



**PENGARUH VARIASI *TEMPERING* TERHADAP LAJU  
KOROSI BAJA KARBON A53 DALAM MEDIA  
AIR LAUT**

**SKRIPSI**

Oleh  
**Syarif Hidayatullah**  
**NIM. 121910101077**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**



**PENGARUH VARIASI *TEMPERING* TERHADAP LAJU  
KOROSI BAJA KARBON A53 DALAM MEDIA  
AIR LAUT**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh  
**Syarif Hidayatullah**  
**NIM. 121910101077**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Abah saya Gatot Dewanto (Almarhum) dan Umi saya Reny Darmaswati, terima kasih atas kasih sayang, serta semua doa yang selalu mengiringi setiap langkah dalam kehidupan dan usaha untuk mencapai kesuksesan;
2. Paman saya Hery Listiantoro dan Bibi saya Wara Bhakti Pratiwi atas dukungan moril maupun materiil sehingga saya dapat menyelesaikan pendidikan S1 saya.
3. Saudara-saudaraku tercinta Abu Bakar Ahmad dan Atikah, terima kasih untuk doa, serta dukungannya selama ini;
4. Guru-guru sejak TK, SD, SMP, SMA, Perguruan Tinggi terhormat, yang telah memberikan ilmu dan membimbing dengan penuh kesabaran dan dedikasi yang tinggi;
5. Kawan-kawan saya Teknik Mesin Angkatan 2012 atas dukungan dan bantuannya selama kuliah dan menyelesaikan tugas akhir ini;
6. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

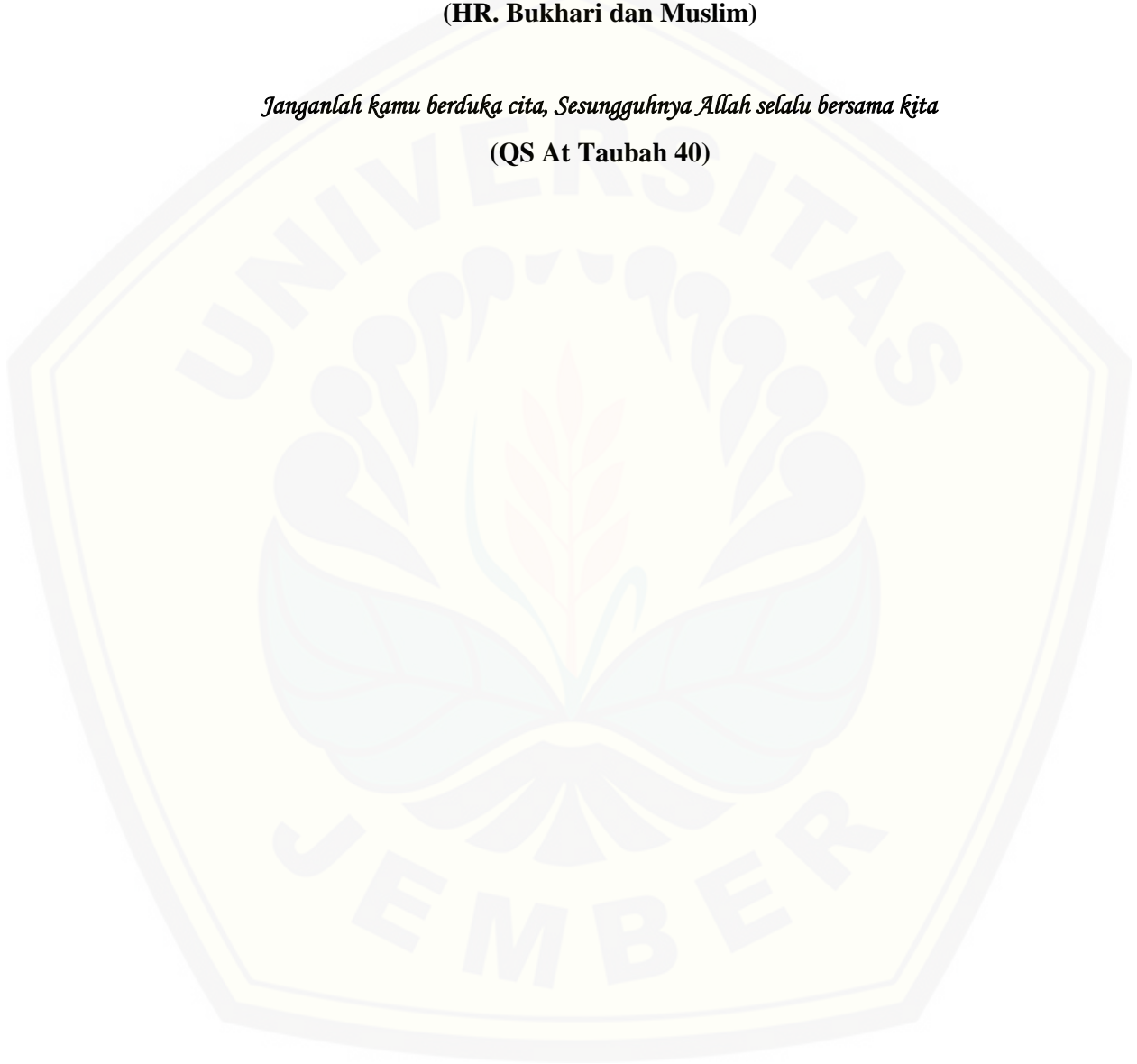
**MOTTO**

*“Hendaknya kamu selalu jujur karena kejujuran itu akan membawa kepada  
Kebaikan dan kebaikan itu akan membawa ke dalam syurga”*

**(HR. Bukhari dan Muslim)**

*Janganlah kamu berduka cita, Sesungguhnya Allah selalu bersama kita*

**(QS At Taubah 40)**



**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Syarif Hidayatullah

MM : 121910101077

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul "*Pengaruh Variasi Tempering Terhadap Laju Korosi Pipa Baja Karbon A53 Dalam Media Air Laut*" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan/duplikat. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, Januari 2018  
Yang menyatakan,

Syarif Hidayatullah  
NIM. 121910101077

**SKRIPSI**

**PENGARUH VARIASI TEMPERING TERHADAP LAJU KOROSI  
PIPA BAJA KARBON A53 DALAM  
MEDIA AIR LAUT**

Oleh

Syarif Hidayatullah

NIM 121910101077

Pembimbing :

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

NIP. 19680202 199702 1 001

Dosen Pembimbing Anggota : Robertoes Koekoeh Koentjoro, S.T., M. Eng.

NIP. 19670708 199412 1 001

## RINGKASAN

**Pengaruh Variasi Tempering Terhadap Laju Korosi Pipa Baja Karbon A53 dalam Media Air Laut;** Syarif Hidayatullah; 121910101077; 2018; 67 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

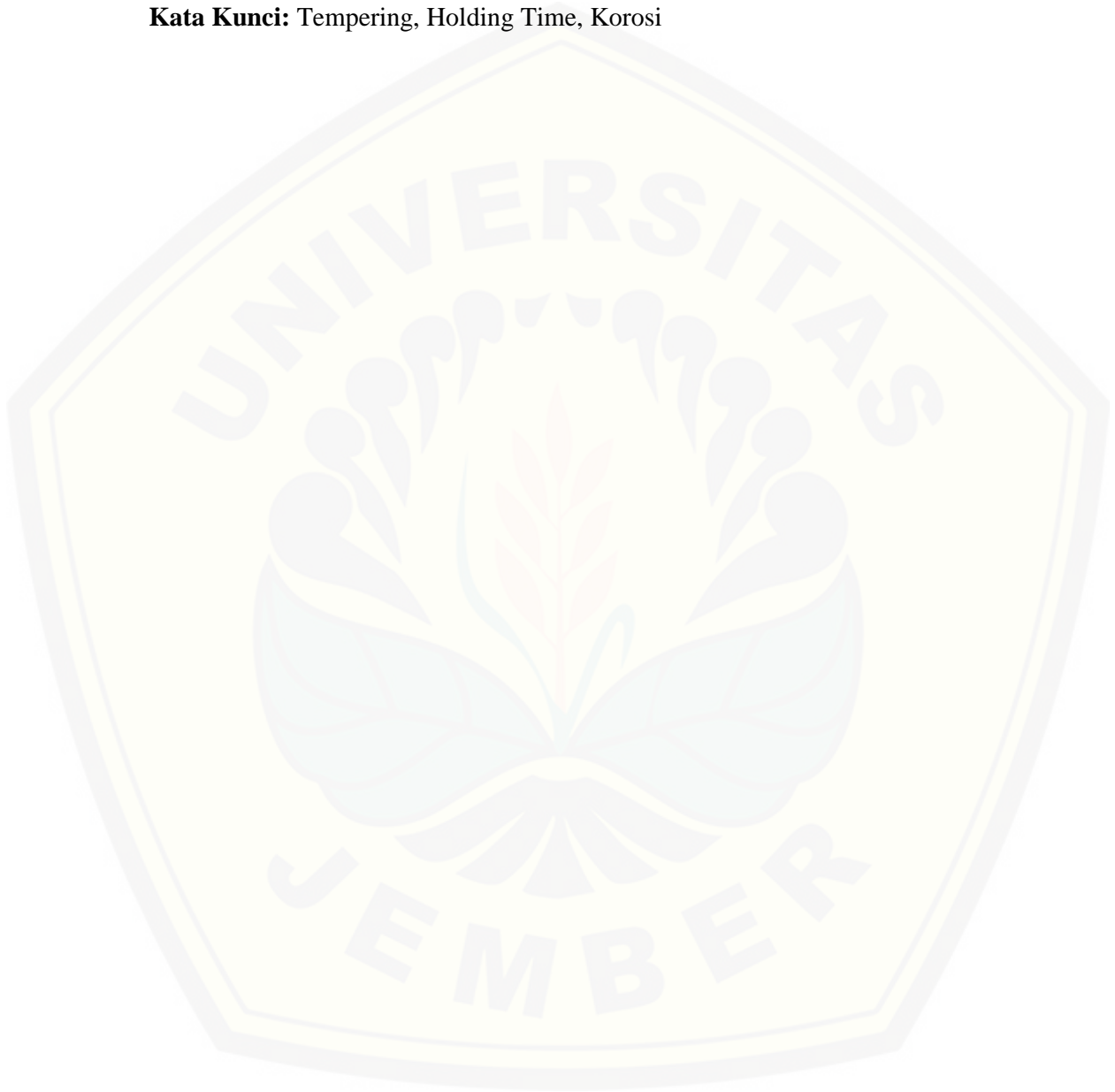
Pipa baja karbon A53 digunakan untuk jalur pipa gas yang melewati bawah laut dan bawah tanah, namun dalam media air laut baja karbon memiliki ketahanan terhadap korosi yang rendah. Ada beberapa metode untuk menghambat laju korosi. Salah satunya adalah dengan mengurangi tegangan sisa baja karbon menggunakan proses perlakuan panas. Dalam penelitian ini dipilih metode perlakuan panas tempering. Secara umum proses temper bertujuan untuk mengurangi tegangan sisa pada material yang menjadi pemicu korosi. Metode yang dilakukan adalah dengan melakukan proses quenching dan tempering dengan variasi temperatur 200°C, 300°C, 400°C dan holding time 15, 30 dan 45 menit kemudian mencelupkan ke dalam air laut selama 30 hari. Setelah itu dilakukan pengujian weight loss untuk mendapatkan data laju korosinya dan dilakukan uji metalografi.

Dari analisis data dapat disimpulkan semakin tinggi holding time maka laju korosi semakin menurun dan pada variasi temperatur dapat disimpulkan semakin tinggi temperatur temper-nya laju korosi semakin meningkat. Laju korosi tertinggi pada variasi holding time 15 menit, temperatur 400°C dengan laju korosi sebesar  $8,18316 \times 10^{-4}$  mdd dan laju korosi terendah pada variasi holding time 45 menit, temperatur 200°C dengan laju korosi sebesar  $6,37892 \times 10^{-4}$  mdd. Namun dalam penelitian ini, spesimen dengan proses tempering memiliki laju korosi lebih tinggi dibanding spesimen tanpa perlakuan dengan laju korosinya sebesar  $6,10199 \times 10^{-4}$  mdd.

Pada pengujian metalografi, penurunan laju korosi disebabkan oleh beberapa hal antara lain dari aspek metalurgis seperti ukuran butir ferit dari baja karbon rendah yang menjadi lebih besar setelah dipanaskan dibandingkan dengan sebelum perlakuan. Dengan ukuran butir yang lebih besar maka batas butir yang

dimiliki akan berkurang. Batas butir memiliki tingkat energi yang lebih besar daripada butir sehingga daerah ini sangat rentan terjadi peristiwa korosi.

**Kata Kunci:** Tempering, Holding Time, Korosi





## SUMMARY

**Effect of Tempering Process Variations To Corrosion Rate Of Carbon Steel A53 At Sea Water**; Syarif Hidayatullah; 121910101077; 2018; 67 Pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

The A53 carbon steel tube is used for gas pipelines that pass under the sea and underground, but in seawater media the carbon steel has a low corrosion resistance. There are several methods to prevent corrosion rate. Wrong with it. In this research method. For the public interest. The method is done by quenching and tempering with temperature variation of 200°C, 300°C, 400°C and holding time 15, 30 and 45 minutes then dipping into the sea air for 30 days. After that, weight loss test was done to get the corrosion rate data and metallographic test.

From the data analysis can be concluded the higher the holding time then the corrosion rate decreases and the temperature level can be concluded the higher the temperature its corrosion rate is increasing. Corrosion rate at 15 minute detention time, temperature 400°C with corrosion rate of  $8,18316 \times 10^{-4}$  mdd and corrosion rate at holding time 45 minutes, temperature of 200°C with corrosion rate based on  $6.37892 \times 10^{-4}$  mdd. However, in this study, specimens with tempering processes had higher corrosion rates than the untreated specimens with a corrosion rate of  $6.10199 \times 10^{-4}$  mdd.

In metallographic testing, the decrease in corrosion rate caused by several things is, among other things, metalurgical aspects such as the ferrite size of low carbon steels that become larger after heating compared with previous treatments. With larger grain size then the grain boundary owned will be reduced. The limit of things has a greater energy level.

