

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Korosi**

Korosi merupakan penurunan kualitas suatu logam yang disebabkan oleh terjadinya reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungannya yang mengakibatkan terjadinya penurunan mutu logam menjadi rapuh, kasar, dan mudah hancur. Proses terjadinya korosi pada logam tidak dapat dihentikan, namun hanya bisa dikendalikan atau diperlambat lajunya sehingga memperlambat proses perusakannya, salah satu diantaranya adalah dengan pelapisan pada permukaan logam, perlindungan katodik, penambahan inhibitor korosi dan lain-lain. Sejauh ini penggunaan inhibitor merupakan salah satu cara yang paling efektif untuk mencegah korosi, karena biayanya yang relatif murah dan prosesnya yang sederhana (Hermawan; 2010).

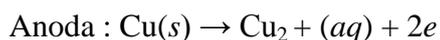
Secara umum korosi dapat digolongkan berdasarkan rupanya, keseragamannya, baik secara mikroskopis maupun makroskopis. Dua jenis mekanisme utama dari korosi adalah berdasarkan reaksi kimia secara langsung, dan reaksi elektrokimia. Korosi dapat terjadi didalam medium kering dan juga medium basah. Sebagai contoh korosi yang berlangsung didalam medium kering adalah penyerangan logam besi oleh gas oksigen ( $O_2$ ) atau oleh gas belerang dioksida ( $SO_2$ ). Didalam medium basah, korosi dapat terjadi secara seragam maupun secara terlokalisasi. Contoh korosi seragam didalam medium basah adalah apabila besi terendam didalam larutan asam klorida (HCl). Korosi didalam medium basah yang terjadi secara terlokalisasi ada yang memberikan rupa makroskopis, misalnya peristiwa korosi galvanik sistem besi-seng, korosi erosi, korosi retakan, korosi lubang, korosi pengelupasan, serta korosi pelumeran, sedangkan rupa yang mikroskopis dihasilkan misalnya oleh korosi tegangan, korosi patahan, dan korosi antar butir. Dengan demikian, apabila didalam usaha pencegahan korosi dilakukan melalui penggunaan inhibitor korosi, maka mekanisme dari jenis-jenis korosi diatas sangatlah penting artinya. Walaupun demikian sebagian korosi logam khususnya besi, terkorosi didalam melalui cara

elektrokimia yang banyak menyangkut fenomena antar muka. Hal inilah yang banyak dijadikan dasar terutama pembahasan mengenai peran inhibitor korosi (Dalimunte, EIS; 2014).

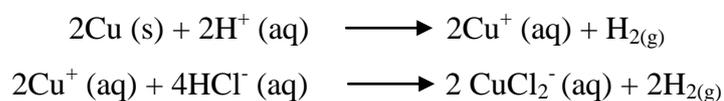
## 2.2 Mekanisme Terbentuknya Korosi

Secara umum mekanisme korosi yang terjadi di dalam suatu larutan berawal dari logam yang teroksidasi di dalam larutan dan melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Larutan akan bertindak sebagai katoda dengan reaksi yang umum terjadi adalah pelepasan  $H_2$  dan reduksi  $O_2$ , akibat  $H^+$  dan  $H_2O$  yang tereduksi. Reaksi ini terjadi dipermukaan logam yang akan menyebabkan pengelupasan akibat pelarutan logam ke dalam larutan secara berulang-ulang (Alfin; 2011).

Secara termodinamis, proses korosi merupakan kecenderungan normal suatu logam untuk kembali ke kondisi alaminya atau natural state, atau ke bentuk yang lebih stabil. Pada temperatur rendah dan basah, korosi terjadi dengan mekanisme reaksi elektrokimia yang membentuk reaksi oksidasi dan reaksi reduksi. Reaksi elektrokimia didefinisikan sebagai reaksi kimia yang melibatkan perpindahan elektron dari anoda (-) ke katoda (+) dalam larutan elektrolit.



Reaksi antara tembaga dengan asam klorida yang menyerang logam tembaga dan membebaskan gas hidrogen yang membentuk ion kompleks  $CuCl_2^-(aq)$ , reaksinya yaitu:



Asam sulfat pekat pun dapat menyerang tembaga, seperti reaksi berikut:



### 2.3 Jenis-Jenis Korosi

Berdasarkan bentuk kerusakan yang dihasilkan, penyebab korosi, lingkungan tempat terjadinya korosi, maupun jenis material yang diserang, korosi terbagi menjadi, diantaranya adalah:

#### 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. Korosi merata dapat dilakukan pencegahan dengan cara pelapisan, inhibitor dan proteksi katodik.

#### 2. Korosi Atmosfer

Korosi ini terjadi akibat proses elektrokimia antara dua bagian benda padat khususnya metal besi yang berbeda potensial dan langsung berhubungan dengan udara terbuka.

