



**PENGARUH RASIO LUAS PERMUKAAN KATODA  
TERHADAP LAJU KOROSI BAJA A36 DENGAN  
METODE PROTEKSI KATODIK  
PADA MEDIA AIR LAUT**

**SKRIPSI**

Oleh

**Mochamad Ody Alfaris  
NIM 131910101014**

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2020**



**PENGARUH RASIO LUAS PERMUKAAN KATODA  
TERHADAP LAJU KOROSI BAJA A36 DENGAN  
METODE PROTEKSI KATODIK  
PADA MEDIA AIR LAUT**

**SKRIPSI**

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

Oleh

**Mochamad Ody Alfaris  
NIM 131910101014**

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2020**

## PERSEMBAHAN

Segala puji syukur kepada Allah SWT serta dengan penuh rasa syukur dan kerendahan hati skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Allah SWT atas segala berkat, rahmat, serta hidayahnya, serta kepada junjungan kita Nabi Muhammad SWT.
2. Ayahanda tercinta Edy sungkono dan ibunda tercinta Ida Yuniasih yang selalu memberikan do'a, semangat, dan kasih sayang yang tiada henti-hentinya.
3. Kakak saya tercinta Rahmadaniar Aditya Putri S.Kep.,M.Tr.Kep dan Yoga Daniel, Amd yang selalu menjadi motivasi terbaik.
4. Seluruh keluarga besar Alm. Adi Suwito dan Alm. Lamin Adi Prayitno yang selalu memberikan dukungan secara fisik ataupun materil.
5. Seluruh dosen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang selalu memberikan ilmu dan wawasannya. Bapak Sumarji, S.T, M.T. selaku dosen pembimbing utama dan bapak Santoso mulyadi S.T, M.T. selaku pembimbing anggota yang senantiasa meluangkan waktu dan memberikan arahan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Bapak Mochamad Edoward Ramadhan, S.T, M.T. selaku dosen penguji utama dan bapak Rahma Rei Sakura, S.T, M.T. selaku dosen penguji anggota yang telah banyak memberikan saran sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
6. Keluarga besar Teknik Mesing angkatan 2013 yang senantiasa menjadi sahabat, teman dan keluarga.
7. Akhmad Faisol, S.T. dan Muhamad Royan alfi Rosyidin, S.T. yang telah membantu terselesainya skripsi ini.
8. Ritha Febrianti, S.Ptk selaku pendamping skripsi yang selalu menjadi motivator terbaik dan senantiasa memberikan semangat yang luar biasa, semoga selalu dalam lindungannya dan diberikan kesuksesan dunia akhirat.
9. Almamater Universitas Jember yang sangat saya banggakan.

**MOTTO**

“Jalani Hidup seperti air yang mengalir”  
(Mochamad Ody Alfaris)

“Barang siapa yang mempelajari ilmu pengetahuan yang seharusnya ditunjukkan untuk mencari ridho Allah bahkan hanyu untuk mendapatkan kedudukan/kekayaan duniawi maka ia tidak akan mendapatkan baunya surga nanti pada hari kiamat”  
(Abu Hurarirah Radhiallahu Anhu)

“Apa arti ijazah yang bertumpuk, jika kepedulian dan kepekaan tidak ikut dipupuk. Apa gunanya sekolah tinggi-tinggi, jika hanya perkaya diri sendiri dan family.”  
(Najwa Shihab)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mochamad Ody Alfaris

NIM : 131910101014

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Rasio Permukaan Katoda Terhadap Laju Korosi Baja A36 Dengan Metode Proteksi Katodik Pada 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. 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 manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 23 Juni, 2020

Yang menyatakan,

(Mochamad Ody Alfaris)

131910101014

**PENGESAHAN**

Skripsi yang berjudul "PENGARUH RASIO LUAS PERMUKAAN KATODA TERHADAP LAJU KOROSI BAJA A36 DENGAN METODE PROTEKSI KATODIK PADA MEDIA AIR LAUT" telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Rabu, 23 Juni 2020

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen pembimbing Anggota,

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

Santoso Mulyadi, S.T., M.T.  
NIP. 197002281997021001

Penguji I,

Penguji II,

Mochamad Edoward. R, S.T., M.T.  
NIP. 198704302014041001

Rahma Rei Sakura, S.T., M.T.  
NIP. 197510062002121002

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah M. UM.

NIP 19661215 199503 2 001

## RINGKASAN

**Pengaruh Pengaruh Rasio Permukaan Katoda Terhadap Laju Korosi Baja A36 Dengan Metode Proteksi Katodik Pada Media Air Laut;** Mochamad Ody Alfaris, 131910101014; 2020; 59 halaman; Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Korosi adalah reaksi kimia antara logam dengan lingkungan. Logam yang terserang korosi akan mengalami penurunan kualitas sifat fisik dan mekaniknya, selain itu korosi akan menurunkan umur logam. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menghambat laju korosi adalah proteksi anoda korban. Proteksi anoda korban yaitu proteksi yang dilakukan dengan menghubungkan logam baja dengan logam yang memiliki nilai standar elektroda lebih negatif pada media elektrolit. Logam baja yang kurang aktif menerima proteksi katodik pada permukaannya karena adanya aliran arus melalui elektrolit dan menerima elektron.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi rasio luas permukaan katoda dengan menggunakan anoda terhadap laju korosi baja A36 pada media air laut, penelitian ini menggunakan variasi anoda alumunium ukuran 4 x 4 cm, anoda seng ukuran 4 x 4 cm, dan baja A36 ukuran 4 x 4 cm, 4 x 8 cm 4 x 12 cm, dengan interval waktu perendaman selama 28 hari.

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli 2019 sampai dengan bulan November 2019 yang dilakukan di Laboratorium Uji Material Fakultas Teknik Universitas Jember untuk proses observasi mikro dan Laboratorium Kimia Biologi Fakultas Farmasi Universitas Jember untuk proses penimbangan berat spesimen baja A36, anoda seng dan anoda aluminium.

Berdasarkan data hasil penelitian laju korosi terendah diperoleh pada variasi baja A36 luas katoda 4 x 4 cm dengan proteksi alumunium dengan rata-rata laju korosi 0.0921 mm/tahun dengan prosentase kinerja anoda korban terhadap baja A36.

## SUMMARY

**The Effect of The Cathode Surface Area Ratio on the Corrosion Rate of A36 Steel With Cathodic Protection Methods in Seawater;** Mochamad Ody Alfaris, 131910101014; 2020; 59 pages; Mechanical Engineering Departement, Faculty of Engineering, University of Jember.

Corrosion is the reaction of chemicals between metals and the environment. Metals that are attacked by corrosion will experience a decrease in the quality of their physical and mechanical properties, besides that corrosion will reduce metal life. One method that can be used to inhibit the rate of corrosion is sacrificial anode protection. Victim anode protection is protection made by connecting steel with metal which has a more negative electrode standard on the electrolyte media. The less active steel metal receives cathodic protection on its surface because of the current flowing through the electrolyte and receiving electrons.

This research was conducted to determine the effect of variations in the surface area of the cathode using variations of aluminum anode size 4 x 4 cm, zinc anode size 4 x 4 cm, and A36 steel size 4 x 4 cm, 4 x 8 cm 4 x 12 cm, with intervals immersion time for 28 days.

This research was carried out in July 2019 until November 2019 which was conducted at the Material Testing Laboratory of the Faculty of Engineering University of Jember for micro observation and the Laboratory of Biological Chemistry Faculty of Pharmacy University of Jember for the weighing of A36 steel specimens, zinc anodes and aluminum anodes.

Based on the research results, the lowest corrosion rate was obtained in the variation of A36 steel with 4 x 4 cm cathode area with aluminum protection with an average corrosion rate of 0.0921 mm / year with the percentage of sacrificial anode performance on A36 steel.



## PRAKATA

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Rasio Luas Permukaan katoda Terhadap Laju Korosi Baja A36 Dengan metode Proteksi Katodik Pada Media Air Laut”. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Dalam proses penelitian dan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Hari Arbiantara, S.T, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Dr. Ir. Salahudin Junus S.T., M.T. selaku ketua prodi S1 Fakultas Teknik Mesin Universitas Jember Bapak Sumarji, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama;
3. Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T. selaku Dosen pembimbing Anggota;
4. Bapak Mochamad Edoward. R, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama;
5. Bapak Rahma Rei Sakura, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji anggota;
6. Ayah, dan ibu saya yang selalu memberikan do'a, semangat, dan kasih sayang yang tiada henti-hentinya;
7. Kakak saya yang selalu menjadi motivasi untuk menjadi lebih baik;
8. Seluruh keluarga besar Alm. Adi suwito dan Alm. Lamin Adi Prayitno yang selalu memberikan dukungan baik fisi ataupun materil;
9. Saudaraku Ahkmad, Muhamad Royan alfi Rosyidin, S.T. dan keluarga besar TM 13 yang selalu menjadi motivator terbaik;
10. Almamater Universitas Jember yang saya banggakan dan cintai;

Jember, 23 Juni 2020

Penulis

**DAFTAR ISI**

|  |             |
|--|-------------|
| Halaman  |             |
| <b>HALAMAN SAMPUL</b> .....                                  | <b>i</b>    |
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....                                   | <b>ii</b>   |
| <b>PERSEMBAHAN</b> .....                                     | <b>iii</b>  |
| <b>MOTTO</b> .....   | <b>iv</b>   |
| <b>PERNYATAAN</b> .....                                      | <b>v</b>    |
| <b>PENGESAHAN</b> .....                                      | <b>vi</b>   |
| <b>RINGKASAN</b> .....                                       | <b>vii</b>  |
| <b>SUMMARY</b> .....   | <b>viii</b> |
| <b>PRAKATA</b> .....   | <b>ix</b>   |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                                      | <b>x</b>    |
| <b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....                              | <b>1</b>    |
| <b>1.1 Latar Belakang</b> .....                              | <b>1</b>    |
| <b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....                             | <b>2</b>    |
| <b>1.3 Batasan Masalah</b> .....                             | <b>2</b>    |
| <b>1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian</b> .....               | <b>3</b>    |
| 1.4.1 Tujuan.....  | 3           |
| 1.4.2 Manfaat.....   | 3           |
| <b>1.5 Hipotesis</b> .....                                   | <b>3</b>    |
| <b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....                         | <b>4</b>    |
| <b>2.1 Pengertian Korosi</b> .....                           | <b>4</b>    |
| <b>2.2 Prinsip Terjadinya korosi</b> .....                   | <b>4</b>    |
| <b>2.3 Faktor-faktor yang mempengaruhi laju korosi</b> ..... | <b>6</b>    |
| 2.3.1 Sifat Material .....                                   | 6           |
| 2.3.2 Faktor Lingkungan .....                                | 6           |
| <b>2.4 Macam-macam korosi</b> .....                          | <b>8</b>    |
| 2.4.1 korosi Galvanis ( <i>Bemetal corrosion</i> ) .....     | 8           |
| 2.4.2 Korosi Erosi ( <i>Errosion Corrosion</i> ) .....       | 9           |
| 2.4.3 Korosi Tegangan ( <i>Stress Corrosion</i> ).....       | 9           |

|               |   |           |
|---------------|---|-----------|
| 2.4.4         | Korosi Celah ( <i>Crevice Corrosion</i> ) .....                                     | 10        |
| 2.4.5         | Korosi Sumuran ( <i>paitting Corrosion</i> ) .....                                  | 10        |
| <b>2.5</b>    | <b>Proteksi Katodik .....</b>   | <b>12</b> |
| 2.5.1         | Arus Paksa .....  | 12        |
| 2.5.2         | Metode Arus Terpasang ( <i>Impressed Current</i> ).....                             | 13        |
| 2.5.3         | Metode Anoda Korban ( <i>Sacrificial Anode</i> ).....                               | 13        |
| <b>2.6</b>    | <b>Baja .....</b>   | <b>16</b> |
| 2.6.1         | Baja Secara Umum .....  | 16        |
| 2.6.2         | Baja A36.....   | 18        |
| <b>2.7</b>    | <b>Bahan Anoda Korban.....</b>  | <b>19</b> |
| 2.7.1         | Aluminium.....  | 19        |
| 2.7.2         | Seng (Zinc) .....   | 19        |
| <b>2.8</b>    | <b>Air Laut .....</b>   | <b>20</b> |
| 2.8.1         | Organisme laut .....  | 20        |
| 2.8.2         | Salinitas .....   | 21        |
| <b>2.9</b>    | <b>Pengendalian Korosi.....</b>   | <b>21</b> |
| <b>2.10</b>   | <b>Deret Galvanik .....</b>   | <b>21</b> |
| <b>2.11</b>   | <b>Perhitungan Laju Korosi Pelat baja dengan perlindungan<br/>Anoda Korban.....</b> | <b>23</b> |
| <b>2.12</b>   | <b>Metode Kehilangan Berat (<i>Weight Loss</i>) .....</b>                           | <b>24</b> |
| <b>2.13</b>   | <b>Perhitungan Kebutuhan Anoda.....</b>   | <b>26</b> |
| <b>BAB 3.</b> | <b>METODE PENELITIAN.....</b>   | <b>28</b> |
| <b>3.1</b>    | <b>Waktu dan Tempat.....</b>  | <b>28</b> |
| <b>3.2</b>    | <b>Alat dan Bahan.....</b>  | <b>28</b> |
| 3.2.1         | Alat .....  | 28        |
| 3.2.2         | Bahan.....  | 28        |
| <b>3.3</b>    | <b>Variabel Pengukuran .....</b>  | <b>29</b> |
| 3.3.1         | Variabel bebas atau variable penyebab ( <i>dependent variables</i> )<br>.....       | 29        |
| 3.3.2         | Variabel terikat atau variable tergantung ( <i>dependent variables</i> )<br>.....   | 29        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3.4 Diagram Alir Penelitian .....</b>  | <b>30</b> |
| <b>3.5 Prosedur Penelitian.....</b>   | <b>30</b> |
| 3.5.1 Persiapan pengujian.....  | 30        |
| 3.5.2 Penyusunan spesimen.....  | 31        |
| 3.5.3 Pengujian spesimen .....  | 31        |
| 3.5.4 Persiapan spesimen.....   | 32        |
| 3.5.5 Pengambilan data .....  | 33        |
| <b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>  | <b>35</b> |
| <b>4.1 Data Hasil penelitian .....</b>  | <b>35</b> |
| <b>4.2 Analisis Laju Korosi .....</b>   | <b>35</b> |
| 4.2.1 Analisis laju korosi baja A36 tanpa anoda korban .....  | 35        |
| 4.2.2 Analisis laju korosi baja A36 luas katoda 4 x 4 dengan proteksi<br>aluminium. ....                      | 36        |
| 4.2.3 Analisis laju korosi baja A36 luas katoda 4 x 8 dengan proteksi<br>aluminium. ....                      | 37        |
| 4.2.4 Analisis laju korosi baja A36 dengan luas katoda ukuran 4 x<br>12 cm dengan proteksi aluminium.....     | 38        |
| 4.2.5 Analisis laju korosi baja A36 luas katoda 4 x 4 dengan proteksi<br>seng .....                           | 39        |
| 4.2.6 Analisis laju korosi baja A36 luas katoda 4 x 8 cm dengan<br>proteksi seng .....                        | 40        |
| 4.2.7 Analisis laju korosi baja A36 dengan luas katoda ukuran 4 x 12<br>cm dengan proteksi seng.....          | 41        |
| 4.2.8 Anlisa perbedaan laju korosi pada setiap variasi anoda korban<br>.....                                  | 42        |
| <b>4.3 Observasi Struktur Makro .....</b>   | <b>43</b> |
| 4.3.1 Analisis struktur makro baja A36 tanpa anoda korban.....  | 45        |
| 4.3.2 Analisis struktur makro baja A36 dengan proteksi anoda<br>korban seng dengan ukuran 4 x 4 cm .....      | 48        |
| 4.3.3 Analisis struktur makro baja A36 dengan proteksi anoda<br>korban aluminium dengan ukuran 4 x 4 cm ..... | 50        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>4.4 Observasi Struktur Mikro .....</b>                                     | <b>54</b> |
| 4.4.1 Mekanisme dan analisis struktur mikro baja A36 tanpa anoda korban ..... | 55        |
| 4.4.2 Analisis struktur mikro baja A36 dengan anoda korban seng .....         | 56        |
| 4.4.3 Analisis struktur mikro baja A36 dengan anoda korban aluminium .....    | 57        |
| <b>BAB 5. PENUTUP.....</b>  | <b>59</b> |
| <b>5.1 Kesimpulan.....</b>  | <b>59</b> |
| <b>5.2 Saran .....</b>  | <b>60</b> |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>   | <b>61</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>  | <b>64</b> |

