



**PENGARUH INHIBITOR EKSTRAK DAUN BELIMBING  
TERHADAP KOROSI HASIL LAS BAJA A53  
PADA MEDIA AIR LAUT**

**SKRIPSI**

Oleh

**ARTHA SABHILA SHAKTI  
NIM 121910101073**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2016**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ayahku Nedy Alfian Djunaedy dan Ibuku Sri Amaljati yang paling aku sayangi, terimakasih atas semua do'a, pengorbanan, bimbingan dan kasih sayang yang selama ini sudah diberikan kepada saya dengan ikhlas dan tulus, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini;
2. Adik adikku Adila Givary Ramadhan dan Azra Shakira Ratu terima kasih karena telah menjadi motivasi selama ini;
3. Tatit Fitri Pusparani yang selalu menjadi alasanku menjadi mapan;
4. Teman dan sahabat seperjuangan di Teknik Mesin Universitas Jember angkatan 2012 yang telah mendukung serta menjadi "Tim Hore" selama ini;
5. Dosen dan guru-guru yang terhormat, mulai duduk di bangku taman kanak-kanak sampai di bangku perguruan tinggi yang telah memberikan ilmu dan membimbing dengan penuh kesabaran;
6. Almamater Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember yang saya banggakan.

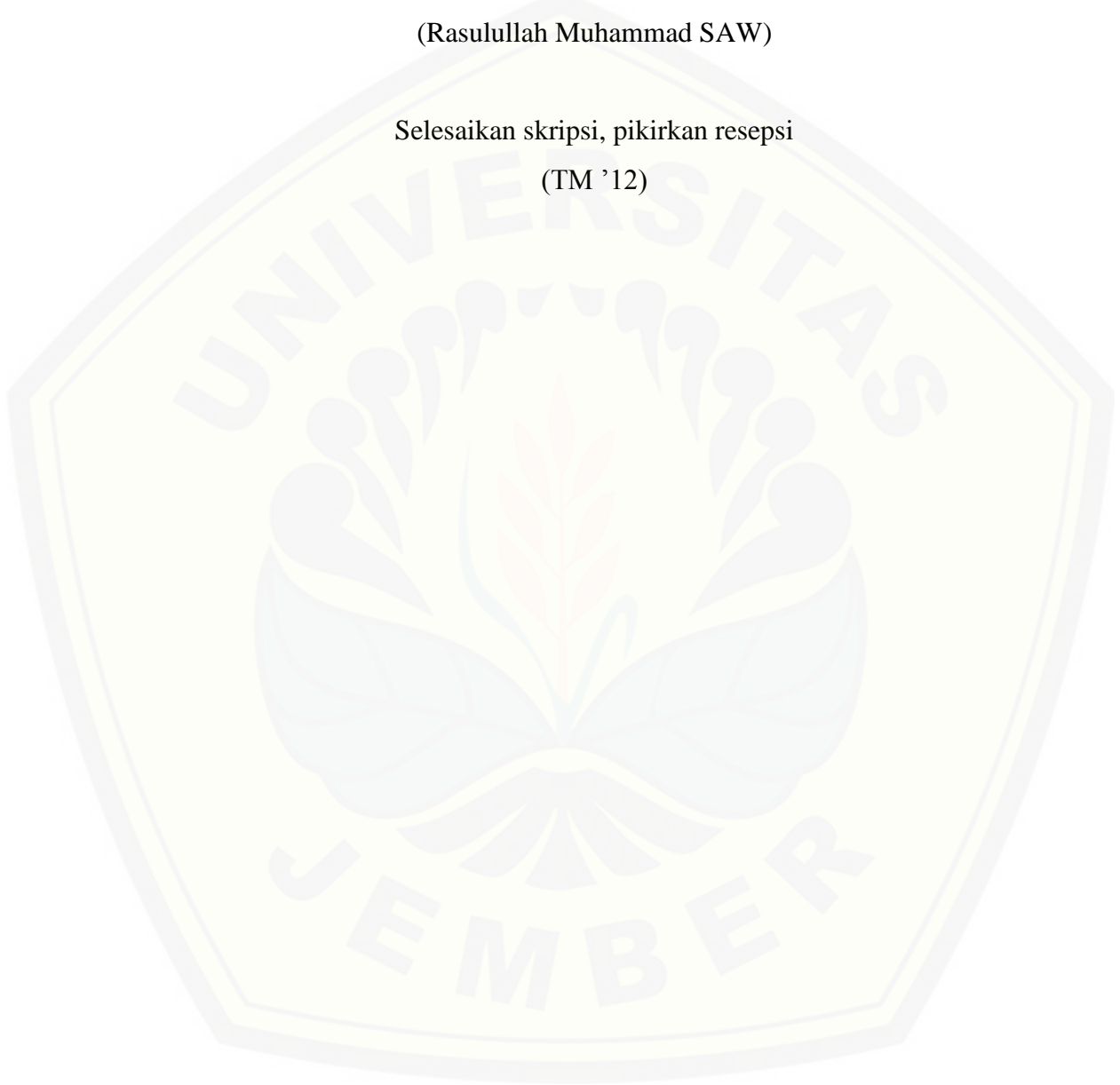
**MOTTO**

Sebaik baik manusia, adalah yang bermanfaat bagi sekitarnya .

(Rasulullah Muhammad SAW)

Selesaikan skripsi, pikirkan resepsi

(TM '12)



**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **ARTHA SABHILA SHAKTI**

NIM : **121910101073**

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: “PENGARUH INHIBITOR EKSTRAK DAUN BELIMBING TERHADAP KOROSI HASIL LAS KARBON A53 PADA MEDIA AIR LAUT” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 17 Mei 2016  
Yang menyatakan,

ARTHA SABHILA SHAKTI  
NIM. 121910101073

**SKRIPSI**

**PENGARUH INHIBITOR EKSTRAK DAUN BELIMBING  
TERHADAP KOROSI HASIL LAS BAJA A53  
PADA MEDIA AIR LAUT**

Oleh :

**ARTHA SABHILA SHAKTI**

121910101073

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Sumarji ,S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr.Gaguk Jatisukamto S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Pengaruh Inhibitor Ekstrak Daun Belimbing Terhadap Korosi Hasil Las Baja A53 Pada Media Air Laut” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Rabu, 26 Oktober 2016

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sumarji ,S.T., M.T.  
NIP. 196802021997021001

Sekretaris,

Dr. Gaguk Jatisukamto S.T., M.T.  
NIP. 19681205 199702 1 002

Anggota I,

Dr. Salahudin Junus,S.T.M.T.  
NIP. 197510062002121002

Anggota II,

Ir. Digdo Listyadi Setyawan., M.Sc.  
NIP. 16806171995011 001

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.  
NIP. 196612151995032001

## RINGKASAN

**PENGARUH INHIBITOR EKSTRAK DAUN BELIMBING TERHADAP KOROSI HASIL LAS BAJA A53 PADA MEDIA AIR LAUT.** Artha Sabhila Shakti, 121910101073; 2016; 92 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Korosi (dikenal dengan istilah pengkaratan) merupakan fenomena kimia yang terjadi pada bahan logam di berbagai macam kondisi lingkungan. Jika dilihat dari sudut pandang kimia, korosi merupakan reaksi logam menjadi ion pada permukaan yang kontak langsung dengan lingkungan air dan oksigen. Proses korosi yang terjadi secara alami sangat sulit dihindari, usaha yang dilakukan hanya dapat menghambat laju korosi yang terjadi dengan cara melakukan pencegahan. Sejauh ini penggunaan inhibitor merupakan salah satu cara yang paling efektif untuk mencegah korosi, karena biayanya yang relatif murah dan prosesnya yang sederhana. Inhibitor korosi merupakan bahan yang ditambahkan ke dalam medium untuk mencegah atau menurunkan laju korosi logam dengan lingkungannya. Penelitian mengenai penggunaan senyawa tanin sebagai inhibitor reaksi korosi baja dalam larutan garam telah dilakukan. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan bahwa senyawa tanin dapat menghambat reaksi korosi baja dalam larutan garam. Tanin di permukaan baja akan menghambat reaksi korosi baja dengan cara membentuk senyawa kompleks dengan Fe(III). Senyawa kompleks ini akan menghalangi serangan ion korosif di permukaan baja. Adapun ion-ion korosif dalam larutan garam dapat dalam bentuk ion-ion klorida. Tetapi penggunaan ekstrak bahan alam yang banyak mengandung senyawa tanin untuk menghambat laju reaksi korosi baja dalam larutan garam belum pernah dilaporkan sebelumnya. Salah satu bahan alam yang mengandung senyawa tanin adalah ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.)



Pembuatan spesimen uji dilakukan di Laboratorium Desain dan Uji Bahan Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember. Untuk pembuatan larutan inhibitor dilakukan di Laboratorium Biologi, Fakultas Farmasi Universitas Jember. Sedangkan pengamatan struktur mikro dilakukan di Laboratorium Pengujian bahan DTMI Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Waktu pelaksanaan penelitian mulai bulan Februari sampai dengan bulan Juni 2016. Variabel yang digunakan adalah variasi konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.) dengan persentase 0 %, 2 %, 4 %, 6 %, dan 8 % Sedangkan parameter yang diamati adalah kehilangan berat (*weight loss*), pengamatan visual dan struktur mikro.

Dari hasil analisa berupa grafik pada penelitian ini diketahui bahwa, Laju korosi rata-rata pada pipa baja karbon A53 pada konsentrasi 0% adalah  $4,7 \times 10^{-5}$  mmpy, 2% adalah  $2,5 \times 10^{-5}$  mmpy, 4% adalah  $3 \times 10^{-5}$  mmpy, 6% adalah  $2,5 \times 10^{-5}$  mmpy, dan 8% adalah  $2,1 \times 10^{-5}$  mmpy. Nilai efisiensi dari inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.) setelah perendaman selama 40 hari pada konsentrasi 2% sebesar 44,8903%, 4% sebesar 32,2639%, 6% sebesar 46,2989%, dan 8% sebesar 52,1581%. Sehingga rata-rata efisiensi inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.). Setelah perendaman selama 40 hari sebesar 43,9028%. Sehingga variasi konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh berpengaruh terhadap laju korosi pipa baja karbon A53. Sedangkan untuk pengamatan struktur makro dan mikro terdapat bentuk bercak coklat kehitaman. Bercak coklat kehitaman ini kemungkinan adalah endapan dari senyawa kompleks dengan Fe(III) dipermukaan logam. Senyawa inilah yang nantinya akan membentuk *filming corrosion inhibitor* yang akan melindungi permukaan pipa karbon A53 terhadap serangan korosi.



## SUMMARY

**EFFECT OF INHIBITORS LEAF EXTRACT LAS FRUIT OF CORROSION OF STEEL A53 MEDIA AT SEA.** Artha Sabhila Shakti, 1211910101073; 2016; 92 page; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Corrosion (known as rusting) is a chemical phenomenon that occurs on metallic materials in a wide range of environmental conditions. When viewed from the standpoint of chemical, corrosion is a reaction of metal ions on the surface into direct contact with water and oxygen environment. Corrosion process that occurs naturally very difficult to avoid, the work done can only inhibit the corrosion that occurs by way of prevention. So far the use of inhibitors is one of the most effective ways to prevent corrosion, due to its relatively low cost and simple process. Corrosion inhibitor is a substance that is added to the medium to prevent or reduce the rate of corrosion of metals in the environment. Research on the use of tannin as a reaction inhibitor of steel corrosion in a salt solution has been carried out. From the research that has been done, it was found that tannin can inhibit the corrosion reaction of steel in a salt solution. Tannins in the steel surface will inhibit the reaction of steel corrosion by forming a complex compound with Fe (III). This complex compound will block ions corrosive attack on steel surfaces. The corrosive ions in salt solution can be in the form of chloride ions. But the use of extracts of natural ingredients that contain a lot of tannin to inhibit reaction rate of steel corrosion in a salt solution has not been reported previously. One of the natural ingredients that contain tannin is an extract of leaves of starfruit (*Averrhoa bilimbi* L.)

Making test specimen is done in Laboratory Design and Testing Materials Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember. For the preparation of the solution inhibitor conducted at the Laboratory of Biology, Faculty of Pharmacy, University of Jember. While the microstructure observation conducted in the laboratory testing of materials DTMI Gadjah Mada University in Yogyakarta. The timing of the study from February to June 2016. The variables used were variations in the concentration of leaf extract starfruit (*Averrhoa bilimbi* L.) with a percentage of 0%, 2%, 4%, 6% and 8%, while the parameters measured were lose weight (weight loss), visual observation and microstructure.

From the analysis in the form of graphs in this research note that, rate of corrosion in carbon steel pipe A53 on average at concentrations of 0% is  $4,7 \times 10^{-5}$  mmpy, is  $2,5 \times 10^{-5}$  mmpy 2%, 4% is  $3 \times 10^{-5}$  mmpy, 6% is  $2,5 \times 10^{-5}$  mmpy, and 8% is

$2,1 \times 10^{-5}$  mmpy. Besara efficiency of inhibitors of starfruit leaf extract (*Averrhoa bilimbi* L.) after immersion for 40 days at a concentration of 2% at 44.8903%, 4% of 32.2639%, 6% amounting to 46.2989%, and 8% at 52, 1581%. So that the average efficiency of inhibitors of starfruit leaf extract (*Averrhoa bilimbi* L.). After soaking for 40 days amounted to 43.9028%. So that variations in the concentration of leaf extract starfruit affect the corrosion rate of carbon steel pipe A53. As for the observation of macro and micro structures are blackish brown flecks. This blackish brown spots possibility is deposition of a complex compound with Fe (III) on the surface of the metal. These are what will eventually form a filming corrosion inhibitors that will protect the surface of the carbon pipe A53 to corrosion attack.



## PRAKATA

Segala puji dan syukur kehadiran ALLAH SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Pengaruh Inhibitor Ekstrak Daun Belimbing Terhadap Korosi Hasil Las Baja A53 Pada Media Air Laut*. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, dan Rosulullah SAW, Sholawat dan Salam tercurahkan kepadaNya;
2. Bapak Sumarji, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Bapak Dr. Gaguk Jatisukamto, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatiannya dalam penulisan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Salahudin Junus, M.Eng., selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Ir. Digo Listyadi S., M.Sc.. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan saran dan kritik dalam penulisan skripsi ini.
4. Ayahanda Nedy Alfian Djunaedy dan Ibunda Sri Amaljati, terimakasih atas bimbingan beserta do'a dan kasih sayang yang selama ini diberikan.

5. Kedua adikku, Adila Givary Ramadhan dan Azra Shakira Ratu yang selalu menjadi motivasi;
6. Tatit Fitri Pusparani yang selalu menjadi moodbooster.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 17 Mei 2016

Artha Sabhila Shakti

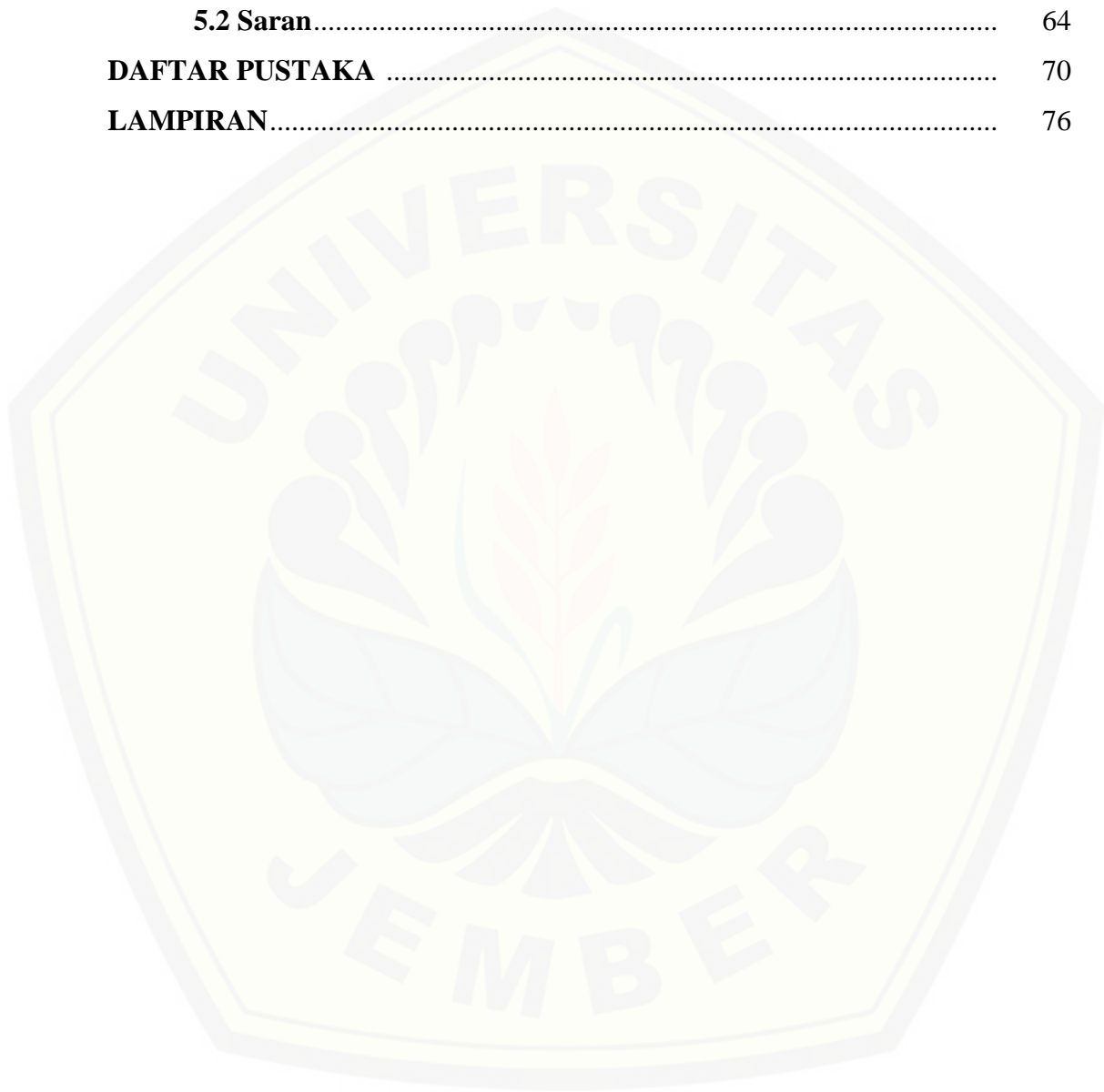
DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	i
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>MOTTO</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	v
<b>PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>SUMMARY</b> .....	ix
<b>PRAKATA</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xviii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xix
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	2
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	3
<b>1.4 Tujuan dan Manfaat</b> .....	3
1.4.1 Tujuan .....	3
1.4.2 Manfaat.....	3
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
<b>2.1 Prinsip Dasar Korosi</b> .....	4
<b>2.2 Laju Korosi</b> .....	5
<b>2.3 Faktor – faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi</b> .....	6
<b>2.4 Jenis – jenis Korosi</b> .....	7
<b>2.5 Pengendalian Korosi</b> .....	13
<b>2.6 Inhibitor</b> .....	14
<b>2.7 Masalah dalam Penggunaan Inhibitor</b> .....	15
<b>2.8 Daun Belimbing (<i>Averrhoa bilimbi</i> L.)</b> .....	17

2.9 Mekanisme Proteksi Ekstrak Daun Belimbing Wuluh .....	20
2.10 Ekstrak Tanin sebagai Inhibitor .....	20
2.11 Air Laut .....	21
2.12 Las SMAW .....	24
2.13 Baja Karbon .....	25
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 Metode Penelitian .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3 Alat dan Bahan .....</b>	<b>27</b>
3.3.1 Alat .....	27
3.3.2 Bahan .....	28
<b>3.4 Prosedur Penelitian .....</b>	<b>29</b>
<b>3.5 Diagram Alir Proses .....</b>	<b>30</b>
<b>3.6 Pelaksanaan Penelitian .....</b>	<b>31</b>
<b>3.7 Analisis Data .....</b>	<b>38</b>
3.7.1 Analisis dengan Metode Gravimetri .....	38
3.7.2 Pengambilan Data .....	39
3.7.3 Pengolahan Data .....	39
<b>3.8 Variabel Penelitian .....</b>	<b>39</b>
<b>3.9 Metode Pengujian .....</b>	<b>40</b>
<b>3.10 Hipotesis .....</b>	<b>40</b>
<b>BAB 4. HASIL DAN PENELITIAN .....</b>	<b>42</b>
<b>4.1 Analisis Laju Korosi .....</b>	<b>42</b>
4.1.1 Analisis Laju Korosi pada Konsentrasi 0 % .....	42
4.1.2 Analisis Laju Korosi pada Konsentrasi 2 % .....	43
4.1.3 Analisis Laju Korosi pada Konsentrasi 4 % .....	46
4.1.4 Analisis Laju Korosi pada Konsentrasi 6 % .....	47
4.1.5 Analisis Laju Korosi pada Konsentrasi 8% .....	49
4.1.6 Analisis Laju Korosi pada Berbagai Variasi Konsentrasi Inhibitor Daun Belimbing Wuluh .....	50
<b>4.2 Analisis Efisiensi Inhibitor Ekstrak Daun Belimbing Wuluh ..</b>	<b>52</b>



4.3 Hasil Pengamatan Visual.....	54
4.4 Hasil Pengamatan Struktur Mikro.....	58
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	63
5.1 Kesimpulan .....	63
5.2 Saran.....	64
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	70
<b>LAMPIRAN</b> .....	76



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 <i>Uniform Corrosion</i> pada lantai galangan kapal .....	8
2.2 Mekanisme Korosi Galvanis pada sambungan baut .....	9
2.3 Mekanisme korosi celah pada sambungan pipa .....	10
2.4 Mekanisme korosi sumuran .....	11
2.5 Mekanisme korosi erosi pada pipa.....	11
2.6 Mekanisme korosi retak tegang pada sebuah logam.....	12
2.7 Mekanisme korosi batas butir .....	13
2.8 Belimbing wuluh ( <i>Averrhoa bilimbi</i> L.) .....	18
2.9 Struktur Tanin .....	19
2.10 Ilustrasi las SMAW .....	25
3.1 Diagram alir .....	30
3.2 Sketsa spesimen .....	32
3.3 Wadah perendaman spesimen uji.....	33
4.1 Pengaruh inhibitor ekstrak daun belimbing wuluhdengan konsentrasi 0 % terhadap laju korosi .....	42
4.2 Pengaruh inhibitor ekstrak daun belimbing wuluhdengan konsentrasi 2 % terhadap laju korosi .....	44
4.3 Pengaruh inhibitor ekstrak daun belimbing wuluhdengan konsentrasi 4 % terhadap laju korosi .....	46
4.4 Pengaruh inhibitor ekstrak daun belimbing wuluhdengan konsentrasi 6 % terhadap laju korosi .....	48
4.5 Pengaruh inhibitor ekstrak daun belimbing wuluhdengan konsentrasi 8 % terhadap laju korosi .....	49
4.6 Pengaruh variasi konsentrasi inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh terhadap laju korosi .....	51
4.7 Grafik efisiensi ekstrak daun belimbing wuluh terhadap waktu .....	53

4.8	Foto makro pipa baja karbon A53 sebelum dan setelah direndam ekstrak daun belimbing wuluh pada konsentrasi 0 % selama 40 hari .....	54
4.9	Foto makro pipa baja karbon A53 sebelum dan setelah direndam ekstrak daun belimbing wuluh pada konsentrasi 2 % selama 40 hari .....	55
4.10	Foto makro pipa baja karbon A53 sebelum dan setelah direndam ekstrak daun belimbing wuluh pada konsentrasi 4 % selama 40 hari .....	56
4.11	Foto makro pipa baja karbon A53 sebelum dan setelah direndam ekstrak daun belimbing wuluh pada konsentrasi 6% selama 40 hari .....	56
4.12	Foto makro pipa baja karbon A53 sebelum dan setelah direndam ekstrak daun belimbing wuluh pada konsentrasi 8 % selama 40 hari .....	57
4.13	Foto mikro perbesaran 100X sebelum direndam ekstrak daun belimbing wuluh.....	58
4.14	Foto mikro perbesaran 100x setelah direndam ekstrak daun belimbing wuluh selama 40 hari pada konsentrasi 2% .....	59
4.15	Foto mikro perbesaran 100x setelah direndam ekstrak daun belimbing wuluh selama 40 hari pada konsentrasi 4 % .....	60
4.16	Foto mikro perbesaran 100x setelah direndam ekstrak daun belimbing wuluh selama 40 hari pada konsentrasi 6% .....	61
4.17	Foto mikro perbesaran 100x setelah direndam ekstrak daun belimbing wuluh selama 40 hari pada konsentrasi 8% .....	61

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Komposisi kimia air laut.....	23
2.2 Komposisi kimia baja karbin A53 berdasarkan ASTM.....	26
3.3 Variasi Volume Inhibitor.....	35

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Tabel pengambilan data .....	73
A.1 Laju korosi pada konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh 0% .....	73
A.2 Laju korosi pada konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh 2% .....	74
A.3 Laju korosi pada konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh 4% .....	76
A.4 Laju korosi pada konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh 6% .....	77
A.5 Laju korosi pada konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh 8% .....	78
B. Tabel rata-rata laju korosi dan efisiensi inhibitor .....	80
B.1 Tabel data pembuatan grafik .....	80
B.2 Tabel efisiensi inhibitor .....	82
C. Bahan penelitian .....	83
D. Alat penelitian .....	85
E. Sertifikat pipa baja karbon A53 .....	87
F. Stertifikat Las .....	88
G. Struktur makro .....	90
H. Foto struktur mikro .....	91

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam berbagai industri yang menggunakan logam maka pastinya membutuhkan pengelasan untuk menyatukan logam agar sesuai dengan keinginan. Hal ini juga pasti terjadi didalam industri pengeboran minyak dan gas. Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas, maka logam yang di sekitar daerah las mengalami

Baja karbon merupakan material yang sering digunakan diseluruh dunia, karena ketersediannya yang melimpah maka sering digunakan dalam angkatan laut, PLTN, proses kimia, produksi minyak, pipa pemurnian gas, pertambangan, konstruksi dan pembuatan peralatan logam(Khadim dan Sada, 2013). Dari situ mulai timbul beberapa masalah seperti terjadinya korosi. Pada umumnya industri dan fasilitasnya dibangun menggunakan bahan logam menyebabkan fenomena korosi sering terjadi(Palou, dkk.,2014). Korosi adalah suatu kerusakan material yang disebabkan oleh reaksi kimia antara sebuah logam atau logam paduan yang berada didalam suatu lingkungan. Reaksi korosi dapat menyebabkan suatu material mengalami perubahan sifat fisik, kimia bahkan mekanik yang cenderung membuat logam tersebut menurun kualitas serta kuantitasnya. Baja karbon merupakan jenis material yang sering digunakan dalam kehidupan sehari hari untuk membantu pengaplikasian dalam berbagai industri seperti industri konstruksi, tambang, otomotif, bahkan pengeboran minyak.