#### 3. Korosi Galvanis

Korosi galvanis adalah jenis korosi yang terjadi ketika dua macam logam yang berbeda berkontak secara langsung dalam media korosif. Logam yang memiliki potensial korosi lebih tinggi akan terkorosi lebih hebat dari pada kalau ia sendirian dan tidak dihubungkan langsung dengan logam yang memiliki potensial korosi yang lebih rendah. Logam yang memiliki potensial korosi yang lebih rendah akan kurang terkorosi dari pada kalau ia sendirian dan tidak dihubungkan langsung dengan logam yang memiliki potensial korosi yang lebih tinggi.

#### 4. Korosi Regangan

Korosi ini terjadi karena pemberian tarikan atau kompresi yang melebihi batas ketentuannya. Kegagalan ini sering disebut retak karat regangan (RKR). Sifat retak jenis ini sangat spontan (tiba-tiba terjadinya), regangan biasanya

bersifat internal atau merupakan sisa hasil pengerjaan (*residual*) seperti pengeringan, pengepresan dan lain-lain.

#### 5. Korosi Celah

Korosi celah ialah sel korosi yang diakibatkan oleh perbedaan konsentrasi zat asam. Karat ini terjadi, karena celah sempit terisi dengan elektrolit (air yang pHnya rendah) maka terjadilah suatu sel korosi dengan katodanya permukaan sebelah luar celah yang basa dengan air yang lebih banyak mengandung zat asam dari pada bagian sebelah dalam celah yang sedikit mengandung zat asam sehingga bersifat *anodic*. Korosi celah termasuk jenis korosi lokal. Jenis korosi ini terjadi pada celah-celah konstruksi, seperti kaki-kaki konstruksi, drum maupun tabung gas. Korosi jenis ini juga dapat dilihat pada celah antara *tube* dari *Heat Exchanger* dengan *tubesheet*-nya.

#### 6. Korosi Sumuran

Korosi sumuran juga termasuk korosi lokal. Jenis korosi ini mempunyai bentuk khas yaitu seperti sumur, sehingga disebut korosi sumuran. Arah perkembangan korosi tidak menyebar ke seluruh permukaan logam melainkan menusuk ke arah ketebalan logam dan mengakibatkan konstruksi mengalami kebocoran.

#### 7. Korosi Erosi

Korosi erosi adalah proses korosi yang bersamaan dengan erosi/abrasi. Korosi jenis ini biasanya menyerang peralatan yang lingkungannya adalah fluida yang bergerak, seperti aliran dalam pipa ataupun hantaman dan gerusan ombak ke kaki-kaki *jetty*. Keganasan fluida korosif yang bergerak diperhebat oleh adanya dua fase atau lebih dalam fluida tersebut, misalnya adanya fase liquid dan gas secara bersamaan, adanya fase liquid dan solid secara bersamaan ataupun adanya fase liquid, gas dan solid secara bersamaan. Kavitasi adalah contoh *erosion corrosion* pada peralatan yang berputar di lingkungan fluida yang bergerak, seperti impeller pompa dan sudu-sudu turbin. *Erosion / abrasion corrosion* juga

terjadi di saluran gas-gas hasil pembakaran.

#### 8. Korosi Arus Liar

Prinsip serangan karat arus liar ini adalah merasuknya arus searah secara liar tidak sengaja pada suatu konstruksi baja, kemudian meninggalkannya kembali menuju sumber arus.

#### 9. Korosi Pelarutan Selektif

Korosi pelarutan selektif ini meyangkut larutnya suatu komponen dari zat paduan yang biasa disebut pelarutan selektif. Zat komponen yang larut selalu bersifat *anodic* 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

#### 10. *Hydrogen Attack*

*Hydrogen attack* mengakibatkan logam menjadi rapuh akibat penetrasi hidrogen ke kedalaman logam. Peristiwa perapuhan ini biasa disebut dengan "*Hydrogen Embrittlement*". Logam juga bisa retak oleh invasi hidrogen. Belum diketahui bagaimana hidrogen bisa merusak logam secara kimiawi ataupun secara elektrokimia, tetapi efek pengrusaknya terhadap logam sebagai bahan konstruksi sudah jelas.

#### 11. Korosi Mikrobiologis

Korosi ini disebabkan oleh mikroorganisme yang melakukan metabolisme secara langsung dengan logam sehingga hasil akhir akan menimbulkan korosi, atau dapat pula hasil reaksinya membuat lingkungan yang korosif. Contohnya mikroba sulfat anaerobic atau *Desulfofibrion desulfuricans*.

#### 12. Korosi Titik Embun

Karat titik embun ini disebabkan oleh faktor kelembaban yang menyebabkan titik embun atau kondensasi, tanpa adanya unsur kelembaban

relatif, segala macam kontaminan (zat pencemar) tidak akan atau sedikit sekali menyebabkan karat. Titik embun ini sangat korosif sekali terutama di daerah dekat pantai dimana banyak partikel air asin yang berhembus dan mengenai permukaan metal atau di daerah kawasan industri yang kaya akan pencemaran udara.

### 13. Korosi Antar Batas Butir

Di daerah batas butir memiliki sifat yang lebih reaktif. Banyak-sedikitnya batas butir akan sangat mempengaruhi kegunaan logam tersebut. Jika 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.

