# PERBEDAAN LAJU KOROSI PADUAN TEMBAGA PADA MEDIA KOROSIF YANG BERBEDA

## SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

**AMRIZAL FAQIH**
**NIM. 125060207111041**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**
**FAKULTAS TEKNIK**
**MALANG**
**2017**

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

# LEMBAR PENGESAHAN

# PERBEDAAN LAJU KOROSI PADUAN TEMBAGA PADA MEDIA KOROSIF YANG BERBEDA

## SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik


**AMRIZAL FAQIH**

**NIM. 125060207111041**


Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 16 Agustus 2017

| Dosen Pembimbing I | Dosen Pembimbing II |
|---|---|
| Dr. Femiana Gapsari Madhi Fitri, ST., MT. | Bayu Satriya Wardhana, ST., M.Eng. |
| NIP. 19820704 200812 2 002 | NIP. 19841007 201212 1 001 |

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.
NIP. 19750802 199903 2 002

JUDUL SKRIPSI:

PERBEDAAN LAJU KOROSI PADUAN TEMBAGA PADA MEDIA KOROSIF YANG BERBEDA

| | |
|---|---|
| Nama Mahasiswa | : Amrizal Faqih |
| NIM | : 125060207111041 |
| Program Studi | : Teknik Mesin |
| Konsentrasi | : Produksi |

KOMISI PEMBIMBING

| | |
|---|---|
| Dosen Pembimbing I | : Dr. Femiana Gapsari, ST., MT. |
| Dosen Pembimbing II | : Bayu Satriya Wardhana, ST., M.Eng. |

TIM PENGUJI

| | |
|---|---|
| Dosen Penguji I | : Dr. Ir. Wahyono Suprapto, MT.,MET. |
| Dosen Penguji II | : Ir. Ari Wahjudi, MT. |
| Dosen Penguji III | : Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng., Ph.D. |
| Tanggal Ujian | : 8 Juni 2017 |
| SK Penguji | : 645/UN10.6.62/AK/2017 |

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

# PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 16 Agustus 2017

Mahasiswa,




Amrizal Faqih

NIM. 125060207111041

*Teriring Ucapan Terima Kasih kepada :*
*Bapak, Ibu, Kakak dan Adik Saya Tercinta*

# KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan kesempatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **"Perbedaan Laju Korosi Paduan Tembaga pada Media Korosif yang Berbeda"** Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak dapat diselesaikan tanpa bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng., Dr.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
2. Bapak Purnami, ST., MT selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
3. Ibu Widya Wijayanti, ST., MT., Dr.Eng selaku Kepala Program Studi Strata-1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
4. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc.,CSE selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Teknik Manufaktur Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
5. Ibu Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT. selaku Penasihat Akademik saya di Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
6. Ibu Dr. Femiana Gapsari, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing Pertama yang telah memberikan ilmu, masukan dan bimbingan yang bermanfaat selama proses penelitian ini.
7. Bapak Bayu Satriya Wardhana, ST., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah memberikan masukan, bimbingan dan ilmu yang bermanfaat selama proses penelitian ini berlangsung.
8. Seluruh staf pengajar dan administrasi Jurusan Teknik Mesin.
9. Pihak Lab. Metrologi Industri Universitas Brawijaya yang membantu memberikan bantuan dan fasilitas sehingga penelitian ini dapat selesai.
10. Kedua orang tua saya tercinta Bapak Sugeng Minto Basuki dan Ibu Zuhryl Qoyyarah yang senantiasa memberikan semangat, doa dan dukungan baik moral maupun material setiap waktu.
11. Kakak dan Adik saya Fardatul Laili dan Habil Firdaus yang selalu memberi nasihat, semangat dan petunjuk dalam pengerjaan skripsi.
12. Kekasih saya Alice Anina Putri yang selalu mendukung dan menemani saya dalam pengerjaan skripsi ini.

13. Ketiga rekan saya Agil Farisa, Lingga Setiawan dan Azka Rahadyan yang selalu bersama-sama berjuang menyelesaikan skripi.
14. Saudara-saudaraku Adm12al yang menjadi segalanya bagi penulis.
15. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna dikarenakan keterbatasan ilmu dan pengetahuan yang dimiliki. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun agar kedepannya menjadi lebih baik. Semoga skripsi yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, Agustus 2017

Penulis,

Amrizal Faqih

# DAFTAR ISI

halaman

**KATA PENGANTAR** ..... i
**DAFTAR ISI** ..... iii
**DAFTAR TABEL** ..... v
**DAFTAR GAMBAR** ..... vi
**DAFTAR LAMPIRAN** ..... vii
**RINGKASAN** ..... viii
***SUMMARY*** ..... ix
**BAB I PENDAHULUAN**
1.1 Latar Belakang ..... 1
1.2 Rumusan Masalah ..... 2
1.3 Batasan Masalah ..... 2
1.4 Tujuan Penelitian ..... 2
1.5 Manfaat Penelitian ..... 2
**BAB II TINJAUAN PUSTAKA**
2.1 Penelitian Sebelumnya ..... 3
2.2 Teori Korosi ..... 4
2.3 Macam Korosi ..... 5
2.4 Termodinamika Korosi ..... 18
2.5 Polarisasi ..... 19
2.6 Deret Elektrokimia ..... 22
2.7 Pengujian Elektrokimia Polarisasi Potensiodinamik ..... 25
2.8 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi ..... 26
2.7.1 Media Lingkungan ..... 26
2.7.2 Unsur Paduan Tembaga ..... 27
2.7.3 Pengaruh Tingkat Keasaman pH Terhadap Laju Korosi ..... 28
2.7.4 Konsentrasi Larutan ..... 29
2.8 Diagram E-pH (*Pourbaix*) ..... 30
2.9 Hipotesis ..... 31
**BAB III METODOLOGI PENELITIAN**
3.1 Metode Penelitian ..... 33
3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian ..... 33
3.3 Variabel Penelitian ..... 33

3.4 Alat dan Bahan Penelitian ..... 34
3.4.1 Alat ..... 34
3.4.2 Bahan ..... 36
3.5 Dimensi Benda Kerja ..... 40
3.6 Prosedur Penelitian ..... 41
3.7 Diagram Alir Penelitian ..... 42
**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**
4.1 Hasil Laju Korosi dengan Metode Polarisasi ..... 43
4.2 Grafik dan Pembahasan Laju Korosi Metode Polarisasi ..... 44
4.2.1 Reaksi Kimia Kuningan dan Perunggu dalam $HNO_3$ 1 M ..... 46
4.2.2 Reaksi Kimia Kuningan dan Perunggu dalam NaOH 1 M ..... 47
4.2.3 Reaksi Kimia Kuningan dan Perunggu dalam NaCl 3,5 %wt ..... 49
**BAB V PENUTUP**
5.1 Kesimpulan ..... 51
5.2 Saran ..... 51
**DAFTAR PUSTAKA**
**LAMPIRAN**

# DAFTAR TABEL


| No. | Judul | Halaman |
|---|---|---|
| Tabel 2.1 | Tabel Potensial Elektroda Standar Pada Suatu Unsur | 24 |
| Tabel 2.2 | Komposisi Unsur dan Sifat Mekanik Beberapa Paduan Tembaga | 28 |
| Tabel 3.1 | Tabel Komposisi Kuningan dan Perunggu | 36 |
| Tabel 3.2 | Spesifikasi $HNO_3$ 65% Analitik | 38 |
| Tabel 3.3 | Spesifikasi NaCl | 39 |
| Tabel 3.4 | Spesifikasi NaOH | 40 |
| Tabel 4.1 | Data Hasil Metode Polarisasi | 43 |

# DAFTAR GAMBAR


| No. | Judul | Halaman |
|---|---|---|
| Gambar 2.1 | Proses Pengkorosian Logam | 4 |
| Gambar 2.2 | Korosi Merata pada Logam | 5 |
| Gambar 2.3 | Korosi Galvanik pada batu baterai | 6 |
| Gambar 2.4 | Korosi Celah pada Baut. | 7 |
| Gambar 2.5 | Proses tahap awal Korosi Celah | 8 |
| Gambar 2.6 | Proses selanjutnya dari Korosi Celah | 9 |
| Gambar 2.7 | Korosi Sumuran pada bak mandi | 10 |
| Gambar 2.8 | Batas Butir pada Baja Karbon tipe 304 | 11 |
| Gambar 2.9 | Potongan melintang batas butir *Stainless Steel* tipe 304 | 12 |
| Gambar 2.10 | Endapan Karbida | 12 |
| Gambar 2.11 | (a) *Intergranular corrosion* dan (b) *transgranular corrosion* | 13 |
| Gambar 2.12 | *Uniform dezincfication* | 14 |
| Gambar 2.13 | *Plug-type dezincfication* | 14 |
| Gambar 2.14 | Sketsa Korosi Erosi | 15 |
| Gambar 2.15 | Korosi Retak pada pipa | 16 |
| Gambar 2.16 | Proses terbentuknya Karat pada Titik Embun | 17 |
| Gambar 2.17 | Sel Elektrokimia | 19 |
| Gambar 2.18 | Reaksi pengurangan hydrogen di bawah aktifasi control | 20 |
| Gambar 2.19 | Konsentrasi polarisasi selama reduksi hydrogen | 21 |
| Gambar 2.20 | Kurva Polarisasi | 26 |
| Gambar 2.21 | Diagram Pourbaix Cu | 31 |
| Gambar 3.1 | Gelas Ukur | 34 |
| Gambar 3.2 | Labu Ukur | 34 |
| Gambar 3.3 | Aquades | 35 |
| Gambar 3.4 | Autolab PGSTAT 128N | 35 |
| Gambar 3.5 | Perunggu dan Kuningan | 36 |
| Gambar 3.6 | $HNO_3$ | 37 |
| Gambar 3.7 | NaCl | 39 |
| Gambar 3.8 | NaOH | 39 |
| Gambar 3.9 | *Nodrop* | 40 |

Gambar 3.10 Dimensi Spesimen ..... 41
Gambar 4.1 Kurva Polarisasi Kuningan dengan Variasi Larutan..... 44
Gambar 4.2 Kurva Polarisasi Perunggu dengan Variasi Larutan ..... 44

# DAFTAR LAMPIRAN

No. Judul

Lampiran 1 Gambar Spesimen Pengujian

Lampiran 2 Proses Pengujian Polarisasi Potensiodinamik

Lampiran 3 Material Setelah Proses Pengujian

# RINGKASAN

**Amrizal Faqih,** Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2017, *Perbedaan Laju Korosi Paduan Tembaga pada Media Korosif yang Berbeda*, Dosen Pembimbing : Femiana Gapsari dan Bayu Satriya Wardhana.

Paduan tembaga dikembangkan untuk aplikasi industri dengan karakteristik yang diinginkan pada komposisinya. Penelitian ini meninjau mekanisme korosi paduan tembaga pada berbagai media korosif untuk memberikan dasar pemahaman perilaku korosi yang penting dalam perancangan paduan tembaga baru dengan sifat korosi yang disempurnakan. Dengan adanya pemahaman perilaku korosi pada berbagai lingkungan akan mencegah kegagalan konstruksi dan peralatan yang diakibatkan korosi tembaga paduan. Penelitian ini menggunakan Kuningan (Cu-Zn) dan Perunggu (Cu-Sn) pada variasi $HNO_3$ 1 M, NaCl 3,5%wt dan NaOH 1 M. Pengujian laju korosi dilakukan dengan pengujian polarisasi potensiodinamik.

Berdasarkan hasil penelitian nilai laju korosi tertinggi terjadi pada kuningan dalam $HNO_3$ 1 M yaitu sebesar 7,9668 mm/year, dan nilai laju korosi terendah terjadi pada perunggu dalam NaOH 1 M yaitu sebesar $3x10^{-10}$ mm/year. Hal ini dikarenakan seiring dengan bertambahnya konsentrasi asam. Jumlah kandungan hidrogen semakin bertambah dengan bertambahnya konsentrasi sehingga kuningan dan perunggu dapat teroksidasi dengan laju korosi yang juga meningkat.

Berdasarkan teori laju korosi pada kuningan dan perunggu didapatkan nilai laju korosi kuningan lebih tinggi dari perunggu baik pada $HNO_3$ 1 M, NaCl 3,5%wt dan NaOH 1 M. , hal ini disebabkan perbedaan potensial elektroda standart dari masing-masing paduan tembaga yang berbeda. Zn lebih mudah melepaskan elektronnya dan teroksidasi kedalam larutan. Dimana nilai potensial standart elektroda Zn yaitu sebesar -0.762 eV dan pada Sn sebesar -0,138 eV. sehingga pada saat media yang sama digunakan nilai Zn pun akan menunjukkan hasil laju korosi yang lebih tinggi. Karena sifat dari suatu logam jika memiliki nilai potensial elektroda standart yang semakin negatif akan mudah melepaskan elektronnya dan berdifusi ke dalam larutan.

**Kata kunci***:* Korosi, Kuningan, Perunggu, Polarisasi.

repository.ub.ac.id

# *SUMMARY*

**Amrizal Faqih**, *Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, Mei 2017, The Diffence in corrosion rate of Copper Alloys in different corrosive environments, Supervisor: Femiana Gapsari and Bayu Satriya Wardhana.*

*Copper alloys are developed for industrial applications with desired characteristics in their composition. This research is about corrosion of copper in various corrosive media to provide an importance of corrosive behavior in the design of new copper alloys with enhanced corrosion properties. Understanding of corrosion behavior in various environments will further decrease the building and equipment failure caused by copper alloy corrosion. This study used Brass (Cu-Zn) and Bronze (Cu-Sn) on variations of HNO3 1 M, 3.5% wt NaCl and 1 M NaOH. Corrosion rate is tested by potentiodynamic polarization testing.*

*The highest corrosion rate occurred on brass in HNO3 1 M, which was 7.9668 mm / year, and the lowest corrosion rate occurred in bronze in 1 M NaOH, which was 3x10-10 mm / year. This is because the increasement of the acid concentration. The amount of hydrogen content increases with increasing concentration so that brass and bronze can be oxidized with increasing corrosion rate.*

*Based on brass and bronze corrosion rate theory, the brass corrosion rate is higher than bronze, both in HNO3 1 M, 3.5%wt NaCl and 1 M NaOH, this is due to the difference of standard electrode potential of each copper alloy. Zn is more easily released electrons and oxidized into solution. Where the standard value of standard Zn electrode is equal to -0.762 eV and at Sn equal to -0.138 eV. So that when the same environments is used, the Zn value of potential will also show higher corrosion rate. Because of the characteristc of a metal if it has a standard value of a standard electrode that is more negative it will be easy to remove the electrons and diffuse into the solution.*

***Keywords**: Corrosion, Brass, Bronze, Polarization.*



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

# BAB I
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Korosi dikenal luas dengan istilah pengkaratan. Peristiwa korosi pada dasarnya telah dikenal di Indonesia dan juga di negara-negara lain. Pada kehidupan sehari-hari, korosi dapat dijumpai pada berbagai jenis peralatan, misalnya peralatan konstruksi yang memakai komponen logam. seperti seng, tembaga, kuningan, aluminium, besi-baja bahkan *stainless steel*, semuanya dapat terserang oleh korosi. Di Indonesia permasalahan korosi perlu mendapat perhatian serius mengingat dua pertiga wilayah nusantara terdiri dari lautan dan terletak di daerah tropis dengan curah hujan tinggi dan kandungan senyawa klorida yang tinggi (Asdim, 2002).

Paduan tembaga dikembangkan untuk aplikasi industri dengan karakteristik yang diinginkan pada komposisinya. Penelitian ini meninjau mekanisme korosi paduan tembaga untuk memberikan dasar pemahaman perilaku korosi yang penting dalam perancangan paduan tembaga baru dengan sifat korosi yang disempurnakan. Seperti yang kita ketahui paduan tembaga yang sering digunakan pada industri perkapalan maupun manufaktur, yaitu kuningan (Cu-Zn), perunggu (Cu-Sn) dan *cupronickels* (Cu-Ni). Karena pada paduan-paduan ini memiliki kekuatan yang tinggi dan ketahanan terhadap korosi yang baik. Contoh penggunannya seperti baut, mur, katup serta baling-baling kapal yang langung berkontak dengan air laut. Pengembangan dan pemanfaatan komponen paduan tembaga untuk aplikasi kelautan sedang dipromosikan secara aktif oleh Industri sebagai alternatif karena berkurangnya perawatan biaya, masa kerja yang berkepanjangan, peningkatan kehandalan dan daur ulang yang tinggi (Drach, 2013).