Pada penelitian sebelumnya oleh Kumar, (2011) mengenai Inhibitor korosi dari ekstrak biji pinang sirih untuk baja karbon rendah dalam media zat asam garam (*hydrochloric acid*) dengan variasi konsentrasi 100,200,300,400 dan 500 ppm. Dengan waktu perendaman 1 hari dan 3 hari untuk melihat kemampuan inhibitor menghambat laju korosi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi inhibisi



korosi yang paling besar terjadi pada konsentrasi 400 ppm, baik untuk perendaman 1 hari maupun 3 hari dengan efisiensi masing-masing adalah 74,32% dan 73,41%.

Penggunaan tanin sebagai inhibitor organik dinilai mampu membantu mengurangi laju korosi yang terdapat pada logam (Khadim, 2013). Disisi lain, penggunaan inhibitor organik diharapkan mampu menjaga lingkungan karena sifatnya yang *biodegradable* dan tidak mencemari lingkungan. Salah satu tanaman yang mengandung tanin ialah belimbing wuluh, namun tidak semua bagiannya digunakan sebagai sumber tanin, hanya bagian daunnya saja karena daun belimbing wuluh yang sering rontok dan mengering dibanyak halaman rumah masyarakat Indonesia sehingga sering dipandang sebagai sampah. Dari sinilah muncul gagasan untuk menjadikan daun belimbing wuluh yang pada mulanya sebagai sampah menjadi hal yang bermanfaat sebagai inhibitor korosi logam.

Pemberian perlakuan panas pada logam mampu membentuk korosi yang baru karena perubahan struktur mikro yang beragam, dari sinilah muncul gagasan untuk mengurangi laju korosi pada logam yang menerima perlakuan panas seperti las dengan menggunakan inhibitor alami berupa ekstrak daun belimbing wuluh.

## 1.2 Rumusan Masalah

Untuk mengetahui laju korosi yang diakibatkan air laut maka perlu diadakan riset mengenai pengaruh konsentrasi daun belimbing wuluh sebagai inhibitor korosi terhadap pipa baja karbon A53 yang telah mengalami pengelasan.

Pada penelitian ini dirumuskan beberapa rumusan masalah, yaitu:

1. Bagaimana laju korosi yang terjadi pada hasil las pipa baja karbon A53 yang berada didalam air laut?
2. Seberapa efektif konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh sebagai inhibitor korosi pada hasil las pipa baja karbon A53?
3. Bagaimana bentuk struktur mikro yang terdapat pada hasil las pipa baja karbon A53 setelah diberi penambahan ekstrak daun belimbing wuluh?

### 1.3 Batasan Masalah

Agar mendapat gambaran yang sesuai mengenai masalah yang dibahas pada penelitian ini, maka perlu diberikan batas pembahasan yang nantinya lebih terfokus.

Berikut ini batasan masalahnya:

1. Tidak menghitung sifat mekanik material uji
2. Inhibitor yang digunakan adalah daun belimbing wuluh (*Averhoa Bilimbi L.*)
3. Temperatur dan pH diasumsikan konstan yaitu 21°C dan 7,8
4. Lama waktu perendaman adalah 10, 20, 30, 40 hari

### 1.4 Tujuan dan Manfaat

#### 1.4.1 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui struktur makro dan mikro korosi yang terjadi pada hasil las baja karbon A53 setelah terjadi penambahan ekstrak daun belimbing wuluh.
2. Untuk mengetahui laju korosi setelah pemberian ekstrak daun belimbing wuluh terhadap hasil las baja karbon A53 pada media air laut.
3. Mengetahui tingkat nilai efisiensi inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh terhadap hasil las baja karbon A53 pada media air laut
4. Mampu menilai jenis korosi yang terjadi pada baja karbon A53 yang telah diberi inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh.

#### 1.4.2 Manfaat

Sehubungan dengan permasalahan yang telah di sebutkan diatas, maka dalam penelitian ini diharapkan :

1. Memanfaatkan daun belimbing sebagai bahan alam Indonesia yang mampu menjadi inhibitor.
2. Menekan biaya perawatan pada industri yang berbahan logam terutama baja.
3. Menjaga lingkungan dari pencemaran yang berasal dari inhibitor berbahan dasar kimia.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Prinsip Dasar Korosi

Korosi adalah kerusakan material yang menyebabkan kualitas suatu logam menurun karena bereaksi dengan lingkungannya. Lingkungan tersebut dapat berupa : air (suling, sungai, payau, laut), udara, larutan asam, larutan basa, bahkan tanah. Korosi dapat terjadi karena berbagai faktor, yaitu faktor lingkungan dan faktor bahan. Faktor lingkungan , meliputi : pH, temperature, kelembapan, kadar oksigen dan keberadaan zat korosif. Sedangkan faktor bahan meliputi : struktur paduan, jumlah paduan, dan kemurnian bahan. (Darmawan ,2012)

Korosi dapat juga diartikan sebagai serangan yang merusak logam karena logam bereaksi secara kimia atau elektrokimia dengan lingkungan sehingga terjadi proses perpindahan elektron. Karena elektron yang berpindah memiliki muatan negatif maka proses perpindahannya menimbulkan arus listrik yang biasa disebut potensial listrik.(Alpian,2016)

Mekanisme korosi yang terjadi pada logam besi (Fe) dituliskan sebagai berikut :

- $Fe (s) + H_2O (l) + \frac{1}{2} O_2(g) \rightarrow Fe(OH)_2 (s)$ ..... (1)
- Fero hidroksida  $[Fe(OH)_2]$  yang terjadi merupakan hasil sementara yang dapat teroksidasi secara alami oleh air dan udara menjadi feri hidroksida  $[Fe(OH)_3]$ , sehingga mekanisme reaksi selanjutnya adalah :
- $4 Fe(OH)_2(s) + O_2 (g) + 2H_2O(l) \rightarrow 4Fe(OH)_3 (s)$  ..... (2)
- Karat merupakan istilah dari produk korosi yang berwarna merah kecoklatan yang dihasilkan karena terbentuknya Ferri Hidroksida menjadi  $Fe_2O_3$ (Vogel,1979).

Reaksinya adalah:  $2Fe(OH)_3 \rightarrow Fe_2O_3 + 3H_2O$ ..... (3)

## 2.2 Laju Korosi

Laju korosi merupakan besaran dari pengikisan yang terjadi pada suatu logam yang dinyatakan dalam massa (gr) dibagi waktu. Besarnya laju korosi sangat dipengaruhi reaksi-reaksi yang terjadi pada reaksi korosi.

Lingkungan yang bersifat elektrolit ini biasanya berupa larutan yang mempunyai sifat menghantarkan listrik. Elektrolit dapat berupa larutan asam, larutan basa dan larutan garam. Larutan elektrolit mempunyai peranan penting dalam korosi logam karena larutan ini dapat menjadikan kontak listrik antara anoda dan katoda. Apabila salah satu komponen di atas tidak ada maka laju korosi akan berlangsung lambat atau tidak akan berlangsung sama sekali. Akan tetapi untuk anoda dan katoda bisa muncul pada satu permukaan logam antara lain karena adanya pasangan sel galvanik di dalamnya. Pasangan sel galvanik adalah suatu pasangan bahan logam yang memunculkan anoda dan katoda akibat pemakaian dua bahan atau dua logam yang berbeda. Dua macam bahan atau dua macam logam yang berbeda dapat menimbulkan dan berperan sebagai anoda dan katoda. Ion dan elektron yang dihasilkan selama reaksi korosi akan menumpuk menghasilkan potensial elektroda pada masing-masing bahan (Alpian, 2016).

Pada suatu reaksi korosi semakin negatif potensial elektroda masing-masing bahan pada sel korosi, maka ia akan semakin mudah menjadi anoda. Pemakaian dua bahan yang memiliki selisih potensial elektroda secara bersama, akan semakin rawan terhadap terjadinya korosi pada bahan itu. Arus listrik dapat ditimbulkan oleh adanya perbedaan potensial elektroda pada bahan yang digunakan. Semakin besar selisih potensial elektroda, semakin besar tegangan atau voltase listrik yang timbul dan arus listrik yang mengalir pun juga akan semakin besar, sehingga reaksi korosi akan berlangsung lebih agresif. Kecepatan korosi dapat dihitung dengan pengurangan berat persatuan waktu persatuan luas dapat juga dihitung dengan tebalnya oksidasi yang terbentuk persatuan waktu. Parameter yang digunakan untuk mengukur tingkatan rata-rata laju korosi dapat dihitung dengan persamaan berikut (Priyotomo, 2008).

$$C = \frac{(8,76 \times 10^4)M}{A \times t \times D}$$

Dimana :

C = Laju korosi (mm per year)

M = Berat yang hilang (gr)

A = Luas (cm<sup>2</sup>)

t = Waktu(jam)

D = Densitas (gr/cm<sup>3</sup>)

### 2.3 Faktor – faktor Yang Mempengaruhi Laju Korosi

Laju korosi pada lingkungan netral normalnya adalah 1 mpy atau kurang. Pada umumnya masalah korosi disebabkan oleh air, tetapi ada beberapa faktor selain air yang mempengaruhi laju korosi, diantaranya : Beberapa faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi proses korosi antara lain, yaitu :

#### 2.3.1. Suhu

Kenaikan suhu akan menyebabkan bertambahnya kecepatan reaksi korosi. Hal ini terjadi karena makin tinggi suhu maka energi kinetik dari partikel-partikel yang bereaksi akan meningkat sehingga melampaui besarnya harga energi aktivasi dan akibatnya laju kecepatan reaksi (korosi) juga akan makin cepat, begitu juga sebaliknya. (Fogler, 1992)

#### 2.3.2. Laju aliran fluida

Laju korosi cenderung bertambah jika laju atau kecepatan aliran fluida bertambah besar. Hal ini karena kontak antara zat pereaksi dan logam akan semakin besar sehingga ion-ion logam akan makin banyak yang lepas sehingga logam akan mengalami korosi(Kirk Othmer,1965).



### 2.3.3. Konsentrasi bahan korosif

Hal ini berhubungan dengan pH atau keasaman dan kebasaan suatu larutan. Larutan yang bersifat asam sangat korosif terhadap logam dimana logam yang berada didalam media larutan asam akan lebih cepat terkorosi karena merupakan reaksi anoda. Sedangkan larutan yang bersifat basa dapat menyebabkan korosi pada reaksi katodanya karena reaksi katoda selalu serentak dengan reaksi anoda (Djaprie, 1995).

### 2.3.4. Oksigen

Adanya oksigen yang terdapat di dalam udara dapat bersentuhan dengan permukaan logam yang lembab. Sehingga kemungkinan menjadi korosi lebih besar. Di dalam air (lingkungan terbuka), adanya oksigen menyebabkan korosi. (Djaprie, 1995)

### 2.3.5. Waktu kontak

Aksi inhibitor diharapkan dapat membuat ketahanan logam terhadap korosi lebih besar. Dengan adanya penambahan inhibitor kedalam larutan, maka akan menyebabkan laju reaksi menjadi lebih rendah, sehingga waktu kerja inhibitor untuk melindungi logam menjadi lebih lama. Kemampuan inhibitor untuk melindungi logam dari korosi akan hilang atau habis pada waktu tertentu, hal itu dikarenakan semakin lama waktunya maka inhibitor akan semakin habis terserang oleh larutan. (Uhlig, 1958)

## 2.4 Jenis-jenis Korosi

Dalam kehidupan sehari - hari terdapat berbagai macam jenis korosi yang sering dijumpai pada berbagai peralatan yang menggunakan material berbahan logam. Berbagai macam jenis korosi tersebut, yaitu: Korosi Seragam (*Uniform Corrosion*), Korosi Bimetal (*Galvanic Corrosion*), Korosi Celah (*Crevice Corrosion*), Korosi Sumuran (*Pitting Corrosion*), korosi Erosi, Korosi Retak Tegang (*Stress Corrosion Cracking*), korosi batas butir (*Intergranular Corrosion*), Peluluhan



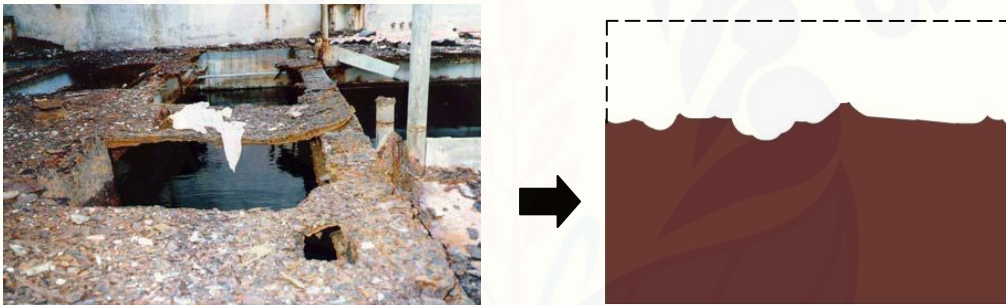
selektif (*Selective Leaching/ Dealloying*), dan Peronggaan (*Cavitation*). (Priyotomo, 2008)

Adapun beberapa jenis korosi yang secara umum terjadi pada logam sebagai berikut :

### 1. Korosi seragam (*Uniform Corrosion*)

Korosi seragam adalah bentuk korosi yang paling umum ditemui, korosi ini ditandai dengan proses korosi yang terjadi atau berlangsung di seluruh bagian logam atau luas permukaan logam. permukaan logam yang mengalami korosi ini lama kelamaan akan terkikis dan logam menjadi tipis. Korosi ini terjadi karena reaksi kimia dengan lingkungannya (Priyotomo,2008).

Berikut ini contoh korosi *uniform* yang terjadi dilantai galangan kapal laut:



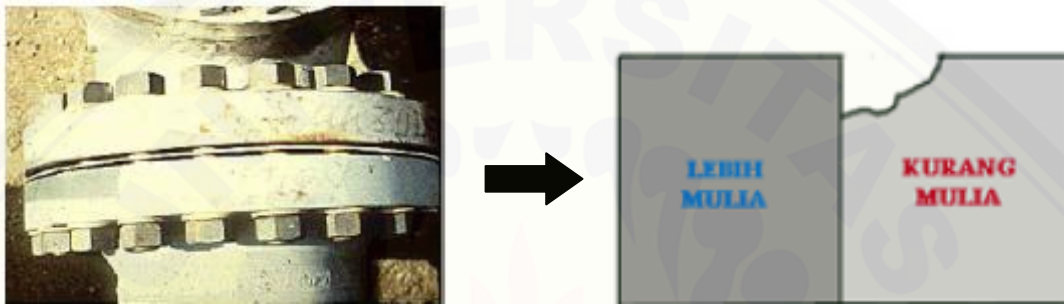
Gambar 2.1 *Uniform Corrosion* pada lantai galangan kapal (Sumber: Priyotomo,2008)

### 2. Korosi Galvanik (*Galvanic Corrosion*)

Korosi Galvanis adalah korosi yang terjadi karena dua buah logam memiliki nilai potensial yang berbeda dan bersatu pada suatu kondisi lingkungan yang korosif dan saling berhubungan. Logam dengan potensial yang lebih tinggi akan bersifat katodik sedangkan yang potensialnya lebih rendah bersifat anodik. Beberapa faktor yang mempengaruhi kerusakan akibat korosi galvanis, yaitu: kondisi lingkungan, jarak, serta perbandingan luas permukaan katoda dan anoda. Disebut juga korosi dwilogam yang merupakan perkaratan elektrokimiawi apabila dua macam metal yang berbeda potensial dihubungkan langsung di dalam elektrolit yang sama. Elektron akan mengalir dari metal yang kurang mulia

(anodik) menuju ke 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-ion negatif yang berada di dalam elektrolit menjadi garam metal.

Karena peristiwa ini, permukaan anoda kehilangan metal sehingga terbentuk sumur-sumur karat atau jika merata akan terbentuk karat permukaan.



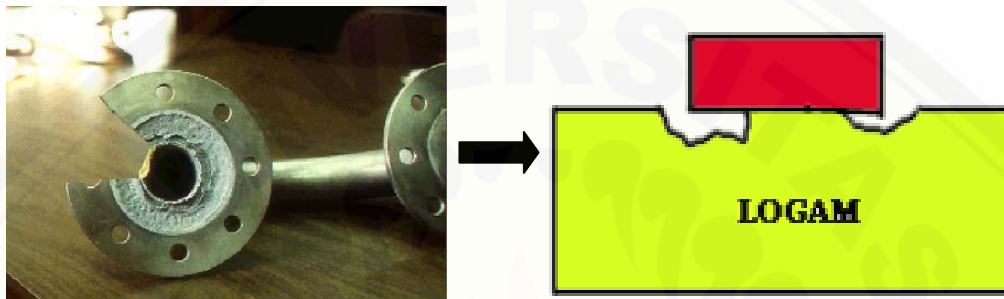
Gambar 2.2 Mekanisme Korosi Galvanis pada Sambungan Baut  
(Sumber: Priyotomo,2008)

### 3. Korosi Celah (*Crevice Corrosion*)

Korosi celah terjadi pada daerah celah atau daerah tersembunyi pada permukaan logam yang berada di lingkungan korosif. Korosi celah ini merupakan korosi lokal yang hanya terjadi pada celah karena perbedaan konsentrasi oksigen. Korosi celah juga biasa terjadi karena perbedaan lingkungan antara bagian dalam dan bagian luar celah. Bagian dalam celah, konsentrasinya rendah atau kurang sehingga bersifat anodik, sedangkan bagian luar celah, konsentrasinya lebih tinggi sehingga logam bersifat katodik. Selain itu, korosi ini terjadi pada logam yang berdempetan dengan logam lain atau non logam dan diantaranya terdapat celah yang dapat menahan kotoran dan air sebagai sumber terjadinya korosi.

Konsentrasi oksigen pada permukaan logam lebih kaya dibandingkan pada bagian dalam, sehingga bagian dalam lebih anodik dan bagian permukaan menjadi katodik. Maka terjadi aliran arus dari dalam menuju permukaan logam yang

menimbulkan korosi. Atau juga perbedaan konsentrasi zat asam, dimana celah sempit yang terisi elektrolit (pH rendah) maka akan terjadi sel korosi yang katoda permukaannya sebelah luar celah yang basah dengan air yang lebih banyak mengandung zat asam dari pada daerah dalam yang bersifat anodik. Maka pada daerah ini terjadinya korosi yang disebabkan adanya katoda dan anoda.

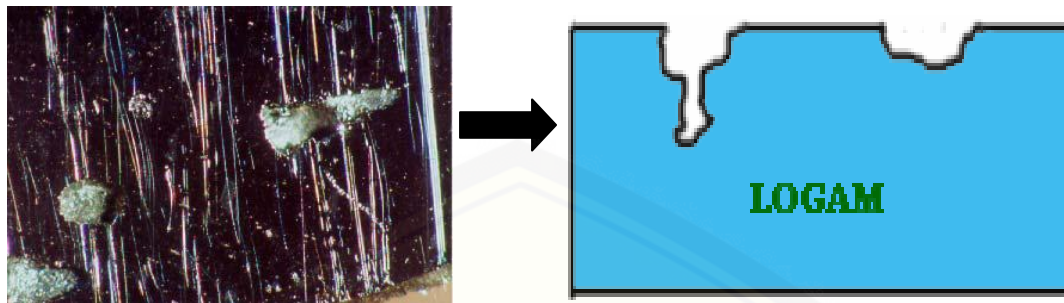


Gambar 2.3 Mekanisme korosi celah pada sambungan pipa (Sumber: Priyotomo,2008)

#### 4. Korosi Sumuran (*Pitting Corrosion*)

Merupakan korosi yang terjadi karena komposisi logam yang tidak homogen dan ini menyebabkan korosi yang dalam pada beberapa tempat. Korosi ini timbul didaerah lokal pada suatu bentuk benda kerja yang dibuat dari logam yang menghasilkan bentuk lubang-lubang mirip sumur pada logam tersebut. Selain itu, korosi ini juga terjadi akibat adanya kontak antar logam, maka pada daerah batas akan timbul korosi yang mirip bentuk sumur.

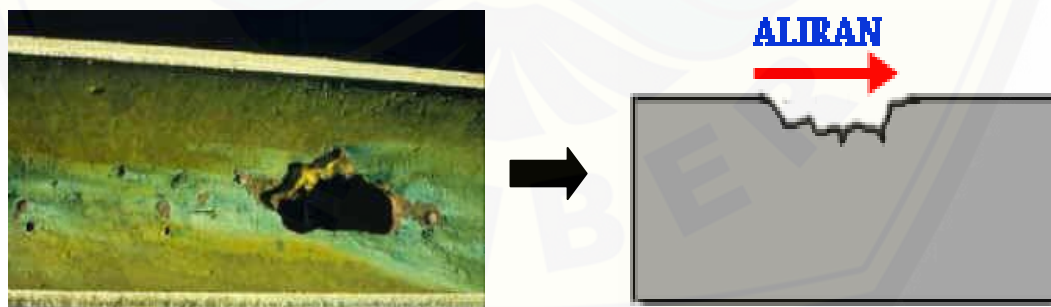
Berikut ini merupakan contoh gambar korosi sumuran pada logam:



Gambar 2.4 Mekanisme korosi sumuran (*pitting corrosion*)  
(Sumber: Priyotomo,2008)

#### 5. Korosi Erosi

Korosi yang terjadi karena adanya aliran fluida bersifat korosif yang mengalir pada permukaan material. Fluida tersebut dapat berupa cairan maupun gas dengan kecepatan tinggi. Kecepatan tinggi dari fluida korosif yang mengalir mengakibatkan efek keausan mekanis atau abrasi. Lapisan pasif berupa coating pada permukaan material akan terkikis, sehingga menyebabkan kemungkinan terjadinya korosi semakin besar. Ataupun logam yang sebelumnya telah terkena erosi akibat terjadinya keausan dan menimbulkan bagian – bagian yang tajam dan kasar. Bagian – bagian inilah yang mudah terserang korosi dan apabila terdapat gesekan maka akan menimbulkan abrasi yang lebih berat.

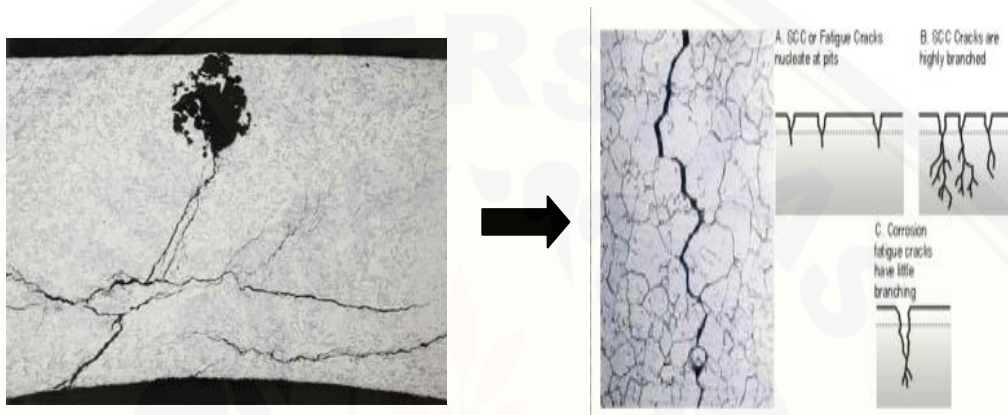


Gambar 2.5 Mekanisme korosi erosi pada pipa  
(Sumber: Priyotomo,2008)

#### 6. Korosi Retak Tegang (Stress Corrosion Cracking)



Korosi terjadi karena adanya tegangan beban tarik pada suatu material di lingkungan korosif. Logam pertama - tama akan terkena korosi pada suatu titik, dan kemudian akan membentuk retakan. Retakan ini akan menjalar dan dapat menyebabkan kegagalan pada komponen tersebut. Sifat yang khas dari korosi ini adalah crack yang berbentuk akar serabut.



Gambar 2.6 Mekanisme korosi retak tegang pada sebuah logam (Sumber: Utomo, 2009)

#### 7. Korosi Batar Butir (*Intergranular Corrosion*)

Terjadinya korosi hanya pada batas butir, akibat dari serangan elektrolit, karena tegangan yang terjadi pada butir cukup tinggi. Selain itu karbida pada batas butir yang juga dapat mengakibatkan korosi. Korosi ini biasanya terjadi pada perlatan berbahan stainless steel, korosi intergranular terjadi karena krom pada sekitar batas butir membentuk presipitat kromium karbida di batas butir.