Berdasarkan lingkungannya, korosi dapat dibedakan ke dalam dua kategori yaitu sebagai berikut :

1. Korosi Lingkungan Gas (*Dry Corrosion*)
2. Korosi Lingkungan Cairan (*Wet Corrosion*)

Korosi lingkungan gas dapat terjadi pada lingkungan atmosfer maupun lingkungan gas yang lain. Korosi lingkungan cairan dapat terjadi pada lingkungan air maupun cairan yang lain.

Korosi dapat dibedakan berdasarkan suhu korosif yang melingkungi konstruksi logam. Berdasarkan suhu korosif ini, korosi dibedakan menjadi dua kategori, yaitu :

1. Korosi Suhu Tinggi (*High Temperature Corrosion*)
2. Korosi Biasa/ Suhu Kamar (*Normal Temperature Corrosion*)

*High Temperature Corrosion* terjadi pada *burner, boiler, reformer, reaktor*, dsb. Korosi jenis ini banyak terjadi dalam suasana lingkungan gas.

## 2.4 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Proses Korosi

Beberapa faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi proses korosi antara lain, yaitu :

### 1. Suhu

Suhu merupakan faktor penting dalam proses terjadinya korosi, di mana Kenaikan suhu akan menyebabkan bertambahnya kecepatan reaksi korosi. Hal ini terjadi karena makin tinggi suhu maka energi kinetik dari partikel-partikel yang bereaksi akan meningkat sehingga melampaui besarnya harga energi aktivasi dan akibatnya laju kecepatan reaksi (korosi) juga akan makin cepat, begitu juga sebaliknya. (Fogler; 1992).

### 2. Kecepatan Alir Fluida atau Kecepatan Pengadukan

Laju korosi cenderung bertambah jika laju atau kecepatan aliran fluida bertambah besar. Hal ini karena kontak antara zat pereaksi dan logam akan semakin besar sehingga ion-ion logam akan makin banyak yang lepas sehingga logam akan mengalami kerapuhan (korosi). (Kirk Othmer; 1965).

### 3. Konsentrasi Bahan Korosif

Hal ini berhubungan dengan pH atau keasaman dan kebasaan suatu larutan. Larutan yang bersifat asam sangat korosif terhadap logam dimana logam yang berada didalam media larutan asam akan lebih cepat terkorosi karena merupakan reaksi anoda. Sedangkan larutan yang bersifat basa dapat menyebabkan korosi pada reaksi katodanya karena reaksi katoda selalu serentak dengan reaksi anoda (Djaprie; 1995). Di dalam medium basah, korosi dapat terjadi secara seragam maupun secara terlokalisasi. Contoh korosi seragam di dalam medium basah adalah apabila besi terendam di dalam larutan asam klorida (HCl).

### 4. Oksigen

Adanya oksigen yang terdapat di dalam udara dapat bersentuhan dengan permukaan logam yang lembab. Sehingga kemungkinan menjadi korosi lebih besar. Di dalam air (lingkungan terbuka), adanya oksigen menyebabkan korosi (Djaprie; 1995).

## 5. Waktu Kontak

Dalam proses terjadinya korosi, laju reaksi sangat berkaitan erat dengan waktu. Pada dasarnya semakin lama waktu logam berinteraksi dengan lingkungan korosif maka semakin tinggi tingkat korosifitasnya.

Aksi inhibitor diharapkan dapat membuat ketahanan logam terhadap korosi lebih besar. Dengan adanya penambahan inhibitor kedalam larutan, maka akan menyebabkan laju reaksi menjadi lebih rendah, sehingga waktu kerja inhibitor untuk melindungi logam menjadi lebih lama. Kemampuan inhibitor untuk melindungi logam dari korosi akan hilang atau habis pada waktu tertentu, hal itu dikarenakan semakin lama waktunya maka inhibitor akan semakin habis terserang oleh larutan. (Uhlig; 1958).

## 2.5 Dampak Korosi

Korosi merupakan proses atau reaksi elektrokimia yang bersifat alamiah dan berlangsung spontan, oleh karena itu korosi tidak dapat dicegah atau dihentikan sama sekali. Korosi hanya bisa dikendalikan atau diperlambat lajunya sehingga memperlambat proses kerusakannya. Banyak sekali dampak yang diakibatkan oleh korosi ini, berikut beberapa dampak negatif yang bisa ditimbulkan oleh proses korosi diantaranya adalah :

- a. Patahnya peralatan yang berputar karena korosi, yang merugikan dari segi materil dan mengancam keselamatan jiwa.
- b. Pecahnya peralatan bertekanan dan/atau bersuhu tinggi karena korosi, yang selain merusak alat juga membahayakan keselamatan
- c. Hancurnya peralatan karena lapuk oleh korosi sehingga tidak bisa dipakai lagi sebagai bahan konstruksi, dan harus diganti dengan yang baru.
- d. Hilangnya keindahan konstruksi karena produk korosi yang menempel padanya.
- e. Bocornya peralatan, seperti : tangki, pipa dan sebagainya, sehingga tidak bisa berfungsi optimal. Peralatan yang bocor/rusak juga mengakibatkan produk ataupun fluida kerja terkontaminasi oleh fluida atau bahan-bahan lain, maupun oleh senyawa-senyawa hasil korosi. Bocor/rusaknya peralatan juga merugikan

dari segi produksi, akibat hilangnya produk berharga. Kebocoran/kerusakan bisa mengakibatkan terhentinya operasi pabrik, bahkan membahayakan lingkungan akibat terlepasnya bahan berbahaya ke lingkungan.