Korosi selalu terjadi dalam jumlah besar atau kecil, terlihat atau tidak terlihat. Yang dapat dilakukan adalah menghambat dan mengetahui laju korosinya agar mengetahui masa pakai material. Perbedaan lingkungan akan mempengaruhi laju korosi. Lingkungan yang berbeda-beda memiliki laju korosi yang berbeda pula. Begitupula yang terjadi pada paduan tembaga. Berdasarkan penjelasan diatas, digunakan benda kerja paduan tembaga, yaitu kuningan dan perunggu guna mengamati laju korosi pada media yang berbeda-beda yaitu asam, basa dan garam.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui laju korosi tembaga paduan dalam media asam, basa dan garam yang dapat dijadikan petunjuk dalam penggunaan paduan tembaga pada lingkungan yang berbeda. Dengan adanya pemahaman laju korosi pada berbagai lingkungan akan mencegah kegagalan konstruksi dan peralatan yang diakibatkan korosi paduan tembaga.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah pada penelitian yaitu bagaimana laju korosi pada paduan tembaga dalam media asam, garam dan basa.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut

a. Parameter yang di teliti adalah kuningan (Cu-Zn) dan perunggu (Cu-Sn).
b. Temperatur pengujian yang digunakan yaitu temperatur ruangan.
c. Metode yang digunakan adalah pengujian elektrokimia.
d. Luas dimensi semua spesimen diasumsikan sama.
e. Media yang digunakan asam, basa dan garam.
f. Waktu perendaman konstan 1 jam.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan laju korosi paduan tembaga pada media asam, basa dan garam.

## 1.5 Manfaat Penenlitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan tambahan ilmu pengetahuan dan pengalaman kepada penulis untuk menerapkan teori-teori yang telah didapatkan pada perkuliahan, terutama mengenai proses korosi.
2. Memberikan pengetahuan dan teknologi untuk pembaca, yang berkaitan dengan proses korosi.
3. Memberikan masukan kepada penulis tentang laju korosi paduan tembaga dalam menentukan material yang sesuai dengan parameter lingkungan.

# BAB II
# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian Eka Junaidi (2008) yang meneliti pengaruh ion klorida dan ion sulfida pada korosi kuningan Cu-37Zn. Penentuan laju korosi Cu-37Zn dilakukan secara elektrokimia dengan menggunakan teknik *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa laju korosi Cu-37Zn akan meningkat dengan penambahan ion klorida sampai 78 ppm dan ion sulfida sampai 15 ppm dalam larutan uji. *Runner* turbin adalah salah satu komponen penting pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Komponen ini terbuat dari campuran logam Cu-37Zn yang dalam bekerjanya selalu berkontak dengan air sehingga berpeluang besar mengalami korosi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa laju korosi Cu-37Zn akan meningkat dengan penambahan ion klorida sampai 78 ppm dan ion sulfida sampai 15 ppm dalam larutan uji.

Sadawy dkk ( 2016 ), melakukan penelitian mengenai perbaikan butir pada *bronze alloy* dengan menggunakan proses *equal-channel angular* pressing (ECAP) dan pengaruhnya pada perilaku korosi. Sadawy menggunakan larutan 3.5 wt. % NaCl pada perunggu dengan menggunakan metode pencelupan dan beberapa metode elektrokimia. Hasilnya menunjukan bahwa sampel perunggu yang telah melalui proses ECAP mempunyai resistansi terhadap korosi yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang tidak melalui proses ECAP. ECAP sendiri adalah proses untuk mendapatkan hasil butir yang lebih halus dengan tujuan meningkatkan kualitas hasil produk. Dengan cara menekan logam pada jalur melengkung yang telah disiapkan sampai pada akhirnya logam tersebut lurus kembali.

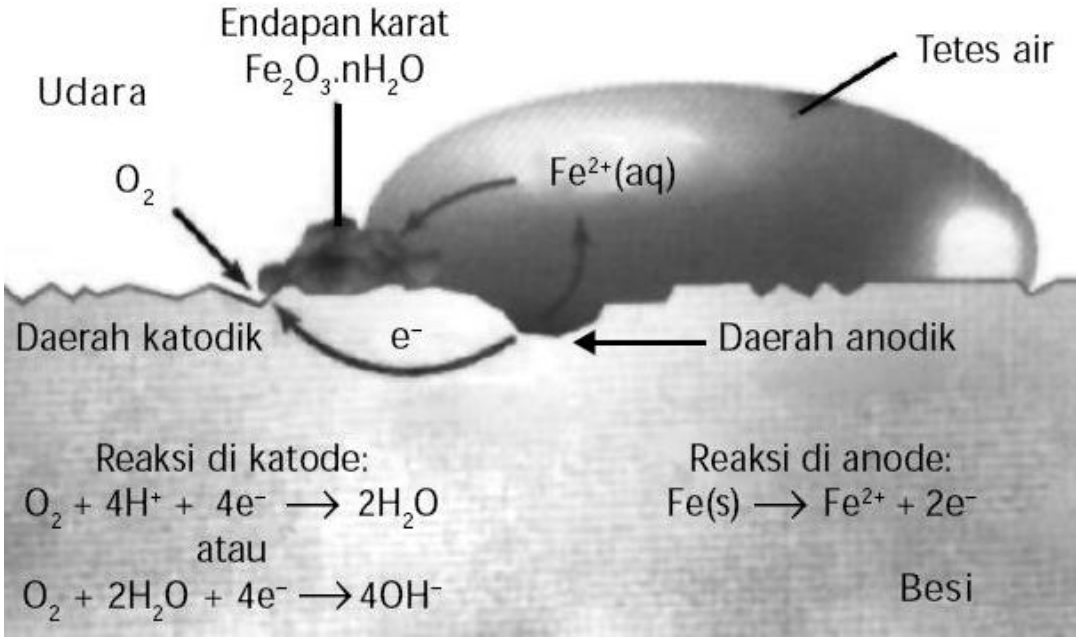
Penelitian terhadap efek korosi dari perunggu dengan menggunakan metode pencelupan dilakukan pada suhu kamar mengacu pada *American Standard Testing and Material* (ASTM). Sampel perunggu dibersihkan dengan menggunakan larutan HCl selama 2 menit, kemudian dibersihkan lagi menggunakan aseton dan dicuci dengan air yang telah disuling, baru kemudian dikeringkan. Sebelum dicelupkan ke dalam larutan, berat spesimen perunggu diukur dengan menggunakan timbangan *analytical balance*. Setelah direndam dengan larutan 3.5 wt. % NaCl selama 28 hari, spesimen diambil dan dibersihkan

dengan larutan HCl selama 3 menit dan dikeringkan. Setelah dikeringkan, semua spesimen ditimbang lagi dan dihitung berat yang hilang dari spesimen.

Hasilnya adalah laju korosi dari semua sampel meningkat selama proses pencelupan hingga hari ke-16, dan mulai cenderung stabil setelah 20 hari. Ini terjadi karena lapisan patina yang mulai terbentuk pada permukaan paduan tembaga. Namun spesimen yang sudah melalui proses ECAP memiliki tingkat disolusi yang lebih rendah pada larutan NaCl dibanding dengan spesimen yang tidak melalui proses ECAP. Dan tingkat disolusi menurun seiring dengan banyaknya jumlah proses ECAP pada spesimen.

## 2.2 Teori Korosi

Korosi dapat terjadi karena logam bersentuhan dengan lingkungan sekitarnya. Bila kita melihat suatu plat diletakkan begitu saja di udara terbuka akan mengalami korosi. Udara mengandung oksigen, Logam akan selalu berusaha menyesuaikan diri lingkungannya untuk mencapai kestabilan, sehingga dalam udara terbuka logam akan melepaskan elektron dan elektron tersebut ditangkap dan bereaksi dengan uap air (reduksi oksigen). Reaksi oksidasi yang terjadi pada logam dan reduksi oksigen udara terbuka akan menghasilkan oksida logam yang warnanya kecoklatan. Oksida logam inilah biasanya dikenal dengan korosi. Proses tersebut biasa terjadi pada logam yang dicelupkan dalam air.




*Gambar 2.1* Proses Pengkorosian Logam
Sumber: *Chemistry The Central Science* (2000)

Proses korosi logam pada dasarnya terjadi secara elektrokimia yang berlangsung pada daerah anoda katoda dengan membentuk rangkaian arus tertutup (Fontana, 1987). Adanya reaksi elektrokimia yang terdiri dari reaksi reduksi dan reaksi oksidasi melibatkan suatu proses transfer elektron ke lingkungannya. Proses ini menghasilkan perubahan bilangan oksidasi logam dari nol menjadi bermuatan positif. Naiknya bilangan oksidasi logam menyebabkan logam dapat larut sebagai kation didalam larutan. Arus yang mengalir merupakan pergerakan elektron yang terjadi selama reaksi elektrokimia berlangsung akibat perbedaan potensial antara anoda dan katoda.

## 2.3 Macam Korosi

1. Korosi Merata

Korosi merata adalah bentuk korosi yang pada umumnya sering terjadi. Hal ini biasanya ditandai dengan adanya reaksi kimia atau elektrokimia yang terjadi pada permukaan yang bereaksi. Logam menjadi tipis dan akhirnya terjadi kegagalan pada logam tersebut. Sebagai contoh, potongan baja atau seng dicelupkan pada asam sulfat encer, biasanya akan terlarut secara seragam pada seluruh permukaannya.



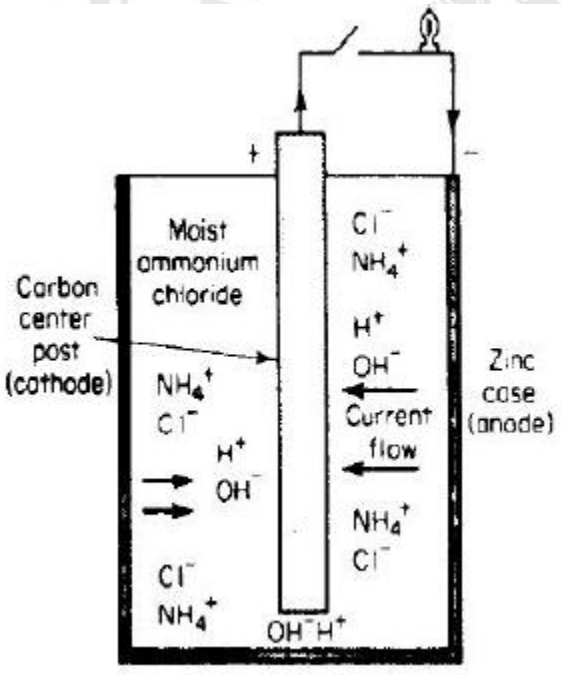
*Gambar 2.2* Korosi Merata pada Logam.
Sumber: Hakim (2012)

Contoh lain dari korosi merata adalah pada pelat baja atau profil, permukaannya bersih dan logamnya homogen, bila dibiarkan di udara biasa beberapa bulan maka akan terbentuk korosi merata pada seluruh permukaanya. Korosi merata merupakan keadaan kerusakan yang sangat besar terhadap material, namun demikian korosi ini kurang diperhatikan karena umur dari peralatan dapat diperkirakan secara akurat dengan pengujian lain yang lebih sederhana. Korosi merata dapat dilakukan pencegahan dengan cara pelapisan, inhibitor dan proteksi katodik.

2. Korosi Galvanik

Perbedaan potensial biasanya terjadi diantara dua logam yang berbeda, ketika keduanya di celupkan ke dalam larutan korosif. Ketika logam tersebut berkontak, dengan adanya perbedaan potensial akan menghasilkan aliran elektron. Elektron mengalir dari logam yang kurang mulia (anodik) menuju ke metal yang lebih mulia (katodik). Akibatnya metal yang kurang mulia berubah menjadi ion-ion positif karena kehilangan elektron. Ion-ion positif metal bereaksi dengan ion-ion negatif yang berada di dalam elektrolit menjadi garam metal. Karena peristiwa tersebut permukaan anoda kehilangan metal. Korosi akan menyerang logam yang ketahanan-korosi nya lebih rendah dan serangan pada logam yang lebih tahan-korosi akan lebih sedikit. Logam yang terserang korosi akan menjadi anoda dan logam yang lebih tahan terhadap serangan korosi akan menjadi katoda. Biasanya logam yang katodik akan terserang sedikit bahkan tidak terjaidi korosi ketika kedua logam tersebut disambungkan. Jenis korosi ini disebut korosi galvanik.

Contoh dari korosi galvanik dapat dilihat pada kasus batu baterai. Pada Gambar 2.3, elektroda karbon sebagai logam mulia atau yang tahan terhadap korosi (katoda) dan seng sebagai anoda yang terserang karat.




*Gambar 2.3* Korosi Galvanik pada batu baterai.
Sumber: Hakim (2012)

Bila besi kontak langsung dengan tembaga dimana tembaga lebih mulia, maka besi akan bersifat anodik dan akan mengorbankan diri sehingga akan terjadi korosi pada besi, sedangkan tembaganya tetap utuh.

3. Korosi Celah

Korosi lokal sering terjadi di dalam celah-celah dan daerah yang tertutup pada permukaan logam yang terkena korosi. Jenis korosi ini biasanya disebabkan oleh lubang yang kecil, dan celah-celah di bawah kepala baut dan paku keling. Seperti yang ditunjukan pada Gambar 2.4.



*Gambar 2.4* Korosi Celah pada Baut.
Sumber: Hakim (2012)

Karat celah sebenarnya adalah sel korosi yang diakibatkan oleh perbedaan konsentrasi zat asam. Akan halnya karat celah, proses pengkaratannya dapat dijelaskan sebagai berikut:

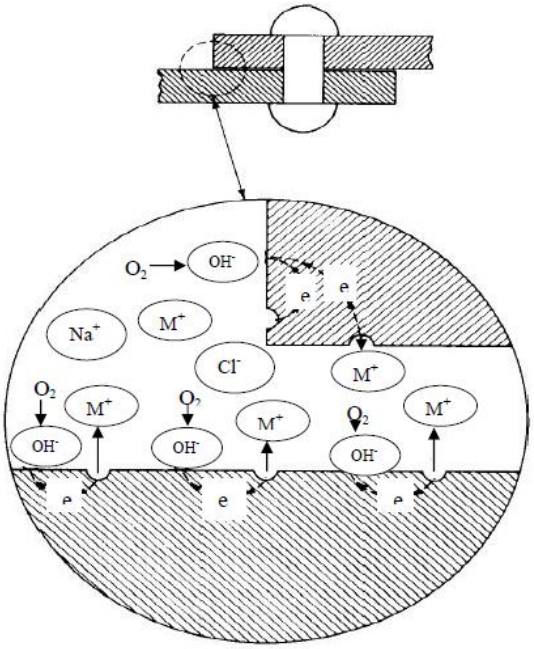
Karena celah sempit terisi dengan elektrolit (air yang pH-nya rendah) maka terjadilah suatu sel korosi dengan katoda-nya permukaan sebelah luar celah yang basah dengan air yang banyak mengandung zat asam daripada bagian dalam celah yang sedikit mengandung zat asam sehingga bersifat anodik. Akibatnya terjadi kehilangan metal pada bagian yang di dalam celah. Proses pengkaratan ini berlangsung cukup lama karena cairan elektrolit di dalam celah cenderung lama mengeringnya walaupun bagian luar celah telah lama mengering.

Untuk menggambarkan dasar pembentukan korosi celah, celupkan dua buah plat logam M yang dipaku dicelupkan di dalam air laut (pH 7) seperti yang ditunjukan pada Gambar 2.5. Reaksi tersebut mengakibatkan logam M menjadi terkikis dan reduksi oksigen menjadi ion hidroksida.

Oksidasi $M \rightarrow M^+ + e$ ..... (2.1)

Reduksi $O_2 + 2H_2O + 4e \rightarrow 4OH$ ..... (2.2)

Awalnya reaksi ini terjadi merata di atas seluruh permukaan, termasuk bagian dalam celah. Setiap elektron yang dihasilkan selama pembentukan ion logam akan bereaksi dengan oksigen. Setelah waktu yang singkat, oksigen dalam celah habis karena konveksi dibatasi, sehingga reduksi oksigen berhenti di daerah celah. Hal ini, dengan sendirinya tidak menyebabkan perubahan yang berarti di dalam celah akibat korosi. Oleh karena itu laju korosi di dalam dan di luar celah tetap sama.

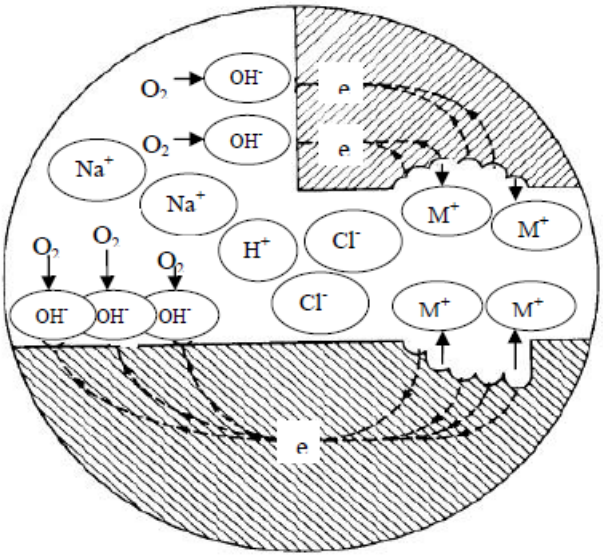



*Gambar 2.5* Proses tahap awal Korosi Celah.
Sumber: Hakim (2012)

Secara tidak langsung penurunan oksigen memiliki pengaruh yang penting, yang menjadi lebih jelas dengan meningkatnya penyinaran. Setelah oksigen habis, tidak ada pengurangan oksigen lebih lanjut, meskipun larutnya logam M terus menerus terjadi seperti yang terlihat pada Gambar 2.5. Ini cenderung menghasilkan kelebihan muatan positif dalam larutan (M+), yang tentu seimbang dengan migrasi ion klorida ke dalam celah. Kecuali untuk logam alkali (misalnya natrium dan kalium), logam garam, termasuk klorida dan sulfat.

$$M^+ + Cl^- + H_2O \longleftrightarrow MOH + H^+ Cl^- \quad (2.3)$$

Persamaan di atas menunjukan bahwa di dalam larutan logam klorida terurai menjadi hidroksida yang tidak larut dan menjadi asam bebas. Untuk alasan yang belum diketahui, baik ion klorida maupun hidrogen dapat mempercepat tingkat pelarutan logam dan paduan. Ion-ion tersebut masuk ke dalam celah sebagai akibat dari migrasi dan hidrolisis, dan akibatnya laju pelarutan logam M akan meningkat, seperti ditunjukan pada Gambar 2.6.