Berikut ini gambaran mengenai korosi batas butir pada *end valve*:



Gambar 2.7 Mekanisme korosi batas butir  
(Sumber: Priyotomo,2008)

## 2.5 Pengendalian Korosi

Salah satu cara untuk mencegah korosi adalah dengan melindungi permukaan logam. Meliputi permukaan benda logam dengan cat atau minyak akan mencegah korosi dengan tidak membiarkan oksigen untuk bersentuhan. Korosi atau yang biasa disebut karat merupakan suatu fenomena alam yang akan terus terjadi selama logam berintraksi (berhubungan) dengan lingkungan. Korosi tidak mungkin sepenuhnya dapat dicegah karena memang merupakan proses alamiah bahwa semuanya akan kembali ke sifat asalnya. Asalnya dari tanah maka akan kembali ke tanah. Hal ini adalah siklus alam yang akan terus terjadi selama kesetimbangan alam belum tercapai. Korosi juga dapat dikontrol dengan menghubungkan benda yang akan dilindungi ke benda lain yang terbuat dari logam yang terkorosi lebih mudah. Ketika paku besi (Fe) dibungkus dengan plat seng (Zn) dan terkena cairan berupa air ( $H_2O$ ), seng (menjadi logam yang lebih aktif dari besi) yang akan teroksidasi sementara besi tetap utuh.

Pengendalian korosi harus dimulai dari suatu perencanaan, pengumpulan data lingkungan, proses, peralatan dan bahan yang dipakai serta pemeliharaan yang akan diterapkan.

Adapun metode-metode yang dilakukan dalam pengendalian korosi sebagai berikut:



1. Perubahan ketahanan logam terhadap lingkungan
2. Pemilihan bahan
3. Modifikasi rancangan
4. Teknik pelapisan
5. Proteksi anodik dan katodik

## **2.6 Inhibitor**

### **2.6.1. Pengertian**

Secara umum suatu inhibitor adalah suatu zat kimia yang dapat menghambat dan memperlambat suatu reaksi kimia. Sedangkan inhibitor korosi adalah suatu zat kimia yang bila ditambahkan kedalam suatu lingkungan, dapat menurunkan laju penyerangan korosi lingkungan itu terhadap suatu logam. Mekanisme penghambatannya terkadang cukup beragam(Alpian,2016).

### **2.6.2.Mekanisme Kerja Inhibitor Korosi**

Suatu inhibitor kimia adalah suatu zat kimia yang dapat menghambat atau memperlambat suatu reaksi kimia. Secara khusus, inhibitor korosi merupakan suatu zat kimia yang bila ditambahkan kedalam suatu lingkungan tertentu, dengan tujuan menurunkan laju penyerangan lingkungan itu terhadap suatu logam.

Berikut ini cara kerja inhibitor korosi :

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

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

### 2.7 Beberapa Masalah dalam Penggunaan Inhibitor

Menurut Widharto (1999) masalah – masalah yang akan timbul dalam penggunaan inhibitor sebagai penghambat laju korosi sebagai berikut :

#### 1. Pembuihan (*foaming*)

Sifat zat inhibitor sebagai sabun (deterjen). Akibat pengaruhnya (*organik inhibitor*) terhadap permukaan karena fungsinya diserap oleh permukaan tersebut. *Foaming* terjadi pada peralatan yang mengandung gas dan gerakan agitasi. Untuk mencegah hal tersebut perlu diinjeksikan zat anti *foaming* atau menggunakan inhibitor secara tepat.

#### 2. Terjadi Emulsi

Terjadinya emulsi karena terdapatnya fase – fase gas dan cairan yang bercampur atau dua jenis cairan yang bercampur disertai gerakan agitasi. Dalam hal ini inhibitor berlaku sebagai stabilisator emulsi. Untuk mengatasi masalah tersebut ditambahkan zat *demulsifier*.

#### 3. Penyumbatan (*plugging*)

Ada jenis inhibitor tertentu yang dapat mengakibatkan terkelupasnya lapisan oksida atau kerak yang sudah ada pada permukaan baja, sehingga kerak tersebut ikut aliran dan menyumbat pada *opening – opening* kecil seperti *filter, tubing* dan lain – lain. Untuk mengatasinya peralatan dibersihkan dahulu permukaannya dari kerak – kerak sebelum diberi inhibitor, atau melindungi sistem filter dengan filter untuk menyaring kerak yang terlepas.

#### 4. Terciptanya masalah korosi baru

Pemberian inhibitor diharapkan mampu menghambat laju korosi suatu material yang dilindungi, namun dalam waktu yang bersamaan inhibitor justru mempercepat laju korosi.

Misalnya beberapa amine melindungi baja dengan baik, namun akan semakin menyerang metal baja dan kuningan. Untuk itu perlu diperhatikan susunan kimia material dan sifat – sifat inhibitor yang akan melindungi metal dari korosi.

#### 5. Masalah *Heat Transfer*

Adanya endapan fosfat, silikat atau sulfat sebagai zat inhibitor secara berlebihan pada permukaan alat penukar kalori, dapat menimbulkan masalah karena mengurangi pertukaran panas sehingga mengurangi efisiensi alat tersebut. Maka dari itu perlunya pemberian zat tidak berlebihan atau dipertahankan dalam batas minimum.

#### 6. Pengaruh beracun

Pengaruh beracun harus dipikirkan dari zat inhibitor terhadap panca indra. Maka dalam pemilihan harus sangat hati – hati dan teliti. Serta perlakuan atau pemrosesan yang benar akan mengurangi resiko ini.

#### 7. Kehilangan inhibitor

Pada proses *inhibition* tidak akan efektif bila terjadi kehilangan zat sebelum sempat berhubungan dengan permukaan metal atau sebelum terciptanya perubahan yang dikehendaki. Suatu inhibitor akan menghilang karena pengendapan (*presipitation*), proses adsorpsi dan reaksi dengan komponen sistem yang

dilindungi atau karena mudah larut atau terlalu lambat pelarutnya. Misalnya proses pengendapan fosfat oleh ion kalsium, reaksi antara kromat dan sulfida, proses adsorpsi zat inhibitor pada butis padat yang mengembang (*suspended solid*) dan penginjeksian zat inhibitor yang sulit larut tanpa bahan pelarut (*dispersing agent*).

### 2.8 Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.)

Belimbing wuluh termasuk suku *Oxalidaceae* (belimbing-belimbingan) jenis *Averrhoa bilimbi* L. buahnya dapat secara lokal sering diolah menjadi jus atau menjadi bahan kuliner seperti salad atau makanan penutup (Ramsay dan Harvey, 2015). Jus tersebut juga dapat digunakan untuk mengobati masalah kesehatan mulut, sakit tenggorokan dan masalah pencernaan (Ariharan dkk., 2012). Bahkan daun belimbing wuluh dapat digunakan sebagai antipiretik yang berfungsi untuk mengurangi rasa pegel linu dan bisul. Selain itu bunga dari belimbing wuluh juga mampu menyembuhkan sakit batuk. Sedangkan buah belimbing wuluh mampu mengobati beberapa penyakit, menjadi manisan, campuran sayur untuk bumbu masakan dapur, menghilangkan bau amis, bahkan juga dimanfaatkan untuk industri kosmetika. Berikut ini merupakan contoh gambar dari pohon belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.):



Gambar.2.8 Belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.)

.Indonesia memiliki 2 jenis buah belimbing wuluh yaitu yang buahnya berwarna hijau dan yang berwarna putih. Penanaman belimbing wuluh bisa dilakukan dengan 2 cara yaitu dengan biji atau dengan mencangkok, akan tetapi dengan metode cangkok maka tanaman belimbing akan lebih cepat berbuah. Jenis tumbuhan dari Malaysia ini dapat hidup subur pada tanah dengan tinggi sekitar 750 mdpl. Batang pohon belimbing wuluh memiliki ukuran sedang tetapi mampu tinggi hingga 15 meter. Daun tanaman belimbing wuluh berpasangan, berbentuk bulat telur, bagian bawahnya sedikit berbulu, bersirip ganjil dan ujung batangnya seperti payung. Bunga berukuran kecil berwarna merah keunguan mengumpul menjadi pucuk lembaga, daun bunga berbentuk panjang, terdapat benang sari sebanyak 10 helai, yang menempel pada batang. Berikut ini klasifikasi tumbuhan belimbing wuluh :

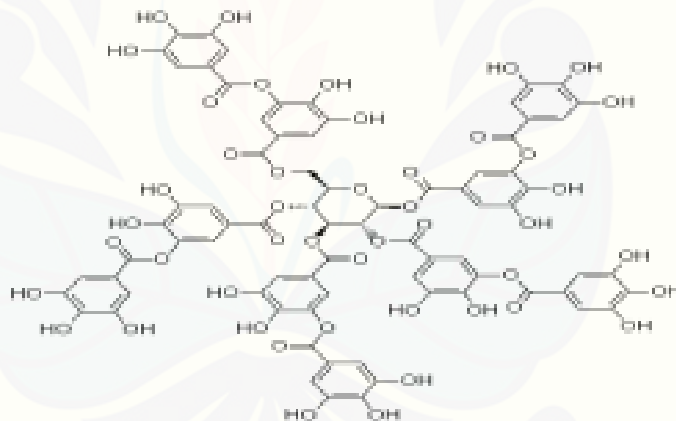
Kerajaan : *Plantae*  
Divisi : *Magnoliophyta*  
Kelas : *Magnoliopsida*  
Ordo : *Oxalidales*



Famili : *Oxalidaceae*  
Genus : *Averrhoa*  
Spesies : *A. bilimbi*

Selain itu belimbing wuluh banyak mengandung komponen senyawa kimia yaitu tanin, alkaloid, dan air. Tanin adalah salah satu senyawa yang terkandung dalam daun belimbing wuluh yang kadarnya cukup tinggi. Tanin diperoleh dengan cara ekstraksi dengan pelarut air dan etanol karena tanin dapat larut dalam pelarut tersebut. Pada daun tanaman belimbing wuluh terdapat kandungan tanin yang cukup tinggi sekitar 99% dibanding pada buahnya yang memiliki kandungan tanin sebesar 97% (A.Ramsay dan Harvey, 2015)

Berikut ini merupakan ilustrasi struktur dari tanin:



Gambar 2.9 Struktur Tanin ,

(Sumber : Ismail,2010)

Kandungan kimia dari daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi L*) adalah saponin, tanin, sulfur, asam format dan peroksida (LIPI-PDII,2007). Tanin yang terkandung dalam ekstrak daun belimbing wuluh memiliki kandungan yang berbeda-beda pada suatu wilayah atau daerah, hal ini disebabkan oleh faktor keadaan iklim, dan faktor lingkungan tempat tumbuhnya. Faktor iklim seperti keadaan suhu, cuaca



dan curah hujan. Faktor lingkungan seperti jenis tanah, kesuburan tanah, ketinggian tempat tumbuh dan pemeliharaan tanaman.

### **2.9 Mekanisme Proteksi Inhibitor Ekstrak Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.)**

Pemilihan ekstrak daun belimbing wuluh karena zat yang terkandung ,dalam ekstrak dapat diterima oleh lingkungan, ketersediaan sumber daya alam dan keanekaragamannya yang melimpah namun masih terbatas pemanfaatannya dan merupakan sumberdaya alam yang dapat diperbaharui untuk kebutuhan akan inhibitor (Pramana, 2012). Selain itu ekstrak daun belimbing yang *biodegradable* sehingga tidak perlu dikhawatirkan akan menjadi lingkungan.

Selain itu kemanjuran inhibisi korosi dari ekstrak tumbuhan berasal dari adanya jenis organik kompleks, seperti tanin, alkaloid, dan nitrogen, karbohidrat, dan protein seperti produk hidrolisis asamnya. Selain itu terdapat fakta bahwa flavonoid dan phenyl-Charboxyclic acids termasuk senyawa yang paling aman dan efektif ,sehingga dapat digunakan tidak hanya dibidang farmasi ,kosmetik atau produk makanan, namun digunakan juga sebagai produk anti korosi atau anti scaling yang ramah lingkungan (Pramana, 2012).

### **2.10 Ekstrak Tanin sebagai Inhibitor**

Tanin memiliki struktur kimia kompleks, biasanya banyak ditemukan pada tumbuhan berpembuluh. Tanin merupakan senyawa fenolik larut air, dapat menimbulkan reaksi umum dari senyawa fenol serta memiliki sifat – sifat khusus seperti pretisipasi alkaloid, gelatin dan protein – protein lain dan memiliki rasa yang sepat. Tanin biasanya berupa senyawa *amorf*, higroskopis berwarna coklat kuning dapat larut dalam air dan pelarut organik polar. Semakin murni tanin akan berakibat kepada kelarutannya dalam air akan berkurang dan semakin mudah membentuk kristal. Beberapa bentuk tanin terbukti mempunyai aktifitas antioksidan, tanin dapat

meningkatkan pembentukan film diatas permukaan logam sehingga dapat membantu dalam proses inhibisi korosi (Pramana, 2012).

Proses inhibisi tanin dikaitkan kepada pembentukan lapisan pasif dari tannates pada permukaan logam. Sekema tanin mengandung gugus polifenolik moieties dandan gugus tersebut memiliki kemampuan untuk membentuk garam taninate dengan ion *ferric* maka inhibisi korosi dari tanin dapat disebabkan oleh pembentukan jaringan dari garam *ferric taninate* yang melindungi permukaan logam (Pramana, 2012). Tanin juga dapat diketahui dapat membentuk senyawa kompleks dengan kation logam yang berbeda, khususnya pada suatu media, berdasarkan latar belakang tersebut maka dalam proses manufaktur biasanya tanin digunakan sebagai cat anti karat dan *coating* (Pramana, 2012).

### 2.11 Air laut

Air laut merupakan faktor penting dalam mempengaruhi proses terjadinya korosi. Sebagian besar laju korosi pada konstruksi baja di laut ataupun di pesisir pantai (*marine*) sangat dipengaruhi oleh ion-ion yang terdapat pada laut. Hal-hal yang dapat mempengaruhi keadaan air laut adalah sebagai berikut:

#### 1. Densitas

Densitas adalah massa jenis air laut dalam  $\text{kg m}^{-3}$  yang sangat bergantung pada temperatur (T), salinitas (S), dan tekanan (p). Ketergantungan ini dikenal dengan persamaan keadaan air laut (*Equation Of State of Sea Water*) :  $\rho = \rho(T,S,p)$ . Penentuan dasar pertama dalam membuat persamaan di atas dilakukan oleh Knudsen dan Ekman pada tahun 1902.

Pada persamaan mereka,  $\rho$  dinyatakan dalam  $\text{g cm}^{-3}$ . Penentuan dasar yang baru didasarkan pada data tekanan dan salinitas dengan kisaran yang lebih besar, menghasilkan persamaan densitas baru yang dikenal sebagai Persamaan Keadaan Internasional (*The International Equation of State*, 1980). Persamaan ini menggunakan temperatur dalam  $^{\circ}\text{C}$ , salinitas dari Skala Salinitas Praktis dan

tekanan dalam dbar (1 dbar = 10.000 pascal = 10.000 N m<sup>-2</sup>). Densitas dalam persamaan ini dinyatakan dalam kg m<sup>-3</sup>.

## 2. Salinitas

Salinitas merupakan massa total yang dinyatakan dalam gram. Salinitas dinyatakan dengan satuan per seribu (‰).

Hubungan antara salinitas dan klorida ditentukan melalui suatu rangkaian pengukuran dasar laboratorium berdasarkan pada sampel air laut di seluruh dunia dan dinyatakan sebagai:

$$S (\text{‰}) = 0.03 + 1.805 \text{ Cl} (\text{‰}) \dots\dots\dots (1)$$

$$S (\text{‰}) = 1.80655 \text{ Cl} (\text{‰}) \dots\dots\dots (2)$$

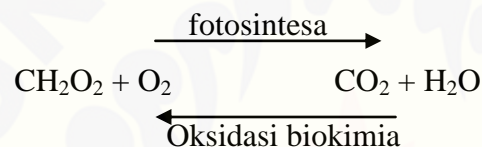
## 3. Organisme laut

Air laut merupakan media yang aktif bagi sejumlah mikro organisma. Mikro organisma ini bersama-sama dengan permukaan logam dalam air laut akan membentuk *biofouling* menyebabkan terjadinya korosi merata atau lokal. Larutnya beberapa partikel padat pada air laut akan menimbulkan proses dinamik yang terus menerus, dimulai dari adsorpsi material organik terlarut, mati dan terjadi pembentukan lapisan film yang disebabkan oleh ganggang dan bakteri yang mana akan menyebabkan terjadinya tumbuhan hidup.

Terbentuknya lapisan film ini hanya dalam waktu relatif singkat, yaitu dua jam dari saat logam dicelupkan ke dalam air laut. Lapisan ini akan mengubah sifat kimia pada permukaan logam dalam elektrolit. Ketika CO<sub>2</sub> terlarut, maka akan bereaksi dengan air membentuk kesetimbangan bentuk ionik (CO<sub>2(aq)</sub>), asam karbonat (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), bikarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) dan karbonat (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>). perbandingan dari jenis ini bergantung pada temperatur air laut dan alkalinitas (kapasitas penetralan asam dari sebuah larutan). Terlarutnya CO<sub>2</sub> juga akan menyebabkan naiknya konsentrasi ion hidrogen di lautan sehingga mengurangi pH lautan.

#### 4. Keasaman (pH) air laut

Air laut umumnya mempunyai pH lebih besar dari delapan pada permukaan. pada pH ini, 93% dari total karbon anorganik ada dalam bentuk  $\text{HCO}_3^-$ , 6% sebagai  $\text{CO}_3^{2-}$ , dan 1% sebagai  $\text{CO}_2$ . Konsentrasi ion karbonat relatif sangat tinggi pada permukaan dan permukaan air hampir selalu jenuh dengan kalsium karbonat. Hal ini menyebabkan terjadinya pengendapan jenuh *calcareous scale* pada permukaan logam. Konsentrasi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{O}_2$  mempunyai hubungan yang erat dengan pH air laut dalam proses fotosintesa dan oksidasi biokimia dengan reaksi sebagai berikut :



Reaksi dari kiri ke kanan, oksigen terlarut dipakai dan CO dihasilkan. Hasil CO akan membuat air lebih asam yang mana hal ini akan menurunkan pH dan juga menurunkan kejenuhan terhadap karbonat. Walaupun pH mempunyai pengaruh yang sangat kecil terhadap kecepatan korosi air laut, tetapi dalam hubungannya dengan deposit *calcareous* mempunyai pengaruh yang besar. Pengendapan kerak biasanya terjadi pada pH yang lebih tinggi dimana ion  $\text{OH}^-$  dihasilkan selama reduksi oksigen terlarut. Berikut ini merupakan tabel yang menunjukkan komposisi kimia air laut (Kirk Othmer, 1965):

Tabel 2.1 Komposisi kimia air laut

Senyawa	Persen Berat (%)
NaCl	2.88
MgCl <sub>2</sub>	0.32
MgSO <sub>4</sub>	0.22
CaSO <sub>4</sub>	0.12
KCl	0.07
NaBr	0.008
H <sub>2</sub> O	96.582

## 2.12 Las SMAW

Pengelasan metode SMAW merupakan pengelasan dengan elektroda terbungkus, metode ini sangat banyak digunakan dalam pembangunan kapal dan reparasi kapal, disamping harga yang terjangkau, juga dikarenakan pengelasan dengan metode SMAW sangat fleksibel dalam penggunaannya. Baik itu pengelasan dengan posisi datar, horizontal, tegak (vertikal), ataupun posisi diatas kepala (*overhead*)(Weman,2003).

Dalam pengelasan, ada beberapa bagian bahan yang mempunyai sifat kekuatan bahan akibat proses pengelasan, diantaranya adalah : (1). Base metal (logam induk) merupakan bagian logam yang tidak mengalami perubahan struktur akibat pengelasan, (2). HAZ (*Heat Affected Zone*) merupakan daerah terpengaruh panas, daerah ini adalah yang paling lemah baik kekerasannya, keuletan dan tegangannya, karena struktur kristalnya banyak berubah, (3) *Weld metal* ( logam las ) merupakan logam las yang mencair dan melebur bersama logam induk, daerah ini adalah yang paling baik kekerasan dan tegangan tarik jika dalam pelaksanaan pengelasan memenuhi standar (Pujo, 2008).

Prinsip kerja las busur listrik elektrode terbungkus (SMAW) yaitu dimulai ketika nyala api elektrik menyentuh ujung elektrode dengan benda kerja. Dua logam yang konduktif jika dialiri listrik dengan tegangan yang relatif rendah akan menghasilkan loncatan elektron yang menimbulkan panas yang sangat tinggi, dapat mencapai  $5000^{\circ}\text{C}$  yang dapat mencairkan kedua logam tersebut(Weman,2003).

Ilustrasi pengelasan dengan elektrode terbungkus (SMAW) dapat dilihat pada gambar berikut.





Gambar 2.10 Ilustrasi las SMAW  
(Sumber : Pujo dan Sarjito, 2008)

Beberapa keuntungan pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*), sehingga penggunaannya cukup diminati, yaitu:

- Penggunaannya lebih mudah, sehingga tidak terlalu sukar untuk melatih calon *welder* yang belum biasa.
- Lebih ekonomis karena modal yang diperlukan relatif kecil serta biaya pemeliharannya lebih murah.

Cara pengelasan ini dapat dikatakan cukup fleksibel, dapat menyambung logam yang mempunyai ketebalan tipis hingga tebal dengan bermacam – macam posisi pengelasan.

### 2.13 Baja Karbon

Baja karbon merupakan baja yang mengandung karbon sebagai unsur utamanya beserta unsur-unsur tertentu yang bertujuan untuk memperoleh sifat mekanis yang diinginkan. Biasanya penambahan unsur karbon yang merupakan elemen yang berpengaruh terhadap sifat mekanisnya. Baja karbon diklasifikasikan menjadi baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi berdasarkan kadar karbonnya.



Baja ASTM A53 adalah jenis baja karbon rendah dengan kandungan karbon sebesar 0,25% dan merupakan jenis material baja yang banyak digunakan untuk aplikasi pipa. Jenis baja ini adalah jenis baja yang baik digunakan sebagai pipa untuk distribusi uap, air, dan gas. Pada baja karbon, makin tinggi kandungan karbon maka titik leburnya akan menurun (Knowles, 1987)

Berikut ini merupakan tabel berbagai unsur kimia yang terkandung didalam baja karbon A53 yang digunakan untuk pengujian didalam penelitian ini:

Tabel 2.2 Komposisi kimia baja karbon A53 berdasarkan ASTM

<b>Unsur</b>	<b>Grade A (% wt)</b>	<b>Grade B (% wt)</b>
C	0,25	0,30
Mn	0,95	1,20
P	0,05	0,05
S	0,45	0,45
Cu	0,40	0,40
Ni	0,40	0,40
Cr	0,40	0,40
Mo	0,15	0,15
V	0,08	0,08

## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu suatu metode yang digunakan untuk menguji pengaruh dari suatu perlakuan atau desain baru dengan cara membandingkan desain tersebut dengan desain tanpa perlakuan. Metode eksperimental yang dilakukan adalah dengan menambahkan ekstrak inhibitor daun belimbing wuluh (*Averhoa bilimbi L.*) dengan berbagai konsentrasi pada daerah hasil las spesimen uji yaitu baja karbon A53 yang direndam dalam larutan korosif berupa air laut.

### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dimulai pada bulan Maret 2016 sampai dengan Mei 2016 yang dilakukan di proses riset dilakukan dilaboratorium Kemasan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember dan pengujian mikro dilakukan dilaboratorium Pengujian Bahan Depertmen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, pembuatan ekstrak dilakukan dilaboratorium Biologi Fakultas Farmasi Universitas Jember lalu pengambilan media pengkorosi diambil didesa Puger kabupaten Jember.