**DAFTAR GAMBAR**

|  |    |
|--|----|
| Gambar 2.1 Sel Korosi (Fadly, 2010) .....  | 5  |
| Gambar 2.2 Korosi galvanis (Utomo, 2009).....  | 8  |
| Gambar 2.3 Korosi Erosi (Utomo, 2009).....   | 9  |
| Gambar 2.4 Korosi Tegangan (Utomo, 2009) .....   | 9  |
| Gambar 2. 5 Korosi celah (Utomo, 2009).....  | 10 |
| Gambar 2.6 Korosi sumuran (Utomo, 2009) .....  | 11 |
| Gambar 2.7 Foto struktur mikro korosi sumuran (Sumarji, 2012) .....                    | 11 |
| Gambar 2.8 Foto struktur mikro korosi uniform (Sumarji, 2012) .....                    | 11 |
| Gambar 2.9 Proteksi Katodik Impressed Current (Gunaatmaja, 2011) .....                 | 13 |
| Gambar 2.10 Proteksi Katodik Anoda Korban (Gunaatmaja, 2011) .....                     | 13 |
| Gambar 2. 11 Klasifikasi Baja .....  | 17 |
| Gambar 2.12 Proses terjadinya korosi galvanic (Wibowo, 2016) .....                     | 22 |
| Gambar 2.13 Deret galvanik .....   | 23 |
| Gambar 2.14 Kupon untuk analisa kehilangan berat (Chodijah, 2008).....                 | 25 |
| Gambar 2.15 Kupon yang terkorosi (Chodijah, 2008).....                                 | 26 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....   | 30 |
| Gambar 3.2 luas permukaan katoda dibandingkan anoda.....                               | 32 |
| Gambar 4.1 Laju korosi spesimen baja A36 tanpa anoda korban.....                       | 35 |
| Gambar 4.2 Laju korosi spesimen baja A36 dengan luas katoda 4 x 4 (cm).....            | 36 |
| Gambar 4.3 Laju korosi spesimen baja A36 dengan luas katoda ukuran 4 x 8 (cm)<br>..... | 37 |
| Gambar 4.4 Laju korosi spesimen baja A36 dengan luas katoda 4 x 12 cm.....             | 38 |
| Gambar 4.5 Laju korosi spesimen baja A36 dengan luasan katoda 4 x 4 cm (seng)<br>..... | 39 |
| Gambar 4.6 Laju korosi spesimen baja A36 dengan luasan katoda 4 x 8 cm (seng)<br>..... | 40 |
| Gambar 4.7 Laju korosi spesimen baja A36 dengan luasan katoda 4 x 12 cm(seng<br>.....  | 41 |

|   |    |
|---|----|
| Gambar 4.8 Laju korosi spesimen baja A36 pada setiap interval waktu pengangkatan.....   | 42 |
| Gambar 4.9 Sebelum proses perendaman tanpa anoda (A) Baja A36 ukuran 4 x 4 cm (B) Baja A36 ukuran 4 x 8 cm (C) Baja A36 ukuran 4 x 12 cm.....             | 44 |
| Gambar 4.10 Sebelum proses perendaman (A) Baja A36 ukuran 4 x 4cm (B) Baja A36 ukuran 4 x 8 cm (C) Baja A36 ukuran 4 x 12 cm dengan anoda seng.....       | 44 |
| Gambar 4.11 Sebelum proses perendaman (A) Baja A36 ukuran 4 x 4cm (B) Baja A36 ukuran 4 x 8 cm (C) Baja A36 ukuran 4 x 12 cm dengan anoda alumunium ..... | 45 |
| Gambar 4.12 Pengangkatan Baja A36 (A) Ukuran 4 x 4 cm (B) Ukuran 4 x 8 cm (C) Ukuran 4 x 12 tanpa anoda hari ke 7 .....                                   | 46 |
| Gambar 4.13 Pengangkatan Baja A36 (A) Ukuran 4 x 4 cm (B) Ukuran 4 x 8 cm (C) Ukuran 4 x 12 cm tanpa anoda hari ke 14 .....                               | 46 |
| Gambar 4.14 Pengangkatan Baja A36 (A) Ukuran 4 x 4 cm (B) Ukuran 4 x 8 cm (C) Ukuran 4 x 12 cm tanpa anoda hari ke 21 .....                               | 47 |
| Gambar 4.15 Pengangkatan Baja A36 (A) Ukuran 4 x 4 cm (B) Ukuran 4 x 8 cm (C) Ukuran 4 x 12 cm tanpa anoda hari ke 28 .....                               | 47 |
| Gambar 4.16 Pengangkatan Baja A36 (A) Ukuran 4 x 4 cm (B) Ukuran 4 x 8 cm (C) Ukuran 4 x 12 cm dengan anoda seng hari ke 7 .....                          | 48 |
| Gambar 4.17 Pengangkatan Baja A36 (A) Ukuran 4 x 4 cm (B) Ukuran 4 x 8 cm (C) Ukuran 4 x 12 cm dengan anoda seng hari ke 14 .....                         | 49 |
| Gambar 4.18 Pengangkatan Baja A36 (A) Ukuran 4 x 4 cm (B) Ukuran 4 x 8 cm (C) Ukuran 4 x 12 cm dengan anoda seng hari ke 21 .....                         | 49 |
| Gambar 4.19 Pengangkatan Baja A36 (A) Ukuran 4 x 4 cm (B) Ukuran 4 x 8 cm (C) Ukuran 4 x 12 cm dengan anoda seng hari ke 28 .....                         | 50 |
| Gambar 4.20 Pengangkatan Baja A36 (A) Ukuran 4 x 4 cm (B) Ukuran 4 x 8 cm (C) Ukuran 4 x 12 cm dengan anoda alumunium hari ke 7 .....                     | 51 |
| Gambar 4.21 Pengangkatan Baja A36 (A) Ukuran 4 x 4 cm (B) Ukuran 4 x 8 cm (C) Ukuran 4 x 12 cm dengan anoda alumunium hari ke 14 .....                    | 52 |
| Gambar 4.22 Pengangkatan Baja A36 (A) Ukuran 4 x 4 cm (B) Ukuran 4 x 8 cm (C) Ukuran 4 x 12 cm dengan anoda alumunium hari ke 21 .....                    | 52 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 4.23 Pengangkatan Baja A36 (A) Ukuran 4 x 4 cm (B) Ukuran 4 x 8 cm (C) Ukuran 4 x 12 cm dengan anoda alumunium hari ke 28 ..... | 53 |
| Gambar 4.24 Mekanisme proteksi katodik .....   | 53 |
| Gambar 4.25 Foto mikro baja A36 sebelum proses perendaman .....  | 54 |
| Gambar 4.26 Mekanisme korosi uniform (merata).....   | 54 |
| Gambar 4.27 Mekanisme dan foto mikro baja A36 tanpa anoda korban.....  | 55 |
| Gambar 4.28 Foto mikro baja A36 dengan proteksi anoda seng ukuran (A) 4 x 4 cm, (B) 4 x 8 cm, (C) 4 x 12 cm .....                      | 56 |
| Gambar 4.29 Foto mikro baja A36 dengan proteksi anoda aluminium ukuran (A) 4 x 4 cm, (B) 4 x 8 cm, (C) 4 x 12 cm .....                 | 57 |



**DAFTAR TABEL**

|   |    |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Beda Potensial (Gunaatnaja, 2011).....   | 14 |
| Tabel 2.2 Komposisi dan Sifat Anoda Korban().....   | 15 |
| Tabel 2.3 Komposisi Kima Baja A36 (Syahbuddin, 2003) .....  | 18 |
| Tabel 2.4 Unsur Pokok Air Laut (Benjamin, 2006).....  | 20 |
| Tabel 2.5 Tingkat ketahanan korosi (Trethewey, 1991) .....  | 24 |
| Tabel 2.6 Desain Arus rata-rata berdasarkan kedalaman dan iklim (Det Norske Veritas Industry Norway, 1993).....               | 26 |
| Tabel 2.7 Konstanta (k1 dan K2) untuk perhitungan factor kerusakan pelapisan (Det Norske Veritas Industry Norway, 1993) ..... | 26 |
| Tabel 2.8 Desain nilai Electrochemical Efficiency untuk Al dan Zn pada anoda korban (Fontana, 1986) .....                     | 27 |

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Korosi adalah sebuah masalah yang besar dalam sebuah kapal laut. Adapun baja banyak dimanfaatkan sebagai material konstruksi pada kapal laut yang mana rawan terserang korosi. Lambung kapal sering terbuat dari baja karbon yang rentan terhadap korosi, 13 besi atau baja baru hasil pengolahannya digunakan setiap tahunnya untuk mengganti besi yang terkena korosi (Widharto, 1997). Korosi secara garis besar adalah reaksi kimia antara logam dengan lingkungannya.

Adapun cara untuk menghambat laju korosi pada baja dan besi diperlukan perlindungan korosi. Mencegah korosi dapat menggunakan metode anoda korban (Buhanudin, 2000). Metode proteksi katodik ini sering digunakan pada sistem anoda korban. Adapun sistem arus banding jarang digunakan dan jenis anoda korban yang sering digunakan ialah paduan seng dan aluminium (BKI, 2006). Anoda atau Baja A36 sering dipergunakan untuk lambung kapal yang mana rentan terkena korosi sehingga perlu melakukan perawatan sekaligus proteksi korosi agar tidak terjadi kerusakan yang berkelanjutan.

Anoda korban paduan aluminium memiliki kelebihan melindungi katoda lebih baik dibanding paduan seng karena potensial proteksi besi baja dengan paduan aluminium lebih negatif dari pada paduan seng. Semakin besar luas permukaan dari anoda dan semakin banyak jumlah anoda yang digunakan dalam melindungi katoda, maka laju korosi pada yang terlindungi semakin berkurang (Afriani, 2014). Tersedianya dua jenis anoda korban tersebut memberikan pilihan pada para pemakai untuk memakai jenis anoda korban yang sesuai dengan kebutuhan, dan dasar pemilihan metode tersebut atas dasar pertimbangan kinerja kedua jenis anoda dimana meliputi massa jenis, potensial proteksi, tegangan dorong, kapasitas dan efisiensi yang dihasilkan (Anggono, 2000).

Penelitian yang telah dilakukan (Juliana, 2000), mengenai pengaruh rasio luas permukaan terhadap laju korosi dan didapatkan hasil bahwa luas anoda mempunyai efisiensi terhadap perlindungan laju korosi baja korban, Dimana anoda yang lebih luas tidak menjamin perlindungan terhadap korosi yang lebih

baik. Anoda dengan material yang berbeda mempunyai tingkat efisiensi luas yang berbeda juga. Maka dari itu anoda korban seperti aluminium, seng, dan lain sebagainya sangatlah berpengaruh terhadap laju korosi.

Atas dasar penelitian tersebut dimana menentukan rasio luas permukaan katoda pada material aluminium dan seng. Anoda korban pada katoda perlu diketahui sebagai referensi dalam melakukan perlindungan korosi, oleh sebab itu penelitian ini akan dilakukan guna mengetahui pengaruh rasio permukaan katoda dengan anoda paduan aluminium dan anoda paduan seng pada baja A36

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, berikut ini adalah beberapa masalah yang akan diselesaikan dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi rasio luas permukaan katoda terhadap laju korosi baja A36 pada media air laut?
2. Bagaimana perubahan struktur mikro permukaan baja A36 setelah dilindungi anoda korban aluminium dan seng?
3. Bagaimana laju korosi yang terjadi pada baja A36?

## **1.3 Batasan Masalah**

Berdasarkan rumusan masalah penelitian diatas, agar pembahasan tidak terlalu luas maka diperlukan suatu pembatasan masalah sebagai berikut.

1. Kadar garam (salinitas) dan pH larutan dianggap konstan.
2. Tidak membatasi komposisi media air laut sebagai media korosi.
3. Tidak membahas korosi yang terjadi pada area lubang dan baut pada spesimen anoda dan katoda.
4. Kondisi penelitian (temperature, tekan atmofir dianggap konstan)

## **1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian**

### **1.4.1 Tujuan**

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi rasio luas permukaan katoda terhadap laju korosi baja A36 pada media air laut
2. Untuk mengetahui pengaruh perubahan struktur mikro permukaan baja A36 setelah dilindungi anoda korban aluminium dan seng
3. Untuk mengetahui perubahan laju korosi yang terjadi pada baja A36 dengan waktu perendaman yang berbeda

### **1.4.2 Manfaat**

Manfaat penelitian ini sebagai:

1. Dapat mengetahui pengaruh variasi rasio luas permukaan katoda terhadap laju korosi baja A36 pada media air laut
2. Dapat mengetahui pengaruh perubahan struktur mikro permukaan baja A36 setelah dilindungi anoda korban aluminium dan seng
3. Dapat mengetahui perubahan laju korosi yang terjadi pada baja A36 dengan waktu perendaman yang berbeda

## **1.5 Hipotesis**

Paduan aluminium dan seng sebagai anoda korban dapat meningkatkan ketahanan baja A36 dari serangan korosi, semakin luas permukaan katoda maka laju korosi yang diperoleh semakin meningkat.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengertian Korosi

Korosi berasal dari bahasa latin “Corrodere” yang artinya perusakan logam atau berkarat akibat lingkungannya. Korosi atau pengarat dikenal sebagai peristiwa kerusakan logam karena adanya faktor metalurgi (pada material itu sendiri) dan reaksi kimia dengan lingkungannya yang menyebabkan terjadinya penurunan kualitas suatu bahan logam (Nathan, 1997). Bahan-bahan korosif (yang dapat menyebabkan korosi) terjadi atas asam dan garam, seperti asam klorida (HCL) dan natrium klorida (NaCl) yang digunakan sebagai medium korosif. Korosi tidak dapat dicegah namun lajunya dapat dikurangi.

### 2.2 Prinsip Terjadinya korosi

Menurut (Supardi 1997) korosi adalah kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi redoks anatar suatu logam dengan berbagai zat dilingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki. Dalam bahasa sehari-hari, korosi disebut dengan perkaratan. Terdapat beberapa definisi dari beberapa pakar yaitu sebagai berikut :

1. Perusakan material tanpa perusakan mekanis
2. Kebalikan dari metalurgi ekstraktif
3. Proses elktrokima dalam mencapai kesetimbangan termodinamika suatu sistem.

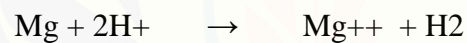
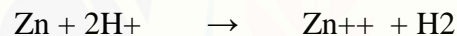
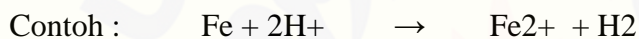
Jadi korosi adalah sistem termodinamika logam dengan lingkungan (air, udara, tanah) yang berusaha mencapai kesetimbangan. Sistem dikategorikan seimbang bila logam telah membentuk oksida atau senyawa kimia lain yang lebih stabil.

Pada proses korosi yang terjadi, disamping karena reaksi kima biasa, maka yang lebih umum ialah oleh proses elektrokima. Sedangkan yang dimaksud dengan lingkungan adalah dapat berupa udara dengan sinar matahari, air tawar, embun, air laut. Menurut teori korosi elektrokima, bahwa proses korosi pada logam disebabkan karena logam itu mempunyai komposisi kima yang tidak

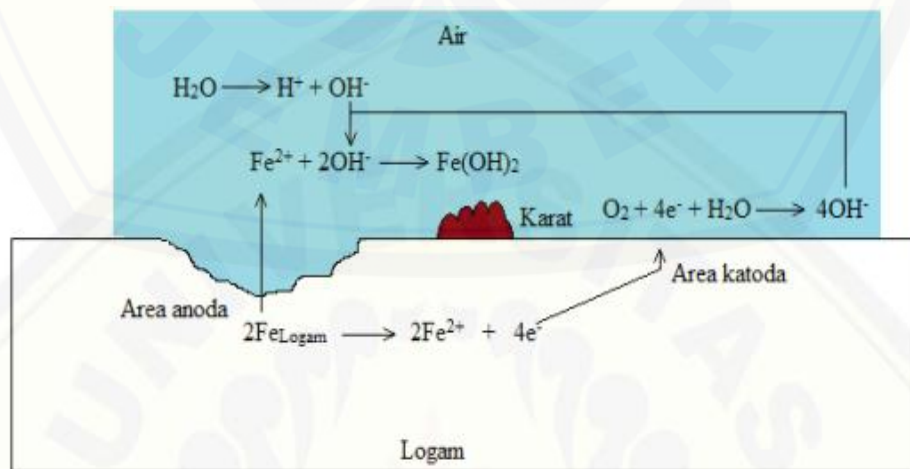
homogen. Dalam kenyataan memang logam sangat sulit untuk dibuat betul-betul homogen. Akibatnya akan terdapat perbedaan potensial yang dapat menimbulkan korosi galvanis bila ada elektrolit seperti uap air dari udara. Garam, asam, dan basa merupakan salah satu elektrolit yang akan larut dalam air, kemudian akan terjadi ionisasi didalamnya :



Baja karbon sangat mudah bereaksi dengan ion  $\text{H}^+$  (dari asam) dan adanya  $\text{O}_2$  yang sangat larut dari udara. Korosi seperti ini akan berlangsung sangat cepat walaupun temperature lingkungannya rendah, karena terjadi reaksi elektrokimia.



Laju korosi secara elektrokimia merupakan kecepatan rata-rata perubahan ketebalan atau berat dari logam yang mengalami korosi terhadap waktu melalui proses elektrokimia seperti ditunjukkan pada gambar 2.1 (Trethewey dan Chamberlain, 1991).



Gambar 2.1 Sel Korosi (Fadly, 2010)

### 2.3 Faktor-faktor yang mempengaruhi laju korosi

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya laju korosi yaitu sebagai berikut :

#### 2.3.1 Sifat Material

##### 1. Pengaruh terjadinya perbedaan potensial

Perbedaan potensial antara dua logam atau lebih yang digabung akan mengakibatkan terjadinya proses pengoratan (korosi).

