan untuk pipa bawah laut. Variabel bebas yang dipakai adalah konsentrasi inhibitor (0 ppm, 1000 ppm, 2000 ppm, 4000 ppm, 6000 ppm) dan waktu perendaman (3 hari, 7 hari, 11 hari).

Dari hasil penelitian didapat bahwa konsentrasi inhibitor dan waktu perendaman berpengaruh terhadap laju korosi baja API 5L *grade B schedule 80*. Semakin besar konsentrasi inhibitor yang digunakan, semakin kecil laju korosi yang terjadi. Semakin lama waktu perendaman, semakin kecil laju korosi yang terjadi. Untuk penambahan inhibitor, mampu bekerja sampai optimal pada konsentrasi inhibitor 2000 ppm. Untuk konsentrasi lebih dari 2000 ppm, inhibitor sudah tidak bisa menghambat laju korosi. Hal ini disebabkan penambahan inhibitor korosi yang terlalu banyak, sehingga larutan menjadi terlalu pekat dan menyebabkan lapisan Fe-Tanin ekstrak tidak bisa menutupi seluruh permukaan baja, sehingga pada bagian yang tidak tertutupi Fe dapat ter-ion dan mengalami korosi. Nilai laju korosi paling kecil sebesar 0.091847533 pada konsentrasi inhibitor 2000 ppm dan waktu perendaman 11 hari. Hal ini disebabkan pada konsentrasi 2000 ppm inhibitor mampu bekerja optimal dalam menghambat laju korosi, dan semakin lama waktu perendaman semakin menurun pula laju korosinya akibat peristiwa pasifasi. Efisiensi inhibitor terbesar 72 % didapat pada konsentrasi inhibitor 2000 ppm dengan waktu perendaman 7 hari.

Kata Kunci : Korosi, Laju korosi, Baja API 5L, Ekstrak daun jambu biji

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Korosi adalah kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki. Dalam bahasa sehari-hari, korosi disebut perkaratan. Korosi atau perkaratan sangat lazim terjadi pada besi. Besi merupakan logam yang mudah berkarat. Karat besi merupakan zat yang dihasilkan pada peristiwa korosi, yaitu berupa zat padat berwarna coklat kemerahan yang bersifat rapuh serta berpori. Bila dibiarkan, lama kelamaan besi akan habis menjadi karat

Upaya pengendalian dan perawatan terhadap peristiwa korosi sangatlah penting untuk mengurangi kerugian-kerugian yang ditimbulkannya. Perawatan terhadap korosi dapat dilakukan dengan penggunaan bahan yang tepat sebagai pengganti material yang terkorosi. Selain itu, pemantauan terhadap lingkungan juga harus dilakukan, terutama lingkungan yang asam yang dapat mempercepat terjadinya proses korosi. Salah satu cara untuk mereduksi laju korosi adalah dengan menambahkan inhibitor korosi.

Dalam bidang industri dan konstruksi saat ini banyak menggunakan jenis logam paduan. Hal ini karena logam paduan memiliki kualitas yang lebih baik karena mempunyai sifat-sifat yang merupakan kombinasi dari logam-logam penyusunnya. Jenis logam paduan yang banyak digunakan dalam dua bidang di atas adalah adalah baja. Baja yang banyak digunakan dalam pipa perminyakan adalah API 5L.

Lingkungan air laut sangat mempengaruhi terjadinya korosi. Untuk mengendalikan korosi dilakukan proteksi katodik (dengan anoda tumbal dan arus paksa) serta penghambat korosi yang berupa inhibitor. Inhibitor dibedakan atas sintesis dan organik. Inhibitor organik yang digunakan adalah ekstrak daun jambu biji dan inhibitor sintesis yang digunakan adalah kalsium karbonat pada korosi pipa API 5L (Febrianto, Geni Rina Sunaryo)

Inhibitor korosi sudah banyak digunakan pada baja dan hasilnya efektif memproteksi korosi. Inhibitor korosi digunakan karena biaya yang diperlukan relatif lebih murah dan juga mudah dalam penggunaannya. Umumnya inhibitor korosi berasal dari senyawa-senyawa yang memiliki pasangan electron bebas seperti nitrit, kromat, fosfat, urea, fenilalanin, imidazolin, dan senyawa-senyawa amina. Namun bahan kimia sintesis ini umumnya merupakan bahan kimia yang berbahaya terhadap makhluk hidup, serta tidak

ramah lingkungan. Maka dari itu diperlukan suatu komponen yang ramah lingkungan sebagai pengganti inhibitor sintetik kimia beracun yang biasa disebut dengan *green inhibitor*. *Green inhibitor* ialah ekstraksi senyawa organik yang banyak mengandung kandungan heteroatom atau memiliki ikatan rangkap seperti senyawa fenolik. Inhibitor korosi yang berasal dari tumbuhan mengandung senyawa fitokimia yang struktur elektrokimia dan molekularnya sama dengan molekul inhibitor organik konvensional.

Jambu biji (*Psidium Guajava L.*) merupakan tanaman penghasil buah yang banyak terdapat di Indonesia. Tanaman ini memiliki banyak manfaat, salah satunya pada bagian daunnya yang mengandung senyawa tanin. Tanin kaya akan senyawa polifenol yang mampu menghambat proses oksidasi sehingga laju korosi dapat menurun. Daun jambu biji juga mengandung zat lain seperti minyak atsiri, asam ursolat, asam psidiolat, asam kratogolat, asam oleanolat asam guajaverin dan vitamin.

Pada penelitian ini material yang digunakan adalah baja API 5L *grade B schedule 80* pada air laut dengan variasi konsentrasi inhibitor ekstrak daun jambu biji dan variasi waktu perendaman.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan diatas, maka permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini yaitu pengaruh konsentrasi inhibitor dan waktu perendaman terhadap laju korosi baja API 5L *grade B schedule 80*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Material yang digunakan adalah baja API 5L *grade B schedule 80*
2. Hal yang diamati dalam penelitian ini adalah laju korosi yang terjadi tanpa membahas jenis korosi yang terjadi pada material tersebut
3. Dimensi spesimen diasumsikan sama
4. Inhibitor organik yang digunakan adalah ekstrak daun jambu biji
5. Faktor-faktor lain yang mempengaruhi korosi dianggap konstan dalam setiap pengujian

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi inhibitor ekstrak daun jambu biji dan waktu perendaman terhadap laju korosi.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Nilai konsentrasi inhibitor organik yang optimal dalam media air laut dengan waktu perendaman yang berbeda-beda
2. Dapat memberikan solusi baru dalam menanggulangi permasalahan korosi. Terutama yang terjadi pada pipa perminyakan.
3. Dapat dijadikan referensi tambahan untuk penelitian selanjutnya khususnya dalam penelitian tentang uji korosi

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Yonna Ludiana, Sri Handani (2012) meneliti tentang pengaruh konsentrasi inhibitor ekstrak daun teh (*camellia sinensis*) terhadap laju korosi baja karbon schedule 40 grade B ERW. Medium korosif yang digunakan adalah NaCl 3%. Lama perendaman divariasikan yaitu 3 dan 6 hari untuk melihat kemampuan inhibitor menghambat laju korosi. Sebelum direndam dalam larutan korosif, baja karbon direndam dalam larutan inhibitor ekstrak daun teh dengan konsentrasi 1% - 5% selama 24 jam. Dalam penelitian tersebut menunjukkan bahwa ekstrak daun teh dapat digunakan sebagai inhibitor korosi baja karbon *Schedule 40 Grade B ERW*. Dengan maka konsentrasi optimum ekstrak daun teh untuk melapisi permukaan baja *Karbon Schedule 40 Grade B ERW* adalah konsentrasi 4 %.

Syohan demega, Imam rohani (2012) meneliti tentang laju korosi pada plat stainless steel 304 dan 316 dengan variasi media korosi. Menggunakan media air laut, air sungai, estuary, media pengenceran *E.coli* dan media pengenceran *Pseudomonas fluorescens* dengan metode *weight loss* dengan waktu 2, 4, 6, dan 8 minggu. Hasilnya laju korosi paling besar terjadi pada plat SS 304 dengan media pengenceran *E.coli* sebesar 0,2645 mm/yy.

Sulistioso G.S. ,M. Ihsan (2004) menganalisa tentang korosi dari fasa *martensite* dan fasa campuran *martensite – austenite* pada SS 440C. Metode yang digunakan adalah tahanan polarisasi dan potensiodinamik dalam media air tawar dan air laut. Dalam media air tawar sampel *martensite* mempunyai laju korosi 0,0262 mpy sedangkan sampel campuran 0,0022 mpy. Untuk media air laut, laju korosi sampel *martensite* sebesar 0,2028 mpy sedangkan sampel campuran sebesar 0,0796 mpy. Dapat diketahui bahwa sampel SS 440C dengan fasa campuran mempunyai ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan sampel SS 440C dengan fasa *martensite*.

Rozanna Sri Irianti (2013) menyimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi inhibitor ekstrak daun gambir dan semakin lama waktu perendaman maka laju korosi semakin kecil. Efisiensi inhibisi ekstrak daun gambir semakin meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi inhibitor yang digunakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju korosi besi terendah dalam kondisi media air laut yaitu 0,000547 gr/cm²hari pada konsentrasi inhibitor 5000 ppm dan waktu kontak 20 hari dengan efisiensi inhibisi 51,78%.

Pada variasi pH air laut diperoleh laju korosi besi terendah pada pH air laut 9 yaitu 0,000503 gr/cm²hari.

2.2 Definisi Korosi

Korosi adalah kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi redoks dengan suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki. Korosi merupakan proses atau reaksi elektrokimia yang bersifat alamiah yang berlangsung sendirinya. Oleh karena itu korosi tidak dapat dicegah tetapi dapat dikendalikan.

Korosi selalu disertai dengan terbentuknya suatu produk korosi seperti kerak dipermukaan logam yang biasanya ditandai oleh adanya warna yang berbeda dengan warna logam aslinya. Warna kecoklatan atau kehitaman pada permukaan adalah ciri khas dari warna produk korosi yang terjadi pada besi.

2.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Terjadinya Korosi

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi suatu logam dapat terkorosi dan kecepatan laju korosi suatu logam. Suatu logam yang sama belum tentu mengalami korosi yang sama pula pada lingkungan yang berbeda. Begitu juga dua logam pada kondisi lingkungan yang sama tetapi jenis materialnya berbeda, belum tentu mengalami korosi yang sama. Dari hal tersebut, maka dapat dikatakan bahwa terdapat dua faktor yang dapat mempengaruhi korosi suatu logam, yaitu faktor metalurgi dan faktor lingkungan.

2.3.1 Material

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja API 5L *grade B schedule 80*. Spesimen tersebut mempunyai nama material API 5L dengan grade B yg menunjukkan nilai strength dan komposisi kimianya (bisa dilihat pada tabel 2.1). Pipa tersebut mempunyai dimensi 2 inch untuk nominal pipe sizenya / diameter nominalnya, 6 meter untuk dimensi panjangnya, dan schedule 80 untuk menunjukkan dimensi thickness materialnya. Pipa dibuat proses rotary piercing process atau floating mandrel mill karena dia pipa dgn type seamless (SMLS), ciri-cirinya adalah tidak adanya longitudinal seam weld. Baja yang digunakan dalam perpipaan industri oil & gas adalah API 5L (*American petroleum institute*) dengan berbagai grade mengikuti kekuatan mekanisnya akibat komposisi kimianya.

Tabel 2.1 Spesifikasi baja API 5L

Specification	API 5L NPS 1/8 -- 26				
Scope	Covers WELDED and SEAMLESS pipe suitable for use in conveying gas, water, and oil in both the oil and natural gas industries.				
Kinds of Steel Permitted For Pipe Material	Open-hearth Basic-oxygen Electric-furnace				
Hot-Dipped Galvanizing	May be ordered galvanized.				
Permissible Variations in Wall Thickness		Grade A, B, A25		X42 through X80	
	NPS 2 1/2 and smaller -- Seamless and welded, %	+20 - 12.5		+15 - 12.5	
	NPS 3 -- Seamless and welded, %	+18 - 12.5		+15 - 12.5	
	NPS 4 through 18 -- Seamless and welded, %	+15 - 12.5		+15 - 12.5	
	NPS 20 and larger -- Welded, %	+17.5 - 10.0		+19.5 - 8.0	
	NPS 20 and larger -- Seamless, %	+15.0 - 12.5		+17.5 - 10.0	
Chemical Requirements	C max % Mn max % P max % S max %				
	Seamless or ERW				
	Grade A	0.25	0.95	0.05 0.06	
	Grade B	0.30	1.20	0.05 0.06	
	Continuous-weld	-	-	0.08 0.06	
Tensile Requirements	Lists minimum yield and tensile strength for all grades as well as a maximum tensile strength for X80. Maximum yield-to-tensile ratios outlined for cold-expanded pipe--may be waived when a fracture toughness requirement is specified.				
Hydrostatic Testing	Lists hydrostatic inspection test pressures for all sizes and grades covered by the specification.		Test Pressures are held for not less than: Seamless (all sizes) -- 5 seconds Welded (NPS 18 and smaller) -- 5 seconds (NPS 20 and larger) -- 10 seconds		
Permissible Variations in Weights per Foot	For each length of Standard Weight, Regular Weight, Extra Strong, and Double Extra Strong -- Not more than plus 10% minus 3.5%.		For Special Plain End -- Not more than plus 10% minus 5%. For Carload Lots -- Not more than minus 1.75%.		
Permissible Variations in Outside Diameter	Outside Diameter at any point shall not vary from standard specified more than:				
		Sizes	Over	Under	
		NPS 1 1/2 and smaller	1/64"	1/32"	
		NPS 2 through 4	1%	1% (Buttweld Only)	
		NPS 2 through 18	.75%	.75%	
	NPS 20 through 26				
	Non-expanded	1%	1%		
Mechanical Tests Specified	Tensile Test		Bending Test (Cold) -- 2" and smaller Buttweld.		
	Seamless and Buttwelded -- All Sizes -- Longitudinal Specimens		Degree of Bend		
	Electric Weld -- NPS 6 and smaller -- Longitudinal NPS 8 and Larger -- Transverse		Diameter of Mandrel		
		For all API Uses			
		90			
		12 x OD of pipe			
Number of Tests Required		On One Length From Each Lot of		Flattening Non-Expanded Electric-Weld for single lengths crop ends from each length. For multiple lengths, crop ends from each length, plus 2 intermediate rings.	
		NPS			
	Tensile	5 and smaller	40 or less		
		6 through 12	200 or less		
		14 and larger	100 or less		
		2 and smaller (Buttweld)	25 tons or less		
	Bending	1 1/2 and smaller (Buttweld)	50 tons or less		
Lengths		Shortest Length In Entire Shipment	Shortest Length in 95% of Entire Shipment	Minimum Average Length of Entire Shipment	
		Threaded & Coupled Pipe			
		Single Random	16' 0"	18' 0"	-
		Double Random	22' 0"	-	35' 0"
Required Markings on Each Length (On Tags attached to each Bundle in case of Bundled Pipe)	Paint Stenciled or Die Stamped (by agreement).				
	Manufacturer's name or mark. Spec 5L, size, weight per foot, grade, process of manufacture, type of steel, length (NPS 4 and larger only). Test pressure when higher than labeled (NPS 2 and larger only).				
	Heat treat symbols, as applicable -- HN, HS, HA or HQ.				
General Information	Supplementary Requirements available when specified. SR5 -- Charpy Impact Testing -- Welded Pipe 20" & larger -- Grade X52 or higher. SR3 -- Color Identification. SR5 -- Drop Weight Tear Testing -- Welded Pipe 20" & larger -- Grade X52 or higher. SR4 -- Nondestructive Inspection of Seamless Pipe. SR8 -- Fracture Toughness Testing of Line Pipe.				

