

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Korosi**

Korosi atau pengkaratan merupakan suatu peristiwa kerusakan atau penurunan kualitas suatu bahan logam yang disebabkan oleh terjadinya reaksi terhadap lingkungan. Beberapa pakar berpendapat definisi hanya berlaku pada logam saja, tetapi para insinyur korosi juga ada yang mendefinisikan istilah korosi berlaku juga untuk material non logam, seperti keramik, plastik, karet. Sebagai contoh rusaknya cat karet karena sinar matahari atau terkena bahan kimia, mencairnya lapisan tungku pembuatan baja, serangan logam yang *solid* oleh logam yang cair (*liquid metal corrosion*). (AR Hakim, 2012).

Terkorosinya suatu logam dalam lingkungan elektrolit (air) adalah proses elektrokimia. Proses ini terjadi bila ada reaksi setengah sel yang melepaskan elektron dan reaksi setengah yang menerima elektron tersebut. Kedua reaksi ini akan terus berlangsung sampai terjadi kesetimbangan dinamis dimana jumlah elektron yang dilepas sama dengan jumlah elektron yang diterima.

Korosi dapat terjadi di dalam 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 ( $SO_2$ ). 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). Korosi di dalam 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 mikroskopis dihasilkan misalnya oleh korosi` tegangan, korosi patahan, dan korosi antar butir.

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. 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 permukaannya. 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 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. Pada kasus ini terbentuk sebuah sel galvanik, dengan logam yang berpotensi korosi lebih tinggi sebagai anoda dan logam yang berpotensi korosi lebih rendah sebagai katoda.

#### 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. Adanya korosi bisa ditandai dengan warna coklat di sekitar celah. Tipe korosi ini terjadi akibat terjebaknya elektrolit sebagai lingkungan korosif di celah-celah yang terbentuk diantara peralatan konstruksi.

#### 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. Walaupun tidak sampai habis terkorosi, konstruksi tidak dapat beroperasi optimal, bahkan mungkin tidak dapat dipergunakan lagi karena kebocoran yang timbul. Korosi sumuran sering terjadi pada *stainless-steel*, terutama pada lingkungan yang tidak bergerak (stasioner) dan non-oksidator (tidak mengandung oksigen).

### 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.

### 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 *Desulfotomaculum 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. Sebagai contoh paduan besi dan aluminium, 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 950 F sampai 1450 F, baja tersebut akan peka atau rentan

terhadap *intergranular corrosion*. Sebagai contoh untuk menghindari terjadinya *intergranular corrosion*, maka prosedur kepekaan di panaskan pada suhu 12000 F 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.

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.

## 2.2 Faktor-Faktor Laju 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).

## 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

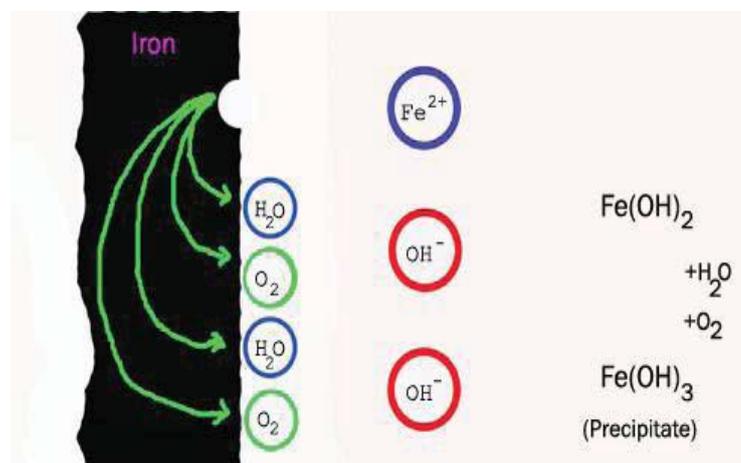
Dalam proses terjadinya korosi, laju reaksi sangat berkaitan erat dengan waktu. Pada dasarnya semakin lama waktu logam berinteraksi dengan lingkungan korosif maka semakin tinggi tingkat korosifitasnya.

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).

### 2.3 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)

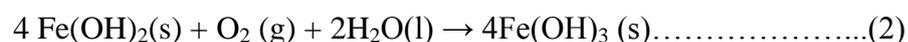


Gambar 1. Mekanisme Korosi (Haryono; 2010)

Mekanisme korosi yang terjadi pada logam besi (Fe) dituliskan sebagai berikut :



Fero hidroksida  $[Fe(OH)_2]$  yang terjadi merupakan hasil sementara yang dapat teroksidasi secara alami oleh air dan udara menjadi feri hidroksida  $[Fe(OH)_3]$ , sehingga mekanisme reaksi selanjutnya adalah :



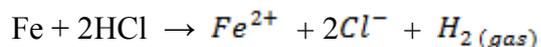
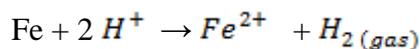
Ferri hidroksida yang terbentuk akan berubah menjadi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang berwarna merah kecoklatan yang biasa kita sebut karat. (Vogel, 1979).