*Gambar 2.6* Proses selanjutnya dari Korosi Celah.
Sumber: Hakim (2012)

4. *Pitting Corrosion* (Korosi Sumur)

*Pitting corrosion* adalah bentuk serangan korosi yang sangat lokal (menyerang pada daerah tertentu saja) yang mengakibatkan lubang dalam logam. Lubang ini mungkin memiliki diameter yang kecil atau besar, namun dalam banyak kasus lubang tersebut kecil relatif kecil. Lubang terisolasi atau kadang-kadang terlihat seperti permukaan yang kasar. *Pits* umumnya dapat digambarkan sebagai rongga atau lubang dengan diameter permukaan kurang-lebih sama atau kurang dari kedalaman.

*Pitting corrosion* adalah salah satu bentuk korosi yang paling merusak dan berbahaya. Hal itu menyebabkan peralatan menjadi gagal karena dengan penurunan massa yang sedikit saja akibat adanya lubang, maka kegagalan dapat terjadi dengan mudah. Sering kali sulit untuk mendeteksi *pit* karena ukurannya yang kecil dan arena lubang-lubang tersebut tertutup oleh produk korosi. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.7.



*Gambar 2.7* Korosi Sumuran pada bak mandi.
Sumber: Hakim (2012)

Perhatikan lubang yang tampak menyolok serta kurangnya serangan korosi pada sebagian besar permukaan logam. Serangan meningkat dalam beberapa hari. Namun, ini adalah contoh ekstrim, karena pitting biasanya membutuhkan berbulan-bulan atau tahun untuk melubangi bagian logam.

Terjadinya korosi bentuk ini antara lain karena karena komposisi logam tidak homogeny dan dapat menimbulkan korosi yang dalam pada beberapa tempat. Dapat juga karena ada kontak antara logam yang berlainan dan logam kurang mulia, maka pada daerah batas, timbul korosi berbentuk sumur.

5. *Intergranular Corosion* (Korosi antar Batas Butir)

Di daerah batas butir memilki sifat yang lebih reaktif. Banyak-sedikitnya batas butir akan mempengaruhi kegunaan logam tersebut. Semakin sedikit batas butir pada suatu material maka akan menurunkan kekuatan material tersebut. Jika logam terkena karat, maka di daerah batas butir akan terkena serangan terlebih dahulu dibandingkan daerah yang jauh dari batas butir. Serangan yang terjadi pada daerah batas butir dan daerah yang berdekatan dengan batas butir hal ini biasa disebut *intergranular corrosion*.

*Intergranular corrosion* dapat terjadi karena adanya kotoran pada batas butir, penambahan pada salah satu unsur paduan, atau penurunan salah satu unsur di daerah batas butir. Sebagai contoh paduan besi dan alumunium, dimana kelarutan besi lambat maka akan terjadi serangan pada batas butir.

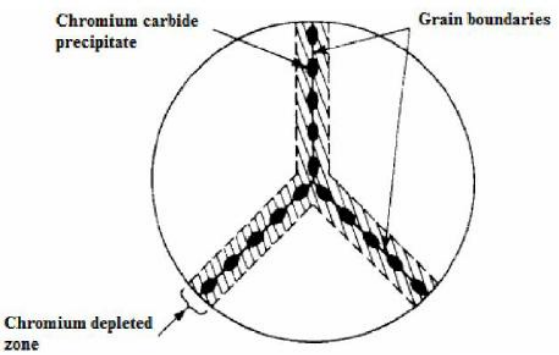
Beberapa kegagalan pada 18-8 baja karbon telah terjadi karena *intergranular corrosion*. Ini terjadi dalam lingkungan dimana paduan harus memiliki ketahanan korosi yang sangat baik. Ketika baja dipanaskan pada suhu kira-kira antara 9500F sampai 14500F, baja tersebut akan peka atau rentan terhadap *intergranular corrosion*. Sebagai

contoh untuk menghindari terjadinya *intergranular corrosion*, maka prosedur kepekaan di panaskan pada suhu 12000F selama satu jam.

Kebanyakan teori tentang terjadinya *intergranular corrosion* didasarkan pada kehilangan atau penipisan kromium di daerah batas butir. Penambahan kromium pada baja akan meningkatkan ketahanan korosi diberbagai kondisi lingkungan. Umumnya penambahan tersebut berkisar 10% kromium untuk pembuatan baja karbon tahan karat. Jika kromium secara efektif diturunkan ketahanan terhadap korosi akan berkurang.

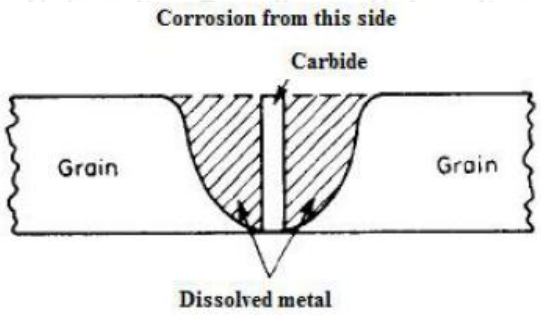
Di suhu antara 9500F-12500F, endapan kromium karbida (Cr23C6) dan karbon akan hampir larut pada kandungan karbon sekitar 0.02% atau lebih tinggi. Kromuim dengan demikian akan hilang dari larutan padat dan hasilnya adalah logam akan kehilangan kromium di daerah yang berdekatan dengan batas butir. Kromium karbida di daerah batas butir tidak akan menyebabkan serangan korosi. Pengurangan kromium pada daerah sekitar batas butir akan menyebabkan serangan korosi, karena tidak mengandung ketahanan korosi yang cukup untuk melawan serangan di berbagai kondisi lingkungan. Umumnya 18-8 *stainless steel*, tipe 304 biasanya mengandung 0.06% - 0.08% karbon, sehingga akan kelebihan karbon yang akan bersenyawa dengan kromium untuk memebentuk endapan karbida. Keadaan ini ditunjukan pada Gambar 2.8. Karbon berdifusi cukup mudah menuju batas butir pada suhu sensitivitas, namun kromium jauh kurang bergerak. Permukaan yang ada pada batas butir akan berubah menjadi permukaan baru, yaitu disebut kromium karbida.

Ada beberapa bukti yang menunjukan bahwa kandungan kromium pada batas butir dapat berkurang ke tingkat yang sangat rendah atau tidak ada sama sekali. Menganggap bahwa kandungan kromium dikurangi menjadi 2%.



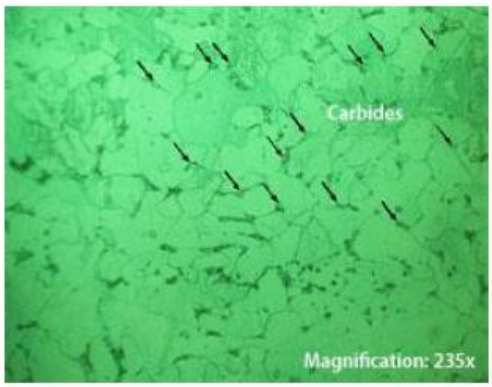

*Gambar 2.8* Batas Butir pada Baja Karbon tipe 304.
Sumber: Hakim (2012)

Jika paduan dipotong menjadi lembaran tipis, di daerah batas butir akan ditunjukan pada Gambar 2.9. Daerah berkarat akan muncul sebagai sebuah parit yang dalam dan sempit ketika diamati pada perbesaran rendah.




*Gambar 2.9* Potongan melintang batas butir *Stainless Steel* tipe 304.
Sumber: Hakim (2012)

Endapan karbida kromium telah dijelaskan selama bertahun-tahun sebagai partikel karena mereka terlalu kecil untuk pemeriksaan dengan menggunakan mikroskop cahaya. Mahla dan Nielson dari Du Pont, menggunakan mikroskop elektron, menunjukan bahwa bentuk karbida seperti sebuah film atau amplop di sekitar butir-butir dalam struktur *leaflike*. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.10.

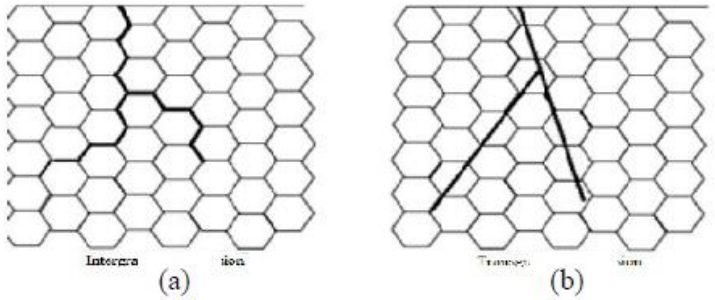



*Gambar 2.10* Endapan Karbida.
Sumber: Hakim (2012)

Yang menunjukan bahan sisa dari salah satu unsur paduan dilarutkan dalam asam klorida yang kuat. Ini menekankan bahwa karbida sendiri tidak diserang, akan tetapi kromium yang berdekatan dengan batas butir akan terlarut. Pada kenyatannya, larutan asam cepat menimbulkan korosi pada semua jenis paduan 18-8 terlepas dari perlakuan panas.

Korosi antar batas butir (*intergranular corrosion*) terjadinya hanya pada batas butir biasanya akibat serangan elektrolit, karena tegangan pada kristal adalah paling tinggi. Pengendaliannya adalah menghindari terbentuknya karbida pada batas butir.. Pada Korosi transkristalin (*transgranular corrosion*), terjadinya korosi adalah melewati kristal.

Perbedaan korosi antar batas butir dengan korosi transkristalin ditunjukan pada gambar 2.11.




*Gambar 2.11* (a) *Intergranular corrosion* dan (b) *transgranular corrosion.*
Sumber: Hakim (2012)

6. *Selective Leaching*

*Selective leaching* (pelarutan selektif) adalah pemindahan salah satu unsur dari sebuah paduan yang padat akibat proses korosi. Contoh yang paling umum adalah pelarutan selektif dalam paduan seng kuningan (*dezinfication*). Proses yang sama terjadi dalam sistem paduan lain dimana alumunium, besi, kobalt, kromium dan elemen lainnya yang akan terlarut. Pelarutan selektif adalah istilah umum yang menggambarkan proses-proses dan penggunaan istilah tersebut tidak mencakup pada istilah *dealuminumification*, *decobsltification* dan lain-lain. *Parting* (*dealloying*) adalah istilah metalurgi yang kadang-kadang digunakan, akan tetapi istilah *selective leaching* lebih disukai.

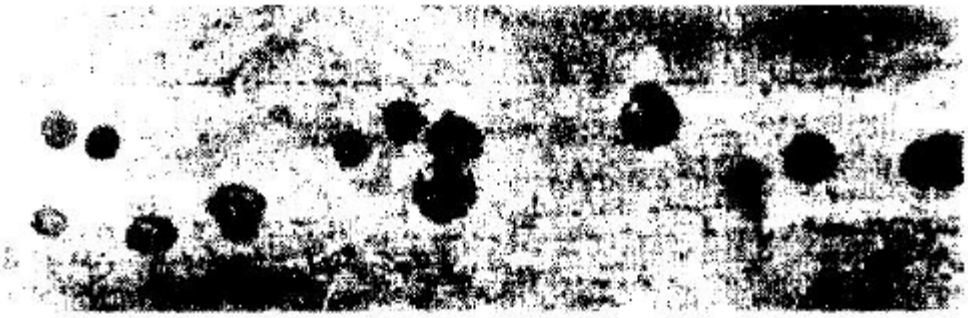
Zat komponen yang larut adalah selalu bersifat anodik terhadap komponen yang lain. Walaupun secara visual tampak perubahan warna pada permukaan paduan namun tidak tampak adanya kehilangan materi berupa takik, perubahan dimensi, retak atau alur. Bentuk permukaan tampaknya tetap tidak berubah tingkat kehalusan/kekasarannya. Namun sebenarnya berat bagian yang terkena karat ini menjadi berkurang, berpori-pori dan yang terpenting adalah kehilangan sifat mekanisnya yakni menjadi getas dan memiliki kekuatan tarik yang sangat yang rendah.

Kuningan umumnya terdiri dari sekitar 30% seng dan 70% tembaga. *Dezincfication* mudah diamati dengan mata telanjang karena perubahan mencolok dari warna kekuningan (kuningan) menjadi warna merah tembaga. Ada dua jenis bentuk *dezinfication*, dan keduanya mudah dikenali. Pertama adalah *uniform* (merata) atau *layer-type* dan yang kedua adalah *localized* (setempat) atau *plug-type*. Gambar 2.12 adalah contoh *uniform attack*. Lapisan bagian dalam adalah bagian yang terlarut dan bagian luar adalah bagian yang tidak terserang.



*Gambar 2.12 Uniform dezincfication.*
Sumber: Hakim (2012)

Gambar 2.13 adalah contoh yang tepat untuk kasus *plug-type dezincification*. Daerah yang gelap pada pipa adalah daerah yang terserang. Sementara bagian yang lainnya tidak terserang karat. Serangan dapat terjadi pada permukaan setempat dan bekembang makin ke dalam bukan mendatar. Hal inilah yang membedakan antara *plug-type* dan *uniform type.*



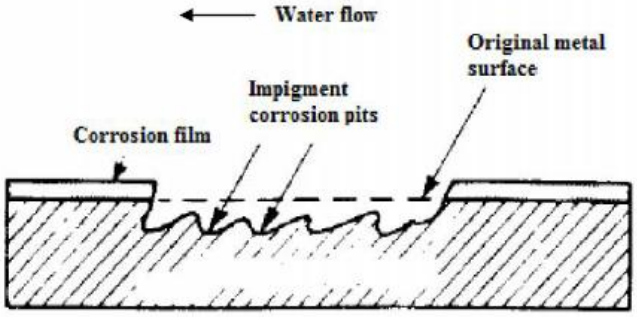
*Gambar 2.13 Plug-type dezincfication.*
Sumber: Hakim (2012)

*Dealloying* dari kunigan ini biasanya terjadi di dalam proses yang menggunakan air lunak (air yang sedikit akan mineral) terutama apabila kandungan karbondioksida-nya tinggi. Faktor lain yang menaikan tingkat kepekaan kuningan terhadap serangan pelarutan selektif adalah suhu tinggi, kandungan klorida dalam air yang tinggi, kecepatan air yang rendah, celah-celah sempit dan endapan seperti misalnya pasir pada permukaan metal.

7. Korosi Erosi

Korosi erosi adalah percepatan atau peningkatan tingkat kerusakan atau serangan pada logam karena gerakan relatif antara cairan korosif dan permukaan logam. Umumnya gerakan ini cukup cepat, dan berkaitan dengan abrasi. Logam yang berada di permukaan akan berubah menjadi ion terlarut atau menjadi bentuk produk korosi yang padat. Kadang-kadang pengaruh dari lingkungan dapat mengurangi laju korosi, khususnya ketika serangan lokal terjadi dalam kondisi tergenang, tapi ini tidak bisa disebut *erosion corrosion* karena kerusakan tidak bertambah.

Bentuk fisik dari korosi erosi ditandai dalam penampilan berupa alur, parit, gelombang, lubang bulat, lembah-lembah, dan biasanya menunjukan pola arah. Gambar 2.14 adalah sketsa yang mempresentasikan korosi erosi pada tabung alat *heatexchanger*. Di berbagai kasus korosi erosi terjadi dalam waktu yang relatif singkat, dan serangan nya tidak terduga karena evaluasi uji korosi terjadi dibawah kondisi statis atau karena efek erosi tidak dipertimbangkan dalam evaluasi uji korosi.




*Gambar 2.14* Sketsa Korosi Erosi.
Sumber: Hakim (2012)

Kebanyakan logam dan paduan adalah rentan terhadap serangan korosi erosi. Korosi erosi terjadi ketika permukaan logam rusak atau usang karena diserang dengan kecepatan yang tinggi. Logam yang lunak dan mudah rusak seperti tembaga dan timah adalah cukup rentan terhadap korosi erosi.

Banyak jenis media korosi dapat menyebabkan korosi erosi. Misalnya gas, larutan, sistem organik dan logam cair. Sebagai contoh, gas panas dapat mengoksidasi logam dan paduan ketika bergerak dengan kecepatan yang tinggi. Dari sudut pandang korosi erosi, padatan dalam suatu cairan (lumpur) adalah sangat merusak. Semua jenis peralatan yang terkena fluida yang bergerak akan rentan terhadap korosi erosi. Beberapa diantaranya sistem perpipaan terutama bagian tikungan pipa, alat pengukur aliran air seperti *orifice*, system pipa-pipa pada alat *heat-exchanger* seperti pada *heaters* dan *kondensator*.

