

**ANALISIS LAJU KOROSI MATERIAL MONEL MENGGUNAKAN
METODE ELEKTROKIMIA**



UNIVERSITAS
MERCU BUANA
FAISAL YUDATAMA
41319120045

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA 2023

LAPORAN TUGAS AKHIR

ANALISIS LAJU KOROSI MATERIAL MONEL MENGGUNAKAN
METODE ELEKTROKIMIA



Nama : Faisal Yudatama
Nim : 41319120045
Program Studi : Teknik Mesin

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH
KERJA PRAKTIK PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)
(Desember) 2023

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Faisal Yudatama


Nim : 41319120045

Program Studi : Teknik Mesin


Judul Laporan Tugas Akhir : Analisis Laju Korosi Material Monel Menggunakan Metode Elektrokimia

Telah berhasil dipertahankan pada sidang dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar sarjana strata 1 pada program studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana.

Disahkan Oleh:

Pembimbing : I Gusti Ayu Arwati, Dra, MT, Ph.d ()
NIDN : 0010046408

Penguji 1 : Dr.Eng. Imam Hidayat, ST, MT. ()
NIDN : 112750348

Penguji 2 : Wiwit Suprihatinngsih, S.Si, M.Si ()
NIDN : 0307078004


Jakarta, 19 Desember (2023)

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik


Dr. Zulfia Fitri Ikatrinasari, MT.

Ketua Program Studi


Dr.Eng. Imam Hidayat, ST, MT.

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Faisal Yudatama

NIM : 41319120045

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Judul Kerja Praktik : Analisis Laju Korosi Material Monel Menggunakan Metode Elektrokimia

Dengan ini menyatakan saya melakukan Tugas Akhir dengan sesungguhnya dan hasil penulisan laporan Tugas akhir yang saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari penulisan laporan tugas akhir ini merupakan plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

MERCU BUANA

Jakarta, 19 (Desember) 2023



(Faisal Yudatama)

PENGHARGAAN

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini beserta laporannya.

Pembuatan Tugas Akhir dengan judul "Analisis Laju Korosi Material Monel Menggunakan Metode Elektrokimia" ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Mesin Universitas Mercu Buana. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, dukungan moril dan bimbingan dari berbagai pihak dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tugas Akhir ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, dengan hormat dan kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada:

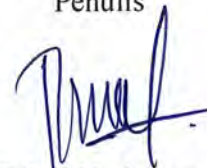
1. Bapak Prof. Dr. Ir. Andi Adriansyah, M.Eng. sebagai Rektor Universitas Mercu Buana.
2. Ibu Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, MT. sebagai dekan Fakultas Teknik.
3. Bapak Dr.Eng. Imam Hidayat, MT. sebagai ketua program studi.
4. Ibu Dra I Gusti Ayu Arwati, MT, PhD. sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir.
5. Bapak Gilang Awan Yudhistira, MT. sebagai koordinator Tugas Akhir
6. Seluruh Dosen Universitas Mercu Buana khususnya Program Studi Teknik Mesin.
7. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan semangat beserta doa.
8. Teman – teman Teknik Mesin Universitas Mercu Buana angkatan tahun 2019.
9. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dari awal sampai selesai menyelesaikan laporan Tugas akhir ini.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis berusaha semaksimal mungkin dalam menyelesaikan dengan baik. Akan tetapi, manusia tidak ada yang sempurna, maka mohon maaf jika masih terdapat kesalahan pada saat proses penyelesaian tugas akhir. Penulis memohon maaf atas segala kekurangan tersebut dan tetap membuka pintu terhadap segala saran dan kritik yang bersifat membangun serta menginspirasi bagi penulis.

Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis, institusi pendidikan dan masyarakat luas. Terima kasih.