##### 2. Pengaruh unsur kimia dari material

Unsur kimia material sangatlah berpengaruh pada ketahanan terhadap serangan korosi. Pada jenis logam yang sama dengan susunan kimia yang berbeda akan mengakibatkan ketahanan terhadap serangan korosi yang berbeda. Kurangnya homogenitas struktur dapat mengakibatkan efek galvanis mikro pada material yang mengakibatkan terjadinya korosi (Supardi, 1997)

##### 3. Pengaruh struktur dari material

Logam dengan morfologi kasar rentan terserang korosi dikarenakan mudah menyimpan air ataupun kotoran pada permukaan material dan menyebabkan adanya oksidasi (Supardi, 1997).

#### 2.3.2 Faktor Lingkungan

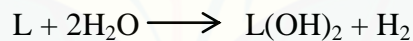
##### 1. Lingkungan Industri

Korosi yang terjadi dilingkungan industri yang menggunakan bahan kimia seperti pada pembuatan  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ ,  $HCl$ , dan sebagainya maka akan sangat bersifat korosif, adapun pengendalian korosi di lingkungan industri adalah sebagai berikut (Supardi, 1997) :

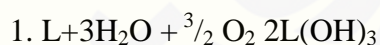
- a.) Memanfaatkan bahan non logam seperti plastik, keramik, beton, komposit, dan sebagainya dengan tidak menyampingkan keselamatan kerja.
- b.) Memberi lapisan logam pelindung yang tepat atau proteksi lainnya.

## 2. Lingkungan Air

Air sangatlah berpengaruh terhadap laju korosi pada logam. Air dapat memicu material melepas elektron dan berperan sebagai anoda, sehingga terjadi proses oksidasi. Korosi pada lingkungan air tergantung pada pH, kadar oksigen, dan temperatur. Baja tahan karat pada suhu 300-500°C dapat bertahan dari serangan korosi, pada suhu 600-650°C baja tahan karat akan terserang korosi dengan mudah. Menurut penelitian Whitman dan Russel ternyata pH dari suatu elektrolit sangatlah berpengaruh terjadinya korosi pada besi. Pengaturan pH dilakukan dengan pembubuhan KOH pada air yang mempunyai pH 6-14 dan pembubuhan asam pada air yang mempunyai pH 7-0, demikian juga dengan penambahan kadar O<sub>2</sub> dalam air maka akan mempercepat dari laju korosi pada suatu logam tersebut. Air yang terdapat dari permukaan komposit zat terlarut bergantung pada tanah yang ditempati atau tergenang. Tetapi pada umumnya zat yang terlarut lebih rendah dari pada air laut. Biasanya air permukaan mengandung Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, NH<sup>4+</sup>, Cl<sup>-</sup> dan SO<sub>4</sub> yang agresifitasnya lebih rendah dari air laut. Korosi yang disebabkan oleh air pada logam yang tidak mulia akan terbentuk dengan reaksi sebagai berikut (Supardi, 1997) :



Sedangkan untuk air bersih dan adanya O<sub>2</sub>, akan ada proses oksidasi dari udara sekitarnya. Hal ini biasanya terjadi pada air yang berdekatan dengan permukaan, reaksinya adalah sebagai berikut (Supardi, 1997) :



2. Lingkungan Air Laut

Udara lingkungan air laut jauh lebih korosif dibandingkan dengan daerah pedalaman, karena udara yang berada pada lingkungan ini juga akan mengandung garam dan zat lain yang ada pada air laut.



## 2.4 Macam-macam korosi

Ada beberapa jenis korosi yang terjadi pada logam. Jenis ini dapat diidentifikasi dengan membuat pola dan bentuk penyebarannya. Berikut adalah macam-macam dari korosi yang sering dijumpai.

### 2.4.1 korosi Galvanis (*Bemetal corrosion*)

Korosi ini terjadi antara dua buah logam yang mempunyai nilai potensial berbeda dan bersatuan dalam suatu medium elektrolit yang korosif. Elektron akan mengalir dari logam yang memiliki potensial lebih rendah (sebagai anodik) menuju ke logam yang memiliki potensial lebih tinggi (sebagai katodik). Akibatnya logam yang nilai potensialnya rendah berubah menjadi ion positif karena kehilangan elektron. Ion positif metal bereaksi dengan ion negatif yang berada didalam elektroloit menjadi garam metal. Karena peristiwa ini dimana permukaan anoda kehilangan metal, sehingga terbentuk sumuran-sumuran karat atau jika merata akan terbentuk karat permukaan (Eliades,2002).



Gambar 2.2 Korosi galvanis (Utomo, 2009)

#### 2.4.2 Korosi Erosi (*Errosion Corrosion*)

Logam yang terkena korosi akibat terjadinya keausan dapat menimbulkan bagian-bagian yang tajam dan kasar, bagian ini akan menghasilkan beda potensial antara suatu bagian dengan bagian lainnya, bagian-bagian inilah yang mudah terserang korosi dan apabila terdapat gesekan maka akan timbul abrasi yang lebih berat (Eliades, 2002).



Gambar 2.3 Korosi Erosi (Utomo, 2009)

#### 2.4.3 Korosi Tegangan (*Stress Corrosion*)

Jenis korosi ini terjadi karena adanya gaya-gaya tarik (tensile) atau kompresi (compressive) berpengaruh sangat kecil pada proses pengamatan. Adanya kombinasi anatar regangan tarik (tensile stress) dan lingkungan yang korosif, maka akan terjadi kegagalan material berupa retakan yang disebut retak karat regangan (Utomo, 2009)



Gambar 2.4 Korosi Tegangan (Utomo, 2009)

#### 2.4.4 Korosi Celah (*Crevice Corrosion*)

Korosi yang terjadi pada logam yang bedempetan dengan logam lain atau non logam dan diantaranya terdapat celah yang dapat menahan kotoran dan air sebagai sumber terjadinya korosi. Konsentrasi oksigen pada celah lebih kaya dibandingkan pada bagian dalam, sehingga bagian dalam lebih anodik dan bagian luar menjadi katodik maka terjadi aliran arus dari dalam menuju permukaan logam yang menimbulkan korosi. Atau juga perbedaan konsentrasi zat asam dimana celah sempit yang terisi elektrolit (pH rendah) maka akan terjadi sel korosi. Maka pada daerah ini korosi yang terjadi disebabkan karena kedua bagian akan berperan sebagai anoda dan katoda (Eliades, 2002).



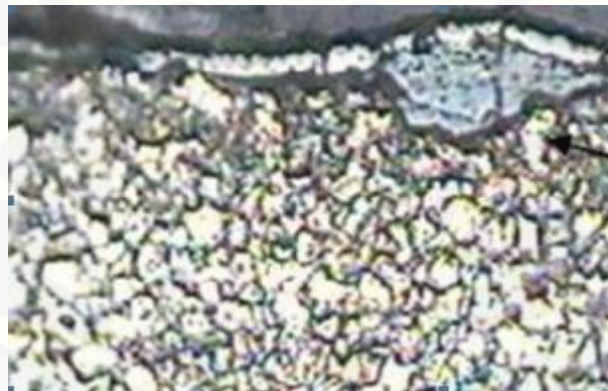
Gambar 2. 5 Korosi celah (Utomo, 2009)

#### 2.4.5 Korosi Sumuran (*pitting Corrosion*)

Korosi sumuran adalah korosi yang terjadi karena komposisi logam yang tidak homogen dan menyebabkan korosi yang dalam pada berbagai tempat (Eliades, 2002).



Gambar 2.6 Korosi sumuran (Utomo, 2009)



Gambar 2.7 Foto struktur mikro korosi sumuran (Sumarji, 2012)



Gambar 2.8 Foto struktur mikro korosi uniform (Sumarji, 2012)

## 2.5 Proteksi Katodik

Proteksi katodik adalah suatu teknik untuk melindungi korosi pada suatu logam. Terjadinya aliran elektron dari anoda ke katoda pada struktur baja didalam elektrolit harus ditahan menggunakan aliran arus listrik dari anoda lain. Proteksi katodik dibagi menjadi dua cara, yaitu :

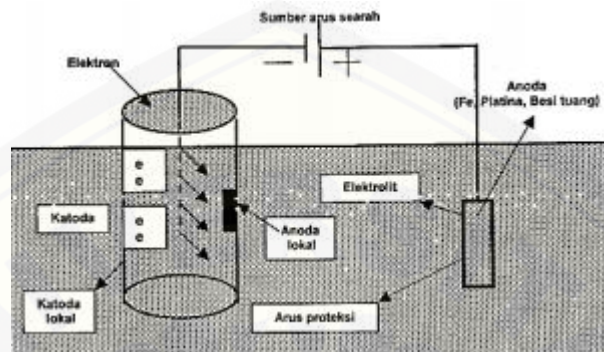
### 2.5.1 Arus Paksa

Berbeda dengan sistem anoda korban, sumber arus pada sistem arus tanding berasal dari luar, biasanya berasal dari DC dan AC yang dilengkapi dengan penyearah arus (*rectifier*), dimana kutup negatif dihubungkan ke struktur yang dilindungi dan kutup positif dihubungkan ke anoda. Arus mengalir dari anoda ke elektroloit ke permukaan struktur, kemudian mengalir sepanjang struktur dan kembali ke *rectifier* melalui konduktor elektris. Karena struktur menerima arus elektrlit, maka struktur menjadi terproteksi. Keluaran (*output*) arus rectifier diatur untuk mengalirkan arus yang cukup sehingga dapat mencegah arus korosi yang akan meninggalkan daerah anoda yang dilindungi. (Pribadi Ridzky, 2017)

Sistem arus tanding digunakan untuk melindungi struktur yang besar atau yang membutuhkan arus proteksi yang lebih besar atau yang membutuhkan arus proteksi yang lebih besar dan dipandang kurang ekonomis jika menggunakan anoda korban. Sistem ini dapat dipakai untuk melindungi struktur baik yang tidak di *coating*. Kondisi *coating* yang krang baik maupun yang kondisi *coating* nya baik. Kelebihan system arus ini adalah dapat didesain untuk aplikasi dengan tingkat fleksibilitas yang tinggi karena mempunyai rentang kapasitas output arus yang luas. Artinya kebutuhan arus dapat diatur baik secara manual maupun secara otomatis dengan merubah tegangan output seesuai dengan kebutuhan.Sedangkan kekurangannya adalah memerlukan perawatan yang lebih banyank dibanding system anoda korban sehingga biaya operasional akan bertambah. System ini jua mempunyai ketergantungan terhadap keandalan pemasok energi (*rectifier*) kinerja sistem proteksi. Kekurangan lain sistem arus paksa yaitu cenderung lebih mahal karena peralatan dan bahan yang digunakan lebih banyak. Disamping itu ada kemungkinan dapat menimbulkan masaah efek interfrens arus terhadap struktur di sekitarnya.

### 2.5.2 Metode Arus Terpasang (*Impressed Current*)

Metode ini menggunakan metode arus searah dari luar, misalnya transformer rectifier, DC generator, dan lain sebagainya. Rangkaian ini dapat dilihat sebagai berikut:

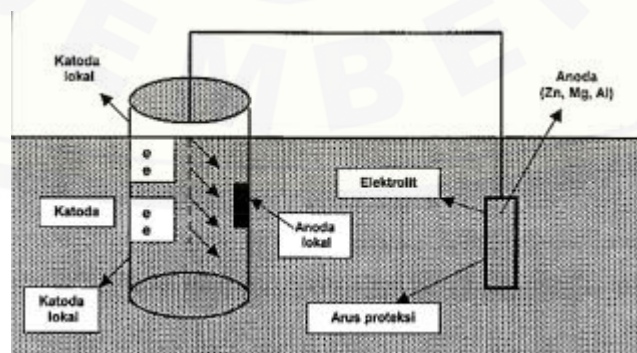


Gambar 2.9 Proteksi Katodik Impressed Current (Gunaatmaja, 2011)

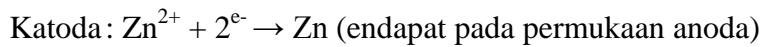
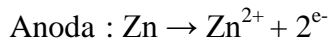
Arus listrik pada sistem ini dialirkan dipermukaan logam yang berproteksi melalui anoda pembantu seperti graphite, baja, platina, dan besi tuang. Keuntungan dari metode arus terpasang ini adalah bahwa sistem tersebut dapat menggunakan anoda yang tidak termakan.

### 2.5.3 Metode Anoda Korban (*Sacrificial Anode*)

Proses dari metode ini adalah korosi logam dengan mengorbankan logam lain sebagai anoda. Logam yang dikorbankan harus mempunyai potensial listrik lebih negatif dari logam yang diproteksi supaya terjadi aliran elektron dari anoda ke katoda. Aliran elektron ini akan berlangsung terus samapai logam anoda dan katoda terjadi reaksi:



Gambar 2.10 Proteksi Katodik Anoda Korban (Gunaatmaja, 2011)



Pada sistem dengan pengorbanan anoda sebagai sumber arus searah digunakan anoda reaktif dengan potensial jauh lebih negatif dari pada logam yang diproteksi yang biasanya menggunakan logam paduan magnesium, seng, dan aluminium.

Tabel 2. 1 Beda Potensial (Gunaatnaja, 2011)

| Logam       | Harga            | Normal Pontensial dalam Volt |                   |        |
|-------------|------------------|------------------------------|-------------------|--------|
| Emas        | $\text{Au}^{3+}$ | +1,42                        | Katodik           |        |
| Platina     | $\text{Pt}^{2+}$ | +1.20                        |                   |        |
| Perak       | $\text{Ag}^+$    | +0,80                        |                   |        |
| Tembaga     | $\text{Cu}^+$    | +0,34                        |                   |        |
| Hidrogen    | $\text{H}^+$     | +0,00                        | Dijadikan Standar |        |
| Timbal      | $\text{Pb}^{2+}$ | -0,13                        |                   |        |
| Timah Putih | $\text{Sn}^{2+}$ | -0,14                        |                   |        |
| Nikel       | $\text{Ni}^{2+}$ | -0,25                        |                   |        |
| Kadmium     | $\text{Cd}^{2+}$ | -0,40                        |                   |        |
| Besi        | $\text{Fe}^{2+}$ | -0,43                        |                   |        |
| Khrom       | $\text{Cr}^{2+}$ | -0,51                        |                   |        |
| Seng        | $\text{Zn}^{2+}$ | -0,76                        |                   |        |
| Aluminium   | $\text{Al}^{3+}$ | -1,67                        |                   |        |
| Magnesium   | $\text{Mg}^{2+}$ | -2,34                        |                   |        |
| Natrium     | $\text{Na}^+$    | -2,74                        |                   |        |
| Kalium      | $\text{K}^+$     | -2,92                        |                   |        |
| Lithium     | $\text{Li}^+$    | -3,02                        |                   | Anodik |

Anoda reaktif dihubungkan dengan logam yang diproteksi, arus listrik dialirkan ke permukaan logam yang diproteksi melalui elektrolit. Faktor yang mempengaruhi proses proteksi katodik yaitu :

1. Luas permukaan yang akan diproteksi, semakin luas permukaan semakin banyak anoda yang digunakan.
2. Beda potensial listrik antara anoda dan katoda, semakin besar perbedaan maka semakin besar arus proteksi dari anoda ke katoda.
3. Logam dan ukuran anoda, semakin kecil tahanan anoda berarti semakin sedikit penggunaan logam anoda. Semakin kecil ukuran logam anoda semakin besar tahanan anoda berarti semakin banyak penggunaan anoda. Anoda korban harus bersifat anodik terhadap baja didalam lingkungan yang diamati, anoda ini harus mudah terkorosi.

Tabel 2.2 Komposisi dan Sifat Anoda Korban()

| Sifat   | Paduan Seng*                          | Paduan Aluminium**                     | Paduan Magnesium***                    |
|---|---------------------------------------|--|--|
| 1   | 2                                     | 3                                      | 4                                      |
| Komponen                                      | Al : 0,4 – 0,6                        | Al : sisa                              | Al : < 0,01                            |
| ( % )   | Cd : 0,075–0,125                      | Cu : < 0,006                           | Cu : 0,02                              |
|   | Cu : < 0,005                          | Fe : < 0,1                             | Fe : < 0,03                            |
|   | Fe : < 0,0014                         | Hg : 0,02 – 0,05                       | Mg : rem                               |
|   | Tb : < 0,15                           | Si : 0,11 – 0,21                       | Mn : 0,5 – 1,3                         |
|   | Si : < 0,125                          | Zn : 0,3 – 0,5                         | Ni : 0,001                             |
|   | Zn : sisa                             | Lain-lain, masing-masing < 0,02        | Pb : < 0,01                            |
|   |                                       |  | Sn : < 0,01                            |
|   |                                       |  | Zn : 0,01                              |
| Kapasitas $E_{kor}$ ( SSC )                   | 780 Ah·kg <sup>-1</sup><br>-0,1050 mV | 2640 Ah·kg <sup>-1</sup><br>-0,1000 mV | 1232 Ah·kg <sup>-1</sup><br>-0,1700 mV |
| Kerapatan kg·m <sup>-3</sup>                  | 7060                                  | 2695                                   | 1765                                   |
| Kapasitas Ah·kg <sup>-1</sup>                 | 780                                   | 2,640                                  | 1,232                                  |
| Pengausan( berat )<br>Kg – Ay <sup>-1</sup>   | 10,7                                  | 3,2                                    | 4,1                                    |
| Pengausan ( volume )<br>ml – Ay <sup>-1</sup> | 1518                                  | 1180                                   | 1196                                   |
| Keluaran Am <sup>2</sup>                      | 6,5                                   | 6,5                                    | 10,8                                   |
| $E_{kor}$ ( SSC ) mv                          | -1050                                 | -1050                                  | -1700                                  |

SSC = Ag/AgCl

\* = Spesifikasi Departemen AS untuk bahan Anoda Korban Seng membutuhkan pengontrolan lebih ketat dalam hal tingkat kemurnian dari pada bahan ini.