### 3.3 Alat dan Bahan

#### a Alat

1. Transformator
2. Inverter las
3. Penjepit elektroda
4. Timbangan dengan ketelitian 0,0001 mg, *Excellent Scale*
5. Gelas ukur 100 mL

6. Jangka sorong
7. Mikroskop Metalurgi Olympus
8. Mesin gerinding
9. Kertas gosok
10. Gergaji
11. Sikat kecil
12. Kamera digital
13. pH Meter
14. Wadah medium korosif berbentuk gelas plastik transparan 220 ml
15. Palu
16. Sikat baja
17. Tang
18. Topeng las
19. Masker las
20. Apron/ jaket pelindung las
21. Safety shoes

b Bahan

1. Bahan uji berupa pipa baja karbon A53 (dimensi : 20 mm x 20mm x 3mm).
2. Daun belimbing wuluh
3. Kertas ampelas grade 400, 600, 800, 1000, 1200, dan 1500
4. Kain beludru
5. Autosol
6. Etanol
7. HCl
8. Hardener
9. Air laut
10. Aquades

11. Resin
12. Pipa
13. Elektroda

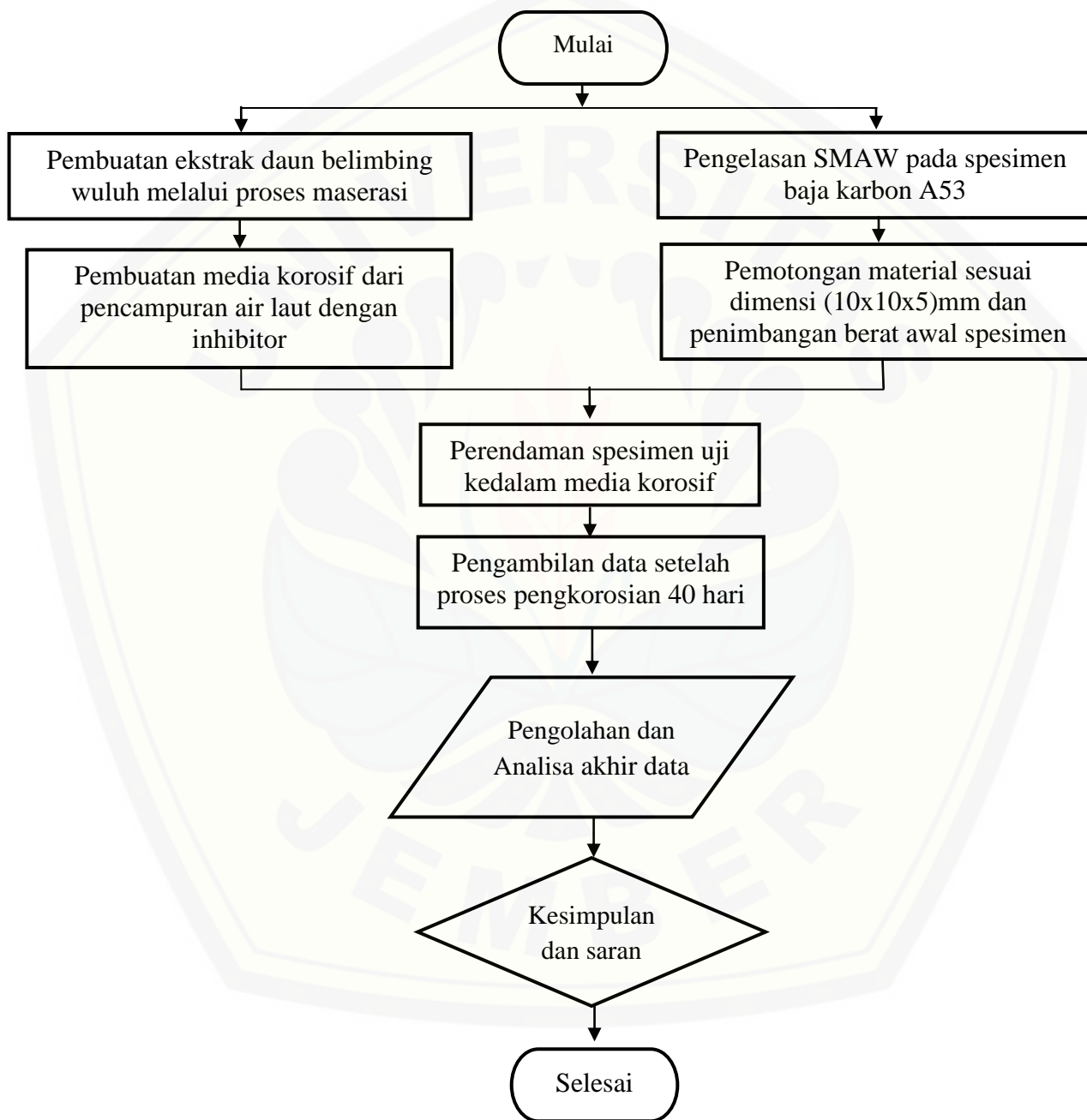
### 3.4 Prosedur penelitian

Proses penelitian ini menyesuaikan dengan ASTM G1-90, Adapun langkah-langkah penelitian sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan.
2. Mengelas permukaan pipa baja karbon A53 dengan posisi bawah tangan (*down hand*) 1G/PA (ASTM G31-72).
3. Menghaluskan permukaan hasil las pipa baja karbon A53 hingga sesuai dengan dimensi spesimen. (ASTM G31-72)
4. Membuat ekstrak daun belimbing wuluh dengan perbandingan konsentrasi larutan inhibitor 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8%.
5. Menimbang berat spesimen yang siap direndam dalam media.
6. Mempersiapkan media air laut kedalam gelas plastik..
7. Melakukan pengujian perendaman pipa baja karbon A53 kurang lebih selama 40 hari pada setiap konsentrasi larutan.
8. Melihat dan mengambil data tentang proses korosi yang terjadi pada hasil las pipa baja karbon A53 selama 5 hari sekali.
9. Mengukur berat pipa baja karbon A53 setelah perendaman dan pembersihan, kemudian menghitung laju korosinya (mmpy) dan efisiensi inhibitor.
10. Melakukan pengamatan struktur makro dan mikro spesimen uji tiap konsentrasi.
11. Analisis data dan kesimpulan

### 3.5 Diagram Alir Proses

Prosedur penelitian yang dijabarkan sebelumnya, disajikan dalam bentuk diagram alir seperti di bawah ini: Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram alir

### 3.6 Pelaksanaan Penelitian

#### a. Persiapan Alat

Persiapan alat dilakukan untuk menghindari adanya berbagai macam gangguan dan masalah yang dapat timbul akibat dari kondisi peralatan yang akan digunakan, yaitu dengan melakukan pengecekan mengenai fungsi-fungsi peralatan dan membersihkannya dari kotoran-kotoran yang menempel.

#### b. Proses Pengelasan Material

Proses pengelasan baja karbon A53 ini menggunakan las SMAW (*Shielded Material Arc Welding*) atau yang biasa disebut las busur listrik terbungkus. Berikut parameter pengelasan yang digunakan pada pengelasan baja karbon A53 (AWS Welding Handbook 4,2007):

Jenis Elektroda	: E9018
Geometri Penyambungan	: Double V
Kedalaman Bevel	: 3,15 mm
Jumlah <i>Capping</i>	: 3 kali
Kuat Arus Busur Las	: 100-140 Ampere
Voltase Busur Las	: 20 Volt
Diameter Elektroda	: 4 mm
Daya Mesin Las	: 150 - 190 Ampere
Tegangan Mesin Las	: 25 Volt

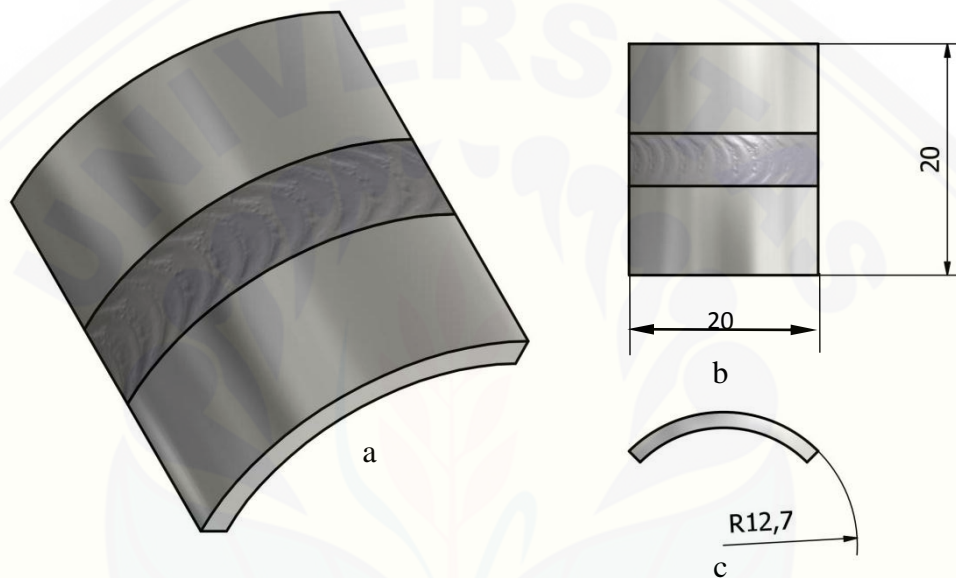
#### c. Persiapan pembuatan spesimen uji

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah pipa baja karbon A53. Persiapan material dilakukan dengan membersihkan material dari kotoran atau minyak yang ada ataupun yang melekat. Kemudian material dilas lalu dipotong



dan diberi tanda ukuran sesuai dengan panjang spesimen benda uji yang akan dibuat.

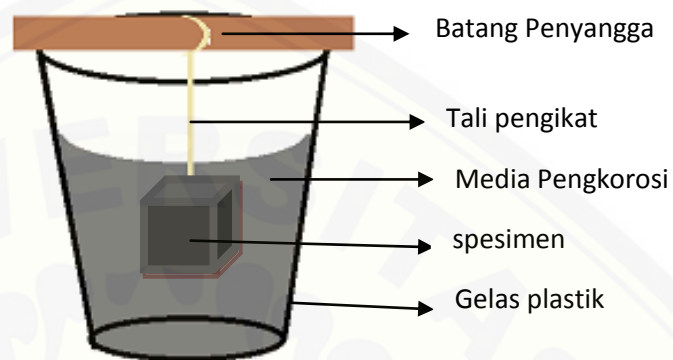
Setelah semua persiapan terhadap material selesai kemudian dilakukan pembuatan spesimen uji sesuai dengan standart ASTM G31-72 (*Standart Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metal*). Dengan spesimen sebagai berikut:



Gambar 3.2 (a)Sketsa Spesimen Uji, (b) tampak atas, (c) tampak samping

Pembentukan spesimen uji dilakukan dengan memotong material menggunakan gergaji potong, selanjutnya dilakukan pengikiran pada bagian sisinya untuk mendapatkan kerataan ukuran sesuai dengan yang diinginkan sebelum dilakukan pengujian material dihaluskan terlebih dahulu dengan kertas gosok *grade* 400, 600, 800, 1000, 1200, dan 1500 pada permukaan seluruhnya. Setelah permukaannya dalam keadaan halus, selanjutnya dibersihkan dengan aquades, larutan HCl encer dan aseton.

Kemudian spesimen kita lakukan penimbangan awal sebelum proses pengkorosian.



Gambar 3.3 Wadah Perendaman Spesimen Uji

d. Pembuatan media pencelupan dari ekstrak daun belimbing wuluh

Pemilihan inhibitor dari ekstrak buah daun belimbing wuluh ini karena inhibitor organik yang aman, mudah didapatkan, bersifat *biodegradable*, murah dan ramah lingkungan. Inhibitor ini akan menghasilkan sebuah lapisan pelindung tipis dipermukaan logam yang menghalangi reaksi langsung antara logam dengan lingkungan air. Proses pembuatan ekstrak yaitu dengan cara maserasi. Maserasi adalah salah satu jenis metoda ekstraksi dengan sistem tanpa pemanasan atau dikenal dengan istilah ekstraksi dingin, jadi pada metoda ini pelarut dan sampel tidak mengalami pemanasan.

Adapun langkah-langkah proses ekstrasi buah daun belimbing wuluh menggunakan metode maserasi adalah sebagai berikut:

1. 1,5 kg daun belimbing wuluh yang sudah diangin anginkan hingga kering kurang lebih sekitar 5 hari atau di masukkan ke dalam oven dengan suhu 30-50 °C selama 20 menit untuk menghilangkan kadar airnya, hingga kadar airnya berkurang  $\pm 66,6\%$ .
2. Daun belimbing wuluh yang sudah kering dihaluskan dengan cara di blender disaring dengan ayakan berukuran 45 mesh .
3. Kering kemudian diekstrak dengan metode maserasi menggunakan pelarut etanol. Larutan ini dibuat dengan melarutkan 500 gr Daun belimbing wuluh kering dalam 1,5 L pelarut. Pelarut yang digunakan adalah etanol dengan volume 750 ml dan aquades dengan volume 50 mL.
4. Metode maserasi dilakukan dengan merendam daun belimbing wuluh kering dalam pelarut selama 1 hari.
5. Hasil perendaman kemudian disaring menggunakan kertas saring sehingga diperoleh filtrate daun belimbing wuluh.
6. Filtrat kemudian diuapkan menggunakan mesin *rotary evaporator* dengan kecepatan 200 rpm dan suhu 50°C hingga menghasilkan ekstrak pekat.
7. Ekstrak pekat daun belimbing wuluh diencerkan dengan variasi konsentrasi inhibitor ekstrak Daun belimbing wuluh dengan air laut sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, 8%.

Tabel 3.1 variasi volume inhibitor

No.	Volume larutan inhibitor (%)	Volume larutan korosif (ml)	Volume larutan inhibitor (ml)
1	0%	1600	0
2	2%	1600	32
3	4%	1600	64
4	6%	1600	96
5	8%	1600	128

a Pengkorosian Material

Proses pengkorosian dilakukan dengan cara perendaman spesimen yang telah ditimbang sebelumnya ke dalam larutan korosif dengan variasi konsentrasi inhibitor daun belimbing wuluh. Perendaman dilakukan selama 40 hari dan waktu pengamatan selama 5 hari sekali. Posisi peletakan material dilakukan pada keadaan digantung, permukaan terkecil sebagai posisi terbawah atau pada ukuran 10 mm x 5 mm dengan maksud agar permukaan dapat terkorosi dengan sempurna atau sebagian besar permukaan dapat berkontak langsung dengan media pelarut, pengujian setiap konsentrasi dibutuhkan 5 spesimen uji pada setiap pengamatan.

b Pengambilan dan Pembersihan Material

Pengambilan spesimen dilakukan pada hari pertama ketika awal penelitian hingga 40 hari dengan interval 5 hari dengan pola pengambilan dimulai pada konsentrasi 0%, 2%, 4%, 6%, 8%. Setiap selesai pengambilan dilakukan pembersihan spesimen dengan membersihkan spesimen pada media larutan HCl dan aquades 1000 mL sesuai dengan ASTM G1. Al. C.3.5. *Standart Practice for Cleaning Procedure for Removal of Corrosion Products*".

Setelah direndam dibersihkan dari kotoran yang menempel pada permukaan logam dengan sikat kecil dan kemudian dibersihkan dengan tisu. Setelah itu dilakukan penimbangan kembali untuk mendata atau mengetahui pengurangan berat jenis spesimen tersebut..

c Pengamatan Struktur Makro

Pengamatan struktur makro dilakukan setiap 5 hari sekali selama 40 hari pada setiap variasi konsentrasi ekstrak buah daun belimbing wuluh dan sampel yang diamati diambil secara acak. Pengamatan makro diamati berdasarkan hasil foto menggunakan kamera digital pada setiap variasi ekstrak buah daun belimbing wuluh yang diambil secara acak.

d Pengamatan Struktur Mikro

Material setelah proses uji korosi dilakukan pengamatan *metallography* melalui beberapa proses penghalusan permukaan logam, setelah permukaan halus kurang lebih seperti cermin kemudian selanjutnya dilakukan foto mikro. Foto mikro diambil berdasarkan sampel acak dari setiap variasi konsentrasi ekstrak buah daun belimbing wuluh. Spesimen yang difoto mikro adalah pipa baja karbon A53 yang belum mendapatkan proses apapun dan yang telah direndam dalam larutan ekstrak daun belimbing wuluh di air laut dalam berbagai variasi waktu konsentrasi.

Langkah-langkah pengamatan struktur mikro dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

a Proses Grinding

Penggosokan dilakukan secara bertahap menggunakan mesin grinding. Tahap awal yaitu menghilangkan goresan-goresan yang agak kasar hingga merata dan halus (bekas goresan harus sejajar). Pada tahap ini penggosokan dilakukan dengan kertas gosok (amplas) mulai dari grid 400 dan dilanjutkan grid 600, 800, 1000, 1200,



sampai yang terakhir grid 1500 semua penggosokan dilakukan searah dan selalu dialiri dengan air.

Fungsinya adalah untuk melarutkan beram dalam air serta permukaan spesimen tidak panas dan beram yang dihasilkan dari proses grinding ini tidak menggores permukaan spesimen.

b Polishing

Polishing dilakukan pada mesin polisher, yaitu piringan yang di atasnya diberi lapisan kain beludru. Polishing dilakukan dengan sedikit menekan benda kerja ke kain beludru dengan menambahkan pasta sampai bekas goresan akibat proses grinding hilang dan permukaan spesimen terlihat rata.

c Etching

Proses mengetsa adalah proses mencelupkan spesimen kedalam larutan kimia. Larutan yang digunakan dalam penelitian ini adalah  $\text{HNO}_3$  dan etanol 96% selama 55 detik lalu dimasukkan kedalam air bersih kemudian spesimen tersebut dibersihkan dengan tisu kering, setelah itu dikeringkan dengan hairdriyer. Hal ini bertujuan untuk memperjelas gambar struktur mikro pada mikroskop dan untuk melengkapi analisis yang dilakukan.

d Pengambilan Foto Mikro

Pemeriksaan foto mikro bertujuan untuk mengetahui struktur mikro yang diperoleh dari hasil proses pengkorosian pada pipa baja karbon A53. Cara yang digunakan adalah dengan menggunakan mikroskop optik metalurgi. Pengambilan foto dilakukan pada permukaan yang terdapat korosinya untuk mengetahui terjadinya korosi dan jenis korosi yang terjadi. Pengambilan foto mikro harus tepat dan dapat mewakili seluruh struktur dalam variasi.

### 3.7 Analisis Data

#### a Analisis dengan Metode Gravimetri

Setelah spesimen direndam, dilakukan penimbangan berat masing-masing spesimen pada selang waktu 5 hari sekali selama 40 hari pada setiap variasi konsentrasi. Langkah selanjutnya adalah perhitungan laju korosi. Perhitungan laju korosi ini menggunakan metode gravimeter (pengurangan berat). Untuk menghitung laju korosinya menggunakan rumus sebagai berikut (Priyotomo, 2008) :

$$C = \frac{(8,76 \times 10^4)M}{A \times t \times D}$$

Dimana :

C = Laju korosi (mm per year)

M = Kehilangan berat (gr)

A = Luas (cm<sup>2</sup>)

t = Waktu (jam)

d = Densitas (gr/cm<sup>3</sup>)

Daya Inhibisi dihitung berdasarkan rumus empiris di bawah ini (Widharto, 1999)

$$E = \frac{R_o - R_i}{R_o} \times 100 \%$$

Dimana :

E = Daya Inhibisi (%)

R<sub>o</sub> = Laju korosi tanpa adanya inhibitor (mmpy)

R<sub>i</sub> = Laju korosi dengan adanya inhibitor (mmpy)

Data yang dihasilkan adalah menghitung massa benda uji sebelum dan setelah perendaman untuk dibandingkan. Konversi satuannya adalah massa perluasan terhadap waktu perendaman (mmpy) pada pipa baja karbon A53. Kemudian dianalisis jenis korosinya dengan melihat proses terjadinya korosi pada saat perendaman dan didapat data. Sehingga dari sini data dibahas dan disimpulkan hasilnya.

Kemudian untuk menganalisis jenis korosi dan struktur mikro, pada penelitian ini dilakukan foto mikro pipa baja karbon A53 menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 100x tanpa etsa dan dengan etsa. Untuk larutan etsa baja karbon rendah menggunakan 4%  $\text{NH}_3\text{OH}$  dan 100 mL Etanol 96% (Sumber : ASM Hand Book, 1995).

b Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan pada saat melakukan penelitian. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan pemberian persentase ekstraksi inhibitor pada medium korosif.

c Pengolahan Data

Data akan diolah menggunakan microcoft exel untuk dimunculkan dalam grafik variasi konsentrasi serta waktu perendaman sehingga dapat dianalisa dan diolah dengan cara menganalisa grafik tersebut. Selanjutya dilakukan perhitungan laju korosi dan efisiensi inhibisi yang dimunculkan juga dalam bentuk grafik.

### 3.8 Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah segala sesuatu yang yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga diperoleh informasi tentang hal tersebut, kemudian ditarik kesimpulan :

- a. Variabel bebas yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas pada percobaan ini adalah variasi konsentrasi inhibitor, dari 0%, 2%, 4%, 6% dan 8% .
- b. Variabel Terikat merupakan suatu variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah hasil perhitungan *weight loss* dan laju korosi.

### 3.9 Metode Pengujian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental dengan pendekatan kuantitatif. Uji statistik yang dilakukan dalam penelitian ini adalah eksperimen faktorial. Dimana eksperimen faktorial ini digunakan apabila terdapat lebih dari satu faktor yang mempengaruhi sesuatu yang diamati. Dalam penelitian ini faktor yang mempengaruhi laju korosi adalah waktu dan konsentrasi. Analisis ini dilakukan untuk menyelidiki perbedaan pada efek waktu dan konsentrasi terhadap laju korosi (Sastrosupadi, 2000). Penelitian yang akan dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi inhibitor ekstrak buah daun belimbing wuluh dengan konsentrasi 0%, 2%, 4%, 6% dan 8% dengan variasi waktu pengamatan mulai awal penelitian hingga 40 hari dengan interval 5 hari, rancangan yang digunakan adalah percobaan faktorial 3 kali ulangan (n) untuk menyajikan data sampel.

### 3.10 Hipotesis

Hipotesis awal penelitian ini adalah pemberian variasi konsentrasi tanin sebagai inhibitor yang terdapat pada ekstrak daun belimbing wuluh berpengaruh pada laju korosi daerah sambungan hasil las baja A53. Semakin besar konsentrasi inhibitor ekstrak buah daun belimbing wuluh yang diberikan kedalam media, maka laju korosi yang terjadi di daerah hasil las SMAW pada baja karbon A53 semakin menurun.

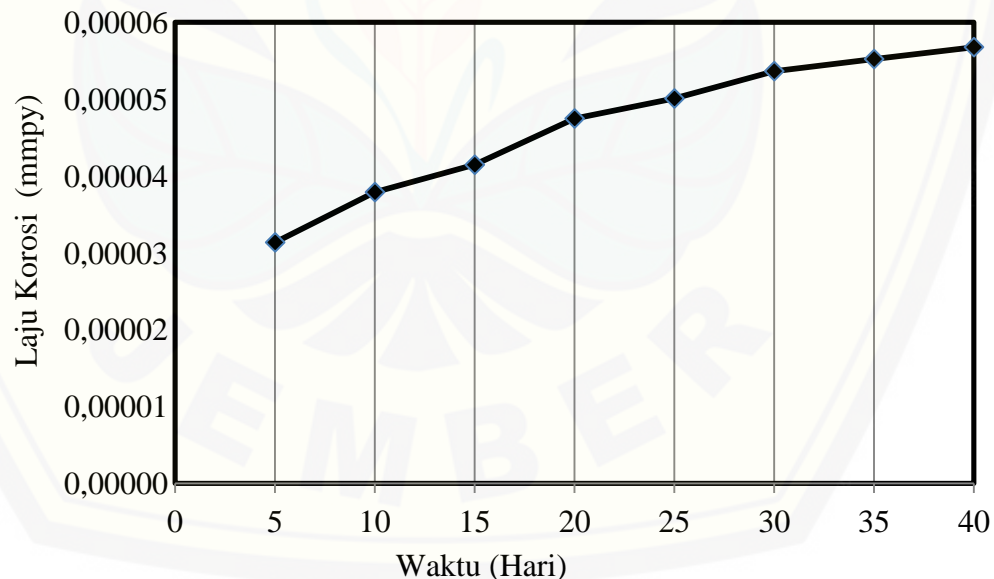
## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Laju Korosi

Analisis laju korosi digunakan untuk mengetahui tingkat inhibisi dari suatu konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh dimana terdapat pengaruh variasi konsentrasi inhibitor terhadap perubahan laju korosi.

#### 4.1.1 Analisis Laju Korosi pada Awal penelitian Konsentrasi 0%

Konsentrasi 0% inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh ini adalah konsentrasi yang dijadikan pembanding variasi konsentrasi untuk konsentrasi yang lainnya. Pengaruh konsentrasi 0% ekstrak daun belimbing wuluh dapat dilihat pada gambar 4.1 di bawah ini. Data hasil penelitian laju korosi ditunjukkan pada lampiran A.1



Gambar 4.1 Pengaruh inhibitor dengan konsentrasi 0% terhadap laju korosi

Pada lampiran A.1 menunjukkan perubahan laju korosi pada konsentrasi

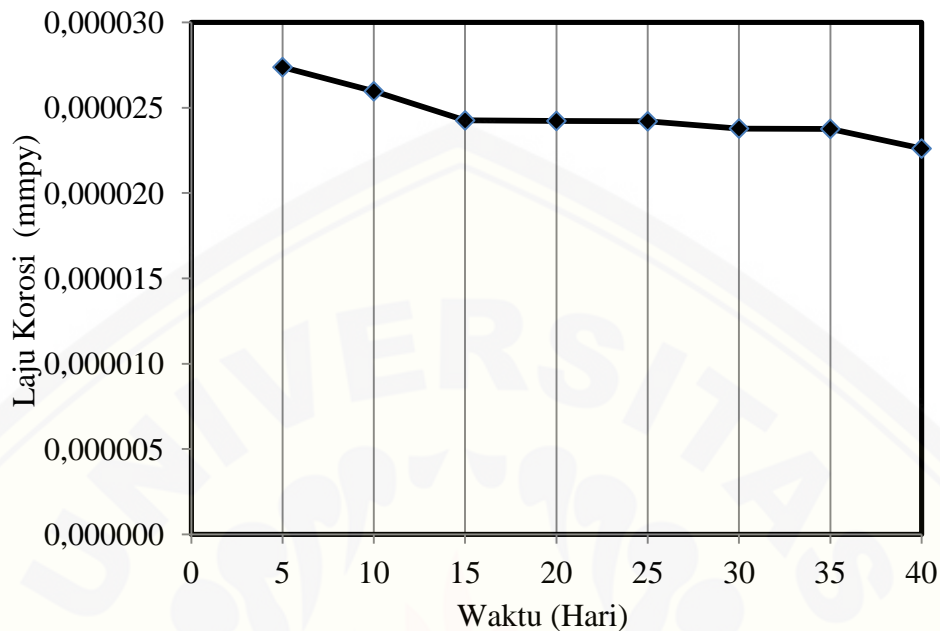


0% mengalami peningkatan setiap harinya. Pada perendaman 5 hari, laju korosi dari pipa baja sebesar  $3 \times 10^{-5}$  mmpy yang tiap harinya meningkat hingga hari ke 40 dengan laju korosi sebesar  $5 \times 10^{-5}$  mmpy. Menurut (Ludiana, 2012), laju korosi pada perendaman 6 hari lebih besar dari pada perendaman 3 hari, ini dikarenakan semakin lama perendaman, semakin besar juga ion yang teroksidasi, sehingga mengakibatkan laju korosinya besar.

(Leonard, dalam Anggraita, 2014) melakukan pengamatan bahwa pada air laut, proses korosi berlangsung sama seperti pada medium air tawar atau udara lembab, tetapi lajunya dipercepat dengan adanya ion klorida yang berjumlah kurang lebih 55% dibanding ion atau unsur lain. Laju korosi suatu logam yang terkorosi umumnya ditentukan oleh konduktivitas elektrolit yang terlarut. Salah satunya yaitu lingkungan yang mengandung ion-ion klorida. Air laut merupakan lingkungan yang mempunyai kadar garam hingga 3,5% yaitu lingkungan yang mempunyai kadar ion klorida yang cukup tinggi.