## 2.6 Pengendalian Korosi

Korosi pada logam secara elektrokimia disebabkan karena komposisi kimia logam tidak homogen sehingga terjadilah penurunan mutu logam. reaksi semacam ini adalah reaksi yang berlangsung secara spontan. Oleh sebab itu, proses terkorosinya logam oleh lingkungannya adalah proses yang spontan dan tidak dapat dicegah terjadinya. Di situasi praktis tersebut, serangan korosi hanya dapat dikendalikan sehingga struktur dan komponen logam mempunyai masa pakai yang lebih panjang. Walaupun demikian pengendalian korosi harus dilakukan semaksimal, karena dari segi ekonomi dan keamanan merupakan hal yang tidak mungkin ditinggalkan atau diabaikan (Widharto; 2004).

Teknologi perlindungan logam yang telah dikenal saat ini menawarkan solusi yang lebih baik dalam usaha melawan korosi. Karena biaya yang harus dikeluarkan dan penggunaan metode yang tersedia bisa disesuaikan dengan kondisi dan kebutuhan. Dalam metode pengendalian korosi dibedakan ke dalam 5 (lima) kategori, yaitu sebagai berikut :

### a. Desain

Usaha penanggulangan korosi sebaiknya sudah dilakukan sejak tahapan desain proses. Ahli-ahli korosi sebaiknya ikut dilibatkan dalam desain proses dari sejak pemilihan proses, penentuan kondisi-kondisi prosesnya, penentuan bahan-bahan konstruksi, pemilihan *lay-out*, saat konstruksi sampai tahap *start-up*nya. Di antara cara-cara penanggulangan korosi dari segi desain yang sering digunakan adalah:

1. Isolasi alat dari lingkungan korosif
2. Mencegah hadir/terbentuknya elektrolit
3. Jaminan lancarnya aliran fluida
4. Mencegah korosi erosi/abrasi akibat kecepatan aliran
5. Mencegah terbentuknya sel galvanik

#### b. Pemilihan Material

Bahan konstruksi harus dipilih yang tahan korosi. Apalagi jika lingkungannya korosif. Ketahanan korosi masing-masing bahan tidak sama pada berbagai macam lingkungan. Mungkin sesuatu bahan sangat tahan korosi dibanding bahan-bahan lain pada lingkungan tertentu. Tetapi bahan yang sama mungkin adalah yang paling rawan korosi pada lingkungan yang berbeda dibanding dengan bahan-bahan yang lain. Di antara bahan-bahan konstruksi yang paling sering digunakan adalah besi, aluminium, timah hitam, tembaga, nikel, timah putih, dan titanium.

#### c. Perlakuan Lingkungan

Upaya perlakuan lingkungan ini sangat penting dalam penanggulangan korosi di industri. Lingkungan yang korosif diupayakan menjadi tidak atau kurang korosif.

Ada dua macam cara perlakuan lingkungan yaitu:

##### 1. Perubahan media/elektrolit.

Misalnya penurunan suhu, penurunan kecepatan alir, penghilangan oksigen atau oksidator, perubahan konsentrasi.

##### 2. Penggunaan inhibitor.

Inhibitor adalah suatu bahan kimia yang jika ditambahkan dalam jumlah yang kecil saja kepada lingkungan media yang korosif, akan menurunkan kecepatan korosi. Inhibitor bekerja menghambat laju korosi. Belum banyak diketahui bagaimana cara kerja inhibitor dalam menghambat korosi.

#### d. Pelapisan

Metode pelapisan atau *coating* adalah suatu upaya mengendalikan korosi dengan menerapkan suatu lapisan pada permukaan logam besi. Misalnya, dengan pengecatan atau penyepuhan logam. Penyepuhan besi biasanya menggunakan

logam krom atau timah. Kedua logam ini dapat membentuk lapisan oksida yang tahan terhadap lapisan film permukaan dari oksida logam hasil oksidasi yang tahan terhadap korosi lebih lanjut. Logam seng juga digunakan untuk melapisi besi (galvanisir), tetapi seng tidak membentuk lapisan oksida seperti pada krom dan timah, melainkan berkarbon demi besi. Ada dua macam cara pelapisan, yaitu :

1. Pelapisan dengan bahan logam. Pada pelapisan dengan bahan logam, dapat digunakan bahan-bahan logam yang lebih inert maupun yang kurang inert sebagai bahan pelapis. Pemakaian kedua macam bahan tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing.
2. pelapisan dengan bahan non logam yaitu dengan pelapis berbahan dasar organik seperti cat polimer dan pelapis berbahan dasar anorganik.

