

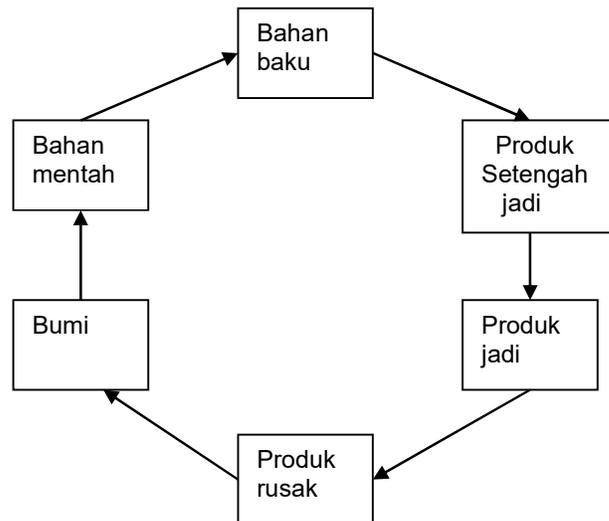


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Teori Umum

II.1.1. Korosi

Korosi adalah suatu proses kerusakan logam karena suatu reaksi kimia atau elektrokimia yang terjadi akibat interaksi logam dengan lingkungannya. Didalam praktek , proses korosi sudah terjadi sejak bahan diambil dari bumi sampai kembali lagi ke bumi sebagaimana yang disajikan pada gambar 1.1 sebagai berikut :



Gambar 2. 1 Sekema proses explorasi bahan mentah sampai dengan produk jadi

Pada kenyataannya pengendalian korosi banyak ditekankan agar produk jadi memiliki ketahanan terhadap korosi yang memadai supaya diperoleh masa pemakaian yang lama. Penanggulangan korosi ditekankan pada daerah antara produk jadi sampai produk rusak. Meskipun usaha usaha untuk mengatasi proses ini terus berlangsung, tetapi kerusakan logam karena proses korosi masih juga



Laporan Penelitian

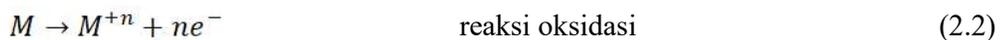
“Pengaruh Temperatur Terhadap kinerja Anoda Tumbal Al dan Zn Dalam Mengendalikan Laju Korosi Baja ASTM A36 Pada Lingkungan NaCl 3,5%”

belum dapat ditanggulangi secara menyeluruh. Di Indonesia kerusakan akibat korosi sangat menonjol karena keadaan alamnya yang khas, lingkungan udara yang lembab, kondisi laut, curah hujan yang tinggi, serta pencemaran dari industri. Korosi pada logam secara umum timbul sebagai hasil dari reaksi elektrokimia yang diakibatkan oleh adanya elektrolit elektrolit yang kontak dengan permukaan logam. Elektrolit tersebut biasanya berbentuk larutan garam, asam atau alkali. Berdasarkan hal ini, maka tipe korosi yang terjadi dinamakan tipe korosi basah, sedangkan tipe korosi yang dihasilkan dari reaksi kimia antara logam lingkungan bukan elektrolit diklasifikasikan sebagai tipe korosi kering. Masalah korosi memang sangat sukar untuk ditanggulangi secara tuntas, akan tetapi karena proses korosi mengikuti hukum (kaidah) tertentu, maka proses korosi dapat diusahakan untuk dikendalikan. Usaha pengendalian korosi ditujukan agar proses korosi berlangsung lambat sehingga kerugian korosi persatuan waktu dapat diperkecil. Hal tersebut dapat tercapai apabila dilakukan pengkajian yang seksama terhadap variabel variabel yang mempengaruhi proses korosi. Karena itu penelitian mengenai korosi mulai dari penelitian logam sampai pemakaian serta cara memonitor proses korosi perlu mendapat perhatian tersendiri. Langkah pertama untuk menuju ke arah tersebut adalah dengan memahami dasar dasar mekanisme korosi. Dipandang dari aspek teori, korosi merupakan suatu bidang ilmu antar disiplin yang kompleks yang terletak diantara pengetahuan bahan, kimia dan fisika (Utami, 2010)