#### 4.1.2 Analisis Laju Korosi pada Konsentrasi 2%

Variasi yang kedua adalah konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh 2%. Pengaruh konsentrasi 2% ekstrak daun belimbing wuluh dapat dilihat pada gambar 4.1 di bawah ini. Data hasil penelitian laju korosi pada konsentrasi 2% ditunjukkan pada lampiran A.2.



Gambar 4.2 Pengaruh inhibitor dengan konsentrasi 2% terhadap laju korosi

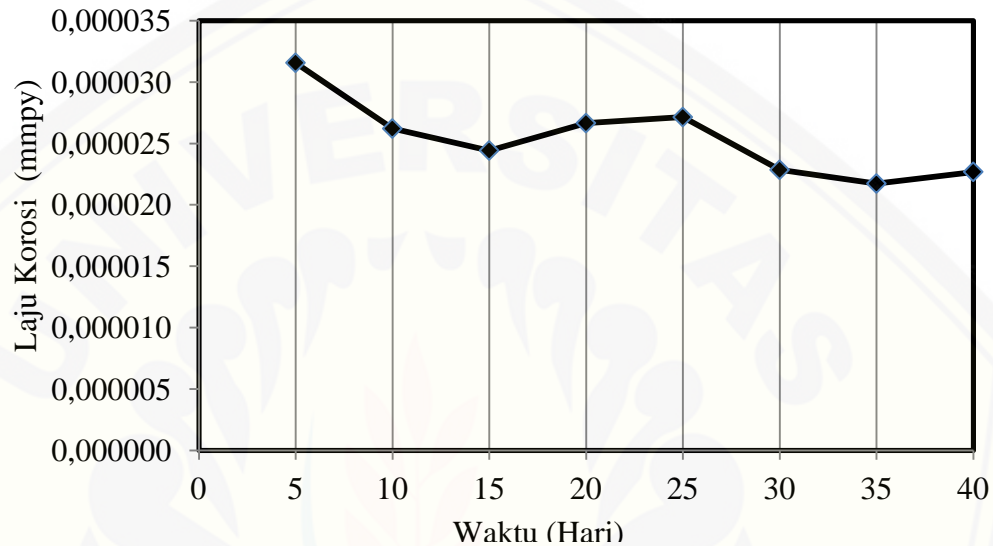
Laju korosi pada konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh 2% terlihat terjadi penurunan laju korosi dibandingkan dengan konsentrasi 0% (murni air laut). Hal ini menunjukkan bahwa penambahan ekstrak daun belimbing wuluh sebesar 2% berpengaruh terhadap laju korosi yang terjadi. Laju korosi konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh 2% pada perendaman 5 hari sebesar  $2,73 \times 10^{-5}$  mmpy. Pada hari ke 10 mengalami penurunan menjadi  $2,59 \times 10^{-5}$  mmpy. Pada hari ke 15 mengalami penurunan menjadi  $2,425 \times 10^{-5}$  mmpy. Pada hari ke 20 terjadi penurunan laju korosi menjadi  $2,422 \times 10^{-5}$  mmpy. Pada hari ke 25 juga mengalami penurunan menjadi  $2,4204 \times 10^{-5}$  mmpy. Hingga pada hari ke 30 mengalami penurunan laju korosi menjadi  $2,3782 \times 10^{-5}$  mmpy. Sedangkan Pada hari ke 35 mengalami peningkatan laju korosi menjadi  $2,3759 \times 10^{-5}$  mmpy hingga hari ke 40 mengalami peningkatan laju korosi menjadi  $2,2607 \times 10^{-5}$  mmpy.

Menurut (Anggraita, 2014) Pola naik turunnya laju korosi yang terjadi pada gambar 4.1 menunjukkan bahwa proses penginhibisian mempunyai waktu optimum tertentu. Pada gambar 4.1 terlihat bahwa pada hari ke 40 merupakan titik terendah laju korosi yang terjadi selama 40 hari perendaman. Perubahan pola laju korosi ini mengindikasikan adanya pengaruh inhibitor yang terjadi pada perilaku korosi yang terdapat pada spesimen. Pada perendaman hari ke 0 hingga hari ke 15 terjadi proses adsorpsi inhibitor pada permukaan logam, hal ini akan membentuk lapisan tipis inhibitor dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor. Kemudian pada hari ke 15 hingga hari ke 35 terjadi proses pemerataan lapisan tipis ekstrak daun belimbing wuluh, dimana lapisan ini cenderung mempertahankan tingkat perlindungan logam terhadap lingkungan sehingga laju korosinya relatif stabil. Pada hari ke 35 terjadi penurunan laju korosi yang sangat tinggi, hal ini merupakan titik optimum proteksi dari lapisan tipis ekstrak daun belimbing wuluh.

Menurut (Irianty, dalam Anggraita, 2014), Semakin lama waktu perendaman maka akan semakin besar juga nilai efisiensi inhibisinya. Namun, kemampuan inhibitor atau efisiensi inhibisi untuk melindungi baja dari korosi akan hilang atau habis pada waktu tertentu, hal itu dikarenakan semakin lama waktunya maka inhibitor akan semakin habis terserang oleh larutan.

#### 4.1.3 Analisis Laju Korosi pada Konsentrasi 4%

Variasi yang ketiga adalah konsentrasi 4%. Data hasil penelitian laju korosi pada konsentrasi 4% ditunjukkan pada lampiran A.3.



Gambar 4.3 Pengaruh inhibitor dengan konsentrasi 4% terhadap laju korosi

Pada perendaman selama 5 hari diketahui laju korosi yang terjadi sebesar  $2,7 \times 10^{-5}$  mmpy, terjadi peningkatan laju korosi pada hari ke 10 menjadi  $3,7 \times 10^{-5}$  mmpy hingga pada hari ke 15 menjadi  $3,8 \times 10^{-5}$  mmpy. Sedangkan pada hari ke 20 terjadi penurunan menjadi  $3,7 \times 10^{-5}$  mmpy. Lalu terjadi lagi penurunan laju korosi pada hari ke 25 menjadi  $2,8 \times 10^{-5}$  mmpy. Dan hari ke 30 mengalami penurunan laju korosi menjadi  $2,5 \times 10^{-5}$  mmpy. Kemudian pada hari ke 35 laju korosi masih mengalami penurunan menjadi  $2,3 \times 10^{-5}$  mmpy. Pada hari ke 40 laju korosi mulai meningkat menjadi  $2,4 \times 10^{-5}$  mmpy. Pada konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh sebesar 4% menunjukkan adanya pengurangan laju korosi jika dibandingkan dengan konsentrasi 0%, akan tetapi jika dibandingkan dengan variasi konsentrasi inhibitor 2%, maka laju korosi pada variasi konsentrasi 4% kurang begitu efisien.

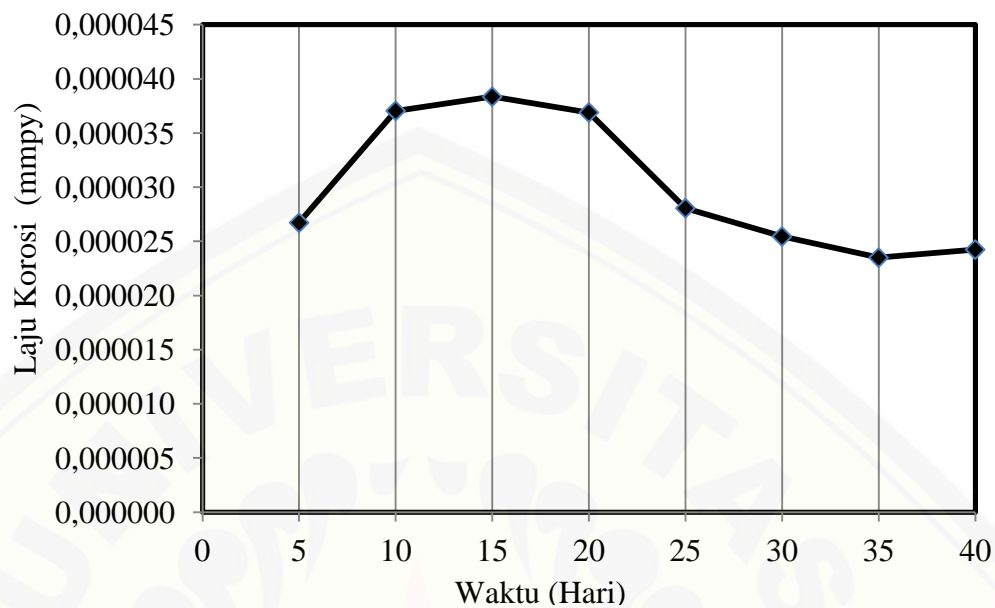
Pada gambar 4.3 terlihat bahwa pada hari ke 35 merupakan titik terendah laju korosi yang terjadi selama 40 hari perendaman. Perubahan pola laju korosi ini mengindikasikan adanya pengaruh yang terjadi pada perilaku korosi spesimen dengan waktu perendaman pada konsentrasi inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh . Pada perendaman hari ke 10 hingga hari ke 15 terjadi proses adsorpsi inhibitor pada permukaan logam, hal ini akan membentuk lapisan tipis inhibitor dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor. Kemudian pada hari ke 15 hingga hari ke 20 terjadi proses pemerataan lapisan tipis ekstrak daun belimbing wuluh , dimana lapisan ini cenderung mempertahankan tingkat perlindungan logam terhadap lingkungan sehingga laju korosinya relatif stabil. Dari hasil penelitian pada konsentrasi 4% diketahui bahwa pada hari ke 15 sampai hari ke 20 mengalami penurunan laju korosi tetapi besarnya tidak signifikan sehingga bisa dikatakan masih stabil. Pada hari ke 20 hingga hari ke 25 terjadi penurunan laju korosi yang sangat tinggi, hal ini merupakan titik optimum proteksi dari lapisan tipis ekstrak daun belimbing wuluh .. Sedangkan pada hari ke 35 hingga hari ke 40 terjadi proses desorpsi, dimana terjadi pelepasan molekul-molekul proteksi lapisan tipis inhibitor kembali ke lingkungan sehingga laju korosi kembali meningkat secara perlahan.

Konsentrasi inhibitor dan waktu perendaman berpengaruh terhadap laju korosi yang terjadi. Semakin tinggi konsentrasi inhibitor yang ditambahkan, semakin kecil laju korosi yang terjadi. Semakin lama waktu perendaman, semakin kecil laju korosi yang terjadi (Zulfikar, 2014).

#### 4.1.4 Analisis Laju Korosi pada Konsentrasi 6%

Variasi konsentrasi yang keempat adalah ekstrak daun belimbing wuluh sebesar 6%. Pengaruh konsentrasi 6% ekstrak daun belimbing wuluh dapat dilihat pada gambar 4.4 di bawah ini. Data hasil penelitian laju korosi pada konsentrasi 6% dapat dilihat pada lampiran A.4.





Gambar 4.4 Pengaruh inhibitor dengan konsentrasi 6% terhadap laju korosi

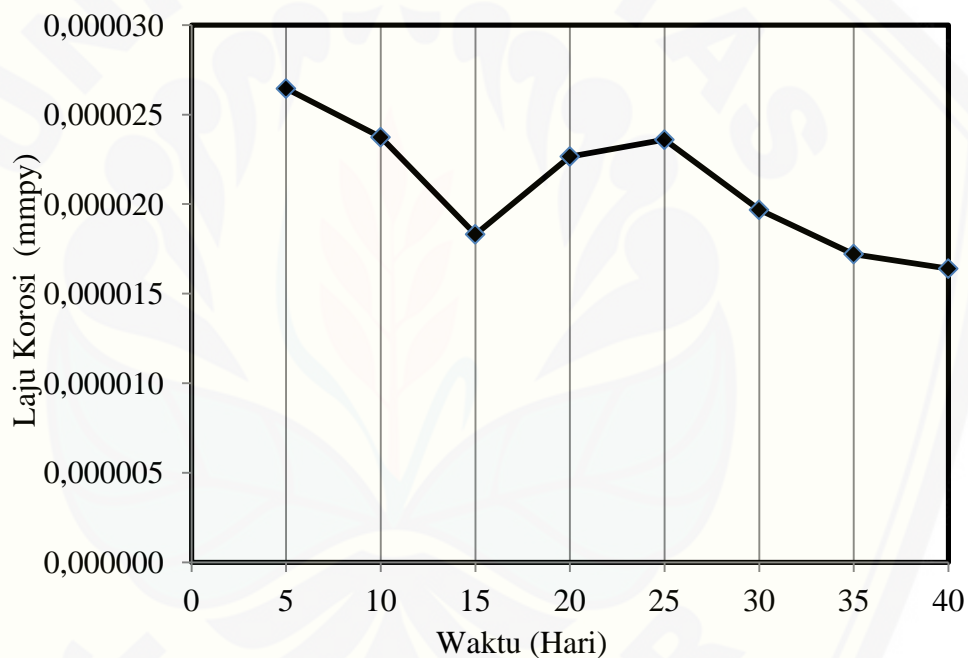
Pada gambar 4.4 terlihat bahwa hasil dari perendaman spesimen selama 40 hari dengan konsentrasi 6% menunjukkan grafik dengan pola yang hampir sama dengan konsentrasi 4%. Pada perendaman hari ke 0 hingga hari ke 5 terjadi proses adsorpsi inhibitor pada permukaan logam, hal ini akan membentuk lapisan tipis inhibitor dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor. Kemudian pada hari ke 15 hingga hari ke 25 terjadi proses pemerataan lapisan tipis ekstrak daun belimbing wuluh, dimana lapisan ini cenderung mempertahankan tingkat perlindungan logam terhadap lingkungan sehingga laju korosinya relatif stabil. Sedangkan pada hari ke 35 hingga hari ke 40 terjadi proses desorpsi, dimana terjadi pelepasan molekul-molekul proteksi lapisan tipis inhibitor kembali ke lingkungan sehingga laju korosi kembali meningkat.

Apabila konsentrasi inhibitor yang ditambahkan jumlahnya terlalu banyak, akan meningkatkan laju korosi pada baja. Pada konsentrasi inhibitor yang pekat, penyerapan inhibitor ke dalam permukaan pipa baja memang bertambah besar. Tetapi setelah senyawa kompleks menyelubungi permukaan pipa baja telah penuh, yang

terjadi justru sebaliknya yaitu terjadi desorpsi atau pengikisan senyawa kompleks dari permukaan pipa baja karbon tersebut (Angraita, 2014).

#### 4.1.5 Analisis Laju Korosi pada Konsentrasi 8%

Variasi konsentrasi yang kelima adalah ekstrak daun belimbing wuluh sebesar 8%. Pengaruh konsentrasi 8% ekstrak daun belimbing wuluh dapat dilihat pada gambar 4.5 di bawah ini. Data hasil penelitian laju korosi pada konsentrasi 8% dapat dilihat pada lampiran A.5.



Gambar 4.5 Pengaruh inhibitor dengan konsentrasi 8% terhadap laju korosi

Ketika awal perendaman laju korosi yang terjadi pada konsentrasi 8% sebesar  $2,6 \times 10^{-5}$  mmpy. terjadi penurunan laju korosi pada hari ke 10 menjadi  $2,4 \times 10^{-5}$  mmpy dan terjadi penurunan laju korosi pada hari ke 15 menjadi  $1,8 \times 10^{-5}$  mmpy. Sedangkan peningkatan laju korosi juga terjadi pada hari ke 20 menjadi  $2,3 \times 10^{-5}$  mmpy, demikian pula pada hari ke 25 laju korosi mengalami peningkatan menjadi  $2,4 \times 10^{-5}$  mmpy. Kemudian pada hari ke 30 laju korosi justru mengalami penurunan menjadi

$2 \times 10^{-5}$  mmpy, pada hari ke 35 laju korosi tetap menurun menjadi  $1,7 \times 10^{-5}$  mmpy, bahkan pada hari ke 40 laju korosi masih terus menurun menjadi  $1,6 \times 10^{-5}$  mmpy.

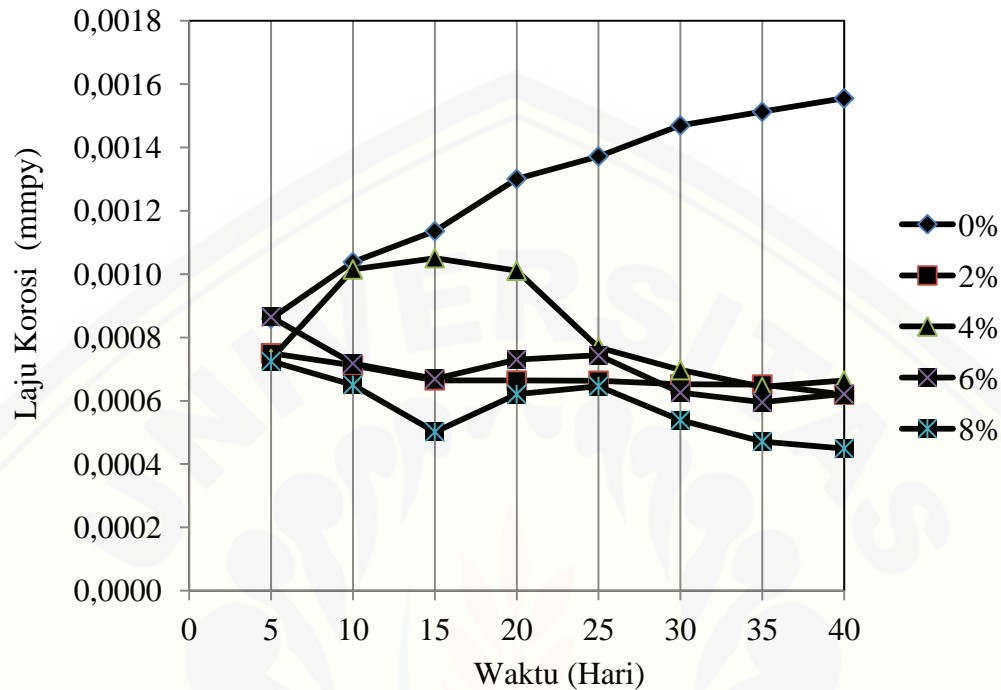
Laju korosi yang terjadi pada konsentrasi 8% ini lebih kecil dibandingkan pada konsentrasi 2%, 4%, dan 6%, hal ini disebabkan oleh larutan tidak menjadi jenuh karena dosis ekstrak daun belimbing wuluh yang tepat. Hal ini mengakibatkan bahwa penambahan konsentrasi inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh pada konsentrasi 8% menjadi sangat efektif atau menjadi senyawa yang menghambat korosi baja.

Pola naik turunnya laju korosi yang terjadi pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa proses penghambatan mempunyai waktu optimum tertentu. Pada gambar 4.5 terlihat bahwa pada hari ke 40 merupakan titik terendah laju korosi yang terjadi selama 40 hari perendaman. Perubahan pola laju korosi ini mengindikasikan adanya pengaruh yang terjadi pada perilaku korosi spesimen dengan waktu perendaman pada konsentrasi inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh.

Penambahan inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh kedalam air laut, air hujan maupun air tawar akan menurunkan laju korosi apabila dibandingkan dengan tanpa penambahan ekstrak (Sri Hermawan dkk, 2012). Hal ini terbukti pada penelitian ini yang menunjukkan adanya penurunan laju korosi pada konsentrasi 2%, 4%, 6% dan 8% yang disebabkan karena adanya penambahan inhibitor daun belimbing wuluh yang mampu menghambat reaksi laju korosi.

#### 4.1.6 Analisis Laju Korosi pada Berbagai Variasi Konsentrasi Inhibitor Ekstrak daun belimbing wuluh

Analisis ini digunakan untuk memudahkan membandingkan variasi konsentrasi inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh yang paling efektif melindungi pipa baja karbon A53 dari korosi.



Gambar 4.6 Pengaruh variasi konsentrasi inhibitor terhadap laju korosi

Dari gambar 4.6 terlihat bahwa laju korosi pada konsentrasi 2%, 4%, 6%, dan 8% laju korosinya semakin menurun. Penurunan laju korosi yang terjadi pada konsentrasi 8% ini disebabkan dosis ekstrak daun belimbing wuluh yang optimum dari larutan ekstrak daun belimbing wuluh tidak jenuh. Ketika senyawa kompleks meyelubungi permukaan baja telah penuh, yang terjadi justru sebaliknya yaitu terjadi desorpsi.

Pada gambar 4.6 terlihat pola yang relatif sama antara grafik dari konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh 2%, 4%, 6%, dan 8% dimana pada hari ke 35, kebanyakan laju korosi yang terjadi besarnya lebih kecil dibandingkan dengan laju korosi selama 40 hari perendaman. Sehingga dapat disimpulkan bahwa, waktu perendaman selama 30 hari merupakan waktu yang optimum untuk inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh dalam menghambat laju korosi yang terjadi.

Proteksi inhibitor yang terbaik adalah pada konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh sebesar 8%, dapat dilihat dari waktu awal perendaman spesimen yaitu pada 5 hari sampai dengan akhir perendaman spesimen yaitu 40 hari laju korosi yang terjadi memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan pada konsentrasi 0%, 2%, 4%, dan 6%. Hal ini menjadi baku pada konsentrasi 2% sampai 8% karena belum mencapai titik jenuh terhadap perlindungan larutan inhibitor pada laju korosi.

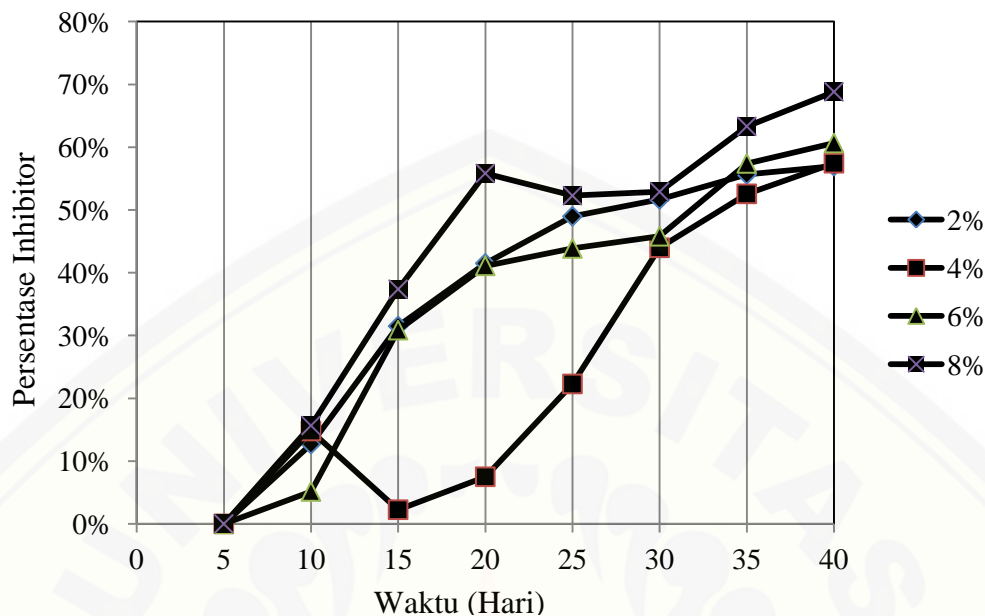
Penurunan laju korosi pada konsentrasi yang lebih tinggi ini membuktikan bahwa inhibitor dapat digunakan secara efektif apabila dimasukkan dalam konsentrasi yang tepat. Hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi 2%, 4%, 6% dan 8% inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh dapat memproteksi pipa baja karbon A53 dengan maksimal karena jumlah ekstrak daun belimbing wuluh yang tidak pekat.

Santoso (2008) melakukan penelitian tentang penambahan konsentrasi pada inhibitor asam karbonat. Semakin besar penambahan konsentrasi inhibitor, maka laju korosinya akan semakin menurun. Hal ini juga terjadi pada penambahan konsentrasi yang lebih besar, dimana nilai laju korosi akan semakin menurun sesuai dengan bertambahnya konsentrasi pada inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh, buah lada dan daun teh (Hermawan, 2008).

#### **4.2 Analisis Efisiensi Inhibitor Ekstrak daun belimbing wuluh**

Analisis efisiensi inhibitor ini diperlukan untuk menentukan inhibitor dengan konsentrasi berapa yang efektif digunakan untuk perlindungan korosi. Data tentang efisiensi setelah 40 hari perendaman dapat dilihat pada grafik berikut ini:





Gambar 4.7 Grafik efisiensi ekstrak daun belimbing wuluh terhadap waktu.

Hubungan efisiensi inhibisi terhadap konsentrasi inhibitor dapat dilihat pada gambar 4.7, dimana efisiensi inhibisi cenderung menaik untuk setiap penambahan konsentrasi inhibitor. Efisiensi inhibisi ekstrak daun belimbing wuluh yang dihasilkan berbeda-beda tergantung pada konsentrasi inhibitor dan media korosif. Pada grafik dapat dilihat bahwa efisiensi inhibisi pada media korosif air laut dapat mencapai 71,11% pada konsentrasi inhibitor 8%, hal ini disebabkan karena pada kondisi tersebut senyawa kompleks Fe-tanin terbentuk dengan sempurna dan menutupi seluruh permukaan baja.

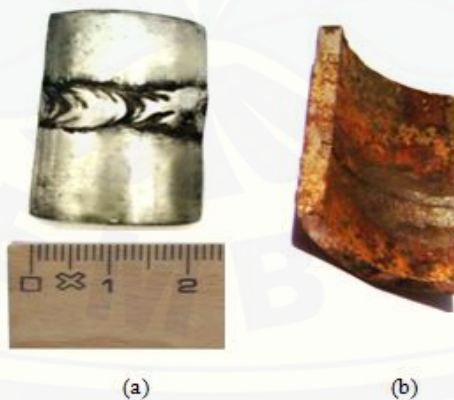
Menurut Sari dkk (2013), Pemberian inhibitor dapat mengurangi laju korosi dan dapat menaikkan nilai inhibisi. Kemampuannya untuk menghambat diukur dari efisiensinya. Nilai efisiensi bergantung kepada konsentrasi inhibitor yang digunakan. Semakin besar konsentrasi inhibitor yang digunakan maka akan semakin besar pula efisiensi yang didapatkan. penentuan efisiensi inhibisi yang paling tepat dan teliti adalah metode pengurangan berat karena perlakuannya mudah untuk diikuti. Berdasarkan pada Gambar 4.8 terlihat bahwa waktu perendaman mempengaruhi efisiensi inhibisi. Pada perendaman hari ke 5 sampai 40 hari nilai efisiensi inhibisinya

semakin besar dengan bertambahnya waktu yang diberikan, ini disebabkan karena pengaruh waktu perendaman dalam larutan inhibitor yang diberikan, semakin lama waktu perendaman maka akan semakin besar juga nilai efisiensi inhibisinya. Namun, kemampuan inhibitor atau efisiensi inhibisi untuk melindungi baja dari korosi akan hilang pada waktu tertentu, hal itu dikarenakan semakin lama waktunya maka inhibitor akan semakin habis terserang oleh larutan .

