

## **TUGAS SARJANA**

# **STUDI *IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION* PADA BAJA *AISI 1018* DENGAN MENGGUNAKAN ANODA *SCRAP STEEL* DAN PENGGUNAAN TEMBAGA SEBAGAI ANODA KEDUA PADA MEDIUM NaCl**



Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Kesarjanaan Strata Satu (S-1)  
di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

**Disusun oleh:  
RIFQY AMARTA  
L2E 004 429**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG**

**2009**

## TUGAS SARJANA

Diberikan kepada :  
Nama : Rifqy Amarta  
NIM : L2E 004 429  
Pembimbing : Ir. Budi Setiyana, MT  
Jangka Waktu : 7 (tujuh) bulan  
Judul : Studi *Impressed Current Cathodic Protection* pada Baja AISI 1018 dengan Menggunakan Anoda *Scrap Steel* dan Penggunaan Tembaga Sebagai Anoda Kedua pada Medium NaCl.  
Isi Tugas : Melakukan analisa laju korosi pada Baja AISI 1018 terhadap media pengkorosi NaCl dengan variasi arus 0,14mA dan 0,43mA dan penggunaan anoda scrap steel dan tembaga dalam jangka waktu 3 hari, 6 hari dan 9 hari.

Semarang, 4 Januari 2010

Dosen Pembimbing I



Ir. Budi Setiyana, MT  
NIP. 131 932 055

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir dengan judul “*Studi Impressed Current Cathodic Protection pada Baja AISI 1018 dengan Menggunakan Anoda Scrap Steel dan Penggunaan Tembaga Sebagai Anoda Kedua pada Medium NaCl*” telah disetujui :

Hari :

Tanggal :

Menyetujui,

Pembimbing I



Ir. Budi Setiyana, MT

NIP. 131 932 055

Mengetahui,

Koordinator Tugas Sarjana



Dr. MSK. Tony Suryo Utomo, ST. MT

NIP. 132 231 137

## ABSTRAK

Korosi adalah proses degradasi/ perusakan material khususnya logam akibat terjadinya reaksi dengan lingkungan. Korosi merupakan masalah yang sangat merugikan sehingga harus dicegah atau dikendalikan lajunya. Salah satu caranya adalah dengan menggunakan arus tanding dari sumber listrik luar atau *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP). Logam yang sering digunakan adalah baja, dan logam yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja AISI 1018. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektifitas penggunaan arus dan penggunaan anoda pada perlindungan katodik dengan arus tanding. Metode yang digunakan adalah dengan memberikan arus sebesar 0,14 mA dan 0,43 mA serta menggunakan anoda yang berbeda, yaitu dengan *scrap steel* dan tembaga, yang dicelupkan kedalam larutan NaCl 3% selama 3, 6, dan 9 hari. Dan hasil yang diperoleh dari laju korosi baja pada larutan NaCl adalah 0,1461 mm/yr. Sedangkan laju korosi dengan perlindungan katodik yang menggunakan anoda *scrap steel* pada arus 0,43 mA dan 0,14 mA masing-masing sebesar 0,0198 mm/yr dan 0,0559 mm/yr. Dan pada perlindungan katodik yang menggunakan anoda *scrap steel* dan tembaga pada arus 0,43 mA dan 0,14 mA masing-masing sebesar 0,0180 mm/yr dan 0,0505 mm/yr. Keuntungan dari penelitian ini adalah kita mengetahui nilai efektif arus dan penggunaan anoda sehingga dapat diaplikasikan untuk mengendalikan laju korosi pada struktur logam.

Kata kunci: ICCP, arus tanding, korosi, baja AISI 1018

## **ABSTRACT**

Corrosion is process of degradation or destruction of material especially metal because of reaction with its environment. Corrosion represent as problem which is very harm full so that the corrosion rate must be prevented or controlled. One of the way is by using impressed current from external electric source or Impressed Current Cathodic Protection (ICCP). Metal which often used by is steel, and metal which is used in this research is steel of AISI 018. The purpose of this research is to know the effectiveness of current usage and anode usage at cathodic protection with impressed current. The method used is by giving current equal to 0,14 mA and 0,43 mA and also use different anode, that is with scrap steel and copper, plunged into solution of Nacl 3% during 3, 6, and 9 day. And the result which is obtained from the corrosion rate of steel at solution of NaCl is 0,1461 mm/yr. While the corrosion rate with cathodic protection using scrap steel anode at current 0,43 mA and 0,14 mA each of 0,0198 mm/yr and 0,0559 mm/yr. And at cathodic protection using anode of scrap steel and cooper at current 0,43 mA and 0,14 mA each of 0,0180 mm/yr and 0,0505 mm/yr. The advantage of this research is we know the effective of value of current and usage of anode so that can applied to controlled corrosion rate of metal structure.