**Keywords :** Tempering, Holding Time, Corrosion

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Pengaruh Variasi Tempering Terhadap Laju Korosi Pipa Baja Karbon A53 Dalam Media Air Laut” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Kamis, 14 Desember 2017

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Anggota

Sumarji, S.T., M.T.  
NIP. 19680202 199702 1 001

Dr. Robertoes Koekoeh KW, S.T., M.Eng  
NIP. 19670708 199412 1 001

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II

Dr. Agus Triono, S.T., M.T.  
NIP. 19700807 200212 1 001

Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T.  
NIP. 19751006 200212 1 002

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M. UM  
NIP. 19661215 199503 2 001

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul "*Pengaruh Variasi Proses Tempering Terhadap Laju Korosi Pipa Baja Karbon A53 Dalam Media Air Laut.*" Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Allah SWT yang maha kuasa, yang memberikan bidadyah, nikmat dan karuniayang tidak pernah henti dalam hidup ini.
2. Abah saya Gatot Dewanto (Ahnarhum) dan Umi saya Reny Darmaswati, terima kasih atas kasih sayang, serta semua doa yang selalu mengiringi setiap langkah dalam kehidupan dan usaha untuk mencapai kesuksesan;
3. Paman saya Hery Listiantoro dan Bibi saya Wara Bhakti Pratiwi atas dukungan moril maupun materiil sehingga saya dapat menyelesaikan pendidikan SI saya.
4. Saudara-saudaraku tercinta Abu Bakar Ahmad, Atikah, Zein Salman, Farhan, Faza dan Ibrohim.
5. Bapak Sumarji, S.T., M.T. Dosen Pembimbing Utama, Bapak Dr. Robertoes Koekoeh Koentjoro S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini.
6. Bapak Dr. Agus Triono S.T., M.T selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Dr. Salahuddin Junus S.T., M.T selaku Dosen Penguji Anggota yang telah banyak sekali memberikan saran dan berbagai pertimbangan menuju ke arah yang benar dalam penulisan skripsi ini.
7. Guru-guru sejak TK, SD, SMP, SMA, Perguruan Tinggi terhormat, yang telah memberikan ihnu dan membimbing dengan penuh kesabaran dan dedikasi yang tinggi;

8. Kawan-kawan saya Teknik Mesin Angkatan 2012 atas dukungan dan bantuannya selama kuliah dan menyelesaikan tugas akhir ini;

Jember, Januari 2018

Penulis



DAFTAR ISI

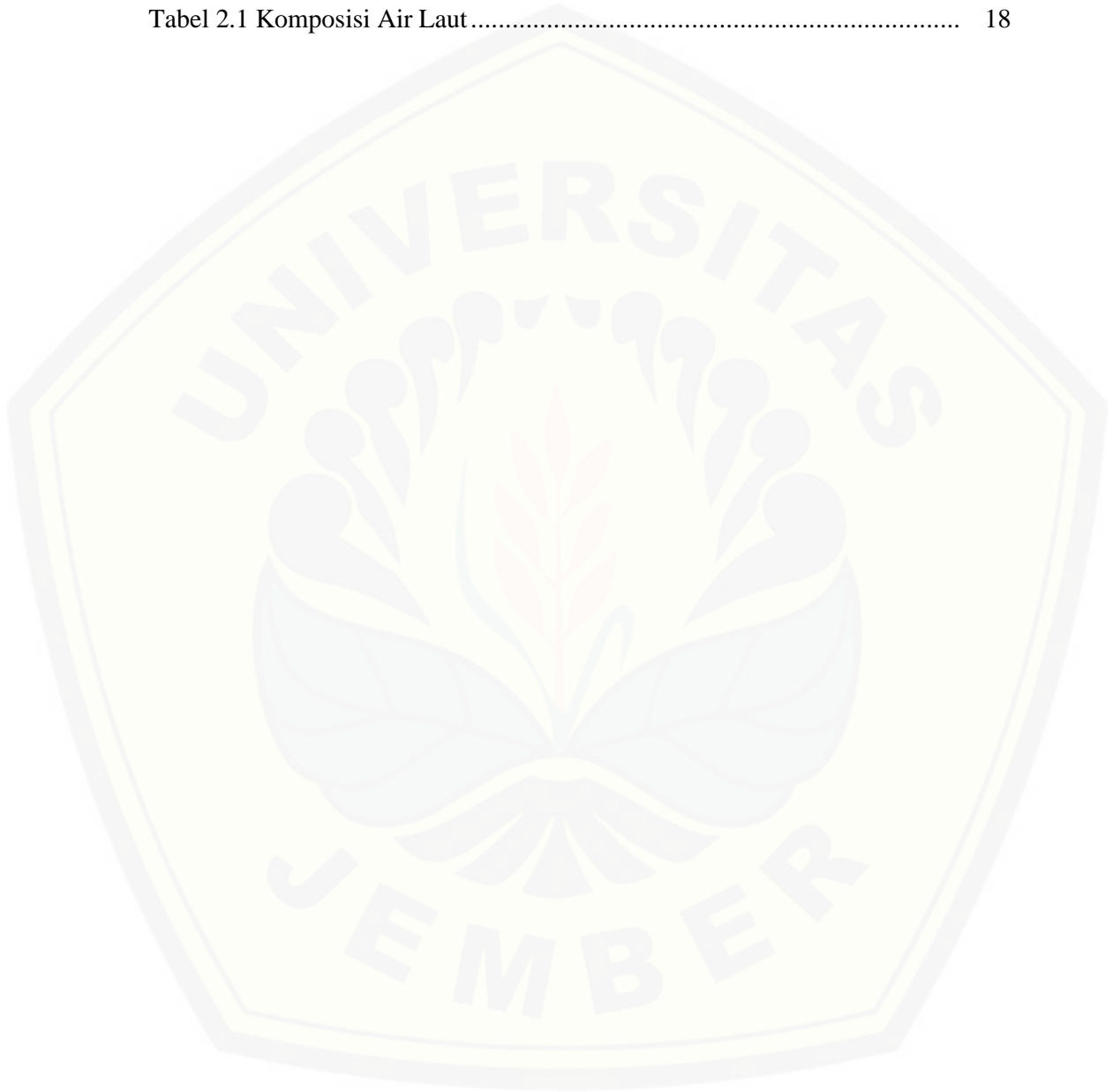
	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xviii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Latar belakang</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Perumusan Masalah</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian</b> .....	<b>3</b>
1.4.1 Tujuan.....	3
1.4.2 Manfaat Hasil Penelitian .....	4
<b>1.5 Hipotesis</b> .....	<b>4</b>
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 Proses Perlakuan Panas</b> .....	<b>5</b>
2.1.1 Diagram Fe-C.....	6
2.1.2 Quenching.....	7
2.1.3 Media Quenching .....	7
2.1.4 Tempering.....	8
<b>2.2 Baja Karbon</b> .....	<b>9</b>

2.2.1 Klasifikasi Baja Karbon.....	9
2.2.2 Baja Karbon A53.....	10
<b>2.3 Teori Dasar Korosi .....</b>	<b>10</b>
2.3.1 Pengertian Korosi.....	10
2.3.2 Mekanisme Terjadinya Korosi.....	11
2.3.3 Macam-macam Korosi .....	12
2.3.4 Laju Korosi .....	16
<b>2.4 Lingkungan Korosif Air Laut .....</b>	<b>17</b>
<b>2.5 Pengaruh Perlakuan Panas Tempering terhadap Korosi Baja pada Penelitian Sebelumnya.....</b>	<b>18</b>
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Metode Penelitian.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....</b>	<b>20</b>
<b>3.3 Alat dan Bahan .....</b>	<b>20</b>
<b>3.4 Prosedur Penelitian.....</b>	<b>21</b>
<b>3.5 Diagram Alir Penelitian.....</b>	<b>23</b>
<b>3.6 Pelaksanaan Penelitian.....</b>	<b>24</b>
3.6.1 Pembuatan Spesimen Uji.....	24
3.6.2 Proses Perlakuan Panas (Heat Treatment).....	24
3.6.3 Pengujian Korosi .....	25
3.6.4 Pengukuran Berat Setelah Uji Korosi .....	26
3.6.5 Pengamatan Struktur Mikro.....	27
<b>3.7 Analisa Data .....</b>	<b>28</b>
3.7.1 Analisis dengan Metode Gravimetri .....	28
3.7.2 Analisis Struktur Mikro .....	29
<b>3.8 Variabel Penelitian.....</b>	<b>30</b>
<b>3.9 Metode Pengujian .....</b>	<b>30</b>
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>31</b>
<b>4.1 Laju Korosi Pipa Baja Karbon A53 dalam Media Air Laut tanpa</b>	

<b>Proses Perlakuan Panas</b> .....	<b>31</b>
<b>4.2 Laju Korosi Pipa Baja Karbon A53 dalam Media Air Laut dengan     Proses Perlakuan Panas Quenching</b> .....	<b>32</b>
<b>4.3 Pengaruh Variasi Temperatur Tempering terhadap Laju Korosi     Baja Karbon A53</b> .....	<b>34</b>
<b>4.4 Pengaruh Variasi Holding time Pada Proses Tempering terhadap     Laju Korosi Baja Karbon A53</b> .....	<b>37</b>
<b>4.5 Analisis Struktur Mikro</b> .....	<b>40</b>
4.5.1 Spesimen Non Heat Treatment .....	40
4.5.2 Spesimen dengan Perlakuan Quenching .....	41
4.5.3 Spesimen Perlakuan Tempering dengan Variasi Temperatur dan Holding time.....	42
 <b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>46</b>
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	<b>46</b>
<b>5.2 Saran</b> .....	<b>46</b>
 <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>48</b>
<b>Lampiran A. Tabel Pengambilan Data</b>	
<b>Lampiran B. Sertifikat pipa baja karbon A53</b>	
<b>Lampiran C. Foto Dokumentasi</b>	

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
Tabel 2.1 Komposisi Air Laut .....	18





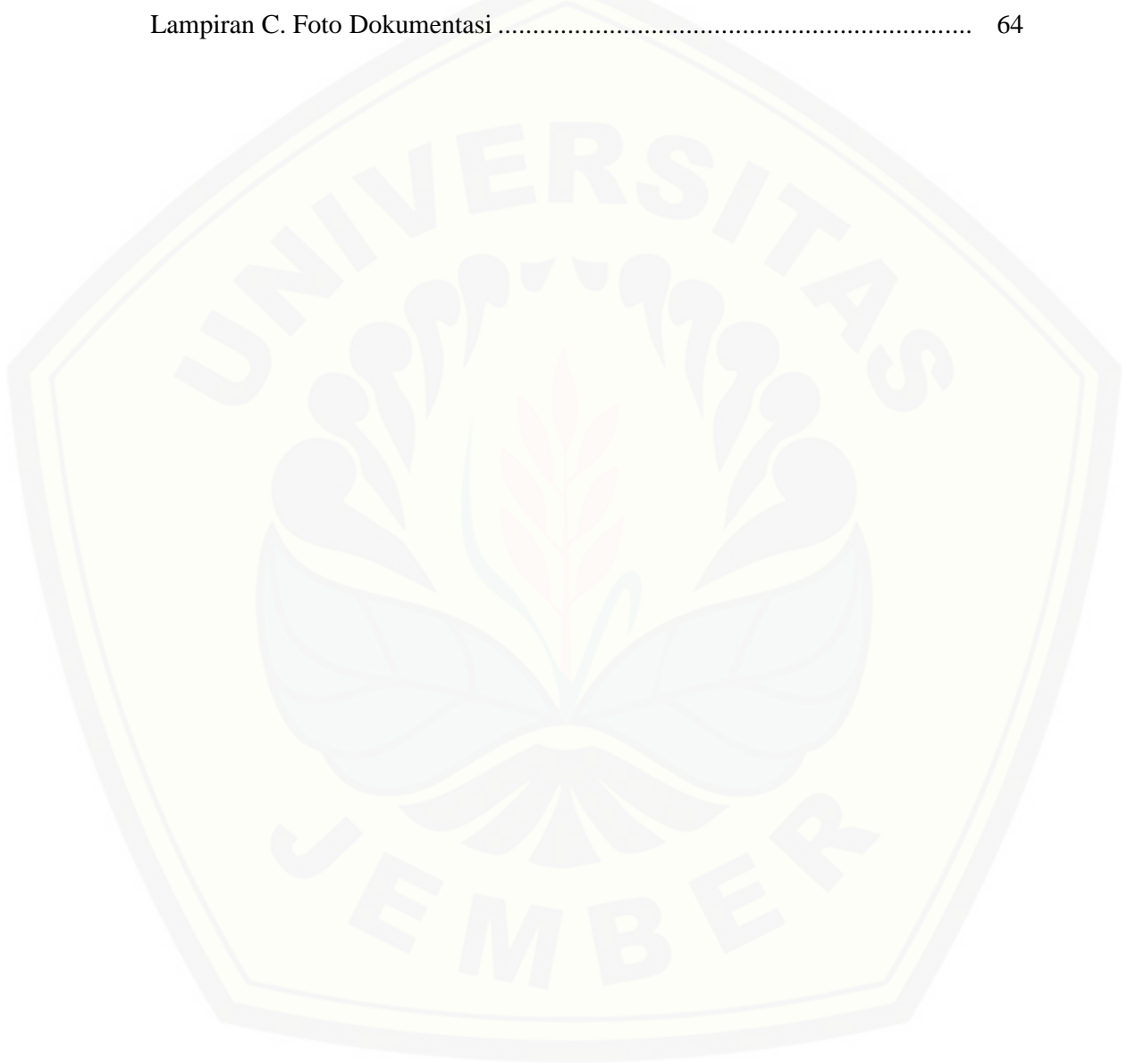
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Diagram Fasa Fe-C.....	6
Gambar 2.2 Diagram Quenching dan Tempering. ....	9
Gambar 2.3 Korosi Galvanis.....	12
Gambar 2.4 Pitting corrosion.....	12
Gambar 2.5 Korosi erosi.....	13
Gambar 2.6 Korosi Retak Tegang.....	13
Gambar 2.7 Korosi celah .....	13
Gambar 2.8 Korosi kavitasi.....	14
Gambar 2.9 Korosi lelah.....	14
Gambar 2.10 Korosi antar kristal .....	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	23
Gambar 3.2 Penampang spesimen uji .....	24
Gambar 3.3 Furnace dengan merk Carbolite di laboratorim uji bahan Teknik Mesin Universitas Gajah Mada.....	25
Gambar 3.4 Proses Penimbangan Spesimen di Laboratorium Biologi Fakultas Farmasi Universitas Jember.....	27
Gambar 3.4 Proses Pengambilan Foto Mikro di Laboratorium Uji Bahan Universitas Brawijaya Malang.....	29
Gambar 4.1 Laju Korosi Baja Karbon A53 Tanpa Perlakuan Panas .....	32
Gambar 4.2 Laju Korosi Baja Karbon A53 dengan Perlakuan Quenching....	33
Gambar 4.3 Laju Korosi Baja Karbon A53 dengan variasi temperatur pada holding time 15 menit.....	34
Gambar 4.4 Laju Korosi Baja Karbon A53 dengan variasi temperatur pada holding time 30 menit.....	35
Gambar 4.5 Laju Korosi Baja Karbon A53 dengan variasi temperatur pada holding time 45 menit.....	36
Gambar 4.6 Laju Korosi Baja Karbon A53 dengan variasi holding time pada temperatur temper 200°C .....	37
Gambar 4.7 Laju Korosi Baja Karbon A53 dengan variasi holding time	

	pada temperatur temper 300°C .....	38
Gambar 4.8	Laju Korosi Baja Karbon A53 dengan variasi holding time pada temperatur temper 400°C .....	39
Gambar 4.9	Spesimen tanpa perlakuan sebelum perendaman, Ferit warna putih (a) dan Perlit Warna Gelap (P).....	40
Gambar 4.10	Spesimen tanpa perlakuan setelah perendaman 30 hari, Ferit warna putih (a) dan Perlit Warna Gelap (P) .....	41
Gambar 4.11	Spesimen dengan Perlakuan Quenching setelah perendaman 30 hari .....	41
Gambar 4.12	Spesimen dengan perlakuan temper pada temperatur 200°C dengan variasi holding time, Ferit warna putih (a) .....	42
Gambar 4.13	Spesimen dengan perlakuan temper pada temperatur 300°C dengan variasi holding time, Ferit warna putih (a) .....	43
Gambar 4.14	Spesimen dengan perlakuan temper pada temperatur 400°C dengan variasi holding time, Ferit warna putih (a) .....	44