#### e. Proteksi Katodik dan Anodik

Proteksi katodik merupakan metode pencegahan korosi pada logam dengan cara logam yang ingin dilindungi dijadikan lebih bersifat katodik. Apabila dilakukan dengan arus listrik dari power suplai maka disebut arus tanding, dan jika dihubungkan dengan logam lain disebut anoda korban.

Proteksi katodik sangat efektif untuk melindungi korosi eksternal pada pipa saluran yang berada di bawah tanah atau dibawah air laut. Namun penggunaan metoda ini dapat menimbulkan masalah baru yang harus dipertimbangkan, seperti arus sesat (*stray-current*) yang justru dapat meningkatkan laju korosi pada logam lain di sekitar logam yang dilindungi, melepuhnya permukaan logam (*blistering*), retak pada struktur, rusaknya lapisan cat, dan apabila dilakukan pada alumunium maka dapat merusak lapisan pasif.

Proteksi anodik adalah metoda perlindungan logam terhadap korosi dengan cara merubah potensial logam menjadi lebih positif. Metoda ini juga digunakan untuk melindungi korosi internal pada tangki atau vessel, namun hanya efektif jika logam dan lingkungan dapat membentuk lapisan pasif. Biaya instalasi, maintenance, dan power yang cukup besar merupakan parameter yang harus dipertimbangkan ketika memilih metoda ini.

## 2.7 Tembaga



Gambar 2.1 Pelat Tembaga

Tembaga merupakan logam yang berwarna kuning seperti emas kuning, mudah ditempa (liat) dan bersifat mulur sehingga mudah dibentuk menjadi pipa, lembaran tipis dan kawat, dan sebagai konduktor panas dan listrik yang baik setelah perak.

Korosi merupakan peristiwa kerusakan permukaan dari logam tembaga yang diakibatkan dari pengaruh lingkungan (suhu, kelembaban, dan lainnya). Korosi dapat merusak fungsi maupun permukaan dari logam tersebut. Masalah pada logam tembaga adalah logam tembaga bisa terkorosi karena terkontaminasi oleh lingkungannya, sehingga akan berpengaruh terhadap harga jual dari tembaga tersebut dikarenakan berkurangnya kualitas dari tembaga itu sendiri. Terkontaminasinya tembaga dapat membuat tembaga itu menjadi kusam atau pudarnya warna dari tembaga tersebut. Peristiwa korosi terjadi secara alamiah yang berlangsung secara sendirinya dan tidak dapat dicegah secara tuntas akan tetapi perlu adanya suatu proses pencegahan dalam menindaklanjuti peristiwa tersebut. Penyelesaiannya dengan cara pelapisan logam pada logam tembaga, sehingga dapat meminimalisir peristiwa korosi pada logam tembaga.

Kegunaan dari tembaga, yaitu:

1. Sebagai bahan untuk kabel listrik dan kumparan dinamo.
2. Paduan logam. Paduan tembaga 70% dengan seng 30% disebut kuningan, sedangkan paduan tembaga 80% dengan timah putih 20% disebut perunggu. Perunggu yang mengandung sejumlah fosfor digunakan dalam industri arloji dan galvanometer. Kuningan memiliki warna seperti emas sehingga banyak

digunakan sebagai perhiasan atau ornamen-ornamen. Sedangkan perunggu banyak dijadikan sebagai perhiasan dan digunakan pula pada seni patung.

3. Mata uang dan perkakas-perkakas yang terbuat dari emas dan perak selalu mengandung tembaga untuk menambah kekuatan dan kekerasannya.
4. Sebagai bahan penahan untuk bangunan dan beberapa bagian dari kapal.
5. Serbuk tembaga digunakan sebagai katalisator untuk mengoksidasi metanol menjadi metanal.

## **2.8 Pengendalian Korosi dengan Inhibitor**

Inhibitor adalah senyawa kimia yang apabila ditambahkan kedalam lingkungan dalam jumlah sedikit dapat menghambat laju korosi. Penggunaan inhibitor hingga saat ini masih menjadi solusi terbaik untuk melindungi korosi internal pada logam, dan dijadikan sebagai pertahanan utama industri proses dan ekstraksi minyak. Inhibitor merupakan metoda perlindungan yang fleksibel, yaitu mampu memberikan perlindungan dari lingkungan yang kurang agresif sampai pada lingkungan yang tingkat korosifitasnya sangat tinggi, mudah diaplikasikan (tinggal tetes), dan tingkat keefektifan biayanya paling tinggi karena lapisan yang terbentuk sangat tipis sehingga dalam jumlah kecil mampu memberikan perlindungan yang luas.