\*\* = Merk dagang *Impalloy*\*\*\* = Merk dagang *Dow Chemical Company*

Bahan anoda korban yang umum untuk baja dalam air laut adalah seng, Sir Humprey Davy dalam tahun 1824 melaporkan, keberhasilan penggunaan anoda seng untuk melindungi tembaga pada kapal perang. Seng digunakan untuk proteksi katodik di air laut dan air tawar, seng khususnya sangat sesuai untuk proteksi katodik di kapal-kapal yang bergerak antara air laut da air (muara

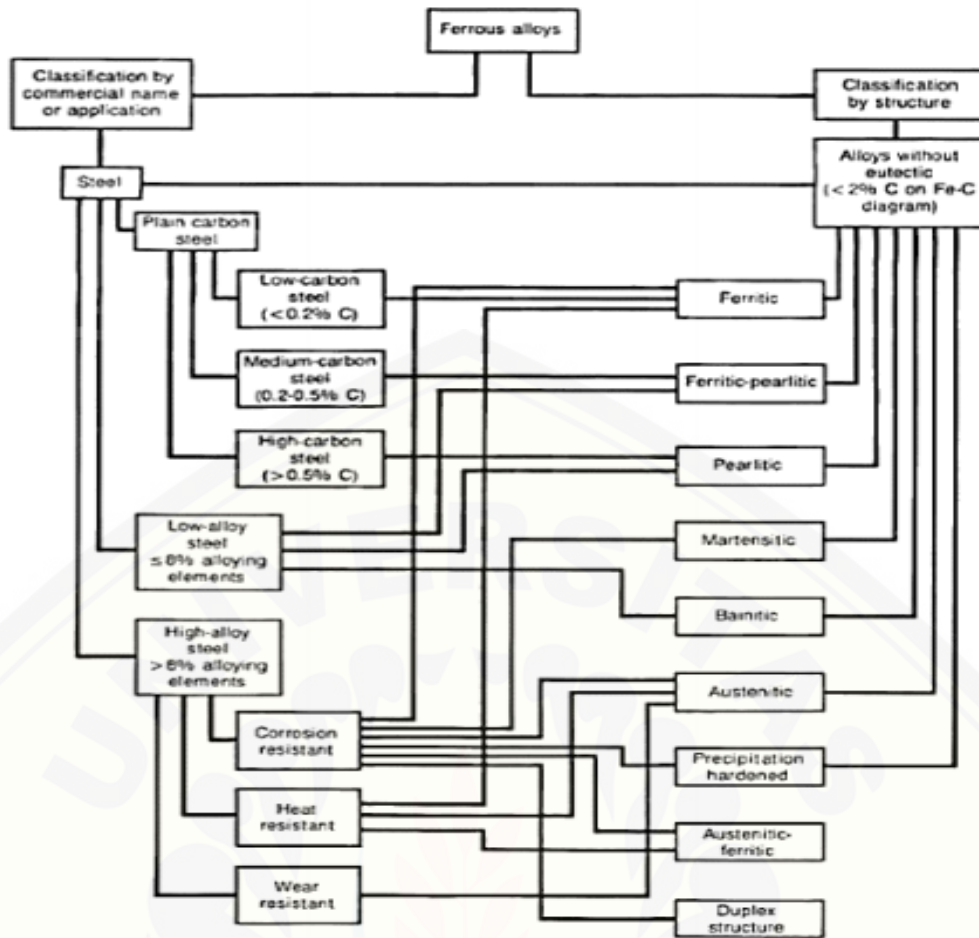


sungai). Anoda seng yang digunakan untuk melindungi bantalan-bantalan tangi, pengubah panas dan banyak komponen-komponen mekanis pada kapal., pembangkit listrik pantai dan struktur pada pantai. Anoda magnesium adalah anoda korban yang bias dispesifikasikan untuk penggunaan ditanam didalam tanah. Khususnya anoda magnesium, di Amerika Serikat tersedia dengan kemasan terbungkus lempung bentonit didalam kantong kain. Bungkus ini menjamin bahwa anoda bersifat konduktif lingkungan dan mudah terkorosi. Beberapa magnesium telah digunakan untuk struktur lepas pantai. Aluminium juga digunakan pada struktur lepas pantai dikarenakan beratnya yang ringan dan menguntungkan, aluminium tidaklah pasif didalam air garam apabila ada tambahan logam seperti titanium dan merkuri.

## **2.6 Baja**

### **2.6.1 Baja Secara Umum**

Baja karbon merupakan material yang paling banyak dikarenakan murah dan mudah untuk dibentuk. Baja adalah material dengan besi (Fe) sebagai bahan dasar dan memiliki kandungan karbon (C) kurang dari 2% dan juga menambah sedikit unsur lainnya untuk memperbaiki sifat mekanisnya. Berikut adalah klasifikasi dari baja



Gambar 2. 11 Klasifikasi Baja

Berdasarkan kadar karbonnya baja dibagi menjadi 3 yaitu :

1. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah merupakan baja yang mengandung kurang dari 0,25% unsur karbon, produk baja ini berbentuk plat hasil pembentukan pelat hasil permukaan roll dingin dan proses (*annealing*). Kandungan karbon yang rendah dengan mikrostruktur yang terdiri dari fasa ferit dan pearlit menjadikan baja karbon rendah bersifat lunak dan kekuatannya lemah namun keuletan ketangguhannya sangat baik (Amanto dan Daryanto, 1999)

2. Baja karbon sedang

Baja karbon sedang merupakan baja yang mengandung 0,3-0,6% unsur karbon (*medium carbon steel*). Memiliki kekuatan lebih tinggi bila dibandingkan baja karbon rendah. Sifatnya tidak mudah dibentuk dengan mesin, lebih sulit dilakukan pengelasan, namun dapat dikeraskan (*quenching*)

dengan baik. Aplikasi pengguna antara lain roda gigi dan poros, bahan pada komponen mesin dan lain sebagainya (Amanto dan Daryanto, 1999).

### 3. Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi merupakan baja karbon yang mengandung 0,6-0,14% unsur karbon (high carbon steel). Memiliki sifat sangat kuat, sangat keras dan getas, sulit untuk dibentuk dengan pemesian. Aplikasi penggunaannya seperti pada baja kawat, kabel tarik dan angkat, kikir pahat, dan lain sebagainya (Amanto dan Daryanto, 1999).

#### 2.6.2 Baja A36

Baja A36 merupakan baja karbon rendah, A36 atau JIS 3101 adalah (*mild steel*) dimana komposisi kimianya hanya karbon (C), Manganesium (Mn), Silikon (Si), Sulfur (S), dan Posfor (P), yang digunakan untuk aplikasi struktur atau konstruksi umum (*general purpose structural steel*) misalnya untuk jembatan, pelat kapal laut, oli tank, dan lain sebagainya.

Baja A36 merupakan baja karbon dengan sedikit kandungan Si, beberapa hasil penelitian menemukan bahwa kandungan Si pada baja A36 antara 0,06 - 0,37%. Kadar Si pada baja dapat meningkatkan reaksi antara Fe dan Zn selama galvanis. Akibatnya, pertumbuhan lapisan intermetalik Fe-Zn pada baja yang mengandung Si relatif cepat (Syahbuddin, 2003).

Tabel 2.3 Komposisi Kima Baja A36 (Syahbuddin, 2003)

| C   | Si   | Mn   | P    | S    | Ni   | Cr   | Fe      |
|-----|------|------|------|------|------|------|---------|
| 0,2 | 0,09 | 0,53 | 0,01 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | Balance |

## 2.7 Bahan Anoda Korban

### 2.7.1 Aluminium

Pada aluminium merupakan logam non ferrous. Paduan ini sering digunakan sebagai anoda korban karena memiliki nilai energi potensial yang lebih negatif dibandingkan baja. Anoda korban bekerja berdasarkan prinsip proteksi katodik. Permukaan struktur logam di air laut diubah menjadi berdifat katodik melalui pemberian arus yang berasal dari amoda korban tersebut (Anggono, 2000). Aluminium membentuk lapisan pasif yang dapat dipecah oleh ion  $Cl^-$  yang banyak terdapat di air laut. Komposisi paduan aluminium yang biasa digunakan sebagai anoda korban terdiri dari tembaga, seng, silikon, titanium, indium (Fadly, 2009).

Dalam keadaan normal aluminium mengalami korosi sumuran dalam air laut yang diakibatkan oleh lapisan oksida yang bersifat katodik yang selalu membungkus aluminium ketika masih berada di udara bebas. Unsur paduan yang ditambahkan dapat mencegah terbungkusnya selaput oksida yang merata, merekat erat dan proteksi sehingga ketika galvanis terus berlangsung. Dengan tujuan inilah beberapa orang mengembangkan paduan aluminium yang menggunakan seng dari air raksa atau seng dan indium. Paduan aluminium mempunyai nasib daya listrik atau berat yang lebih besar dibandingkan dengan paduan seng dan penggunaan paduan aluminium mulai menggantikan penggunaan seng dalam beberapa penerapan khususnya pada industry lepas pantai (Trethewey, 1991).

### 2.7.2 Seng (Zinc)

Secara volume, *zinc* lebih banyak digunakan sebagai anoda dibandingkan aluminium. Dikarenakan sifat-sifat dari moderatnya *zinc*, dan laju oksidasi yang lebih rendah dibanding logam aluminium. *Zinc* lebih baik dari pada aluminium karena perilaku elektrolit kima aluminium yang cenderung mudah teroksidasi, dan akan pasif pada kosentrasi ion klorida dibawah 1.446 ppm (1 ppm= 1 part million/ 1 per 1juta).

Dari sudut padang yang berbeda, seng murni yang terkorosi di air laut membentuk sebuah lapisan kulit kedap air yang membatasi keluaran arusnya (Trethewey, 1991). Hal ini menjadi anoda tidak dapat bekerja secara efektif.

Penambahan unsur lain pada paduan seng memberikan keuntungan pada proteksi katodik anoda korban karena proses galvanis dapat terus berulang.

## 2.8 Air Laut

Air laut merupakan media dalam proses terjadinya korosi. Sebagian besar laju korosi pada konstruksi baja di laut ataupun di pesisir pantai sangatlah terpengaruh oleh ion-ion yang terdapat pada laut yang terbawa angin hingga sampai pada konstruksi. Korosi pada air laut sangat tergantung pada (Sasono, 2010)

- a. Kadar khlorida
- b. pH
- c. Kadar oksigen
- d. Temperatur

Tabel 2.4 Unsur Pokok Air Laut (Benjamin, 2006)

| Anion                                      | Kation                      |
|--|-----------------------------|
| Chloride, Cl <sup>-</sup>                  | Sodium, Na <sup>+</sup>     |
| Sulfate, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>     | Magnesium, Mg <sup>2+</sup> |
| Bicarbonate, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Calcium, Ca <sup>2+</sup>   |
| Bromine, Br <sup>-</sup>                   | Pottasium, K <sup>+</sup>   |
| Flouride, F <sup>-</sup>                   | Strotium, Sr <sup>2+</sup>  |
| Boric acid, H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> |                             |

### 2.8.1 Organisme laut

Air laut merupakan media yang aktif bagi sejumlah mikro organisme. Mikro organisme ini bersama-sama dengan permukaan logam dalam air laut akan membentuk biofouling yang mengakibatkan terjadinya korosi merata. Larutnya beberapa partikel padat pada air laut akan menimbulkan proses dinamik yang terus menerus, dimulai dari absorbs material organik terlarut mati dan terjadi pembentukan lapisan film yang disebabkan oleh gangguan dan bakteri dimana akan menyebabkan terjadinya tumbuhan hidup. Terbentuknya lapisan film ini hanya dalam waktu relatif singkat, yaitu dua jam dari saat logam dicelupkan

kedalam air laut. Lapisan ini akan mengubah sifat kimia pada permukaan logam dalam elektrolit (Pamungkas, 2012).

### 2.8.2 Salinitas

Adalah jumlah kadar garam non organik dalam 1kg air laut apabila seluruh unsur bromida dan iodida digantikan dengan jumlah yang sesuai dari unsur klorida dan semua unsur karbonat digantikan dengan unsur oksida (Pamugkan, 2012).

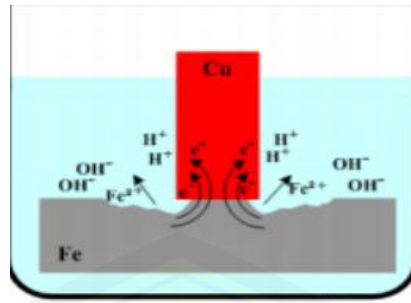
## 2.9 Pengendalian Korosi

Korosi merupakan masalah besar pada material khususnya logam yang sampai dewasa ini belum dapat dihentikan, namun demikian pengendalian dan pencegahan korosi harus tetap dilakukan secara maksimal, karena akibat yang ditimbulkan dari korosi tidak sebatas pada kerugian ekonomi namun juga pada resiko kecelakaan kerja yang mengancam keselamatan. Adapun metode-metode yang dilakukan dalam pengendalian korosi sebagai berikut :

1. Metode anoda korban
2. Metode inhibitor
3. Metode pelapisan

## 2.10 Deret Galvanik

Deret galvanik ini berkaitan dengan terjadinya korosi galvanik, korosi ini terjadi apabila dua logam yang tidak sama dihubungkan dan berada di lingkungan elektrolit, saat terjadi kontak kedua logam yang memiliki beda potensial tersebut akan menghasilkan aliran elektron atau listrik sehingga salah satu dari logam tersebut akan mengalami korosi, sedangkan logam lainnya akan terlindungi dari serangan korosi. Dalam korosi ini, logam yang memiliki potensial lebih positif akan bersifat katodik, sedangkan yang berpotensi negatif akan bersifat anodik (Wibowo, 2016).



Gambar 2.12 Proses terjadinya korosi galvanic (Wibowo, 2016)

Prinsip korosi galvanic ini sama dengan elektrokimia yaitu terdapat elektron (anoda dan katoda), elektrolit dan arus listrik. Logam yang berfungsi sebagai anoda adalah logam yang belum terhubung bersifat lebih aktif atau mempunyai potensial korosi lebih negatif. Pada anoda akan terjadi reaksi oksidasi atau reaksi pelarutan sedangkan pada katoda terjadi reaksi reduksi logam dan pada logam katoda akan menempel ion-ion dari anoda (Wibowo, 2016). Berikut daftar urutan logam dalam deret galvanik :

| Standard Reduction Potentials at 25°C*                                     |       |
|--|-------|
| Half-Reaction  | E°(V) |
| $F_2(g) + 2e^- \rightarrow 2F^-(aq)$                                       | +2.87 |
| $O_3(g) + 2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow O_2(g) + H_2O$                       | +2.07 |
| $Co^{3+}(aq) + e^- \rightarrow Co^{2+}(aq)$                                | +1.82 |
| $H_2O_2(aq) + 2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow 2H_2O$                           | +1.77 |
| $PbO_2(s) + 4H^+(aq) + SO_4^{2-}(aq) + 2e^- \rightarrow PbSO_4(s) + 2H_2O$ | +1.70 |
| $Ce^{4+}(aq) + e^- \rightarrow Ce^{3+}(aq)$                                | +1.61 |
| $MnO_4^-(aq) + 8H^+(aq) + 5e^- \rightarrow Mn^{2+}(aq) + 4H_2O$            | +1.51 |
| $Au^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow Au(s)$                                     | +1.50 |
| $Cl_2(g) + 2e^- \rightarrow 2Cl^-(aq)$                                     | +1.36 |
| $Cr_2O_7^{2-}(aq) + 14H^+(aq) + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+}(aq) + 7H_2O$     | +1.33 |
| $MnO_2(s) + 4H^+(aq) + 2e^- \rightarrow Mn^{2+}(aq) + 2H_2O$               | +1.23 |
| $O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \rightarrow 2H_2O$                               | +1.23 |
| $Br_2(l) + 2e^- \rightarrow 2Br^-(aq)$                                     | +1.07 |
| $NO_3^-(aq) + 4H^+(aq) + 3e^- \rightarrow NO(g) + 2H_2O$                   | +0.96 |
| $2Hg^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Hg_2^{2+}(aq)$                            | +0.92 |
| $Hg_2^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow 2Hg(l)$                                  | +0.85 |
| $Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s)$   | +0.80 |
| $Fe^{3+}(aq) + e^- \rightarrow Fe^{2+}(aq)$                                | +0.77 |
| $O_2(g) + 2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2O_2(aq)$                          | +0.68 |
| $MnO_4^-(aq) + 2H_2O + 3e^- \rightarrow MnO_2(s) + 4OH^-(aq)$              | +0.59 |
| $I_2(s) + 2e^- \rightarrow 2I^-(aq)$                                       | +0.53 |
| $O_2(g) + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-(aq)$                              | +0.40 |
| $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$                                     | +0.34 |
| $AgCl(s) + e^- \rightarrow Ag(s) + Cl^-(aq)$                               | +0.22 |
| $SO_4^{2-}(aq) + 4H^+(aq) + 2e^- \rightarrow SO_2(g) + 2H_2O$              | +0.20 |
| $Cu^{2+}(aq) + e^- \rightarrow Cu^+(aq)$                                   | +0.15 |
| $Sn^{4+}(aq) + 2e^- \rightarrow Sn^{2+}(aq)$                               | +0.13 |
| $2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2(g)$                                       | 0.00  |
| $Pb^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Pb(s)$                                     | -0.13 |
| $Sn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Sn(s)$                                     | -0.14 |
| $Ni^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Ni(s)$                                     | -0.25 |
| $Co^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Co(s)$                                     | -0.28 |
| $PbSO_4(s) + 2e^- \rightarrow Pb(s) + SO_4^{2-}(aq)$                       | -0.31 |
| $Cd^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cd(s)$                                     | -0.40 |
| $Fe^{3+}(aq) + 2e^- \rightarrow Fe(s)$                                     | -0.44 |
| $Cr^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow Cr(s)$                                     | -0.74 |
| $Zn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Zn(s)$                                     | -0.76 |
| $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$                              | -0.83 |
| $Mn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Mn(s)$                                     | -1.18 |
| $Al^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow Al(s)$                                     | -1.66 |
| $Be^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Be(s)$                                     | -1.85 |
| $Mg^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Mg(s)$                                     | -2.37 |
| $Na^+(aq) + e^- \rightarrow Na(s)$   | -2.71 |
| $Ca^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Ca(s)$                                     | -2.87 |
| $Sr^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Sr(s)$                                     | -2.89 |
| $Ba^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Ba(s)$                                     | -2.90 |
| $K^+(aq) + e^- \rightarrow K(s)$   | -2.93 |
| $Li^+(aq) + e^- \rightarrow Li(s)$   | -3.05 |

\*For all half-reactions the concentration is 1 M for dissolved species and the pressure is 1 atm for gases. These are the standard-state values.