**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
Lampiran A. Tabel Pengambilan Data.....	51
Lampiran B. Sertifikat pipa baja karbon A53 .....	63
Lampiran C. Foto Dokumentasi .....	64



## BAB 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Baja karbon merupakan jenis baja paduan yang terdiri atas unsur besi (Fe) dan karbon (C). Besi adalah unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya, serta beberapa macam unsur padu lainnya seperti mangan, fosfor dan sulfur yang masing – masing unsur memiliki pengaruh terhadap sifat mekanik dari baja karbon tersebut. Baja karbon memiliki kandungan unsur karbon mencapai 2,11%, dimana kandungan karbon tersebut berperan sebagai unsur peneras dalam struktur baja (Wicaksono, 2015).

Dalam (Purwanta, 2012), Pipa meterial ASTM A53 digunakan untuk jalur pipa gas dari Hess Indonesia Pangkah Ltd ke PJB Gresik dengan diameter 20” dan ketebalan 11,9mm / Schedule 40 yang melewati bawah laut dan bawah tanah sepanjang 8560 meter. Diharapkan baja karbon memiliki umur pakai yang lama. Namun pada kenyataannya dalam media air laut, baja karbon memiliki kelemahan yaitu ketahanan terhadap korosi yang rendah.

Dari fenomena korosi tersebut, para ilmuwan banyak meneliti bagaimana cara untuk menghambat laju korosi yang terjadi. Ada beberapa metode untuk menghambat laju korosi. Salah satunya adalah dengan mengubah struktur mikro baja karbon menggunakan proses perlakuan panas.

Perlakuan panas atau *heat treatment* adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan specimen pada *electric terance* (tungku) pada temperatur rekristalisasi selama periode tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air garam, oli dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Sifat-sifat logam terutama sifat mekanik yang sangat dipengaruhi oleh struktur mikro logam disamping posisi kimianya, contoh suatu logam atau paduan akan mempunyai sifat mekanis yang berbeda-beda struktur mikronya diubah. Dengan adanya pemanasan atau pendinginan dengan kecepatan tertentu maka bahan-

bahan logam dan paduan memperlihatkan perubahan strukturnya (Abdillah, 2010). Proses perlakuan panas digolongkan menjadi beberapa macam yaitu *annealing*, *normalizing*, *spherodizing*, *surface hardening*, *quenching*, dan *tempering*.

Tujuan dari perlakuan panas pada logam yaitu merubah atau memperbaiki ukuran butiran Kristal, mengurangi atau menghilangkan tegangan dalam logam selama proses pengerjaan panas maupun pengerjaan dingin, memperbaiki sifat-sifat mekanik seperti kekerasan, kekuatan, kekenyalan, ketahanan fatik dan tahanan kejut/impak, dan meningkatkan ketahanan terhadap panas dan korosi (Hastomo, 2007).

Dari beberapa proses perlakuan panas yang disebutkan, dipilih metode perlakuan panas *tempering*. *Tempering* didefinisikan sebagai proses pemanasan baja setelah proses *quenching* sehingga diperoleh *ductility* tertentu. Menurut (Kartikasari, et al, 2008), secara umum proses temper bertujuan untuk mengurangi tegangan sisa pada material. Tegangan sisa yang timbul karena proses pembentukan merupakan salah satu faktor yang menyebabkan ketahanan korosi menurun.

Dalam penelitian ini, peneliti ingin mengetahui hubungan antara struktur mikro dengan laju korosi, sehingga perlu adanya *treatment* untuk mengontrol perubahan struktur mikro pada baja tersebut. Salah satu *treatment* tersebut adalah proses *tempering*. Selain digunakan untuk memperbaiki diharapkan nantinya perlakuan panas *tempering* menjadi salah satu metode alternatif untuk meningkatkan ketahanan korosi suatu material dengan memperbaiki bentuk, ukuran, jenis pada struktur mikronya.

## 1.2 Perumusan Masalah

Untuk mengetahui pengaruh variasi perlakuan *tempering* baja karbon A53 terhadap korosi pada air laut, maka perlu diadakan penelitian mengenai pengaruh proses perlakuan *tempering* pada baja karbon A53 terhadap perilaku korosi dalam media air laut. Maka dari fenomena yang sering terjadi dilapangan pada penelitian ini dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

- a. Bagaimana pengaruh variasi temperatur pada *tempering* terhadap laju korosi pada baja karbon A53?
- b. Bagaimana pengaruh variasi *holding time* pada *tempering* terhadap laju korosi pada baja karbon A53?
- c. Bagaimana pengaruh proses perlakuan panas *tempering* terhadap kondisi struktur mikro pada baja karbon A53?

### 1.3 Batasan Masalah

Masalah-masalah yang dibahas dalam penyusunan penelitian ini agar tidak melebar, maka perlu diberikan batasan-batasan agar pembahasan nantinya lebih terfokus pada masalah. Adapun batasannya adalah sebagai berikut:

1. Material uji yang digunakan adalah baja karbon rendah A53.
2. Temperatur *quenching* yang digunakan yaitu 900°C, kemudian didinginkan dengan oli dan dilakukan proses *tempering* dengan variasi temperatur 200°C, 300°C, 400°C dan variasi *holding time* 15, 30 dan 45 menit dan didinginkan menggunakan media pendingin udara.
3. Proses perlakuan panas yang digunakan adalah *tempering* dan *quenching*.

### 1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

#### 1.4.1 Tujuan

Adapun tujuan dan penelitian ini adalah:

- a. Mempelajari pengaruh variasi temperatur pada *tempering* terhadap laju korosi pada baja karbon A53?
- b. Mempelajari pengaruh variasi *holding time* pada *tempering* terhadap laju korosi pada baja karbon A53?
- c. Mempelajari pengaruh proses perlakuan panas *tempering* terhadap kondisi struktur mikro pada baja karbon A53?

## 1.4.2 Manfaat Hasil Penelitian

Sehubungan dengan permasalahan yang telah disebutkan diatas maka dalam penelitian ini diharapkan:

- a. Mengetahui pengaruh variasi temperatur pada *tempering* terhadap laju korosi pada baja karbon A53?
- b. Mengetahui pengaruh variasi *holding time* pada *tempering* terhadap laju korosi pada baja karbon A53?
- c. Mengetahui pengaruh proses *tempering* terhadap kondisi struktur mikro pada baja karbon A53?

## 1.5 Hipotesis

Semakin tinggi temperatur *tempering*, laju korosi juga semakin tinggi karena perlit berkurang dan ferit dominan. Sedangkan pengaruh *holding time* yaitu semakin lama *holding time* ukuran butir menjadi lebih besar, sehingga batas butir menjadi kecil dan menurunkan laju korosinya.

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Proses Perlakuan Panas

Perlakuan panas adalah suatu perlakuan untuk mengubah struktur logam dengan cara memanaskan spesimen pada *electric furnace* (tungku) pada temperatur rekristalisasi dengan *holding time* tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti oli, udara, solar, air garam, dan lain-lain yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Sifat-sifat logam terutama sifat mekanik yang sangat dipengaruhi oleh struktur mikro logam disamping posisi kimianya, contoh suatu logam atau paduan akan mempunyai sifat mekanis yang berbeda-beda struktur mikronya diubah. Dengan adanya pemanasan atau pendinginan dengan kecepatan tertentu maka unsur-unsur logam dan paduan memperlihatkan perubahan strukturnya (Abdillah, 2010).

Dalam pengerjaannya perlakuan panas ini terdiri dari tiga proses yaitu :

1. Memanaskan logam sampai temperatur tertentu.

Memanaskan spesimen pada temperatur tertentu sampai terjadi perubahan struktur pada atom atomnya.

2. *Holding time*.

Yaitu lamanya waktu yang diperlukan agar didapat distribusi temperatur yang seragam pada benda kerja. Waktu penahanan ini merupakan fungsi dari dimensi dan daya hantar panas benda kerja. Lamanya waktu penahanan akan menimbulkan pertumbuhan butir yang dapat menurunkan kekuatan material.

3. Dan dilanjutkan dengan mendinginkan logam tersebut dengan laju pendinginan tertentu dan media pendingin tertentu dengan tujuan mendapatkan struktur dan sifat yang diinginkan (Nugraha, 2012).

#### 2.1.1 Diagram Fe-C

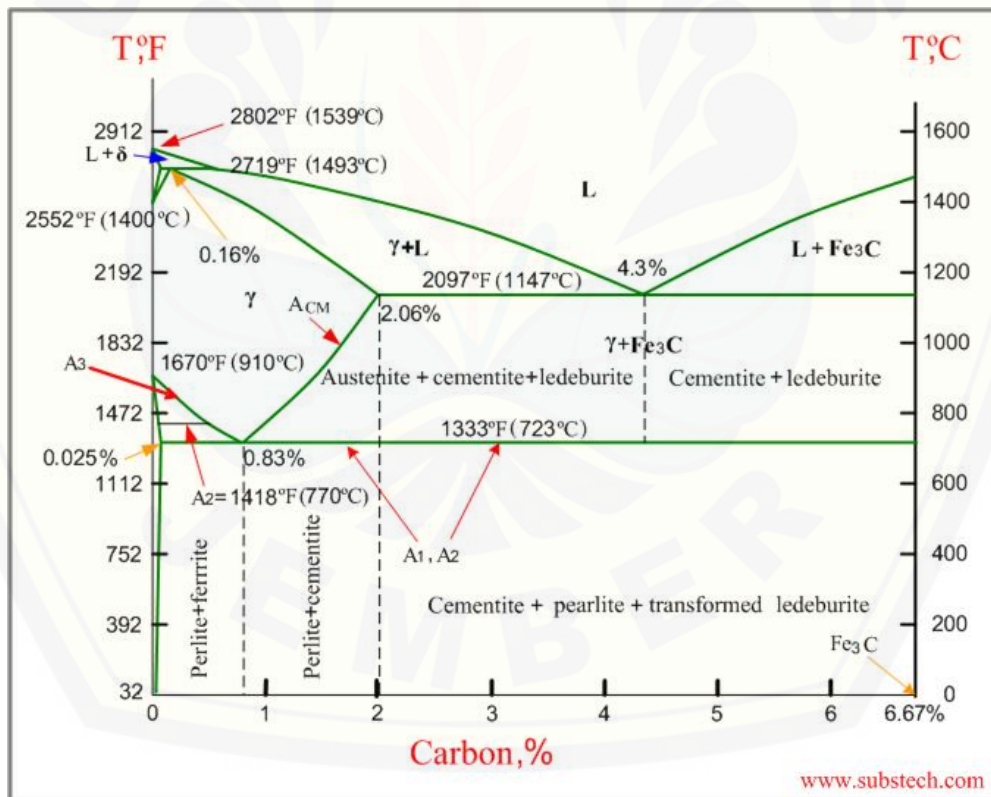
Diagram kesetimbangan besi karbon seperti pada gambar 2.1 adalah diagram yang menampilkan hubungan antara temperatur dimana terjadi perubahan fasa selama proses pendinginan dan pemanasan yang lambat dengan kadar karbon.



Dimana fungsi diagram fasa adalah memudahkan memilih temperatur pemanasan yang sesuai untuk setiap proses perlakuan panas baik proses *anil*, *normalizing* maupun proses pengerasan (Murtiono, 2012).

Menurut Yogantoro (2010) Selain unsur karbon pada besi dan baja terkandung kurang lebih 0,25 % Si, 0,3 1,5 % Mn serta unsur pengotor lain seperti P, S, dan lainnya. Karena unsur-unsur tadi tidak memberikan pengaruh utama pada diagram fasa, maka diagram fasa tetap dapat digunakan dengan menghiraukan adanya unsur-unsur tersebut. Melalui diagram keseimbangan Fe-Fe<sub>3</sub>C secara garis besar baja dapat juga dikelompokkan sebagai berikut :

- (1) Baja *hypoeutectoid* (C = 0,008 % - 0,80 %)
- (2) Baja *eutectoid* (C = 0,8 %)
- (3) Baja *hypereutectoid* (C = 0,8 % - 2 % )



Gambar 2.1 Diagram Fasa Fe-C  
(Kopeliovich, 2012)

## 2.1.2 Quenching

*Quenching* yaitu memanaskan baja sampai suhu austenit, kemudian dilakukan pendinginan secara cepat dengan cara dicelup ke dalam cairan pendingin, yang dapat berupa air, air garam, minyak, atau oli. Pencelupan ini bertujuan menambah kekerasan baja, yang biasanya dilakukan untuk memperoleh sifat tahan aus yang tinggi atau kekuatan yang lebih baik. Dengan pendinginan cepat ini maka terbentuk martensit yang keras (Yogantoro, 2010).