Adapun mekanisme kerjanya dapat dibedakan sebagai berikut :

1. Inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam, dan membentuk suatu lapisan tipis dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor. Lapisan ini tidak dapat dilihat oleh mata biasa, namun dapat menghambat penyerangan lingkungan terhadap logamnya.
2. Melalui pengaruh lingkungan (misal pH) menyebabkan inhibitor dapat mengendap selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam serta melindunginya terhadap korosi dan endapan yang terjadi cukup banyak.
3. Inhibitor lebih dulu mengkorosi logamnya, dan menghasilkan suatu zat kimia yang kemudian melalui peristiwa adsorpsi dari produk korosi tersebut

membentuk suatu lapisan pasif pada permukaan logam.

4. Inhibitor menghilangkan kontituen yang agresif dari lingkungannya

## 2.9 Jenis-Jenis Inhibitor

Jenis-jenis inhibitor terbagi menjadi inhibitor katodik, inhibitor anodik, inhibitor campuran, dan inhibitor adsorpsi.

### 1. Inhibitor Katodik

Inhibitor katodik adalah zat yang dapat menghambat terjadinya reaksi di katoda, karena pada daerah katodik terbentuk logam hidroksida (MOH) yang sukar larut dan menempel kuat pada permukaan logam sehingga menghambat laju korosi. Beberapa zat mengutamakan untuk daerah katodik yang jadi penyebab terjadinya korosi sumur, korosi tegangan, korosi tegangan, penggetasan hydrogen, seperti senyawa Hg, paduan Pb, senyawa sianida. Inhibitor katodik ini cenderung tidak efisien walaupun tidak berbahaya pada logam, tetapi kurang memperbaiki ketahanan korosi logam.

### 2. Inhibitor Anodik

Inhibitor anodik adalah senyawa kimia yang mengendalikan korosi dengan cara menghambat transfer ion-ion logam ke dalam air, korosi ini akan menahan terjadinya reaksi korosi pada yang anodik. Karena korosinya terjadi pada anoda, maka penggunaan inhibitor anoda ini sangat efisien. Bahayanya jika inhibitor ini tidak menutupi seluruh anoda, maka akan memperluas daerah katoda. Jadi inhibitor yang kurang justru akan menyebabkan terjadinya korosi sumur. Contoh inhibitor anodik yang banyak digunakan adalah senyawa kromat.

### 3. Inhibitor Campuran

Inhibitor campuran mengendalikan korosi dengan cara menghambat proses di katodik dan anodik secara bersamaan. Pada umumnya inhibitor komersial berfungsi ganda, yaitu sebagai inhibitor katodik dan anodik. Contoh inhibitor jenis ini adalah senyawa silikat, molibdat, dan fosfat.

### 4. Inhibitor Adsorpsi

Inhibitor teradsorpsi umumnya merupakan senyawa organik yang dapat

mengisolasi permukaan logam dari lingkungan korosif dengan cara membentuk film tipis yang teradsorpsi pada permukaan logam. Dewasa ini sudah berpuh bahkan mungkin ratusan jenis inhibitor organik yang digunakan. Studi mengenai mekanisme pembentukan lapisan lindung atau penghilangan konstituen agresif telah banyak dilakukan baik dengan cara-cara yang umum maupun dengan cara-cara baru dengan peralatan modern. Pada umumnya senyawa-senyawa organik yang dapat digunakan adalah senyawa yang mampu membentuk senyawa kompleks baik kompleks yang terlarut maupun kompleks yang mengendap. Untuk itu diperlukan adanya gugus fungsi yang mengandung atom atom yang mampu membentuk ikatan kovalen terkoordinasi, misalnya atom nitrogen, belerang, pada suatu senyawa tertentu.

## **2.10 Pengendalian Korosi dengan Penambahan Inhibitor**

Korosi dapat dikurangi dengan berbagai macam cara, cara yang paling mudah dan paling murah adalah dengan menambahkan inhibitor ke dalam media. Inhibitor adalah senyawa yang bila ditambahkan dengan konsentrasi yang kecil kedalam lingkungan elektrolit, akan menurunkan laju korosi. Inhibitor dapat dianggap merupakan katalisator yang memperlambat (*retarding catalyst*). Pemakaian inhibitor dalam suatu sistem tertutup atau sistem resirkulasi, pada umumnya hanya dipakai sebanyak 0.1% berat. Inhibitor yang ditambahkan akan menyebabkan (Hanima,dkk; 2010):

- a. Meningkatnya polarisasi anoda.
- b. Meningkatnya polarisasi katoda.
- c. Meningkatnya bahan tahanan listrik dari sirkuit oleh pembentukan lapisan tebal pada permukaan logam.

## **2.11 Bahan Alam sebagai Alternatif Inhibitor Korosi (*Green Inhibitor*)**

Berdasarkan bahan dasarnya, inhibitor korosi terbagi menjadi dua, yaitu inhibitor dari senyawa organik dan dari senyawa anorganik. Inhibitor anorganik yang saat ini biasa digunakan adalah sodium nitrit, kromat, dan fosfat.