Gambar 2.13 Deret galvanik

## 2.11 Perhitungan Laju Korosi Pelat baja dengan perlindungan Anoda Korban

Parameter yang biasa digunakan untuk menghitung laju korosi adalah keluaran arus persatuan luas permukaan terbuka yang juga disebut laju pengausan (wastage). Laju korosi juga dinyatakan sebagai hilangnya satuan massa per luas permukaan pertahun. Laju korosi dapat dinyatakan sebagai berikut (Trethewey, 1991):



$$CR = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$

dimana :

CR = Laju korosi (mm/th)

W = Massa yang terkorosi (gram)

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

K = 8,76 x 10<sup>4</sup>

T = Waktu (jam)

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

Tabel 2.5 Tingkat ketahanan korosi (Trethewey, 1991)

| Relative Corrosion Resistance | Approximate Metric Equivalent |          |           |         |        |
|-------------------------------|-------------------------------|----------|-----------|---------|--------|
|                               | mpy                           | mm/tahun | µm/yr     | nm/yr   | Pm/sec |
| Outstanding                   | <1                            | <0,02    | <25       | <2      | <1     |
| Excellent                     | 1-5                           | 0,02-0,1 | 25-100    | 2-10    | 1-5    |
| Good                          | 5-20                          | 0,1-0,5  | 100-500   | 10-50   | 5-20   |
| Fair                          | 20-50                         | 0,5-1    | 500-1000  | 50-100  | 20-50  |
| Poor                          | 50-200                        | 42125    | 1000-5000 | 150-500 | 50-200 |
| Unacceptable                  | 200+                          | 5+       | 5000+     | 500+    | 200+   |

### 2.12 Metode Kehilangan Berat (*Weight Loss*)

Metode ini digunakan untuk menentukan laju korosi dalam berbagai lingkungan. Metode ini berdasarkan ASTM G1, G4, A90 dan NACE RP0775. Specimen kupon digunakan guna mengetahui pengurangan total berat pada periode perendaman, hal ini menunjukkan korosi yang terjadi, kupon tunggal tidak dapat digunakan untuk menentukan kecepatan korosi namun dapat ditentukan dengan beberapa pengujian kupon pada satu waktu dan evaluasi kupon pada interval waktu yang pendek (Chodijah, 2008).



Gambar 2.14 Kupon untuk analisa kehilangan berat (Chodijah, 2008)

Dalam mempersiapkan kupon, kupon harus bersih dari semua kontaminasi produk pengotor seperti debu, minyak dan produk yang berkarat, pengoperasian pengamplasan harus dilakukan dengan sangat berhati-hati untuk menghindari temperature tinggi pada permukaan yang akan mempengaruhi mikrostruktur kupon. Untuk setiap sudut kupon harus dipoles untuk menghindari adanya konsentrasi tegangan yang mengarah pada korosi karena retak tegangan. Karena jumlah kupon yang ditanam lebih dari satu sehingga pemberian nomor seri menjadi sangatlah penting penganalisisan. Setelah proses preparasi sampel, data berat, dimensi dan nomor serinya dicatat lalu tidak kalah penting juga penduplikasian foto permukaan untuk data perbandingan setelah penanaman (Chodijah, 2008).

Tipe kupon memiliki ukuran dan konfigurasi yang berbeda-beda tergantung alat yang digunakan (holder) atau keinginan dari pengguna. Komposisi kupon terbuat dari 0.1 hingga 0.2% baja karbon dalam bentuk strip atau plate yang memiliki kemudahan dalam pengerjaannya. Waktu penanaman harus dipertimbangkan ketika penginterpretasi data kupon korosi. Waktu pendek penanaman (15 hingga 45 hari) sudah dapat menunjukkan kecepatan korosi dari suatu logam. Untuk waktu penanaman yang panjang (60 hingga 90 hari) sering digunakan untuk mendeteksi serangan pitting (Chodijah, 2008).



Gambar 2.15 Kupon yang terkorosi (Chodijah, 2008)

Untuk mengetahui *weight loss* yang terjadi pada benda kerja, dilakukan penimbangan spesimen atau kupon sebelum dan sesudah proses pengujian. Proses penimbangan tersebut menggunakan timbangan.

### 2.13 Perhitungan Kebutuhan Anoda

Luas permukaan basa (*wetted surface area*) merupakan rancang bangun luas permukaan lambung kapal yang tercelup di dalam air laut sangatlah diperlukan, untuk menentukan berapa banyak anoda yang diperlukan, tempat peletakan anoda korban, dan lain sebagainya. Rumus dan table yang diperlukan dalam perhitungan mengacu pada standar Det Veritas Industry Norway AS, RP B401 yang terdapat dalam table sebagai berikut :

Tabel 2.6 Desain Arus rata-rata berdasarkan kedalaman dan iklim (Det Norske Veritas Industry Norway, 1993)

| Kedalaman<br>(m) | Desain arus densitas (rata-rata) dalam A/m <sup>2</sup> |                            |                                |                         |
|------------------|---|----------------------------|--------------------------------|-------------------------|
|                  | Tropical<br>(>20 °c)                                    | Sub- tropical<br>(12-20°c) | Beriklim<br>sedang<br>(7-12°c) | Sangat dingin<br>(<7°c) |
| 0 ≤ 30           | 0,070   | 0,080                      | 0,100                          | 0,120                   |
| > 30             | 0,060   | 0,070                      | 0,080                          | 0,100                   |

Tabel 2.7 Konstanta (k1 dan K2) untuk perhitungan factor kerusakan pelapis (Det Norske Veritas Industry Norway, 1993)

| Kedalaman<br>(m) | Kategori Pelapis      |                         |                          |                         |
|------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
|                  | I<br>(K1 = 0,1)<br>K2 | II<br>(k1 = 0,05)<br>K2 | III<br>(k1 = 0,02)<br>K2 | IV<br>(k1 = 0,02)<br>K2 |
| 0 ≤ 30           | 0,10                  | 0,03                    | 0,015                    | 0,012                   |

Tabel 2.8 Desain nilai Electrochemical Efficiency untuk Al dan Zn pada anoda korban (Fontana, 1986)

| Macam material anoda | Electrochemical efficiency (Ah/kg) |
|----------------------|------------------------------------|
| Al                   | 2000                               |
| Zn                   | 700                                |

Ada beberapa desain anoda korban diantaranya adalah dengan pola horizontal dan vertikal dimana pola horizontal (*long slenderstand off*) dan (*long flus-mounted*) memiliki kinerja yang optimal bila digunakan pada katoda dengan dimensi panjang lebih besar dari 4 kali tebal katoda. Sedangkan untuk (*short flush-mounted*) vertical memiliki kinerja yang baik bila digunakan pada desain katoda dengan dimensi lebih kecil dari 4 kali tebal katoda.

Kebutuhan berat anoda korban paduan aluminium dapat dihitung dengan persamaan (Espelid, 1996) :

$$M = \frac{I_c \times T \times 8760}{\mu \times \varepsilon}$$

Dimana :

- ❖ M = Berat Anoda Korban (kg)
- ❖  $I_c$  = Kebutuhan Arus Proteksi (Ampere)
- =  $A_c \times F_c \times I_c$
- ❖ T = Umur Proteksi (tahun)
- ❖  $\mu$  = Faktor Guna Anoda Korban
- ❖  $\varepsilon$  = Electrochemical efficiency (Ah/kg)
- ❖  $A_c$  = Luas Pelat Baja Yang diproteksi dengan paduan Aluminium ( $m^2$ )

## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian tersebut akan dilaksanakan di Laboratorium Uji Material dan Laboraturium terapan jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember pada bulan Juli 2019 sampai dengan bulan November 2019. Penelitian tersebut adalah metode eksperimental tentang pengaruh anoda tumbal aluminium dan seng terhadap laju korosi yang terdapat pada baja A36.

### 3.2 Alat dan Bahan

#### 3.2.1 Alat

1. Mur dan baut
2. Timbangan digital
3. Wadah elektrolit
4. Gergaji
5. Gerinda
6. Mesin bor
7. Jangka sorong
8. Kamera
9. Mikroskop

#### 3.2.2 Bahan

1. Anoda korban aluminium (Al)
2. Anoda korban seng (Zn)
3. Plat baja A36
4. Kertas amplas
5. Resin
6. Ethanol
7. Air laut
8. Etsa
9. Aquades

10. Katalis

11. Kain bersih

### 3.3 Variabel Pengukuran

#### 3.3.1 Variabel bebas atau variable penyebab (*dependent variables*)

Variable bebas adalah variable yang menyebabkan atau mempengaruhi, yaitu faktor-faktor yang diukur, dipilih oleh penelitian untuk menentukan hubungan antara fenomena yang diamati. Adapun variable bebas yang digunakan yaitu :

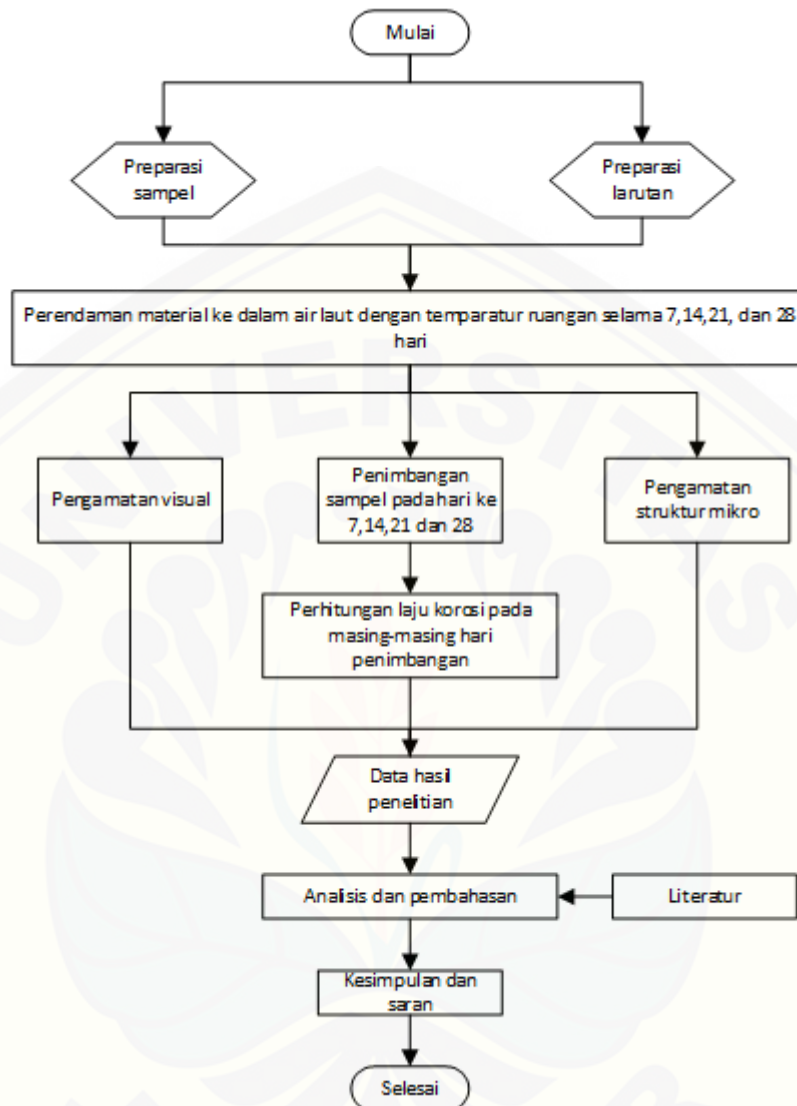
- a.) Jenis anoda
- b.) Luas katoda
- c.) Lama waktu perendaman

#### 3.3.2 Variabel terikat atau variable tergantung (*dependent variables*)

Variable terikat adalah faktor-faktor yang diteliti dan diukur untuk menentukan adanya pengaruh variable bebas, yaitu faktor yang muncul, atau tidak muncul, maupun berubah sesuai dengan yang diperkirakan oleh penelitian. Adapun variable terikat yang digunakan yaitu :

- a.) Laju korosi
- b.) Struktur mikro

### 3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.5 Prosedur Penelitian

#### 3.5.1 Persiapan pengujian

Spesimen uji plat baja A36 dipersiapkan terlebih dahulu dengan ukuran 4 x 4 cm, 8 x 4 cm, 12 x 4 cm dengan jumlah total 84 spesimen. Kemudian plat baja dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran-kotoran untuk menghindari terjadinya korosi diawal yang mengacu pada ASTM G1-81 “*Standart Practice Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Speciments*”

### 3.5.2 Penyusunan spesimen

Sebelum penelitian dilaksanakan terlebih dahulu dilakukan persiapan penyusunan perlengkapan penelitian maupun bahan-bahan yaitu diantaranya :

1. Alat-alat yang harus dicek yaitu :

- a. Kondisi mikroskop metalurgi
- b. Kondisi timbangan digital

2. Bahan yang harus disediakan

- a. Material plat baja A36 dengan ukuran 4 x 4 cm, 8 x 4 cm, 12 x 4 cm
- b. Material aluminium dengan dimensi 4 x 4 cm
- c. Material seng dengan dimensi 4 x 4 cm
- d. Menyiapkan air laut sebagai media
- e. Menyiapkan resin dan hardener untuk menjadikan dudukan material untuk pengambilan struktur mikro

### 3.5.3 Pengujian spesimen

Pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian tersebut terdapat 2 macam yaitu :

1. Pengujian struktur mikro

- a. Pengujian struktur mikro dilakukan pada 8 spesimen, yaitu :
  - Spesimen tanpa perlakuan anoda
  - Variasi A, B, dan C Al
  - Variasi A, B, dan C Zn
  - Spesimen sebelum perendaman
- b. Pengujian struktur makro yaitu pengambilan gambar setiap spesimen pada hari ke 7, 14, 21, 28



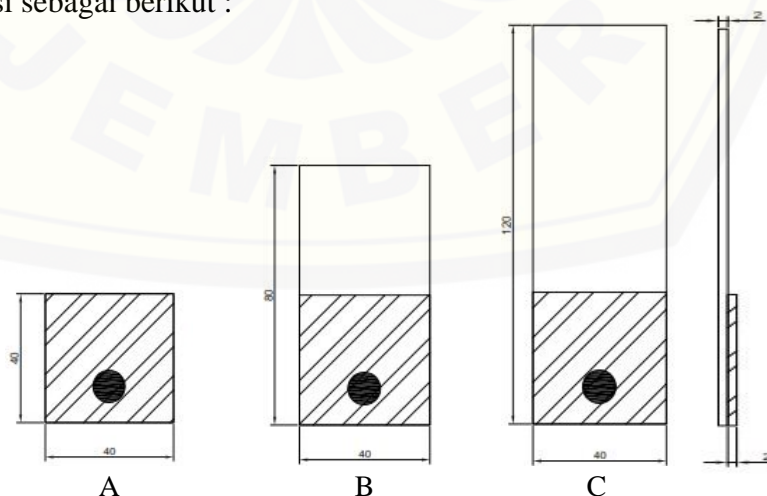
## 2. Pengujian Weightloss

Pengujian dilakukan dengan cara prosedur pengujian immersion. Prosedur ini dilakukan dengan beberapa tahapan yang mengacu pada ASTM G31 Standard Practice For Laboratory Immersion Corrosion Testing Of Metal sebagai berikut :

- a. Spesimen terlebih dahulu ditimbang beratnya
- b. Anoda aluminium yang menjadi tumbal ditempelkan pada baja A36 menggunakan baut dan mur
- c. Anoda seng yang menjadi tumbal ditempelkan pada baja A36 menggunakan baut dan mur
- d. Memberikan simbol atau tanda pada spesimen
- e. Spesimen direndam menggunakan alkohol untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang menempel kemudian disiram dengan air
- f. Spesimen dimasukkan kedalam air laut selama 7 hari, 14 hari, 21 hari, 28 hari

### 3.5.4 Persiapan spesimen

Langkah awal pada penelitian tersebut adalah menyiapkan spesimen dengan dimensi sebagai berikut :