Proses *quenching* melibatkan beberapa faktor yang saling berkaitan. Pertama yaitu jenis media pendingin dan kondisi proses yang digunakan, kemudian komposisi kimia dan kekerasan dari logam. Kekerasan merupakan fungsi dari komposisi kimia dan ukuran butir pada temperatur tertentu. Selain itu, dimensi logam juga berpengaruh terhadap hasil proses *quenching* (Nugroho dan Haryadi, 2005).

Temperatur pemanasan, lama waktu tahan dan laju pendinginan untuk pengerasan banyak tergantung pada komposisi kimia dari baja. Kekerasan yang terjadi pada benda akan tergantung pada temperatur pemanasan, waktu tahan, jenis cairan dan laju pendinginan yang dilakukan pada proses laku panas, disamping juga pada hardenability baja yang dikeraskan. Semakin tinggi kadar karbon, semakin tinggi hardenability yang dipunyai baja.

## 2.1.3 Media Quenching

Menurut Nugraha (2012), Jenis-jenis media quenching yaitu :

1. Air
  - Sangat umum digunakan sebagai quenching, dan juga mudah diperoleh sehingga tidak ada kesulitan dalam pengambilan dan penyimpanan.
  - Panas jenis dan konduktivitas termal tinggi, sehingga kemampuan mendinginkannya tinggi.
  - Dapat mengakibatkan distorsi.
  - Digunakan untuk benda-benda kerja yang simetris dan sederhana.
2. Oli
  - Banyak digunakan.
  - Laju pendinginan lebih lambat dibandingkan air.

- Konduktivitas termal, panas laten penguapan rendah.
  - Viskositas tinggi, laju pendinginan menjadi rendah (pendinginan lambat).
  - Viskositas yang rendah menyebabkan laju pendinginan tinggi dan menjadi mudah terbakar.
3. Udara
- Distorsi bisa diabaikan.
  - Pendinginan dilakukan dengan menyemprotkan udara bertekanan ke benda kerja.
4. *Salt bath*
- Campuran *nitrit* dan *nitrat* ( $\text{NaNO}_3$  dan  $\text{NaNO}_2$ ).
  - Digunakan untuk meng-*quenching* benda kerja pada temperatur yang relative rendah.
5. Polimer
- Larutan polimer yang digunakan : poliakalin glikol atau polivinil alkohol.
  - Penambahan 12-15 % polimer laju quenchnya lebih baik dibandingkan oli.

#### 2.1.4 *Tempering*

Menurut (Kurniawan, 2007) baja yang telah dikeraskan bersifat getas dan tidak cocok untuk diaplikasikan. Melalui temper, kekerasan dan kegetasan dapat diturunkan sedangkan keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Tujuan utama temper adalah untuk menekan terjadinya retak atau timbulnya tegangan dalam akibat pencelupan (pendinginan) yang mendadak pada media pendingin. Proses temper terdiri dari pemanasan kembali dari baja yang telah dikeraskan pada suhu dibawah suhu kritis disusul dengan pendinginan. Temper dimungkinkan dikarenakan struktur *martensite* yang tidak stabil.

Temperatur pemanasan pada proses *tempering* memiliki beberapa tingkatan:

1. *Tempering* suhu rendah

*Tempering* ini mempunyai suhu pemanasan 150-300°C. Proses ini tidak akan menghasilkan penurunan kekerasan yang berarti. *Tempering* suhu rendah hanya untuk mengurangi tegangan-tegangan kerut dan kerapuhan dari baja.

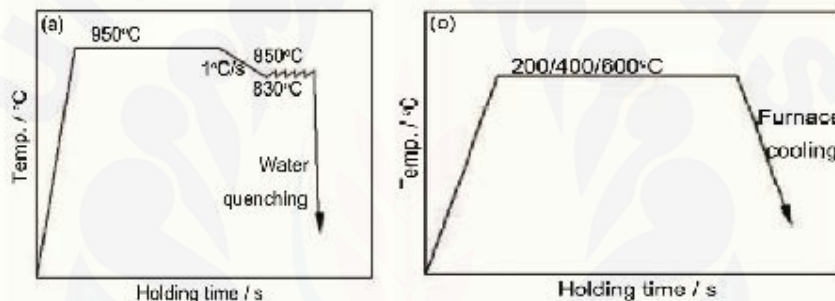
2. *Tempering* suhu menengah

*Tempering* ini mempunyai suhu pemanasan 300-550°C. *Tempering* pada suhu sedang bertujuan untuk menambah keuletan dan sedikit menurunkan kekerasannya. Peningkatan suhu temper akan mempercepat penguraian *martensite* kira-kira pada suhu 315°C perubahan fase menjadi *martensite* berlangsung dengan cepat.

### 3. *Tempering* suhu tinggi

*Tempering* ini mempunyai suhu pemanasan 550-650°C. *Tempering* suhu tinggi bertujuan memberikan keuletan yang besar dan sekaligus kekerasannya menjadi agak rendah.

Diagram *quenching-tempering* dapat dilihat pada gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 Diagram *Quenching* dan *Tempering*

(Hao, et al, 2010)

## 2.2 Baja Karbon

### 2.2.1 Klasifikasi Baja Karbon

Menurut Surdia dan Chijiwa (dalam Yogantoro, 2010) Baja karbon adalah paduan antara besi (Fe) dengan karbon C dengan sedikit campuran Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat baja karbon tergantung pada kadar karbonnya, baja karbon dibagi menjadi 3 jenis yaitu :

#### 1. Baja karbon rendah (*low carbon steel*)

Memiliki kadar karbon kurang dari 0,20%, biasanya dipakai untuk : automobile bodies, pipa, rantai, roda gigi, kerangka bangunan.

#### 2. Baja karbon menengah (*medium carbon steel*)

Memiliki kadar karbon antara 0,20 % - 0,50 %, biasa dipakai untuk : poros as, rel, obeng, palu.

### 3. Baja karbon tinggi (*high carbon steel*)

Memiliki kadar karbon antara 0,50 % - 2 %, biasa dipakai untuk : obeng, ragam, gergaji baja, palu, sekrup.

#### 2.2.2 Baja Karbon A53

Menurut Purnomo (2015), Baja ASTM A53 adalah jenis baja karbon rendah yang sesuai standar *American Standar Testing Material* adalah untuk pembuatan pipa, *steel black and hot-dipped, Zinc-Coated, Welded Seamless*. Baja ASTM A53 merupakan baja karbon dengan kadar C = 0,25%. Berdasarkan ASTM A53, pipa baja digunakan di daerah *steam, air dan air lines*.

Adapun spesifikasi tipe dan grade ASTM A53 sebagai berikut :

- a. Type F – *Furnace-butt welded, continous welded, Grade A*
- b. Type E – *Electric-resistance welded, Grade A and B*
- c. Type S – *Seamless, Grade A and B*

Sebagai material pipa yang diaplikasikan dalam lingkungan air laut maka material ini juga akan mengalami kombinasi tegangan pada dinding pipa yang disebabkan oleh tekanan fluida dari dalam maupun dari luar yaitu oleh air laut. Kombinasi ini sangat mempengaruhi usia pakai dari material baja ASTM A53 tersebut.

## 2.3 Teori Dasar Korosi

### 2.3.1 Pengertian Korosi

Korosi didefinisikan sebagai degradasi dari material yang disebabkan oleh reaksi kimia antara material tersebut dengan material lainnya atau lingkungan. Suatu material yang mengalami korosi akan mengalami perubahan sifat ke arah yang lebih rendah sehingga kekuatan dari material tersebut akan berkurang. Dalam bidang metalurgi, peristiwa korosi dapat dipandang sebagai suatu peristiwa atau reaksi senyawa kembali ke bentuk asalnya atau bisa disebut sebagai kebalikan dari proses metalurgi ekstraksi (Iandiano, 2011).

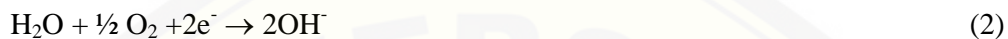
### 2.3.2 Mekanisme Terjadinya Korosi

Menurut Trethewey (dalam Sumarji, 2012) mekanisme reaksi korosi pada besi dalam baja adalah sebagai berikut:

Pada anoda terjadi pelarutan besi (Fe) menjadi ion  $\text{Fe}^{2+}$  :



sedangkan pada katoda terjadi reaksi :



untuk lingkungan (larutan) netral maka reaksi yang terjadi sebagai berikut :



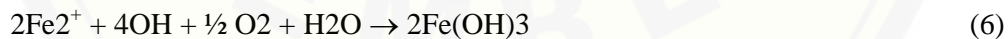
dan untuk lingkungan (larutan) asam maka reaksi yang terjadi sebagai berikut :



Reaksi di atas terjadi secara bertahap dan sebenarnya terjadi juga berbagai reaksi lanjutan dalam larutan. Pada peristiwa korosi, ion ferro yang terbentuk di anoda akan teroksidasi membentuk ferrokksida (gamma iron oxide) berbentuk lapisan sangat tipis menempel pada permukaan logam dan mencegah terlarutnya besi lebih lanjut :



Demikian juga pada katoda oksigen harus mencapai permukaan logam agar reaksi (1) dan (2) terjadi. Ion hidroksil yang terbentuk juga dapat terserap pada permukaan membentuk lapisan yang menghalangi penyerapan oksigen. Pada keadaan ini terjadi polarisasi katoda dan proses korosi berjalan lambat. Pada peristiwa korosi yang cepat, lapisan penghambat (pelindung) tersebut tidak sempat terbentuk, ion Fe bereaksi dengan ion hidroksil :



Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa proses korosi dilingkungan basah dapat terjadi apabila empat syarat terpenuhi yaitu ;

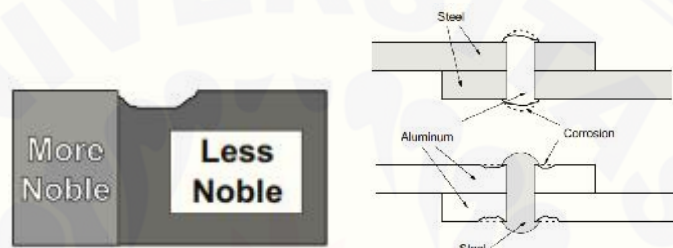
1. Ada anoda tempat reaksi anodik terjadi.
2. Ada katoda tempat reaksi katodik terjadi.
3. Ada media untuk transfer elektron / arus.
4. Ada lingkungan yang bersifat elektrolit.

### 2.3.3 Macam-macam Korosi

Dalam Utomo (2009) mengungkapkan bahwa beberapa jenis korosi yang biasa terjadi pada logam sebagai berikut.

#### 1. Korosi Galvanis

Korosi galvanis merupakan fenomena korosi yang dapat terjadi karena adanya dua logam yang berbeda dalam satu cairan elektrolit sehingga logam anodik akan terserang korosi. Fenomena korosi galvanis dilihat pada gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.3 Korosi Galvanis

(Sumber : Roberge, 1999)

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

Korosi sumur merupakan korosi yang diakibatkan karena komposisi logam yang tidak merata atau homogen sehingga daerah batas timbul korosi yang berbentuk sumur yang cenderung menggerus kedalam. Korosi sumuran dapat dilihat pada gambar 2.5 dibawah ini.



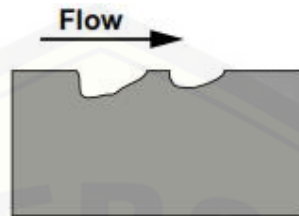
Gambar 2.4 pitting corrosion

(Sumber : Roberge, 1999)

#### 3. Korosi Erosi (*Errosion Corrosion*)

Korosi erosi adalah korosi yang terjadi karena keausan yang dapat menimbulkan bagian-bagian suatu logam menjadi tajam dan kasar, bagian-bagian inilah yang mudah terjadi korosi dan juga diakibatkan karena fluida

yang sangat deras dan dapat mengikis lapisan pelindung pada logam. Korosi erosi seringkali dapat kita jumpai pada pipa dan propeller. Korosi erosi dapat dilihat pada gambar 2.6 dibawah.



Gambar 2.5 korosi erosi  
(Sumber : Roberge, 1999)

4. Korosi Regangan (*Stress Corrosion*)

Korosi Regangan dapat timbul karena butiran logam yang berubah bentuk yang diakibatkan logam mengalami perlakuan khusus (seperti diregang, ditebuk dan lain-lain) sehingga butiran-butiran menjadi tegang dan butiran ini sangat mudah bereaksi dengan lingkungan yang korosif. Fenomena korosi regangan dapat kita dilihat pada gambar 2.7 dibawah.

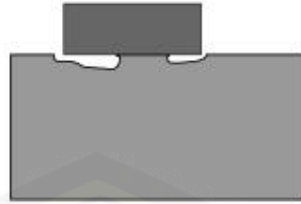


Gambar 2.6 Korosi Retak Tegang  
(Sumber : Roberge, 1999)

5. Korosi Celah (*Crevice Corrosion*)

Korosi celah dapat terjadi pada logam yang berdempetan dengan logam lain diantara logam tersebut terdapat celah yang dapat menyimpan kotoran dan air sehingga konsentrasi  $O_2$  pada mulut kaya dibanding pada bagian dalam, sehingga bagian dalam lebih anodik dan bagian mulut jadi katodik. Untuk lebih jelasnya, korosi celah dapat dilihat pada gambar 2.8 dibawah ini.

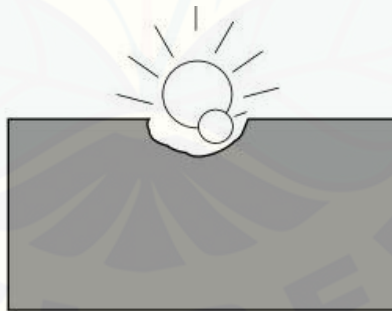




Gambar 2.7 korosi celah  
(Sumber : Roberge, 1999)

6. Korosi Kavitasi (*Cavitation Corrosion*)

Korosi Kavitasi dapat terjadi dikarenakan tingginya kecepatan cairan menciptakan daerah-daerah bertekanan tinggi dan rendah secara berulang-ulang pada permukaan peralatan dimana cairan tersebut mengalir. Maka terjadilah gelembung-gelembung uap air pada permukaan tersebut, yang apabila pecah kembali menjadi cairan akan menimbulkan pukulan pada permukaan yang cukup besar untuk memecahkan lapisan oksida pelindung permukaan. Akibatnya bagian permukaan yang tidak terlindungi mudah terserang korosi. Karena bagian tersebut menjadi anodik terhadap bagian yang terlindungi. Fenomena korosi kavitasi dapat dilihat pada gambar 2.9 dibawah.