8. *Stress Corrosion* (Korosi Tegangan)

Gaya-gaya mekanis seperti tarikan atau kompresi berpengaruh sangat kecil pada proses pengkaratan pada bagian metal yang sama jika ditinjau dari laju pengkaratan dalam mils per tahun. Namun demikian apabila itu merupakan kombinasi antara *tensile stress* dan lingkungan yang korosiif, maka kondisi ini merupakan salah satu dari penyebab utama kegagalan material. Kegagalan ini berupa retakan yang lazim disebut korosi tegangan.

Sifat retak jenis ini sangat spontan (tiba-tiba terjadinya). Bila logam telah dibentuk dingin (diregang, ditekuk) maka walaupun tidak sampai patahan atau retak, tetapi butiran logamnya berubah bentuk hingga timbul tegangan dalam. Butiran logam yang tegang ini

mudah sekali bereaksi dengan lingkungannya, hingga suatu saat benda itu akan retak atau pecah dengan sendirinya. Jenis serangan karat ini terjadi sangat cepat, dalam ukuran menit, yakni jika semua persyaratan untuk terjadi nya karat regangan (tegangan) ini telah terpenuhi pada saat tertentu yaitu adanya regangan internal dan terciptanya kondisi korosif yang berhubungan dengan konsentrasi zat karat (*corrodent*) dan suhu lingkungan.

Karat dapat terbentuk di celah-celah sempit. Volume produk karat tersebut dapat jauh lebih besar dari metal asalnya yang terkonsumsi, akibatnya terjadi tekanan yang cukup besar di dalam celah tersebut sehingga menimbulakan korosi tegangan. Karat tegangan pada awal terjadinya berukuran mikroskopis (sangat kecil). Dengan menjalarnya retak ke dalam material, maka kekuatan penampang menjadi berkurang ketingkat sedemikian rendah sehingga struktur material tersebut gagal. Gambar 2.15 adalah contoh dari karat tegangan.




*Gambar 2.15* Korosi Retak pada pipa.
Sumber: Hakim (2012)

9. Korosi Atmosfer

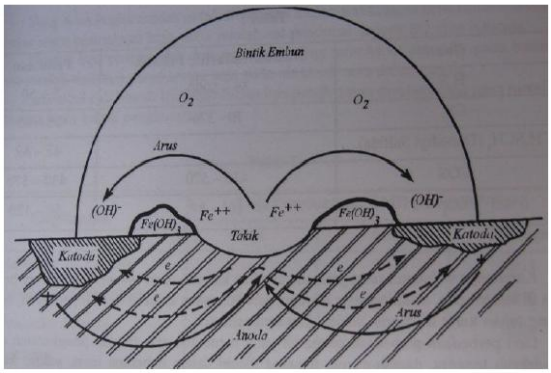
Jenis karat ini terjadi akibat proses elektrokimia antara dua bagian benda padat khususnya metal besi yang berbeda potensial dan langsung berhubungan dengan udara terbuka. Atmosfer di Indonesia termasuk daerah tropis yang lembab, sehingga merupakan daerah yang sangat korosif bila dibandingkan dengan belahan bumi kita di bagian utara.

Adapun mekanisme terjadinya karat ini adalah fakta menunjukan hampir tidak ada benda, khususnya metal besi yang bebas dari kotoran di dalam materialnya yang lazim disebut *impurities*, yang berupa oksida dari metal besi tersebut akibat bereaksi dengan zat asam di udara, perbedaan struktur molekuler dari material itu sendiri, serta perbedaan tegangan di dalam bagian-bagian metal besi tersebut.

Secara alami hal-hal tersebut menimbulkan perbedaan potensial antara bagian-bagian, perbedaan potensial ini menyebabkan sebagian dari metal bersifat katodis, yakni bagian

metal besi yang murni. Jika keadaan udara dingin dan basah, maka akan terbentuk bintik-bintik embun di permukaan metal besi yang dingin. Juga apabila jatuh hujan, maka permukaan metal menjadi basah. Di dalam udara banyak sekali terdapat sampah, debu sebagai pencemar yang kadang-kadang menimbulkan larutan yang sangat asam jika bercampur dengan partikel-partikel air embun.

Larutan yang pH-nya sangat rendah inilah yang berfungsi sebagai bahan penghantar (*electrolyte*) yang sangat baik, sehingga terjadilah sel karat di dalam titik embun yang menempel pada permukaan yang memiliki perbedaan beda potensial tersebut (lihat Gambar 2.16




*Gambar 2.16* Proses terbentuknya Karat pada Titik Embun.
Sumber: Hakim (2012)

Sewaktu bintik-bintik embun atau air hujan mengering kena panas matahari, proses pengkaratan terhenti dan akan berlanjut lagi manakala permukaan yang berkarat tadi menjadi basah kembali oleh hujan atau embun. Proses ini akan terjadi melalui mekanisme tersebut di atas secara berulang-ulang hingga takik karat bertambah dalam dan produk karat menutupinya.

Zat pencemar bermacam-macam, yang paling dominan bergantung pada lokasi di tempat terjadinya pengkaratan, misalnya di tepi pantai zat pencemar yang paling dominan adalah NaCl yang berasal dari partikel air laut, di sekitar kawasan industri zat SO2, H2S, NH3 dan NO2. Di daerah pedesaan yang paling dominan adalah *Carbonyl Sulfida* COS. Walaupun suatu jenis metal tahan karat di suatu lokasi, belum tentu bersifat sama di tempat lain, misalnya baja berlapis galvanis tahan karat si daerah pedesaan, namun kurang tahan karat di daerah industri. Dari perbedaan-perbedaan pengaruh yang mencolok atas tingkat pengkaratan di daerah-daerah tertentu, maka daerah-daerah tersebut dibagi dalam beberapa jenis yakni: *Marine, Industrial, Tropical, Arctic, Urban* (pelosok), *Rural* (pedesaan).

## 2.4 Termodinamika Korosi

Pergerakan electron ini dipicu oleh adanya perbedaan potensial elektrokimia hasil penjumlahan dari potensial reaksi yang terjadi pada anoda dan potensial reaksi yang terjadi pada katoda. Perbedaan potensial ini menimbulkan gaya dorong sehingga terjadi pasangan reaksi oksidasi dan reduksi.

Apabila energi bebas dari produk reaksi lebih kecil daripada energi bebas reaktan, maka perubahan energi bebas dari reaksi tersebut negative. Secara termodinamika, perubahan energi bebas yang bernilai negatif dalam suatu reaksi menandakan bahwa reaksi tersebut dapat berjalan secara spontan. Hubungan perubahan energy bebas dengan potensial reaksi elektrokimia.

$$\Delta G = - n F E \quad \text{.....(2.4)}$$

Dimana :

n = jumlah ekivalen perubahan electron pada reaksi (dilihat dari valensi ion)

F = konstanta Faraday = 96500 Coulomb

E = Potensial reduksi standart

Untuk mengetahui arah reaksi yang terjadi maka dapat dinyatakan bahwa potensial reaksi suatu reaksi elektrokimia merupakan penjumlahan dari potensial reaksi anodik ditambah potensial reaksi katodik.

$$E = E_a + E_c \quad \text{.....(2.5)}$$

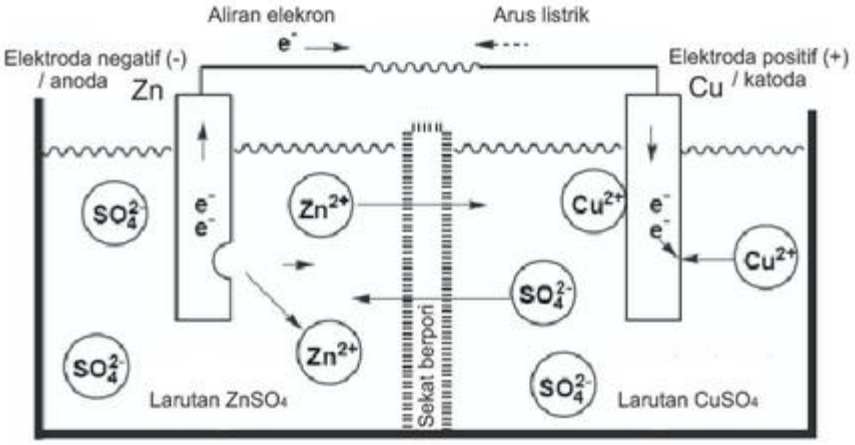
Dimana:

E = potensial reaksi elektrokimia

$E_a$ = potensial reaksi oksidasi

$E_c$ = potensial reaksi reduksi

Dengan membalik arah reaksi, maka nilai potensial reaksi akan berubah dari positif menjadi negative atau sebaliknya. Dengan mengatur arah reaksi dari kedua reaksi, oksidasi dan reduksi, akan diperoleh arah reaksi gabungan yang dapat menjadi pasangan reaksi oksidasi dan reduksi dimana kedua reaksi tersebut dapat berjalan spontan. Pasangan reaksi oksidasi dan reduksi dapat berjalan spontan apabila jumlah potensial reaksi oksidasi pada anoda dan reaksi reduksi pada katoda bernilai positif (persamaan 2.4) sehingga nilai perubahan energi bebas pada (persamaa 2.5) bernilai negative. Perubahan energy bebas yang bernilai negative pada suatu reaksi elektrokimia memberikan arti bahwa reaksi dapat berjalan spontan dalam kondisi tidak terdapat energi aktifasi dan tidak terdapat potensial polarisasi pada masing-masing reaksi oksidasi dan reduksi.




*Gambar 2.17* Sel Elektrokimia.
Sumber: Gapsari (2017)

## 2.5 Polarisasi

Ketika suatu logam tidak berda dalam kesetimbangan larutan yang mengandung ion-ionnya, potensial elektrodanya berbeda dari potensial korosi bebas dan selisih antara keduanya biasanya disebut polarisasi. Polarisasi atau penyimpangan dari potensial keseimbangan sama dengan polarisasi anoda pada logam dan polarisasi katoda pada lingkunganya.

Polarisasi merupakan perubahan potensial dari keadaan stabil, misalnya dari potensial elektroda rangkaian terbuka sebagai hasil dari aliran arus. Hal ini juga mengacu pada perubahan potensial elektroda selama elektrolisis, sehingga potensial dari sebuah anoda menjadi lebih mulia, dan bahwa katoda lebih aktif, dibandingkan potensial masing-masing reversibel. Sering dilakukan dengan pembentukan lapisan pada permukaan elektroda.

Polarisasi adalah salah satu bentuk reaksi korosi yang merupakan penyebab timbulnya karat pada kerusakan logam. Secara definitif polarisasi itu adalah proses pengutuban ion hidrogen secara kimia listrik sehingga terbentuk gas hidrogen dengan bantuan pengikatan elektron yang dihasilkan dari proses degradasi logam.

Polarisasi kadang-kadang juga disebut sebagai "*overvoltage*" atau "*overpotential*". Dalam beberapa buku elektrokimia, ada perbedaan antara tegangan berlebih dan potential berlebih. Yang pertama mengacu pada perbedaan antara potensial elektroda yang sebenarnya di mana elektrolisis dimulai dan potensial elektroda reversibel (potensial redoks standar), yang terakhir mengacu pada potensi penyimpangan dari keseimbangan potensial dalam suatu sistem.

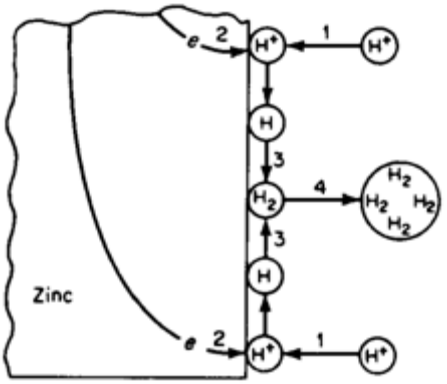
Dalam konteks korosi, polarisasi mengacu pada pergeseran potensial dari potensial rangkaian terbuka (potensial korosi bebas) dari sistem korosi. Jika pergeseran potensial

dalam arah "positif" (atas Ecorr), hal itu disebut "polarisasi anodik". Jika pergeseran potensial dalam arah "negatif" (bawah Ecorr), hal itu disebut "polarisasi katodik".

Untuk semua logam dan paduan dalam lingkungan basah, polarisasi katodik selalu mengurangi laju korosi. Proteksi katodik pada dasarnya penerapan polarisasi katodik ke sistem korosi. Untuk sistem non-pasif (misalnya baja dalam air laut), polarisasi anodik selalu meningkatkan laju korosi. Untuk sistem yang menunjukkan transisi aktif ke pasif, polarisasi anodik akan meningkatkan laju korosi pada awalnya dan kemudian menyebabkan penurunan drastis laju korosi. Perlindungan anodik dasarnya penerapan polarisasi anodik ke sistem korosi.

Polarisasi ada 2 macam yakni polarisasi aktivasi dan konsentrasi polarisasi. Aktivasi polarisasi dapat berlangsung dengan kontrol urutan reaksi pembentukan hidrogen yang pada logam dengan larutan yang bersentuhan. Sedangkan konsentrasi polarisasi terjadi akibat adanya konsentrasi hidroksil yang pekat sehingga pengontrolnya adalah konsentrasi dari ion.

### 2.5.1 Polarisasi Aktivasi



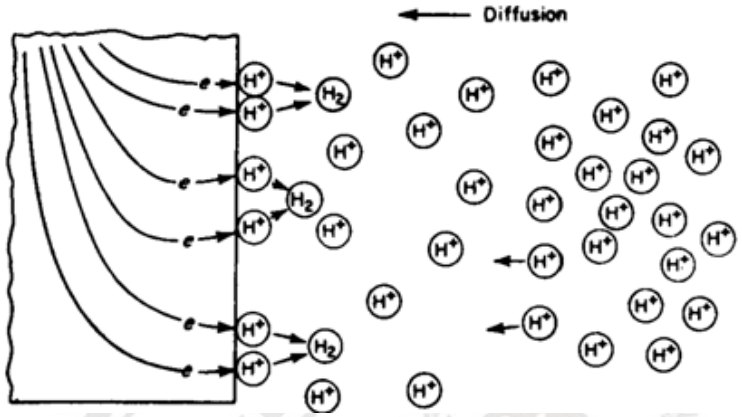

*Gambar 2.18* Reaksi pengurangan hydrogen di bawah aktifasi kontrol.
Sumber: Gapsari (2017)

Polarisasi aktivasi mengacu pada proses elektrokimia yang dikendalikan oleh urutan reaksi pada antarmuka logam-elektrolit. ini mudah diilustrasikan dengan mempertimbangkan reaksi hidrogen - evolusi pada seng selama korosi dalam larutan asam.

Gambar 2.3 menunjukkan secara skematik beberapa langkah yang mungkin dalam pengurangan hidrogen pada permukaan seng. Langkah ini juga dapat diterapkan pada pengurangan spesies apapun pada permukaan logam . spesies pertama harus diserap atau menempel ke permukaan sebelum reaksi dapat berjalan sesuai dengan (langkah 1). mengikuti, transfer elektron (langkah 2) harus terjadi, menghasilkan penurunan spesies seperti yang ditunjukkan pada (langkah 3), dua atom hidrogen menggabungkan untuk dari

gelembung gas hydrogen (langkah 4). kecepatan pengurangan ion hidrogen akan dikendalikan oleh paling lambat langkah-langkah ini. ini adalah gambaran yang sangat sederhana dari pengurangan hidrogen, banyak mekanisme telah diusulkan, yang sebagian besar adalah jauh lebih kompleks daripada yang ditunjukkan dalam Gambar 2.3.

### 2.5.2 Polarisasi Konsentrasi




*Gambar 2.19* Konsentrasi polarisasi selama reduksi hydrogen.
Sumber: Gapsari (2017)

Polarisasi konsentrasi mengacu pada reaksi elektrokimia yang dikendalikan oleh difusi dalam elektrolit. ini diilustrasikan dalam gambar 2.4 untuk kasus evolusi hidrogen. di sini, jumlah ion hidrogen dalam larutan cukup kecil, dan tingkat reduksi dikendalikan oleh difusi ion hidrogen pada permukaan logam. dicatat bahwa dalam hal ini pengurangan tingkat dikendalikan oleh proses yang terjadi dalam solusi massal daripada di permukaan logam. polarisasi aktivasi biasanya adalah faktor pengendalian selama korosi dalam media yang mengandung konsentrasi tinggi spesies yang aktif (misalnya, asam pekat). polarisasi konsentrasi umumnya mendominasi ketika konsentrasi spesies direduksi kecil (misalnya, asam encer, larutan garam soda). dalam kebanyakan kasus polarisasi konsentrasi selama pembubaran logam biasanya kecil dan dapat diabaikan, melainkan hanya penting selama reaksi reduksi.