Secara umum peristiwa korosi menghasilkan reaksi yang dapat ditulis sebagai berikut:



Reaksi di atas dapat diuraikan menjadi reaksi:



Keterangan :



Laporan Penelitian

“Pengaruh Temperatur Terhadap kinerja Anoda Tumbal Al dan Zn Dalam Mengendalikan Laju Korosi Baja ASTM A36 Pada Lingkungan NaCl 3,5%”

- M = logam yang terkorosi
 Oks = senyawa dalam lingkungan keberadaan logam (lingkungan korosif), dalam keadaan teroksidasi
 M^{+n} = ion logam hasil korosi logam M
 n = valensi logam
 e^{-} = elektron
 Red = senyawa dalam lingkungan keberadaan logam (elektrolit korosif), dalam keadaan tereduksi

Reaksi yang ditunjukkan di atas menunjukkan bahwa reaksi oksidasi dan reduksi harus terjadi bersama – sama agar terbentuk suatu reaksi elektrokimia.

(Dewi dkk., 2003).

Ada beberapa pengaruh lingkungan korosi secara umum, yaitu sebagai berikut :

- Lingkungan air. Air atau uap air dalam jumlah sedikit atau banyak akan mempengaruhi tingkat korosi pada logam.
- Lingkungan udara. Temperatur, kelembaban relatif, partikel - partikel abrasif, dan ion - ion agresif yang terkandung dalam udara sekitar sangat mempengaruhi laju korosi.
- Lingkungan asam, basa, dan garam. Pada lingkungan air laut, dengan konsentrasi NaCl atau jenis garam - garam lain seperti KCl bervariasi akan menyebabkan laju korosi logam cepat.

(Afriani dkk., 2014)

II.1.2. Jenis-Jenis Korosi

Dibawah ini adalah jenis-jenis dari korosi :

1. Korosi Sumur (*Pitting Corrosion*)

Korosi sumuran adalah korosi yang paling banyak terjadi pada logam. Umumnya penyebab korosi ini adalah serangan dari ion klorida (Cl^{-}). Korosi sumuran terjadi ketika logam mengalami korosi lokal, karena korosi terlokalisasi,



Laporan Penelitian

“Pengaruh Temperatur Terhadap kinerja Anoda Tumbal Al dan Zn Dalam Mengendalikan Laju Korosi Baja ASTM A36 Pada Lingkungan NaCl 3,5%”

maka sisa dari permukaann logam menjadi pasif. Korosi ini sangat sulit untuk dideteksi, namun ada cara untuk mendeteksinya. Salah satunya dengan menggunakan elektroda uji kecil (*microelectrode*).



Gambar 2. 2 Korosi Sumur

2. Korosi Seragam (*Uniform Attack*)

Adalah korosi yang terjadi pada permukaan logam akibat reaksi kimia karena pH air yang rendah dan udara yang lembab, sehingga makin lama logam makin menipis. Biasanya ini terjadi pada pelat baja atau profil, logam homogen. Korosi jenis ini bisa dicegah dengan cara diberi lapis lindung yang mengandung inhibitor.



Gambar 2. 3 Korosi Sumur

3. Korosi Galvanis (*Galvanis Corrosion*)

Korosi yang terjadi karena adanya 2 logam yang berbeda dalam satu elektrolit sehingga logam yang lebih anodik akan terkorosi. Korosi ini dapat dicegah dengan cara:

- a. Memberikan isolator yang cukup tebal.



Laporan Penelitian

“Pengaruh Temperatur Terhadap kinerja Anoda Tumbal Al dan Zn Dalam Mengendalikan Laju Korosi Baja ASTM A36 Pada Lingkungan NaCl 3,5%”

- b. Menggunakan proteksi katodik.
- c. Menambahkan inhibitor pada lingkungan.

