



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**ANALISA LAJU KOROSI SAMBUNGAN LAS PIPA  
STAINLESS STEEL 316 PADA KONDENSOR DI DALAM  
MEDIA LARUTAN NaCl**

**TUGAS AKHIR**

**IMANINGTYASTUTI**

**L2E 007 048**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**SEMARANG**

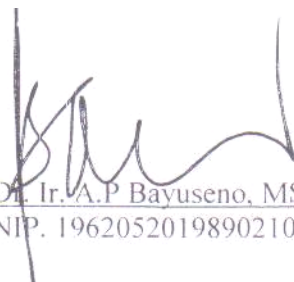
**DESEMBER 2012**

## TUGAS SARJANA

Diberikan kepada:

Nama : Imaningtyastuti  
NIM : L2E 007 048  
Pembimbing : Dr. Ir. A.P Bayuseno, MSc  
Jangka Waktu : 10 bulan  
Judul : Analisa Laju Korosi Sambungan Las Pipa *Stainless Steel* 316 Pada Kondensor Di dalam Media Larutan NaCl  
Isi Tugas : Menganalisa laju korosi pada potongan spesimen pipa *stainless steel* 316 didalam larutan NaCl sebagai fungsi waktu serta menganalisa jenis korosi dengan uji metalografi

Dosen Pembimbing,



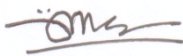
Dr. Ir. A.P Bayuseno, MSc  
NIP. 196205201989021001

## **HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

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

NAMA : Imaningtyastuti

NIM : L2E 007 048

Tanda Tangan : 

Tanggal : 21 Desember 201

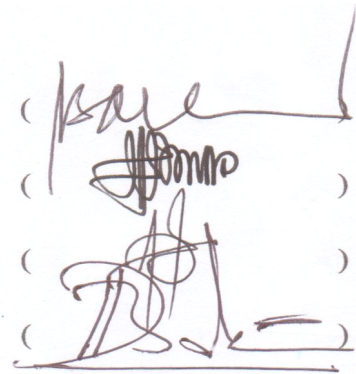
## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
NAMA : Imaningtyastuti  
NIM : L2E 007 048  
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Analisa Laju Korosi Sambungan Las Pipa  
*Stainless Steel 316* Pada Kondensor Di dalam  
Media Larutan NaCl

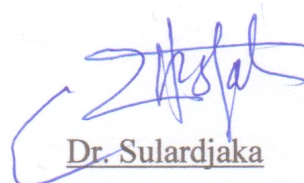
**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan/Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.**

### TIM PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. A.P Bayuseno, MSc  
Penguji : Dr. Sri Nugroho, ST, MT  
Penguji : Dr. Munadi, ST, MT  
Penguji : Ir. Dwi Basuki W, MS



Semarang, Desember 2012  
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Sulardjaka

NIP. 197104201998021001

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

---

---

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Imaningtyastuti  
NIM : L2E 007 048  
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Tugas Akhir

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

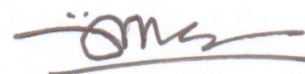
**“ANALISA LAJU KOROSI SAMBUNGAN LAS PIPA *STAINLESS STEEL*  
316 PADA KONDENSOR DI DALAM MEDIA LARUTAN NaCl”**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang  
Pada Tanggal : Desember 2012