Gambar 2.8 korosi kavitasi  
(Sumber : Roberge, 1999)

7. Korosi Lelah (*Fatigue Corrosion*)

Korosi ini terjadi karena logam mendapatkan beban siklus yang terus berulang sehingga semakin lama logam akan mengalami patah karena terjadi kelelahan logam. Korosi ini biasanya terjadi pada turbin uap, pengeboran

minyak dan propeller kapal .Korosi lelah dapat dilihat pada gambar 2.10 dibawah ini.



Gambar 2.9 korosi lelah

(Sumber : Roberge, 1999)

#### 8. Korosi Antar Kristal

Terjadinya korosi hanya pada batas kristal. akibat dari serangan elektrolit. Karena tegangan pada kristal adalah paling tinggi. Dan terjadinya karbida pada batas butir yang dapat mengakibatkan korosi ini. Untuk lebih jelasnya, korosi antar Kristal dapat dilihat pada gambar 2.11 dibawah ini.



Gambar 2.10 korosi antar kristal

(Sumber : Roberge, 1999)

#### 9. Penggetasan Hidrogen

##### a. *Hydrogen Embrittlement*

Penggetasan hidrogen adalah proses kehilangan duktilasi pada baja dikarenakan hidrogen menyerap ke dalam struktur material baja. Kekuatan tarik tidak terpengaruh secara nyata. Duktilasi ini dapat diperbaiki dengan proses *heat treatment*. Kerusakan hidrogen menggambarkan pelemahan baja secara permanen karena berkembangnya retak-retak mikro (*microfissures*). Retak akibat kerusakan hidrogen biasanya terjadi pada sekitar batas butir, karenanya berbeda dengan retak dingin akibat kemasukan hidrogen yang biasanya bersifat transgranular. Didalam struktur baja, atom hidrogen bergabung menjadi molekul ( $H_2$ ) dan menyebabkan terjadinya regangan lokal yang

hebat. Jika baja mempunyai duktilitas yang cukup maka kemungkinan dapat bertahan terhadap regangan lokal tersebut. Namun apabila baja getas dan keras, maka akan terjadi retak-retak halus yang akan membesar dan mengakibatkan kegagalan material.

*b. Hydrogen Damage*

Kerusakan hidrogen di dalam material baja terjadi akibat atom-atom hidrogen ini bergabung menjadi molekul ( $H_2$ ) dan menyebabkan terjadinya regangan lokal. Jika kemudian gas  $H_2$  terperangkap di dalam cacat material seperti inklusi dan laminasi, maka gas hidrogen lama-kelamaan berkumpul dan menaikkan tekanan di lokasi tersebut. Karena besarnya tekanan menyebabkan gelembung atau blister. Hal ini tidak terjadi pada suhu yang tidak terlalu tinggi dan pada daerah yang dekat dengan permukaan.

### **2.3.4 Laju Korosi**

Logam dikatakan mengalami korosi ketika terserang secara kimiawi, serangan ini akan terjadi secara spesifik. Laju penyerangan atau laju korosi adalah kecepatan penembusan logam atau kehilangan berat persatuan luas tergantung pada teknik pengukuran yang digunakan dan dinyatakan dalam satuan mmpy (*millimeter per year*) (Munasir, 2009).

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 (Anonim 4, 1995).

$$\text{Laju korosi} = \frac{2400000 \times w}{A \times T \times D} \text{ (mdd)}$$

Dimana:

mdd = laju korosi, ( $mg / dm^2 \text{ day}$ )

w = berat yang hilang, (g)

A = luas, ( $cm^2$ )

T = waktu, (jam)

D = *density*, ( $g/cm^3$ )

Keterangan: 2400000 merupakan nilai besaran konstanta (ASTM G31-72, 1994)

#### 2.4 Lingkungan Korosif Air Laut

Air laut memiliki sifat yang sangat korosif. Menurut Anam (dalam Munasir, 2009) lingkungan air laut sangat korosif jika dibandingkan dengan lingkungan darat. Adapun faktor – faktor yang berpengaruh terhadap korosi pada air laut yaitu :

1. Salinitas ( kadar garam ), yaitu banyaknya (gram) zat-zat terlarut dalam 1 kg air laut dimana dianggap semua karbonat telah diubah menjadi oksida dan unsur bromida dan iodium diganti klorida dan semua bahan organik telah dioksidasi secara sempurna.
2. Efek pH (Derajat Keasaman), derajat keasaman atau pH adalah banyaknya ion  $H^+$  atau ion  $OH^-$  yang dikandung oleh senyawa yang menunjukkan sifat asam dan basa dari senyawa tersebut, semakin kecil harga pH dari suatu larutan maka larutan tersebut akan bersifat asam dan sebaliknya pH juga dipengaruhi oleh kedalaman, temperatur, kandungan oksigen dan tekanan.
3. Temperatur, temperatur berpengaruh sekali terhadap korosi. Peningkatan temperatur diikuti oleh peningkatan laju korosi biasanya laju korosi meningkat hampir 2 kali setiap temperatur naik  $100^\circ C$ , tingginya temperatur juga berpengaruh terhadap konsentrasi  $O_2$  yang mempunyai efek terhadap laju

korosi. Temperatur air laut dipermukaan ditentukan oleh adanya pemanasan di daerah tropis dan pendinginan di daerah lintang tinggi.

- Kecepatan, kecepatan dari gerakan air laut sangat berpengaruh terhadap laju korosi dari logam hal ini sebagai akibat dari pengaruh pertambahan reaksi oksigen dipermukaan logam dan mengakibatkan hilangnya selaput penghalang sehingga terjadi pengikisan sel. Tingginya kecepatan akan mengakibatkan efek mekanik dan mempunyai peranan penting dalam kavitasi. Kecepatan dari gerakan air sangat berpengaruh terhadap laju korosi semakin cepat kecepatan semakin cepat laju korosi pada logam. Tabel komposisi air laut dengan salinitas 35% dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Komposisi Air Laut (Salinitas = 35)

Komposisi	Persen
<i>Oxygen</i>	85.84
<i>Hydrogen</i>	10.82
<i>Chloride</i>	1.94
<i>Sodium</i>	1.08
<i>Magnesium</i>	0.1292
<i>Vanadium</i>	$1.5 \times 10^{-11} - 3.3 \times 10^{-11}$
<i>Sulfur</i>	0.091
<i>Calcium</i>	0.04
<i>Potassium</i>	0.04
<i>Bromine</i>	0.0067
<i>Carbon</i>	0.0028

Sumber : (Anonim, 2016)

## 2.5 Pengaruh Perlakuan Panas *Tempering* terhadap Korosi Baja pada Penelitian Sebelumnya

Menurut (Kartikasari, et al, 2008) dalam jurnalnya yang berjudul “*Modifikasi Sifat Mekanik dan Ketahanan Korosi Paduan Fe-1,52Al-1,44C dengan Proses Tempering*” disimpulkan Proses temper terbukti dapat meningkatkan ketahanan korosi hingga mencapai laju korosi paling rendah pada temper 300°C yaitu

sebesar 0,196 mm/th dan berdasarkan tabel Fontana ketahanan korosi paduan Fe-1,52Al-1,44C termasuk katagori baik.

Menurut (Zamri dan Rahmat, 2006) dalam jurnalnya yang berjudul “*Pengaruh Temperatur Pemanasan Pada Proses Tempering Terhadap Laju Korosi Besi Tuang Kelabu*” dapat ditarik kesimpulan, variasi temperatur pemanasan *tempering* memberikan pengaruh pada laju korosi besi tuang kelabu. Variasi temperatur pemanasan *tempering* memberikan pengaruh yang nyata terhadap laju korosi besi tuang kelabu sebesar 96,89% untuk *holding time* selama 60 menit. Terdapat perbedaan yang nyata antara *holding time* 30 menit dan 60 menit dimana waktu *holding time* 30 menit lebih besar pengaruhnya dalam meningkatkan laju korosi besi tuang kelabu dibanding *holding time* 60 menit. Sedangkan variasi temperatur *tempering* menghasilkan laju korosi terendah pada temperatur 400°C dan laju korosi yang tertinggi adalah spesimen yang mengalami proses *hardening* saja tanpa proses *tempering*.

Menurut (Kartikasari, et al, 2013) dalam penelitiannya yang berjudul “*Struktur Mikro, Kekuatan Tarik Dan Ketahanan Korosi Paduan Fe-2,2Al-0,6C Setelah Proses Temper*” dapat ditarik kesimpulan laju korosi paduan Fe-2,2Al-0,6C sebesar 0,0118 mm/th. Proses *hardening* dan *temper* meningkatkan laju korosi hingga mencapai maksimal pada temperatur *temper* 550°C dengan laju korosi sebesar 0,0183 mm/th. Berdasarkan tabel MPY paduan Fe-2,2Al-0,6C mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik.

## BAB 3. METODE 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 memberikan perlakuan panas pada spesimen uji yaitu baja karbon A53 dengan temperatur 900°C, kemudian di *quenching* dengan oli dan dilakukan proses *tempering* dengan variasi temperatur 200°C, 300°C, 400°C dan variasi *holding time* 15, 30, 45 menit kemudian didinginkan menggunakan media pada udara terbuka. Selanjutnya spesimen direndam dalam larutan korosif berupa air laut selama 30 hari untuk pengujian korosi.

### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Uji Bahan dan Desain Teknik Mesin Universitas Jember dan laboratorium jurusan Teknik Mesin Universitas Gajah Mada sedangkan waktu pelaksanaan penelitian yaitu bulan Agustus sampai bulan Februari 2017.

### 3.3 Alat dan Bahan

- a. Alat
  - Dapur pemanas (*furnace*)
  - Gelas plastik tempat larutan uji korosi
  - Jangka sorong
  - Kikir dan gergaji besi
  - Tang penjepit
  - Mesin Grinding

- Timbangan dengan ketelitian 0,0001 g, *excellent Scale*
- Gelas ukur 100 ml
- Mikroskop Metalurgi Olympus
- Sikat kecil
- Kamera digital

b. Bahan

- Spesimen uji baja karbon A53
- Air laut Pantai Payangan Jember
- Resin
- Kertas ampalas grade 80, 100, 220, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500
- Kain Bludru
- Oli sebagai media pendingin
- Etsa (HNO<sub>3</sub> dan Etanol 96%)
- Oli SAE 30 sebagai media *quenching*

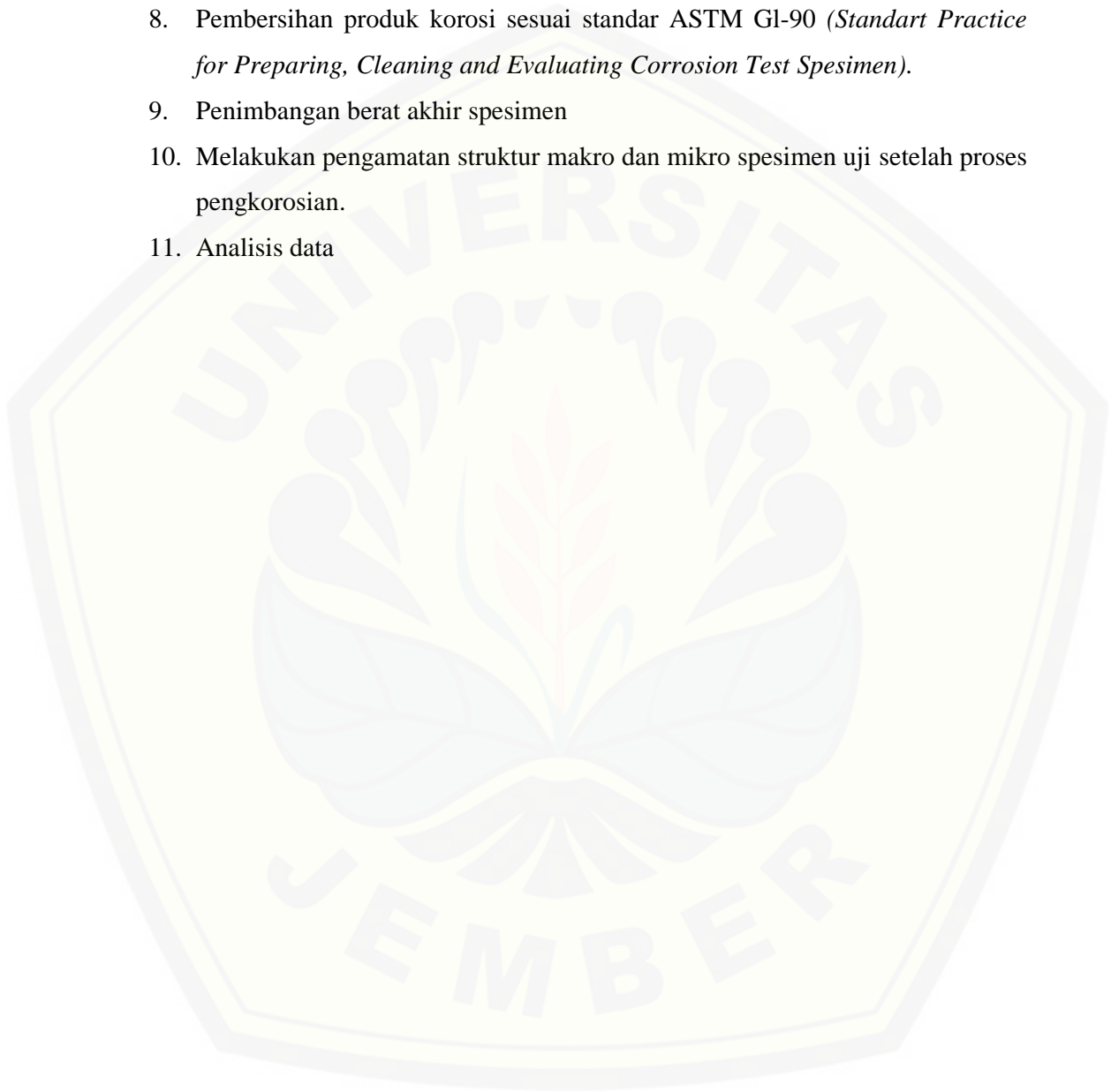
### 3.4 Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian sebagai berikut,

1. Menyiapkan alat dan bahan.
2. Spesimen dipotong dengan ukuran panjang 20 mm, lebar 15 mm, dan tebal 3 mm. Sedangkan untuk jumlah spesimen adalah 150 buah dengan perincian yang akan dijelaskan pada sub bab pembuatan spesimen uji.
3. Dilakukan proses perlakuan panas pada temperatur 900°C, kemudian dilakukan pendinginan *quenching* dengan media oli.
4. Dilakukan proses *tempering* dengan variasi temperatur 200°C , 300°C, 400°C dan variasi *holding time* 15, 30, 45 menit kemudian didinginkan pada udara terbuka.
5. Setelah dilakukan proses heat treatment, spesimen dicuci/ dibersihkan dari kotoran maupun korosi
6. Dilakukan penimbangan berat awal spesimen.