#### 4.3 Hasil Pengamatan Visual

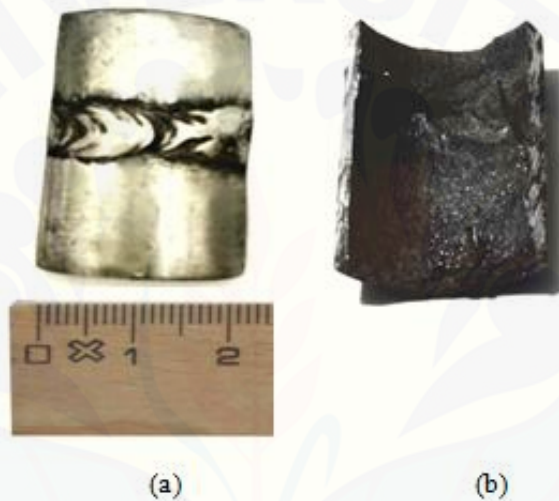
Dari hasil penelitian diketahui bahwa pada setiap variasi konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh, tingkat korosinya berbeda-beda. Sehingga perlu diamati perbedaan-perbedaan yang terjadi pada permukaan pipa baja pada setiap variasi konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh .

Setelah dilakukan perendaman selama 40 hari permukaan pipa baja karbon A53 menunjukkan beberapa perubahan, yang artinya pada permukaan pipa baja sudah terkena korosi. Gambar 4.9 dibawah ini menunjukkan foto permukaan pipa baja karbon A53 sebelum dan setelah dilakukan perendaman ekstrak daun belimbing wuluh selama 40 hari.



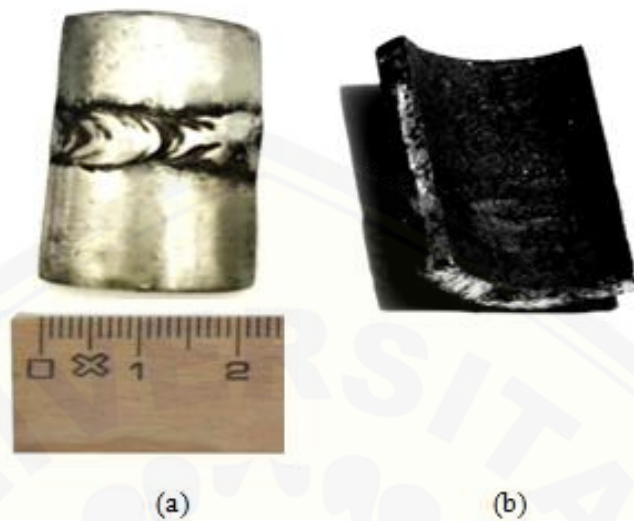
Gambar 4.8 Foto makro pipa baja karbon A53 (a) sebelum direndam dan (b) setelah direndam ekstrak daun belimbing wuluh 0% selama 40 hari

Pada gambar 4.8 yaitu pada gambar (a) permukaan pipa baja karbon tidak mengalami korosi, Sedangkan pada gambar (b) konsentrasi 0% permukaan pipa baja karbon yang mengalami korosi ditunjukkan dengan warna merah kecoklatan diseluruh permukaanya yang dihasilkan karena terbentuknya Ferri Hidroksida menjadi  $Fe_2O_3$  (Vogel,1979). Korosi ini terjadi karena tidak adanya penambahan ekstrak daun belimbing wuluh sehingga tidak ada proses penghambisan pada permukaan pipa baja.



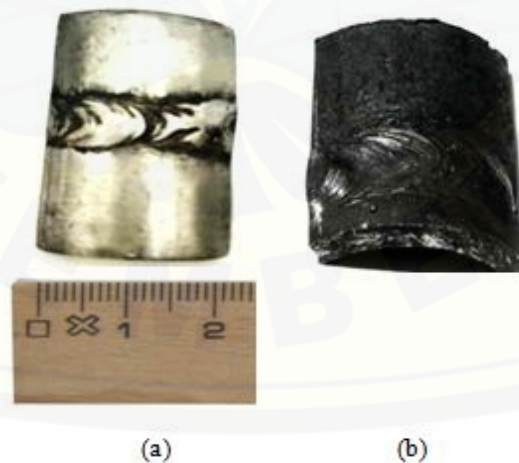
Gambar 4.9 Foto makro pipa baja karbon A53 (a) sebelum direndam dan (b) setelah direndam ekstrak daun belimbing wuluh 2% selama 40 hari

Pada gambar 4.9 pada gambar (a) permukaan pipa baja karbon tidak mengalami korosi, Sedangkan pada gambar (b) konsentrasi 2% menunjukkan adanya lapisan tipis seperti air yang disebut sebagai *film* tipis dari ekstrak daun belimbing wuluh yang berfungsi sebagai pelindung dari serangan korosi. Tetapi pada konsentrasi 2%, permukaan pipa baja karbon A53 terdapat butiran berwarna coklat kehitaman yang menunjukkan adanya endapan dari ekstrak daun belimbing wuluh sehingga berpotensi terjadi pengikisan permukaan akibat korosi.



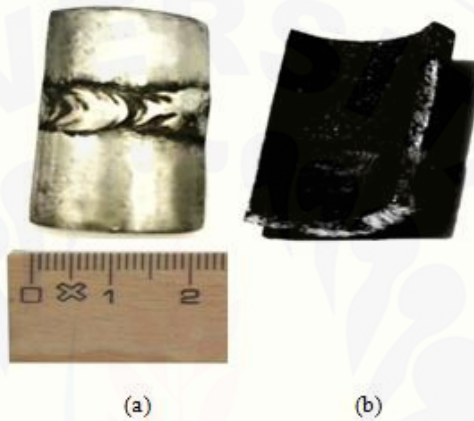
Gambar 4.10 Foto makro pipa baja karbon A53 (a) sebelum direndam dan (b) setelah direndam ekstrak daun belimbing wuluh 4% selama 40 hari

Pada gambar 4.10 yaitu pada gambar (a) permukaan pipa baja karbon tidak mengalami korosi, Sedangkan pada gambar (b) merupakan konsentrasi 4%, gejala yang sama ditunjukkan seperti pada spesimen 2%. Tetapi pada konsentrasi 4% ini butiran coklat kehitaman dari ekstrak daun belimbing wuluh menurun jumlahnya sehingga memperkecil laju korosi yang terjadi.



Gambar 4.11 Foto makro pipa baja karbon A53 (a) sebelum direndam dan (b) setelah direndam ekstrak daun belimbing wuluh 6% selama 40 hari

Pada gambar 4.11 gambar (a) permukaan pipa baja karbon tidak mengalami korosi, sedangkan pada gambar (b) merupakan konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh 6%, pada konsentrasi ini menunjukkan adanya lapisan coklat yang berada pada permukaan pipa baja karbon A53. Lapisan warna coklat tersebut merupakan suatu endapan ekstrak daun belimbing wuluh yang tidak pekat sehingga dapat melindungi film tipis inhibitor.



Gambar 4.12 Foto makro pipa baja karbon A53 (a) sebelum direndam dan (b) setelah direndam ekstrak daun belimbing wuluh 8% selama 40 hari.

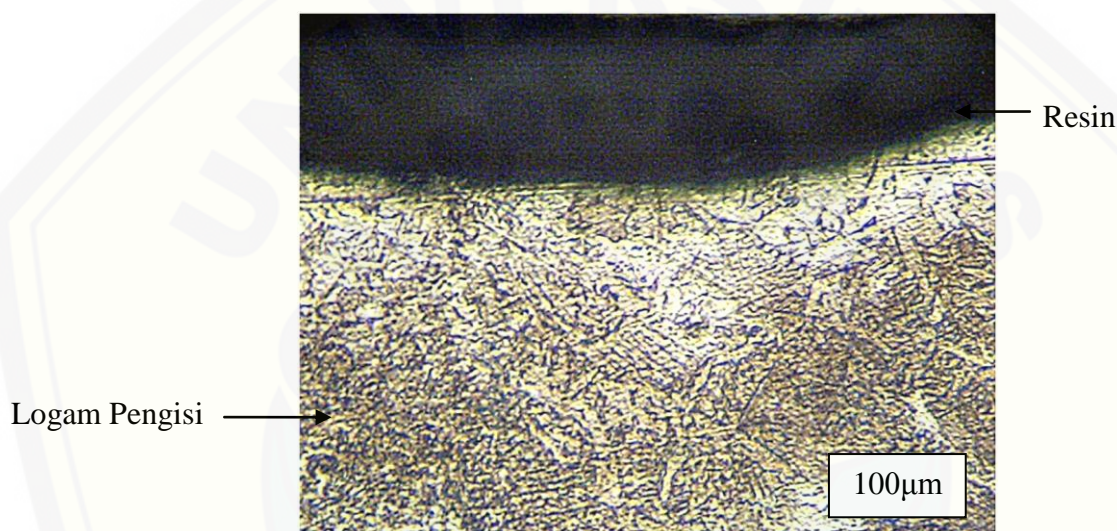
Pada gambar 4.13 gambar A permukaan pipa baja karbon tidak mengalami korosi. Pada gambar B merupakan konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh 8%, pada gambar tersebut terlihat adanya endapan berwarna coklat kehitaman yang cukup tebal melapisi spesimen, ini menunjukkan pekatnya konsentrasi dari ekstrak daun belimbing wuluh pada konsentrasi 8% sehingga ekstrak daun belimbing wuluh dapat melakukan proses pehinhibisian dengan optimal.

Dari keseluruhan spesimen setelah melalui pengamatan visual dapat disimpulkan bahwa warna hitam tersebut merupakan bentuk proteksi inhibitor terhadap logam baja karbon A53 untuk melindungi dari serangan korosi. Inhibitor membentuk lapisan film tipis pada permukaan material yang berfungsi untuk menghentikan laju korosi logam (Khadim F,2013)



#### 4.4 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

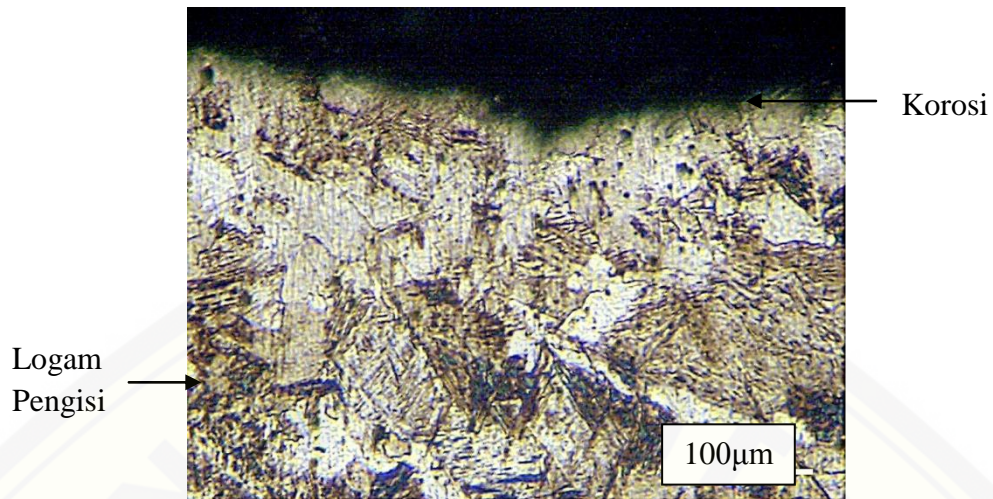
Pengamatan struktur mikro sangat penting dilakukan agar dapat mengamati struktur mikro dari permukaan pipa baja A53 pada setiap variasi konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh sebelum dan sesudah perendaman sehingga dapat diketahui jenis korosi apa yang terjadi. Gambar 4.14 dibawah ini menunjukkan foto mikro permukaan pipa baja karbon A53 sebelum dilakukan perendaman daun belimbing wuluh.



Gambar 4.13 foto mikro spesimen baja A53 sebelum dilakukan perendaman ekstrak daun belimbing wuluh

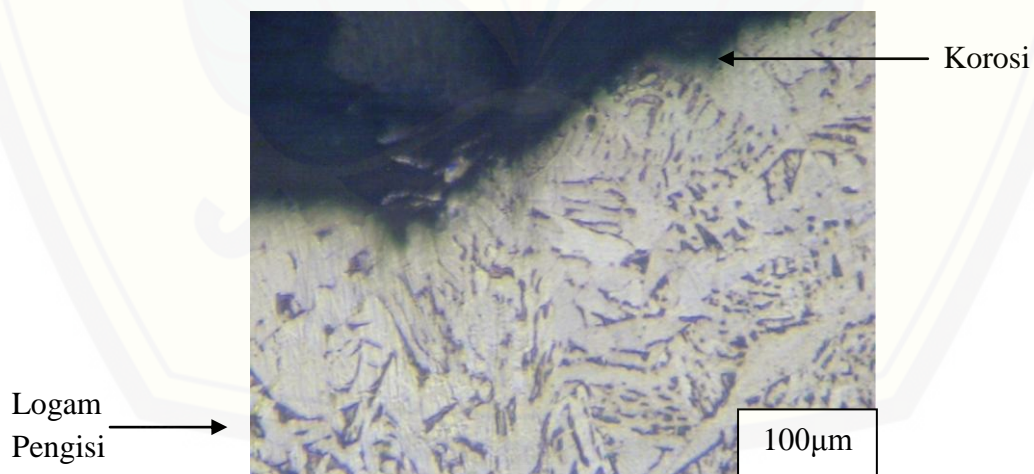
Pada gambar 4.14 terlihat belum banyak sel korosi yang terbentuk pada permukaan pipa baja karbon A53 tersebut. Pada foto tersebut terlihat garis-garis berwarna putih yang merupakan hasil dari pengamplasan yang kurang halus.

Foto hasil perendaman spesimen pipa baja pada variasi konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh 0% terlihat pada gambar 4.16 dan 4.17 berikut ini.



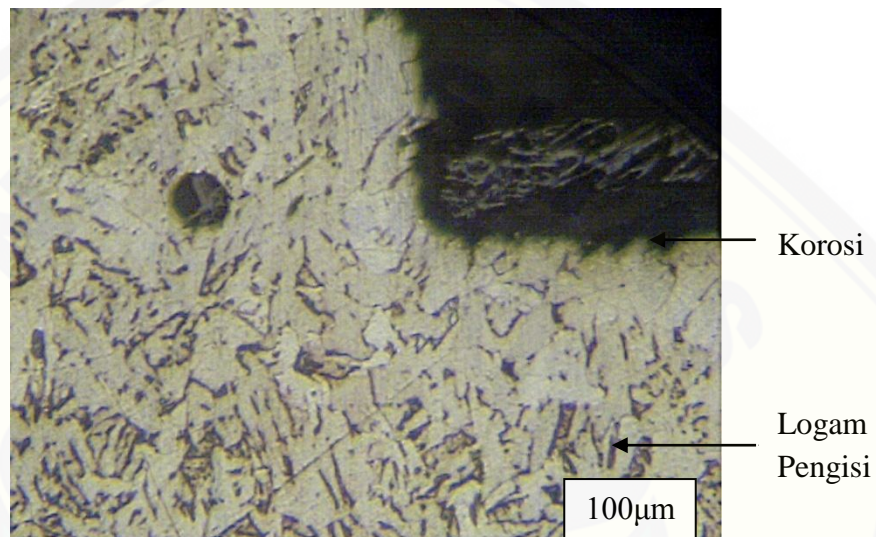
Gambar 4.14 Foto mikro baja A53 setelah direndam ekstrak daun belimbing wuluh selama 40 hari pada konsentrasi 0%

Pada gambar 4.15 menunjukkan foto mikro pipa baja karbon A53 pada konsentrasi 0% dengan waktu perendaman 40 hari, pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa lubang akibat korosi sangat besar. Hal ini disebabkan tidak adanya ekstrak daun belimbing wuluh yang dilarutkan dalam konsentrasi ini sehingga korosi yang terjadi terlihat dengan jelas.



Gambar 4.15 Foto mikro baja A53 setelah direndam ekstrak daun belimbing wuluh selama 40 hari pada konsentrasi 2%

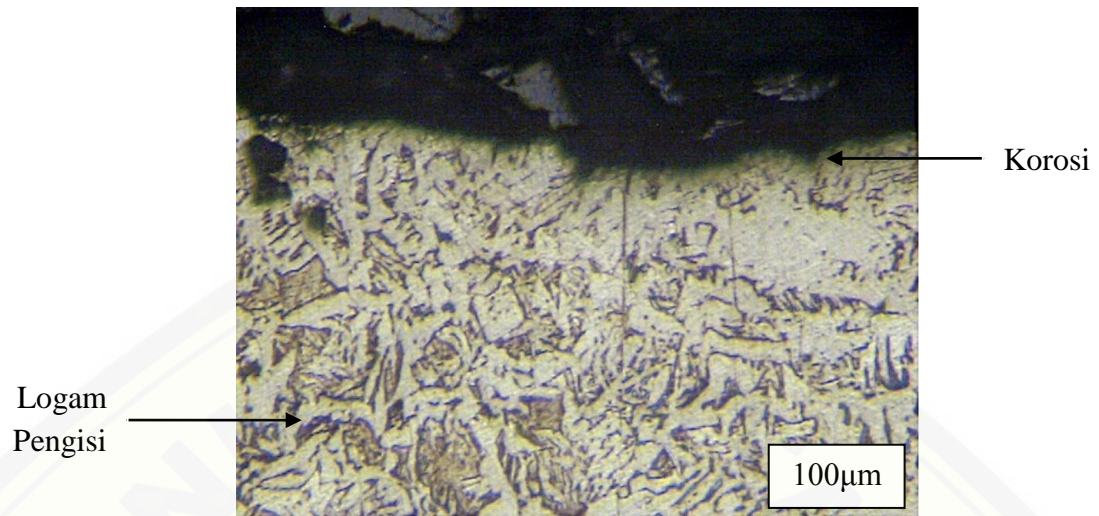
Pada gambar 4.16 menunjukkan foto mikro pipa baja karbon A53 pada konsentrasi 2% pada gambar terlihat bahwa terdapat sedikit cekungan yang merupakan lubang korosi. Lubang korosi yang terbentuk masih berukuran kecil karena lapisan inhibitor yang terbentuk sangat efektif untuk menangkal terjadinya korosi.



Gambar 4.16 Foto mikro baja A53 setelah direndam ekstrak daun belimbing wuluh selama 40 hari pada konsentrasi 4%

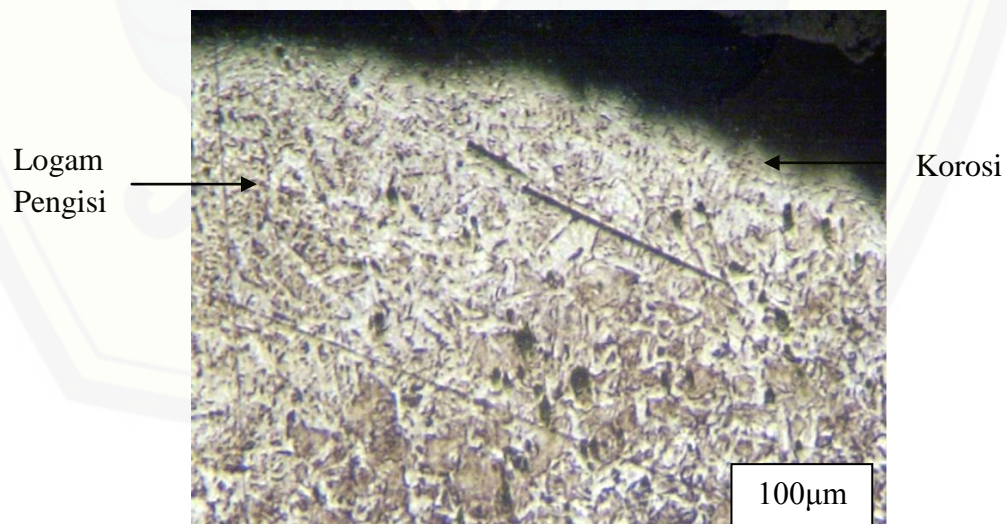
Pada gambar 4.17 adalah pada konsentrasi 4%, pada foto mikro pipa baja tersebut terdapat lubang kecil dan tidak dalam. Hal ini terjadi akibat korosi yang terbentuk selama 40 hari.





Gambar 4.17 Foto mikro baja A53 setelah direndam ekstrak daun belimbing wuluh selama 40 hari pada konsentrasi 6%

Pada gambar 4.18 merupakan konsentrasi 6% pada foto mikro baja A53 tersebut terdapat lubang yang kecil yang lebih banyak. Hal ini terjadi akibat adanya endapan dari ekstrak daun belimbing wuluh yang jumlahnya berlebih sehingga terjadi proses desorpsi.



Gambar 4.19 Foto mikro baja A53 setelah direndam ekstrak daun belimbing wuluh selama 40 hari pada konsentrasi 8%.

Pada gambar 4.19 yang merupakan konsentrasi 8% ekstrak daun belimbing wuluh, pada permukaan pipa baja A53 terdapat sedikit lubang kecil, hal ini terjadi karena ekstrak daun belimbing wuluh yang tidak jenuh. Karena tidak melebihi jumlah optimum konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh, semakin banyak jumlah ekstrak daun belimbing wuluh yang ditambahkan akan menurunkan laju korosinya karena larutan inhibitor yang pekat.

Secara keseluruhan jenis korosi yang terjadi adalah *Uniform Corrosion* atau biasa disebut korosi merata, karena lubang-lubang yang terbentuk cenderung melebar bertambah besar (Alpian, 2016). Korosi jenis ini terjadi karena media yang berupa larutan ekstrak daun belimbing wuluh bersifat basa lemah. Oksida logam akan bereaksi dengan larutan ekstrak yang bersifat basa lemah tersebut sehingga terjadilah korosi (Purnomo, 2014). Dari hasil foto mikro dapat disimpulkan bahwa inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh mampu mengurangi korosi merata yang terjadi pada permukaan logam.



## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada proses pengamatan visual dan foto mikro terdapat bercak kecoklatan dan kehitaman. Bercak kecoklatan ini adalah korosi yang terjadi pada pipa baja karbon A53 sedangkan bercak kehitaman ini kemungkinan adalah lapisan film inhibitor yang membentuk senyawa kompleks dengan Fe(III) pada permukaan logam. Senyawa inilah yang nantinya akan membentuk *filming corrosion inhibitor* sehingga mampu melindungi permukaan pipa baja karbon A53 dari serangan korosi.
2. Laju korosi rata-rata pada pipa baja karbon A53 pada konsentrasi 0% adalah  $4,7 \times 10^{-5}$  mmpy, 2% adalah  $2,5 \times 10^{-5}$  mmpy, 4% adalah  $3 \times 10^{-5}$  mmpy, 6% adalah  $2,5 \times 10^{-5}$  mmpy, dan 8% adalah  $2,1 \times 10^{-5}$  mmpy.
3. Pengaruh konsentrasi inhibitor yang maksimal untuk menghambat laju korosi adalah pada konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh 8% dengan waktu perendaman yang paling optimal adalah perendaman selama 40 hari.

Rata-rata efisiensi inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh setelah perendaman selama 40 hari sebesar 43,9028% dan perendaman 40 hari merupakan perendaman paling efektif dimana pada konsentrasi 2% sebesar 44,8903%, 4% sebesar 32,2639%, 6% sebesar 46,2989%, dan 8% sebesar 52,1581%.

4. Jenis korosi yang terjadi adalah korosi merata dan korosi sumuran, karena lubang-lubang yang terbentuk cenderung melebar bertambah besar dan ada pula lubang korosi yang bertambah dalam. Untuk mengatasi hal tersebut, maka digunakanlah inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh karena kandungan inhibitor dari ekstrak daun belimbing wuluh mampu mengurangi korosi merata yang menyerang permukaan logam.

## 5.2 Saran

1. Pemotongan material harus dilakukan dengan hati-hati agar menghasilkan dimensi spesimen yang presisi sehingga mempermudah pencarian luas spesimen.
2. Dokumentasikan setiap proses penelitian agar dapat digunakan sebagai arsip dokumentasi.



DAFTAR PUSTAKA

- A.Ramsay and Mueller Harvey. 2015. Procyanidins from Averrhoa bilimbi fruits and leaves. *Journal of Food Composition and Analysis* , 16-20
- Alpian. 2016. *Inhibitor Ekstrak Biji Pinang Sirih Pada Laju Korosi Baja Karbon A53 Dengan Media Air Laut*. Jember: Universitas Jember.
- Anggraita, Eka, Dani. 2014. *Pengaruh Variasi Konsentrasi Ekstrak Kopi Terhadap Laju Korosi Pipa Baja Karbon A53 Pada Media Air Laut*. Teknik Mesin. Universitas Jember.
- Ariharan, V.N., Kalirajan, K., Meena Devi, V.N., Nagendra Prasad, P., 2012. *An exotic fruit which forms the new natural source for vitamin-C*. *Rasayan J. Chem.* 5, 356–359.
- Arsyad H dan Suhardi. 2011, *Studi Degradasi Material Pipa Jenis Baja ASTM A53 Akibat Kombinasi Tegangan dan Media Korosif Air Laut In-Situ dengan Metode pengujian C-Ring.FT*. Universitas Hasanuddin.
- Asdar J. 2009. *Pengaruh Budaya Makan Sirih Terhadap Status Kesehatan Priodontal Masyarakat Suku Karo Di Desa Biru-biru Kabupaten Deliserdang*. Fak Kesehatan Masyarakat. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- ASTM G1. 1999. *Standart Practice for Preparing, Cleaning and Evaluating Corrosion Test Specimens*. ASTM Internasional, Annual Book of ASTM Standart. USA.
- ASTM G1. A1. C.3.5.1994. *Standart Practice For Cleaning Procedure For Removal Of Corrosion Products*. Internasional, Annual Book of ASTM Standart. USA.