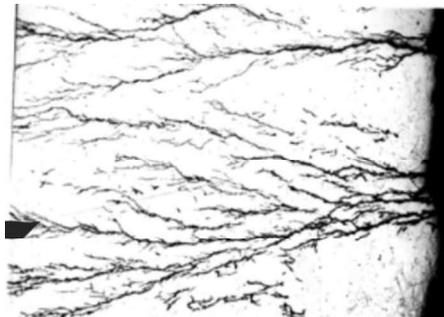


Gambar 2. 4 Korosi Galvanis

4. Korosi Tegangan (*Stress Corrosion*)

Korosi ini terjadi karena butiran logam yang berubah bentuk yang diakibatkan karena logam mengalami perlakuan khusus (seperti diregang, ditebuk dan lainnya) sehingga butiran menjadi tegang dan butiran ini sangat mudah bereaksi dengan lingkungan. Korosi ini dapat dicegah dengan cara:

- a. Menambahkan zat inhibitor.
- b. Apabila terdapat logam yang mengalami penegangan, maka logam harus diregangkan.



Gambar 2. 5 Korosi tegangan

5. Korosi Erosi (*Erosion Corrosion*)

Korosi yang terjadi karena keausan dan menimbulkan bagian – bagian yang tajam dan kasar, bagian – bagian inilah yang mudah terjadi korosi dan juga diakibatkan karena fluida yang sangat deras dan dapat mengikis film pelindung



Laporan Penelitian

“Pengaruh Temperatur Terhadap kinerja Anoda Tumbal Al dan Zn Dalam Mengendalikan Laju Korosi Baja ASTM A36 Pada Lingkungan NaCl 3,5%”

pada logam. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara:

- a. Memberikan *coating* pada logam Menambahkan zat inhibitor.



Gambar 2. 6 Korosi Erosi

6. Korosi Lelah (*Fatigue Corrosion*)

Korosi ini terjadi karena logam mendapatkan beban siklus yang terus berulang, sehingga semakin lama logam akan mengalami patah karena terjadi kelelahan logam. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara:

- a. Menambahkan zat inhibitor
- b. Memilih bahan yang tepat atau kuat terhadap korosi



Gambar 2. 7 Korosi lelah

7. Korosi Mikrobiologi

Mikroorganisme menyebabkan degradasi material dilingkungan. Mikroorganisme menginisiasi terjadinya laju korosi logam disuatu area, mikroorganisme umumnya menempel pada permukaan logam dalam bentuk lapisan tipis atau biodeposit. Lapisan film tipis atau biofilm. Menyebabkan terjadinya korosi di permukaan.



Laporan Penelitian

“Pengaruh Temperatur Terhadap kinerja Anoda Tumbal Al dan Zn Dalam Mengendalikan Laju Korosi Baja ASTM A36 Pada Lingkungan NaCl 3,5%”



Gambar 2. 8 Korosi Mikrobiologi

8. Korosi Celah (*Crevice Corrosion*)

Korosi yang terjadi pada logam yang berdempetan dengan logam lain diantaranya ada celah yang dapat menahan kotoran dan air sehingga konsentrasi oksigen pada permukaan lubang lebih besar dibanding pada bagian dalam, sehingga bagian dalam lebih anodik dan pada permukaan lubang bersifat katodik. Korosi ini dapat dicegah dengan cara:

- Memberikan isolator.
- Mengeringkan bagian yang basah.
- Membersihkan kotoran yang ada.