Gambar 3.2 luas permukaan katoda dibandingkan anoda

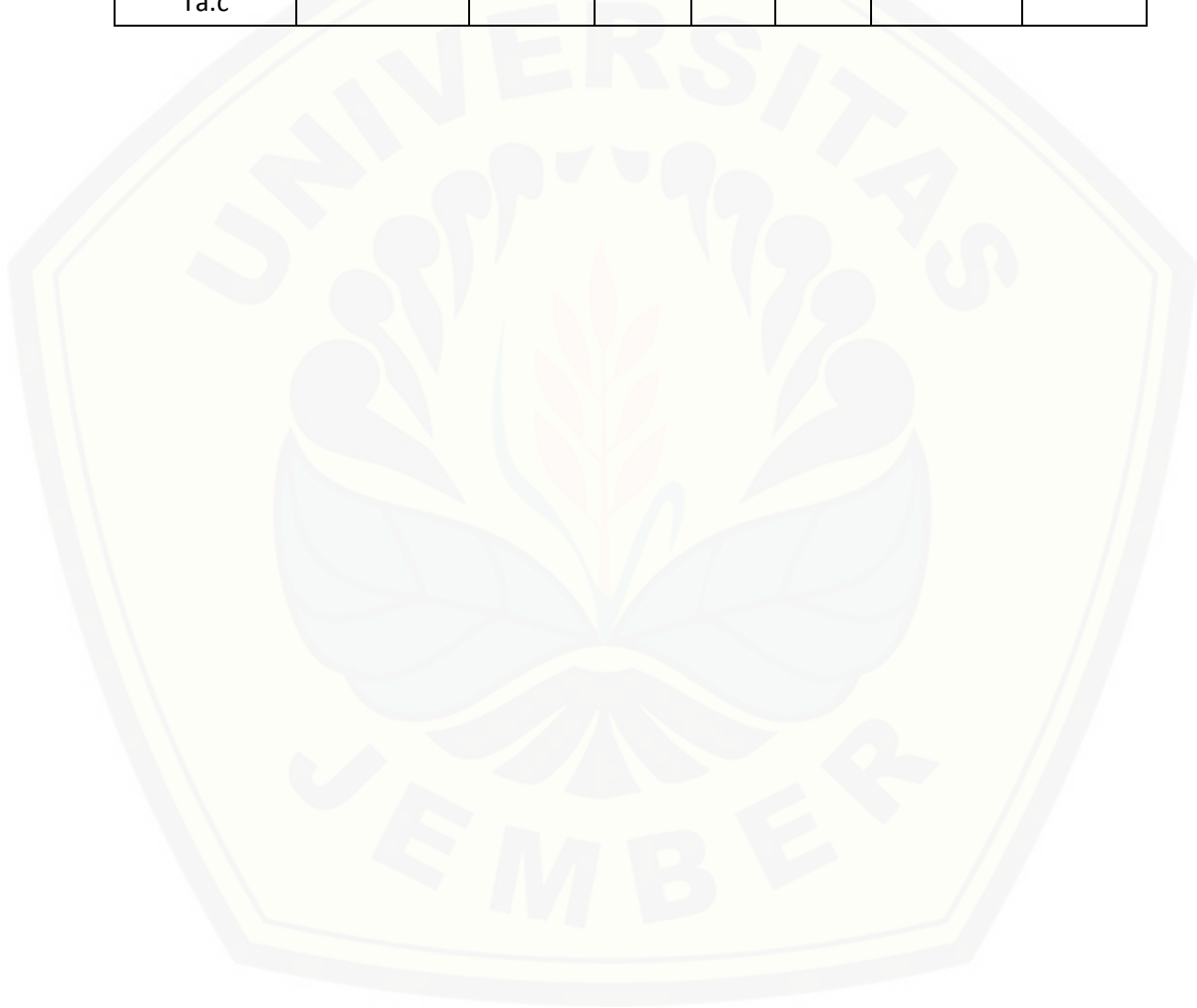
## 3.5.5 Pengambilan data

Ada dua cara pengambilan data yaitu :

- a. Pengambilan data menggunakan struktur mikro
- b. Pengambilan data menggunakan uji celup/immerse. Adapun table untuk mengontrol berat spesiem ditunjukkan oleh table

| Ukuran anoda | Spesimen  | Berat awal (mg) | Setelah perendaman hari ke- |    |    |    | Jumlah | Rata-rata |
|--------------|-----------|-----------------|-----------------------------|----|----|----|--------|-----------|
|              |           |                 | 7                           | 14 | 21 | 28 |        |           |
| Al.a         | 1         |                 |                             |    |    |    |        |           |
|              | 2         |                 |                             |    |    |    |        |           |
|              | 3         |                 |                             |    |    |    |        |           |
|              | Jumlah    |                 |                             |    |    |    |        |           |
|              | Rata-rata |                 |                             |    |    |    |        |           |
| Al.b         | 1         |                 |                             |    |    |    |        |           |
|              | 2         |                 |                             |    |    |    |        |           |
|              | 3         |                 |                             |    |    |    |        |           |
|              | Jumlah    |                 |                             |    |    |    |        |           |
|              | Rata-rata |                 |                             |    |    |    |        |           |
| Al.c         | 1         |                 |                             |    |    |    |        |           |
|              | 2         |                 |                             |    |    |    |        |           |
|              | 3         |                 |                             |    |    |    |        |           |
|              | Jumlah    |                 |                             |    |    |    |        |           |
|              | Rata-rata |                 |                             |    |    |    |        |           |
| Zn.a         | 1         |                 |                             |    |    |    |        |           |
|              | 2         |                 |                             |    |    |    |        |           |
|              | 3         |                 |                             |    |    |    |        |           |
|              | Jumlah    |                 |                             |    |    |    |        |           |
|              | Rata-rata |                 |                             |    |    |    |        |           |
| Zn.b         | 1         |                 |                             |    |    |    |        |           |
|              | 2         |                 |                             |    |    |    |        |           |
|              | 3         |                 |                             |    |    |    |        |           |
|              | Jumlah    |                 |                             |    |    |    |        |           |
|              | Rata-rata |                 |                             |    |    |    |        |           |
| Zn.c         | 1         |                 |                             |    |    |    |        |           |
|              | 2         |                 |                             |    |    |    |        |           |
|              | 3         |                 |                             |    |    |    |        |           |
|              | Jumlah    |                 |                             |    |    |    |        |           |
|              | Rata-rata |                 |                             |    |    |    |        |           |

| Kode Variasi | Berat awal (mg) | Setelah perendaman hari ke- |    |    |    | Jumlah | Rata-rata |
|--------------|-----------------|-----------------------------|----|----|----|--------|-----------|
|              |                 | 7                           | 14 | 21 | 28 |        |           |
| Ta.a         |                 |                             |    |    |    |        |           |
| Ta.b         |                 |                             |    |    |    |        |           |
| Ta.c         |                 |                             |    |    |    |        |           |



## BAB 5. PENUTUP

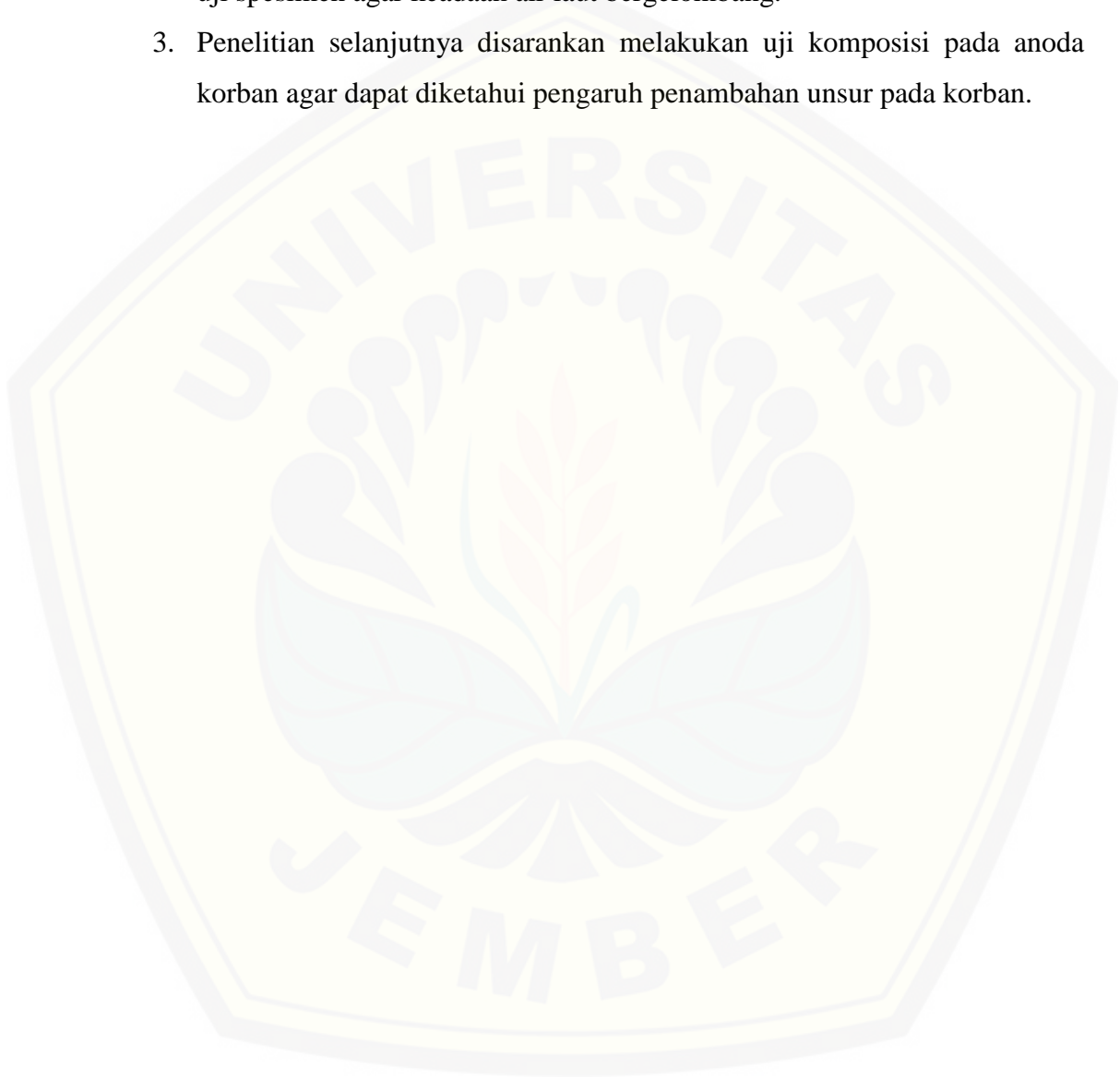
### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai laju korosi baja A36 memiliki nilai yang berbeda pada setiap variasi jenis anoda korban seng dan aluminium. Baja A36 tanpa proteksi anoda korban memiliki rata-rata nilai laju korosi sebesar 0.2340 mm/tahun, pada baja A36 dengan ukuran 4 x 4 cm proteksi seng ukuran 4 x 4 cm nilai rata-rata laju korosi berada pada angka 0.3318 mm/tahun. Baja A36 dengan dengan ukuran 8 x 4 cm proteksi seng ukuran 4 x 4 cm memiliki rata-rata laju korosi sebesar 0.4295 mm/tahun dan baja A36 dengan ukuran 12 x 4 cm proteksi seng ukuran 4 x 4 cm memiliki rata-rata laju korosi sebesar 0.4919 mm/tahun.
2. Laju korosi baja A36 tanpa proteksi anoda korban memiliki nilai laju korosi paling besar, sedangkan nilai laju korosi terendah dihasilkan oleh anoda aluminium dengan ukuran 4 x 4 cm pada baja A36 ukuran 4 x 4 cm. Semakin meratanya pendistribusian anoda korban maka jangkauan proteksi akan semakin luas sehingga anoda korban dapat bekerja dengan baik.
3. Hasil observasi mikro baja A36 tanpa anoda korban menunjukkan banyaknya rongga yang muncul akibat serangan korosi, sedangkan pada baja A36 yang diproteksi anoda korban seng dan aluminium jumlah rongga menurun drastis, dengan kinerja terbaik dihasilkan anoda korban dengan ukuran 4 x 4 cm pada katoda berukuran 4 x 4 cm.

## 5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya disarankan menganalisis pengaruh pH dan suhu agar data dan informasi laju korosi baja A36 lebih akurat.
2. Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan pompa air pada wadah uji spesimen agar keadaan air laut bergelombang.
3. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan uji komposisi pada anoda korban agar dapat diketahui pengaruh penambahan unsur pada korban.



**DAFTAR PUSTAKA**

- Afriani, S., Komalasari, dan Zultiniar. 2014. Proteksi katodik metoda anoda tumbal untuk mengendalikan laju korosi. *Jurnal Teknik Kimia*, Fakultas Teknik, Universitas Riau.
- Anggono, J., dan S. Tjitro. 2000. Studi Perbandingan Kinerja Anoda Korban Paduan Aluminium dengan Paduan Seng dalam Lingkungan Air Laut. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra.
- ASTM, Designation: E407-07. 2011. *Standard practice for microetching metals and alloys*.
- ASTM, Designation: G1-90. 1999. *Standard practice fo preparing, cleaning, and evaluating corrosion test specimens*
- ASTM, Designation: G71-81. 2009. *Standard guie for conducting and evaluating galvanic corrosion tests in electrolytes*.
- Benjamin D., dan Craig. 2006, *Corrosion Prevention and Control: A Program Management Guide for Selecting Materials by : Advanced Materials, Manufacturing, and Testing Information Analysis Center (AMMTIAC)*.
- Burhanudin, M. 2000. Analisa Teknis dan Ekonomis Perlindungan Korosi Menggunakan Sistem Sacrificial Anode dan Impressed Current Cathodic Protection pada Kapal. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Chodijah, S. 2008. Efektifitas penggunaan pelapis epoksi terhadap ketahanan korosi pipa baja astm a53 didalam tanah. Fakultas Teknik, Teknik Material Dan Metalurgi Depok.
- Eliades, T., dan Athanasial. 2002. *In vivo aging of orthodontic alloy implication for corrosion potential, nickel release, and biocompatibility*. Angle Orthod.
- Espelid., Baard, dan Schi, B. 1996. Characterization of Sacrificial Anodes Materials Through Laboratory Testing, In NACE International. *Corrosion*. Paper No.551, Texas, USA.

- DNV Recommended Practice RP.B401. 1993. *Cathodic Protection Design, Det Norske Veritas Industry Norway AS, Hovik.*
- Fadly, E. 2010. Perbandingan Efisiensi Anoda Aluminium Pada Lingkungan Air Laut dan Pasir Laut. Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Fontana., dan Mars. G. 1986. *Corrosion Engineering*. 3th Edition, Book Co., New York : Mc Graw Hill
- Hari Amanto., dan Daryanto. (1999). Ilmu Bahan. Jakarta: PT. Bumi Aksara.
- Johannes Leonard. 2012., Analisis Laju Korosi Material Penukar Panas Mesin Kapal Dalam Lingkungan Air Laut Sintetik dan Air Tawar, Malang.
- Muhsinin, N. M., dan B. A. Kurniawan. 2012. Pengaruh Polutan Terhadap Karakteristik dan Laju Korosi pada Baja AISI 1045 dan Stainless Steel 304 di Lingkungan Muara Sungai. *Jurnal Teknik Pomits* Vol. 1, No. 1.
- PT. Biro Klasifikasi Indonesia, 2006. *Rules for The Classification and Construction of Seagoing Stel Ships*. Volume II. Rules For Hull, Edition 2006. Jakarta : BKI.
- Pribadi Ridzky, M. 2001. Poteksi Patodik Arus Paksa yang Berasal dari DC dan AC. Tugas Akhir. Teknik Material. Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Sasono, E. J. 2010. Efektivitas Penggunaan Anoda Korban Paduan Aluminium Pada Pelat Baja Kapal AISI E 2512 Terhadap Laju Korosi di dalam Media air Laut. *Tesis*. Teknik Mesin. Fakultas Teknik : Universitas Diponegoro.
- Sasono, E. J., Sulaiman, S. Darmanto, dan E. Supriyo. 2014. Analisa Perbandingan Laju Korosi Lambung Kapal Dengan Aplikasi Paduan Alumunium. Teknik Mesin. Fakultas Teknik : Universitas Diponegoro.
- Sulaiman. 2014. Analisa perbandingan laju korosi lambung kapal dengan aplikasi paduan alumunium. *Jurnal Teknik Perkapalan*. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.
- Sulistioso, G. S. 2004. Analisis Korosi dari SS 440C pada Media Air Tawar dan Air Laut.

- Sumarji. 2012. Evaluasi Korosi Baja Karbon Rendah ASTM A36 Pada Lingkungan Atmosferik Di Kabupaten Jember. ROTOR, Volume 5 Nomor 1.
- Supardi, H, R. 1997. *Korosi*, Edisi Pertama. Bandung : Penerbit Tarsito.
- Syahbuddin., dan Rahmam, A. 2003. Pertumbuhan Lapisan Intermetalik Fe - Zn pada Permukaan Sambungan Las Baja Struktur SS400 selama Galvanis pada 460 °C, *jurnal desain dan kontruksi* volume 2 no. 1.
- Tretthewey, R, K., and Chamberlain, J. 1991. *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. edisi ke-2. Jakarta : PT. Gramedia.
- Utomo, B. 2009. Jenis Korosi dan Penanggulangnya. *Jurnal Teknik Perkapalan*, Universitas Diponegoro.
- Wibowo, A. 2016. Analisis sifat korosi galvanik berbagai plat logam di laboratorium metalurgi politeknik negeri batam. *Jurnal Integrasi*. Vol. 8. (No. 2).
- Widharto, S. 1997. *Karat dan Pencegahannya*. Jakarta : Pradiya Paramitha.
- Wiludin, A., dan Soepomo, H. 2013. Analisa Teknis dan Ekonomis Penggunaan ICCP (*Impressed Current Cathodic Protection*) Dibandingkan dengan *Sacrificial Anode* dalam Proses Pencegahan Korosi. *Jurnal Teknik POMITS* Vol. 2, No. 1.