Tabel 2.1 diatas menunjukkan spesifikasi baja API 5L. dalam tabel tersebut menunjukkan perbedaan antara baja API 5L grade A dan grade B.

2.3.2 Faktor Lingkungan

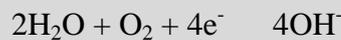
Selain dari faktor material, korosi juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan antara lain:

a. Gas Terlarut

- Oksigen (O_2)

Adanya oksigen yang terlarut akan menyebabkan korosi pada metal akan bertambah dengan meningkatnya kandungan oksigen. Kelarutan oksigen dalam air merupakan fungsi dari tekanan, temperatur dan kandungan klorida. Untuk tekanan 1 atm dan temperatur kamar, kelarutan oksigen adalah 10 ppm dan kelarutannya akan berkurang dengan bertambahnya temperatur dan konsentrasi garam.

Rumus kimia karat besi adalah $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, suatu zat padat yang berwarna coklat-merah. Korosi merupakan proses elektrokimia. Pada korosi besi, bagian tertentu dari besi itu berlaku sebagai anode, di mana besi mengalami oksidasi.



$\text{Fe}(\text{OH})_2$ oleh O_2 di udara dioksidasi menjadi $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (Karat Besi).

- Karbondioksida (CO_2)

Jika karbondioksida dilarutkan dalam air maka akan terbentuk asam karbonat (H_2CO_3) yang dapat menurunkan pH air dan meningkatkan korosifitas, biasanya bentuk korosinya berupa pitting yang secara umum reaksinya adalah:



FeCO_3 merupakan corrosion product yang dikenal sebagai sweet corrosion

b. Temperatur

Temperatur mempengaruhi kecepatan reaksi redoks pada peristiwa korosi. Secara umum, semakin tinggi temperatur maka semakin cepat terjadinya korosi. Hal ini disebabkan dengan meningkatnya temperatur maka meningkat pula energy kinetik partikel sehingga kemungkinan terjadinya tumbukan efektif pada reaksi redoks semakin besar dan laju korosi pada logam semakin meningkat. Efek korosi yang disebabkan oleh pengaruh temperatur dapat dilihat pada perkakas-perkakas atau mesin-mesin yang dalam pemakaiannya menimbulkan panas akibat gesekan (seperti cutting tools) atau dikenai panas secara langsung (seperti mesin kendaraan bermotor).

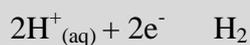


Gambar 2.1 Korosi Akibat Temperatur Tinggi

Sumber : <http://mechanicalengboy.wordpress.com/2012/12/23/pengenalan-korosi-dan-penyebab-penyebab-korosi-part-1/>

c. pH

pH lingkungan merupakan derajat keasaman dari lingkungan yang mengindikasikan konsentrasi H^+ dalam lingkungan tersebut. Perubahan pH lingkungan akan berpengaruh kepada laju korosi baja dalam lingkungan. Semakin rendah nilai pH ($pH < 7$) maka laju korosi yang terjadi akan semakin meningkat dibandingkan dengan pH 7. Dikarenakan adanya reaksi reduksi tambahan yang berlangsung pada katoda yaitu :



Adanya reaksi reduksi tambahan pada katoda menyebabkan lebih banyak atom logam yang teroksidasi sehingga laju korosi pada permukaan logam semakin besar.

d. Mikroba

Adanya koloni mikroba pada permukaan logam dapat menyebabkan peningkatan korosi pada logam. Hal ini disebabkan karena mikroba tersebut mampu mendegradasi logam melalui reaksi redoks untuk memperoleh energy bagi keberlangsungan hidupnya. Mikroba yang mampu menyebabkan korosi, antara lain : protozoa, bakteri besi mangan oksida, bakteri reduksi sulfat, dan bakteri oksida sulfur-sulfida.

Thiobacillus thiooxidans Thiobacillus ferrooxidans.



Gambar 2.2 Koloni Bakteri Thiobacillus ferrooxidans Pada Permukaan Logam Besi yang Terkorosi

Sumber : <http://mechanicalengboy.wordpress.com/2012/12/23/pengenalan-korosi-dan-penyebab-penyebab-korosi-part-1/>

e. Padatan Terlarut

- Klorida

Klorida menyerang lapisan *mild steel* dan lapisan *stainless steel*. Padatan ini menyebabkan terjadinya pitting, korosi celah, dan juga menyebabkan pecahnya paduan.

- Karbonat (CO_3)

Kalsium karbonat sering digunakan sebagai pengontrol korosi dimana film karbonat diendapkan sebagai lapisan pelindung permukaan logam.

- Sulfat (SO_4)

Dalam air, ion sulfat ditemukan dalam konsentrasi yang cukup tinggi dan bersifat kontaminan, dan oleh bakteri pereduksi sulfat diubah menjadi sulfida yang korosif.

f. Kontak Langsung Logam dengan H_2O dan O_2

Korosi pada permukaan logam merupakan proses yang mengandung reaksi redoks. Sebagai contoh, korosi besi terjadi apabila ada oksigen (O_2) dan air (H_2O). Logam besi tidaklah murni, melainkan mengandung campuran karbon yang menyebar secara tidak merata dalam logam tersebut. Hal tersebut menimbulkan perbedaan potensial listrik antara atom logam dengan atom karbon (C). Atom logam besi (Fe) bertindak sebagai anoda dan atom C sebagai katoda. Oksigen dari udara yang larut

dalam air akan tereduksi, sedangkan air sendiri berfungsi sebagai media tempat berlangsungnya reaksi redoks pada peristiwa korosi. Jumlah O_2 dan H_2O yang mengalami kontak dengan permukaan logam semakin banyak, maka semakin cepat berlangsungnya korosi pada permukaan logam tersebut.

g. Kontak dengan Elektrolit

Keberadaan elektrolit, seperti garam dalam air laut dapat mempercepat laju korosi dengan menambah terjadinya reaksi tambahan. Konsentrasi elektrolit yang besar dapat meningkatkan laju aliran electron sehingga laju korosi meningkat



Gambar 2.3 Korosi oleh Kandungan Garam yang Tinggi

Sumber : <http://mechanicalengboy.wordpress.com/2012/12/23/pengenalan-korosi-dan-penyebab-penyebab-korosi-part-1/>

h. Keberadaan Zat Pengotor

Zat pengotor di permukaan logam dapat menyebabkan terjadinya reaksi reduksi tambahan sehingga lebih banyak atom logam yang teroksidasi. Sebagai contoh, adanya tumpukan debu karbon dari hasil pembakaran BBM pada permukaan logam mampu mempercepat reaksi reduksi gas oksigen pada permukaan logam yang mengakibatkan proses korosi semakin cepat pula.



Gambar 2.4 Pengotor yang Mempercepat Korosi pada Permukaan Logam

Sumber : <http://mechanicalengboy.wordpress.com/2012/12/23/pengenalan-korosi-dan-penyebab-penyebab-korosi-part-1/>

i. Metalurgi

- Permukaan Logam

Permukaan logam yang lebih kasar akan menimbulkan beda potensial dan memiliki kecenderungan untuk menjadi anoda yang terkorosi.



Gambar 2.5 Permukaan Logam yang Kasar Mengalami Korosi

Sumber : <http://mechanicalengboy.wordpress.com/2012/12/23/pengenalan-korosi-dan-penyebab-penyebab-korosi-part-1/>

- Efek Galvanic Coupling

Kemurnian logam yang rendah mengindikasikan banyaknya atom-atom unsure lain yang terdapat pada logam tersebut sehingga memicu terjadinya efek

galvanic coupling, yakni timbulnya perbedaan potensial pada permukaan logam akibat perbedaan E° antara atom-atom unsure logam yang berbeda dan terdapat pada permukaan logam dengan kemurnian rendah. Efek ini memicu korosi pada permukaan logam melalui peningkatan reaksi oksidasi pada daerah anoda.

2.4 Macam-Macam Korosi

1. Korosi Galvanis

Korosi ini terjadi karena proses elektro kimiawi dua macam metal yang berbeda potensial dihubungkan langsung di dalam elektrolit yang sama. Dimana elektron mengalir dari metal kurang mulia (anodic) menuju metal yang lebih mulia (katodik), akibatnya metal yang kurang mulia berubah menjadi ion-ion positif karena kehilangan elektron. Ion-ion positif metal bereaksi dengan ion negative yang berada di dalam elektrolit menjadi garam metal. Karena peristiwa tersebut, permukaan anoda kehilangan metal sehingga terbentuklah sumur-sumur karat (Surface Attack) atau serangan karat permukaan. Sel galvanic tidak berhubungan langsung walaupun keduanya berada didalam elektrolit yang sama (Open Circuit). Standar electromotive ini dapat berubah akibat pengaruh perubahan suhu, perubahan konsentrasi zat-zat yang terlarut, kondisi permukaan elektroda, kotoran/sampah pada elektroda dan lain-lain.



Gambar 2.6 Korosi Galvanis

Sumber : <http://mechanicalengboy.wordpress.com/2012/12/23/jenis-jenis-korosi-part-2/>

2. Korosi Regangan

Korosi ini terjadi karena pemberian tarikan atau kompresi yang melebihi batas ketentuannya. Kegagalan ini sering disebut Retak Karat Regangan (RKR) atau stress corrosion cracking. Sifat retak jenis ini sangat spontan (tiba-tiba

terterjadinya/ spontaneous), regangan biasanya bersifat internal yang disebabkan oleh perlakuan yang diterapkan seperti bentukan dingin atau merupakan sisahasil pengerjaan (*residual*) seperti pengelingan, pengepresan dan lain-lain. Untuk material kuningan jenis RKR disebut Season Cracking, dan pada material Low Carbon Steel disebut Caustic Embrittlement (kerapuhan basa), karat ini terjadi sangat cepat, dalam ukuran menit, yakni jika semua persyaratan untuk terjadinya karat regangan ini telah terpenuhi pada suatu momen tertentu yakni adanya regangan internal dan terciptanya kondisi korosif yang berhubungan dengan konsentrasi zat karat (Corrodent) dan suhu lingkungan. Zat penyebab karat dan kondisi lingkungan penyebab RKR pada berbagai sistem paduan

3. Korosi Celah

Korosi yang terjadi karena perbedaan konsentrasi oksigen pada celah suatu material dengan lingkungannya seperti kontak logam dengan logam atau logam dengan non logam. Contohnya adalah korosi yang terjadi pada gasket, sambungan, atau celah disekitar bolt atau rivet.



Gambar 2.7 Korosi Celah

Sumber : <http://mechanicalvian.blogspot.com/2010/08/korosi.html>

4. Korosi Erosi

Korosi erosi adalah korosi yang timbul akibat dari gesekan antara fluida yang bersifat korosif dengan permukaan logam. Logam terkikis sebagai ion terlarut. Korosi ini juga dapat terjadi karena proses mekanik seperti abrasi, pengausan dan gesekan. Biasanya terjadi pada tabung air pada alat penukar panas.



Gambar 2.8 Korosi Erosi

Sumber : <http://pipinbloging.wordpress.com/category/korosi/>

5. Pitting

Pitting atau yang biasa disebut dengan korosi sumuran adalah korosi yang terjadi karena adanya cacat pada permukaan material yang bersifat lebih anodik dibandingkan dengan permukaan yang lain. Sehingga korosi akan menuju bagian dalam material yang cacat berupa celah atau lubang kecil.



Gambar 2.9 Pitting

Sumber : <http://www.metallurgist.com/html/corrosion.htm>

6. Stress Corrosion Cracking

Stress corrosion cracking terjadi pada bagian yang mengalami tegangan terkonsentrasi. Korosi berupa retakan – retakan yang tidak mudah dilihat, terbentuk di permukaan logam dan merembet ke dalam.



Gambar 2.10 *Stress Corrosion Cracking*

Sumber : http://www.cdcorrosion.com/mode_corrosion/stress_corrosion_cracking.htm

7. Korosi Merata

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

2.5 Perhitungan Laju Korosi

Pada dasarnya uji korosi dapat dilakukan baik secara simulative di dalam laboratorium ataupun secara langsung di lapangan. Uji korosi di laboratorium biasanya dilakukan terhadap benda uji yang berupa potongan sampel yang diambil dari logam/paduan yang akan dipakai seutuhnya. Lama pengujiannya mungkin hanya membutuhkan waktu beberapa menit saja, atau dapat juga selama beberapa bulan, tergantung pada metode yang digunakan.

Salah satu metode sederhana yang dapat digunakan untuk menentukan laju korosi adalah dengan menghitung kehilangan berat atau weight loss atau WGL. Metode ini dilakukan dengan merendam sampel logam dalam media korosif tertentu. Pengujian ini biasa disebut uji perendamam, atau immersion test. Pengujian ini digolongkan sebagai uji yang dipercepat, atau accelerated test.

Perhitungan kehilangan berat (weight loss) dilakukan dengan melakukan selisih antara berat awal dan berat akhir terlihat pada rumus perhitungan kehilangan berat.

$$W = W_0 - W_A$$

“W = Selisih berat (gram)

W_0 = Berat sebelum uji (gram)

W_A = Berat setelah uji (gram)

Perhitungan laju korosi dapat dilakukan dengan melihat rumus laju korosi erosi secara umum.

$$\text{Laju korosi erosi (mpy)} = (K \times W) / (A \times T \times D)$$

K = Konstanta ($3,45 \times 10^6$)

D = Densitas logam ($2,7 \text{ gr/cm}^3$)

T = Waktu (jam)

W = Kehilangan berat (gram)

A = Luas permukaan logam (cm^2)

2.6 Cara Pencegahan korosi

1. Cara Modifikasi Lingkungan

Karena oksigen (O_2) dan kelembaban udara merupakan factor penting dalam proses pengkaratan, mengurangi kadar oksigen atau menurunkan kelembaban udara dapat memperlambat proses pengkaratan.

2. Cara Modifikasi Besi

Ketika besi membentuk alloy dengan unsure-unsur tertentu besi akan lebih tahan terhadap korosi. Baja (alloy dari besi) mengandung 11-12% kromium dan sedikit mengandung karbon, disebut stainless steel, baja ini tahan karat dan sering digunakan di industry, untuk bahan kimia dan rumah tangga.

3. Cara Proteksi Katodik

Jika logam besi dihubungkan dengan seng, besi tersebut akan sukar mengalami korosi. Hal ini disebabkan seng lebih mudah teroksidasi dibandingkan besi. Seng akan bereaksi dengan oksigen dan air dalam lingkungan yang mengandung karbon dioksida dan membentuk senyawa seng karbonat. Seng karbonat yang terbentuk berfungsi melindungi seng itu sendiri dari korosi. Cara perlindungan logam seperti ini disebut cara proteksi katodik (katode pelindung). Selain seng (Zn), logam magnesium (Mg) yang termasuk alkali tanah banyak digunakan untuk keperluan ini.