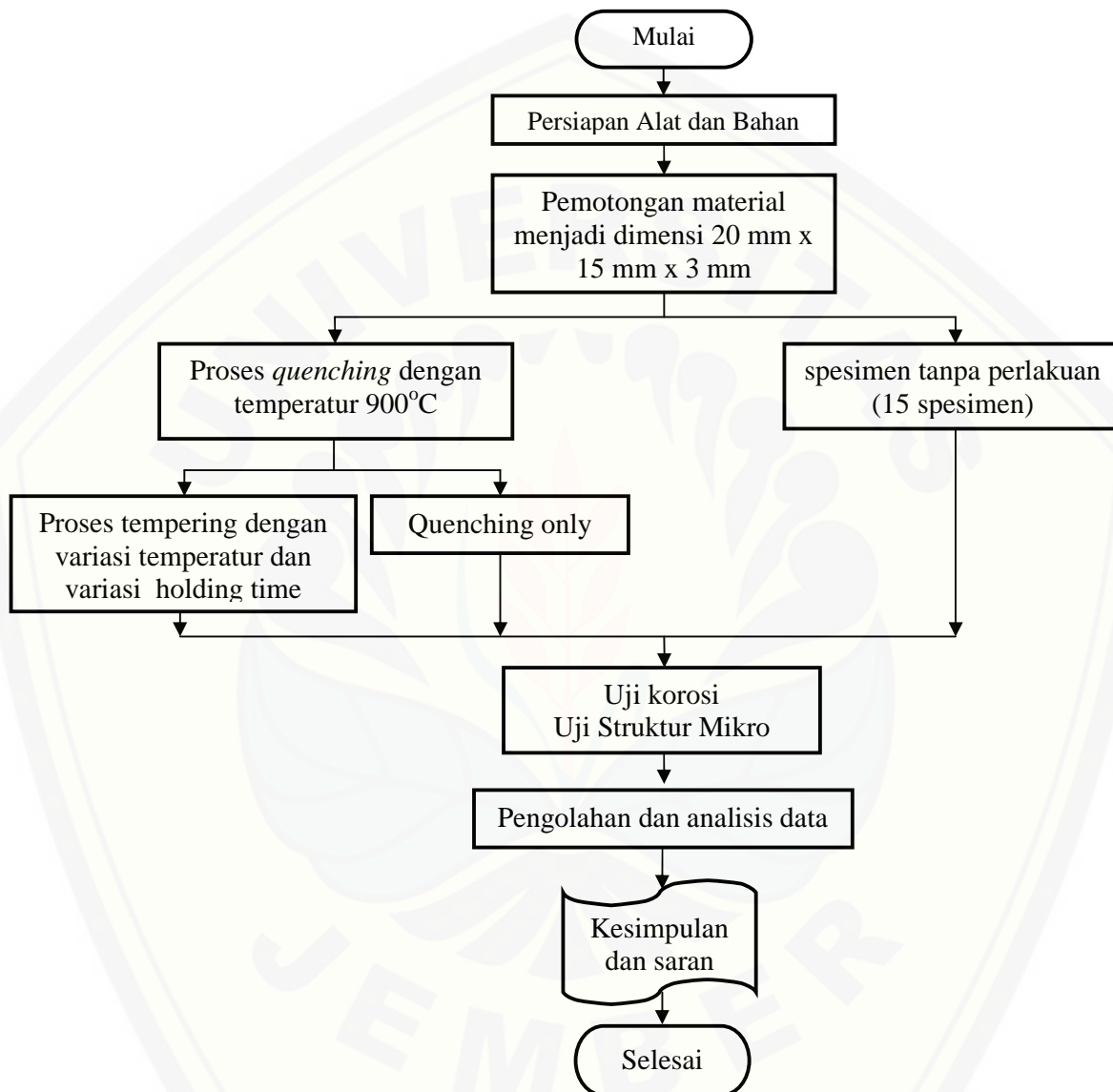


7. Kemudian dilakukan proses pengkorosian pada spesimen uji selama 30 hari dalam media air laut Pantai Payangan Jember. Setiap 6 hari sekali diamati laju korosinya.
8. Pembersihan produk korosi sesuai standar ASTM G1-90 (*Standart Practice for Preparing, Cleaning and Evaluating Corrosion Test Spesimen*).
9. Penimbangan berat akhir spesimen
10. Melakukan pengamatan struktur makro dan mikro spesimen uji setelah proses pengkorosian.
11. Analisis data



### 3.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini.



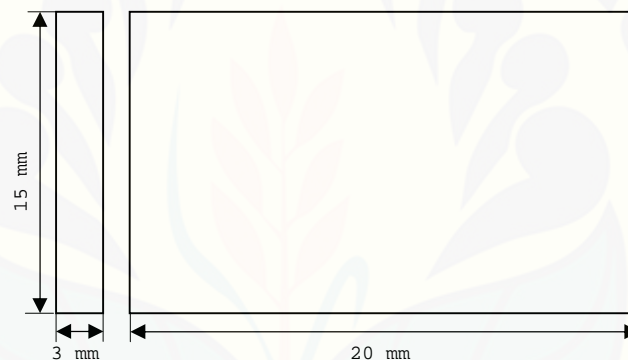
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.6 Pelaksanaan Penelitian

Material dasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon A53. Material atau spesimen uji yang ada dibersihkan dari kotoran atau minyak yang ada ataupun yang melekat pada spesimen uji. Kemudian material diberi sketsa ukuran sesuai dengan panjang benda uji yang akan kita buat, pemberian sketsa ukuran pada material ini supaya mempermudah dalam proses permesinan yang akan dilakukan.

#### 3.6.1 Pembuatan Spesimen Uji

Setelah semua persiapan terhadap material selesai kemudian dilakukan pembuatan spesimen uji sesuai dengan spesifikasi sebagai berikut (gambar 3.2) :



Gambar 3.2 Penampang spesimen uji

Material dipotong menggunakan gerinda potong dan gergaji. selanjutnya dilakukan pengikiran pada bagian sisinya untuk mendapatkan ukuran sesuai yang diinginkan. Spesimen yang dibuat sebanyak 150.

#### 3.6.2 Proses Perlakuan Panas

Penelitian yang dilakukan adalah pemberian perlakuan panas terhadap seluruh spesimen dengan temperatur  $900^{\circ}\text{C}$  kemudian di $quenched$  dengan media oli. Setelah itu diberi perlakuan panas kembali dengan variasi temperatur  $200$ ,  $300$ , dan  $400^{\circ}\text{C}$  kemudian menahannya beberapa saat (*holding time*) untuk berdifusinya karbon kedalam austenit. Setelah itu didinginkan dengan udara

terbuka. Proses perlakuan panas ini dilakukan di laboratorium uji bahan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang.

Secara terperinci teknis dari proses penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Proses *quenching* dengan temperatur 900 °C dengan media pendingin oli.
- b. Proses *tempering* dengan variasi :
  - Temperatur tempering yaitu 200, 300, 400 °C
  - *Holding time* dengan variasi 15, 30 dan 45 menit.
- c. Pemanasan dilakukan didalam *furnace*



Gambar 3.3 Furnace merk Carbolite di Laboratorium Uji Bahan Teknik Mesin Universitas Gajah Mada

### 3.6.3 Pengujian Korosi

1. Setiap jenis perlakuan panas diwakili oleh 3 sampel material. Yang nantinya hasil pengujian akan diambil rata-rata dari ketiga sampel yang diuji tersebut.
2. Pengukuran Berat  
Pengukuran berat dibagi menjadi 3 tahap yaitu sebelum pengkorosian dan setiap 6 hari sekali. Pengukuran berat dilakukan untuk mengetahui berat awal dari spesimen uji sebelum dilakukan uji korosi. Data yang dihasilkan digunakan dalam proses analisa setelah material di lakukan uji korosi. Sedangkan pengukuran area dilakukan untuk mengetahui luasan material uji yang akan dicelupkan kedalam media atau bejana tempat uji korosi.
3. Model pengkorosian yang direncanakan dalam penelitian ini adalah dengan uji imersi yaitu uji simulasi ketahanan korosi terhadap media korosif dengan cara yang sangat sederhana. Material uji dicelupkan kedalam media korosif untuk suatu waktu tertentu dengan menerapkan atau mensimulasikan semua

parameter yang terlibat dalam kondisi aktual misalnya, kondisi operasi peralatan, kondisi lingkungan, dll. Hasil yang didapat dengan era ini adalah kehilangan berat dari material uji yang dapat dikonversikan ke laju korosi dan fenomena kerusakan material uji atau bentuk korosi. Uji imersi yang digunakan dalam penelitian ini adalah uji imersi total yaitu uji celup yang spesimennya tercelup total didalam media korosif.

#### 4. Media Korosi

Media korosi yang digunakan dalam penelitian ini adalah air laut Pantai Payangan. Uji korosi dilakukan selama 30 hari untuk tiap-tiap specimen dengan pengamatan setiap 6 hari sekali.

#### 5. Pembersihan Produk Korosi

Pembersihan produk korosi sesuai standar ASTM G1-90 (*Standart Practice for Preparing, Cleaning and Evaluating Corrosion Test Spesimen*). Pembersihan dilakukan dengan metode kimia menggunakan larutan *acid pickling*, metode ini dipilih dengan harapan kehilangan berat akibat pembersihan akan lebih kecil apabila dibandingkan dengan metode lainnya. Pembuatan larutan *acid pickling* yaitu dengan komposisi sebagai berikut:

- *Asam nitrat* : 20%
- *Asam khlorida* : 2%
- *Aquades* : 78%
- Dilakukan pada temperatur kamar

Setelah dicelup dan disikat dengan sikat halus, spesimen dibersihkan dengan aquades dan dikeringkan dengan hairdryer (Nugraha, 2012).

### 3.6.4 Pengukuran Berat Setelah Uji Korosi

Penimbangan berat akhir spesimen uji dilakukan setelah pembersihan sesuai standar ASTM G1-90 (*Standart Practice for Preparing, Cleaning and Evaluating Corrosion Test Spesimen*) Setelah selama 30 hari logam baja dalam hal ini baja karbon A53 dicelupkan kedalam air laut sebagai media korosi akan mengalami korosi yang mengakibatkan berat logam spesimen uji tersebut akan berkurang dari berat awal (*weight loss*).



Gambar 3.4 Proses Penimbangan Spesimen di Laboratorium Biologi Fakultas Farmasi Universitas Jember

### 3.6.5 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. Spesimen yang difoto mikro adalah pipa baja karbon A53 yang belum mendapatkan proses apapun dan yang telah dilakukan proses perlakuan panas dan direndam dalam air laut.

Dalam (ASTM E3 - 95 , 1995) 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.

#### *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 5-10 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 Analisa Data**

#### **3.7.5 Analisis dengan Metode Gravimetri**

Setelah spesimen direndam, dilakukan penimbangan berat masing-masing spesimen pada selang waktu 6 hari sekali selama 30 hari pada setiap variasi perlakuan. Langkah selanjutnya adalah perhitungan laju korosi. Perhitungan laju korosi ini menggunakan metode gravimeter (pengurangan berat). Untuk menghitung laju korosinya menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Laju korosi} = \frac{2400000 \times w}{A \times T \times D} \text{ (mdd)}$$

Dimana :

mdd = laju korosi, ( $mg / dm^2 \text{ day}$ )

w = berat yang hilang, (g)

A = luas, ( $cm^2$ )

T = waktu, (jam)

D = *density*, ( $g/cm^3$ )

Keterangan: 2400000 merupakan nilai besaran konstanta (ASTM G1 - 90, 1994)

Data yang dihasilkan adalah menghitung massa benda uji sebelum dan setelah perendaman untuk dibandingkan. Konversi satunya adalah massa perluasan terhadap waktu perendaman (mdd) 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.

### 3.7.3 Pengamatan Struktur Mikro

Sampel yang diambil masing-masing variasi 1 buah, jadi totalnya sebanyak 11 buah . Analisis data dari pengamatan struktur mikro yaitu dengan mengamati struktur butir dari tiap-tiap spesimen kemudian menyimpulkan struktur butir apa yang terkandung dalam spesimen tersebut dan apakah perbedaan struktur butir antar spesimen mempengaruhi laju korosi.



Gambar 3.5 Proses Pengambilan Foto Mikro di Laboratorium Uji Bahan Universitas Brawijaya



### 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 temperatur tempering yaitu 200, 300 dan 400°C dengan *holding time* 15, 30, dan 45 menit.
- 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 temperatur *tempering* dan *holding time*. Analisis ini dilakukan untuk menyelidiki apakah terdapat perbedaan yang berarti mengenai efek temperatur *tempering* dan *holding time* terhadap laju korosi.

## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi temperatur pada *tempering* berpengaruh terhadap laju korosi pada baja karbon A53. Semakin tinggi temperatur *tempering*, laju korosi semakin meningkat, namun laju korosi lebih besar dibandingkan spesimen tanpa perlakuan apapun.
2. Variasi *holding time* pada *tempering* berpengaruh terhadap laju korosi pada baja karbon A53. Semakin lama *holding time* ukuran butir menjadi lebih besar, sehingga batas butir menjadi kecil dan menurunkan laju korosinya. Namun laju korosi dengan variasi *holding time* lebih besar dibandingkan spesimen tanpa perlakuan apapun.
3. Proses *tempering* terhadap kondisi struktur mikro pada baja karbon A53. Penambahan temperatur temper mengakibatkan perlit menjadi berkurang dan ferit dominan dan penambahan *holding time* batas butir menjadi lebih kecil.

### 5.2 Saran

1. Sebelum dilakukan penelitian sebaiknya dilakukan kajian mendalam terhadap karakteristik spesimen yang digunakan agar mendapatkan hasil sesuai dengan hipotesis.
2. Pemotongan material harus dilakukan dengan hati-hati agar menghasilkan dimensi spesimen yang presisi sehingga mempermudah pencarian luas spesimen.
3. Pemotongan spesimen sebaiknya menggunakan cooling water untuk mengurangi panas yang cukup tinggi agar tidak merubah struktur mikro spesimen.

4. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk pengaruh perlakuan panas tempering pada pipa yang dilas dan dibending terhadap laju korosi.