Jakarta, Desember 2023

Penulis



Faisal Yudatama
NIM : 41319120045

ABSTRAK

Proses korosi yang terjadi pada unit penukar panas (*Heat Exchanger*) sangat kompleks dan sering kali sulit terdeteksi sampai kebocoran pipa penukar panas terjadi. Tingkat korosi tergantung pada kualitas air pendingin (kandungan konstituen-konstituen agresif seperti ion-ion Cl^- , SO_4^{2-} , gas terlarut O_2 , Cl_2 , CO_2 dan H_2S , padatan terlarut dan kesadahan), jenis material konstruksi, kondisi operasi seperti laju alir, temperatur dan pH. Pembentukan kerak pada unit penukar panas (*Heat Exchanger*) dipengaruhi oleh kesadahan kalsium (Ca), padatan terlarut total, alkalinitas total (m-alkalinitas), pH dan temperatur air pendingin. Kerak atau biofouling yang terbentuk pada permukaan pipa penukar panas dapat menyebabkan korosi sekunder yaitu korosi sumuran dikarenakan pembentukan sel perbedaan aerasi oksigen dan mempercepat serangan lokal di bawah endapan atau biofouling tersebut. Kerugian akibat korosi pada penukar panas diantaranya meliputi : penurunan efisiensi transfer panas, kontaminasi produk, pergantian material logam. Pada pengujian metode elektrokimia ini menggunakan pengujian polarisasi potensiodinamik, spesimen logam Monel 400 tanpa pelapisan coating akan diuji elektrokimia untuk mengetahui kemampuan passivasi dan menentukan laju korosi yang terjadi pada logam Monel. Pada proses elektrokimia polarisasi potensiodinamik memanfaatkan arus listrik yang mengalir dari material yang bermuatan positif yaitu platina ke logam yang bermuatan negatif yaitu logam Monel 400. Pengujian polarisasi potensiodinamik ini menggunakan potensiostat CS 350 dengan media air laut dan potensial arus sebesar -1 V hingga 1 V dengan nilai scan rate sebesar 5 mV/s.

Kata Kunci : Elektrokimia, *Heat Exchanger*, Monel 400, Potensiodinamik,

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

ANALYSIS OF THE CORROSION RATE OF MONEL MATERIAL USING ELECTROCHEMICAL METHODS

ABSTRACT

The corrosion process that occurs in heat exchanger units is very complex and is often difficult to detect until a heat exchanger pipe leak occurs. The degree of corrosion depends on the quality of the cooling water (content of aggressive constituents such as Cl^- ions, SO_4^{2-} , dissolved gases O_2 , Cl_2 , CO_2 and H_2S , dissolved solids and hardness), type of construction material, operating conditions such as flow rate, temperature and pH. Scale formation on the heat exchanger unit is influenced by calcium hardness (Ca), total dissolved solids, total alkalinity (m-alkalinity), pH and cooling water temperature. Scale or biofouling that forms on the surface of heat exchanger pipes can cause secondary corrosion, namely pitting corrosion due to the formation of oxygen aeration differences cells and accelerate local attack under the deposits or biofouling. Losses due to corrosion in heat exchangers include : decreased heat transfer efficiency, product contamination, replacement of metal materials. In testing this electrochemical method using potentiodynamic polarization testing, Monel 400 metal specimens without coating will be electrochemically tested to determine the passivation ability and determine the rate of corrosion that occurs in Monel metal. In the electrochemical process, potentiodynamic polarization utilizes an electric current that flows from a positively charged material, namely platinum, to a negatively charged metal, namely Monel 400 metal. This potentiodynamic polarization test uses a CS 350 potentiostat with sea water as a medium and a current potential of -1 V to 1 V with The scan rate value is 5 mV/s.