4. Cara Pelapisan

Jika logam besi dilapisi tembaga atau timah, besi akan terlindungi dari korosi. Hal ini disebabkan logam Cu dan Sn memiliki potensial reduksi yang lebih positif daripada potensial reduksi besi. Namun jika lapisan ini bocor sehingga lapisan tembaga atau timah terbuka, besi akan mengalami korosi dengan cepat. Selain dengan tembaga dan timah, besi juga dapat dilapisi dengan logam lain yang sukar teroksidasi. Logam yang dapat digunakan adalah logam yang memiliki potensial reduksi lebih positif dibandingkan besi, seperti perak, emas, nikel, timah, tembaga, dan platina.

Selain menggunakan logam, pelapisan besi juga dapat menggunakan senyawa nonlogam. Proses pelapisan logam besi ini dapat dilakukan dengan cara membersihkan besi terlebih dahulu, kemudian melapisinya dengan suatu zat yang sukar tembus oleh oksigen, misalnya cat, gelas, plastik. Permukaan besi harus terlapisi dengan sempurna untuk menghindari kontak dengan oksigen. Proses pelapisan yang tidak sempurna dapat lebih berbahaya dibandingkan dengan besi tanpa pelapisan. Hal ini dikarenakan pengkaratan dapat terjadi pada bagian yang tertutup sehingga tidak terdeteksi

5. Inhibitor

Inhibitor adalah sebuah substansi yang ketika ditambahkan dalam konsentrasi dalam jumlah kecil pada suatu lingkungan akan mengurangi laju korosi. Dengan kata lain, inhibitor disebut juga sebagai katalis penghambat. Efisiensi inhibitor dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

dimana: $CR_{\text{uninhibited}}$ = laju korosi pada wadah tanpa inhibitor

$CR_{\text{inhibited}}$ = laju korosi pada wadah dengan penambahan inhibitor

Inhibitor menurunkan laju korosi dengan beberapa cara yaitu:

- Meningkatkan polarisasi anoda atau katoda
- Mengurangi perpindahan atau difusi ion pada permukaan logam
- Meningkatkan ketahanan elektrikal permukaan logam

Inhibitor dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. Inhibitor anodik

Inhibitor anodik merupakan inhibitor yang menurunkan laju korosi dengan cara menghambat transfer ion – ion logam ke dalam larutan yang bersifat korosif karena berkurangnya anoda akibat pasivasi.

2. Inhibitor katodik

Inhibitor katodik merupakan inhibitor yang menurunkan laju korosi dengan cara menghambat salah satu tahap pada proses katodik, seperti pembebasan ion – ion hidrogen dan penangkapan oksigen.

3. Inhibitor organik

Inhibitor senyawa organik adalah jenis inhibitor teradsorpsi yaitu inhibitor yang menurunkan laju korosi dengan cara mengisolasi permukaan logam dari lingkungan yang korosif dalam pembentukan film teradsorpsi. Karena pembentukan film secara adsorpsi, temperatur dan tekanan merupakan faktor yang penting. Ada tiga cara yang dilakukan inhibitor teradsorpsi terhadap permukaan logam yaitu:

- a. Pembentukan penghalang secara fisika atau kimia
- b. Isolasi langsung area anodik dan katodik
- c. Berinteraksi dengan antar mediasi reaksi korosi

2.7 Daun Jambu Biji



Gambar 2.11 Daun Jambu Biji

Sumber: <http://infobuahjambu.blogspot.com/2013/02/ada-khasiat-di-balik-daun-jambu-biji.html>

Jambu biji adalah salah satu tanaman buah jenis perdu, dalam bahasa Inggris disebut *Lambo guava*. Tanaman ini berasal dari Brazilia Amerika Tengah, menyebar ke Thailand kemudian Negara Asia lainnya seperti Indonesia. Hingga saat ini telah dibudidayakan dan menyebar luas di daerah-daerah Jawa. Jambu biji sering disebut juga jambu klutuk, jambu siki, atau jambu batu.

Kandungan daun jambu biji ini cukup lengkap. Berbagai senyawa penting tersimpan di setiap helainya. Menurut seorang ahli bernama Kartasapoetra, secara umum kandungan daun jambu biji ini antara lain zat-zat penyamak atau dikenal dengan sitilak psiditanin sekitar 9%, minyak lemak sebanyak 6%, damar sebanyak 3%, sejumlah garam mineral, minyak atsiri sebanyak 0,4%, dan masih banyak lagi lainnya. Sedangkan jika diurai secara spesifik, kandungan senyawa yang ada di dalam daun jambu ini antara lain:

1. Flavonoid.
2. Alkaloid.
3. Pektin atau serat yang larut dalam air.
4. Tanin (mengandung fenol)
5. Minyak atsiri yang terdiri atas campuran senyawa oleopten dan juga stearopten atau minyak esensial.

Untuk senyawa tanin yang ada di dalam daun jambu biji ini cukup istimewa. Jenis tanin ini adalah Psiditanin yakni sekumpulan zat organik amorf dengan karakter asam dan mampu mengendapkan alkaloid dan juga glukosida. Hal ini yang menjadikan tanin jenis ini dipakai untuk menyamak dan untuk membuat tinta dan mengendapkan senyawa protein.

Senyawa tanin inilah yang dapat digunakan sebagai inhibitor penghambat korosi yang ramah lingkungan dibandingkan dengan inhibitor sintetis kimiawi. Selain itu penggunaan daun jambu biji sebagai inhibitor dikarenakan mudah mendapatkannya, mudah dalam penggunaannya dan murah.

2.8 Hipotesa

Berdasarkan tinjauan pustaka diatas, dapat diambil hipotesa bahwa semakin tinggi konsentrasi inhibitor maka laju korosi baja API 5L *grade B schedule 80* akan semakin rendah. Dan semakin lama waktu perendaman, semakin rendah laju korosi yang terjadi.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi air laut terhadap laju korosi *baja API 5L grade B schedule 80* dengan penambahan inhibitor daun ekstrak daun jambu biji Disamping itu juga dilakukan studi literatur baik dari buku, jurnal, maupun dari internet untuk memperoleh informasi tambahan yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada rentang waktu Desember 2013 sampai Januari 2013. Penelitian ini dilakukan di laboratorium proses produksi I, laboratorium metalurgi fisik, dan laboratorium metrologi industri jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian.

Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- variasi konsentrasi inhibitor : 0 ppm, 1000 ppm, 2000 ppm, 4000 ppm, 6000 ppm
- variasi waktu perendaman : 3 hari, 7 hari, dan 11 hari

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas.

Dalam penelitian ini variabel terikatnya adalah laju korosi.

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dikonstankan. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terkontrol adalah :

- a. Dimensi baja API 5L yaitu 25 mm x 20 mm x 5 mm
- b. Temperatur kamar

3.4 Peralatan dan Bahan yang Digunakan

3.4.1 Peralatan yang digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Power Hacksaw

Digunakan untuk memotong specimen

Spesifikasi :

- 220 V
- 50-60 Hz
- 2.34 kW



Gambar 3.1 Power Hacksaw

Sumber : Laboratorium proses produksi 1 Universitas Brawijaya

2. Gelas Beker

Untuk meletakkan larutan air laut dengan konsentrasi yang sudah ditentukan

- Merk : duran
- Buatan : Jerman
- Kapasitas : 250 ml
- Tahan pada : $\pm 200^{\circ}\text{C}$



Gambar 3.2 Gelas Beker

Sumber : <http://nirwana-abadi.indonetwork.co.id/1097174>

3. Timbangan Elektrik

Digunakan untuk menimbang berat spesimen sebelum dan sesudah direndam dalam air laut

Spesifikasi :

- Tipe : AL 204



Gambar 3.3 Timbangan Elektrik

Sumber : Laboratorium metalurgi fisik Universitas Brawijaya

4. Centrifugal Sand Paper Machine

Digunakan untuk menggosok spesimen

Spesifikasi :

- Merk : Saphir
- Buatan : jerman
- Diameter : 15 cm
- Putaran : 120 rpm



Gambar 3.4 Centrifugal sand paper machine

Sumber : Laboratorium metalurgi fisik Universitas Brawijaya

5. Sarung Tangan

Digunakan untuk melindungi tangan dari larutan garam kuat

6. Penjepit

Digunakan untuk mengangkat spesimen setelah direndam dalam gelas beker

7. Kertas Gosok (amplas)

Digunakan untuk membersihkan dan menghaluskan permukaan spesimen. Ukuran yang digunakan 500, dan 1000

3.4.2 Bahan yang digunakan

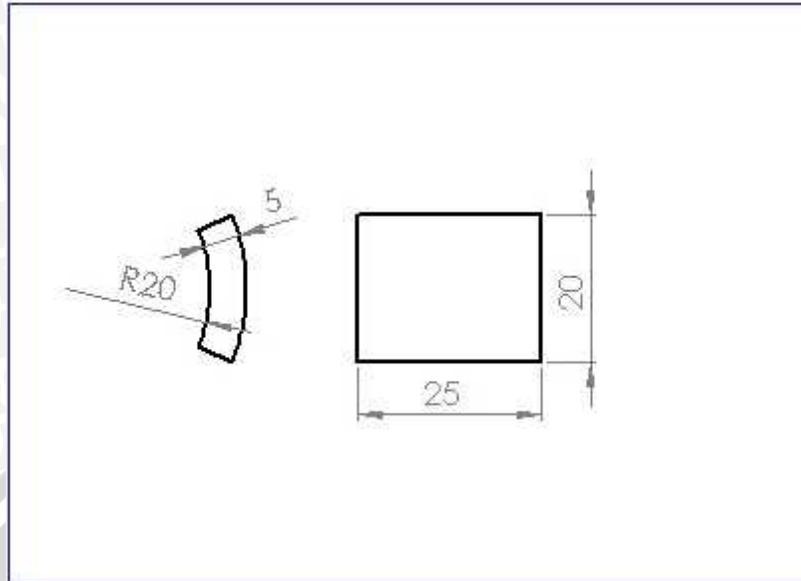
Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini :

1. Baja API 5L *grade B schedule 80* dengan dimensi sebagai berikut :

Panjang : 25 mm

Lebar : 20 mm

Tebal : 5 mm



Gambar 3.5 Dimensi spesimen

Material tipe Baja API 5L *Grade B Schedule 80* memiliki densitas $7,85 \text{ g/cm}^3$ dengan komposisi kimia sebagai berikut:

- Besi (Fe) : 98.832 %
- Karbon (C) : 0.20 %
- Mangan (Mn) : 0.55 %
- Silikon (SI) : 0.22 %
- Fosfor (P) : 0.007 %
- Sulfur (S) : 0.011 %
- Kromium (Cr) : 0.03 %
- Nikel (NI) : 0.05 %
- Tembaga (Cu) : 0.10 %

2. Ekstrak daun jambu biji

Digunakan sebagai inhibitor korosi dalam larutan air laut. Konsentrasi Inhibitor yang digunakan 0 ppm, 1000 ppm, 2000 ppm, 4000 ppm, 6000 ppm

3. Air laut

Digunakan untuk media korosi

4. Aquades

Digunakan untuk mencuci spesimen setelah dilakukan perendaman dari air laut

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Prosedur Penyiapan Spesimen

1. Potong pelat baja API 5L *grade B Schedule 80* dengan ukuran 20 x 25 x 5 mm.
2. Bersihkan kotoran – kotoran minyak dan *grease* yang menempel pada pelat uji.
3. Gosok spesimen dengan amplas ukuran 500 dan 1000 mesh hingga permukaan spesimen benar – benar halus.
4. Mencuci spesimen dengan aquades lalu dikeringkan

3.5.2 Prosedur Pembuatan Ekstrak Daun Jambu Biji

1. Daun jambu biji dipilih kemudian dikeringkan dan dihaluskan dengan cara diblender
2. Hasil gerusan dari daun jambu biji diambil 10 gram lalu tambahkan larutan etanol (96 %) 250 ml diaduk supaya homogen dan diekstraksi di atas waterbath dengan suhu ekstraksi 50°C dan lama ekstraksi 150 menit
3. Hasil ekstraksi berupa filtrat didinginkan dan disaring, kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer
4. Erlenmeyer dipanaskan pada suhu 100°C untuk menguapkan etanol dan air
5. Tanin yang didapat kemudian dicuci dengan eter, kemudian dikeringkan di dalam oven
6. Tanin yang didapat ditimbang untuk mengetahui hasil ekstraksinya
7. Tanin didapatkan sebesar 14,24 % dari total berat daun jambu biji yang digunakan

3.5.3 Prosedur Pembuatan Larutan

1. Timbang ekstrak daun jambu biji untuk masing-masing konsentrasi inhibitor. 0,1 gram untuk konsentrasi 1000 ppm, 0,2 gram untuk konsentrasi 2000 ppm, 0,4 gram untuk konsentrasi 4000 ppm, dan 0,6 gram untuk konsentrasi 6000 ppm
2. Masukkan larutan NaCl ke dalam gelas ukur, dengan volume masing- masing 100 ml
3. Masukkan ekstrak daun jambu biji ke dalam gelas ukur yang telah diisi larutan NaCl
4. Aduk hingga rata

3.5.4 Langkah Percobaan

Langkah percobaan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Persiapkan semua peralatan dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian.

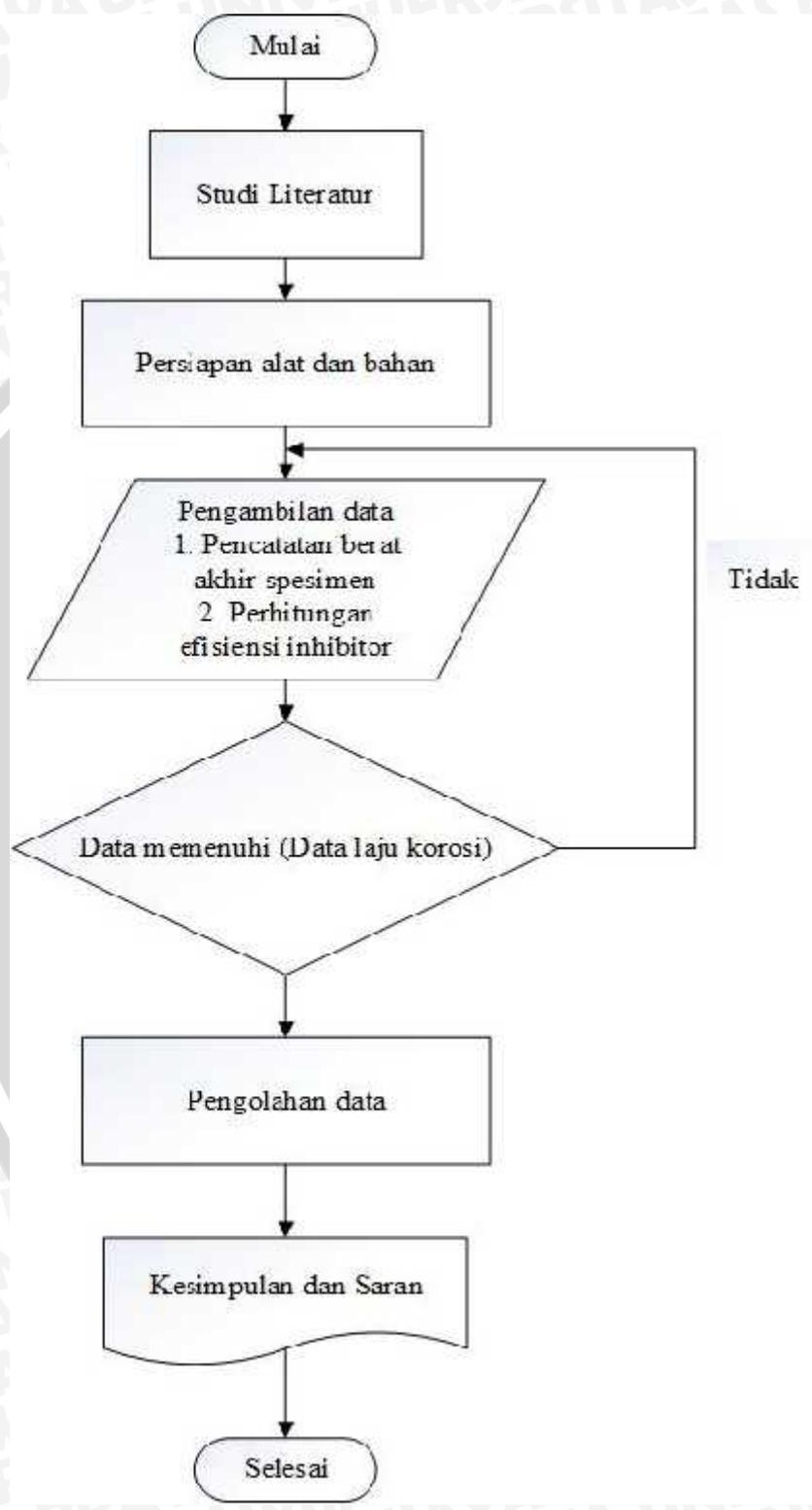
2. Bersihkan dan haluskan permukaan spesimen dengan menggunakan amplas
3. Spesimen dicuci dengan aquades dan bersihkan dengan kain
4. Timbang setiap spesimen dengan timbangan elektrik dan catat sebagai berat awal spesimen
5. Pisahkan spesimen berdasarkan perlakuan yang akan diberikan yaitu direndam dalam air laut dengan konsentrasi
6. Masukkan spesimen ke dalam gelas beker yang sudah berisi larutan NaCl sesuai dengan perlakuan yang akan diberikan
7. Setelah 72 jam, angkat spesimen lalu dicuci dengan aquades
8. Timbang setiap spesimen dan catat sebagai berat akhir dari masing – masing spesimen