Pentingnya membedakan antara polarisasi aktivasi dan polarisasi konsentrasi tidak bisa terlalu ditekankan. tergantung pada apa jenis polarisasi mengendalikan reaksi reduksi, variabel lingkungan menghasilkan efek yang berbeda. misalnya, setiap perubahan dalam sistem yang meningkatkan laju difusi akan mengurangi efek polarisasi konsentrasi dan karenanya meningkatkan laju reaksi. dengan demikian, meningkatkan kecepatan atau agitasi dari medium korosif akan meningkatkan tingkat hanya jika proses katodik

dikendalikan oleh polarisasi konsentrasi. jika kedua reaksi anoda dan katoda dikendalikan oleh polarisasi aktivasi, agitasi tidak akan berpengaruh terhadap laju korosi.

## 2.6 Deret Elektrokimia

Deret elektrokimia merupakan deret yang menyatakan suatu unsur-unsur logam berdasarkan potensial elektroda standartnya. Kegunaan dari deret volta ini adalah sebagai acuan apakah logam ini bisa bereaksi dengan ion logam lain. Konsep deret volta sama seperti reaksi pendesakan antar halogen. Deret volta sangatlah penting, dengan menggunakan deret volta kita dapat mengidentifikasi logam apa saja yang dapat bereaksi dengan hidrogen atau tidak. Dengan deret volta dapat mengetahui unsur logam mana yang mempunyai ketahanan korosi yang paling baik dan unsur logam mana yang mempunyai ketahanan korosi yang paling lemah. Tetapi untuk mengetahui suatu sifat unsur tersebut harus mengetahui tentang sifat-sifat deret volta. Berikut ini adalah sifat-sifat tentang deret volta.

1. Logam bagian atas memiliki E$^{o}$sel (potensial elektroda standard) bertanda negatife (-).
2. Logam bagian bawah memiliki E$^{o}$sel (potensial elektroda standard) bertanda positif (+).
3. Semakin ke atas kedudukan logam semakin reaktif (semakin mudah melepaskan elektron).
4. Semakin ke atas kedudukan logam semakin mudah mengalami korosi dan merupakan reduktor yang semakin kuat.
5. Semakin ke bawah kedudukan logam semakin kurang reaktif (sukar melepaskan elektron).
6. Semakin ke bawah kedudukan logam semakin kuat mencegah korosi dan merupakan oksidator yang semakin kuat.
7. Logam bagian atas dapat mengusir atau mendesak atau mereduksi logam bagian bawah sehingga reaksi dapat berlangsung (spontan).
8. Logam bagian bawah tidak dapat mengusir atau mendesak atau mengoksidasi logam bagian atas sehingga reaksi tidak dapat berlangsung (tidak spontan).

Dari sifat-sifat umum deret volta tersebut kita dapat mengetahui logam yang bersifat oksidator terbaik dan reduktor terbaik. Pada deret volta setiap unsur memiliki potensial elektroda standard yang berbeda-beda yang nilainya dipengaruhi oleh muatan elektron yang terlepas berdasarkan unsurnya. Biasanya deret volta digunakan pada hukum faraday, karena pada faraday jumlah massa yang diendapkan berdasarkan jumlah muatan elektron

dari suatu unsur yang dilepaskan. Maka deret volta sangat penting untuk menentukan nilai dari laju korosi suatu logam. Untuk urutan logam berdasarkan dari yang mudah melepas elektron hingga yang sukar melepas elektron dan berdasarkan sifat-sifat umum deret volta dapat di tulis sebagai berikut:

Tabel 2.1
Tabel Potensial Elektrode Standar Pada Suatu Unsur

| | Electrode Reaction | $e^o$(V vs, SHE) |
|---|---|---|
| $Li^+ \mid Li$ | $Li^+ + e^- = Li$ | -3,045 |
| $Rb^+ \mid Rb$ | $Rb^+ + e^- = Rb$ | -2,925 |
| $Cs^+ \mid Cs$ | $Cs^+ + e^- = Cs$ | -2,925 |
| $K^+ \mid K$ | $K^+ + e^- = K$ | -2,925 |
| $Ra^{2+} \mid Ra$ | $Ra^{2+} + 2e^- = Ra$ | -2,916 |
| $Ba^{2+} \mid Ba$ | $Ba^{2+} + 2e^- = Ba$ | -2,906 |
| $Ca^{2+} \mid Ca$ | $Ca^{2+} + 2e^- = Ca$ | -2,866 |
| $Na^+ \mid Na$ | $Na^+ + e^- = Na$ | -2,714 |
| $La^{3+} \mid La$ | $La^{3+} + 3e^- = La$ | -2,522 |
| $Mg^{2+} \mid Mg$ | $Mg^{2+} + 2e^- = Mg$ | -2,363 |
| $Be^{2+} \mid Be$ | $Be^{2+} + 2e^- = Be$ | -1,847 |
| $Al^{3+} \mid Al$ | $Al^{3+} + 3e^- = Al$ | -1,662 |
| $Ti^{2+} \mid Ti$ | $Ti^{2+} + 2e^- = Ti$ | -1,628 |
| $Zr^{4+} \mid Zr$ | $Zr^{4+} + 4e^- = Zr$ | -1,529 |
| $V^{2+} \mid V$ | $V^{2+} + 2e^- = V$ | -1,186 |
| $Mn^{2+} \mid Mn$ | $Mn^{2+} + 2e^- = Mn$ | -1,180 |
| $Zn^{2+} \mid Zn$ | $Zn^{2+} + 2e^- = Zn$ | -0,762 |
| $Cr^{3+} \mid Cr$ | $Cr^{3+} + 3e^- = Cr$ | -0,744 |
| $SbO_2^- \mid Sb$ | $SbO_2^- + 2H_2O^- + 3e^- = Sb + 4\ OH^-$ | -0,670 |
| $Ga^{2+} \mid Ga$ | $Ga^{2+} + 2e^- = Ga$ | -0,529 |
| $S^{2-} \mid S$ | $S^{2-} + 2e^- = S$ | -0,510 |
| $Fe^{2+} \mid Fe$ | $Fe^{2+} + 2e^- = Fe$ | -0,440 |
| $Cr^{3+}, Cr^{2+} \mid Pt$ | $Cr^{3+} + e^- = Cr^{2+}$ | -0,408 |
| $Cd^{2+} \mid Cd$ | $Cd^{2+} + 2e^- = Cd$ | -0,402 |
| $Ti^{3+}, Ti^{2+} \mid Pt$ | $Ti^{3+} + e^- = Ti^{2+}$ | -0,369 |
| $Tl^+ \mid Tl$ | $Tl^+ + e^- = Tl$ | -0,336 |
| $Co^{2+} \mid Co$ | $Co^{2+} + 2e^- = Co$ | -0,277 |
| $Ni^{2+} \mid Ni$ | $Ni^{2+} + 2e^- = Ni$ | -0,250 |
| $Mo^{3+} \mid Mo$ | $Mo^{3+} + 3e^- = Mo$ | -0,200 |
| $Sn^{2+} \mid Sn$ | $Sn^{2+} + 2e^- = Sn$ | -0,138 |
| $Pb^{2+} \mid Pb$ | $Pb^{2+} + 2e^- = Pb$ | -0,126 |
| $Ti^{4+}, Ti^{3+} \mid Pt$ | $Ti^{4+} + e^- = Ti^{3+}$ | -0,040 |
| $H^+, H_2 \mid Pt$ | $H^+ + e^- = ½\ H_2$ | ±0,000 |
| $Sn^{4+}, Sn^{2+} \mid Pt$ | $Sn^{4+} + 2e^- = Sn^{2+}$ | 0,015 |
| $Cu^{2+}, Cu^+ \mid Pt$ | $Cu^{2+} + e^- = Cu^+$ | 0,153 |
| $Cu^{2+} \mid Cu$ | $Cu^{2+} + 2e^- = Cu$ | 0,337 |
| $Fe(CN)_6^{3-}, Fe(CN)_6^{4-} \mid Pt$ | $Fe(CN)_6^{3-} + e^- = Fe(CN)_6^{4-}$ | 0,360 |
| $OH^-, O_2 \mid Pt$ | $½\ O_2 + H_2O + 2e^- = 2OH^-$ | 0,401 |
| $Cu^+ \mid Cu$ | $Cu^+ + e^- = Cu$ | 0,521 |
| $I^- \mid I^2, Pt$ | $I_2 + 2e^- = 2I^-$ | 0,535 |
| $MnO_4^-, MnO_4^{2-} \mid Pt$ | $MnO_4^- + e^- = MnO_4^{2-}$ | 0,564 |

| | Electrode Reaction | $e^o$(V vs, SHE) |
|---|---|---|
| $Fe^{3+}, Fe^{3+} \mid Pt$ | $Fe^{3+} + e^- = Fe^{2+}$ | 0,771 |
| $Hg^{2+} \mid Hg$ | $Hg^{2+} + 2e^- = 2Hg$ | 0,778 |
| $Ag^+ \mid Ag$ | $Ag^+ + e^- = Ag$ | 0,779 |
| $Hg^{2+} \mid Hg$ | $Hg^{2+} + 2e^- = Hg$ | 0,854 |
| $Hg^{2+}, Hg^+ \mid Pt$ | $Hg^{2+} + e^- = Hg^+$ | 0,910 |
| $Pd^{2+} \mid Pd$ | $Pd^{2+} + 2e^- = Pd$ | 0,987 |
| $Br^- \mid Br_2, Pt$ | $Br_2 + 2e^- = 2Br^-$ | 1,065 |
| $Pt^{2+} \mid Pt$ | $Pt^{2+} + 2e^- = Pt$ | 1,200 |
| $Mn^{2+}, H^+ \mid MnO_2, Pt$ | $MnO_2 + 4H^+ + 2e^- = Mn^{2+} + 2H_2O$ | 1,230 |
| $Cr^{3+}, Cr_2O_2^{-7}, H^+ \mid Pt$ | $Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- = 2Cr^{3+} + 7H_2O$ | 1,330 |
| $Cl^- \mid Cl_2, Pt$ | $Cl_2 + 2e^- = 2Cl$- | 1,359 |
| $Pb^{2+}, H^+ \mid PbO_2, Pt$ | $PbO_2 + 4H^+ + 2e^- = Pb^{2+} + 2H_2O$ | 1,455 |
| $Au^{3+} \mid Au$ | $Au^{3+} + 3e^- = Au$ | 1,498 |
| $MnO4^-, H^+ \mid MnO_2, Pt$ | $MnO_4^- + 4H^+ + 3e^- = MnO_2 + 2H_2O$ | 1,695 |
| $Ce^{4+}, Ce3+ \mid Pt$ | $Ce^{4+} + e^- = Ce3+$ | 1,610 |
| $SO_4^{2-}, H^+ \mid PbSO_4, PbO_2, Pb$ | $PbO_2 + SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- = PbSO_4 + 2H_2O$ | 1,682 |
| $Au^+ \mid Au$ | $Au^+ + e^- = Au$ | 1,691 |

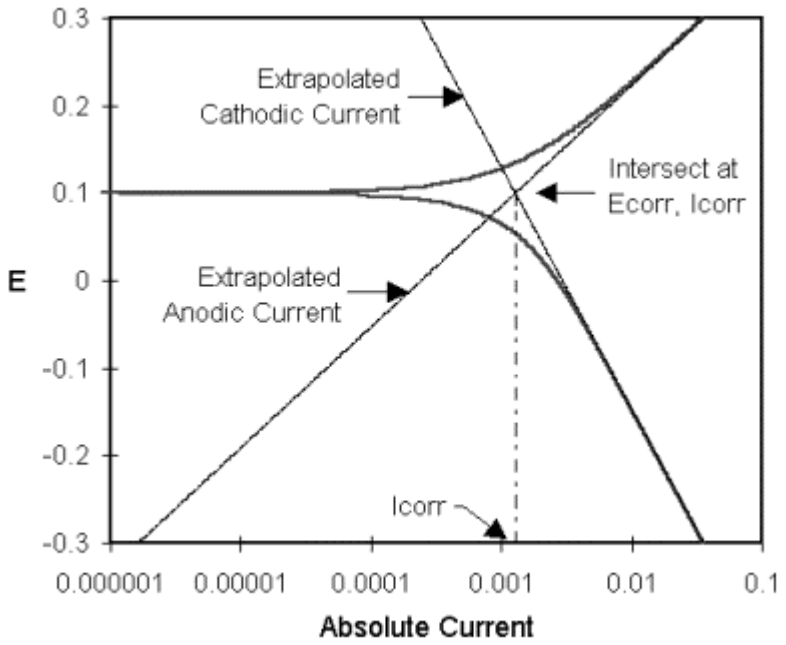
Sumber: Fontana : 1986

Jika dilihat berdasarkan urutan deret volta dengan di hubungkat sifat-sifat umum deret volta maka logam yang paling mudah untuk melepas elektron dan bereaksi dengan hidrogen adalah litium (Li), dan yang paling sukar untuk melepas elektron dan bereaksi dengan hidorgen adalah Emas (Au). Maka logam Cu, Hg, Ag, Pt dan Au merupakan logam yang tahan korosi dan bersifat oksidator. Berdasarkan urutan deret volta, kuningan dibandingkan dengan perunggu merupakan oksidator yang kuat, karena pada kuningan dan perunggu unsur utamanya tembaga (Cu) sehingga sangat sukar untuk terkorosi. Namun pada paduan perunggu Cu-Sn nilai Sn lebih rendah dari Kuningan Cu-Zn, sehingga Sn dapat teroksidasi lebih cepat dibandingkan Zn.

## 2.7 Pengujian Elektrokimia Polarisasi Potensiodinamik

Pengujian dengan metoda polarisasi dilakukan dengan alat uji yang disebut *potensiostat* atau *galvanostat* yang dapat mengukur laju korosi berdasarkan perubahan potensial listrik terhadap perubahan arus yang dideteksi selama proses korosi pada saat pengukuran berlangsung. Dari kurva polarisasi yang dihasilkan, dapat diukur potensial

korosi dan arus korosi yang terjadi dengan bantuan metoda ekstrapolasi tafel. Terjadinya korosi sumuran pada logam uji juga dapat diketahui dari pola kurva polarisasi yang dihasilkan.




*Gambar 2.20* Kurva Polarisasi
Sumber: Gapsari (2017)

## 2.8 Faktor –faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi

### 2.7.1 Media Lingkungan

Pada dasarnya di semua lingkungan dapat menyebabkan korosi dengan tingkat yang rendah, contohnya seperti air, asap pabrik dan gas lainya seperti *clorine, ammonia, hydrogen sulfide, sulfur dioxide* dan *fuel gases.* Pada umumnya senyawa inorganik memiliki sifat yang lebih korosif dibandingkan dengan senyawa organik. Seperti korosi yang terjadi pada pabrik petrolium yang lebih disebabkan oleh sodium klorida, asam klorida dan asam nitrat dibandingkan oli, cairan dan bensin.

Kecenderungan pada proses kimia pada pabrik-pabrik terhadap tingginya temperatur dan tekanan membuat kemungkinan baru atau peningkatan pada proses yang lama agar *output* lebih besar, kecepatan produksi lebih tinggi dan ongkos produksi lebih rendah. Ini dapat diaplikasikan pada industri pembangkit seperti nuklir, misil dan yang lainya. Suhu dan tekanan yang lebih tinggi biasanya lebih parah menyebabkan korosi. Banyak sekali pekerjaan keseharian yang tidak menggunakan material yang tahan korosi (Fontana, 1986).

### 2.7.2 Unsur Paduan Tembaga

Kebanyakan paduan tembaga yang digunakan pada industri manufaktur yaitu kuningan (Cu-Zn), perunggu (*bronze)* (Cu-Sn) dan *cupronickels* (Cu-Ni). Karena pada paduan ini memiliki kekuatan yang tinggi dan tahan terhadap korosi. material ini digunakan untuk benda-benda seperti baut, mur dan katup, yang berfungsi untuk meminimalisir dua logam yang berkarat. Namun, pada penambahan paduan pada salah satu unsur logam dapat menurunkan unsur paduan didaerah batas butir, hal ini dapat terjadi karena adanya kotoran pada batas butirnya, dan menyebabkan korosi batas butir (*Intergranular corrosion*).

kuningan merupakan suatu paduan dengan unsur utama tembaga (Cu) dan seng (Zn), kuningan mempunyai unsur-unsur lain yang memiliki sifat tahan terhadap korosi dan juga mempunyai daya hantar listrik yang cukup baik. Kadar kuningan yaitu tembaga (Cu) 78 – 79 %, seng (Zn) 22 – 24 %. Selain itu terdapat juga campuran tambahan lain seperti timbal (Pb), timbah putih (Sn), nikel (Ni), besi (Fe), silikon (Si), mangan (Mn), aluminium (Al), krom (Cr), fosfor (P), belerang (S) dan arsenik (As).

Perunggu merupakan suatu paduan dengan unsur utama tembaga (Cu) dan timah putih (Sn), perunggu mempunyai unsur-unsur lain yang memiliki sifat tahan terhadap korosi dan juga mempunyai daya hantar listrik yang cukup baik. Kadar perunggu yaitu tembaga (Cu) 78 – 79 %, timah putih (Sn) 22 – 24 %. Selain itu terdapat juga campuran tambahan lain seperti timbal (Pb), seng (Zn), nikel (Ni), besi (Fe), silikon (Si), mangan (Mn), aluminium (Al), krom (Cr), fosfor (P), belerang (S), dan arsenik (As).