Key word: ICCP, impressed current, corrosion, steel AISI 1018

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Jeruntuk:*

*Ibu dan Ayah Q tercinta yang selalu memberikan kasih sayang,  
dukungan, semangat, nasehat, dan doanya sehingga Q dapat  
menjadi seseorang yang dapat dibanggakan.*

*Bulek Eny dan Eyang Putri  
yang selama @ kuliah telah menyediakan tempat tinggal  
dan membantu jika @ dalam kesulitan.*

*All my Friends  
Mechanical '04, U are d'BEST  
tHAnks 4 every thing*

## KATA PENGANTAR

Segala puji penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “**Studi *Impressed Current Cathodic Protection* pada Baja AISI 1018 dengan Menggunakan Anoda *Scrap Steel* dan Penggunaan Tembaga Sebagai Anoda Kedua pada Medium NaCl**”.

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat untuk menyelesaikan studi Strata-1 (S-1) di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang. Penyusunan Tugas Akhir ini tidak akan terlaksana tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Budi Setiyana, MT selaku dosen pembimbing, yang telah meluangkan waktu dan tenaganya untuk memberikan masukan, arahan, saran serta bimbingan dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. AP. Bayuseno, MSc. yang telah meluangkan waktu dan tenaganya untuk memberikan masukan dan bimbingannya dalam menyelesaikan Tugas akhir ini.
3. Bapak Margono, selaku laboran Metalurgi, yang juga telah banyak membantu baik dalam bentuk masukan, saran, dan lainnya.
4. Semua pihak yang tidak dapat penyusun sebutkan satu per satu yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu dalam menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir.

Penyusun sadar bahwa laporan Tugas Akhir ini mungkin masih belum sempurna. Kritik, saran dan masukan akan sangat dihargai. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Semarang, 4 Januari 2010

Rifqy Amarta

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN TUGAS SARJANA .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT .....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
NOMENKLATUR .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Metode Penelitian .....	3
1.5. Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II DASAR TEORI</b>	
2.1. Korosi .....	5
2.2. Reaksi Elektrokimia .....	7
2.2.1. Reaksi Oksidasi/ Reaksi Anodik .....	7
2.2.2. Reaksi Reduksi/ Reaksi Katodik .....	8
2.3. Standard Electrode Half-Cell Potential .....	9
2.4. Sel Galvanis .....	11
2.4.1. Sel Galvanis dengan Konsentrasi Larutan 1 M .....	11
2.4.2. Sel Galvanis dengan Konsentrasi Larutan tidak 1 M .....	12
2.4.3. Rangkaian Sel Galvanis .....	12
2.4.4. Energi Bebas ( <i>Free Gibbs Energy</i> ) .....	13
2.5. Diagram E/pH ( <i>Pourbaix</i> ) .....	14

2.6. Laju Korosi .....	15
2.7. Polarisasi .....	16
2.7.1. Aktifasi Polarisasi .....	16
2.7.2. Kosentrasi Polarisasi .....	17
2.8. Pasifasi .....	18
2.9. Jenis-jenis Korosi .....	20
2.9.1. Korosi Seragam ( <i>Uniform or General Attack Corrosion</i> ) ...	20
2.9.2. Korosi Dwi-Logam ( <i>Galvanic or Two-Metal Corrosion</i> ) ...	21
2.9.3. Korosi Celah ( <i>Crevice Corrosion</i> ) .....	21
2.9.4. Korosi Sumuran ( <i>Pitting Corrosion</i> ) .....	22
2.9.5. Korosi Batas Butir ( <i>Intergranular Corrosion</i> ) .....	23
2.9.6. Korosi Peluluhan Selektif ( <i>Selective Leaching Corrosion</i> )..	24
2.9.7. Korosi Erosi ( <i>Erosion Corrosion</i> ) .....	24
2.9.8. Korosi Retak Tegang ( <i>Stress Corrosion Cracking</i> ) .....	25
2.9.9. Perusakan Hidrogen ( <i>Hidrogen Damage</i> ) .....	26
2.10. Efek Lingkungan Terhadap Laju Korosi .....	26
2.10.1. Pengaruh Atmosfir Lingkungan dan Kandungan Oksigen...	26
2.10.2. Pengaruh Kecepatan .....	28
2.10.3. Pengaruh Temperatur .....	29
2.10.4. Pengaruh Konsentrasi .....	29
2.10.5. Efek Hubungan Galvanis .....	30
2.11. Pencegahan Korosi .....	31
2.12. Perlindungan Katodik .....	33
2.12.1. Anoda Korban ( <i>Sacrificial Anode</i> ) .....	34
2.12.2. Arus Tanding ( <i>Impressed Current Cathodic Protection</i> ) ....	35
2.13. Pemilihan Anoda .....	37
2.14. Sifat Korosi Baja Karbon .....	38