- ASTM G31-72. 1994. *Standart Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metal*. ASTM Internasional, Annual Book of ASTM Standart, USA.
- AWS Welding Handbook. 2007 Volume 4. *Carbon and Low Alloy Steels*.
- Bandonu, B. S. K . *Pengaruh Konsentrasi Natrium Kromat (Na<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>) Terhadap laju Korosi Baja AISI 1045 Pada Lingkungan Air Laut Dengan Metode Pengukuran Potensiostat Amel 4331*. Tidak dipublikasikan. Skripsi. Jember : Program Sarjana Universitas Jember.
- Darmawan, Oki. 2012. *Studi Green Corrosion Inhibitor Ekstrak Daun Bayam Merah (Amaranthus Gangeticus ) Pada Baja Karbon Rendah Dalam Larutan 1M Hcl Dengan Metode Polarisasi Dan Eis*. Depok: Universitas Indonesia.
- Devara, Ega. 2014. *Pengaruh Variasi Konsentrasi Ekstrak daun teh Terhadap Laju Korosi Pipa Baja Karbon A53 Pada Media Air Laut*. Teknik Mesin. Universitas Jember.
- Diyanda, Dzulfihar. 2012. *Studi Inhibisi Korosi Baja API-5L (ASTM A53) dalam Air Formasi (Connate Water) dengan Ekstrak Ubi Ungu (Ipomea batatas) Menggunakan Metode Polarisasi*. Depok :Universitas Indonesia
- Djaprie S ., 1995, *Ilmu dan Teknologi Bahan* , ed. 5, hal. 483-510. Jakarta, Erlangga.
- Drastinawati dan Irianti, Rozanna Sri. 2013. Pemanfaatan Ekstrak Nikotin Limbah Puntung Rokok sebagai Inhibitor Korosi. *J. Tekbio*. IV(2) : 91-97
- Fogler, 1992, *Elements of Chemical Reaction Engginering* , 2nd ed, Prentice – Hall International. Inc, USA.
- Gadang Priyotomo. Januari 2008. *Kamus Saku Korosi Material*. Tangerang. Pusat Penelitian Metalurgi-LIPI

- Hadi, Syafrul. 2013. *Pengaruh Lingkungan Minyak Mentah Terhadap Laju Korosi Pada Baja Karbon Dan Pipa Galvanis*. Teknik Mesin. Institut Teknologi Padang.
- Haryono, G. 2010. *Ekstrak Bahan Alam sebagai Inhibitor Korosi*. Kimia FTI UPN.Yogyakarta.
- Haryono, Gogot., Sugiarto, Bambang., Farid, Hanima., Tanoto, Yudi. 2010. Ekstrak Bahan Alam sebagai Inhibitor Korosi. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kinia Kejuangan. *Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*. D09-1 – DO9-6.
- Ilim., Pandiangan, Kamisah D., Sudrajat. 2007. Studi Penggunaan Tumbuhan Tembakau, Teh dan Kopi sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak dalam Air Laut Buatan yang Jenuh CO<sub>2</sub>. *J. Sains MIPA*. 13(2) : 163-168.
- Ismail. 2010. Flowsheet Pra Rancangan Pembuatan Tanin Dari Biji Pinang. .Teknik kimia.FT.Universitas Sumatra Utara.Medan. *Jurnal Teknik mesin* Vol. 8, No. 2, Oktober 2006: 57 – 63
- Karim A dan Yusuf Z. 2012. *Analisa Pengaruh Penambahan Inhibitor Kalsium Karbonat dan Tapioka Terhadap Tingkat Laju Korosi pada pelat Baja Tangki Ballast Air Laut*. Fakultas Teknik .Universitas Hasanuddin.Makasar.
- Khadim F. Al-Sultani and Shaymaa Abbas Abdulsada. (2013). Improvement Corrosion Resistance of Low Carbon Steel by Using Natural Corrosion Inhibitor. *International Journal of Advanced Research* , Volume 1, Issue 4, 239-243.



- Kirk and Othmer, 1965, *Encyclopedia of Chemical Technology*, 2nd ed., Vol.6, p. 320, John Willey and Sons, New York,.
- Knowles, Peter Reginald. 1987. *Design of structural steelwork* . Guildford: Surrey University Press
- Ludiana, Y. 2012. *Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Ekstrak Daun Teh (Camelia sinensis) Terhadap Laju Korosi Baja Karbon Schedule 40 Grade B ERW. Jurnal Fisika*. Vol. 1 No.1. Unand : Padang.
- Machfudzoh, Putri Avnita., Amin, Muhammad Nurul., Putri, Leliana Sandra Deviade. 2014. *Efektivitas Ekstrak Daun Belimbing Wuluh sebagai Bahan Inhibitor Korosi pada Kawat Ortodonsi Berbahan Dasar Nikel-Titanium. Resp.Univ. Jember*.
- Malangngi, Liberty P., Sangi, Meiske S., Paendong, Jessy J.E. 2012. *Penentuan Kandungan Tanin dan Uji Aktifitas Antioksidan Ekstrak Biji Buah Alpukat (Persea Americana Mill). J. MIPA UNSRAT*. 1(1) : 5-10
- Morton, J.1987. *Bilimbi*. In: Morton, Julia F., *Fruits of Warm Climates*. Miami, FL, USA. p. 128–129.
- Natalya, H. 2014. *Manfaat Tumbuhan Pinang ( Areca catechu L) Dan Sistem Reproduksi Mencit (Musmuculus L) Jantan*. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Palou, Rafael Martinez., Octavio Olivares-Xomelt and Natalya V. Likhanova. (2014). *Environmentally Friendly Corrosion Inhibitors. Development in Corrosion Protection*. Chapter 19: 431-465
- Praditya, Atria., Sulistijono., Shahab, Abdullah. (tahun). *Penggunaan Bio Inhibitor dalam Pipe Plant Industri Migas*. Surabaya : ITS

- Pramana I. 2012. *Studi Ekstrak Daun Bluntas ( Pluchea Inndicaless ) Sebagai Inhibitor Korosi Ramah Lingkungan Terhadap Baja Karbon Rendah Di Lingkungan 3,5 % NaCl*. Depok: Departemen Metalurgi Dan Material Korosi.
- Priyotomo, Gadang. 2008. *Kamus Saku Korosi Material. E-Book*. 1(1)
- Pujo, Imam., J.S. Sarjito. 2008. *Analisi Kekuatan Sambungan Las SMAW (Shield Metal Arc Welding) pada Marine Plate ST 42 Akibat Faktor Cacat Porositas dan Incomplete Penetration*. KAPAL. 5(2) : 102-113.
- Purnomo A. 2014. *Pengaruh variasi konsentrasi ekstrak kulit buah kakao terhadap laju korosi pipa baja karbon A53 pada media air laut*. Fakultas Teknik.Universitas Jember.
- Rahmaulita, G. B. 2011. *Pengaruh Teh Rosela Merah (Hibiscus sabdariffa ) Sebagai Inhibitor Organik pada Baja karbon rendah berdasarkan waktu perendaman di lingkungan NaCl3,55% .FT.UI*
- Saputri, Irdian Devi., Joelijanto, Rudy., Putri, Leliana Sandra Devi Ade. 2014. *Daya Inhibisi Korosi Ekstrak Daun Belimbing Wuluh (Averrhoa blimbi L.) terhadap Kawat Thermal NiTi Ortodonti*. Resp.Univ.Jember
- Sari, Mitra, Desi, dkk. 2013. *Pengendalian Laju Korosi Baja St-37 Dalam Medium Asam Klorida Dan Natrium Klorida Menggunakan Inhibitor Ekstrak Daun Teh (Camelia Sinensis)*. *Jurnal Fisika* Vol. 2 No. 3, Unand : Padang.
- Setiawan Anang. 2006. *Analisa ketangguhan dan struktur mikro pada daerah las*
- Sri Hermawan, Yuli Rizky Ananda Nasution, Rosdanelli Hasibuan. 2012. *Penentuan Efisiensi Inhibisi Korosi Baja Menggunakan Ekstrak Kulit Buah Kakao*

- (*Theobroma Cacao*). Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
- Sulastri, T. 2009. *Analisis Kadar Tanin Ekstrak Air dan Ekstrak Etanol pada Biji Pinag Sirih (Areca Catechu.L)*. FMIPA UNM.
- Uhlig, H. H., 1961, *Corrosion Handbook*, John Willey & Sons Inc., London.
- Universitas Jember. 2010. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah*. Jember : Jember University Press.
- Utomo, Budi. 2009 . Jenis Korosi Dan Penanggulangannya. *KAPAL*. Vol.6 No. 2. Universitas Diponegoro: Semarang.
- Vogel, 1979, *Textbook of Macro and SemimicroQualitative Inorganik Analysis*, 5th ed., p.p. 257- 337, Longman Group Limited., London.
- Wayuni, M. 2013. *Pengaurh Waktu Perendaman Baja dengan Ekstrak Buah Pinang dan Hcl Terhadap Laju Korosi dan Potensial Logam*. .FMIPA. Universitas Negeri Padang.
- Weman, Klas. 2003. *Welding processes handbook*. New York, NY: CRC Press LLC
- Widharto, S. 1999. *Karat dan Pencegahannya*. Cetakan I. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- Wulandari, Linda Atmawati., Fatoni, Ahmad Ali., Meivita, Dewi Nurhaji. 2015. *Pemanfaatan Unsur Timbal (Pb) Lumpur Panas Sidoarjo untuk Menghasilkan Senyawa Minium (Pb3O4) sebagai Bahan Penghambat Korosi pada Industri Berbahan Dasar Logam*. Jember : Universitas Jember

Zahrina I dan Hassan TA. 2013. *Pengendalian Korosi Pipa Perminyakan Dengan Menggunakan Inhibitor Korosi*. Fakultas Teknik. Universitas Riau.

Zulfikar, Vicky. 2014. *Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Ekstrak Daun Jambu Biji Dan Waktu Perendaman Terhadap Laju Korosi Baja Api 5l Grade B Schedule 80 Dalam Media Air Laut*.



## LAMPIRAN A. Tabel pengambilan data

## A.1 Laju korosi pada konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh 0 %

Hari	berat awal (gr)	berat akhir (gr)	selisih (gr)	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	Luas Total (mm <sup>2</sup> )	Waktu (jam)	Laju Korosi (mmpy)	Laju Korosi Rata Rata (mmpy)
5	18,8860	18,8858	0,0002	7,86	746,6298	120	0,000024879	0,000031358
	19,8776	19,8774	0,0002	7,86	766,5688	120	0,000024231	
	19,8793	19,8790	0,0003	7,86	797,0268	120	0,000034958	
	20,0923	20,0920	0,0003	7,86	781,7978	120	0,000035639	
	18,6743	18,6740	0,0003	7,86	751,3398	120	0,000037084	
10	18,4905	18,4898	0,0007	7,86	806,4468	240	0,000040308	0,000037900
	17,6452	17,6445	0,0007	7,86	786,5078	240	0,000041330	
	19,7645	19,7639	0,0006	7,86	792,3168	240	0,000035166	
	18,5905	18,5899	0,0006	7,86	766,5688	240	0,000036347	
	18,8469	18,8463	0,0006	7,86	766,5688	240	0,000036347	
15	22,4381	22,4370	0,0011	7,86	826,3858	360	0,000041209	0,000041458
	20,1987	20,1977	0,0010	7,86	781,7978	360	0,000039599	
	19,8798	19,8788	0,0010	7,86	781,7978	360	0,000039599	
	18,4281	18,4269	0,0012	7,86	781,7978	360	0,000047519	
	19,8761	19,8751	0,0010	7,86	786,5078	360	0,000039362	
20	18,2116	18,2099	0,0017	7,86	801,7368	480	0,000049233	0,000047474
	18,4116	18,4101	0,0015	7,86	816,9658	480	0,000042631	
	17,7432	17,7417	0,0015	7,86	766,5688	480	0,000045434	
	18,1054	18,1037	0,0017	7,86	786,5078	480	0,000050186	
	19,9682	19,9665	0,0017	7,86	791,2178	480	0,000049888	
25	16,342	16,34	0,0020	7,86	766,5688	600	0,000048463	0,000050082
	17,4432	17,4411	0,0021	7,86	781,7978	600	0,000049895	



Hari	berat awal (gr)	berat akhir (gr)	selisih (gr)	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	Luas Total (mm <sup>2</sup> )	Waktu (jam)	Laju Korosi (mmpy)	Laju Korosi Rata Rata (mmpy)
25	16,7812	16,7791	0,0021	7,86	777,0878	600	0,000050197	0,000050082
	16,2254	16,2233	0,0021	7,86	766,5688	600	0,000050886	
	19,0031	19,0009	0,0022	7,86	801,7368	600	0,000050971	
30	22,6073	22,6047	0,0026	7,86	821,6758	720	0,000048980	0,000053639
	18,1453	18,1425	0,0028	7,86	766,5688	720	0,000056540	
	19,1762	19,1734	0,0028	7,86	786,5078	720	0,000055107	
	19,8762	19,8735	0,0027	7,86	801,7368	720	0,000052129	
	18,6612	18,6584	0,0028	7,86	781,7978	720	0,000055439	
35	16,3445	16,3413	0,0032	7,86	781,7978	840	0,000054307	0,000055213
	19,2227	19,2193	0,0034	7,86	801,7368	840	0,000056266	
	20,1129	20,1095	0,0034	7,86	801,7368	840	0,000056266	
	19,2417	19,2385	0,0032	7,86	801,7368	840	0,000052957	
	19,6717	19,6683	0,0034	7,86	801,7368	840	0,000056266	
40	19,62	19,6163	0,0037	7,86	801,7368	960	0,000053577	0,000056763
	19,2347	19,2309	0,0038	7,86	801,7368	960	0,000055025	
	18,3782	18,3741	0,0041	7,86	801,7368	960	0,000059369	
	17,3547	17,3507	0,0040	7,86	801,7368	960	0,000057921	
	18,2371	18,2331	0,0040	7,86	801,7368	960	0,000057921	

## A.2 Laju korosi pada konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh 2%

Hari	berat awal (gr)	berat akhir (gr)	selisih (gr)	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	Luas Total (mm <sup>2</sup> )	Waktu (jam)	Laju Korosi (mmpy)	Laju Korosi Rata Rata (mmpy)
5	18,2303	18,2301	0,0002	7,86	696,2328	120	0,000026679	0,000027377
	19,8766	19,8764	0,0002	7,86	731,4008	120	0,000025397	
	18,7768	18,7766	0,0002	7,86	766,5688	120	0,000024231	
	19,8834	19,8832	0,0002	7,86	766,5688	120	0,000024231	

Hari	berat awal (gr)	berat akhir (gr)	selisih (gr)	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	Luas Total (mm <sup>2</sup> )	Waktu (jam)	Laju Korosi (mmpy)	Laju Korosi Rata Rata (mmpy)
5	18,4302	18,4299	0,0003	7,86	766,5688	120	0,000036347	0,000027377
10	17,1791	17,1787	0,0004	7,86	766,5688	240	0,000024231	0,000025964
	18,9801	18,9797	0,0004	7,86	801,7368	240	0,000023169	
	17,8871	17,8866	0,0005	7,86	801,7368	240	0,000028961	
	17,3346	17,3342	0,0004	7,86	801,7368	240	0,000023169	
	19,9897	19,9892	0,0005	7,86	766,5688	240	0,000030289	
15	20,7781	20,7775	0,0006	7,86	801,7368	360	0,000023169	0,000024259
	22,2801	22,2794	0,0007	7,86	836,9048	360	0,000025894	
	20,3421	20,3415	0,0006	7,86	801,7368	360	0,000023169	
	18,8897	18,8891	0,0006	7,86	801,7368	360	0,000023169	
	19,8876	19,8869	0,0007	7,86	836,9048	360	0,000025894	
20	17,4295	17,4287	0,0008	7,86	801,7368	480	0,000023169	0,000024225
	18,4328	18,4321	0,0007	7,86	801,7368	480	0,000020272	
	17,1781	17,1772	0,0009	7,86	836,9048	480	0,000024969	
	16,5538	16,5529	0,0009	7,86	836,9048	480	0,000024969	
	17,3027	17,3017	0,0010	7,86	836,9048	480	0,000027744	
25	17,9874	17,9862	0,0012	7,86	801,7368	600	0,000027802	0,000024204
	20,6772	20,6761	0,0011	7,86	836,9048	600	0,000024414	
	17,5441	17,543	0,0011	7,86	836,9048	600	0,000024414	
	18,7883	18,7873	0,0010	7,86	836,9048	600	0,000022195	
	21,1124	21,1114	0,0010	7,86	836,9048	600	0,000022195	
30	17,6958	17,6945	0,0013	7,86	766,5688	720	0,000026251	0,000023782
	20,2246	20,2234	0,0012	7,86	801,7368	720	0,000023169	
	18,7615	18,7602	0,0013	7,86	801,7368	720	0,000025099	
	21,9556	21,9545	0,0011	7,86	836,9048	720	0,000020345	
	20,1224	20,1211	0,0013	7,86	836,9048	720	0,000024045	
35	19,7754	19,774	0,0014	7,86	801,7368	840	0,000023169	0,000023759
	20,5565	20,5552	0,0013	7,86	836,9048	840	0,000020610	
	18,1703	18,1688	0,0015	7,86	766,5688	840	0,000025962	
	20,0012	19,9997	0,0015	7,86	801,7368	840	0,000024823	
	16,1807	16,1793	0,0014	7,86	766,5688	840	0,000024231	
40	19,8754	19,8739	0,0015	7,86	801,7368	960	0,000021720	0,000022607
	15,8262	15,8246	0,0016	7,86	766,5688	960	0,000024231	
	18,7863	18,7847	0,0016	7,86	801,7368	960	0,000023169	

Hari	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Selisih (gr)	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	Luas Total (mm <sup>2</sup> )	Waktu (jam)	Laju Korosi (mmpy)	Laju Korosi Rata Rata (mmpy)
40	18,8679	18,8664	0,0015	7,86	801,7368	960	0,000021720	0,000022607
	19,8678	19,8662	0,0016	7,86	836,9048	960	0,000022195	

## A.3 Laju korosi pada konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh 4 %

Hari	berat awal (gr)	berat akhir (gr)	selisih (gr)	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	Luas Total (mm <sup>2</sup> )	Waktu (jam)	Laju Korosi (mmpy)	Laju Korosi Rata Rata (mmpy)
5	15,3750	15,3747	0,0003	7,86	696,2328	120	0,000040019	0,000026720
	18,9807	18,9805	0,0002	7,86	661,0648	120	0,000028099	
	18,0432	18,0431	0,0001	7,86	696,2328	120	0,000013340	
	19,5406	19,5403	0,0003	7,86	731,4008	120	0,000038095	
	17,9886	17,9885	0,0001	7,86	661,0648	120	0,000014049	
10	16,7191	16,7184	0,0007	7,86	731,4008	240	0,000044444	0,000037046
	16,3449	16,3443	0,0006	7,86	766,5688	240	0,000036347	
	18,7732	18,7726	0,0006	7,86	766,5688	240	0,000036347	
	17,9882	17,9876	0,0006	7,86	766,5688	240	0,000036347	
	19,6332	19,6327	0,0005	7,86	731,4008	240	0,000031746	
15	16,0026	16,0014	0,0012	7,86	731,4008	360	0,000050793	0,000038347
	18,3248	18,3239	0,0009	7,86	731,4008	360	0,000038095	
	17,8772	17,8763	0,0009	7,86	731,4008	360	0,000038095	
	18,9881	18,9873	0,0008	7,86	801,7368	360	0,000030891	
	18,7712	18,7704	0,0008	7,86	731,4008	360	0,000033862	
20	16,7486	16,7474	0,0012	7,86	766,5688	480	0,000036347	0,000036894
	18,7644	18,7631	0,0013	7,86	801,7368	480	0,000037649	
	16,7632	16,7619	0,0013	7,86	766,5688	480	0,000039376	
	18,8861	18,8849	0,0012	7,86	801,7368	480	0,000034753	
	18,4438	18,4426	0,0012	7,86	766,5688	480	0,000036347	
25	20,1594	20,1582	0,0012	7,86	766,5688	600	0,000029078	0,000028057
	19,8712	19,8699	0,0013	7,86	801,7368	600	0,000030119	
	20,4324	20,4312	0,0012	7,86	801,7368	600	0,000027802	
	20,1713	20,1701	0,0012	7,86	801,7368	600	0,000027802	
	19,6412	19,6401	0,0011	7,86	801,7368	600	0,000025485	
30	18,1122	18,1109	0,0013	7,86	801,7368	720	0,000025099	0,000025446
	16,5638	16,5625	0,0013	7,86	766,5688	720	0,000026251	

Hari	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Selisih (gr)	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	Luas Total (mm <sup>2</sup> )	Waktu (jam)	Laju Korosi (mmpy)	Laju Korosi Rata Rata (mmpy)
30	17,7612	17,76	0,0012	7,86	766,5688	720	0,000024231	0,000025446
	18,1819	18,1806	0,0013	7,86	766,5688	720	0,000026251	
	17,1243	17,1231	0,0012	7,86	731,4008	720	0,000025397	
35	15,776	15,7746	0,0014	7,86	731,4008	840	0,000025397	0,000023496
	18,6617	18,6603	0,0014	7,86	766,5688	840	0,000024231	
	20,7753	20,774	0,0013	7,86	801,7368	840	0,000021514	
	19,5124	19,511	0,0014	7,86	801,7368	840	0,000023169	
	20,1217	20,1203	0,0014	7,86	801,7368	840	0,000023169	
40	14,557	14,5555	0,0015	7,86	731,4008	960	0,000023809	0,000024239
	15,8972	15,8957	0,0015	7,86	696,2328	960	0,000025012	
	19,3098	19,3082	0,0016	7,86	801,7368	960	0,000023169	
	17,3632	17,3615	0,0017	7,86	731,4008	960	0,000026984	
	16,7652	16,7638	0,0014	7,86	731,4008	960	0,000022222	

## A.4 Laju korosi pada konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh 6 %

Hari	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Selisih (gr)	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	Luas Total (mm <sup>2</sup> )	Waktu (jam)	Laju Korosi (mmpy)	Laju Korosi Rata Rata (mmpy)
5	16,1055	16,1052	0,0003	7,86	696,2328	120	0,000040019	0,000031565
	18,6554	18,6552	0,0002	7,86	661,0648	120	0,000028099	
	17,3224	17,3221	0,0003	7,86	766,5688	120	0,000036347	
	16,6546	16,6544	0,0002	7,86	696,2328	120	0,000026679	
	18,0436	18,0434	0,0002	7,86	696,2328	120	0,000026679	
10	16,2926	16,2921	0,0005	7,86	801,7368	240	0,000028961	0,000026206
	18,7721	18,7717	0,0004	7,86	836,9048	240	0,000022195	
	16,4432	16,4427	0,0005	7,86	801,7368	240	0,000028961	
	17,8772	17,8768	0,0004	7,86	801,7368	240	0,000023169	
	20,2113	20,2108	0,0005	7,86	836,9048	240	0,000027744	
15	18,8914	18,8907	0,0007	7,86	766,5688	360	0,000028270	0,000024419
	19,4331	19,4325	0,0006	7,86	766,5688	360	0,000024231	
	19,8712	19,8706	0,0006	7,86	801,7368	360	0,000023169	
	18,6718	18,6712	0,0006	7,86	766,5688	360	0,000024231	
	19,7323	19,7317	0,0006	7,86	836,9048	360	0,000022195	



Hari	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Selisih (gr)	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	Luas Total (mm <sup>2</sup> )	Waktu (jam)	Laju Korosi (mmpy)	Laju Korosi Rata Rata (mmpy)
20	16,3868	16,386	0,0008	7,86	731,4008	480	0,000025397	0,000026648
	17,1114	17,1106	0,0008	7,86	766,5688	480	0,000024231	
	17,3221	17,3212	0,0009	7,86	766,5688	480	0,000027260	
	19,2047	19,2038	0,0009	7,86	801,7368	480	0,000026065	
	17,2721	17,2711	0,0010	7,86	766,5688	480	0,000030289	
25	17,136	17,1349	0,0011	7,86	731,4008	600	0,000027936	0,000027140
	18,1242	18,1232	0,0010	7,86	766,5688	600	0,000024231	
	17,3354	17,3343	0,0011	7,86	766,5688	600	0,000026655	
	16,8897	16,8885	0,0012	7,86	766,5688	600	0,000029078	
	18,9987	18,9975	0,0012	7,86	801,7368	600	0,000027802	
30	15,8929	15,8917	0,0012	7,86	731,4008	720	0,000025397	0,000022845
	17,6678	17,6667	0,0011	7,86	766,5688	720	0,000022212	
	19,9832	19,982	0,0012	7,86	801,7368	720	0,000023169	
	16,1921	16,191	0,0011	7,86	766,5688	720	0,000022212	
	18,517	18,5159	0,0011	7,86	801,7368	720	0,000021238	
35	18,0568	18,0555	0,0013	7,86	801,7368	840	0,000021514	0,000021726
	20,1232	20,1219	0,0013	7,86	801,7368	840	0,000021514	
	19,8897	19,8885	0,0012	7,86	801,7368	840	0,000019859	
	18,6603	18,6589	0,0014	7,86	766,5688	840	0,000024231	
	19,8879	19,8866	0,0013	7,86	801,7368	840	0,000021514	
40	17,2667	17,2653	0,0014	7,86	731,4008	960	0,000022222	0,000022680
	16,7212	16,7198	0,0014	7,86	731,4008	960	0,000022222	
	18,7862	18,7847	0,0015	7,86	696,2328	960	0,000025012	
	17,2398	17,2384	0,0014	7,86	731,4008	960	0,000022222	
	19,0897	19,0882	0,0015	7,86	801,7368	960	0,000021720	