Reaksinya adalah:



Besi membentuk dua deret garam yang penting yaitu :

1. Garam besi (II) oksida yang diturunkan dari besi (II) oksida ( $\text{FeO}$ )  
garam besi mengandung kation  $\text{Fe}^{2+}$  (ion besi II) dapat dengan mudah dioksidasikan menjadi  $\text{Fe}^{3+}$  (ion besi III) dalam suasana netral, basa, atau bahkan dalam kondisi atmosfer yang mengandung oksigen tinggi.
2. Garam besi (III) oksida yang diturunkan dari besi (III) oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )  
Garam ini bersifat lebih stabil dibandingkan garam besi (II) kation dari  $\text{Fe}^{3+}$  berwarna kuning muda, jika larutan mengandung klorida, maka warna kuning yang dihasilkan di permukaannya semakin kuat.  
Reaksi antara besi dengan asam klorida menghasilkan garam-garam besi (II) dan gas hydrogen, reaksinya yaitu :



## 2.4 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.

## **2.5 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-upnya*. 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 :

1. Besi
2. Aluminium
3. Timah hitam
4. Tembaga
5. Nikel
6. Timah putih
7. 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. Pengubahan media/elektrolit.

Misalnya penurunan suhu, penurunan kecepatan alir, penghilangan oksigen atau oksidator, pengubahan 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.

### 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.

Oleh karena itu, dalam rangka pengendalian korosi kita perlu mengenal lingkungan beserta sifat-sifatnya, macam-macam logam yang dipakai serta daya tahan terhadap lingkungannya dan peristiwa serta bentuk-bentuk korosi yang diperkirakan akan terjadi, tetapi faktor ekonomi dalam tiap pengendalian korosi merupakan faktor yang paling menentukan (Listiawati; 2002).

## **2.6 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

## **2.7 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 berpuluh 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.

## 2.8 Klasifikasi Ubi Jalar Ungu

Ubi jalar (*Ipomoea batatas var ayumurasaki*) merupakan tanaman yang berasal dari daerah tropis Amerika. Pada tahun 1960, ubi jalar sudah tersebar ke hampir setiap daerah Indonesia seperti Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Papua dan Sumatra. Namun sampai saat ini hanya Papua saja yang memanfaatkan ubi

jalar sebagai makanan pokok, walaupun belum menyamai padi dan jagung (Suprapti; 2003)

Ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas var Ayumurasaki*) merupakan tumbuhan merambat yang hidup disegala cuaca, didaerah pegunungan maupun di pantai (Abdullah, 2005). Komoditas ubi jalar ungu telah banyak 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). 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 (Arixis, 2006).

Menurut Suprapti (2003), tanaman ubi jalar memiliki cirri-ciri sebagai berikut :

1. Susunan tubuh utama terdiri atas batang, daun, bunga, buah, biji, dan umbi
2. Batang tanaman berbentuk bulat, tidak berkayu, dan berbuku-buku
3. Tipe pertumbuhan tegak dan merambat atau menjalar

Kedudukan taksonomi ubi jalar menurut Heyne (1987) adalah sebagai berikut:

Kingdom : *Plantae*  
 Divisi : *Spermatophyta*  
 Subdivisi : *Angiospermae*  
 Kelas : *Dicotyledonae*  
 Ordo : *Convolvulus*  
 Familia : *Convolvulacea*

Genus : *Ipomoea*

Species : *Ipomoea batatas*

Menurut Juanda dan Cahyono (2000), berdasarkan warna ubi jalar dibedakan menjadi beberapa golongan sebagai berikut :

1. Ubi jalar putih, yakni jenis ubi jalar yang dagingnya berwarna putih
2. Ubi jalar kuning, yakni jenis ubi jalar yang memiliki daging umbi berwarna kuning, kuning muda, atau kekuning-kuningan
3. Ubi jalar orange, yakni ubi jalar dengan warna daging berwarna orange
4. Ubi jalar ungu, yakni jenis ubi jalar yang memiliki daging berwarna ungu hingga ungu muda.



**Gambar 2. Tanaman Ubi Jalar Ungu**

## **2.9 Antosianin**

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. 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 (Arixis, 2006).

Antosianin adalah metaboit sekunder dari family flavanoid (Talavera, et al,2004). Antosianin adalah senyawa flavanoid dan merupakan glikosida dari antosianidin yang terdiri dari 2-phenyl benzopyrilium (flavium) tersubstitusi,memiliki sejumlah gugus hidroksil bebas dan gugus hidroksil termetilasi yang berada pada posisi atom karbon yang berbeda. Seluruh senyawa antosianin merupakan senyawa turunan dari kation flavilium, dua puluh jenis senyawa telah ditemukan. Tetapi hanya enam yang memegang peranan penting dalam bahan pangan yaitu pelargonidin,sianidin,delfinidin,peonidin,petunidin dan malvidin (Nugraha,2007).