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1. Diagram Alir Penelitian .....	40
3.2. Persiapan Benda Uji .....	41
3.2.1. Baja Karbon (Struktur yang dilindungi) .....	41

3.2.2. Elektroda (Anoda) .....	42
3.3. Persiapan Alat Pengujian .....	43
3.4. Pengujian Benda Uji .....	46
3.4.1. Pengujian Laju Korosi .....	47
3.4.2. Perhitungan Laju Korosi .....	49
3.4.3. Pengujian Metalografi .....	49

#### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1. Laju Korosi .....	55
4.2. Data Pengujian dan Perhitungan Laju Korosi .....	56
4.2.1. Pengolahan Data Pengujian Laju Korosi .....	56
4.2.2. Analisa Perhitungan Laju Korosi .....	66
4.3. Metalografi .....	72
4.3.1. Gambar Mikrografi .....	72
4.3.2. Analisa Mikrografi .....	75

#### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1. Kesimpulan .....	77
5.2. Saran .....	78

#### **DAFTAR PUSTAKA**

#### **LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Standart Emf Series .....	11
Tabel 2.2.	Deret Galvanis pada beberapa logam dalam air laut .....	13
Tabel 2.3.	Perbandingan mil per year (mpy) dengan satuan laju korosi ekuivalen dalam dimensi yang berbeda .....	16
Tabel 2.4.	Bahan-bahan anoda korban dan sifat masing-masing .....	34
Tabel 2.5.	Kebutuhan arus untuk perlindungan katodik pada baja .....	36
Tabel 2.6.	Perbandingan penggunaan anoda untuk perlindungan katodik anoda korban dengan arus tanding .....	38
Tabel 3.1.	Komposisi baja karbon HQ 7210 .....	41
Tabel 3.2.	Sifat mekanik baja karbon HQ 7210 .....	42
Tabel 3.3.	Pengkodean benda uji baja karbon .....	42
Tabel 3.4.	Komposisi Scrap steel .....	42
Tabel 4.1.	Data laju korosi pada baja NICP .....	56
Tabel 4.2.	Data laju korosi baja pada Glv-1 .....	57
Tabel 4.3.	Data laju korosi baja pada Glv-2 .....	57
Tabel 4.4.	Data laju korosi baja pada dengan ICPA-1 .....	57
Tabel 4.5.	Data laju korosi baja pada dengan ICPA-2 .....	57
Tabel 4.6.	Data laju korosi baja pada dengan ICPB-1 .....	58
Tabel 4.7.	Data laju korosi baja pada dengan ICPB-2 .....	58
Tabel 4.8.	Data laju korosi seluruh spesimen baja pada pengujian korosi .....	65

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Reaksi kimia pada permukaan logam yang dicelupkan dalam larutan	5
Gambar 2.2.	Proses pengkorosian material .....	6
Gambar 2.3.	Proses pengkorosian material .....	7
Gambar 2.4.	Standart penunjuk setengah sel hidrogen .....	10
Gambar 2.5.	Sel Galvanis dengan elektroda besi dan seng yang tercelup dalam 1M larutan .....	11
Gambar 2.6.	Diagram E/pH (Pourbaix) untuk besi dalam air .....	15
Gambar 2.7.	Reaksi reduksi Hidrogen di bawah kendali aktivasi .....	17
Gambar 2.8.	Kosentrasi Polarisasi saat terjadi reduksi Hidrogen .....	18
Gambar 2.9.	Laju korosi logam sebagai fungsi dari potensial electron .....	19
Gambar 2.10.	Karakteristik korosi pada logam aktif-pasif sebagai fungsi potensial elektroda .....	19
Gambar 2.11.	Korosi Seragam .....	20
Gambar 2.12.	Korosi Dwi logam .....	21
Gambar 2.13.	Korosi Celah .....	22
Gambar 2.14.	Korosi Sumuran .....	22
Gambar 2.15.	Korosi Batas Butir .....	23
Gambar 2.16.	Korosi Erosi .....	25
Gambar 2.17.	Korosi Retak Tegang .....	25
Gambar 2.18.	Pengaruh oksigen dan aerasi terhadap laju korosi .....	28
Gambar 2.19.	Pengaruh kecepatan medium terhadap laju korosi .....	29
Gambar 2.20.	Pengaruh temperatur terhadap laju korosi .....	29
Gambar 2.21.	Pengaruh konsentrasi larutan terhadap laju korosi .....	30
Gambar 2.22.	Pengaruh hubungan galvanis terhadap laju korosi .....	30
Gambar 2.23.	Cara umum dalam pengendalian korosi .....	31
Gambar 2.24.	Perlindungan katodik dengan anoda korban Magnesium .....	34
Gambar 2.25.	Perlindungan katodik dengan arus tanding .....	35
Gambar 2.26.	Arus liar yang dihasilkan perlindungan katodik .....	36
Gambar 2.27.	Pencegahan korosi arus liar dengan desain yang tepat .....	37