## A.5 Laju korosi pada konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh 8 %

Hari	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Selisih (gr)	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	Luas Total (mm <sup>2</sup> )	Waktu (jam)	Laju Korosi (mmpy)	Laju Korosi Rata Rata (mmpy)
5	17,7671	17,7669	0,0002	7,86	731,4008	120	0,000025397	0,000026450
	18,9812	18,9810	0,0002	7,86	731,4008	120	0,000025397	
	19,4367	19,4366	0,0001	7,86	696,2328	120	0,000013340	
	17,1890	17,1887	0,0003	7,86	696,2328	120	0,000040019	
	17,6675	17,6673	0,0002	7,86	661,0648	120	0,000028099	



Hari	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Selisih (gr)	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	Luas Total (mm <sup>2</sup> )	Waktu (jam)	Laju Korosi (mmpy)	Laju Korosi Rata Rata (mmpy)
10	16,7397	16,7392	0,0005	7,86	766,5688	240	0,000030289	0,000023734
	18,7334	18,733	0,0004	7,86	731,4008	240	0,000025397	
	17,6334	17,633	0,0004	7,86	801,7368	240	0,000023169	
	16,2867	16,2863	0,0004	7,86	801,7368	240	0,000023169	
	18,3546	18,3543	0,0003	7,86	836,9048	240	0,000016646	
15	17,6582	17,6577	0,0005	7,86	731,4008	360	0,000021164	0,000018313
	18,3342	18,3338	0,0004	7,86	731,4008	360	0,000016931	
	17,1628	17,1623	0,0005	7,86	731,4008	360	0,000021164	
	18,4966	18,4962	0,0004	7,86	766,5688	360	0,000016154	
	18,9229	18,9225	0,0004	7,86	766,5688	360	0,000016154	
20	20,8388	20,8382	0,0006	7,86	801,7368	480	0,000017376	0,000022658
	19,6551	19,6542	0,0009	7,86	801,7368	480	0,000026065	
	18,1121	18,1112	0,0009	7,86	766,5688	480	0,000027260	
	18,6646	18,6639	0,0007	7,86	836,9048	480	0,000019421	
	18,2142	18,2134	0,0008	7,86	801,7368	480	0,000023169	
25	15,4551	15,4541	0,0010	7,86	731,4008	600	0,000025397	0,000023596
	19,7643	19,7633	0,0010	7,86	801,7368	600	0,000023169	
	18,1122	18,1113	0,0009	7,86	801,7368	600	0,000020852	
	17,2124	17,2114	0,0010	7,86	731,4008	600	0,000025397	
	19,1981	19,1971	0,0010	7,86	801,7368	600	0,000023169	
30	16,9571	16,9561	0,0010	7,86	766,5688	720	0,000020193	0,000019679
	17,1213	17,1202	0,0011	7,86	766,5688	720	0,000022212	
	19,8994	19,8985	0,0009	7,86	801,7368	720	0,000017376	
	19,9884	19,9874	0,0010	7,86	801,7368	720	0,000019307	
	19,5517	19,5507	0,0010	7,86	801,7368	720	0,000019307	
35	16,5953	16,5943	0,0010	7,86	731,4008	840	0,000018140	0,000017211
	19,4562	19,4551	0,0011	7,86	801,7368	840	0,000018204	
	19,1782	19,1772	0,0010	7,86	801,7368	840	0,000016549	
	19,5677	19,5667	0,0010	7,86	836,9048	840	0,000015854	
	18,2472	18,2462	0,0010	7,86	766,5688	840	0,000017308	
40	17,2182	17,2171	0,0011	7,86	731,4008	960	0,000017460	0,000016398
	18,0987	18,0976	0,0011	7,86	731,4008	960	0,000017460	
	19,8722	19,8711	0,0011	7,86	801,7368	960	0,000015928	
	20,8722	20,8712	0,0010	7,86	801,7368	960	0,000014480	
	15,7873	15,7862	0,0011	7,86	766,5688	960	0,000016659	



## LAMPIRAN B. Tabel rata-rata laju korosi dan efisiensi inhibitor

B.1 Tabel rata-rata laju korosi

Hari	Spesimen	Variasi konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh				
		0%	2%	4%	6%	8%
5	1	0,000024879	0,000026679	0,000040019	0,000040019	0,000025397
	2	0,000024231	0,000025397	0,000028099	0,000028099	0,000025397
	3	0,000034958	0,000024231	0,000013340	0,000036347	0,000013340
	4	0,000035639	0,000024231	0,000038095	0,000026679	0,000040019
	5	0,000037084	0,000036347	0,000014049	0,000026679	0,000028099
	<b>rata-rata</b>	0,000031358	0,000027377	0,000026720	0,00003156	0,000026450
10	1	0,000040308	0,000024231	0,000044444	0,000028961	0,000030289
	2	0,000041330	0,000023169	0,000036347	0,000022195	0,000025397
	3	0,000035166	0,000028961	0,000036347	0,000028961	0,000023169
	4	0,000036347	0,000023169	0,000036347	0,000023169	0,000023169
	5	0,000036347	0,000030289	0,000031746	0,000027744	0,000016646
	<b>rata-rata</b>	0,000037900	0,000025963	0,000037046	0,00002620	0,000023733
15	1	0,000041209	0,000023169	0,000050793	0,000028270	0,000021164
	2	0,000039599	0,000025894	0,000038095	0,000024231	0,000016931
	3	0,000039599	0,000023169	0,000038095	0,000023169	0,000021164
	4	0,000047519	0,000023169	0,000030891	0,000024231	0,000016154
	5	0,000039362	0,000025894	0,000033862	0,000022195	0,000016154
	<b>rata-rata</b>	0,0000414575	0,000024258	0,000038347	0,000024419	0,000018313
20	1	0,000049233	0,000023169	0,000036347	0,000025397	0,000017376
	2	0,000042631	0,000020272	0,000037649	0,000024231	0,000026065
	3	0,000045434	0,000024969	0,000039376	0,000027260	0,000027260
	4	0,000050886	0,000022195	0,000027802	0,000029078	0,000025397
	5	0,000050971	0,000022195	0,000025485	0,000027802	0,000023169
	<b>rata-rata</b>	0,000050082	0,000024204	0,000028057	0,000027140	0,000023596

Hari	Spesimen	Variasi konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh				
		0%	2%	4%	6%	8%
25	1	0,000048463	0,000027802	0,000029078	0,000027936	0,000025397
	2	0,000049895	0,000024414	0,000030119	0,000024231	0,000023169
	3	0,000050197	0,000024414	0,000027802	0,000026655	0,000020852
	4	0,000050886	0,000022195	0,000027802	0,000029078	0,000025397
	5	0,000050971	0,000022195	0,000025485	0,000027802	0,000023169
	<b>rata-rata</b>	0,000050082	0,000024204	0,000028057	0,000027140	0,000023596
30	1	0,000048980	0,000026251	0,000025099	0,000025397	0,000020193
	2	0,000056540	0,000023169	0,000026251	0,000022212	0,000022212
	3	0,000055107	0,000025099	0,000024231	0,000023169	0,000017376
	4	0,000052129	0,000020345	0,000026251	0,000022212	0,000019307
	5	0,000055439	0,000024045	0,000025397	0,000021238	0,000019307
	<b>rata-rata</b>	0,000053638	0,000023781	0,000025445	0,0000228454	0,000019679
35	1	0,000054307	0,000023169	0,000025397	0,000021514	0,000018140
	2	0,000056266	0,000020610	0,000024231	0,000021514	0,000018204
	3	0,000056266	0,000025962	0,000021514	0,000019859	0,000016549
	4	0,000052957	0,000024823	0,000023169	0,000024231	0,000015854
	5	0,000056266	0,000024231	0,000023169	0,000021514	0,000017308
	<b>rata-rata</b>	0,000055212	0,000023759	0,000023495	0,0000217262	0,0000172109
40	1	0,000053577	0,000021720	0,000023809	0,000022222	0,000017460
	2	0,000055025	0,000024231	0,000025012	0,000022222	0,000017460
	3	0,000059369	0,000023169	0,000023169	0,000025012	0,000015928
	4	0,000057921	0,000021720	0,000026984	0,000022222	0,000014480
	5	0,000057921	0,000022195	0,000022222	0,000021720	0,000016659
	<b>rata-rata</b>	0,000056762	0,000022607	0,000024239	0,0000226796	0,000016397
<b>rata-rata keseluruhan</b>	0,000048932	0,000024522	0,000030030	0,000025403	0,000021004	

B.2 Tabel efisiensi inhibitor

Hari		Variasi konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh				
		0%	2%	4%	6%	8%
5	Laju Korosi (mppy)	0,000031358	0,000027377	0,000026720	0,00003156	0,000026450
	Daya Inhibisi (%)	-	12,695350438	14,790053521	30,658549590	15,651755197
10	Laju Korosi (mppy)	0,000037900	0,000025963	0,000037046	0,00002620	0,000023733
	Daya Inhibisi (%)	-	31,493642789	2,251874564	30,855090719	37,377241331
15	Laju Korosi (mppy)	0,000041457 5	0,000024258	0,000038347	0,000024419	0,000018313
	Daya Inhibisi (%)	-	41,485226420	7,502267420	41,098058588	55,825983060
20	Laju Korosi (mppy)	0,000047474	0,000024224	0,000036894	0,000026648	0,000022658
	Daya Inhibisi (%)	-	48,973280758	22,285794121	43,867833301	52,273099134
25	Laju Korosi (mppy)	0,000050082	0,000024204	0,000028057	0,000027140	0,000023596
	Daya Inhibisi (%)	-	51,671160158	43,977577301	45,808353783	52,884836522
30	Laju Korosi (mppy)	0,000053638	0,000023781	0,000025445	0,0000228454	0,000019679
	Daya Inhibisi (%)	-	55,663431626	52,561105094	57,408876286	63,311889983
35	Laju Korosi (mppy)	0,000055212	0,000023759	0,000023495	0,0000217262	0,0000172109
	Daya Inhibisi (%)	-	56,968095091	57,444998445	60,649920022	68,827823595
40	Laju Korosi (mppy)	0,000056762	0,000022607	0,000024239	0,0000226796	0,000016397
	Daya Inhibisi (%)	-	60,172606900	57,297614401	60,044892261	71,112089747



LAMPIRAN C. Bahan Penelitian



Bentuk spesimen sebelum dilas dan dipotong



Spesimen setelah dilas dan dipotong



Autosol



Resin dan katalis



Air Laut



Elektroda



Daun Belimbing Wuluh Kering



Proses Penghaslusan daun  
Belimbing Wuluh



**LAMPIRAN D. Alat penelitian**



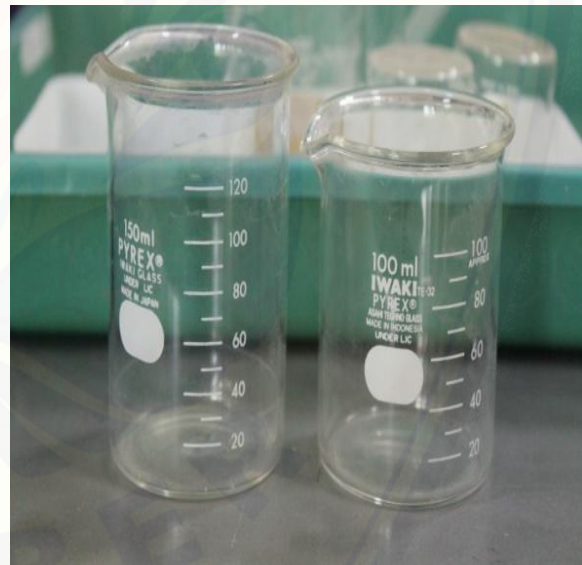
Mikroskop Olympus U-MSSP4



Mesin *Grinding*



Mesin *rotary evaporator*



Gelas Ukur



Jangka Sorong





LAMPIRAN E. Sertifikat pipa baja karbon A53



**PT. STEEL PIPE INDUSTRY OF INDONESIA, Tbk**

Head Office : Jl. Kalibutih 189-191 Surabaya 60173 - Indonesia, Phone (031)5320921,5316921,5320320,5353290 Fax : (031)5310712,5320290  
 Factory Unit I : Jl. Rungkut Industri I No.28-32 Surabaya 60293 - Indonesia, Phone (031)8434865,8439503 Fax : (031)8431348,8420723  
 Factory Unit II : Jl. Rungkut Industri II No.10 Surabaya 60293 - Indonesia, Phone (031)8439555,8439666  
 Factory Unit III : Desa Warugunung, Kec.Karangpilang PO BOX 1984 Surabaya - Indonesia, Phone(031)7661362,7661646 Fax : (031)7661610

NO FORM : QAS/S-LII,III/01  
 REVISI : 0

**MILL TEST CERTIFICATE**

No. 03930/SP-III/XII/2013

Order & Address: RANGKA RAYA  
 JL. PEGIRIAN NO.24 RT.000 RW.000 SIDODADI - SIMOKERTO  
 SURABAYA  
 Order No. : 0377/XII/13  
 Order Modality : ERW STEEL PIPE  
 Order Specification : BLACK STEEL PIPE TO ASTM A53 GR. B

Date : 23.12.2015  
 Ex SPPB No. : 06943.13.W  
 L/C No. & Date :  
 Packing List No.&Date :  
 Issuing Bank :

Page 1 of 1

MILL WORK NO.	Ordered Sizes			DELIVERED QUANTITIES		DESCRIPTION OF TEST				
	Diameter Inch	Thickness mm	Length mm	PCS	Net Weight Kg/Pc	Surface & Dimension	Hydrostatic Test 1520 PSI	Flattening Test 2/3D,1/3D	Bend Test -	Coating Average
30076762	6	SCH-40	6,000.0	18	-	GOOD	Result GOOD	Result GOOD	Result -	Gr/m <sup>2</sup> -

MILL WORK NO.	HEAT NO.	TENSILE TEST			CHEMICAL ANALYSIS, %										REMARKS	
		Yield Strength N / mm <sup>2</sup>	Tensile Strength N / mm <sup>2</sup>	Elongation %	C	Mn	P	S	CU	NI	CR	MO	V			
30076762	IZU70	Min: 205	Min: 330	Min: 39,8	Max: 0,25	Max: 0,95	Max: 0,05	Max: 0,045	Max: 0,4	Max: 0,4	Max: 0,15	Max: 0,08	Max: 0,015	Max: 0,013	NO RESULT	SATISFACTORY





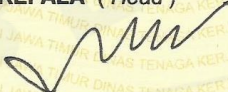
WE HEREBY CERTIFY THAT THE PIPES DESCRIBED HERE IN HAVE BEEN  
 MANUFACTURED AND TESTED IN ACCORDANCE WITH ABOVE SPECIFICATIONS AND  
 REQUIREMENTS WITH THE REQUIREMENTS CALLED FOR BY THE ABOVE ORDER.

Signature: \_\_\_\_\_  
 (through as appropriate)





## LAMPIRAN F. Sertifikat Las

	<p>PEMERINTAH PROVINSI JAWA TIMUR DINAS TENAGA KERJA TRANSMIGRASI DAN KEPENDUDUKAN UNIT PELAKSANA TEKNIS PELATIHAN KERJA JEMBER</p>	
<h1>Sertifikat</h1>		
<b>SERTIFIKAT PELATIHAN KERJA BERBASIS KOMPETENSI</b>		
<i>Certificate of Competency Based Training</i>		
Nomor sertifikat (Certificate number) : <b>563 / 050 / 106.09 / 2016</b>		
Dengan ini menetapkan bahwa : <i>This is to certificate that</i>		
<b>N a m a</b> <i>Name</i>	: <b>ARTHA SABHILA SHAKTI</b>	
<b>Tempat / Tanggal lahir</b> <i>Place / date of birth</i>	: <b>Jombang, 17~05~1994</b>	
<b>Nomor Induk</b> <i>Registration number</i>	: <b>050.087.1.006.1.2016</b>	
Dinyatakan berhasil dalam mengikuti Program Pelatihan Berbasis Kompetensi <i>Has been passed in participation of Competency Based Training Programme</i>		
<b>Untuk bidang pekerjaan</b> <i>In the area of</i>	: <b>Operator Las SMAW 1G</b>	
<b>Jenjang program pelatihan</b> <i>Training qualification</i>	: <b>-</b>	
<b>Yang telah diselenggarakan mulai tanggal</b> <i>Implemented has on</i>	<b>13-04-2016 s/d</b> <i>until</i>	<b>09-06-2016 ( 240 jam pelajaran )</b> <i>training hours</i>
<b>di Jember</b> <i>in</i>		
Jember, 09 Juni 2016		
<b>UNIT PELAKSANA TEKNIS PELATIHAN KERJA JEMBER</b> <i>Technical Unit of Vocational Training Jember</i>		
<b>KEPALA ( Head )</b>		
		
		<b>Ir. SIHMANTO, MT.</b> Pembina NIP. 19610727 198603 1 014



2977225



BADAN NASIONAL  
SERTIFIKASI PROFESI  
INDONESIAN PROFESSIONAL  
CERTIFICATION AUTHORITY

**SERTIFIKAT KOMPETENSI**  
**CERTIFICATE OF COMPETENCE**

No. 28900 7212 05 0 0038106 2016

Dengan ini menyatakan bahwa,  
*This is to certify that,*

**Artha Sabhila Shakti**

No Reg. LOG 004 02556 2016

Telah kompeten pada bidang :  
*Is competent in the area of :*

**Pabrikasi**  
*Fabrication*

dengan Kualifikasi/ Kompetensi :  
*with Qualification/ Competency :*

**Las SMAW**  
*( 2 F )*

Sertifikat ini berlaku untuk: 3 (Tiga) Tahun  
*This certificate is valid for: 3 (Three) Year*

**Jakarta, 25 Juli 2016**

Atas Nama (On Behalf of)  
Badan Nasional Sertifikasi Profesi

**Lembaga Sertifikasi Profesi Logam dan Mesin Indonesia**  
*Indonesian Professionals Certification Body Metalworks and Machinery*



**Ir. Dasep Ahmadi**

Ketua  
*(Chairman)*





**LAMPIRAN G. Struktur makro**

Untuk foto makro permukaan pipa baja karbon A53 menggunakan camera digital dengan pengambilan sampel secara acak.

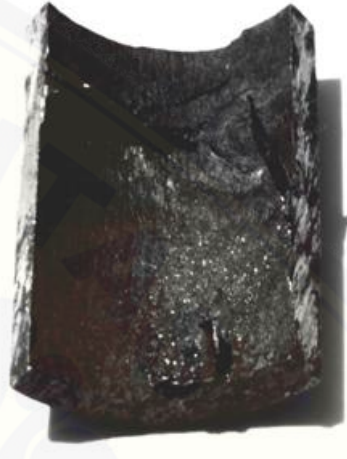
G.1 Foto makro spesimen untuk waktu perendaman 40 hari



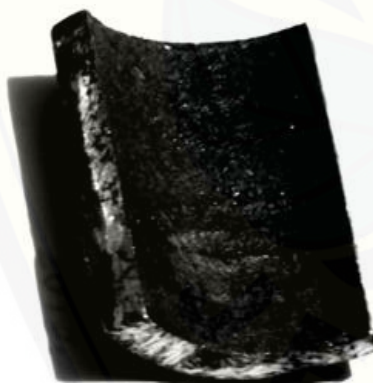
Sebelum Pencelupan



0%



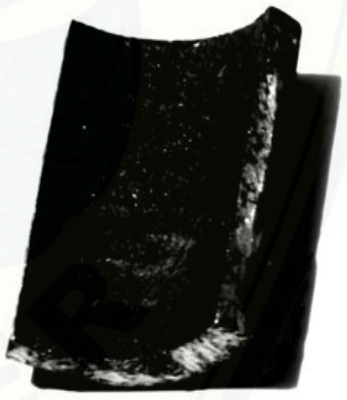
2%



4%



6%

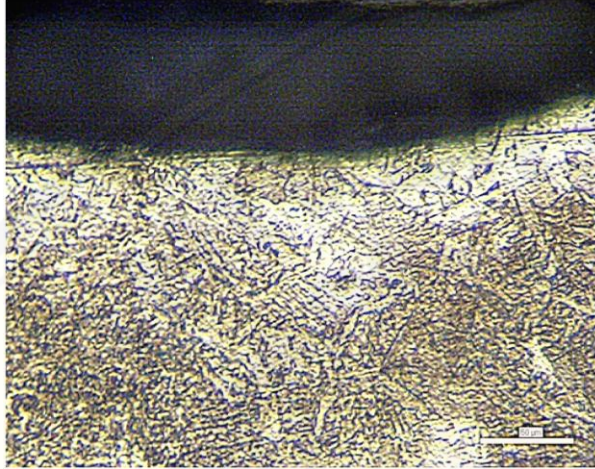


8%

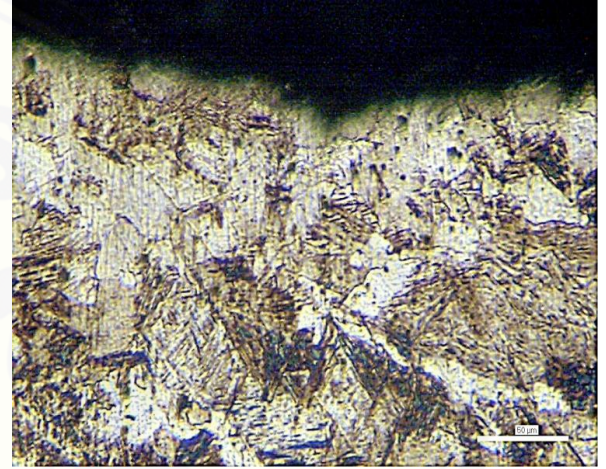
**LAMPIRAN H.** Struktur mikro

Untuk foto mikro permukaan pipa baja karbon A53 menggunakan Mikroskop metalurgi olympus dengan pengambilan sampel secara acak.

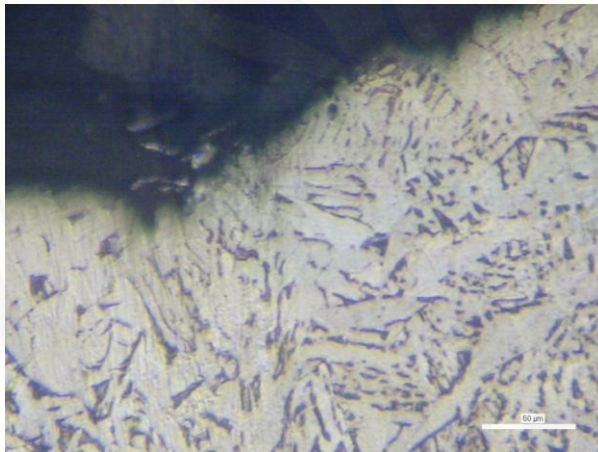
## H.1 Foto mikro spesimen setelah perendaman 40 hari



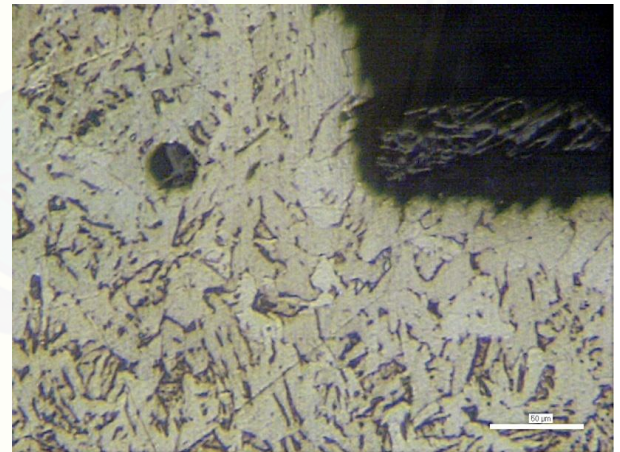
Sebelum Pencelupan



0%

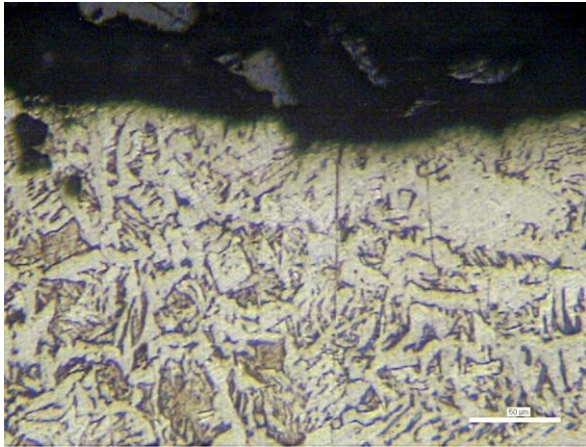


2%

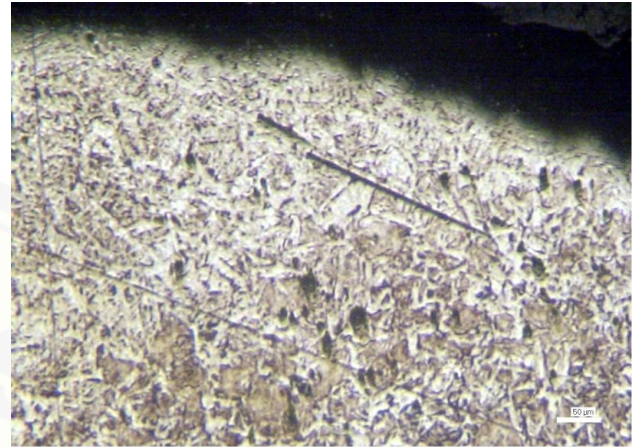


4%





6%



8%