Keywords : Electrochemistry, Heat Exchanger, Monel 400, Potentiodynamics,

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
PENGHARGAAN	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR SIMBOL	xii
DAFTAR SINGKATAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	3
1.3. TUJUAN	4
1.4. MANFAAT	4
1.5. RUANG LINGKUP DAN BATASAN MASALAH	4
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. PENELITIAN TERDAHULU	6
2.2. <i>HEAT EXCHANGER</i> (ALAT PENUKAR PANAS)	9
2.3. <i>SURFACE KONDENSER</i>	10
2.3.1 <i>Kondenser Tipe Horizontal</i>	11
2.3.2. <i>Kondenser Tipe Vertikal</i>	11
2.4. PEMODELAN <i>KONDENSER TIPE SHELL AND TUBE</i>	11

2.5.	KEPBOCORAN PADA PIPA <i>SHELL AND TUBE KONDENSER</i>	12
2.6.	KOROSI	13
2.7.	JENIS KOROSI	14
2.7.1.	Korosi Merata (<i>Uniform Corrosion</i>)	14
2.7.2.	Korosi Tegangan (<i>Stress Corrosion Cracking</i>)	15
2.7.3.	Korosi Sumuran (<i>Pitting Corrosion</i>)	15
2.7.4.	Korosi Galvanis (<i>Galvanis Corrosion</i>)	17
2.7.5.	Korosi Celah (<i>Crevice Corrosion</i>)	17
2.7.6.	Korosi Erosi (<i>Erosion Corrosion</i>)	18
2.7.7.	Korosi Akibat Pengaruh Hidrogen (<i>Corrosion Induced Hydrogen</i>)	18
2.7.8.	Korosi Intergranular (<i>Intergranular Corrosion</i>)	18
2.7.9.	Korosi Selektif (<i>Selective Leaching Corrosion</i>)	19
2.7.10.	<i>Fretting Corrosion</i>	19
2.8.	KOROSI PADA <i>HEAT EXCHNGER</i> (ALAT PENUKAR PANAS)	20
2.9	MONEL 400	21
2.10.	LAJU KOROSI	28
2.11.	METODE ELEKTROKIMIA	29
2.12.	POLARISASI	30
2.13.	PENGUJIAN <i>SEM</i> (<i>SCANNING ELECTRON MICROSCOPE</i>)	31
2.14.	AIR LAUT	33
2.15	LARUTAN PICKLING	34
BAB III METODELOGI		36
3.1.	DIAGRAM ALIR	36
3.2.	PEMBUATAN SAMPLE	41
3.2.1.	Pemotongan Sample	41
3.2.2.	Persiapan Air Laut	43

3.2.3. Pembuatan Air Pickling	43
3.3. TAHAP PERENDAMAN MATERIAL	44
3.4. PENGUJIAN MENGGUNAKAN METODE ELEKTROKIMIA	45
3.5. PROSES PENGUJIAN SEM (<i>SCANNING ELECTRON MICROSCOPE</i>)	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	49
4.1. PENGUJIAN LAJU KOROSI DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEKTROKIMIA	49
4.2. HASIL PENGUJIAN SEM (<i>SCANNING ELECTRON MICROSCOPE</i>)	52
4.3 PEMBAHASAN	53
BAB V PENUTUP	56
5.1. KESIMPULAN	56
5.2. SARAN	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN	62



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Surface Kondenser (Mechanical Tutorial)</i>	11
Gambar 2.2 <i>Shell And Tube Kondenser Bocor</i>	13
Gambar 2.3 Diagram Puerbaix Fe Pada 25°C	14
Gambar 2.4 <i>Uniform Corrosion</i>	15
Gambar 2.5 Korosi Tegangan (<i>Stress Corrosion Cracking</i>)	15
Gambar 2.6 Korosi Sumuran (<i>Pitting Corrosion</i>)	16
Gambar 2.7 Korosi Galvanis (<i>Galvanis Corrosion</i>)	17
Gambar 2.8 Korosi Celah (<i>Crevise Corrosion</i>)	17
Gambar 2.9 Korosi Erosi (<i>Erosion Corrosion</i>)	18
Gambar 2.10 Korosi Akibat Pengaruh Hidrogen (<i>Corrosion Induced Hydrogen</i>)	18
Gambar 2.11 Korosi Intergranular (<i>Intergranular Corrosion</i>)	19
Gambar 2.12 Korosi Selektif (<i>Selective Leaching Corrosion</i>)	19
Gambar 2.13 <i>Freating Corrosion</i>	20
Gambar 2.14 Kurva polarisasi potensiodynamik siklik untuk Monel-400 setelah jam (a), 24 jam (b), dan 72 jam (c) perendaman di air laut Teluk Arab	24
Gambar 2.15 Hasil uji SEM pada larutan AGS stagnan	25
Gambar 2.16 Kurva kronoamperometri	26
Gambar 2.17 Hasil uji potensiodynamik membandingkan 316L, setelah perawatan laser, dan 316L dengan partikel BN setelah perawatan laser	27
Gambar 2.18 SEM dari hasil pengujian 316L setelah tes korosi	27