Gambar 3.1.	Diagram alir penelitian .....	40
Gambar 3.2.	Benda uji batang baja karbon .....	41
Gambar 3.3.	Dimensi anoda scrap steel .....	42
Gambar 3.4.	Dimensi anoda pengendali paduan tembaga .....	43
Gambar 3.5.	Gambar elektroda yang digunakan (a) baja AISI 1018, (b) tembaga, (c) scrap steel .....	43
Gambar 3.6.	Bak pengujian .....	44
Gambar 3.7.	DC <i>power suplay</i> sebagai sumber arus (Rectifier) .....	44
Gambar 3.8.	Timbangan digital .....	45
Gambar 3.9.	pH meter .....	45
Gambar 3.10.	Hair dryer .....	45
Gambar 3.11.	Multimeter .....	46
Gambar 3.12.	Vernier caliper .....	46
Gambar 3.13.	Desain tataletak anoda dalam ICCP .....	46
Gambar 3.14.	Amplas segala ukuran (kiri), Beludru (kanan) .....	49
Gambar 3.15.	Mesin polis .....	50
Gambar 3.16.	Autosol .....	50
Gambar 3.17.	HNO <sub>3</sub> .....	50
Gambar 3.18.	Gelas kimia, cawan porselen+pipet, tabung kimia .....	51
Gambar 3.19.	Aquades .....	51
Gambar 3.20.	Hair dryer .....	51
Gambar 3.21.	Mikroskop dan kamera .....	52
Gambar 3.22.	Diagram alir pengujian mikrografi .....	54
Gambar 4.1.	Grafik berat baja yang hilang pada uji korosi NICP .....	58
Gambar 4.2.	Grafik berat baja dan <i>scrap steel</i> yang hilang pada uji korosi Glv-1	59
Gambar 4.3.	Grafik berat baja dan <i>scrap steel</i> yang hilang pada uji korosi Glv-2	59
Gambar 4.4.	Grafik berat baja dan <i>scrap steel</i> yang hilang pada uji korosi ICPA-1 .....	60
Gambar 4.5.	Grafik berat baja dan <i>scrap steel</i> yang hilang pada uji korosi ICPA-2 .....	60

Gambar 4.6. Grafik berat baja dan <i>scrap steel</i> yang hilang pada uji korosi ICPB-1 .....	61
Gambar 4.7. Grafik berat baja dan <i>scrap steel</i> yang hilang pada uji korosi ICPB-2 .....	61
Gambar 4.8. Grafik laju korosi baja pada uji korosi NICP .....	62
Gambar 4.9. Grafik laju korosi baja pada uji korosi Glv-1 .....	62
Gambar 4.10. Grafik laju korosi baja pada uji korosi Glv-2 .....	63
Gambar 4.11. Grafik laju korosi baja pada uji korosi ICPA-1 .....	63
Gambar 4.12. Grafik laju korosi baja pada uji korosi ICPA-2 .....	64
Gambar 4.13. Grafik laju korosi baja pada uji korosi ICPB-1 .....	64
Gambar 4.14. Grafik laju korosi baja pada uji korosi ICPB-2 .....	65
Gambar 4.15. Grafik perbandingan laju korosi semua spesimen uji .....	66
Gambar 4.16. Mikrografi baja tanpa perlindungan khatodik dengan perbesaran 500x .....	72
Gambar 4.17. Mikrografi baja pada percobaan korosi Glv-1 dengan perbesaran 500x .....	72
Gambar 4.18. Mikrografi baja pada percobaan korosi Glv-2 dengan perbesaran 500x .....	73
Gambar 4.19. Mikrografi baja pada uji korosi ICPA-1 dengan perbesaran 500x ....	73
Gambar 4.20. Mikrografi baja pada uji korosi ICPA-2 dengan perbesaran 500x ....	74
Gambar 4.21. Mikrografi baja pada uji korosi ICPB-1 dengan perbesaran 500x ....	74
Gambar 4.22. Mikrografi baja pada uji korosi ICPB-1 dengan perbesaran 500x ....	75
Gambar 4.23. Beberapa bentuk dari korosi sumuran ( <i>pitting corrosion</i> ) .....	76

## NOMENKLATUR

$\Delta G$	: Energi bebas
A	: Luas specimen
D	: Masa jenis spesimen
F	: Konstanta Faraday
n	: Jumlah elektron
MPY	: Laju korosi mil per tahun
mm/yr	: Laju korosi millimeter per tahun
T	: Suhu
V	: Potensial
w	: Kerja listrik
W	: berat specimen