Gambar 2. 9 Korosi celah

(Utomo, 2009)

II.1.3. Penentuan Laju Korosi

Penentuan laju korosi yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode elektrokimia. Pada dasarnya metode elektrokimia menggunakan metode polarisasi dan menerapkan teori potensial campuran, yakni laju reaksi anodik sama dengan



Laporan Penelitian

“Pengaruh Temperatur Terhadap kinerja Anoda Tumbal Al dan Zn Dalam Mengendalikan Laju Korosi Baja ASTM A36 Pada Lingkungan NaCl 3,5%”

laju reaksi katodik. Persamaan yang digunakan metode ini didasari hukum Faraday, dimana:

$$m = \frac{ICM}{nF}$$

Maka laju korosi dapat dihitung dengan:

$$CR \text{ (mpy)} = k \times \frac{ai}{nD}$$

Keterangan:

CR = *corrosion rate* atau laju korosi (mpy)

m = massa yang bereaksi

I = arus listrik (ampere)

a = berat atom

n = jumlah electron yang terlibat korosi

k = konstanta (0,129 untuk satuan mpy)

F = bilangan Faraday (96500 coulomb/equivalent)

i = rapat arus korosi ($\mu \Delta / \text{cm}^2$)

D = densitas logam (g/cm^3)

(Priyantoro et al, 2012)

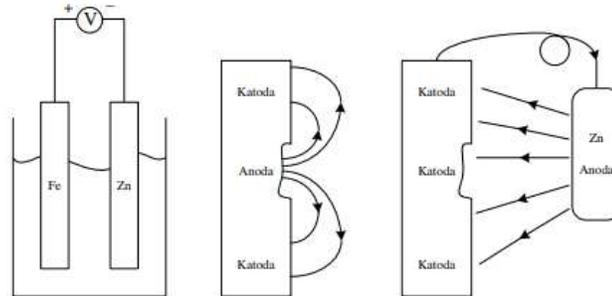
II.1.4. Proteksi Katodik

Proteksi katodik metoda anoda tumbal adalah suatu penanggulangan korosi yang memanfaatkan deret galvanik untuk memilih suatu bahan yang bila dihubungkan dengan logam yang ingin dilindungi, akan menjadi anoda. Gambar 2.1 memperlihatkan contoh proteksi katodik metoda anoda tumbal. Karena bahan yang paling sering membutuhkan perlindungan adalah besi baja, maka dapat dilihat dari deret galvanik bahwa semua logam yang potensialnya lebih aktif dibanding besi baja, menurut teori dapat digunakan (Tabel 2.11 menunjukkan deret potensial standar).



Laporan Penelitian

“Pengaruh Temperatur Terhadap kinerja Anoda Tumbal Al dan Zn Dalam Mengendalikan Laju Korosi Baja ASTM A36 Pada Lingkungan NaCl 3,5%”



Gambar 2. 10 Proteksi katodik metoda anoda tumbal

Tabel 2. 1 Potensial Elektroda Standar

Reaksi Elektroda	E° (Volt)
$Au^{+} + e^{-} \longrightarrow Au$	+1,68
$Pt^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow Pt$	+1,20
$Hg^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow Hg$	+0,85
$Pt^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow Pt$	+1,20
$Ag^{+} + e^{-} \longrightarrow Ag$	+0,80
$Cu^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow Cu$	+0,34
$2H^{+} + 2e^{-} \longrightarrow H_2$	0,00
$Pb^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow Pb$	-0,13
$Sn^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow Sn$	-0,14
$Ni^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow Ni$	-0,25
$Cd^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow Cd$	-0,40
$Fe^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow Fe$	-0,44
$Cr^{3+} + 3e^{-} \longrightarrow Cr$	-0,71
$Zn^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow Zn$	-0,76
$Al^{3+} + 3e^{-} \longrightarrow Al$	-1,67
$Mg^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow Mg$	-2,34
$Na^{+} + e^{-} \longrightarrow Na$	-2,71
$Ca^{+} + e^{-} \longrightarrow Ca$	-2,87



Laporan Penelitian

“Pengaruh Temperatur Terhadap kinerja Anoda Tumbal Al dan Zn Dalam Mengendalikan Laju Korosi Baja ASTM A36 Pada Lingkungan NaCl 3,5%”