Gambar 2.19 Sel Tiga Elektroda	29
Gambar 2.20 Analisis Kurva Tafel	31
Gambar 2.21 Skema Dasar SEM	32
Gambar 2.22 Data Kandungan Air laut	34
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir	37
Gambar 3.2 Spesimen Material Monel 400	41
Gambar 3.3 Ukuran Pemotongan Spesimen Pengujian	41
Gambar 3.4 Total Pemotongan Spesimen Pengujian	42
Gambar 3.5 Proses Pengamplasan Spesimen Uji	42
Gambar 3.6 Proses Perendaman Spesimen Uji	45
Gambar 3.6 Rangkaian Alat Pengujian Polarisasi Potensiodinamik	46
Gambar 3.7 Alat Pengujian SEM	48
Gambar 4.1 Grafik Polarisasi potensiodinamik Potensial (E) Terhadap Arus (I) Monel 400 Tanpa Coating Dengan Variasi Perendaman Pada Media Air Laut	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	6
Tabel 2.2 Sifat Mekanik Paduan Monel	22
Tabel 2.3 Komposisi Paduan Monel	22
Table 2.4 Parameter hasil laju korosi yang diperoleh dari kurva CPP pada Monel - 400 dalam kondisi aerasi. Air laut Teluk Arab yang tergenang setelah interval paparan yang berbeda.	24
Tabel 2.5 Nilai Tingkat Ketahanan Berdasarkan Laju Korosi	28
Tabel 3.1 Alat Penelitian	38
Tabel 3.2 Bahan – Bahan Penelitian	39
Tabel 4.1 Hasil Analisis Tafel Potensiodinamik Monel 400 Dengan Variasi Perendaman Pada Media Air Laut	50
Tabel 4.2 Hasil Pengujian <i>SEM</i>	54

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
I_{corr}	<i>Corrosion Current</i>
E_{corr}	<i>Corrosion Potensial</i>
β_a	Anoda tafel
β_c	Katoda tafel
E_o	Nilai potensial korosi
I_o	Rapat arus korosi
Ca	Kalsium
Cu	Tembaga
Ni	Nikel
Q	Penentuan <i>heat duty</i>
Nt	Jumlah <i>tube</i>
H_2SO_4	Asam sulfat
HNO^3	Asam nitrat
HF	Hidrogen flourida
NaOH	Natrium hidroksida
$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$	Evolusi hydrogen
$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$	Reduksi oksigen Pada larutan asam
$M \rightarrow M^{n+} ne$	Penghancuran film pelindung
$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$	Keseimbangan reaksi oksigen dekat Dengan Katoda
$M^+Cl + H_2 \rightarrow MOH + H^+Cl^-$	Netralisasi muatan media air laut

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Keterangan
BRIN	Badan Riset dan Inovasi Nasional
<i>BSE</i>	<i>Back Scattered Electron</i>
<i>SE</i>	<i>Secondary Electron</i>
<i>CRT</i>	<i>Tabung Sinar Katoda</i>
<i>SCC</i>	<i>Stress Corrosion Cracking</i>
<i>SEM</i>	<i>Scanning Electron Microscope</i>
<i>Mpy</i>	<i>Mils Per Years</i>
<i>Mmpy</i>	<i>Millimeter Per Years</i>
PLTU	Pembangkit Listrik Tenaga Uap
CS 350	Corrtest 350



UNIVERSITAS
MERCU BUANA