Kuningan dengan unsur utama tembaga berbeda dengan logam kebanyakan. Tembaga mempunyai ketahanan korosi disegala kondisi seperti udara, tanah dan air. Tembaga merupakan logam yang sangat bagus dan dengan menggunakan hidrogen untuk proses korosi tidak biasanya dilakukan pada tembaga. Untuk itu tembaga sukar terkorosi oleh asam terkecuali pada asam nitrat ($HNO_3$). Salah satunya, mereaksikan tembaga dengan asam sulfat tidak kemungkinan akan berjalan baik, tetapi pada reaksi tersebut korosi dapat disebabkan oleh oksigen atau udara, sulfat dan air. Proses reduksi dari udara untuk membentuk ion oksigen merupakan katoda yang menonjol dari reaksi tembaga dan paduanya. Pada saat kondisi dengan suhu antara 300-400 C, paduan tembaga sangat unggul dibandingkan *stainless steels* dan paduannya.

Pada tabel 2.2 komposisi unsur dan sifat mekanik dari beberapa paduan tembaga terlihat macam-macam variasi dari propertis mekanik dari tiap paduan tembaga, contohnya

seperti besar nilai *tensile strength* sekitar 30,000-200,000 lb/in$^2$. Di tunjukan pada tembaga murni dan tembaga dengan paduan 2% berilium.

Tembaga dan kuningan sangat berfungsi untuk mencegah adanya korosi yang berlebihan. Kuningan dan alumunium perunggu material yang baik pada konteks ketahanan terhadap korosi. Tetapi kuningan lebih baik dari alumunium perunggu dan pada *cupronickels* dengan sedikit tambahan besi juga tangguh pada ketahanan korosi.

Tembaga dan paduanya sangat cocok untuk sistem pemipaan dengan dikombinasikan pada besi, aluminum dan *stainless steel*. Karena sifat yang tahan terhadap korosi material ini dapat mengatasi banyak masalah pada *heat-exchanger* seperti sistem pemipaan yang menggunakan ammonia pada bagian sisi satu dan air laut pada sisi yang lain. Tembaga sangat cocok digunakan pada bejana keras, shaf, kawat, bering, tangka, bahan atap dan lainya (Fontana, 1986).

Tabel 2.2
Komposisi Unsur Dan Sifat Mekanik Beberapa Paduan Tembaga

| Material | Composition % | Tensil Strength kg/cm$^2$ | | Yield Strenth kg/cm$^2$ | | Elongation % | | Rockwell Hardness | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Hard | Soft | Hard | Soft | Hard | Soft | Hard | Soft |
| High-purity coppe | 99,9 Cu | 3.129 | 2.245 | 2.721 | 680 | 5 | 40 | B-50 | F-35 |
| Berylium copper | 98 Cu, 1,9 Be, 0,2 Ni or Co | 13.605 | 4.762 | 10.204 | 2.041 | 2 | 35 | C-38 | B-65 |
| Red brass | 85 Cu, 15 Zn | 4.762 | 2.721 | 3.741 | 1.020 | 7 | 45 | B-76 | B-5 |
| Casting brass | 85 Cu, 5 Zn, 5 Pb, % Sn | - | 2.245 | - | 1.020 | - | 25 | - | B-7 |
| Cartridge brass | 70 Cu, 30 Zn | 5.170 | 3.265 | 4.082 | 1.156 | 10 | 65 | B-83 | B-20 |
| Munt metal | 60 Zn, 40 Zn | 5.442 | 3.673 | 4.082 | 1.361 | 15 | 45 | B-87 | B-45 |
| Phospor bronze A | 95 Cu, 5 Sn, 0,25 P | 5.442 | 3.265 | 4.422 | 1.361 | 6 | 50 | B-86 | B-28 |
| Phospor bronze D | 90 Cu, 10 Sn, 0,25 P | 6.939 | 4.490 | 4.762 | 1.905 | 12 | 65 | B-98 | B-65 |
| Alumunium bronze | 92 Cu, 8 Al | 7.143 | 4.422 | 4.422 | 1.701 | 7 | 60 | B-96 | B-50 |
| Everdur 1010 | 96 Cu, 3 Si, 1 Mn | 6.463 | 3.946 | 4.082 | 1.497 | 7 | 60 | B-92 | B-35 |
| Alumunium brass | 77 Cu, 21 Zn, 2 Al, 0,04 As | 5.782 | 3.537 | 4.082 | 1.361 | 6 | 65 | B-85 | B-30 |
| Admirally adsenic | 71 Cu, 28 Zn, 1 Sn, 0,04 As | - | 3.265 | - | 1.224 | - | 65 | - | B-25 |
| Cupronickel 10 | 88 Cu, 10 Ni, 1 Fe, 0,4 Mn | 4.082 | 2.041 | 3.878 | 1.497 | 15 | 46 | B-65 | B-25 |
| Cupronickel 30 | 69 Cu, 30 Ni, 0,5 Fe, 0,06 Mn | 4.762 | 3.741 | 4.082 | 1.497 | 10 | 45 | B-80 | B-35 |
| Nickel silver | 65 Cu, 25 Zn, 10 Ni | 5.986 | 2.381 | 4.762 | 1.361 | 7 | 42 | B-87 | B-50 |

Sumber: Fontana, 1986 : 241

### 2.7.3 Pengaruh Tingkat Keasaman pH Terhadap Laju Korosi

Laju kimia dari reaksi korosi yang akan semakin besar dengan naiknya temperature sehingga mendorong terjadinya reaksi oksidasi pada logam atau meningkatkan kemampuan lingkungan untuk mengoksidasi logam.

Konsentrasi larutan atau molar sangat berhubungan terhadap tingkat keasaman larutan. Pada saat ion $H^+$ mempunyai konsentrasi sebesar $10^{-6}$M maka derajat keasaman (pH) dapat dihitung menggunakan rumus [pH= -log $\{H^+\}$]. Sehingga derajat keasamanya di dapatkan

sebesar pH = 6. Semakin tinggi konsentrasi larutan maka semakin tinggi tingkat keasaman suatu larutan. Namun semakin lama konsentrasi larutan akan menurun di karenakan terdapat unsur kimia yang bereaksi dengan oksigen. Derajat keasaman mempengaruhi proses korosi, karena pH menunjukkan konsentrasi ion H+ dalam air dan menghasilkan pelepasan elektron oleh logam pada reaksi anodik. Pada saat air mempunyai pH < 5, tembaga terkorosi cepat dan merata, sedangkan saat pH > 9 tembaga terproteksi. Antara 5 < pH < 9, korosi lubang akan terjadi jika tidak terdapat lapisan film pelindung pada permukaan tembaga.

### 2.7.4 Konsentrasi Larutan

Konsentrasi larutan adalah jumlah zat terlarut yang terdapat dalam jumlah tertentu pelarut atau larutan. Zat terlarut adalah suatu zat cair atau padat yang akan ditentukan konsentrasinya dan pelarut adalah suatu zat cair sebagai pelarut untuk menentukan konsentrasi. Sehingga konsentrasi larutan dapat dinyatakan dengan berbagai satuan. Salah satu satuan konsentrasi yang paling umum dalam kimia dalah molaritas atau konsentrasi molar yaitu jumlah zat terlarut dalam satu liter larutan (Chang, 2004).

Salah satu metode dalam pembuatan dan penentuan konsentrasi yaitu dengan tetrasi. Titrasi merupakan suatu proses analisis dimana suatu volum larutan standar ditambahkan ke dalam larutan dengan tujuan mengetahui komponen yang tidak dikenal. Larutan standar adalah larutan yang konsentrasinya sudah diketahui secara pasti. Berdasarkan kemurniannya larutan standar dibedakan menjadi larutan standar primer dan larutan standar sekunder. Larutan standar primer adalah larutan standar yang dipersiapkan dengan menimbang dan melarutkan suatu zat tertentu dengan kemurnian tinggi (konsentrasi diketahui dari massa - volum larutan). Larutan standar sekunder adalah larutan standar yang dipersiapkan dengan menimbang dan melarutkan suatu zat tertentu dengan kemurnian relatif rendah sehingga konsentrasi diketahui dari hasil standardisasi (Underwood, 1999). Untuk menghitung tingkat konsentrasi digunakan suatu larutan dengan menggunakan rumus sabagai berikut:

$$M = \frac{p \; x \; 10 \; x \; \%}{Mr} \quad \text{.....(2.6)}$$

Dimana :

M = Molaritas larutan (Molar)

$p$ = Massa jenis larutan (gr/cm$^3$)

Mr = Massa molekul relatif larutan

% = Presentase kepekatan larutan

Standardisasi larutan merupakan proses saat konsentrasi larutan standar sekunder ditentukan dengan tepat dengan cara mentitrasi dengan larutan standar primer (Kenkel, 2003). Titran atau titer adalah larutan yang digunakan untuk mentitrasi (biasanya sudah diketahui secara pasti konsentrasinya). Dalam proses titrasi suatu zat berfungsi sebagai titran dan yang lain sebagai titrat. Titrat adalah larutan yang dititrasi untuk diketahui konsentrasi komponen tertentu. Untuk mengetahui tingkat konsentrasi komponen tertentu dengan cara rumus pengenceran larutan.

$$V_1 . M_1 = V_2 . M_2 \quad (2.7)$$

Dimana :

$V_1$ = Volume larutan primer (ml)

$M_1$ = Molaritas larutan primer (Molar)

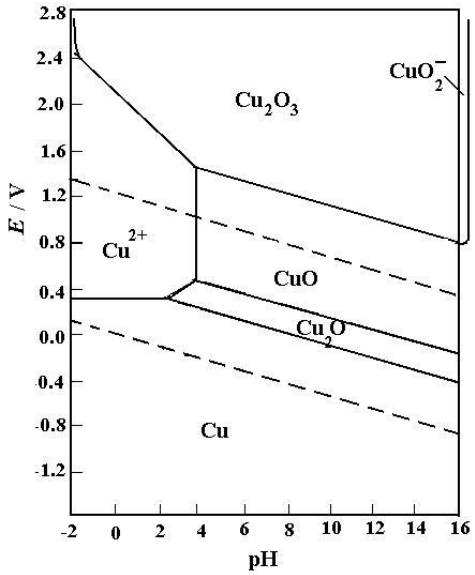
$V_2$ = Volume larutan sekunder (ml)

$M_2$ = Molaritas larutan sekunder (Molar)

Titik akhir titrasi adalah titik pada saat titrasi diakhiri/dihentikan. Dalam titrasi biasanya diambil sejumlah alikuot tertentu yaitu bagian dari keseluruhan larutan yang dititrasi kemudian dilakukan proses pengenceran (Haryadi, 1990). Pengenceran adalah proses penambahan pelarut yg tidak diikuti terjadinya reaksi kimia. Proses pengenceran adalah mencampur larutan pekat (konsentrasi tinggi) dengan cara menambahkan pelarut agar diperoleh volume akhir yang lebih besar.

## 2.8 Diagram E-pH (*Pourbaix*)

Diagram E-pH adalah diagram kesetimbangan termodinamika yang berdasarkan reaksi kimia dan elektrokimia antara material logam dengan lingkungannya. Diagram *pourbaix* merupakan antara pH terhadap potensial. Diagram E-pH memberikan informasi pada pH dan potensial berapa logam tersebut mengalami pasivasi, terkorosi atau dalam keadaan kebal (Gapsari, 2017).




*Gambar 2.21* Diagram Pourbaix Cu
Sumber: Handbook Pourbaix (2000)

Untuk nilai pH di bawah 4, ion tembaga stabil dalam larutan. Untuk nilai pH di atas 4, bentuk dari logam Cu adalah oksida. Penggantian komponen oksigen dari oksida tidak terjadi dan memperlambat mekanisme korosi. Artinya oksida CuO memperlambat korosi. Kondisi imun Cu terjadi pada potensial dibawah 0.4.

## 2.9 Hipotesis

Berdasarkan studi literatur diatas maka didapatkan hipotesis bahwa laju korosi paduan tembaga pada media asam adalah yang tertinggi, dan pada media basa merupakan yang terendah. Semakin asam suatu lingkungan maka laju korosi paduan tembaga semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena semakin asam, semakin meningkat reaksi reduksi yang terjadi pada katoda, sehingga semakin banyak logam mengalami oksidasi. Dan berdasarkan paduan tembaganya, laju korosi kuningan lebih tinggi dibandingkan laju korosi perunggu pada setiap variasi media asam, basa dan garam.

# BAB III
# METODE PENELITIAN

## 3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju korosi paduan tembaga pada media korosif yang berbeda. Maka metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental nyata (*true experimental research)* yaitu untuk menyelidiki kemungkinan hubungan sebab akibat dengan cara menyamakan prosesnya tetapi dengan variasi yang berbeda kepada salah satu atau lebih kelompok eksperimental dengan kondisi perlakuan yang sama dan membandingkan hasilnya dengan kelompok kontrol.

## 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada tanggal 1 April 2017 – 31 Mei 2017. Tempat yang digunakan dalam penelitian adalah:

1. Tempat Pengambilan data laboratorium LPPM – Intitut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

## 3.3 Variabel Penelitian

Variabel –variabel yang digunakan dalam penelitian ini

1. Variabel Bebas

   Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah:

   a) Larutan $HNO_3$ 1 M, larutan NaCl 3,5 %wt, larutan NaOH 1 M.

2. Variabel Terikat

   Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas. Variabel terikatnya adalah:

   a) Perbedaan laju korosi kuningan dan perunggu.

3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang besar nilainya dibuat konstan. Dalam penelitian ini variabel terkontrolnya adalah:

a) Kuningan dan Perunggu dengan komposisi dan ukuran yang sama.
b) Waktu proses pengujian elektrokimia polarisasi 1 jam.

## 3.4 Alat Dan Bahan Penelitian

### 3.4.1 Alat Penelitian

a) Gelas Ukur

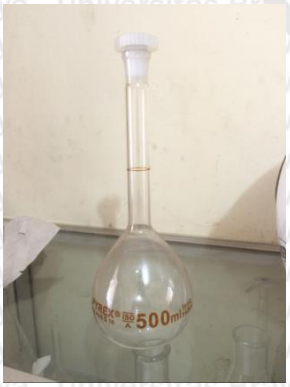
Gelas ini digunakan untuk pengukuran volume larutan pada $HNO_3$, NaCl dan NaOH. Dengan gelas ukur dapat mengukur volume pada larutan dan aquades pada saat perhitungan konsentrasi larutan.




*Gambar 3.1* Gelas Ukur

b) Labu Ukur

Alat ini digunakan untuk tempat mereaksikan $HNO_3$, NaCl dan NaOH dengan aquades.




*Gambar 3.2* Labu Ukur

c) Aquades

Alat ini digunakan untuk pencampuran dalam membuat larutan dan penentuan konsentrasi $HNO_3$, NaCl dan NaOH.