3.5.4 Tahap Pengambilan Data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut :

1. Berat awal, diperoleh dari penimbangan spesimen sebelum dilakukan perendaman.
2. Berat akhir, diperoleh dari penimbangan spesimen setelah dilakukan perendaman dengan air laut.
3. Berat yang hilang (W), diperoleh dari selisih antara berat awal dikurangi berat akhir.
4. Berat yang hilang digunakan untuk menghitung besar laju korosi

3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.6 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Uji dengan Metode Kehilangan Berat (*Weight Loss*)

Perhitungan kehilangan berat (*weight loss*) dilakukan dengan melakukan selisih antara berat awal dan berat akhir terlihat. Data laju korosi diperoleh dari perhitungan rumus metode kehilangan berat dengan standart ASTM G1 sebagai berikut :

$$CR = \frac{K \times W}{A \times t \times D}$$

Keterangan :

CR = laju korosi (mpy)

K = konstanta laju korosi = $3,45 \times 10^6$

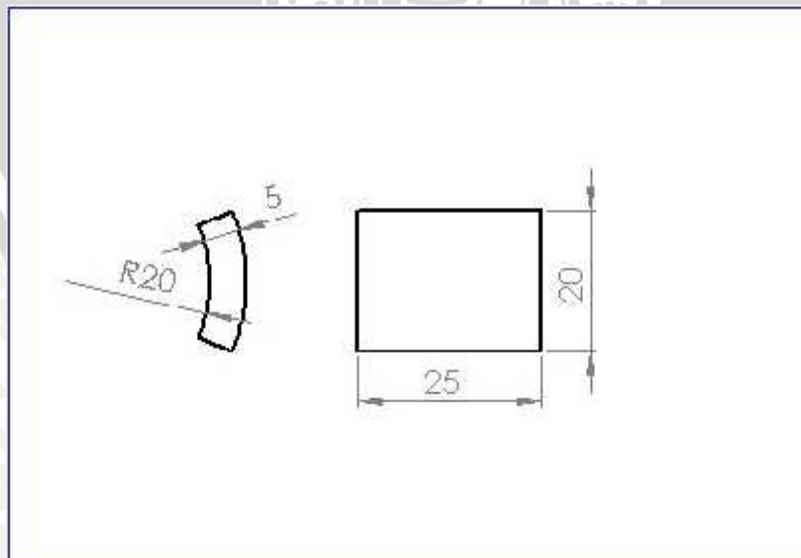
W = massa yang hilang (g)

A = luas permukaan spesimen (cm^2)

T = waktu perendaman (jam)

D = densitas spesimen (g / cm^3)

Dimensi Spesimen :



Gambar 4.1 Dimensi Spesimen Uji

Contoh perhitungan laju korosi baja API 5L *Grade B Schedule 80* yang direndam dalam larutan natrium klorida dengan konsentrasi 35% selama 32 jam dengan dimensi spesimen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 diatas yaitu sebagai berikut.

$$CR = \frac{K \times W}{A \times t \times D}$$

$$= \frac{3,45 \times 10^6 \times 0,0011 \text{ [g]}}{14,5 \text{ [cm}^2\text{]} \times 32 \text{ [jam]} \times 7,85 \text{ [}^{\text{g}}\text{/cm}^3\text{]}}$$

$$= 1,041895$$

Data hasil pengujian laju korosi baja API 5L *Grade B Schedule 80* dalam variasi konsentrasi dan waktu perendaman ditunjukkan pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Laju Korosi Baja API 5L *Grade B Schedule 80*

No.	Waktu perendaman (jam)	Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Berat awal (g)	Berat akhir (g)	Berat Hilang (g)	Laju Korosi (mpy)
1	72	0	12.8167	12.8156	0.0011	0.463064646
2		1000	15.9436	15.9426	0.001	0.42096786
3		2000	13.752	13.7511	0.0009	0.378871074
4		4000	16.2824	16.2811	0.0013	0.547258218
5		6000	12.7723	12.7711	0.0012	0.505161432
6	168	0	15.0401	15.0379	0.0022	0.396912554
7		1000	13.8096	13.8082	0.0014	0.252580716
8		2000	13.897	13.8964	0.0006	0.108248878
9		4000	14.2508	14.2501	0.0007	0.126290358
10		6000	13.9889	13.9881	0.0008	0.144331838
11	264	0	14.1348	14.1332	0.0016	0.183695066
12		1000	16.5921	16.5912	0.0009	0.103328475
13		2000	12.5596	12.5588	0.0008	0.091847533
14		4000	14.5863	14.5847	0.0016	0.183695066
15		6000	12.7179	12.7162	0.0017	0.195176008

4.2 Efisiensi Inhibitor

Efisiensi inhibitor dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Efisiensi inhibitor (\%)} = 100\% \frac{(CR_{\text{uninhibited}} - CR_{\text{inhibited}})}{CR_{\text{uninhibited}}}$$

dimana: $CR_{\text{uninhibited}}$ = laju korosi pada wadah tanpa inhibitor

$CR_{\text{inhibited}}$ = laju korosi pada wadah dengan penambahan inhibitor

Contoh perhitungan efisiensi inhibitor dengan konsentrasi 1000 ppm dan waktu perendaman 72 jam sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi inhibitor (\%)} &= 100\% \times \frac{(CR_{\text{uninhibited}} - CR_{\text{inhibited}})}{CR_{\text{uninhibited}}} \\ &= 100\% \times \frac{0,0011 - 0,001}{0,0011} \\ &= 9,09\% \end{aligned}$$

Data efisiensi inhibitor ekstrak daun jambu biji pada baja API 5L Grade B Schedule 80 ditunjukkan pada Tabel 4.2

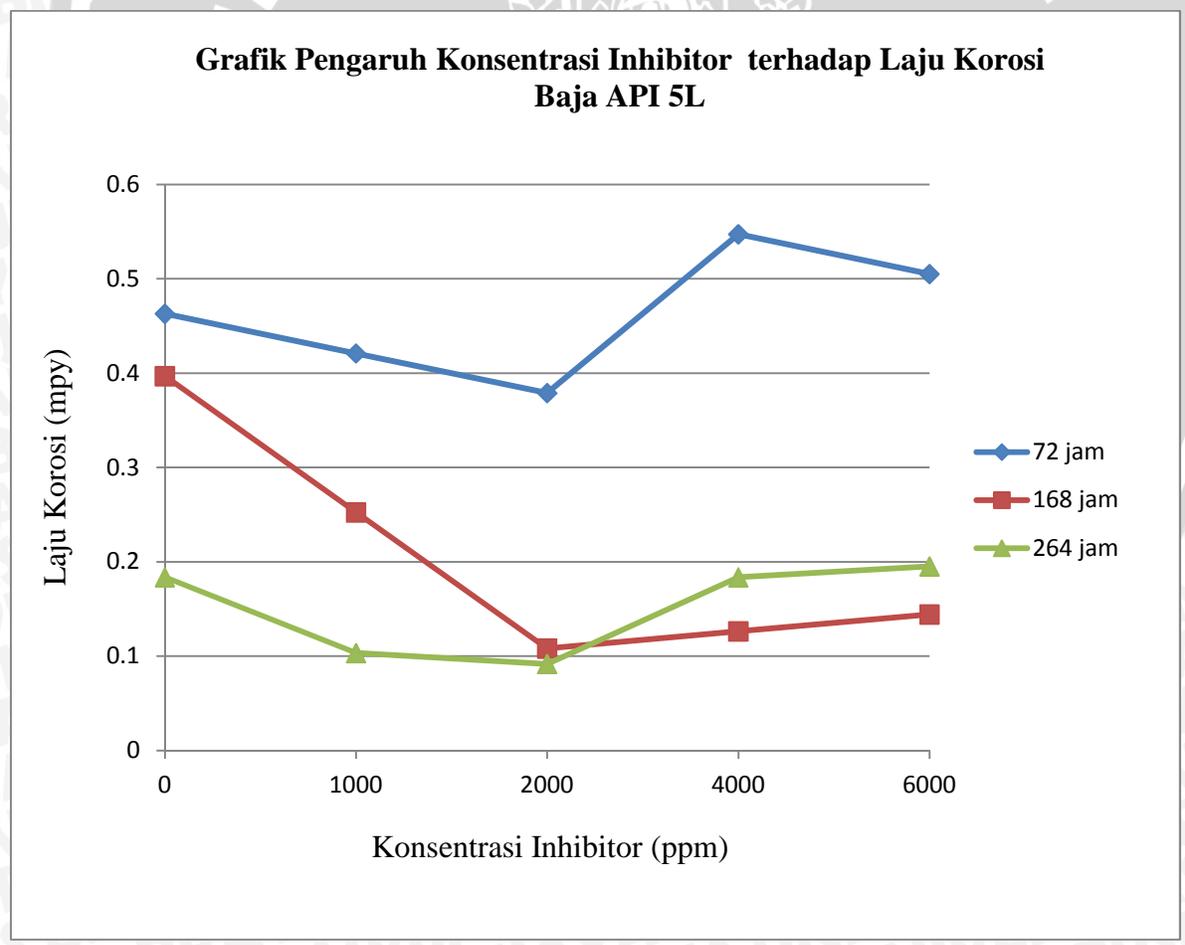
Tabel 4.2 Efisiensi Inhibitor pada Variasi Konsentrasi

No.	Waktu Perendaman (jam)	Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Laju Korosi (mpy)	Efisiensi Inhibitor (%)
1	72	0	0.463064646	0
2		1000	0.42096786	9.090909091
3		2000	0.378871074	18.18181818
4		4000	0.547258218	-18.18181818
5		6000	0.505161432	-9.090909091
6	168	0	0.396912554	0
7		1000	0.252580716	36.36363636
8		2000	0.108248878	72.72727273

9		4000	0.126290358	68.18181818
10		6000	0.144331838	63.63636364
11		0	0.183695066	0
12		1000	0.103328475	43.75
13	264	2000	0.091847533	50
14		4000	0.183695066	0
15		6000	0.195176008	-6.25

4.3 Analisa Data dan Pembahasan

4.3.1 Laju Korosi Baja API 5L Grade B Schedule 80 dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor



Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Konsentrasi Inhibitor terhadap Laju Korosi Baja API 5L

Dari grafik dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya konsentrasi inhibitor maka laju korosi semakin menurun sampai dengan inhibitor dengan konsentrasi 2000 ppm. Hal ini menunjukkan semakin bertambahnya konsentrasi inhibitor, maka laju korosi akan semakin menurun. Pada uji korosi tanpa menggunakan inhibitor, laju korosi sebesar 0.463064646 untuk waktu perendaman 72 jam, 0.396912554 untuk waktu perendaman 168 jam, dan 0.183695066 untuk waktu perendaman 264 jam. Kemudian ditambahkan inhibitor sebagai penghambat laju korosi. Laju korosi semakin menurun dengan bertambahnya konsentrasi inhibitor. Pada konsentrasi inhibitor 1000 ppm laju korosi sebesar 0.42096786 untuk waktu perendaman 72 jam, 0.252580716 untuk waktu perendaman 168 jam, dan sebesar 0.103328475 untuk waktu perendaman 264 jam. Pada konsentrasi inhibitor 2000 ppm, laju korosi kembali mengalami penurunan, yaitu sebesar 0.378871074 untuk waktu perendaman 72 jam, 0.108248878 untuk waktu perendaman 168 jam, dan sebesar 0.091847533 untuk waktu perendaman 264 jam. Namun untuk penambahan konsentrasi melebihi 2000 ppm, laju korosi sudah tidak teratur. Dapat dilihat pada grafik untuk konsentrasi inhibitor 4000 dan 6000 ppm laju korosi mengalami kenaikan dan penurunan yang tidak teratur.

Saat baja direndam selama 72 jam atau 3 hari, laju korosi yang terjadi semakin menurun dengan penambahan inhibitor 1000 dan 2000 ppm. Penambahan inhibitor sebesar 4000 ppm, menyebabkan laju korosi naik melebihi laju korosi tanpa inhibitor. Hal ini disebabkan reaksi antara NaCl dan inhibitor lebih reaktif dibandingkan dengan konsentrasi inhibitor yang lain. Sehingga menyebabkan ion Fe^{2+} yang teroksidasi semakin banyak dan menyebabkan *metal dissolution* yang terjadi semakin besar. Kondisi ini menyebabkan logam kembali ke daerah aktif korosi. Untuk penambahan inhibitor sebesar 6000 ppm, laju korosi yang terjadi juga lebih besar daripada laju korosi tanpa inhibitor namun lebih kecil daripada dengan penambahan inhibitor 4000 ppm. Hal ini terjadi karena reaksi antara NaCl dan inhibitor lebih reaktif, namun ion Fe^{2+} yang teroksidasi tidak seoptimal dibandingkan dengan penambahan inhibitor 4000 ppm. Sehingga laju korosi yang terjadi lebih besar daripada tanpa penambahan inhibitor tapi lebih kecil dibandingkan dengan penambahan inhibitor 4000 ppm.