## LAMPIRAN

## LAMPIRAN A. DATA HASIL PENGUJIAN

## A.1.1 Tabel laju korosi baja A36 proteksi anoda korban

| Hari ke -        | Luas Katoda (cm <sup>2</sup> ) | Berat Awal (g) | Berat Akhir (g) | Selisih Berat (g) | Waktu (jam) | Densitas (g/cm <sup>3</sup> ) | koatanta | Laju Korosi (mm/tahun) |
|------------------|--------------------------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------|-------------------------------|----------|------------------------|
| 7                | 16.0000                        | 17.6907        | 17.1699         | 0.5208            | 168         | 7.8                           | 87600    | 2.175961538            |
| 14               | 16.0000                        | 17.3940        | 16.2816         | 1.1124            | 336         | 7.8                           | 87600    | 2.323866758            |
| 21               | 16.0000                        | 18.0629        | 16.3529         | 1.7100            | 504         | 7.8                           | 87600    | 2.381524725            |
| 28               | 16.0000                        | 18.9454        | 16.5707         | 2.3747            | 672         | 7.8                           | 87600    | 2.480441564            |
| <b>Rata-rata</b> |                                |                |                 |                   |             |                               |          | 2.340448646            |

## A.1.2 Tabel laju korosi baja A36 dengan anoda korban seng ukuran 4 x 4 cm

| Har i ke -         | Luas Katoda (cm <sup>2</sup> ) | Berat Awal (g) | Berat Akhir (g) | Selisih Berat (g) | Waktu (jam) | Densi tas (g/c m <sup>3</sup> ) | Konst anta | Laju Korosi (mm/tahun)        | Rata-rata (mm/tahun) |
|--------------------|--------------------------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------|---------------------------------|------------|-------------------------------|----------------------|
| 7                  | 16,0000                        | 18,1221        | 18,0497         | 0,0724            | 168         | 7,8                             | 87600      | 0,30249542                    | 0,305002<br>289      |
|                    | 16,0000                        | 16,6737        | 16,6002         | 0,0735            | 168         | 7,8                             | 87600      | 0,30709135                    |                      |
|                    | 16,0000                        | 16,8482        | 16,7751         | 0,0731            | 168         | 7,8                             | 87600      | 0,30542010                    |                      |
| 14                 | 16,0000                        | 16,3984        | 16,2409         | 0,1575            | 336         | 7,8                             | 87600      | 0,32902644                    | 0,329653<br>16       |
|                    | 16,0000                        | 16,8457        | 16,6878         | 0,1579            | 336         | 7,8                             | 87600      | 0,32986206                    |                      |
|                    | 16,0000                        | 16,2798        | 16,1218         | 0,1580            | 336         | 7,8                             | 87600      | 0,33007097                    |                      |
| 21                 | 16,0000                        | 16,5724        | 16,3197         | 0,2527            | 504         | 7,8                             | 87600      | 0,35193643                    | 0,360803<br>317      |
|                    | 16,0000                        | 16,5116        | 16,2531         | 0,2585            | 504         | 7,8                             | 87600      | 0,36001411                    |                      |
|                    | 16,0000                        | 16,4769        | 16,2109         | 0,2660            | 504         | 7,8                             | 87600      | 0,37045940                    |                      |
| 28                 | 16,0000                        | 16,4970        | 16,0460         | 0,4510            | 672         | 7,8                             | 87600      | 0,47108230                    | 0,484974<br>53       |
|                    | 16,0000                        | 16,7197        | 16,2551         | 0,4646            | 672         | 7,8                             | 87600      | 0,48528788                    |                      |
|                    | 16,0000                        | 15,8789        | 15,4016         | 0,4773            | 672         | 7,8                             | 87600      | 0,49855340                    |                      |
| <b>Rata - rata</b> |                                |                |                 |                   |             |                                 |            | <b>0,331819</b><br><b>589</b> |                      |

A.1.3 Tabel laju korosi A36 dengan anoda korban seng ukuran 4 x 8 cm

| Hari ke -          | Luas Katoda (cm <sup>2</sup> ) | Berat Awal (g) | Berat Akhir (g) | Selisih Berat (g) | Waktu (jam) | Konstanta | Densitas (g/cm <sup>3</sup> ) | Laju Korosi (mm/tahun) | Rata-rata (mm/tahun) |
|--------------------|--------------------------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------|-----------|-------------------------------|------------------------|----------------------|
| 7                  | 32,0000                        | 36,8868        | 36,7018         | 0,1850            | 168         | 87600     | 7,8                           | 0,3864755              | 0,38341155           |
|                    | 32,0000                        | 36,8029        | 36,6226         | 0,1803            | 168         | 87600     | 7,8                           | 0,3766569              |                      |
|                    | 32,0000                        | 36,6495        | 36,4642         | 0,1853            | 168         | 87600     | 7,8                           | 0,3871022              |                      |
| 14                 | 32,0000                        | 36,4128        | 36,0209         | 0,3919            | 336         | 87600     | 7,8                           | 0,4093507              | 0,412310172          |
|                    | 32,0000                        | 34,2894        | 33,8938         | 0,3956            | 336         | 87600     | 7,8                           | 0,4132154              |                      |
|                    | 32,0000                        | 37,4661        | 37,0694         | 0,3967            | 336         | 87600     | 7,8                           | 0,4143644              |                      |
| 21                 | 32,0000                        | 35,9931        | 35,3834         | 0,6097            | 504         | 87600     | 7,8                           | 0,4245660              | 0,429277956          |
|                    | 32,0000                        | 36,3476        | 35,7300         | 0,6176            | 504         | 87600     | 7,8                           | 0,4300671              |                      |
|                    | 32,0000                        | 36,4814        | 35,8593         | 0,6221            | 504         | 87600     | 7,8                           | 0,4332007              |                      |
| 28                 | 32,0000                        | 35,5493        | 34,6151         | 0,9342            | 672         | 87600     | 7,8                           | 0,4878992              | 0,493278531          |
|                    | 32,0000                        | 35,5127        | 34,5716         | 0,9411            | 672         | 87600     | 7,8                           | 0,4915028              |                      |
|                    | 32,0000                        | 37,1592        | 36,2010         | 0,9582            | 672         | 87600     | 7,8                           | 0,5004335              |                      |
| <b>Rata - rata</b> |                                |                |                 |                   |             |           |                               |                        | <b>0,42956955</b>    |

A.1.4 Tabel laju korosi baja A36 dengan anoda korban seng ukuran 4 x 12 cm

| Hari ke - | Luas Katoda (cm <sup>2</sup> ) | Berat Awal (g) | Berat Akhir (g) | Selisih Berat (g) | Waktu (jam) | Densitas (g/cm <sup>3</sup> ) | Konstanta | Laju Korosi (mm/tahun) | Rata-rata (mm/tahun) |
|-----------|--------------------------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------|-------------------------------|-----------|------------------------|----------------------|
| 7         | 48,0000                        | 54,9673        | 54,6360         | 0,3313            | 168         | 7,8                           | 87600     | 0,461403007            | 0,465395426          |
|           | 48,0000                        | 51,6897        | 51,3548         | 0,3349            | 168         | 7,8                           | 87600     | 0,466416743            |                      |
|           | 48,0000                        | 53,6956        | 53,3593         | 0,3363            | 168         | 7,8                           | 87600     | 0,468366529            |                      |
| 14        | 48,0000                        | 55,0667        | 54,3911         | 0,6756            | 336         | 7,8                           | 87600     | 0,470455586            | 0,481620434          |
|           | 48,0000                        | 55,7901        | 55,0949         | 0,6952            | 336         | 7,8                           | 87600     | 0,4841041              |                      |
|           | 48,0000                        | 53,9022        | 53,1981         | 0,7041            | 336         | 7,8                           | 87600     | 0,490301625            |                      |
| 21        | 48,0000                        | 54,4858        | 53,4167         | 1,0691            | 504         | 7,8                           | 87600     | 0,496313467            | 0,499501213          |
|           | 48,0000                        | 56,5005        | 55,4234         | 1,0771            | 504         | 7,8                           | 87600     | 0,500027345            |                      |
|           | 48,0000                        | 56,1013        | 55,0196         | 1,0817            | 504         | 7,8                           | 87600     | 0,502162826            |                      |
| 28        | 48,0000                        | 55,0324        | 53,5654         | 1,4670            | 672         | 7,8                           | 87600     | 0,510774382            | 0,521138425          |
|           | 48,0000                        | 54,72          | 53,2211         | 1,4997            | 672         | 7,8                           | 87600     | 0,522159741            |                      |

|                    |             |         |        |     |     |       |             |  |                         |
|--------------------|-------------|---------|--------|-----|-----|-------|-------------|--|-------------------------|
|                    | 08          |         |        |     |     |       |             |  |                         |
| 48,0000            | 54,70<br>13 | 53,1777 | 1,5236 | 672 | 7,8 | 87600 | 0,530481151 |  |                         |
| <b>Rata – rata</b> |             |         |        |     |     |       |             |  | <b>0,491913<br/>874</b> |

A.1.5 Tabel laju korosi baja A36 dengan anoda korban alumunium ukuran 4 x 4 cm

| Hari ke -          | Luas Katoda (cm <sup>2</sup> ) | Berat Awal (g) | Berat Akhir (g) | Selisih Berat (g) | Waktu (jam) | Densitas (g/cm <sup>3</sup> ) | konstanta | Laju Korosi (mm/tahun) | Rata-rata (mm/tahun)    |
|--------------------|--------------------------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------|-------------------------------|-----------|------------------------|-------------------------|
| 7                  | 16,0000                        | 17,1907        | 17,1699         | 0,0208            | 168         | 7,8                           | 87600     | 0,086904762            | 0,09219<br>7039         |
|                    | 16,0000                        | 16,4580        | 16,4378         | 0,0202            | 168         | 7,8                           | 87600     | 0,084397894            |                         |
|                    | 16,0000                        | 16,6916        | 16,6664         | 0,0252            | 168         | 7,8                           | 87600     | 0,105288462            |                         |
| 14                 | 16,0000                        | 16,3727        | 16,2816         | 0,0911            | 336         | 7,8                           | 87600     | 0,190313072            | 0,16893<br>5058         |
|                    | 16,0000                        | 15,9351        | 15,8577         | 0,0774            | 336         | 7,8                           | 87600     | 0,161692995            |                         |
|                    | 16,0000                        | 16,6822        | 16,6081         | 0,0741            | 336         | 7,8                           | 87600     | 0,154799107            |                         |
| 21                 | 16,0000                        | 16,4301        | 16,3529         | 0,0772            | 504         | 7,8                           | 87600     | 0,107516789            | 0,10937<br>3728         |
|                    | 16,0000                        | 16,5579        | 16,4796         | 0,0783            | 504         | 7,8                           | 87600     | 0,109048764            |                         |
|                    | 16,0000                        | 16,1572        | 16,0771         | 0,0801            | 504         | 7,8                           | 87600     | 0,111555632            |                         |
| 28                 | 16,0000                        | 16,6584        | 16,5707         | 0,0877            | 672         | 7,8                           | 87600     | 0,09160514             | 0,09345<br>0473         |
|                    | 16,0000                        | 16,8593        | 16,7686         | 0,0907            | 672         | 7,8                           | 87600     | 0,094738725            |                         |
|                    | 16,0000                        | 16,4158        | 16,3258         | 0,0900            | 672         | 7,8                           | 87600     | 0,094007555            |                         |
| <b>Rata – rata</b> |                                |                |                 |                   |             |                               |           |                        | <b>0,11598<br/>9075</b> |

A.1.6 Tabel laju korosi baja A36 dengan anoda korban alumunium ukuran 4 x 8 cm

| Hari ke - | Luas Katoda (cm <sup>2</sup> ) | Berat Awal (g) | Berat Akhir (g) | Selisih Berat (g) | Waktu (jam) | Densitas (g/cm <sup>3</sup> ) | Konstanta | Laju Korosi (mm/tahun) | Rata-rata (mm/tahun) |
|-----------|--------------------------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------|-------------------------------|-----------|------------------------|----------------------|
| 7         | 32,0000                        | 39,7770        | 39,6888         | 0,0882            | 168         | 7,8                           | 87600     | 0,184254808            | 0,1795892<br>48      |
|           | 32,0000                        | 35,2271        | 35,1374         | 0,0897            | 168         | 7,8                           | 87600     | 0,187388393            |                      |
|           | 32,0000                        | 36,1762        | 36,0962         | 0,0800            | 168         | 7,8                           | 87600     | 0,167124542            |                      |
| 14        | 32,0000                        | 35,2498        | 35,0666         | 0,1832            | 336         | 7,8                           | 87600     | 0,19133671             | 0,1957724<br>74      |
|           | 32,0000                        | 33,7101        | 33,5225         | 0,1876            | 336         | 7,8                           | 87600     | 0,195953526            |                      |
|           | 32,0000                        | 35,0185        | 34,8270         | 0,1915            | 336         | 7,8                           | 87600     | 0,200027186            |                      |

|                    |         |         |         |        |     |     |       |             |                         |
|--------------------|---------|---------|---------|--------|-----|-----|-------|-------------|-------------------------|
| 21                 | 32,0000 | 35,3645 | 35,0829 | 0,2816 | 504 | 7,8 | 87600 | 0,19609280  | 0,2049364<br>70         |
|                    | 32,0000 | 35,5355 | 35,2353 | 0,3002 | 504 | 7,8 | 87600 | 0,209044948 |                         |
|                    | 32,0000 | 33,7419 | 33,4408 | 0,3011 | 504 | 7,8 | 87600 | 0,209671665 |                         |
| 28                 | 32,0000 | 36,0901 | 35,6145 | 0,4756 | 672 | 7,8 | 87600 | 0,248388851 | 0,2591649<br>02         |
|                    | 32,0000 | 36,4790 | 35,9732 | 0,5058 | 672 | 7,8 | 87600 | 0,264161229 |                         |
|                    | 32,0000 | 36,0937 | 35,5864 | 0,5073 | 672 | 7,8 | 87600 | 0,264944626 |                         |
| <b>Rata - rata</b> |         |         |         |        |     |     |       |             | <b>0,2098657<br/>73</b> |

A.1.7 Tabel laju korosi baja A36 dengan anoda korban aluminium ukuran 4 x 12 cm

| Hari ke -          | Luas Katoda (cm <sup>2</sup> ) | Berat Awal (g) | Berat Akhir (g) | Selisih Berat (g) | Waktu (jam) | konstanta | Densitas (g/cm <sup>3</sup> ) | Laju Korosi (mm/tahun) | Rata-rata (mm/tahun)    |
|--------------------|--------------------------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------|-----------|-------------------------------|------------------------|-------------------------|
| 7                  | 48,0000                        | 58,1039        | 57,9674         | 0,1365            | 168         | 87600     | 7,8                           | 0,190104167            | 0,1941<br>4301          |
|                    | 48,0000                        | 55,1312        | 54,9933         | 0,1379            | 168         | 87600     | 7,8                           | 0,192053953            |                         |
|                    | 48,0000                        | 55,1913        | 55,0475         | 0,1438            | 168         | 87600     | 7,8                           | 0,20027091             |                         |
| 14                 | 48,0000                        | 55,1602        | 54,8590         | 0,3012            | 336         | 87600     | 7,8                           | 0,20974130             | 0,2158<br>4599          |
|                    | 48,0000                        | 53,6907        | 53,3796         | 0,3111            | 336         | 87600     | 7,8                           | 0,21663519             |                         |
|                    | 48,0000                        | 53,9716        | 53,6540         | 0,3176            | 336         | 87600     | 7,8                           | 0,221161477            |                         |
| 21                 | 48,0000                        | 52,3585        | 51,8816         | 0,4769            | 504         | 87600     | 7,8                           | 0,221393595            | 0,2333<br>2443          |
|                    | 48,0000                        | 56,4747        | 55,9711         | 0,5036            | 504         | 87600     | 7,8                           | 0,233788665            |                         |
|                    | 48,0000                        | 55,5902        | 55,0629         | 0,5273            | 504         | 87600     | 7,8                           | 0,244791031            |                         |
| 28                 | 48,0000                        | 54,3291        | 53,6070         | 0,7221            | 672         | 87600     | 7,8                           | 0,251417983            | 0,2685<br>83066         |
|                    | 48,0000                        | 53,2825        | 52,5005         | 0,7820            | 672         | 87600     | 7,8                           | 0,27227373             |                         |
|                    | 48,0000                        | 54,1063        | 53,2962         | 0,8101            | 672         | 87600     | 7,8                           | 0,282057482            |                         |
| <b>Rata - rata</b> |                                |                |                 |                   |             |           |                               |                        | <b>0,2279<br/>74124</b> |