*Gambar 3.3* Aquades

d) Alat Potensiodinamik Autolab PGSTAT 128N



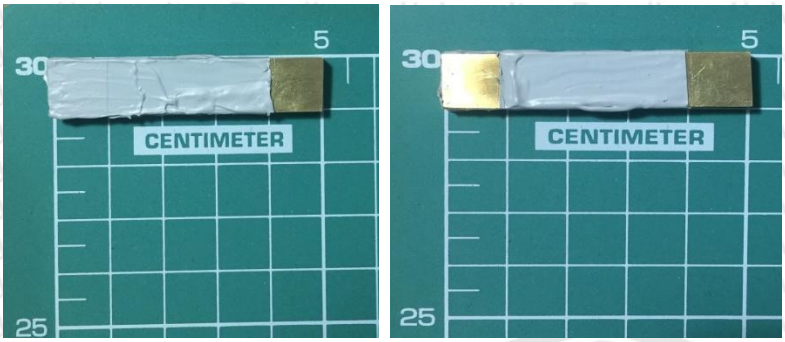
*Gambar 3.4 Autolab PGSTAT 128N*

Spesifikasi

| | |
|---|---|
| *Electrode connections* | 2, 3 and 4 |
| *Potential range* | +/- 10 V |
| *Compliance voltage* | +/- 30 V |
| *Maximum current* | +/- 2 A (20 A with BOOSTER20A) |
| *Current ranges* | 1 A to 10 nA (100 pA with ECD module) |
| *Potential accuracy* | +/- 0.2 % |
| *Potential resolution* | 0.3 µV |
| *Current accuracy* | +/- 0.2 % |
| *Current resolution* | 0.0003 % (of current range) |
| *Input impedance* | > 1 TOhm |
| *Potentiostat bandwidth* | 1 MHz |
| *Computer interface* | USB |
| *Control software* | NOVA |

### 3.4.2 Bahan Penelitian

a) Kuningan dan Perunggu




*Gambar 3.5* a) Perunggu b) Kuningan

Tabel 3.1
Tabel Komposisi Spesimen Kuningan

| No. | Parameter | Unit | Result |
|---|---|---|---|
| 1 | Silver (Ag) | % wt | <0,01 |
| 2 | Alumunium (Al) | % wt | 1,56 |
| 3 | Cadmium (Cd) | % wt | <0,01 |
| 4 | Cobalt (Co) | % wt | <0,01 |
| 5 | Chromium (Cr) | % wt | 0,006 |
| 6 | Copper (Cu) | % wt | 55,01 |
| 7 | Iron (Fe) | % wt | 0,56 |
| 8 | Magnesium (Mg) | % wt | 0,03 |
| 9 | Manganese (Mn) | % wt | 0,08 |
| 10 | Molybdenum (Mo) | % wt | <0,01 |
| 11 | Nickel (Ni) | % wt | 0,35 |
| 12 | Lead (Pb) | % wt | 2,22 |
| 13 | Antimony (Sb) | % wt | 0,04 |
| 14 | Tin (Sn) | % wt | 0,96 |
| 15 | Vanadium (V) | % wt | <0,01 |
| 16 | Zinc (Zn) | % wt | 28,51 |

Tabel Komposisi Spesimen Perunggu

| No. | Parameter | Unit | Result |
|---|---|---|---|
| 1 | Silver (Ag) | % wt | <0,01 |
| 2 | Alumunium (Al) | % wt | 1,56 |
| 3 | Cadmium (Cd) | % wt | <0,01 |
| 4 | Cobalt (Co) | % wt | <0,01 |
| 5 | Chromium (Cr) | % wt | 0,006 |
| 6 | Copper (Cu) | % wt | 80,01 |
| 7 | Iron (Fe) | % wt | 0,56 |
| 8 | Magnesium (Mg) | % wt | 0,03 |
| 9 | Manganese (Mn) | % wt | 0,08 |
| 10 | Molybdenum (Mo) | % wt | <0,01 |
| 11 | Nickel (Ni) | % wt | 0,35 |
| 12 | Lead (Pb) | % wt | 2,22 |
| 13 | Antimony (Sb) | % wt | 0,04 |
| 14 | Tin (Sn) | % wt | 14,96 |
| 15 | Vanadium (V) | % wt | <0,01 |

Material ini digunakan sebagai spesimen untuk proses elektrokimia. Ketebalan spesimen 0,4 cm, panjang 5 cm dan lebar 1 cm.

b) Larutan $HNO_3$, NaCl dan NaOH

Larutan ini di gunakan untuk mereaksikan logam pada saat proses elektrokimia.




*Gambar 3.6* $HNO_3$

Tabel 3.2
Spesifikasi $HNO_3$ 65% Analitik

| | |
|---|---|
| ***Nitric Acid 65% Extra Pure*** | |
| *Catalog Number* | N 002 |
| *Quantity* | 1,25 liter |
| *Package* | *Amber Glass* |
| **$HNO_3$** | |
| *MW* | 63,01 |
| *Assay* | >65% |
| *1 liter* | 1,40 kg |
| *Density* | 1,39 gr/$cm^3$ |
| *Chloride (Cl)* | <0,0005% |
| *Iron (Fe)* | <0,0005% |
| ***Corrosive*** | |
| *Risk* | 35 |

Untuk konsentrasi larutan awal dengan kepekatan 65% didapatkan molar menggunakan persamaan (2.3) sehingga konsentrasinya sebesar:

$$\frac{1{,}39 \text{ x } 10 \text{ x } 65\%}{63{,}01} = 14{,}33 \text{ M}$$

Sedangkan untuk pembuatan konsentrasi dengan molar yang sudah ditentukan untuk variabel bebas dengan cara pengenceran dengan $H_2O$ seperti berikut ini.

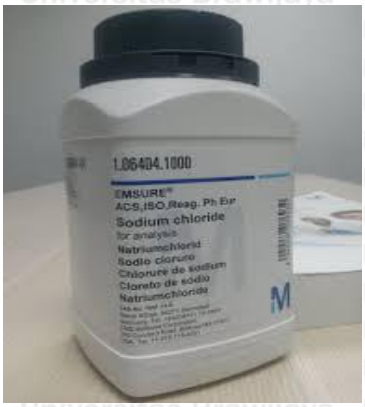
Perhitungan konsentrasi larutan $HNO_3$ untuk 1 M

$V_1$ x 14.33 M = 500ml x 1 M ..... (3.1)

$V_1$ = 500 ml.M / 14,33 M

$V_1$ = 34,89 ml $HNO_3$

Untuk volume $H_2O$nya, 500 – 34,89 = 465,11 ml, Sehingga di dapatkan 34,89 ml $HNO_3$ dan $H_2O$ nya sebesar 465,11 ml.




*Gambar 3.7 NaCl*

Tabel 3.3
Spesifikasi NaCl

| **NaCl** | |
|---|---|
| *M* | = 58,44 g/mol |
| *Assay (argentometric)* | > 99,5 % |
| *pH-value* | 5.0 – 8.0 |
| *Insoluble matter* | < 0,0005 % |
| *Bromide (Br)* | <0,0005 % |
| *Chloride (Cl)* | <0,0003 % |
| *Iron (Fe)* | <0,0001 % |

Sedangkan untuk pembuatan 3,5%wt NaCl dalam 500ml larutan adalah sebagai berikut.

NaCl 3,5% = $\frac{3{,}5\ g\ NaCl}{100\ g}$ x 1 g/ml.....(3.2)

= $\frac{3{,}5\ g\ NaCl}{100\ ml}$ x 5

= $\frac{17{,}5\ g\ NaCl}{500 ml}$




*Gambar 3.8* NaOH

Tabel 3.4
Spesifikasi NaOH

| **NaOH** | |
|---|---|
| *M* | = 40,00 g/mol |
| *Assay (acidimetric,NaOH)* | > 99,0 % |
| *Carbonate (as $Na_2CO_3$)* | < 1 % |
| *Phosphate ($PO_4$)* | < 0,0005 % |
| *Silicate ($SiO_2$)* | <0,001 % |
| *Chloride (Cl)* | <0,0005 % |
| *Iron (Fe)* | <0,0005 % |

Sedangkan untuk pembuatan larutan NaOH 1 M dalam 500ml adalah sebagai berikut.

$$1M = \frac{g}{Mr} \text{ x } \frac{1000}{ml} \quad \text{.....(3.3)}$$

$$= \frac{g}{40} \text{ x } \frac{1000}{500}$$

$$= 20 \text{ g}$$

c) *Nodrop*

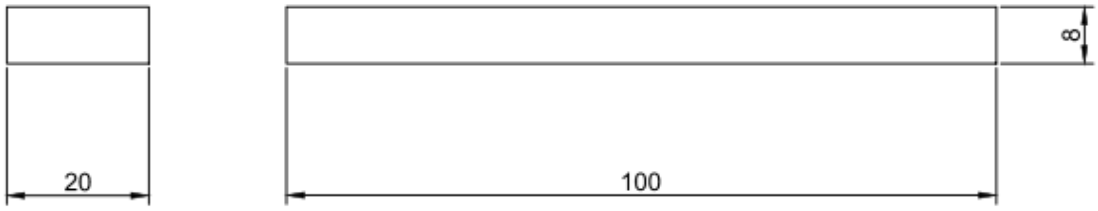
*Nodrop* ini digunakan sebagai *maskant* yang berfungsi untuk menutupi permukaan spesimen yang tidak dihilangkan massanya.




*Gambar 3.9 Nodrop*

## 3.5 Dimensi Benda Kerja

Plat kuningan dan perunggu dengan ketebalan 0,4 cm, panjang 5 cm, lebar 1 cm dan diberi *nodrop* menyelimuti spesimen dengan panjang 4 cm. dibawah ini merupakan gambar specimen.




Satuan dalam mm 1 : 2
*Gambar 3.10* Dimensi Spesimen

### 3.6 Prosedur Penelitian

1. Siapkan alat dan bahan yaitu kuningan dan perunggu yang sudah terlapisi *nodrop* dengan dimensi ketebalan 0,4 cm, panjang 5 cm, lebar 1 cm, *stopwatch*, larutan $HNO_3$, NaCl dan NaOH, aquades, gelas ukur dan labu ukur.
2. Tuangkan larutan $HNO_3$ 1 M, NaCl 3,5 %wt dan NaOH 1 M ke dalam gelas ukur yang berbeda..
3. Kemudian rendam kuningan dan perunggu yang sudah terlapisi *nodrop* ke dalam gelas berisi larutan $HNO_3$, NaCl dan NaOH dengan konsetrasi yang sudah di tentukan.
4. Pengujian elektrokimia dilakukan dengan menggunakan alat Autolab PGSTAT 128N.
5. Spesimen yang telah disiapkan sebagai elektroda kerja, dirangkai menjadi suatu sel elektrokimia dengan Ag/AgCl (KCl 3 M) sebagai elektroda pembanding dan platina sebagai elektroda bantu. Ketiga elektroda tersebut direndam dalam batch selama 1 jam.
6. Satu *batch* berisi larutan $HNO_3$ 1 M, NaCl 3,5 %wt, NaOH 1 M. Pengujian tersebut dilakukan pada suhu kamar (298 K).
7. Pengukuran polarisasi dilakukan pada perubahan -1 V sampai dengan +1 V sepanjang potensial korosi (OCP) dengan scan rate 0.001V/s.
8. Data yang diperoleh kemudian di hitung dan dianalisa sesuai dengan Standart ASTM (American Standart and Testing) G31-72 merupakan acuan yang digunakan dalam pengujian ini.

### 3.7 Diagram Alir Penelitian



# BAB IV
# HASIL DAN PEMBAHASAN

## 4.1 Hasil Penelitian

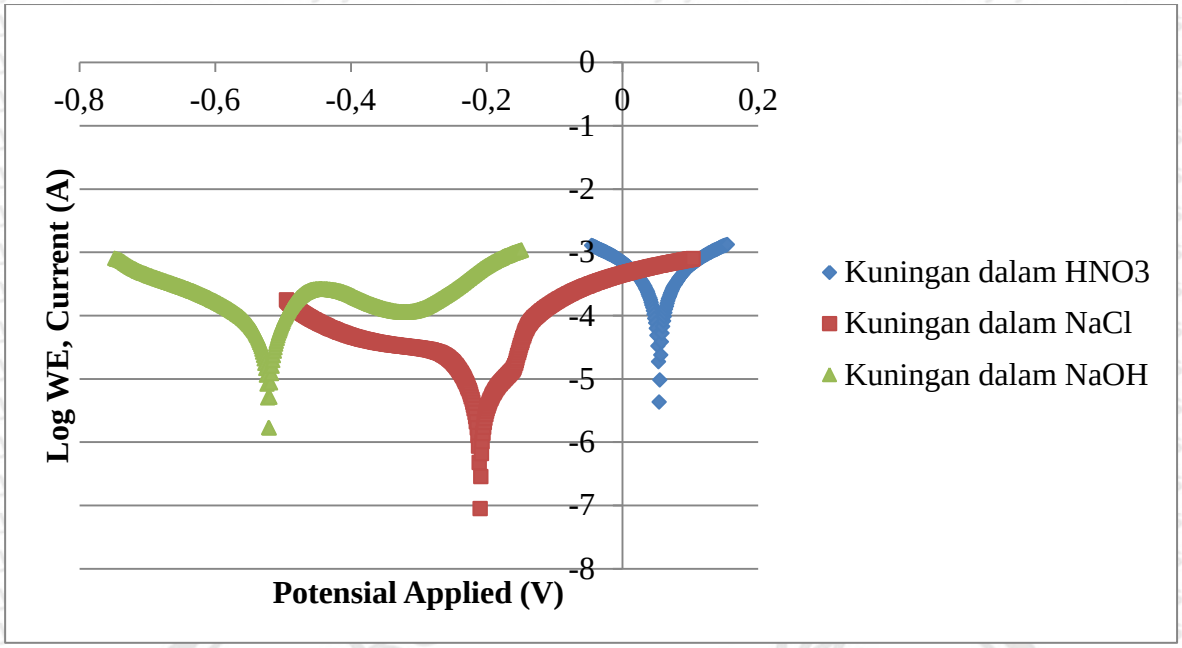
### 4.1 Hasil Laju Korosi dengan Metode Polarisasi

Hasil pengujian elektrokimia pengaruh perbedaan paduan tembaga kuningan dan perunggu pada satu *batch* $HNO_3$ 1 M, NaCl 3,5 %wt, dan NaOH terhadap laju korosi dengan acuan Standart ASTM (*American Standart and Testing*) G31-72 pada suhu kamar (298 K). Metode yang digunakan adalah metode polarisasi dengan menggunakan alat Autolab Potentiostat PGSTAT128N. Spesimen yang telah disiapkan berdimensi panjang 5 cm, lebar 1 cm, dan tebal 0,4 cm, kemudian dirangkai menjadi suatu sel elektrokimia dengan Ag/AgCl (KCl 3 M) sebagai elektroda pembanding dan platina sebagai elektroda bantu. Yang kemudian ketiga elektroda tersebut direndam dalam *batch* selama 1 jam. Pengukuran polarisasi pada perubahan -1 V sampai dengan +1V sepanjang potensial korosi OCP (*Open Circuit Polaritation*) dengan *scan rate* 0,001V/s. Data yang didapatkan adalah seperti tabel 4.1 berikut:

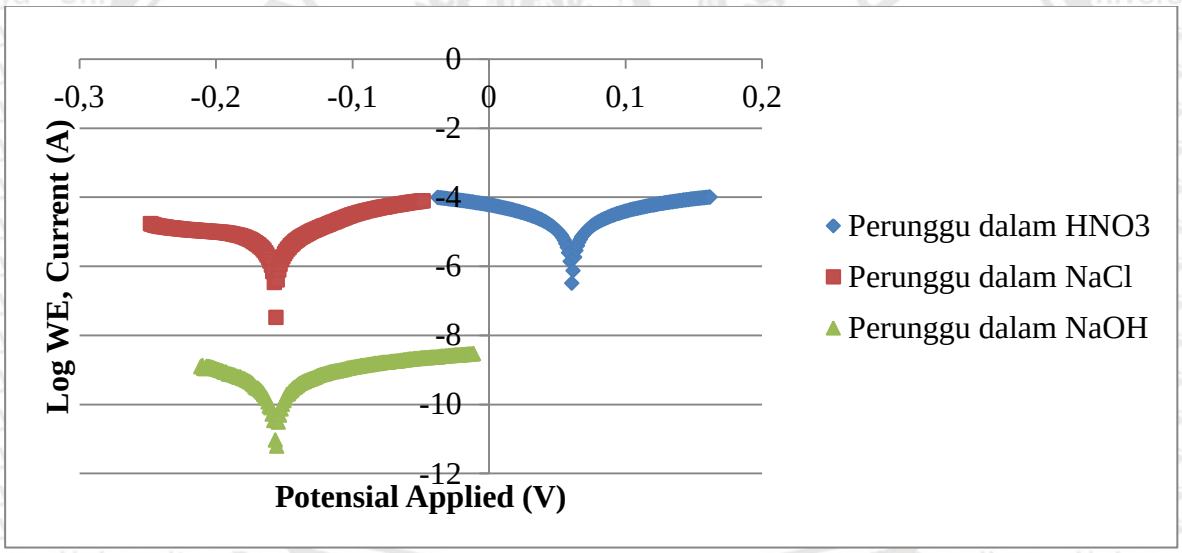
Tabel 4.1
Data Hasil Metode Polarisasi

| MEDIA | MATERIAL | ba (V/dec) | bc (V/dec) | Ecorr (V) | icorr ($A/cm^2$) | Corrosion rate (mm/year) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| HNO3 1 M | Kuningan | 0.17848 | 0.1684 | 0.054424 | 0.00053129 | 7.9668 |
| | Perunggu | 0.3158 | 0.28595 | 0.061786 | $6.41x10^{-5}$ | 0.96081 |
| NaCl 3,5% | Kuningan | 0.18118 | -0.80291 | -0.20761 | $3.58\ x10^{-5}$ | 0.53683 |
| | Perunggu | 1.475 | 0.22506 | -0.15566 | $2.89\ x10^{-5}$ | 0.43265 |
| NaOH 1 M | Kuningan | 0.78495 | 0.11317 | -0.52001 | 0.00013571 | 2.035 |
| | Perunggu | 0.069016 | 0.061598 | -0.15596 | $3.00x10^{-10}$ | $3.49x10^{-6}$ |

## 4.2 Grafik dan Pembahasan Laju Korosi Metode Polarisasi




*Gambar 4.1* Kurva Polarisasi Kuningan dengan Variasi Larutan




*Gambar 4.2* Kurva Polarisasi Perunggu dengan Variasi Larutan

Laju korosi masing-masing variasi dapat terlihat pada kurva polarisasi pada gambar 4.1 dan Gambar 4.2. Pada grafik 4.1 dan grafik 4.2 pada sumbu X, kurva pada tafel semakin kekanan semakin anodik. Sehingga laju korosi kuningan dan perunggu tertinggi terjadi pada media $HNO_3$. Reaksi anodik atau oksidasi tersebut terjadi karena terjadinya pelepasan elektron. Produksi elektron atom-atom positif melepaskan diri dari permukaan logam dan masuk menuju larutan atau elektrolit sebagai ion-ion.