Pada waktu perendaman 168 jam atau 7 hari, laju korosi semakin menurun dengan penambahan inhibitor 1000 dan 2000 ppm. Penambahan inhibitor sebesar 4000 dan 6000 ppm menyebabkan laju korosi mengalami kenaikan dibandingkan dengan penambahan inhibitor

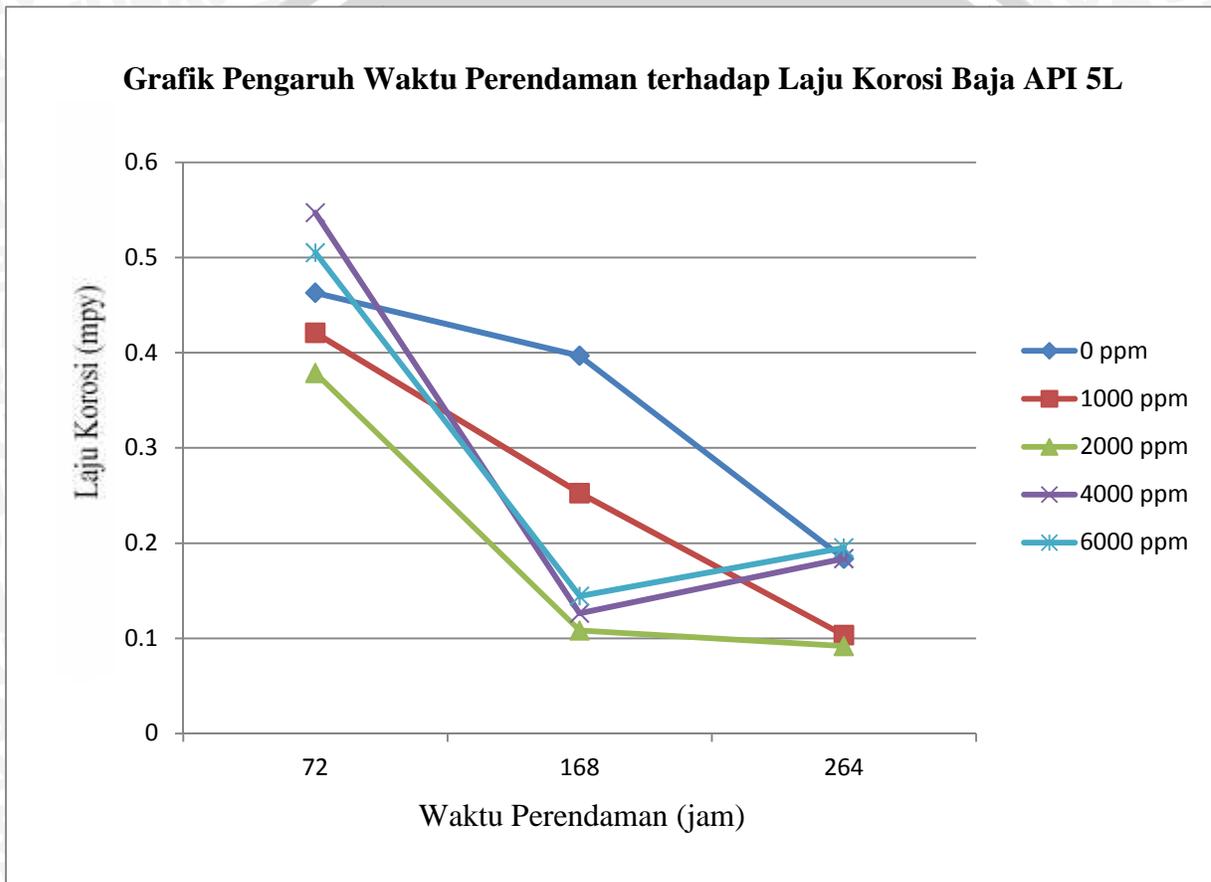
2000 ppm. Hal ini disebabkan reaksi antara NaCl dan inhibitor lebih reaktif dibandingkan dengan konsentrasi 2000 ppm. Sehingga menyebabkan ion Fe^{2+} yang teroksidasi semakin banyak dan menyebabkan *metal dissolution* yang terjadi semakin besar. Kondisi ini menyebabkan logam kembali ke daerah aktif korosi. Oksidasi ion Fe^{2+} yang terbesar terjadi pada penambahan inhibitor 6000 ppm, sehingga laju korosi pada penambahan inhibitor 6000 ppm lebih besar daripada penambahan inhibitor 4000 ppm.

Waktu perendaman 264 jam atau 11 hari, laju korosi yang terjadi semakin menurun dengan penambahan inhibitor 1000 dan 2000 ppm. Penambahan inhibitor sebesar 4000 dan 6000 ppm menyebabkan laju korosi mengalami kenaikan dibandingkan dengan penambahan inhibitor 2000 ppm. Pada penambahan inhibitor 4000 ppm laju korosi yang terjadi sama dengan laju korosi tanpa penambahan inhibitor. Pada penambahan inhibitor 6000 ppm laju korosi melebihi laju korosi tanpa penambahan inhibitor. Hal ini disebabkan reaksi antara NaCl dan inhibitor lebih reaktif dibandingkan dengan konsentrasi 2000 ppm. Sehingga menyebabkan ion Fe^{2+} yang teroksidasi semakin banyak dan menyebabkan *metal dissolution* yang terjadi semakin besar. Kondisi ini menyebabkan logam kembali ke daerah aktif korosi.

Dengan semakin bertambahnya konsentrasi inhibitor, maka semakin berkurang laju korosi yang terjadi. Hal itu dikarenakan terbentuknya lapisan pelindung yang diakibatkan oleh penambahan inhibitor dari ekstrak daun jambu biji yang mengandung senyawa tanin. Karena adanya senyawa tanin di dalam ekstrak daun jambu biji yang dapat membentuk senyawa kompleks dengan Fe di permukaan logam, sehingga laju reaksi korosi akan mengalami penurunan. Senyawa kompleks ini akan menghalangi serangan ion-ion korosif pada permukaan logam, sehingga laju korosi akan menurun. Hal ini terjadi pada uji korosi dengan penambahan inhibitor ekstrak daun jambu biji dengan konsentrasi 1000 dan 2000 ppm pada semua waktu perendaman. Untuk konsentrasi melebihi 2000 ppm, laju korosi sudah tidak teratur. Hal ini disebabkan penambahan inhibitor korosi yang terlalu banyak, sehingga larutan menjadi terlalu pekat dan menyebabkan lapisan Fe-Tanin ekstrak tidak bisa menutupi seluruh permukaan baja, sehingga pada bagian yang tidak tertutupi Fe dapat ter-ion dan mengalami korosi. Selain itu, ada pengotor-pengotor pada ekstrak tanin yang menempel pada permukaan baja juga mempengaruhi cepatnya korosi. Ini terjadi pada penambahan inhibitor korosi dengan konsentrasi 4000 dan 6000 ppm.

Laju korosi yang paling kecil terjadi pada konsentrasi inhibitor 2000 ppm dengan waktu perendaman 264 jam. Dan untuk laju korosi paling besar terjadi pada konsentrasi inhibitor 4000 ppm dengan waktu perendaman 72 jam. Secara keseluruhan laju korosi paling kecil terjadi pada konsentrasi inhibitor 2000 ppm dengan semua waktu perendaman. Jadi dapat disarankan untuk mengurangi laju korosi baja API 5L *Grade B Schedule 80* dalam larutan NaCl 35% dapat digunakan inhibitor ekstrak daun jambu biji dengan konsentrasi 2000 ppm.

4.3.2 Laju Korosi Baja API 5L *Grade B Schedule 80* dengan Variasi Waktu Perendaman



Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Waktu Perendaman terhadap Laju Korosi Baja API 5L

Grafik diatas menunjukkan bahwa waktu perendaman juga berpengaruh dengan laju korosi. Semakin lama waktu perendaman, semakin kecil pula laju korosi yang terjadi. Namun hal tersebut hanya terjadi pada uji korosi tanpa menggunakan inhibitor dan dengan penggunaan inhibitor sampai dengan konsentrasi 2000 ppm. Untuk konsentrasi lebih dari 2000

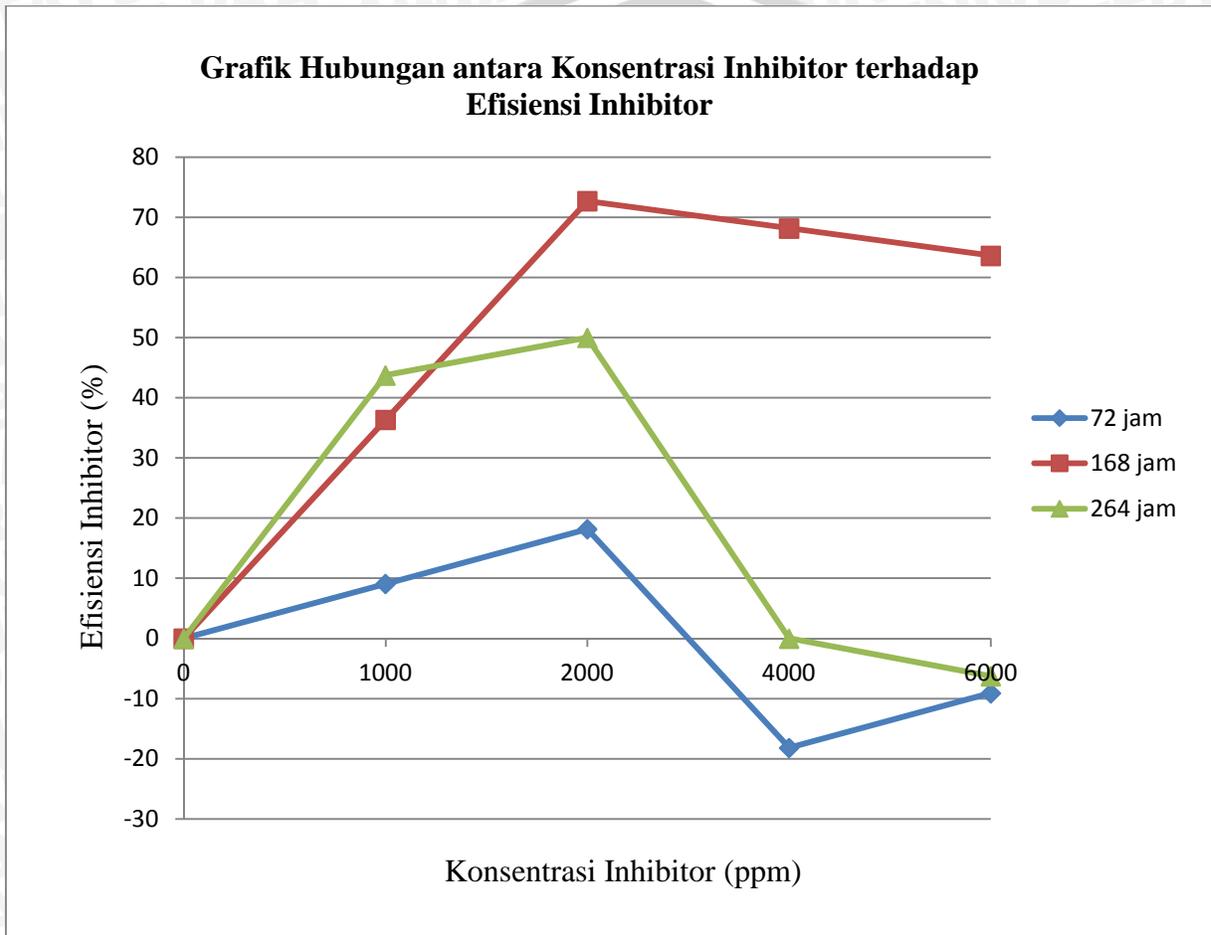
ppm, laju korosi kembali naik setelah perendaman dengan waktu 168 jam. Laju korosi pada waktu perendaman 72 jam sebesar 0.463064646 tanpa penambahan inhibitor, 0.42096786 dengan inhibitor 1000 ppm, dan sebesar 0.378871074 dengan penambahan inhibitor 2000 ppm. Laju korosi mengalami penurunan pada waktu perendaman 168 jam. Laju korosi sebesar 0.396912554 tanpa penambahan inhibitor, 0.252580716 dengan inhibitor 1000 ppm, 0.108248878 dengan inhibitor 2000 ppm. Pada waktu perendaman 264 jam laju korosi kembali mengalami penurunan, yaitu sebesar 0.183695066 tanpa penambahan inhibitor, 0.103328475 dengan inhibitor 1000 ppm, dan sebesar 0.091847533 dengan inhibitor 2000 ppm.

Semakin lama waktu perendaman, semakin menurun pula laju korosi yang terjadi. Ini disebabkan karena ini terjadi karena semakin lama waktu perendaman spesimen, spesimen dapat mengalami pasifasi sehingga akan terbentuk lapisan pasif yang relatif banyak sehingga ion-ion korosif sukar masuk. Lapisan ini bisa rusak dengan adanya ion korosif namun dapat memperbaiki lagi secara spontan. Namun bisa juga terjadi karena penambahan inhibitor korosi. Karena adanya senyawa tanin dalam ekstrak daun jambu biji yang dapat membentuk senyawa kompleks dengan Fe di permukaan logam, sehingga laju reaksi korosi akan mengalami penurunan. Senyawa kompleks ini akan menghalangi serangan ion-ion korosif pada permukaan logam, sehingga laju reaksi korosi akan menurun. Ini hanya terjadi pada uji korosi tanpa inhibitor dan penambahan inhibitor 1000 dan 2000 ppm. Untuk uji korosi dengan inhibitor 4000 dan 6000 ppm laju korosi mengalami kenaikan. Hal tersebut disebabkan reaksi antara NaCl dan inhibitor lebih reaktif dibandingkan dengan konsentrasi inhibitor yang lain. Sehingga menyebabkan ion Fe^{2+} yang teroksidasi semakin banyak dan menyebabkan *metal dissolution* yang terjadi semakin besar. Kondisi ini menyebabkan logam kembali ke daerah aktif korosi. Atau bisa juga disebabkan penambahan inhibitor korosi yang terlalu banyak, sehingga larutan menjadi terlalu pekat dan menyebabkan lapisan Fe-Tanin ekstrak tidak bisa menutupi seluruh permukaan baja, sehingga pada bagian yang tidak tertutupi Fe dapat ter-ion dan mengalami korosi.

Untuk pengujian korosi dengan menggunakan inhibitor ekstrak daun jambu biji, waktu perendaman juga berpengaruh dengan laju korosi yang terjadi. Semakin lama waktu perendaman, semakin kecil pula laju korosi yang terjadi. Namun hal tersebut hanya terjadi

dengan penambahan inhibitor sampai dengan 2000 ppm. Untuk penambahan inhibitor melebihi 2000 ppm, laju korosi yang terjadi sudah tidak teratur dan cenderung mengalami kenaikan.