Yang menyatakan



Imaningtyastuti  
NIM. L2E 007 048

## ABSTRAK

Korosi didefinisikan sebagai proses perusakan pada permukaan logam yang disebabkan oleh reaksi kimia dengan lingkungannya. Korosi merupakan reaksi elektrokimia yang bersifat alamiah dan berlangsung spontan, oleh karena itu korosi tidak dapat dicegah atau dihentikan sama sekali. Korosi hanya bisa dikendalikan atau diperlambat lajunya sehingga memperlambat proses kerusakannya. Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya korosi antara lain adanya reaksi redoks, temperatur, zat pengotor, kontak dengan elektrolit, pH dan metalurgi. Pada pipa kondensor dengan bahan ASTM 249 tipe 316 dilakukan pengujian korosi dengan mengambil sampel potongan sambungan las dan menggunakan larutan NaCl sebagai media korosifnya. Larutan NaCl tersebut diaduk bersama dengan potongan sample pipa kondensor menggunakan *magnetic stirrer hot plate* pada suhu 180°C dan 380°C selama 60 jam dan 120 jam. Dari hasil pengujian korosi, terjadi korosi lubang yang dilihat melalui pengujian SEM. Adanya pengaruh pH dan penetrasi klorida adalah penyebab terjadinya korosi lubang. Selain itu temperatur saat pengujian juga menjadi salah satu faktor terjadinya korosi. Selama pengujian korosi, spesimen mengalami kehilangan berat sebesar 0,01-0,02 gram.

Dengan menggunakan acuan kehilangan berat sebagai fungsi waktu, didapatkan laju korosi sebesar  $4,63 \times 10^{-8}$  g/s untuk spesimen yang dikorosikan pada temperatur 180°C selama 432000 s. Untuk temperatur 380°C selama 216000 s didapatkan laju korosi sebesar  $9,26 \times 10^{-8}$  g/s.

Kata Kunci : *stainless steel* 316, larutan NaCl, *magnetic stirrer hot plate*, korosi lubang, laju korosi.

## **ABSTRACT**

*Corrosion is defined as the destruction of a material because of reaction with its environment. Corrosion is a natural electrochemical reaction and spontaneous, therefore it couldn't be prevented or stopped at all. Corrosion could be controlled by its corrosion rate, so that would be slowed the destructive process. There are some factors which influenced the occurrence of corrosion such as reduction-oxidation reaction, temperature, impurities, electrolyte contact, pH and metallurgy. Corrosion testing was done for condenser pipe with material ASTM 249 type 316 by cutting welded joint into pieces and using NaCl solution as corrosive medium. NaCl solution along with the specimen samples were stirred by using magnetic stirrer hot plate at temperature 180C and 380C during 60 hours and 120 hours. From corrosion testing, pitting corrosion occurred which can be seen through SEM examination. Pitting corrosion happened because of pH influenced and chloride penetration Besides that, temperature helped to increase the rate of almost all chemical reactions. During corrosion testing, specimens suffered weight loss approximately 0,01-0,02 grams.*

*By using weight loss as time function, corrosion rate could be determined. Corrosion rate for temperature at 180°C during 432000 s is  $4,63 \times 10^{-8}$  g/s. Corrosion rate for temperature at 380°C during 216000 s is  $9,26 \times 10^{-8}$  g/s.*

*Keyword: stainless steel 316, NaCl solution, magnetic stirrer hot plate, pitting corrosion, corrosion rate*

## MOTTO

“No matter how difficult and hard something is, I will always be positive and smile gratefully.”

## PERSEMBAHAN

- Eyang, Bapak, Ibu, Luky, Dika
- Mechanical Engineering 2007 Family. Ten times we fall, the nth times we tried to stand up, because our greatest glory isn't about how many times we fall but how many times we can stand up and facing them bravely. Acclamazioni alla fratellanza, la mia famiglia.
- Srikandi 2007 : Rika, Srini, Evi, Anggi
- BFFs : Uka, Kiki, Tya, Rula, Lia, Meta.
- Korean Studies Centre UNDIP Family : 박 경선 선생님, 박대니 선생님. 우리 친구들을 한국학센터 스쿠아드! 사랑해~



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena atas anugerah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan Tugas Akhir dengan judul “**Analisa Laju Korosi Sambungan Las Pipa *Stainless Steel* 316 Pada Kondesor Di dalam Media Larutan NaCl**”. Laporan Tugas Akhir Sarjana ini disusun sebagai bentuk pertanggungjawaban atas pelaksanaan Tugas Akhir Sarjana yang merupakan syarat untuk menyelesaikan studi pada program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.

Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak bisa dipisahkan dari orang-orang yang telah berperan membantu penulis. Oleh karenanya, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. A.P Bayuseno, MSc selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir Sarjana atas bantuan, bimbingan dan petunjuk selama penulis menyusun laporan Tugas Akhir.
2. Bapak Muhammad Ulil Azmi dan Ahmad Basuki dari PT. Siemens Indonesia dan CV. CMS
3. Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro dan Laboratorium Sentral Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Malang atas bantuan dalam pengujian korosi dan metalografi.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan Tugas Sarjana ini masih jauh dari sempurna oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari para pembaca sekalian. Semoga laporan Tugas Sarjana ini dapat bermanfaat baik bagi penulis pribadi maupun para pembaca sekalian.

Semarang, Desember 2012

Penulis,

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN TUGAS SARJANA</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	iii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN PENYETUJUAN PUBLIKASI</b> .....	v
<b>ABSTRAKSI</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	viii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>NOMENKLATUR</b> .....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Metode Penelitian .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II DASAR TEORI</b> .....	5
2.1 Alat Penukar Kalor .....	5
2.2 Kondensor .....	5
2.3 Unsur-unsur Kimia Logam .....	7
2.4 Baja .....	8
2.4.1 Proses Pembuatan Baja .....	9
2.4.2 Klasifikasi Baja .....	10
2.5 Pengaruh Unsur Paduan .....	12
2.5.1 Karbon (C) .....	12
2.5.2 Silikon (Si) .....	13

2.5.3 Mangan (Mn) .....	13
2.5.4 Posfor (P) .....	13
2.5.5 Belerang (S) .....	13
2.5.6 <i>Chromium</i> (Cr) .....	13
2.5.7 Nikel (Ni) .....	14
2.5.8 Molibdenum (Mo) .....	14
2.5.9 Titanium (Ti) .....	14
2.5.10 Wolfram/Tungsten .....	14
2.5.11 Vanadium (V) .....	15
2.6 Baja Tahan Karat ( <i>Stainless Steel</i> ) .....	15
2.6.1 Baja Tahan Karat Martensitik ( <i>Martensitic Stainless Steels</i> )...	15
2.6.2 Baja Tahan Karat Feritik ( <i>Feritic Stainless Steels</i> ).....	16
2.6.3 Baja Tahan Karat Austenitik ( <i>Austenitic Stainless Steels</i> )....	16
2.6.4 Baja Tahan Karat Duplex .....	17
2.6.5 Baja Tahan Karat Pengerasa Presipitasi .....	17
2.7 <i>Mechanical Properties</i> dan Komposisi Unsur Kimia pada ASTM 249 tipe 316 .....	17
2.8 Pengertian Korosi .....	21
2.8.1 Proses Terjadinya Korosi .....	22
2.8.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Korosi .....	23
2.9 Penelitian-penelitian tentang Korosi .....	25
2.10 Jenis-jenis Korosi .....	27
2.10.1 <i>Uniform Corrosion</i> .....	28
2.10.2 <i>Galvanic Corrosion</i> .....	28
2.10.3 <i>Crevice Corrosion</i> .....	29
2.10.4 <i>Pitting Corrosion</i> .....	30
2.10.5 <i>Intergranular Corrosion</i> .....	31
2.10.6 <i>Errosion Corrosion</i> .....	32
2.10.7 <i>Stress Corrosion Cracking</i> .....	33
2.10.8 <i>High Temperature Corrosion</i> .....	33
2.10.9 <i>Fatigue Corrosion</i> .....	35
2.11 Laju Korosi .....	35

<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>38</b>
3.1 Diagram Alir .....	38
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....	41
3.3 Alat dan Bahan .....	41
3.4 Pengujian Korosi .....	44
3.5 Pengujian <i>Magnetic Stirrer Hot Plate</i> .....	44
3.6 Pengujian SEM ( <i>Scanning Electron Microscope</i> ) .....	48
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>52</b>
4.1 Perhitungan Laju Korosi .....	52
4.2 Analisa Hasil Korosi .....	60
4.3 Pengujian SEM ( <i>Scanning Electrone Microscope</i> ) .....	67
4.4 Analisa Ketahanan Korosi .....	69
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>70</b>
5.1 Kesimpulan .....	70
5.2 Saran .....	71
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>72</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Unsur .....	20
Tabel 3.1 Jenis sinyal, detector, dan resolusi lateral serta kedalaman sinyal untuk menggambar dan menganalisa material di SEM .....	49
Tabel 4.1 Laju korosi, waktu pengujian dan temperatur perlakuan selama pengujian korosi .....	59