A.1.8 Tabel data kehilangan berat dengan anoda seng ukuran 4 x 4 cm

| Hari ke -          | Luas Anoda (cm <sup>2</sup> ) | Berat Awal (g) | Berat Akhir (g) | Selisih Berat (g) | Waktu (jam) | Laju Korosi (mm/tahun) | Rata-rata (mm/tahun) |
|--------------------|-------------------------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------|------------------------|----------------------|
| 7                  | 16.0000                       | 3.3953         | 3.3497          | 0.0456            | 168         | 0.550396825            | 0.824790564          |
|                    | 16.0000                       | 3.5605         | 3.4914          | 0.0691            | 168         | 0.834044312            |                      |
|                    | 16.0000                       | 3.7187         | 3.6284          | 0.0903            | 168         | 1.089930556            |                      |
| 14                 | 16.0000                       | 3.8085         | 3.6910          | 0.1175            | 336         | 0.709118717            | 1.264343585          |
|                    | 16.0000                       | 3.7425         | 3.5264          | 0.2161            | 336         | 1.304174934            |                      |
|                    | 16.0000                       | 3.7123         | 3.4174          | 0.2949            | 336         | 1.779737103            |                      |
| 21                 | 16.0000                       | 3.8743         | 3.5604          | 0.3139            | 504         | 1.262935406            | 1.611895576          |
|                    | 16.0000                       | 3.8581         | 3.4247          | 0.4334            | 504         | 1.743727954            |                      |
|                    | 16.0000                       | 4.1164         | 3.6618          | 0.4546            | 504         | 1.829023369            |                      |
| 28                 | 16.0000                       | 3.9861         | 3.4632          | 0.5229            | 672         | 1.577864583            | 1.86342317           |
|                    | 16.0000                       | 4.0985         | 3.4846          | 0.6139            | 672         | 1.852459491            |                      |
|                    | 16.0000                       | 4.3776         | 3.6618          | 0.7158            | 672         | 2.159945437            |                      |
| <b>Rata – rata</b> |                               |                |                 |                   |             |                        | <b>1.3911132</b>     |

A.1.9 Tabel data kehilangan berat dengan anoda seng ukuran 4 x 8 cm

| Hari ke - | Luas Anoda (cm <sup>2</sup> ) | Berat Awal (g) | Berat Akhir (g) | Selisih Berat (g) | Waktu (jam) | Laju Korosi (mm/tahun) | Rata-rata (mm/tahun) |
|-----------|-------------------------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------|------------------------|----------------------|
| 7         | 16.0000                       | 4.1104         | 3.3930          | 0.7174            | 168         | 8.659093915            | 9.188569224          |
|           | 16.0000                       | 4.3012         | 3.5339          | 0.7673            | 168         | 9.261392196            |                      |
|           | 16.0000                       | 4.1935         | 3.3944          | 0.7991            | 168         | 9.645221561            |                      |
| 14        | 16.0000                       | 4.3816         | 3.5602          | 0.8214            | 336         | 4.95719246             | 5.534747024          |
|           | 16.0000                       | 4.4007         | 3.4740          | 0.9267            | 336         | 5.592683532            |                      |
|           | 16.0000                       | 4.1992         | 3.1960          | 1.0032            | 336         | 6.054365079            |                      |
| 21        | 16.0000                       | 4.2772         | 3.1939          | 1.0833            | 504         | 4.358515212            | 4.738857657          |
|           | 16.0000                       | 4.4097         | 3.2981          | 1.1116            | 504         | 4.472376543            |                      |
|           | 16.0000                       | 4.6973         | 3.3587          | 1.3386            | 504         | 5.38568121             |                      |

|                    |         |        |        |        |     |                 |                  |
|--------------------|---------|--------|--------|--------|-----|-----------------|------------------|
|                    |         |        |        |        |     | 7               |                  |
| 28                 | 16.0000 | 4.8931 | 3.4422 | 1.4509 | 672 | 4.37812913<br>4 | 4.2507895<br>17  |
|                    | 16.0000 | 4.9997 | 3.5882 | 1.4115 | 672 | 4.25923859<br>1 |                  |
|                    | 16.0000 | 4.9969 | 3.6332 | 1.3637 | 672 | 4.11500082<br>7 |                  |
| <b>Rata – rata</b> |         |        |        |        |     |                 | <b>5.9282409</b> |

A.1.10 Tabel data kehilangan berat dengan anoda seng ukuran 4 x 12 cm

| Hari ke -          | Luas Anoda (cm <sup>2</sup> ) | Berat Awal (g) | Berat Akhir (g) | Selisih Berat (g) | Waktu (jam) | Laju Korosi (mm/tahun) | Rata-rata (mm/tahun) |
|--------------------|-------------------------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------|------------------------|----------------------|
| 7                  | 16.0000                       | 4.8276         | 3.4588          | 1.3688            | 168         | 16.52156085            | 16.66640212          |
|                    | 16.0000                       | 4.9329         | 3.5560          | 1.3769            | 168         | 16.61932870            |                      |
|                    | 16.0000                       | 4.6551         | 3.2584          | 1.3967            | 168         | 16.85831680            |                      |
| 14                 | 16.0000                       | 4.7240         | 3.3167          | 1.4073            | 336         | 8.49312996             | 8.73131338           |
|                    | 16.0000                       | 4.7572         | 3.3354          | 1.4218            | 336         | 8.58063823             |                      |
|                    | 16.0000                       | 4.8783         | 3.3671          | 1.5112            | 336         | 9.12017196             |                      |
| 21                 | 16.0000                       | 4.9929         | 3.4914          | 1.5015            | 504         | 6.04108796             | 6.23756246           |
|                    | 16.0000                       | 4.8424         | 3.3170          | 1.5254            | 504         | 6.13724647             |                      |
|                    | 16.0000                       | 4.8454         | 3.2213          | 1.6241            | 504         | 6.53435295             |                      |
| 28                 | 16.0000                       | 5.2120         | 3.4916          | 1.7204            | 672         | 5.19135251             | 5.50074956           |
|                    | 16.0000                       | 5.4083         | 3.5970          | 1.8113            | 672         | 5.46564567             |                      |
|                    | 16.0000                       | 5.2919         | 3.3548          | 1.9371            | 672         | 5.84525050             |                      |
| <b>Rata – rata</b> |                               |                |                 |                   |             |                        | <b>9.2840069</b>     |

A.1.11 Tabel kehilangan berat dengan anoda aluminium ukuran 4 x 4 cm

| Hari ke -          | Luas Anoda (cm <sup>2</sup> ) | Berat Awal (g) | Berat Akhir (g) | Selisih Berat (g) | Waktu (jam) | Laju Korosi (mm/tahun) | Rata-rata (mm/tahun) |
|--------------------|-------------------------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------|------------------------|----------------------|
| 7                  | 16.0000                       | 3.9889         | 3.9799          | 0.0090            | 168         | 0.108630952            | 0.119494048          |
|                    | 16.0000                       | 4.0086         | 3.9984          | 0.0102            | 168         | 0.123115079            |                      |
|                    | 16.0000                       | 3.9705         | 3.9600          | 0.0105            | 168         | 0.126736111            |                      |
| 14                 | 16.0000                       | 3.9392         | 3.9084          | 0.0308            | 336         | 0.185879630            | 0.308793541          |
|                    | 16.0000                       | 3.8864         | 3.8348          | 0.0516            | 336         | 0.311408730            |                      |
|                    | 16.0000                       | 3.9973         | 3.9262          | 0.0711            | 336         | 0.429092262            |                      |
| 21                 | 16.0000                       | 3.9032         | 3.8105          | 0.0927            | 504         | 0.372966270            | 0.468990667          |
|                    | 16.0000                       | 3.9081         | 3.7867          | 0.1214            | 504         | 0.488436949            |                      |
|                    | 16.0000                       | 3.9997         | 3.8641          | 0.1356            | 504         | 0.545568783            |                      |
| 28                 | 16.0000                       | 3.9485         | 3.7868          | 0.1617            | 672         | 0.487934028            | 0.692522321          |
|                    | 16.0000                       | 4.1998         | 4.0185          | 0.1813            | 672         | 0.547077546            |                      |
|                    | 16.0000                       | 4.2641         | 3.9186          | 0.3455            | 672         | 1.042555390            |                      |
| <b>Rata – rata</b> |                               |                |                 |                   |             |                        | <b>0.39745014</b>    |

A.1.12 Tabel kehilangan berat dengan anoda aluminium ukuran 4 x 8 cm

| Hari ke -          | Luas Anoda (cm <sup>2</sup> ) | Berat Awal (g) | Berat Akhir (g) | Selisih Berat (g) | Waktu (jam) | Densitas (g/cm <sup>3</sup> ) | Rata-rata (mm/tahun) |
|--------------------|-------------------------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------|-------------------------------|----------------------|
| 7                  | 16.0000                       | 3.9463         | 3.9246          | 0.0217            | 168         | 2.7                           | 0.50493276           |
|                    | 16.0000                       | 3.9329         | 3.8920          | 0.0409            | 168         | 2.7                           |                      |
|                    | 16.0000                       | 3.9508         | 3.8879          | 0.0629            | 168         | 2.7                           |                      |
| 14                 | 16.0000                       | 4.0021         | 3.9120          | 0.0901            | 336         | 2.7                           | 1.018314594          |
|                    | 16.0000                       | 3.5292         | 3.4187          | 0.1105            | 336         | 2.7                           |                      |
|                    | 16.0000                       | 3.7137         | 3.4081          | 0.3056            | 336         | 2.7                           |                      |
| 21                 | 16.0000                       | 3.9125         | 3.4091          | 0.5034            | 504         | 2.7                           | 1.913782334          |
|                    | 16.0000                       | 4.0251         | 3.6166          | 0.4085            | 504         | 2.7                           |                      |
|                    | 16.0000                       | 3.9348         | 3.4197          | 0.5151            | 504         | 2.7                           |                      |
| 28                 | 16.0000                       | 3.9054         | 3.2229          | 0.6825            | 672         | 2.7                           | 2.131480104          |
|                    | 16.0000                       | 4.1948         | 3.4844          | 0.7104            | 672         | 2.7                           |                      |
|                    | 16.0000                       | 4.2353         | 3.5091          | 0.7262            | 672         | 2.7                           |                      |
| <b>Rata – rata</b> |                               |                |                 |                   |             |                               | <b>1.39212745</b>    |

## A.1.13 Data kehilangan berat dengan anoda alumunium ukuran 4 x 12 cm

| Hari ke -          | Luas Anoda (cm <sup>2</sup> ) | Berat Awal (g) | Berat Akhir (g) | Selisih Berat (g) | Waktu (jam) | Laju Korosi (mm/tahun) | Rata-rata (mm/tahun)   |
|--------------------|-------------------------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------|------------------------|------------------------|
| 7                  | 16.0000                       | 4.0028         | 3.9620          | 0.0408            | 168         | 0.492460317            | 0.78616<br>6226        |
|                    | 16.0000                       | 3.9811         | 3.9129          | 0.0682            | 168         | 0.823181217            |                        |
|                    | 16.0000                       | 4.0387         | 3.9523          | 0.0864            | 168         | 1.042857143            |                        |
| 14                 | 16.0000                       | 4.1117         | 4.0108          | 0.1009            | 336         | 0.608936839            | 1.09254<br>5745        |
|                    | 16.0000                       | 4.1273         | 3.9954          | 0.1319            | 336         | 0.796023479            |                        |
|                    | 16.0000                       | 4.2345         | 3.9242          | 0.3103            | 336         | 1.872676918            |                        |
| 21                 | 16.0000                       | 4.5531         | 4.0376          | 0.5155            | 504         | 2.074046517            | 2.46887<br>3089        |
|                    | 16.0000                       | 4.5424         | 3.9159          | 0.6265            | 504         | 2.520640432            |                        |
|                    | 16.0000                       | 4.3802         | 3.6813          | 0.6989            | 504         | 2.811932319            |                        |
| 28                 | 16.0000                       | 4.6141         | 3.8887          | 0.7254            | 672         | 2.188913690            | 2.51178<br>9021        |
|                    | 16.0000                       | 4.7089         | 3.8311          | 0.8778            | 672         | 2.648784722            |                        |
|                    | 16.0000                       | 4.8669         | 3.9729          | 0.8940            | 672         | 2.697668651            |                        |
| <b>Rata – rata</b> |                               |                |                 |                   |             |                        | <b>1.71484<br/>352</b> |

**LAMPIRAN B. PERHITUNGAN LAJU KOROSI**

Contoh perhitungan laju korosi diambil dari spesimen baja A36 dengan proteksi

$$K = 8,76 \times 10^4$$

$$W = 0,2585 \text{ gram}$$

$$A = 52,815 \text{ cm}^2$$

$$T = 672 \text{ jam}$$

$$D = 7,8 \text{ g/cm}^3$$

$$CR = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$

$$= \frac{87600 \times 0,2585}{16,0000 \times 7,8 \times 504}$$

$$= 0,36001 \text{ mm/tahun}$$



**LAMPIRAN C. GAMBAR PERSIAPAN SPESIMEN****C.1 Proses persiapan spesimen**

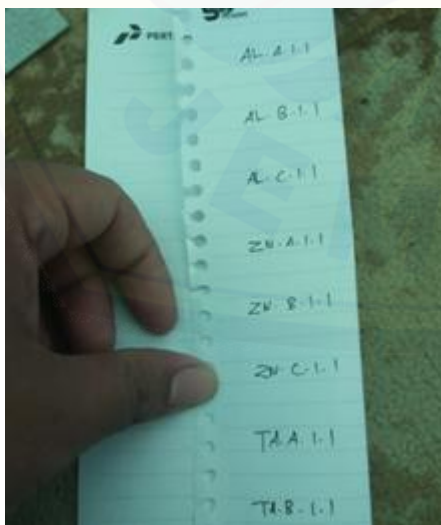
Gambar C.1 pengeboran spesimen



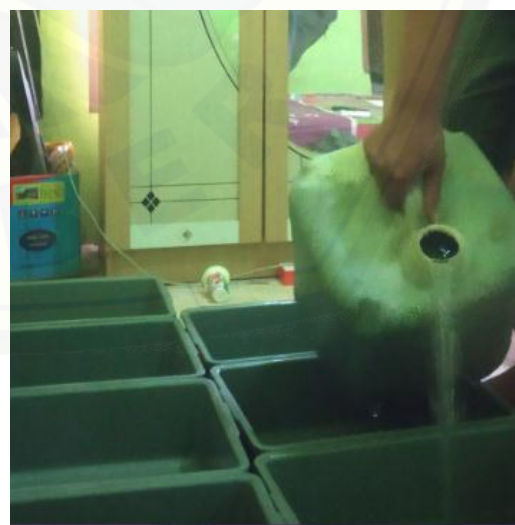
Gambar C.2 pembersihan spesimen (HCL)



C.2 Proses perendaman spesimen



Gambar C.2.1 koding spesimen



Gambar C.2.2 penuangan air laut



Gambar C.2.3 proses perendaman spesimen

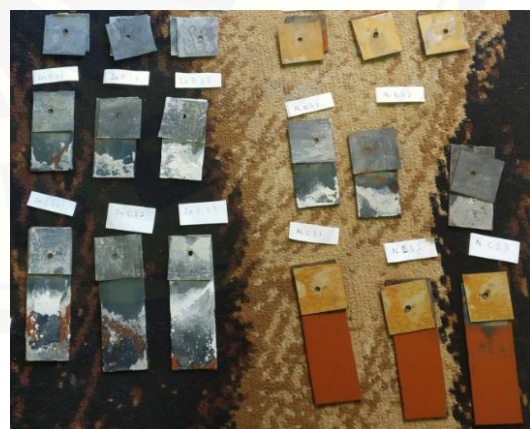


Gambar C.2.4 proses perendaman spesimen

**LAMPIRAN D. PENGAMATAN STRUKTUR MAKRO**



Gambar D.1 spesimen sebelum perendaman

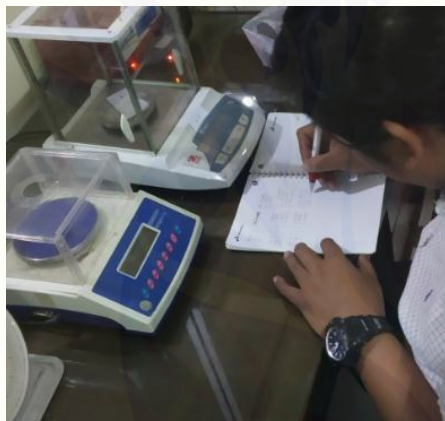


Gambar D.2 spesimen sesudah perendaman

**LAMPIRAN E. PENGAMBILAN DATA DAN PENGUJIAN SPESIMEN**



Gambar E.1 Timbangan digital



Gambar E.2 Penimbangan berat awal



Gambar E.3 Penimbangan berat akhir



Gambar E.4 Persiapan spesimen uji mikro



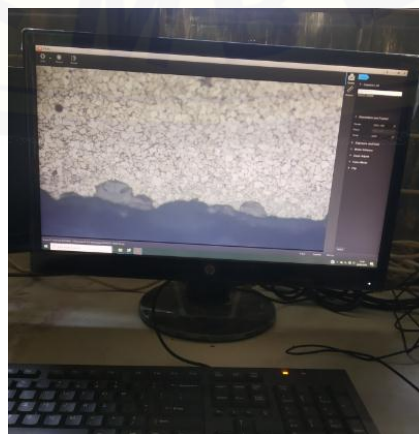
Gambar E.5 Penuangan resin dan katalis



Gambar E.6 Pengamplasan spesimen



Gambar E.7 Mikroskop



Gambar E.8 Pengamatan struktur mikro