$K^+ + e^- \longrightarrow K$	-2,92
-------------------------------	-------

(Afriani et al, 2014)

II.1.5. Anoda Tumbal (Al, Zn)

Metode anoda tumbal dilakukan dengan menghubungkan anoda eksternal dengan logam yang akan diproteksi dan melewatkan arus listrik searah (*direct current*) sehingga seluruh permukaan logam menjadi katodik dan karenanya tidak akan terkorosi. Eksternal anoda yang dipasang adalah anoda galvanik dimana arus dihasilkan dari perbedaan antara dua logam. Sistem anoda tumbal dilakukan dengan memasang logam yang lebih reaktif sebagai anoda yang secara listrik terhubung langsung dengan baja yang akan diproteksi. Perbedaan potensial alami antara anoda dan baja, yang ditunjukkan dengan posisinya pada seri elektrokimia, menyebabkan arus positif mengalir dalam elektrolit dari anoda ke baja. Sehingga, keseluruhan permukaan baja menjadi bermuatan lebih negatif dan menjadi katoda. Logam yang sering digunakan sebagai anoda korban adalah Aluminium, seng dan Magnesium (Hastuti & Ridho, 2017).

Tabel 2. 2 Jenis Anoda dengan Resistivitas Lingkungan

Anoda	Resistivitas Lingkungan (ohm-cm)
Aluminium (Al)	< 150
Seng (Zn)	150 – 500

Tabel 2. 3 Karakteristik Anoda Korban

Jenis Anoda	Massa Jenis (kg/dm ³)	Potensial (Volt)
Aluminium (Al)	1,7	-1,67
Seng (Zn)	7,5	-0,76

(Indarti et al, 2018)

II.1.6. Baja ASTM A36

Baja karbon adalah paduan dari sistem Fe dan C, biasanya tercampur juga



unsur-unsur bawaan lain seperti silikon 0,20% - 0,70%, Mn 0,50%-1,00%, P < 0,60% dan S < 0.06% Menurut Saito (2000), baja karbon menurut komposisi kimianya dibedakan menjadi sebagai berikut:

- Baja karbon rendah dengan kadar karbon 0,05-0,3% (low carbon steel). Sifatnya mudah ditempa dan mudah dimesin. Biasanya digunakan untuk bodi mobil, bus dan lain-lain.
- Baja karbon menengah dengan kadar karbon 0,3-0,5% (medium carbon steel). Kekuatannya lebih tinggi daripada baja karbon rendah. Sifatnya sulit dibengkokkan, dilas, dan dipotong. Penggunaannya untuk konstruksi bangunan, bahan pada komponen mesin, golok, pisau dan lain-lain.
- Baja karbon tinggi dengan kadar karbon 0,5-1,5% (high carbon steel). Sifatnya sulit dibengkokkan, dilas dan dipotong. Penggunaannya seperti pada baja kawat, kabel tarik dan angkat, kikir, pahat, dan gergaji. (Sumarji, 2012)

Tabel 2. 4 Komposisi Kimia Baja ASTM A36

Kode : ASTM A36	
C %	0,4 – 0,45
Si %	0,20 – 0,70
Mn %	0,50 – 1,00
P %	0,60 max
S %	0,06 max

Baja plat hitam atau Base Plate A36 sangat banyak digunakan dalam konstruksi bangunan dan bahan tersebut sangat rentan terserang oleh korosi sehingga dibutuhkan proses alternatif untuk pencegahannya (Yufita, 2018)