4.3.3 Efisiensi Inhibitor

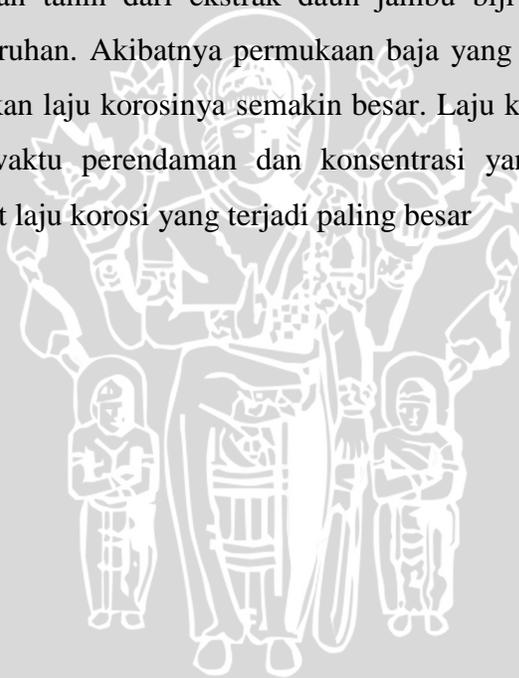


Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Konsentrasi Inhibitor terhadap Efisiensi Inhibitor

Mekanisme kerja inhibitor ekstrak daun jambu biji adalah melalui pembentukan lapisan molekul-molekul tunggal dari inhibitor yang teradsorpsi pada permukaan logam sehingga membentuk lapisan yang dapat menghambat korosi. Hal ini menyebabkan laju korosi yang terjadi mengalami penurunan sehingga efisiensi inhibitor yang digunakan semakin bertambah

Dari gambar 4.4 diatas dapat dijelaskan bahwa efisiensi inhibitor cenderung naik dengan penambahan konsentrasi inhibitor. Efisiensi inhibitor cenderung berbeda-beda tergantung konsentrasi dan waktu perendamannya. Pada grafik dapat dilihat efisiensi terbesar terjadi pada konsentrasi inhibitor 2000 ppm. Waktu perendaman 72 jam, efisiensi inhibitorynya sebesar 18.18 %. Waktu perendaman 168 jam, efisiensi inhibitorynya sebesar 72.72 %. Dan pada waktu perendaman 264 jam, efisiensi inhibitorynya sebesar 50 %. Efisiensi inhibitor terbesar didapatkan pada waktu perendaman 168 jam dengan konsentrasi inhibitor 2000 ppm yaitu sebesar 72.72 %. Hal ini disebabkan karena pada kondisi tersebut senyawa kompleks Fe-tanin terbentuk dengan sempurna dan menutupi seluruh permukaan baja.

Efisiensi terendah terjadi pada waktu perendaman 72 jam dengan konsentrasi inhibitor 4000 ppm. Hal ini disebabkan tanin dari ekstrak daun jambu biji tidak dapat menutupi permukaan baja secara keseluruhan. Akibatnya permukaan baja yang tidak tertutupi tersebut terkena korosi dan menyebabkan laju korosinya semakin besar. Laju korosi yang terjadi yang paling besar dibandingkan waktu perendaman dan konsentrasi yang lain. Dan efisiensi inhibitorynya paling kecil akibat laju korosi yang terjadi paling besar



BAB V

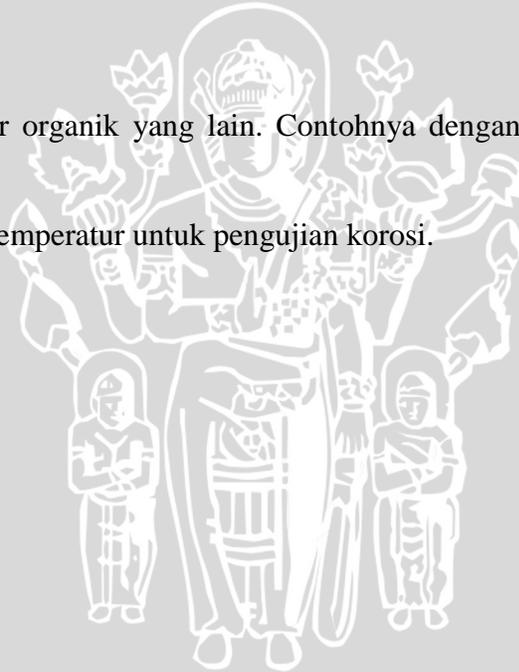
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Konsentrasi inhibitor dan waktu perendaman berpengaruh terhadap laju korosi yang terjadi. Semakin tinggi konsentrasi inhibitor yang ditambahkan, semakin kecil laju korosi yang terjadi. Tapi hanya terjadi sampai konsentrasi inhibitor 2000 ppm, untuk konsentrasi inhibitor 4000 dan 6000 ppm laju korosinya kembali naik. Semakin lama waktu perendaman, semakin kecil laju korosi yang terjadi.
2. Konsentrasi inhibitor yang optimal untuk menghambat laju korosi adalah 2000 ppm.

5.2 Saran

1. Menggunakan inhibitor organik yang lain. Contohnya dengan menggunakan ekstrak daun putri malu.
2. Menggunakan variasi temperatur untuk pengujian korosi.



DAFTAR PUSTAKA

- ASTM G1. *Standart practice for preparing, cleaning, and evaluation corrosion test specimens*. ASTM international. 1999.
- Buckle, K. A., R. A. Edwards, G. H. Fleet dan M. Wooton. 1985. *Ilmu Pangan*. Diterjemahkan oleh H. Purnomo dan Adiono. UI – Press. Jakarta.
- Fathonah, Ahmad. 2012. Pengenalan korosi dan penyebab-penyebab korosi. <http://mechanicalengboy.wordpress.com/2012/12/23/pengenalan-korosi-dan-penyebab-penyebab-korosi-part-1/> (diakses 01 Desember 2013)
- Fathobah, Ahmad. 2012. Jenis-jenis korosi (part 2). <http://mechanicalengboy.wordpress.com/2012/12/23/jenis-jenis-korosi-part-2/> (diakses 01 Desember 2013)
- Febrianto dkk., 2010. Analisis Laju Korosi dengan Penambahan Inhibitor Korosi pada Pipa Sekunder Reaktor RSG-GAS. STTN-BATAN & Fak. Saintek UIN SUKA
- Firmansyah, Dede., 2011. *Studi Inhibisi Korosi Baja Karbon Dalam Larutan Asam IM HCl Oleh Ekstrak Daun Sirsak (Annona Muricita)*. Departemen Metalurgi dan Material. Universitas Indonesia, Depok.
- Info buah jambu. 2013. Ada khasiat dibalik daun jambu biji. <http://infobuahjambu.blogspot.com/2013/02/ada-khasiat-di-balik-daun-jambu-biji.html> (diakses tanggal 01 desember 2013)
- J.E.I. Metallurgical, INC. 2004. *Hurricane surge corrosion failure analysis*. <http://www.metallurgist.com/html/corrosion.htm> (diakses tanggal 01 Desember 2013)
- Laboratorium Proses Produksi 1 Universitas Brawijaya
- Laboratorium metalurgi fisik Universitas Brawijaya
- Rukawa. 2012. Korosi. <http://mechanicalvian.blogspot.com/2010/08/korosi.html> (diakses tanggal 01 Desember 2013)
- Irianty, Rozanna Sri. 2013. *Ekstraksi daun gambir menggunakan pelarut methanol-air sebagai inhibitor korosi*. *Jurnal teknobiologi*. Universitas Riau
- The Multimedia Corrosion Guide*. 2012. *Stress Corrosion Cracking (SCC)*. http://www.cdcorrosion.com/mode_corrosion/stress_corrosion_cracking.htm (diakses tanggal 01 Desember 2013)

Wordpress. 2011. *Erosion Corrosion*. <http://pipingbloging.wordpress.com/category/korosi/>

(diakses tanggal 01 Desember 2013)



LAMPIRAN 1
SERTIFIKAT BAHAN



MILL TEST CERTIFICATE (EN10204/3.1.B)

CUSTOMER:

PRODUCT: CARBON STEEL SEAMLESS PIPE

INVOICE NO.: SY061

CERT. NO.: 701-112

SPEC: ASTM A106 GR.B/ASTM A53 GR.B/API 5L GR.B

PACKING IN BUNDLES

NO.	HEAT NO. 炉号	BATCH NO. 批号	STEEL GRADE 钢号	SIZE Mm 尺寸	PIECES 支数	WEIGHT kg 重量	CHEMICAL COMPOSITION% 化学成分									
							C	Mn	S	P	SI	Cr	Ni	Cu	Mo	V
1	WB6-9510	0612302	20#	1-1/2"*SCH80*6000MM ✓	366	11210	0.20	0.55	0.011	0.007	0.22	0.03	0.05	0.10	-	-
2	WB6-9215	0612303	20#	2"*SCH40*6000MM	1647	52100	0.19	0.50	0.008	0.013	0.21	0.03	0.05	0.02	-	-
3	WB6-1439	0612304	20#	2"*SCH80*6000MM	463	20230	0.18	0.54	0.007	0.006	0.20	0.05	0.03	0.03	-	-
4	WB6-9784	0612305	20#	2-1/2"*SCH40*6000MM	555	27410	0.23	0.50	0.007	0.015	0.25	0.01	0.02	0.02	-	-
5	WB6-9784	0612306	20#	2-1/2"*SCH80*6000MM	285	19380	0.22	0.51	0.010	0.011	0.21	0.03	0.02	0.05	-	-

MECHANICAL PROPERTIES 机械性能

TECHNOLOGICAL PROPERTIES 技术性能

NONDESTR- UCTIVE TEST 无损探伤

SURFACE QUALITY 表面质量

DIMENSION TOLERANCE 尺寸公差

NO.	YIELD POINT σ _s MPa 屈服	TENSION σ _b MPa 抗拉	ELONGATION δ ₅ % 延伸	IMPACT TEST	HARDNESS HRB	REVERSE FLATTEN- ING TEST	FLATTE- NING TEST 压扁	FLARING TEST 扩口	100% E.T. 涡流探伤		H.T. 水压	SURFACE QUALITY		DIMENSION TOLERANCE O.D./W.T./L.C. 外径/壁厚/长度
									IN 内部	OUT 外部		IN 内部	OUT 外部	
1	320/325	475/480	33/34	--	--	--	GOOD	GOOD	GOOD	--	GOOD	GOOD	GOOD	
2	325/320	475/480	34/33	--	--	--	GOOD	GOOD	GOOD	--	GOOD	GOOD	GOOD	
3	315/320	465/470	35/34	--	--	--	GOOD	GOOD	GOOD	--	GOOD	GOOD	GOOD	
4	335/330	485/480	32/32	--	--	--	GOOD	GOOD	GOOD	--	GOOD	GOOD	GOOD	
5	320/325	475/480	33/32	--	--	--	GOOD	GOOD	GOOD	--	GOOD	GOOD	GOOD	

REMARKS:

QC MANAGER

STAMPER

TEST REPORT NO. 15151 2007

Specification	API 5L NPS 1/8 -- 26			
Scope	Covers WELDED and SEAMLESS pipe suitable for use in conveying gas, water, and oil in both the oil and natural gas industries.			
Kinds of Steel Permitted For Pipe Material	Open-hearth Basic-oxygen Electric-furnace			
Hot-Dipped Galvanizing	May be ordered galvanized.			
Permissible Variations in Wall Thickness		Grade A, B, A25	X42 through X80	
	NPS 2 1/2 and smaller -- Seamless and welded, %	+20 -- 12.5	+15 -- 12.5	
	NPS 3 -- Seamless and welded, %	+18 -- 12.5	+15 -- 12.5	
	NPS 4 through 18 -- Seamless and welded, %	+15 -- 12.5	+15 -- 12.5	
	NPS 20 and larger -- Welded, %	+17.5 -- 10.0	+19.5 -- 8.0	
NPS 20 and larger -- Seamless, %	+15.0 -- 12.5	+17.5 -- 10.0		
Chemical Requirements		C max %	Mn max %	
		P max %	S max %	
	Seamless or ERW			
	Grade A	0.25	0.95	
Grade B	0.30	1.20		
Continuous-weld	-	-		
		0.05	0.06	
		0.05	0.06	
		0.08	0.06	
Tensile Requirements	Lists minimum yield and tensile strength for all grades as well as a maximum tensile strength for X80. Maximum yield-to-tensile ratios outlined for cold-expanded pipe--may be waived when a fracture toughness requirement is specified.			
Hydrostatic Testing	Lists hydrostatic inspection test pressures for all sizes and grades covered by the specification.	Test Pressures are held for not less than:		
		Seamless (all sizes) -- 5 seconds	Welded (NPS 18 and smaller) -- 5 seconds (NPS 20 and larger) -- 10 seconds	
Permissible Variations in Weights per Foot	For each length of Standard Weight, Regular Weight, Extra Strong, and Double Extra Strong -- Not more than plus 10% minus 3.5%.	For Special Plain End -- Not more than plus 10% minus 5%.		
		For Carload Lots -- Not more than minus 1.75%.		
Permissible Variations in Outside Diameter	Outside Diameter at any point shall not vary from standard specified more than:	Sizes	Over	
			Under	
		NPS 1 1/2 and smaller	1/64"	1/32"
		NPS 2 through 4	1%	1% (Buttweld Only)
		NPS 2 through 18	.75%	.75%
NPS 20 through 26				
	Non-expanded	1%	1%	
Mechanical Tests Specified	Tensile Test	Bending Test (Cold) -- 2" and smaller Buttweld.		
	Seamless and Buttwelded -- All Sizes -- Longitudinal Specimens	Degree of Bend	Diameter of Mandrel	
	Electric Weld -- NPS 6 and smaller -- Longitudinal NPS 8 and Larger -- Transverse	For all API Uses	90	12 x OD of pipe
Number of Tests Required		On One Length From Each Lot of	Flattening	
	Tensile			
	5 and smaller	40 or less	Non-Expanded Electric-Weld for single lengths crop ends from each length. For multiple lengths, crop ends from each length, plus 2 intermediate rings.	
	6 through 12	200 or less		
	14 and larger	100 or less		
2 and smaller (Buttweld)	25 tons or less			
Bending	1 1/2 and smaller (Buttweld)	50 tons or less		
Lengths		Shortest Length	Shortest Length in 95% of Entire Shipment	
		In Entire Shipment	Minimum Average Length of Entire Shipment	
	Threaded & Coupled Pipe			
	Single Random	16' 0"	18' 0"	--
Double Random	22' 0"	--	35' 0"	
Required Markings on Each Length (On Tags attached to each Bundle in case of Bundled Pipe)	Paint Stenciled or Die Stamped (by agreement). Manufacturer's name or mark. Spec 5L, size, weight per foot, grade, process of manufacture, type of steel, length (NPS 4 and larger only). Test pressure when higher than labulated(NPS 2 and larger only). Heat treat symbols, as applicable -- HN, HS, HA or HQ.			
General Information	Supplementary Requirements available when specified. SR5--Charpy impact Testing--Welded Pipe 20" & larger--Grade X52 or higher. SR3 -- Color Identification. SR6 -- Drop Weight Tear Testing--Welded Pipe 20" & larger--Grade X52 or higher. SR4 -- Nondestructive Inspection of Seamless Pipe. SR8 -- Fracture Tough ness Testing of Line Pipe.			

LAMPIRAN 2 ASTM G1
STANDART PRACTICE FOR PREPARING,
CLEANING, AND EVALUATING CORROSION
TEST SPECIMENS



ASTM G1

Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluation Corrosion Test Specimens





Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens¹

This standard is issued under the fixed designation G 1; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

^{ε1} NOTE—Editorial corrections were made throughout in January 1999.

1. Scope

1.1 This practice covers suggested procedures for preparing bare, solid metal specimens for tests, for removing corrosion products after the test has been completed, and for evaluating the corrosion damage that has occurred. Emphasis is placed on procedures related to the evaluation of corrosion by mass loss and pitting measurements.

NOTE 1—**Caution:** In many cases the corrosion product on the reactive metals titanium and zirconium is a hard and tightly bonded oxide that defies removal by chemical or ordinary mechanical means. In many such cases, corrosion rates are established by mass gain rather than mass loss.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* For specific precautionary statements, see Note 1 and Note 6.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- A 262 Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels²
- D 1193 Specification for Reagent Water³
- D 1384 Test Method for Corrosion Test for Engine Coolants in Glassware⁴
- D 2776 Test Methods for Corrosivity of Water in the Absence of Heat Transfer (Electrical Methods)⁵
- G 15 Terminology Relating to Corrosion and Corrosion Testing⁶
- G 16 Guide for Applying Statistics to Analysis of Corrosion Data⁶

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee G-1 on Corrosion of Metals and is the direct responsibility of Subcommittee G01.05 on Laboratory Corrosion Tests.