Salah satu alternatifnya adalah ekstrak bahan alam khususnya senyawa yang mengandung atom N, O, P, S, dan atom-atom yang memiliki pasangan elektron bebas. Unsur-unsur yang mengandung pasangan elektron bebas ini nantinya dapat berfungsi sebagai ligan yang akan membentuk senyawa kompleks dengan logam. Dari beberapa hasil penelitian seperti (Fraunhofer; 1996) diketahui bahwa ekstrak daun tembakau, teh dan kopi dapat efektif sebagai inhibitor pada sampel logam besi, tembaga, dan aluminium dalam medium larutan garam. Keefektifan ini diduga karena ekstrak daun tembakau, teh, dan kopi memiliki unsur nitrogen yang berfungsi sebagai pendonor elektron terhadap logam  $Fe^{2+}$  untuk membentuk senyawa kompleks.

### 2.12 Ubi Jalar Ungu dan Antosianin



Gambar 2.2 Ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas var Ayamurasaki*)

Ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas var Ayamurasaki*) merupakan tumbuhan merambat yang hidup disegala cuaca, didaerah pegunungan maupun di pantai (Abdullah; 2005). Ubi jalar ungu banyak terdapat di Indonesia, mudah didapat, harganya relatif murah, tidak memberikan efek merugikan bagi kesehatan, memiliki kulit, dan daging yang berwarna ungu sehingga kaya akan pigmen antosianin yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan varietas lain (Yoshinaga; 1995).

**Tabel 2.1** Kandungan gizi ubi jalar segar berdasarkan warna daging umbi

Gizi	Ubi putih	Ubi kuning	Ubi ungu
Pati (%)	28,79	24,47	22,64
Gula reduksi (%)	0,32	0,11	0,30
Lemak (%)	0,77	0,68	0,94
Protein (%)	0,89	0,49	0,77
Air (%)	62,24	68,78	70,46
Abu (%)	0,93	0,99	0,84
Serat (%)	2,79	2,79	3,00
Vitamin C (mg/100 g)	28,68	25,00	21,43
Vitamin A (SI) <sup>a</sup>	60,00	9.000,00	-
Antosianin (mg/100 g)	-	-	110,51

Sumber: Suprpta (2003) dalam Arixs (2006); aDirektorat Gizi Depkes RI (1981) dalam Direktorat Kacang-kacangan dan Umbi-umbian (2002)

Ekstrak tanaman atau bahan alam sebagai inhibitor korosi organik menjadi semakin penting karena inhibitor organik lebih diterima secara ekologis, tersedia melimpah di alam, dan mudah diperoleh. Adapun kandungan yang terdapat pada *green inhibitor* salah satunya antioksidan. Zat antioksidan mampu menunda, menghambat, dan mencegah proses korosi. Salah satu tumbuhan yang mengandung antioksidan yaitu ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas var Ayumurasaki*) yang mengandung antosianin. Antosianin adalah pigmen yang sifatnya polar dan akan larut dengan baik dalam pelarut-pelarut polar. Salah satu sumber antosianin yang murah dan banyak terdapat di Indonesia adalah pada ubi jalar ungu karena pada ubi jalar ungu memiliki kandungan antosianin yang lebih besar dari pada ubi jalar dengan varietas yang lain yaitu sebesar 11,051 mg/100 gr (Arixs; 2006). Antosianin adalah pigmen yang sifatnya polar dan akan larut dengan baik dalam pelarut-pelarut polar. Semakin tinggi proporsi ethanol dan semakin rendah proporsi air yang digunakan dapat meningkatkan konsentrasi antosianin yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa sifat antosianin dalam ubi jalar ungu kurang polar dibandingkan dengan air karena dapat terekstrak pada kisaran polaritas 32,77 (perbandingan ethanol : asam asetat : air = 25 : 1 : 5) sedangkan polaritas air adalah 80,40. (Pujaatmaka; 1986) yang menyatakan bahwa kelarutan suatu zat ke dalam suatu pelarut sangat ditentukan oleh kecocokan sifat antara zat

terlarut dengan zat pelarut yaitu sifat like dissolve like diantaranya disebabkan karena polaritasnya. semakin rendah nilai pH maka nilai absorbansi semakin tinggi. Ekstrak warna ubi jalar ungu lebih stabil pada pH asam dibandingkan pada pH basa (Markakis; 1982).

Secara kimia semua antosianin merupakan turunan suatu struktur aromatic tunggal, yaitu sianidin, dan semuanya terbentuk dari pigmen sianidin ini dengan penambahan atau pengurangan gugus hidroksil, metilasi dan glikosilasi. Antosianin adalah aglikon antosianin yang terbentuk bila antosianin dihidrolisis dengan asam. Antosianidin yang paling umum dikenal adalah sianidin yang berwarna merah lembayung. Warna jingga disebabkan oleh pelargonidin yang gugus hidroksilnya kurang satu dibandingkan sianidin. Sifat fisika dan kimia dari antosianin dilihat dari kelarutan antosianin larut dalam pelarut polar seperti methanol, aseton, kloroform terlebih seiring dengan air dan diasamkan dengan asam klorida atau asam format (Socaciu; 2007). Antosianin stabil pada Ph 3,5 dan suhu 50°C mempunyai berat molekul 207,08 gr/mol dan rumus molekul  $C_{15}H_{11}O$  (Fennema; 1996). Antosianin dilihat dari penampakan berwarna merah senduduk, ungu dan biru mempunyai panjang gelombang maksimum 515-545 nm (Harborne; 1996). Kestabilan antosianin dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain Ph, temperature, sinar dan oksigen, serta faktor lainnya seperti ion logam (Niendyah; 2004).