II.2. Landasan Teori

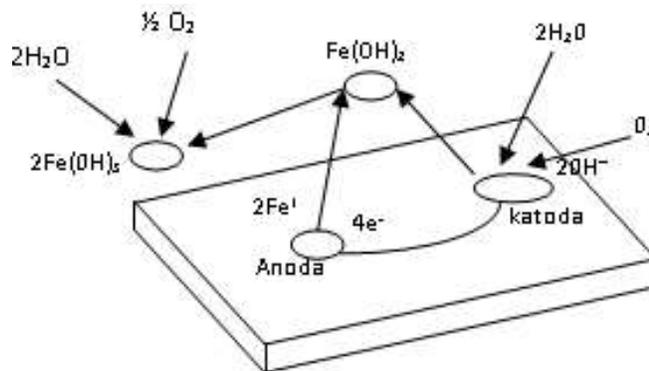
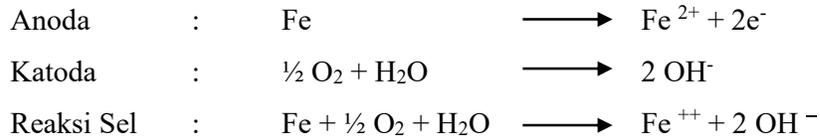
II.2.1. Mekanisme Korosi

Reaksi elektrokimia serupa terjadi pada korosi dalam lingkungan netral dan reaksinya adalah sebagai berikut :



Laporan Penelitian

“Pengaruh Temperatur Terhadap kinerja Anoda Tumbal Al dan Zn Dalam Mengendalikan Laju Korosi Baja ASTM A36 Pada Lingkungan NaCl 3,5%”



Gambar 2. 11 Mekanisme reaksi korosi pada baja dalam lingkungan air netral

Dalam kondisi netral Fe⁺⁺ akan terhidrolisa membentuk Fe(OH)₂ yang bila batas kelarutannya telah terlampaui akan mengendap. Oleh karena tidak stabil Fe(OH)₂ ini dapat teroksidasi membentuk karat Fe(OH)₃.



Dalam keadaan netral konsentrasi ion H⁺ yang ada di dalam larutan hanya dalam orde 10² mol/l sehingga kontribusi konsumsi elektron dalam reduksi ion H⁺ menjadi H₂ dapat diabaikan. Bersamaan dengan itu pada kondisi ini biasanya belum dapat berlangsung reaksi reduksi air menjadi H₂. Sebagai konsekuensinya pada kondisi netral umumnya Korosi Fe, besi atau baja terkendali oleh laju reaksi reduksi oksigen terlarut (Utami, 2010).

II.2.2. Proteksi Katodik

Proteksi katodik merupakan salah satu metoda pengendalian korosi struktur baja dalam lingkungan elektrolit dengan cara memperlakukan struktur logam sebagai katoda. Metoda ini dilakukan dengan jalan mengalirkan arus listrik searah melalui elektrolit ke logam sehingga potensial antarmuka logam-larutan elektrolit turun menuju/mencapai daerah immunnya atau sampai nilai tertentu

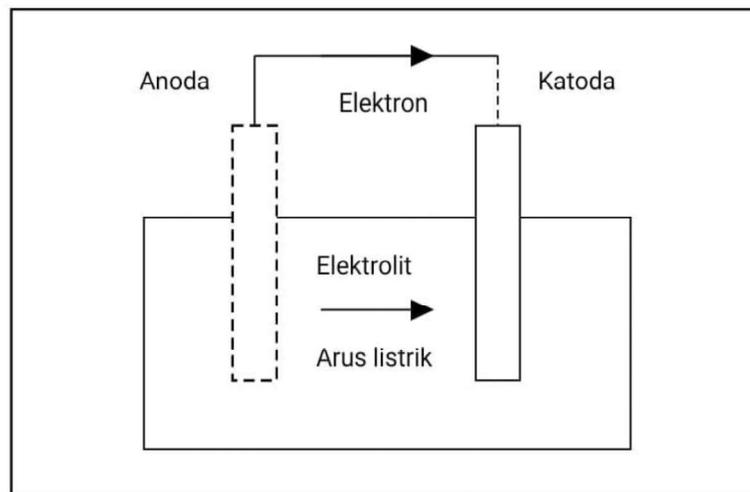


Laporan Penelitian

“Pengaruh Temperatur Terhadap kinerja Anoda Tumbal Al dan Zn Dalam Mengendalikan Laju Korosi Baja ASTM A36 Pada Lingkungan NaCl 3,5%”

sehingga laju korosi logam masih diperbolehkan/minimum (Utami, 2009).