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem tertutup PT. Siemens Indonesia .....	6
Gambar 2.2 Kondensor horizontal .....	7
Gambar 2.3 Komposisi Unsur Kimia pada 316/316L .....	18
Gambar 2.4 <i>Temperature Propeties</i> 316/316L .....	18
Gambar 2.5 Spesifikasi untuk 316/316L .....	18
Gambar 2.3 Efek larutan NaCl pada konsentrasi (5g/liter) dengan korosi lubang sebagai karakteristik utama pada permukaan logam, tidak ada korosi seragam yang muncul pada permukaan logam	27
Gambar 2.4 <i>Uniform Corrosion</i> .....	28
Gambar 2.5 <i>Galvanic Corrosion</i> .....	29
Gambar 2.6 <i>Crevice Corrosion</i> (a) awal mula terjadinya .....	30
(b) tahapan selanjutnya .....	30
Gambar 2.7 <i>Pitting Corrosion</i> .....	31
Gambar 2.8 <i>Intergranular Corrosion</i> .....	32
Gambar 2.9 <i>Errosion Corrosion</i> .....	29
Gambar 2.10 <i>Stress Corrosion Cracking</i> .....	32
Gambar 2.11 Korosi baja akibat temperatur tinggi .....	33
Gambar 2.12 <i>Corrosion Fatigue</i> .....	34
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian. ....	39
Gambar 3.2 Plat.....	40
Gambar 3.3 <i>Magnetic Stirrer Hot Plate</i> .....	41
Gambar 3.4 <i>Beaker Glass</i> .....	42
Gambar 3.5 Timbangan <i>Digital</i> .....	43
Gambar 3.6 <i>Hot Plate</i> dari <i>Magnetic Stirrer Hot Plate</i> .....	44
Gambar 3.7 Bagian-bagian dari control panel <i>Magnetic Stirrer Hot Plate</i>	45
Gambar 3.8 <i>Stir bar</i> atau batang pengaduk .....	46
Gambar 3.9 Skema SEM .....	51
Gambar 4.1 Spesimen 1	

(a) Tampak depan .....	53
(b) Tampak atas (Sambungan Las) .....	53
Gambar 4.2 Spesimen 2	
(c) Tampak depan .....	54
(d) Tampak atas (Sambungan Las) .....	54
Gambar 4.3 Spesimen 3 .....	55
Gambar 4.4 Spesimen 4 .....	56
Gambar 4.5 Spesimen 5 .....	57
Gambar 4.6 Spesimen 6 .....	58
Gambar 4.7 Laju Korosi untuk Spesimen 1 .....	61
Gambar 4.8 Laju Korosi untuk Spesimen 2 .....	62
Gambar 4.9 Laju Korosi untuk Spesimen 3 .....	63
Gambar 4.10 Laju Korosi untuk Spesimen 4 .....	64
Gambar 4.11 Laju Korosi untuk Spesimen 5 .....	65
Gambar 4.12 Laju Korosi untuk Spesimen 6 .....	66
Gambar 4.13 SEM Spesimen 1.....	67
Gambar 4.14 SEM Spesimen 2 .....	68

## NOMENKLATUR

<u>Simbol</u>	<u>Keterangan</u>	<u>Satuan</u>
A	luas dari spesimen	$\text{in}^2$
d	massa jenis korosi	$\text{g/cm}^3$
D	massa jenis logam	$\text{g/cm}^3$
EW	berat ekuivalen jenis korosi	g
$I_{\text{corr}}$	korosi massa jenis aktual	$\mu\text{A/cm}^2$
t	waktu	s
W	berat yang hilang	g