**DAFTAR PUSTAKA**

- Abdillah, F. 2010. Perlakuan Panas Paduan AL-SI Pada Prototipe Piston Berbasis Material Piston Bekas. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Anonim. 2016. Sea water. <https://en.wikipedia.org/wiki/Seawater>. [3 Juni 2016]
- American Society for Testing and Materials, 1994. *Standart Practice for Prepting, Cleaning and Evaluating Corrosion Test Specimens G1-90*. Annual Book of ASTM Standards, Vol.3. United States.
- American Society for Testing and Materials, 1994. *Standart Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals G31-72*. Annual Book of ASTM Standards, Vol.3. United States.
- American Society for Testing and Materials, 1995. *Standart Practice for Preparation of Metallographic Specimens E3-95*. Annual Book of ASTM Standards, Vol.3. United States.
- Bayuseno, A P dan Handoko, E D. Tanpa Tahun. Analisa Korosi Erosi Pada Baja Karbon Rendah dan Baja Karbon Sedang Akibat Aliran Air Laut A.P. Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang.
- Hao, L., Xiao, N., Zheng, C., Li, D. 2010. Mechanical Properties and Temper Resistance of Deformation Induced Ferrite in a Low Carbon Steel. *J. Mater. Sci. Technol.* 26(12), 1107–1113.
- Hastomo, N. 2007. Pengaruh Temperatur Austenisasi dan Media Pendingin Terhadap Kekerasan Austempered Medium Carbon Steel (AMCS) Pada Proses Austempering Baja HQ 760. FKIP Pendidikan Teknik dan Kejuruan. Universitas Negeri Surakarta.
- Iandiano, D. 2011. Studi Laju Korosi Baja Karbon Untuk Pipa Penyalur Proses Produksi Gas Alam Yang Mengandung Gas CO<sub>2</sub> Pada Lingkungan NaCl 0.5, 1.5, 2.5 dan 3.5%. Depok : Universitas Indonesia
- Kartikasari, Sutrisna, Suyitno, dan Soekrisno. 2008. Modifikasi Sifat Mekanik dan Ketahanan Korosi Paduan Fe-1,52Al-1,44C dengan Proses Tempiring. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 10, No. 2, Oktober 2008: 82–87
- Kartikasari, R., Sutrisna, Batseran, P. W., 2013. Struktur Mikro, Kekuatan Tarik Dan Ketahanan Korosi Paduan Fe-2,2Al-0,6C Setelah Proses Temper. *Jurnal Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi*, Seminar Nasional Ke-8.

- Kepolovich, D. 2012. *Iron Carbon Phase Diagram*. [http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=ironcarbon\\_phase\\_diagram](http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=ironcarbon_phase_diagram). [3 Juni 2016]
- Kurniawan, I. 2007. Perbedaan Nilai Kekerasan Pada Proses Double Hardening Dengan Media Pendingin Air Dan Oli Sae 20 Pada Baja Karbon Rendah. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- 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.
- Murtiono, A. 2012. Pengaruh Quenching Dan Tempering Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tarik Serta Struktur Mikro Baja Karbon Sedang Untuk Mata Pisau Pemanen Sawit. *Jurnal e-Dinamis*. Volume II, No.2 September 2012
- Munasir. 2009. Laju Korosi Baja Sc 42 Dalam Medium Air Laut Dengan Metode Immers Total. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- Nugraha, H. A. 2012. Pengaruh Variasi Proses Perlakuan Panas Terhadap Kekerasan dan Perilaku Korosi Pada Baja Karbon Medium AISI 1045 Dalam Media HCL (35%). Teknik Mesin. Universitas Jember.
- Nugroho, S. & Haryadi, G. D. 2005. Pengaruh Media Quenching Air Sirkulasi (Circulated Water Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Pasa Baja AISI 1045. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Purnomo, A. 2015. Pengaruh Variasi Konsentrasi Inhibitor Ekstrak Kulit Buah Kakao (*Theobroma Cacao*) Terhadap Laju Korosi Pipa Baja Karbon A53 Pada Media Air Laut. Teknik Mesin. Universitas Jember.
- Purwanta, M. 2012. Analisis Sistem Proteksi Korosi Untuk Pipa Petroleum Gas, Material API-5L X52 ( $\phi$  20", Sch. 40, 8560m). Teknik Mesin. Universitas Jember.
- Restudy J. 2008. Studi Morfologi Mikrostruktur dan Pengaruhnya Terhadap Laju Korosi Antara Baja HSLA 0,029% Nb dan Baja Karbon Rendah Setelah Pemanasan Isothermal. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia.
- Roberge, P. R. 1999. *Handbook of Corrosion Engineering*. New York: McGraw-Hill
- Sumarji. 2012. Evaluasi Korosi Baja Karbon Rendah Astm A36 Pada Lingkungan Atmosferik Di Kabupaten Jember. *Jurnal ROTOR*. Volume 5 Nomor 1, Januari 2012.

- Umardhani, Y. 2011. Pengerasan Permukaan Baja Karbon St 40 Dengan Metode Nitridasi Dalam Larutan Garam. Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang.
- Wicaksono, Bayu. 2015. Analisa Pengaruh Tekanan Tempa Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Baja ST 42 Menggunakan Metode Direct – Drive Friction Welding Sebagai Alternatif Pembuatan Chain Adjuster (Setting Rantai) untuk Motor CB 150R. Surabaya: Program Studi D3 Teknik Mesin Institut Teknologi 10 November.
- Yogantoro, A. 2010. Penelitian Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Low Tempering, Medium Tempering dan High Tempering pada Medium Carbon Steel Produksi Pengecoran Batur-Klaten Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketangguhan (Toughness). Teknik Mesin. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Zamri, A dan Rahmat. 2006. Pengaruh Temperatur Pemanasan Pada Proses Tempering Terhadap Laju Korosi Besi Tuang Kelabu. *Jurnal Teknik Mesin*. Vo. 3 No. 1, Juni 2006.

**LAMPIRAN A.** Tabel pengambilan data  
A.1 Laju korosi pada spesimen tanpa perlakuan  
Tanpa perlakuan

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 (mdd)	Laju Korosi Rata Rata
6	9,1185	9,1101	0,0084	7,86	1308,431	144	0,000496875	0,000485884
	9,4766	9,4700	0,0066	7,86	1131,137	144	0,000451594	
	9,5400	9,5327	0,0073	7,86	1109,604	144	0,000509183	
12	9,8114	9,7937	0,0177	7,86	1306,952	288	0,000524086	0,000564222
	9,6371	9,6173	0,0198	7,86	1178,854	288	0,000649971	
	10,0113	9,9929	0,0184	7,86	1372,988	288	0,000518609	
18	9,8259	9,7974	0,0285	7,86	1230,663	432	0,000597453	0,000567153
	9,9555	9,9314	0,0241	7,86	1298,838	432	0,000478696	
	9,9445	9,9161	0,0284	7,86	1171,71	432	0,000625311	
24	9,9710	9,9328	0,0382	7,86	1180,197	576	0,000626279	0,000579451
	9,8736	9,8468	0,0268	7,86	1123,879	576	0,000461397	
	9,2495	9,2053	0,0442	7,86	1314,363	576	0,000650678	
30	9,1128	9,0636	0,0492	7,86	1331,9	720	0,000571798	0,000629254
	9,0321	8,9796	0,0525	7,86	1161,805	720	0,00069948	
	9,1053	9,0580	0,0473	7,86	1187,648	720	0,000616485	

A.2 Laju korosi pada spesimen dengan perlakuan *quenching* saja

Quenching Only										
Hari	berat awal (gr)	berat akhir (gr)	selisih (gr)	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	Tinggi (mm)	Luas Total (mm <sup>2</sup> )	Waktu (jam)	Laju Korosi (mdd)	Laju Korosi Rata Rata	
6	9,6370	9,628	0,0090	7,86	20,93	1192,325	144	0,000584207	0,000712412	
	9,9170	9,9049	0,0121	7,86	20,91	1140,397	144	0,000821199		
	9,2205	9,2098	0,0107	7,86	20,32	1131,598	144	0,000731831		
12	9,8557	9,8314	0,0243	7,86	22,69	1295,645	288	0,000725787	0,000808229	
	9,8507	9,8222	0,0285	7,86	22,19	1238,091	288	0,000890802		
	9,5502	9,5266	0,0236	7,86	22,25	1130,154	288	0,000808097		
18	9,3468	9,3022	0,0446	7,86	23,01	1257,002	432	0,00091537	0,000832967	
	9,3670	9,3302	0,0368	7,86	21,7	1224,814	432	0,000775132		
	9,0922	9,0545	0,0377	7,86	22,34	1203,134	432	0,000808398		
24	9,9349	9,8864	0,0485	7,86	21,03	1186,696	576	0,00079079	0,00081522	
	9,7042	9,6586	0,0456	7,86	22,49	1114,404	576	0,000791738		
	9,1242	9,0744	0,0498	7,86	21,51	1116,377	576	0,000863133		
30	9,3831	9,3102	0,0729	7,86	20,89	1098,215	720	0,001027517	0,000945892	
	9,7626	9,6932	0,0694	7,86	21,67	1153,251	720	0,000931504		
	9,0459	8,9796	0,0663	7,86	22,4	1168,004	720	0,000878655		



A.3 Laju korosi pada spesimen dengan perlakuan *quenching* dan *tempering* pada temperatur 200°C *holding time* 15 menit  
*Tempering* 200°C dengan *holding time* 15 menit

Hari	berat awal (gr)	berat akhir (gr)	selisih (gr)	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	Tinggi (mm)	Luas Total (mm <sup>2</sup> )	Waktu (jam)	Laju Korosi (mdd)	Laju Korosi Rata Rata
6	9,2620	9,2493	0,0127	7,86	20,98	1141,151	144	0,00086135	0,000865628
	9,0436	9,0319	0,0117	7,86	21,83	1351,298	144	0,000670122	
	9,0700	9,0528	0,0172	7,86	20,93	1249,483	144	0,001065411	
12	9,1850	9,1636	0,0214	7,86	20,83	1209,888	288	0,000684475	0,000770698
	9,2192	9,1951	0,0241	7,86	22,4	1175,992	288	0,000793052	
	9,2722	9,2463	0,0259	7,86	20,34	1200,959	288	0,000834566	
18	9,5486	9,5142	0,0344	7,86	21,26	1122,879	432	0,000790357	0,000758985
	9,2932	9,2507	0,0425	7,86	23,03	1368,225	432	0,000801363	
	9,7158	9,6836	0,0322	7,86	22,35	1212,311	432	0,000685235	
24	9,6950	9,6518	0,0432	7,86	21,25	1225,929	576	0,000681832	0,000694214
	9,3336	9,2830	0,0506	7,86	22,07	1212,468	576	0,000807494	
	9,8257	9,7900	0,0357	7,86	21,46	1164,239	576	0,000593315	
30	10,0070	9,9615	0,0455	7,86	21,73	1186,621	720	0,000593538	0,000633971
	9,6240	9,5683	0,0557	7,86	22,35	1243,253	720	0,000693497	
	9,3849	9,3371	0,0478	7,86	22,1	1203,34	720	0,000614878	

A.4 Laju korosi pada spesimen dengan perlakuan *quenching* dan *tempering* pada temperatur 200°C *holding time* 30 menit  
*Tempering* 200°C dengan *holding time* 30 menit

Hari	berat awal (gr)	berat akhir (gr)	selisih (gr)	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	Tinggi (mm)	Luas Total (mm <sup>2</sup> )	Waktu (jam)	Laju Korosi (mdd)	Laju Korosi Rata Rata
6	9,4878	9,4739	0,0139	7,86	20,34	1067,901	144	0,001007402	0,000908846
	9,1363	9,1210	0,0153	7,86	22,09	1411,726	144	0,000838803	
	9,6282	9,6151	0,0131	7,86	20,22	1151,712	144	0,000880332	
12	9,3588	9,3234	0,0354	7,86	22,43	1190,298	288	0,001150897	0,000845708
	9,3289	9,302	0,0269	7,86	21,12	1403,18	288	0,00074187	
	9,5200	9,4997	0,0203	7,86	21,55	1219,154	288	0,000644357	
18	10,0220	9,9943	0,0277	7,86	22,49	1187,357	432	0,000601861	0,000625325
	10,0170	9,9877	0,0293	7,86	22,58	1165,607	432	0,000648505	
	9,8469	9,8159	0,0310	7,86	22,24	1278,369	432	0,000625609	
24	9,7494	9,7175	0,0319	7,86	22,36	1201,676	576	0,000513644	0,000529624
	9,0549	9,0170	0,0379	7,86	22,48	1332,724	576	0,000550247	
	9,5212	9,4887	0,0325	7,86	22,09	1197,842	576	0,00052498	
30	9,4562	9,4193	0,0369	7,86	22,09	1411,726	720	0,000404599	0,000542828
	5,9848	5,9435	0,0413	7,86	22,46	1211,261	720	0,00052779	
	9,7893	9,7351	0,0542	7,86	22,19	1205,259	720	0,000696094	

A.5 Laju korosi pada spesimen dengan perlakuan *quenching* dan *tempering* pada temperatur 200°C *holding time* 45 menit  
*Tempering* 200°C dengan *holding time* 45 menit

Hari	berat awal (gr)	berat akhir (gr)	selisih (gr)	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	Tinggi (mm)	Luas Total (mm <sup>2</sup> )	Waktu (jam)	Laju Korosi (mdd)	Laju Korosi Rata Rata
6	9,2154	9,2026	0,0128	7,86	22,93	1200,503	144	0,000825212	0,000863704
	9,6406	9,6257	0,0149	7,86	21,73	1189,706	144	0,000969317	
	9,5362	9,5229	0,0133	7,86	22,7	1292,23	144	0,000796583	
12	9,4575	9,4352	0,0223	7,86	21,41	1126,763	288	0,000765881	0,000640692
	9,3826	9,3673	0,0153	7,86	22,67	1220,743	288	0,000485016	
	9,8966	9,8756	0,0210	7,86	21,88	1210,795	288	0,000671178	
18	9,1069	9,0735	0,0334	7,86	20,87	1102,03	432	0,000781899	0,000623296
	9,2686	9,2446	0,0240	7,86	20,78	1144,392	432	0,000541046	
	9,2515	9,2344	0,0271	7,86	21,77	1278,279	432	0,000546942	
24	9,4554	9,4223	0,0331	7,86	22,43	1222,073	576	0,000524071	0,000567495
	9,3985	9,3607	0,0378	7,86	20,98	1173,374	576	0,000623325	
	9,7846	9,7490	0,0356	7,86	22,47	1240,929	576	0,000555088	
30	10,0355	9,9939	0,0416	7,86	20,96	1152,235	720	0,000558858	0,000494274
	9,9202	9,8741	0,0461	7,86	22,2	1208,126	720	0,00059066	
	9,0471	9,0014	0,0457	7,86	22,34	2122,395	720	0,000333303	