Current edition approved March 30, 1990. Published May 1990. Originally published as G 1 – 67. Last previous edition G 1 – 88.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.03.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 11.01.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 15.05.

⁵ *Discontinued*—Replaced by Guide G 96. See 1990 *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.02.

⁶ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.02.

G 31 Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals⁶

G 33 Practice for Recording Data from Atmospheric Corrosion Tests of Metallic-Coated Steel Specimens⁶

G 46 Guide for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion⁶

G 50 Practice for Conducting Atmospheric Corrosion Tests on Metals⁶

G 78 Guide for Crevice Corrosion Testing of Iron Base and Nickel Base Stainless Alloys in Seawater and Other Chloride-Containing Aqueous Environments⁶

3. Terminology

3.1 See Terminology G 15 for terms used in this practice.

4. Significance and Use

4.1 The procedures given are designed to remove corrosion products without significant removal of base metal. This allows an accurate determination of the mass loss of the metal or alloy that occurred during exposure to the corrosive environment.

4.2 These procedures, in some cases, may apply to metal coatings. However, possible effects from the substrate must be considered.

5. Reagents and Materials

5.1 *Purity of Reagents*—Reagent grade chemicals shall be used in all tests. Unless otherwise indicated, it is intended that all reagents conform to the specifications of the Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society where such specifications are available.⁷ Other grades may be used, provided it is first ascertained that the reagent is of sufficiently high purity to permit its use without lessening the accuracy of the determination.

5.2 *Purity of Water*—Unless otherwise indicated, references to water shall be understood to mean reagent water as defined by Type IV of Specification D 1193.

⁷ *Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications*, American Chemical Society, Washington, DC. For suggestions on the testing of reagents not listed by the American Chemical Society, see *Analar Standards for Laboratory Chemicals*, BDH Ltd., Poole, Dorset, U.K., and the *United States Pharmacopeia and National Formulary*, U.S. Pharmacopeial Convention, Inc. (USPC), Rockville, MD.

6. Methods for Preparing Specimens for Test

6.1 For laboratory corrosion tests that simulate exposure to service environments, a commercial surface, closely resembling the one that would be used in service, will yield the most meaningful results.

6.2 It is desirable to mark specimens used in corrosion tests with a unique designation during preparation. Several techniques may be used depending on the type of specimen and test.

6.2.1 *Stencil or Stamp*—Most metallic specimens may be marked by stenciling, that is, imprinting the designation code into the metal surface using hardened steel stencil stamps hit with a hammer. The resulting imprint will be visible even after substantial corrosion has occurred. However, this procedure introduces localized strained regions and the possibility of superficial iron contamination in the marked area.

6.2.2 Electric engraving by means of a vibratory marking tool may be used when the extent of corrosion damage is known to be small. However, this approach to marking is much more susceptible to having the marks lost as a result of corrosion damage during testing.

6.2.3 Edge notching is especially applicable when extensive corrosion and accumulation of corrosion products is anticipated. Long term atmospheric tests and sea water immersion tests on steel alloys are examples where this approach is applicable. It is necessary to develop a code system when using edge notches.

6.2.4 Drilled holes may also be used to identify specimens when extensive metal loss, accumulation of corrosion products, or heavy scaling is anticipated. Drilled holes may be simpler and less costly than edge notching. A code system must be developed when using drilled holes. Punched holes should not be used as they introduce residual strain.

6.2.5 When it is undesirable to deform the surface of specimens after preparation procedures, for example, when testing coated surfaces, tags may be used for specimen identification. A metal or plastic wire can be used to attach the tag to the specimen and the specimen identification can be stamped on the tag. It is important to ensure that neither the tag nor the wire will corrode or degrade in the test environment. It is also important to be sure that there are no galvanic interactions between the tag, wire, and specimen.

6.3 For more searching tests of either the metal or the environment, standard surface finishes may be preferred. A suitable procedure might be:

6.3.1 Degrease in an organic solvent or hot alkaline cleaner. (See also Practice G 31.)

NOTE 2—Hot alkalis and chlorinated solvents may attack some metals.

NOTE 3—Ultrasonic cleaning may be beneficial in both pre-test and post-test cleaning procedures.

6.3.2 Pickle in an appropriate solution if oxides or tarnish are present. In some cases the chemical cleaners described in Section 6 will suffice.

NOTE 4—Pickling may cause localized corrosion on some materials.

6.3.3 Abrade with a slurry of an appropriate abrasive or with an abrasive paper (see Practices A 262 and Test Method D 1384). The edges as well as the faces of the specimens

should be abraded to remove burrs.

6.3.4 Rinse thoroughly, hot air dry, and store in desiccator.

6.4 When specimen preparation changes the metallurgical condition of the metal, other methods should be chosen or the metallurgical condition must be corrected by subsequent treatment. For example, shearing a specimen to size will cold work and may possibly fracture the edges. Edges should be machined.

6.5 The clean, dry specimens should be measured and weighed. Dimensions determined to the third significant figure and mass determined to the fifth significant figure are suggested. When more significant figures are available on the measuring instruments, they should be recorded.

7. Methods for Cleaning After Testing

7.1 Corrosion product removal procedures can be divided into three general categories: mechanical, chemical, and electrolytic.

7.1.1 An ideal procedure should remove only corrosion products and not result in removal of any base metal. To determine the mass loss of the base metal when removing corrosion products, replicate uncorroded control specimens should be cleaned by the same procedure being used on the test specimen. By weighing the control specimen before and after cleaning, the extent of metal loss resulting from cleaning can be utilized to correct the corrosion mass loss.

NOTE 5—It is desirable to scrape samples of corrosion products before using any chemical techniques to remove them. These scrapings can then be subjected to various forms of analyses, including perhaps X-ray diffraction to determine crystal forms as well as chemical analyses to look for specific corrodants, such as chlorides. All of the chemical techniques that are discussed in Section 7 tend to destroy the corrosion products and thereby lose the information contained in these corrosion products. Care may be required so that uncorroded metal is not removed with the corrosion products.

7.1.2 The procedure given in 7.1.1 may not be reliable when heavily corroded specimens are to be cleaned. The application of replicate cleaning procedures to specimens with corroded surfaces will often, even in the absence of corrosion products, result in continuing mass losses. This is because a corroded surface, particularly of a multiphase alloy, is often more susceptible than a freshly machined or polished surface to corrosion by the cleaning procedure. In such cases, the following method of determining the mass loss due to the cleaning procedure is preferred.

7.1.2.1 The cleaning procedure should be repeated on specimens several times. The mass loss should be determined after each cleaning by weighing the specimen.

7.1.2.2 The mass loss should be graphed as a function of the number of equal cleaning cycles as shown in Fig. 1. Two lines will be obtained: AB and BC. The latter will correspond to corrosion of the metal after removal of corrosion products. The mass loss due to corrosion will correspond approximately to point B.

7.1.2.3 To minimize uncertainty associated with corrosion of the metal by the cleaning method, a method should be chosen to provide the lowest slope (near to horizontal) of line BC.

7.1.3 Repeated treatment may be required for complete

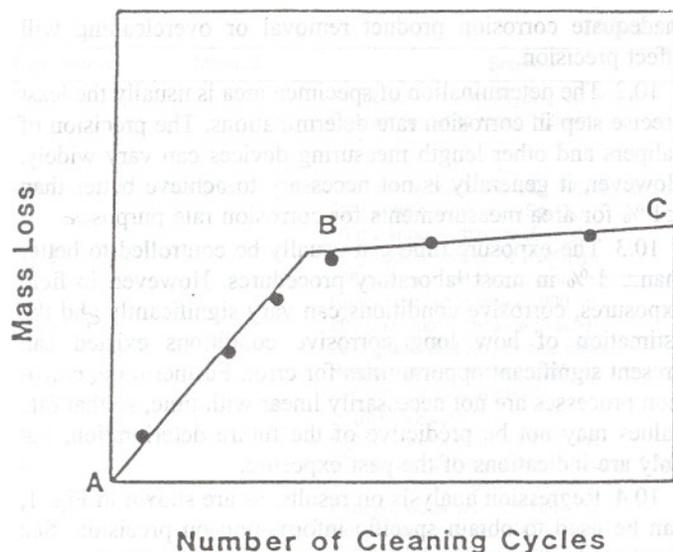


FIG. 1 Mass Loss of Corroded Specimens Resulting from Repetitive Cleaning Cycles

removal of corrosion products. Removal can often be confirmed by examination with a low power microscope (for example, 7× to 30×). This is particularly useful with pitted surfaces when corrosion products may accumulate in pits. This repeated treatment may also be necessary because of the requirements of 7.1.2.1. Following the final treatment, the specimens should be thoroughly rinsed and immediately dried.

7.1.4 All cleaning solutions shall be prepared with water and reagent grade chemicals.

7.2 Chemical procedures involve immersion of the corrosion test specimen in a specific solution that is designed to remove the corrosion products with minimal dissolution of any base metal. Several procedures are listed in Table A1.1. The choice of chemical procedure to be used is partly a matter of trial and error to establish the most effective method for a specific metal and type of corrosion product scale.

NOTE 6—**Caution:** These methods may be hazardous to personnel.

7.2.1 Chemical cleaning is often preceded by light brushing (non metallic bristle) or ultrasonic cleaning of the test specimen to remove loose, bulky corrosion products.

7.2.2 Intermittent removal of specimens from the cleaning solution for light brushing or ultrasonic cleaning can often facilitate the removal of tightly adherent corrosion products.

7.2.3 Chemical cleaning is often followed by light brushing or ultrasonic cleaning in reagent water to remove loose products.

7.3 Electrolytic cleaning can also be utilized for removal of corrosion products. Several useful methods for corrosion test specimens of iron, cast iron, or steel are given in Table A2.1.

7.3.1 Electrolytic cleaning should be preceded by brushing or ultrasonic cleaning of the test specimen to remove loose, bulky corrosion products. Brushing or ultrasonic cleaning should also follow the electrolytic cleaning to remove any loose slime or deposits. This will help to minimize any redeposition of metal from reducible corrosion products that would reduce the apparent mass loss.

7.4 Mechanical procedures can include scraping, scrubbing, brushing, ultrasonic cleaning, mechanical shocking, and im-

pect blasting (for example, grit blasting, water-jet blasting, and so forth). These methods are often utilized to remove heavily encrusted corrosion products. Scrubbing with a nonmetallic bristle brush and a mild abrasive-distilled water slurry can also be used to remove corrosion products.

7.4.1 Vigorous mechanical cleaning may result in the removal of some base metal; therefore, care should be exercised. These should be used only when other methods fail to provide adequate removal of corrosion products. As with other methods, correction for metal loss due to the cleaning method is recommended. The mechanical forces used in cleaning should be held as nearly constant as possible.

8. Assessment of Corrosion Damage

8.1 The initial total surface area of the specimen (making corrections for the areas associated with mounting holes) and the mass lost during the test are determined. The average corrosion rate may then be obtained as follows:

$$\text{Corrosion Rate} = (K \times W) / (A \times T \times D) \quad (1)$$

where:

- K = a constant (see 8.1.2),
- T = time of exposure in hours,
- A = area in cm²,
- W = mass loss in grams, and
- D = density in g/cm³ (see Appendix X1).

8.1.1 Corrosion rates are not necessarily constant with time of exposure. See Practice G 31 for further guidance.

8.1.2 Many different units are used to express corrosion rates. Using the units in 7.1 for T, A, W, and D, the corrosion rate can be calculated in a variety of units with the following appropriate value of K:

Corrosion Rate Units Desired	Constant (K) in Corrosion Rate Equation
mils per year (mpy)	3.45 × 10 ⁶
inches per year (ipy)	3.45 × 10 ³
inches per month (ipm)	2.87 × 10 ²
millimeters per year (mm/y)	8.76 × 10 ⁴
micrometers per year (um/y)	8.76 × 10 ⁷
picometers per second (pm/s)	2.78 × 10 ⁶
grams per square meter per hour (g/m ² -h)	1.00 × 10 ⁴ × D
milligrams per square decimeter per day (mdd)	2.40 × 10 ⁶ × D
micrograms per square meter per second (µg/m ² -s)	2.78 × 10 ⁶ × D

NOTE 7—If desired, these constants may also be used to convert corrosion rates from one set of units to another. To convert a corrosion rate in units X to a rate in units Y, multiply by K_Y/K_X; for example:

$$15 \text{ mpy} = 15 \times (2.78 \times 10^6) / (3.45 \times 10^6) \text{ pm/s} \quad (2)$$

8.2 Corrosion rates calculated from mass losses can be misleading when deterioration is highly localized, as in pitting or crevice corrosion. If corrosion is in the form of pitting, it may be measured with a depth gage or micrometer calipers with pointed anvils (see Guide G 46). Microscopical methods will determine pit depth by focusing from top to bottom of the pit when it is viewed from above (using a calibrated focusing knob) or by examining a section that has been mounted and metallographically polished. The pitting factor is the ratio of the deepest metal penetration to the average metal penetration (as measured by mass loss).

NOTE 8—See Guide G 46 for guidance in evaluating depths of pitting.

NOTE 9—See Guide G 78 for guidance in evaluating crevice corrosion.

8.3 Other methods of assessing corrosion damage are:

8.3.1 *Appearance*—The degradation of appearance by rusting, tarnishing, or oxidation. (See Practice G 33.)

8.3.2 *Mechanical Properties*—An apparent loss in tensile strength will result if the cross-sectional area of the specimen (measured before exposure to the corrosive environment) is reduced by corrosion. (See Practice G 50.) Loss in tensile strength will result if a compositional change, such as dealloying taking place. Loss in tensile strength and elongation will result from localized attack, such as cracking or intergranular corrosion.

8.3.3 *Electrical Properties*—Loss in electrical conductivity can be measured when metal loss results from uniform corrosion. (See Test Methods D 2776.)

8.3.4 *Microscopical Examination*—Dealloying, exfoliation, cracking, or intergranular attack may be detected by metallographic examination of suitably prepared sections.

9. Report

9.1 The report should include the compositions and sizes of specimens, their metallurgical conditions, surface preparations, and cleaning methods as well as measures of corrosion damage, such as corrosion rates (calculated from mass losses), maximum depths of pitting, or losses in mechanical properties.

10. Precision and Bias

10.1 The factors that can produce errors in mass loss measurement include improper balance calibration and standardization. Generally, modern analytical balances can determine mass values to ± 0.2 mg with ease and balances are available that can obtain mass values to ± 0.02 mg. In general, mass measurements are not the limiting factor. However,

inadequate corrosion product removal or overcleaning will affect precision.

10.2 The determination of specimen area is usually the least precise step in corrosion rate determinations. The precision of calipers and other length measuring devices can vary widely. However, it generally is not necessary to achieve better than $\pm 1\%$ for area measurements for corrosion rate purposes.

10.3 The exposure time can usually be controlled to better than $\pm 1\%$ in most laboratory procedures. However, in field exposures, corrosive conditions can vary significantly and the estimation of how long corrosive conditions existed can present significant opportunities for error. Furthermore, corrosion processes are not necessarily linear with time, so that rate values may not be predictive of the future deterioration, but only are indications of the past exposure.

10.4 Regression analysis on results, as are shown in Fig. 1, can be used to obtain specific information on precision. See Guide G 16 for more information on statistical analysis.