### **2.13 Laju Korosi**

Korosi merupakan mekanisme dimana logam dan oksigen mencapai kesetimbangan. Beberapa logam teroksidasi pada laju yang rendah sehingga tidak dapat dideteksi, tetapi ada juga logam yang terkorosi pada laju yang tinggi dan kecepatan korosi akan berubah sesuai dengan kondisi lingkungan, tetapi yang paling penting adalah pemasokan oksigen, pH dan hadirnya ion-ion agresif terutama oksida-oksida belerang dan klorida. Komposisi logam, kondisi permukaan dan keadaan lingkungan sekitar dapat berpengaruh terhadap laju korosi. Ketika logam berada dalam medium air, laju korosi memang tinggi tetapi

kemudian turun secara konstan setelah terbentuknya lapisan oksida pada permukaan yang akan melindungi logam dari serangan korosi lebih lanjut.

## 2.14 Perhitungan Laju Korosi Berdasarkan Kehilangan Berat dan Efisiensi Inhibitor

### 2.14.1 Perhitungan Laju Korosi Berdasarkan Kehilangan Berat

Salah satu tujuan dari teknik monitoring korosi adalah dengan mengetahui laju korosi pada material dari suatu struktur sehingga dengan mengetahui laju korosi kita dapat memprediksi kapan dan berapa lama struktur itu dapat bertahan terhadap serangan korosi. Teknik monitoring korosi dapat dibagi menjadi beberapa metode yaitu kinetika (*weight loss*) dan elektrokimia (diagram polarisasi, *linear polarization resistance*, *electrochemical impedance spectroscopy*, potensial korosi, dan *electrochemical noise*).

Pengukuran laju korosi merupakan hal yang sangat penting dalam rekayasa korosi. Permukaan material konstruksi di lingkungan korosif dilakukan berdasarkan data laju korosi yang terjadi. Bila serangan korosi terjadi secara merata, laju korosi dapat diukur dengan metode kehilangan berat (*Weight Loss*).

Berdasarkan laju korosi merata dapat dinyatakan sebagai besarnya kehilangan berat benda uji per satuan gram per meter persegi per detik, dapat dihitung dengan:

$$\text{Corrosion Rate} = \frac{k \times W}{A \times t \times \rho}$$

Sumber: *Annual Book Of ASTM Standart*

Keterangan :

$v$  = laju korosi (mpy)

$W$  = kehilangan berat (g)

$\rho$  = berat jenis ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$A$  = luas sampel ( $\text{cm}^2$ )

$t$  = waktu (jam).

$k$  = Konstanta

**Tabel 2.2 Konstanta Perhitungan Laju Korosi Berdasarkan Satuannya**

<b>Satuan Laju Korosi / Corrosion Rate</b>	<b>Konstanta</b>
Mils per year (mpy)	$3,45 \times 10^6$
Inches per year (ipy)	$3,45 \times 10^3$
Milimeters per year (mm/y)	$8,76 \times 10^4$
Micrometers per year ( $\mu\text{m}/\text{y}$ )	$8,76 \times 10^7$

Sumber : Bunga, 2008

**Tabel 2.3 Konversi Perhitungan Laju Korosi**

	<b>mA cm<sup>-2</sup></b>	<b>mm year<sup>-1</sup></b>	<b>mpy</b>	<b>g m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup></b>
<b>mA cm<sup>-2</sup></b>	1	11,6	456	249
<b>mm year<sup>-1</sup></b>	0,0863	1	39,4	21,6
<b>mpy</b>	0,00219	0,0254	1	0,547
<b>g m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup></b>	0,00401	0,0463	1,83	1

Sumber : Bunga, 2008

**Tabel 2.4 Distribusi Kualitas Ketahanan Korosi Suatu Material**

<b>Relative Corrosion resistance</b>	<b>Mpy</b>	<b>mm/yr</b>	<b><math>\mu\text{m}/\text{yr}</math></b>	<b>nm/yr</b>	<b>pm/s</b>
Outstanding	<1	<0,02	<25	<2	<1
Excellent	1-5	0,02-0,1	25-100	2-10	1-5
Good	5-20	0,1-0,5	100-500	10-50	5-20
Fair	20-50	0,5-1	500-1000	50-150	20-50
Poor	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200
Unacceptable	200+	5+	5000+	500+	200+

Sumber : Roni, 2011

### 2.14.2 Efisiensi Inhibitor

$$\text{Efisiensi inhibitor} = \frac{Xa - Xb}{Xa} \times 100$$

(Abdurahman, Fahmi; 2010)

Dimana:  $Xa$  : Laju korosi tanpa inhibitor (mm/yr) $Xb$  : Laju korosi dengan inhibitor (mm/yr)