Pada Tabel 4.1 terlihat bahwa *corrosion rate* tertinggi pada kuningan terjadi dalam $HNO_3$ 1 M yaitu sebesar 7,9668 mm/year dan laju korosi terendah dalam kuningan terjadi

dalam NaCl 3,5% yaitu sebesar 0.53683 mm/year. Namun pada dasarnya seiring dengan bertambahnya konsentrasi asam, jumlah kandungan hidrogen akan semakin bertambah dengan bertambahnya konsentrasi, sehingga laju korosi juga akan meningkat. Hal ini tidak terjadi pada kuningan, dimana laju korosi terendah terjadi terjadi pada NaCl 3,5%, dilihat dari kurva pada grafik 4.1 kurva NaCl 3,5% berada dibawah kurva dari NaOH 1 M, hal ini terjadi karena pada kurva NaCl 3,5% arus yang di hasilkan lebih rendah sehingga laju korosi pada NaCl 3,5% juga rendah. Karena semakin rendah arus yang dihasilkan maka laju korosinya juga rendah.

Pada Tabel 4.1 Laju korosi tertinggi pada perunggu terjadi pada $HNO_3$ 1 M yaitu sebesar 0,96081 mm/year. Dan laju korosi terendah pada perunggu dalam NaOH 1 M yaitu sebesar $3x10^{-10}$ mm/year. Hal ini dikarenakan seiring dengan bertambahnya konsentrasi asam. Jumlah kandungan hidrogen semakin bertambah dengan bertambahnya konsentrasi sehingga perunggu dapat teroksidasi dengan laju korosi yang juga meningkat. Elektron bergerak dari anoda ke katoda, sedangkan arus listrik bergerak dari katoda ke anoda. Sesuai dengan grafik 4.2 kurva dari arus yang terendah terjadi pada NaOH 1 M dan menunjukkan nilai laju korosi terendah pula. Karena besarnya arus yang berbanding lurus dengan besarnya laju korosi.

Terlihat dari Grafik 4.1 kurva polarisasi kuningan dimana terdapat lengkungan pada kurva anodik pada NaCl 3,5% dan NaOH 1M. Hal ini terjadi karena kepasifan pada kuningan dalam kondisi lingkungannya. Kepasifan merupakan fenomena yang tidak biasa diamati selama proses korosi dari beberapa logam dan paduan. Secara sederhana hal ini dapat ditentukan sebagai hilangnya reaktivitas kimia dibawah beberapa kondisi lingkungan (Gapsari, 2017).

Dari Tabel 4.1 dapat dianalisis bahwa dari setiap perbedaan larutan korosif nilai laju korosi dari kuningan lebih tinggi, dibandingkan pada perunggu. Pada $HNO_3$ 1 M nilai laju korosi kuningan yaitu 7,9668 mm/year lebih tinggi dari laju korosi pada perunggu yaitu 0,96081 mm/year. Begitu pula pada NaCl 3,5% dan NaOH 1 M laju korosi kuningan lebih tinggi dari laju korosi perunggu. Hal tersebut terlihat bahwa perilaku *dissolution anodic* dari Zn kuningan lebih aktif untuk berdifusi ke dalam larutan.

Pada setiap media yang di gunakan nilai dari kuningan menunjukkan nilai laju korosi yang lebih tinggi dari perunggu, hal ini disebabkan perbedaan potensial elektroda standart dari masing-masing paduan tembaga yang berbeda. Zn lebih mudah melepaskan elektronnya dan teroksidasi kedalam larutan. Dimana nilai potensial standart elektroda Zn yaitu sebesar -0.762 eV dan pada Sn sebesar -0,138 eV (tabel 2.1). sehingga pada saat

media yang sama digunakan nilai Zn pun akan menunjukkan hasil laju korosi yang lebih tinggi. Karena sifat dari suatu logam jika memiliki nilai potensial elektroda standart yang semakin negatif akan mudah melepaskan elektronnya dan berdifusi ke dalam larutan.

### 4.2.1 Reaksi Kimia Kuningan dan Perunggu dalam $HNO_3$ 1 M

Perilaku *dissolution anodic* dari kedua paduan tembaga dalam perbedaan media sangat kompleks. Pada Perilaku dari penguraian seng (Zn) dan tembaga (Cu). Secara umum, reaksi anodik untuk Cu dianggap sebagai berikut:

$$Cu \rightarrow Cu(I)_{ads} + e^{-} \text{ (cepat)} \quad (4.1)$$

$$Cu(I)_{ads} \rightarrow Cu(II) + e^{-} \text{ (lambat)} \quad (4.2)$$

Dimana $Cu(I)_{ads}$ merupakan spesi yang terserap ke permukaan tembaga dan tidak berdifusi ke dalam larutan. Di sisi lain, terjadi pengurangan adsorpsi dari ion tembaga Cu (II) pada permukaan karena adanya sejumlah Zn. Sehingga, terjadi *dissolution anodic* dari Zn sesuai dengan persamaan berikut:

$$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^{-} \quad (4.3)$$

Reaksi katodik tidak mengalami reaksi evolusi hidrogen, karena potensial korosi dalam konsentrasi larutan $HNO_3$ di atas potensial redoks dari evolusi hidrogen. Mekanisme reaksi katodik yang mungkin terjadi seperti persamaan berikut:

$$NO_3^{-} + 4H^{+} + 3e^{-} \rightarrow NO + 2H_2O \quad (4.4)$$

Selain itu, terjadi kehilangan oksigen dalam media asam akibat reaksi katodik. Berdasarkan Persamaan. (4.4) pada sisi katodik terdapat ion $NO_3^{-}$ .

Pada penguraian penguraian Timah (Sn) dan Tembaga (Cu). Secara umum, reaksi anodik untuk Cu dianggap sebagai berikut:

$$Cu \rightarrow Cu(I)_{ads} + e^{-} \text{ (cepat)} \quad (4.5)$$

$$Cu(I)_{ads} \rightarrow Cu(II) + e^{-} \text{ (lambat)} \quad (4.6)$$

Dimana $Cu(I)_{ads}$ merupakan spesi yang terserap ke permukaan tembaga dan tidak berdifusi ke dalam larutan. Di sisi lain, terjadi pengurangan adsorpsi dari ion tembaga Cu (II) pada permukaan karena adanya sejumlah Sn. Sehingga, terjadi *dissolution anodic* dari Sn sesuai dengan persamaan berikut:

$Sn \rightarrow Sn^{2+} + 2e-$ ..... (4.7)

Reaksi katodik tidak mengalami reaksi evolusi hidrogen, karena potensial korosi dalam konsentrasi larutan $HNO_3$ di atas potensial redoks dari evolusi hidrogen. Mekanisme reaksi katodik yang mungkin terjadi seperti persamaan berikut:

$NO_3^- + 4H^+ + 3e- \rightarrow NO + 2H_2O$ ..... (4.8)

Selain itu, terjadi kehilangan oksigen dalam media asam akibat reaksi katodik. Berdasarkan Persamaan. (4.8) pada sisi katodik terdapat ion $NO_3^-$.

### 4.2.2 Reaksi Kimia Kuningan dan Perunggu dalam NaOH 1 M

Pada media basa secara umum korosi kuningan melibatkan beberapa reaksi sebagai berikut:

1. Reaksi oksidasi logam pada anoda :

$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$ ..... (4.9)

2. Reaksi reduksi pada katoda :

- Reduksi O2 menjadi ion OH- (dalam kondisi netral atau basa)

$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$ ..... (4.10)

- Evolusi atau pembentukan gas H2

$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$ ..... (4.11)

- Reduksi ion logam

$Zn^{3+} + e- \rightarrow Zn^{2+}$ ..... (4.12)

- Pengendapan logam

$3Na+ + 3e- \rightarrow 3Na$ ..... (4.13)

Reaksi katodik dimana oksigen dari udara akan larut dalam larutan terbuka. Reaksi korosi dari Zn tersebut sebagai berikut :

$Zn^{3+} + O_{2-} \rightarrow Zn_2O_3$ ..... (4.14)

Peristiwa korosi pada struktur kuningan, harus melibatkan syarat-syarat diatas. Peristiwa korosi pada struktur kuningan memiliki reaksi anoda dan katoda :

- Reaksi anodik :

$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e$ ..... (4.15)

- Reaksi katodik :

$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$ ..... (4.16)

- Reaksi keseluruhan :

$2Zn + O_2 + 2H_2O \rightarrow Zn2^+ + 4OH^- = 2Zn(OH)_2$ ..... (4.17)

Pada kondisi basa (NaOH), ion Zn2+ dan OH- selanjutnya membentuk endapan $2Zn(OH)_2$. Di udara, $2Zn(OH)_2$tidak stabil dan membentuk $Zn_2O_3 + H_2O$. Inilah yang disebut karat.

Pada media basa secara umum korosi perunggu melibatkan beberapa reaksi sebagai berikut:

1. Reaksi oksidasi logam pada anoda :

$Sn \rightarrow Sn^{2+} + 2e^-$ ..... (4.18)

2. Reaksi reduksi pada katoda :

- Reduksi O2 menjadi ion OH- (dalam kondisi netral atau basa)

$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$ ..... (4.19)

- Evolusi atau pembentukan gas $H_2$

$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$ ..... (4.20)

- Reduksi ion logam

$Sn^{3+} + e- \rightarrow Sn^{2+}$ ..... (4.21)

- Pengendapan logam

$3Na^+ + 3e^- \rightarrow 3Na$ ..... (4.23)

Reaksi katodik dimana oksigen dari udara akan larut dalam larutan terbuka. Reaksi korosi dari Sn tersebut sebagai berikut :

$Sn^{3+} + O_{2-} \rightarrow Sn_2O_3$ ..... (4.24)

Peristiwa korosi pada struktur perunggu, harus melibatkan syarat-syarat diatas. Peristiwa korosi pada struktur kuningan memiliki reaksi anoda dan katoda :

- Reaksi anodik :

$Sn \rightarrow Sn^{2+} + 2e$ ..... (4.25)

- Reaksi katodik :

$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$ ..... (4.26)

- Reaksi keseluruhan :

$2Sn + O_2 + 2H_2O \rightarrow Sn2^+ + 4OH^- = 2Sn(OH)_2$ ..... (4.27)

Pada kondisi basa (NaOH), ion Sn2+ dan OH- selanjutnya membentuk endapan $2Sn(OH)_2$. Di udara, $2Sn(OH)_2$ tidak stabil dan membentuk $Sn_2O_3 + H_2O$. Inilah yang disebut karat.

### 4.2.3 Reaksi Kimia Kuningan dan Perunggu dalam NaCl 3,5 %wt

Sedangkan pada larutan NaCl, ketika material Kuningan dan Perunggu direndam dan mengalami kontak secara langsung maka akan memicu terjadinya reaksi elektrokimia. Keberadaan elektrolit, seperti garam dalam larutan NaCl dapat mempercepat laju korosi dengan menambah terjadinya reaksi tambahan. Ada beberapa kandungan garam-garaman yang mempengaruhi tingkat korosifitas seperti ion klorida. Hal ini dikarenakan kelebihan muatan positif pada larutan dari unsur ($Zn^+$) dan ($Sn^+$) yang harus diseimbangkan dengan migrasi ke ion klorida.

# BAB V
# KESIMPULAN DAN SARAN

## 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan hasil penelitian nilai laju korosi tertinggi terjadi pada kuningan dalam $HNO_3$ 1 M yaitu sebesar 7,9668 mm/year, dan nilai laju korosi terendah terjadi pada perunggu dalam NaOH 1 M yaitu sebesar $3x10^{-10}$ mm/year. Hal ini dikarenakan seiring dengan bertambahnya konsentrasi asam. Jumlah kandungan hidrogen semakin bertambah dengan bertambahnya konsentrasi sehingga kuningan dan perunggu dapat teroksidasi dengan laju korosi yang juga meningkat.
2. Berdasarkan teori laju korosi pada kuningan dan perunggu didapatkan nilai laju korosi kuningan lebih tinggi dari perunggu baik pada $HNO_3$ 1 M, NaCl 3,5% dan NaOH 1 M. , hal ini disebabkan perbedaan potensial elektroda standart dari masing-masing paduan tembaga yang berbeda. Zn lebih mudah melepaskan elektronnya dan teroksidasi kedalam larutan. Dimana nilai potensial standart elektroda Zn yaitu sebesar -0.762 eV dan pada Sn sebesar -0,138 eV (tabel 2.1). sehingga pada saat media yang sama digunakan nilai Zn pun akan menunjukkan hasil laju korosi yang lebih tinggi. Karena sifat dari suatu logam jika memiliki nilai potensial elektroda standart yang semakin negatif akan mudah melepaskan elektronnya dan berdifusi ke dalam larutan.

## 5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan parameter yang berbeda dengan penelitian sebelumnya.
2. Penelitian selanjutnya sebaiknya lebih memperbanyak variasi dari komposisi paduan tembaga.
3. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan semua jenis paduan dari tembaga.

# DAFTAR PUSTAKA


Andrew Drach. (2013). *Field studies of corrosion behaviour of copper alloys in natural seawater*

Arif Rachman Hakim. (2012) *Analisa Korosi Atmosfer pada Material Baja Karbon, Mechanical Engineering Departement, Faculty Engineering of Diponegoro University*.

Asdim, (2001). *Pengaruh Senyawa n-Alkilamin Terhadap Korosi Baja Dalam Larutan Asam Sulfat. Pascasarjana UNAND Padang*

Chemistry, (2000). *The Central Science*

Day Underwood, (1999). *Kimia Analisis Kuantitatif*. Jakarta: Erlangga

Eka Junaidi. (2008). *Pengaruh Ion Klorida dan Ion Sulfida pada Korosi Kuningan*

Femiana Gapsari. (2017). *Pengantar Korosi*. Malang : UBMedia

John Kenkel, (2003). *Analytical Chemistry For Technicians*. Washington: Lewis Publishers

Mars G. Fontana. (1986). *Corrosion Engineering*. Singapore: Library of Congress in Publication Dara

M.M. Sadawy. (2016). *Grain Refinement of Bronze Alloy by Equal-Channel Angular Pressing (ECAP) and its Effect on Corrosion Behaviour*

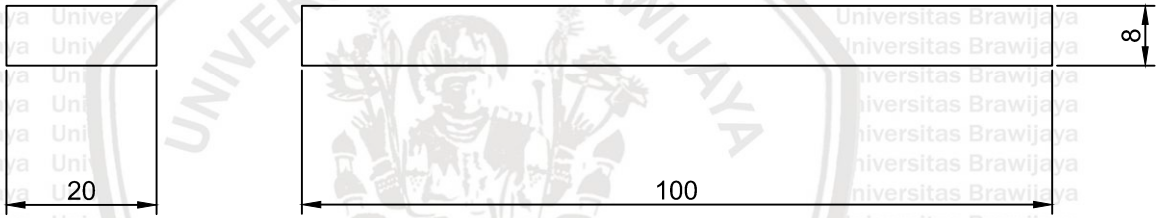
Raymond Chang. (2004). *Kimia Dasar Jilid 1*. Jakarta : Erlangga

Raymond Chang. (2004). *Kimia Dasar Jilid 2*. Jakarta : Erlangga

Roberge, Pierre R. Handbook, (2000) *Handbook of Corrosion Engineering*

W. Haryadi, (1990). *Ilmu Kimia Analitik Dasar*. Jakarta: Gramedia

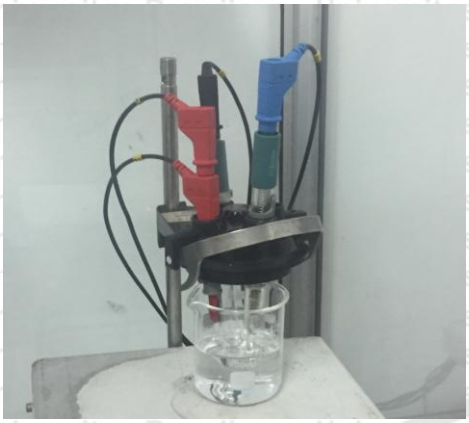
repository.ub.ac.id

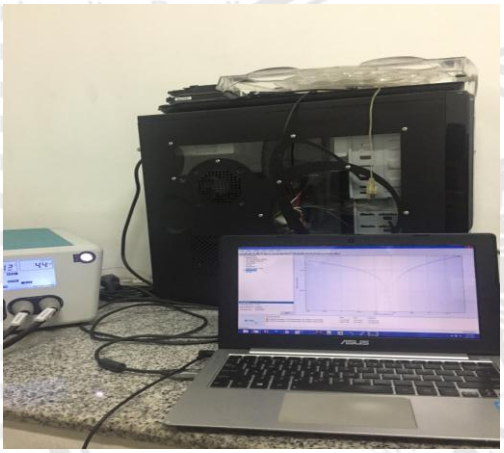



| | | | |
|---|---|---|---|
| | SKALA : 1:2 | DIGAMBAR: AMRIZAL F. | PERINGATAN |
| | SATUAN : mm | DEPT. : TEKNIK MESIN | |
| JURUSAN MESIN<br>FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA | SPESIMEN PENGUJIAN | 001 | A4 |

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 2  Proses Pengujian Polarisasi Potensiodinamik







Lampiran 3  Material Setelah Proses Pengujian