Prinsip Proteksi katodik adalah cara perlindungan logam terhadap serangan korosi dengan jalan membanjiri logam tersebut dengan elektron, sehingga potensial logam terhadap lingkungan turun sampai potensial proteksi, dimana logam secara teknis dianggap tidak terkorosi lagi. Sistem ini merupakan rangkaian listrik tertutup seperti terlihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 12 Prinsip proteksi katodik

Ditinjau dari sumber arus listriknya, metode proteksi katodik dibagi menjadi dua, yaitu pertama metode anoda korban (*sacrificial anode*) dan kedua metode arus tandingan (*impressed current*). Dalam metode yang pertama, logam dilindungi dengan menggunakan logam/paduan lain yang lebih reaktif, yang dihubungkannya dalam elektrolit. Arus listrik searah diperoleh dari reaksi galvanis yang diciptakannya. Pada metode yang kedua, arus listrik searah diperoleh dari sumber luar, biasanya dari penyearah arus (*rectifier*), dimana kutub negatif dihubungkan ke logam yang dilindungi dan kutub positif dihubungkan ke anoda. Anoda yang dapat digunakan adalah : Ti/Pt, Nb/Pt, Ta/Pt, grafit, magnetit, si-silikon, dan baja. Masing-masing anoda mempunyai kekhususan dalam penggunaannya ditinjau dari lingkungan dan kapasitas arus (Utami, 2010).



II.3. Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi Secara Umum

Laju korosi suatu logam terhadap air laut dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut:

1. Temperatur

Dalam kebanyakan reaksi kimia, kenaikan suhu adalah disertai dengan peningkatan laju reaksi, karena peningkatan dari energi kinetik. Dimana laju reaksi menjadi dua kali lipat untuk setiap 10°C kenaikan suhu (Khaleel,2018) Suhu larutan sangat mempengaruhi laju korosi. Dalam media aqueous, korosi baja karbon yang diakibatkan oleh oksigen sangat dipengaruhi suhu. Dalam system terbuka, semakin naik suhu, kelarutan oksigen dalam media aqueous semakin menurun karena oksigen dapat dibebaskan, sebaliknya dalam sistem tertutup oksigen tidak dibebaskan, sehingga semakin naik suhu, laju korosi semakin meningkat. Sebagai contoh jika logam yang sama, terhubung secara elektronik dan elektrolitik berada dalam suatu larutan yang mempunyai temperatur berbeda ,maka logam yang berada dalam larutan dengan temperatur yang lebih tinggi akan menjadi lebih anodik .

2. Perbedaan Protensial

Jika suatu pasang logam dengan potensial yang berbeda di expose pada suatu lingkungan, maka logam yang mempunyai potensial lebih elektronegatif akan terkorosi terlebih dahulu (Utami,2010).

3. PH Larutan

PH adalah ukuran seberapa asam atau basa air. PH kurang dari 7 menunjukkan keasaman, sedangkan pH lebih besar dari 7 menunjukkan air bersifat basa. Secara umum, ketika pH lingkungan asam, kecenderungan terjadinya korosi meningkat (Royani,2020).



Laporan Penelitian

“Pengaruh Temperatur Terhadap kinerja Anoda Tumbal Al dan Zn Dalam Mengendalikan Laju Korosi Baja ASTM A36 Pada Lingkungan NaCl 3,5%”

II.4. Hipotesis

Peningkatan temperatur pada larutan NaCl 3,5%, akan diikuti peningkatan laju korosi baja ASTM A36. Dengan menggunakan anoda tumbal, diharapkan laju korosi pada Baja ASTM A36 dapat menurun secara signifikan terhadap pengaruh temperatur tersebut.