10.5 Bias can result from inadequate corrosion product removal or metal removal caused by overcleaning. The use of repetitive cleaning steps, as shown in Fig. 1, can minimize both of these errors.

10.5.1 Corrosion penetration estimations based on mass loss can seriously underestimate the corrosion penetration caused by localized processes, such as pitting, cracking, crevice corrosion, and so forth.

11. Keywords

11.1 cleaning; corrosion product removal; evaluation; mass loss; metals; preparation; specimens

ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. CHEMICAL CLEANING PROCEDURES

TABLE A1.1 CHEMICAL CLEANING PROCEDURES FOR REMOVAL OF CORROSION PRODUCTS

Designation	Material	Solution	Time	Temperature	Remarks
C.1.1	Aluminum and Aluminum Alloys	50 mL phosphoric acid (H_3PO_4 , sp gr 1.69) 20 g chromium trioxide (CrO_3) Reagent water to make 1000 mL	5 to 10 min	90°C to Boiling	If corrosion product films remain, rinse, then follow with nitric acid procedure (C.1.2).
C.1.2		Nitric acid (HNO_3 , sp gr 1.42)	1 to 5 min	20 to 25°C	Remove extraneous deposits and bulky corrosion products to avoid reactions that may result in excessive removal of base metal.
C.2.1	Copper and Copper Alloys	500 mL hydrochloric acid (HCl, sp gr 1.19) Reagent water to make 1000 mL	1 to 3 min	20 to 25°C	Deaeration of solution with purified nitrogen will minimize base metal removal.
C.2.2		4.9 g sodium cyanide (NaCN) Reagent water to make 1000 mL	1 to 3 min	20 to 25°C	Removes copper sulfide corrosion products that may not be removed by hydrochloric acid treatment (C.2.1).
C.2.3		100 mL sulfuric acid (H_2SO_4 , sp gr 1.84) Reagent water to make 1000 mL	1 to 3 min	20 to 25°C	Remove bulky corrosion products before treatment to minimize copper redeposition on specimen surface.
C.2.4		120 mL sulfuric acid (H_2SO_4 , sp gr 1.84) 30 g sodium dichromate ($Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$) Reagent water to make 1000 mL	5 to 10 s	20 to 25°C	Removes redeposited copper resulting from sulfuric acid treatment.

TABLE A1.1 *Continued*

Designation	Material	Solution	Time	Temperature	Remarks
C.2.5		54 mL sulfuric acid (H ₂ SO ₄ , sp gr 1.84) Reagent water to make 1000 mL	30 to 60 min	40 to 50°C	Deaerate solution with nitrogen. Brushing of test specimens to remove corrosion products followed by re-immersion for 3 to 4 s is recommended.
C.3.1	Iron and Steel	1000 mL hydrochloric acid (HCl, sp gr 1.19) 20 g antimony trioxide (Sb ₂ O ₃) 50 g stannous chloride (SnCl ₂)	1 to 25 min	20 to 25°C	Solution should be vigorously stirred or specimen should be brushed. Longer times may be required in certain instances.
C.3.2		50 g sodium hydroxide (NaOH) 200 g granulated zinc or zinc chips Reagent water to make 1000 mL	30 to 40 min	80 to 90°C	Caution should be exercised in the use of any zinc dust since spontaneous ignition upon exposure to air can occur.
C.3.3		200 g sodium hydroxide (NaOH) 20 g granulated zinc or zinc chips Reagent water to make 1000 mL	30 to 40 min	80 to 90°C	Caution should be exercised in the use of any zinc dust since spontaneous ignition upon exposure to air can occur.
C.3.4		200 g diammonium citrate (NH ₄) ₂ HC ₆ H ₅ O ₇) Reagent water to make 1000 mL	20 min	75 to 90°C	Depending upon the composition of the corrosion product, attack of base metal may occur.
C.3.5		500 mL hydrochloric acid (HCl, sp gr 1.19) 3.5 g hexamethylene tetramine Reagent water to make 1000 mL	10 min	20 to 25°C	Longer times may be required in certain instances.
C.3.6		Molten caustic soda (NaOH) with 1.5–2.0 % sodium hydride (NaH)	1 to 20 min	370°C	For details refer to Technical Information Bulletin SP29-370, "DuPont Sodium Hydride Descaling Process Operating Instructions."
C.4.1	Lead and Lead Alloys	10 mL acetic acid (CH ₃ COOH) Reagent water to make 1000 mL	5 min	Boiling	...
C.4.2		50 g ammonium acetate (CH ₃ COONH ₄) Reagent water to make 1000 mL	10 min	60 to 70°C	...
C.4.3		250 g ammonium acetate (CH ₃ COONH ₄) Reagent water to make 1000 mL	5 min	60 to 70°C	...
C.5.1	Magnesium and Magnesium Alloys	150 g chromium trioxide (CrO ₃) 10 g silver chromate (Ag ₂ CrO ₄) Reagent water to make 1000 mL	1 min	Boiling	The silver salt is present to precipitate chloride.
C.5.2		200 g chromium trioxide (CrO ₃) 10 g silver nitrate (AgNO ₃) 20 g barium nitrate (Ba(NO ₃) ₂) Reagent water to make 1000 mL	1 min	20 to 25°C	The barium salt is present to precipitate sulfate.
C.6.1	Nickel and Nickel Alloys	150 mL hydrochloric acid (HCl, sp gr 1.19) Reagent water to make 1000 mL	1 to 3 min	20 to 25°C	...
C.6.2		100 mL sulfuric acid (H ₂ SO ₄ , sp gr 1.84) Reagent water to make 1000 mL	1 to 3 min	20 to 25°C	...
C.7.1	Stainless Steels	100 mL nitric acid (HNO ₃ , sp gr 1.42) Reagent water to make 1000 mL	20 min	60°C	...
C.7.2		150 g diammonium citrate (NH ₄) ₂ HC ₆ H ₅ O ₇) Reagent water to make 1000 mL	10 to 60 min	70°C	...
C.7.3		100 g citric acid (C ₆ H ₈ O ₇) 50 mL sulfuric acid (H ₂ SO ₄ , sp gr 1.84) 2 g inhibitor (diorthotolyl thiourea or quinoline ethylidide or betanaphthol quinoline) Reagent water to make 1000 mL	5 min	60°C	...
C.7.4		200 g sodium hydroxide (NaOH) 30 g potassium permanganate (KMnO ₄) Reagent water to make 1000 mL <i>followed by</i> 100 g diammonium citrate (NH ₄) ₂ HC ₆ H ₅ O ₇) Reagent water to make 1000 mL	5 min	Boiling	...
C.7.5		100 mL nitric acid (HNO ₃ , sp gr 1.42) 20 mL hydrofluoric acid (HF, sp gr 1.198–48 %) Reagent water to make 1000 mL	5 to 20 min	20 to 25°C	...
C.7.6		200 g sodium hydroxide (NaOH) 50 g zinc powder Reagent water to make 1000 mL	20 min	Boiling	Caution should be exercised in the use of any zinc dust since spontaneous ignition upon exposure to air can occur.
C.8.1	* Tin and Tin Alloys	150 g trisodium phosphate (Na ₃ PO ₄ ·12H ₂ O) Reagent water to make 1000 mL	10 min	Boiling	...
C.8.2		50 mL hydrochloric acid (HCl, sp gr 1.19) Reagent water to make 1000 mL	10 min	20°C	...

TABLE A1.1 *Continued*

Designation	Material	Solution	Time	Temperature	Remarks
C.9.1	Zinc and Zinc Alloys	150 mL ammonium hydroxide (NH ₄ OH, sp gr 0.90) Reagent water to make 1000 mL <i>followed by</i> 50 g chromium trioxide (CrO ₃) 10 g silver nitrate (AgNO ₃) Reagent water to make 1000 mL	5 min 15 to 20 s	20 to 25°C Boiling	... The silver nitrate should be dissolved in water and added to the boiling chromic acid to prevent excessive crystallization of silver chromate. The chromic acid must be sulfate free to avoid attack of the zinc base metal.
C.9.2		100 g ammonium chloride (NH ₄ Cl) Reagent water to make 1000 mL	2 to 5 min	70°C	...
C.9.3		200 g chromium trioxide (CrO ₃) Reagent water to make 1000 mL	1 min	80°C	Chloride contamination of the chromic acid from corrosion products formed in salt environments should be avoided to prevent attack of the zinc base metal.
C.9.4		85 mL hydriodic acid (HI, sp gr 1.5) Reagent water to make 1000 mL	15 s	20 to 25°C	Some zinc base metal may be removed. A control specimen (3.1.1) should be employed.
C.9.5		100 g ammonium persulfate ((NH ₄) ₂ S ₂ O ₈) Reagent water to make 1000 mL	5 min	20 to 25°C	Particularly recommended for galvanized steel.
C.9.6		100 g ammonium acetate (CH ₃ COONH ₄) Reagent water to make 1000 mL	2 to 5 min	70°C	...

A2. ELECTROLYTIC CLEANING PROCEDURES

TABLE A2.1 ELECTROLYTIC CLEANING PROCEDURES FOR REMOVAL OF CORROSION PRODUCTS

Designation	Material	Solution	Time	Temperature	Remarks
E.1.1	Iron, Cast Iron, Steel	75 g sodium hydroxide (NaOH) 25 g sodium sulfate (Na ₂ SO ₄) 75 g sodium carbonate (Na ₂ CO ₃) Reagent water to make 1000 mL	20 to 40 min	20 to 25°C	Cathodic treatment with 100 to 200 A/m ² current density. Use carbon, platinum or stainless steel anode.
E.1.2		28 mL sulfuric acid (H ₂ SO ₄ , sp gr 1.84) 0.5 g inhibitor (diorthotolyl thiourea or quinoline ethylidide or betanaphthol quinoline) Reagent water to make 1000 mL	3 min	75°C	Cathodic treatment with 2000 A/m ² current density. Use carbon, platinum or lead anode.
E.1.3		100 g diammonium citrate ((NH ₄) ₂ HC ₆ H ₅ O ₇) Reagent water to make 1000 mL	5 min	20 to 25°C	Cathodic treatment with 100 A/m ² current density. Use carbon or platinum anode.
E.2.1	Lead and Lead Alloys	28 mL sulfuric acid (H ₂ SO ₄ , sp gr 1.84) 0.5 g inhibitor (diorthotolyl thiourea or quinoline ethylidide or betanaphthol quinoline) Reagent water to make 1000 mL	3 min	75°C	Cathodic treatment with 2000 A/m ² current density. Use carbon, platinum or lead anode.
E.3.1	Copper and Copper Alloys	7.5 g potassium chloride (KCl) Reagent water to make 1000 mL	1 to 3	20 to 25°C	Cathodic treatment with 100 A/m ² current density. Use carbon or platinum anode.
E.4.1	Zinc and Cadmium	50 g dibasic sodium phosphate (Na ₂ HPO ₄) Reagent water to make 1000 mL	5 min	70°C	Cathodic treatment with 110 A/m ² current density. Specimen must be energized prior to immersion. Use carbon, platinum or stainless steel anode.
E.4.2		100 g sodium hydroxide (NaOH) Reagent water to make 1000 mL	1 to 2 min	20 to 25°C	Cathodic treatment with 100 A/m ² current density. Specimen must be energized prior to immersion. Use carbon, platinum or stainless steel anode.
E.5.1	General (excluding Aluminum, Magnesium and Tin Alloys)	20 g sodium hydroxide (NaOH) Reagent water to make 1000 mL	5 to 10 min	20 to 25°C	Cathodic treatment with 300 A/m ² current density. A S31600 stainless steel anode may be used.

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

XI. DENSITIES FOR A VARIETY OF METALS AND ALLOYS

TABLE X1.1 DENSITIES FOR A VARIETY OF METALS AND ALLOYS

NOTE 1—All UNS numbers that include the letter X indicate a series of numbers under one category.

NOTE 2—An asterisk indicates that a UNS number not available.

Aluminum Alloys		
UNS Number	Alloy	Density g/cm ³
A91100	1100	2.71
A91199	1199	2.70
A92024	2024	2.78
A92219	2219	2.84
A93003	3003	2.73
A93004	3004	2.72
A95005	5005	2.70
A95050	5050	2.69
A95052	5052	2.68
A95083	5083	2.66
A95086	5086	2.66
A95154	5154	2.66
A95357	5357	2.69
A95454	5454	2.69
A95456	5456	2.66
A96061	6061	2.70
*	6062	2.70
A96070	6070	2.71
A96101	6101	2.70
A97075	7075	2.81
A97079	7079	2.75
A97178	7178	2.83
Stainless Steels		
S20100	Type 201	7.94
S20200	Type 202	7.94
S30200	Type 302	7.94
S30400	Type 304	7.94
S30403	Type 304L	7.94
S30900	Type 309	7.98
S31000	Type 310	7.98
S31100	Type 311	7.98
S31600	Type 316	7.98
S31603	Type 316L	7.98
S31700	Type 317	7.98
S32100	Type 321	7.94
S32900	Type 329	7.98
N08330	Type 330	7.98
S34700	Type 347	8.03
S41000	Type 410	7.70
S43000	Type 430	7.72
S44600	Type 446	7.65
S50200	Type 502	7.82
Other Ferrous Metals		
F1XXXX	Gray cast iron	7.20
GXXXXX-KXXXXX	Carbon steel	7.86

TABLE X1.1 Continued

Aluminum Alloys		
UNS Number	Alloy	Density g/cm ³
*	Silicon iron	7.00
KXXXXX	Low alloy steels	7.85
Copper Alloys		
C38600	Copper	8.94
C23000	Red brass 230	8.75
C26000	Cartridge brass 260	8.52
C28000	Muntz metal 280	8.39
*	Admiralty 442	8.52
C44300	Admiralty 443	8.52
C44400	Admiralty 444	8.52
C44500	Admiralty 445	8.52
C68700	Aluminum brass 687	8.33
C22000	Commercial bronze 220	8.80
C60800	Aluminum bronze, 5 % 608	8.16
*	Aluminum bronze, 8 % 612	7.78
*	Composition M	8.45
*	Composition G	8.77
C51000	Phosphor bronze, 5 % 510	8.86
C52400	Phosphor bronze, 10 % 524	8.77
*	85-5-5-5	8.80
C65500	Silicon bronze 655	8.52
C70600	Copper nickel 706	8.94
C71000	Copper nickel 710	8.94
C71500	Copper nickel 715	8.94
C75200	Nickel silver 752	8.75
Lead		
L53305-53405	Antimonial	10.80
L5XXXX	Chemical	11.33
Nickel Alloys		
N02200	Nickel 200	8.89
N04400	Nickel copper 400	8.84
N06600	Nickel chromium iron alloy 600	8.51
N06625	Nickel chromium molybdenum alloy 625	8.14
N08825	Iron nickel chromium alloy 825	8.14
N08020	Iron nickel chromium alloy 20 Cb-3	8.08
*	Iron nickel chromium cast alloy 20	8.02
N10665	Nickel molybdenum alloy B2	9.2
N10276	Nickel chromium molybdenum alloy C-276	8.8
N06985	Nickel chromium molybdenum alloy G-3	8.3
Other Metals		
M1XXXX	Magnesium	1.74
R03600	Molybdenum	10.22
P04980	Platinum	21.45
P07016	Silver	10.49
R05200	Tantalum	16.60
L13002	Tin	7.30
R50250	Titanium	4.54
Z13001	Zinc	7.13
R60001	Zirconium	6.53

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.