A.6 Laju korosi pada spesimen dengan perlakuan *quenching* dan *tempering* pada temperatur 300°C *holding time* 15 menit  
*Tempering* 300°C dengan *holding time* 15 menit

Hari	berat awal (gr)	berat akhir (gr)	selisih (gr)	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	Tinggi (mm)	Luas Total (mm <sup>2</sup> )	Waktu (jam)	Laju Korosi (mdd)	Laju Korosi Rata Rata
6	9,8648	9,8472	0,0176	7,86	21,07	1130,258	144	0,001205186	0,001022336
	9,2527	9,2383	0,0144	7,86	19,87	1244,291	144	0,000895694	
	9,0357	9,0200	0,0157	7,86	21,7	1257,722	144	0,000966127	
12	9,4672	9,4393	0,0279	7,86	21,59	1220,38	288	0,000884704	0,000928415
	9,5606	9,5306	0,0300	7,86	20,31	1176,376	288	0,00098688	
	9,6933	9,6630	0,0303	7,86	22,55	1283,354	288	0,000913661	
18	9,9692	9,9366	0,0326	7,86	21,46	1181,451	432	0,000711868	0,000709827
	10,0043	9,9695	0,0348	7,86	21,22	1163,708	432	0,000771495	
	9,5545	9,5235	0,0310	7,86	21,65	1237,795	432	0,000646116	
24	9,8631	9,8221	0,0410	7,86	22,13	1231,743	576	0,000644055	0,000626321
	9,3563	9,3210	0,0353	7,86	22,12	1235,032	576	0,000553039	
	9,7180	9,6747	0,0433	7,86	22,03	1228,701	576	0,000681869	
30	9,7878	9,7331	0,0547	7,86	21,89	1221,467	720	0,000693194	0,000617161
	9,3379	9,2918	0,0461	7,86	22,1	1244,439	720	0,000573425	
	9,5115	9,4661	0,0454	7,86	21,8	1201,57	720	0,000584865	

A.7 Laju korosi pada spesimen dengan perlakuan *quenching* dan *tempering* pada temperatur 300°C *holding time* 30 menit  
*Tempering 300°C dengan holding time 30 menit*

Hari	berat awal (gr)	berat akhir (gr)	selisih (gr)	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	Tinggi (mm)	Luas Total (mm <sup>2</sup> )	Waktu (jam)	Laju Korosi (mdd)	Laju Korosi Rata Rata
6	9,8949	9,8802	0,0147	7,86	21,11	1138,438	144	0,000999372	0,000880482
	9,0324	9,0182	0,0142	7,86	21,13	1296,364	144	0,000847775	
	9,0441	9,0314	0,0127	7,86	20,93	1237,481	144	0,000794299	
12	9,0562	9,0259	0,0303	7,86	20,83	1176,862	288	0,000996337	0,000829932
	9,6999	9,6765	0,0234	7,86	21,4	1202,165	288	0,000753253	
	10,0098	9,9875	0,0223	7,86	20,34	1165,844	288	0,000740208	
18	9,0400	9,0070	0,0330	7,86	21,26	1092,095	432	0,000779563	0,00077128
	9,2528	9,2204	0,0324	7,86	23,03	1238,476	432	0,000674925	
	9,8727	9,8327	0,0400	7,86	22,35	1200,845	432	0,000859352	
24	9,9679	9,9242	0,0437	7,86	21,25	1212,622	576	0,000697293	0,000637775
	9,4970	9,4584	0,0386	7,86	22,07	1211,962	576	0,000616251	
	9,5333	9,4971	0,0362	7,86	21,46	1167,816	576	0,000599782	
30	9,1696	9,1197	0,0499	7,86	21,73	1193,336	720	0,000647272	0,0006594
	9,3334	9,2805	0,0529	7,86	22,35	1247,536	720	0,000656374	
	9,2011	9,1481	0,0530	7,86	22,1	1216,208	720	0,000674555	

A.8 Laju korosi pada spesimen dengan perlakuan *quenching* dan *tempering* pada temperatur 300°C *holding time* 45 menit  
*Tempering* 300°C dengan *holding time* 45 menit

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 (mdd)	Laju Korosi Rata Rata
6	9,2081	9,1965	0,0116	7,86	1080,268	144	0,000831085	0,000800832
	9,5773	9,5635	0,0138	7,86	1355,752	144	0,000787803	
	9,5197	9,5087	0,0110	7,86	1086,457	144	0,000783609	
12	9,0726	9,0538	0,0188	7,86	1211,342	288	0,000600593	0,00064149
	9,4410	9,4202	0,0208	7,86	1227,388	288	0,000655799	
	9,9664	9,9459	0,0205	7,86	1187,451	288	0,000668078	
18	9,0856	9,0511	0,0345	7,86	1187,357	432	0,00074961	0,000753326
	9,6831	9,6441	0,0390	7,86	1242,007	432	0,0008101	
	9,9486	9,9155	0,0331	7,86	1219,445	432	0,000700267	
24	9,1708	9,1308	0,0400	7,86	1183,878	576	0,000653751	0,000565933
	9,9532	9,9111	0,0421	7,86	1241,057	576	0,000656371	
	9,8660	9,842	0,0240	7,86	1197,842	576	0,000387678	
30	9,6109	9,5664	0,0445	7,86	1196,023	720	0,00057593	0,000604696
	9,0589	9,0074	0,0515	7,86	1229,676	720	0,000648284	
	10,0040	9,958	0,0460	7,86	1207,112	720	0,000589874	

A.9 Laju korosi pada spesimen dengan perlakuan *quenching* dan *tempering* pada temperatur 400°C. *holding time* 15 menit  
*Tempering* 400°C dengan *holding time* 15 menit

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 (mdd)	Laju Korosi Rata Rata
6	9,1037	9,0884	0,0153	7,86	1240,929	144	0,000954253	0,001014928
	9,1430	9,1279	0,0151	7,86	1152,235	144	0,001014273	
	9,4233	9,4065	0,0168	7,86	1208,126	144	0,001076257	
12	9,6851	9,6566	0,0285	7,86	1292,23	288	0,000853482	0,000858116
	9,9074	9,8800	0,0274	7,86	1126,763	288	0,000941038	
	9,6694	9,6448	0,0246	7,86	1220,743	288	0,00077983	
18	9,4252	9,3819	0,0433	7,86	1193,336	432	0,000936102	0,000865045
	9,9201	9,8807	0,0394	7,86	1247,536	432	0,000814781	
	9,9051	9,8653	0,0398	7,86	1216,208	432	0,000844254	
24	9,3877	9,3475	0,0402	7,86	1186,696	576	0,000655459	0,000761472
	9,4039	9,3555	0,0484	7,86	1114,404	576	0,000840353	
	9,2848	9,2393	0,0455	7,86	1116,377	576	0,000788605	
30	9,5111	9,4586	0,0525	7,86	1278,369	720	0,0006357	0,000592019
	9,3912	9,3446	0,0466	7,86	1201,676	720	0,000600271	
	9,3906	9,3441	0,0465	7,86	1332,724	720	0,000540085	

A.10 Laju korosi pada spesimen dengan perlakuan *quenching* dan *tempering* pada temperatur 400°C *holding time* 30 menit  
*Tempering* 400°C dengan *holding time* 30 menit

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 (mdd)	Laju Korosi Rata Rata
6	9,5325	9,5192	0,0133	7,86	1173,374	144	0,000877272	0,000940764
	9,2313	9,2167	0,0146	7,86	1240,929	144	0,000910594	
	9,4145	9,3991	0,0154	7,86	1152,235	144	0,001034424	
12	9,2395	9,2093	0,0302	7,86	1131,137	288	0,001033191	0,00099493
	9,5122	9,4784	0,0338	7,86	1109,604	288	0,001178794	
	9,8153	9,7892	0,0261	7,86	1306,952	288	0,000772805	
18	9,8246	9,7879	0,0367	7,86	1197,842	432	0,000790432	0,000709945
	9,8318	9,7986	0,0332	7,86	1411,726	432	0,000606716	
	9,8684	9,834	0,0344	7,86	1211,261	432	0,000732687	
24	9,8584	9,8228	0,0356	7,86	1224,814	576	0,000562392	0,000600776
	9,9569	9,9164	0,0405	7,86	1203,134	576	0,000651329	
	9,9252	9,8891	0,0361	7,86	1186,696	576	0,000588609	
30	9,1608	9,1133	0,0475	7,86	1165,607	720	0,000630798	0,000603656
	9,2125	9,1678	0,0447	7,86	1278,369	720	0,000541253	
	9,1163	9,0667	0,0496	7,86	1201,676	720	0,000638915	



A.11 Laju korosi pada spesimen dengan perlakuan *quenching* dan *tempering* pada temperatur 400°C *holding time* 45 menit

Hari	Tanpa perlakuan									
	berat awal (gr)	berat akhir (gr)	selisih (gr)	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	Luas Total (mm <sup>2</sup> )	Waktu (jam)	Laju Korosi (mdd)	Laju Korosi Rata Rata		
6	9,6855	9,6702	0,0153	7,86	1210,795	144	0,000978002	0,00084866		
	9,5899	9,5799	0,0100	7,86	1102,03	144	0,000702305			
	9,2183	9,2055	0,0128	7,86	1144,392	144	0,000865674			
12	9,6110	9,5869	0,0241	7,86	1240,929	288	0,000751552	0,000781256		
	9,0918	9,0669	0,0249	7,86	1152,235	288	0,000836272			
	10,0214	9,9978	0,0236	7,86	1208,126	288	0,000755943			
18	9,4320	9,3913	0,0407	7,86	1200,845	432	0,00087439	0,000822032		
	9,3788	9,3322	0,0466	7,86	1212,622	432	0,000991421			
	9,0792	9,051	0,0282	7,86	1211,962	432	0,000600286			
24	9,8118	9,7794	0,0324	7,86	1228,701	576	0,00051022	0,000544984		
	9,5978	9,5639	0,0339	7,86	1221,467	576	0,000537003			
	9,8339	9,7961	0,0378	7,86	1244,439	576	0,000587729			
30	9,6914	9,6399	0,0515	7,86	1237,481	720	0,000644196	0,000593243		
	9,6458	9,5998	0,0460	7,86	1176,862	720	0,000605036			
	9,5267	9,4855	0,0412	7,86	1202,165	720	0,000530496			

A.12 Tabel Rata-rata laju korosi masing-masing spesimen dalam 1 bulan

Hari ke	Tanpa Perlakuan	Quenching	Temper 200/15	Temper 200/30	Temper 200/45	Temper 300/15	Temper 300/30	Temper 300/45	Temper 400/15	Temper 400/30	Temper 400/45
6	0,000485884	0,000712412	0,000863704	0,000908846	0,000865628	0,000800832	0,000880482	0,001022336	0,000848660	0,000940764	0,001014928
12	0,000564222	0,000808229	0,000640692	0,000845708	0,000770698	0,000641490	0,000829932	0,000928415	0,000781256	0,000994930	0,000858016
18	0,000567153	0,000832967	0,000623296	0,000625325	0,000758985	0,000753326	0,000771280	0,000709827	0,000822032	0,000709945	0,000865045
24	0,000579451	0,000815220	0,000567495	0,000529624	0,000694214	0,000565933	0,000637775	0,000626321	0,000544984	0,000600776	0,000761472
30	0,000629254	0,000945892	0,000494274	0,000542828	0,000633971	0,000604696	0,000659400	0,000617161	0,000593243	0,000603656	0,000592019
rata-rata	0,000565193	0,000822944	0,000637892	0,000690466	0,000744699	0,000673255	0,000755774	0,000780812	0,000718055	0,000770014	0,000818316



**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  
 Commodity: ERW STEEL PIPE  
 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 :

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	Conting Average
							Result	Result	Result	Gr/m <sup>2</sup>
30076762	6	SCH-40	6.000,0	18	-	GOOD	GOOD	GOOD	-	-

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	
		Min: 205	Min: 330	Min:	Max: 0,25	Max: 0,95	Max: 0,05	Max: 0,045	Max: 0,4	Max: 0,4	Max: 0,4	Max: 0,15	Max: 0,08	
30076762	I2U70	314	411	39,8	0,07	1,27	0,015	0,007	0,053	0,023	0,017	0,013	NO RESULT	SATISFACTORY

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

Signature: \_\_\_\_\_  
 Issued through as appropriate



Lampiran C. Dokumentasi Penelitian



Pemotongan Pipa A53 dengan Gerinda Duduk



Spesimen Setelah Dipotong



Penghalusan Permukaan Spesimen



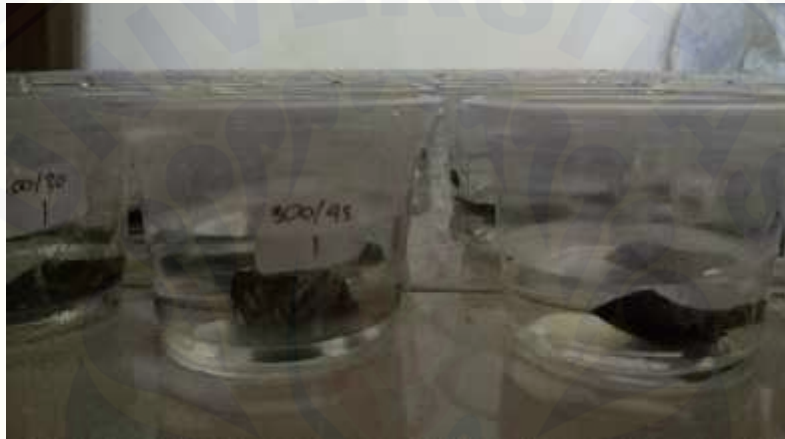
Spesimen Setelah Dihaluskan



Spesimen Setelah Dilakukan Perlakuan Panas Quenching dan Tempering



Furnace di Laboratorium Uji Bahan Universitas Gajah Mada



Pencelupan Spesimen dalam Media Air Laut



Air Laut Pantai Payangan



Penimbangan Spesimen di Laboratorium Biologi Fakultas Farmasi Universitas Jember



Pengambilan Foto Mikro di Laboratorium Uji Bahan Universitas Brawijaya Malang