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 gram/mol dan rumus molekul C<sub>15</sub>H<sub>11</sub>O (Fennema,1996). Antosianin dilihat dari penampakan berwarna merah senduduk,ungu dan biru mempunyai panjang gelombang maksimum 515-545 nm (Harborne,1996).

## 2.10 Warna dan Stabilitas Antosianin

Warna dan stabilitas pigmen antosianin tergantung pada struktur molekul secara keseluruhan. Substitusi pada struktur antosianin A dan B akan berpengaruh pada warna antosianin. Pada kondisi asam warna antosianin ditentukan oleh banyaknya substitusi pada cincin B. Semakin banyak substitusi OH akan menyebabkan warna semakin biru, sedangkan metoksilasi menyebabkan warna semakin merah (Arisandi, 2001). Kestabilan antosianin dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain pH, temperature, sinar dan oksigen, serta faktor lainnya seperti ion logam (Niendyah, 2004).

### 1. Transformasi struktur dan Ph

Pada umumnya, penambahan hidroksilasi menurunkan stabilitas, sedangkan penambahan metilasi meningkatkan stabilitas. Warna dalam makanan mengandung antosianin yang kaya akan pelargonidin, sianidin, atau aglikon delphinidin kurang stabil dari makanan yang kaya akan petunidin atau aglikon malvidin (Fennema, 1996). Faktor pH ternyata tidak hanya mempengaruhi warna antosianin ternyata juga mempengaruhi stabilitasnya. Antosianin lebih stabil dalam larutan asam disbanding dalam larutan alkali (Markakis, 1992).

### 2. Suhu

Pemanasan bersifat "irreversible" dalam mempengaruhi stabilitas pigmen dimana kation yang tidak berwarna tidak dapat kembali menjadi kation flavilium yang berwarna merah (James, 1995). Degradasi antosianin dipengaruhi oleh temperature. Antosianin terhidroksilasi adalah kurang stabil pada keadaan panas daripada antosianin termetilasi terglukosilasi atau termetilasi (Arthey dan Ashurst, 2001).

### 3. Cahaya

Antosianin tidak stabil dalam larutan netral atau basa dan bahkan dalam larutan asam warnanya dapat memudar perlahan-lahan akibat terkena

cahaya, sehingga larutan sebaiknya disimpan ditempat gelap dan suhu dingin (Harborne,1996). Secara umum diketahui bahwa cahaya mempercepat degradasi antosianin. Antosianin juga tidak stabil ketika terkena sinar tampak dan ultraviolet dan inti lain dari radiasi ion. Dekomposisi sebagian besar tampak menjadi fotooksidasi karena asam p-hidroksibenzoat diidentifikasi sebagai hasil degradasi minor (Arthey dan Ashurst,2001). Kemampuan cahaya membuat antosianin tereksitasi lewat transfer electron yang dapat mempengaruhi pigmen ke dekomposisi fotokimia.

### **2.11 Bahan Alam sebagai Alternatif Inhibitor Korosi**

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, fosfat, dan garam seng. Penggunaan sodium nitrit yang harus dengan konsentrasi besar (300-500 mg/l) menjadikannya inhibitor yang tidak ekonomis, berdasarkan hasil penelitian kromat dan seng ditemukan bersifat toksik, dan fosfat merupakan senyawa yang dianggap sebagai polusi lingkungan, karena menyebabkan peningkatan kadar fosforous dalam air. Sehingga inhibitor-inhibitor tersebut perlu digantikan dengan senyawa lain yang bersifat non toksik dan mampu terdegradasi secara biologis, namun tetap bernilai ekonomis dan mampu mengurangi laju korosi secara signifikan. 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 alumunium dalam medium larutan garam. Keefektifan ini diduga karena ekstrak daun tembakau, teh, dan

kopi memiliki unsur nitrogen yang berfungsi sebagai pendonor elektron terhadap logam  $\text{Fe}^{2+}$  untuk membentuk senyawa kompleks.

Mekanisme proteksi ekstrak bahan alam terhadap besi/baja dari serangan korosi diperkirakan hampir sama dengan mekanisme proteksi oleh inhibitor organik. Reaksi yang terjadi antara logam  $\text{Fe}^{2+}$  dengan medium korosif seperti  $\text{CO}_2$  diperkirakan menghasilkan  $\text{FeCO}_3$ , oksidasi lanjutan menghasilkan  $\text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3$  dan reaksi antara  $\text{Fe}^{2+}$  dengan inhibitor ekstrak bahan alam menghasilkan senyawa kompleks. Inhibitor ekstrak bahan alam yang mengandung nitrogen mendonorkan sepasang elektronnya pada permukaan logam *mild steel* ketika ion  $\text{Fe}^{2+}$  terdifusi ke dalam larutan elektrolit, reaksinya adalah  $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2e^-$  (melepaskan elektron) dan  $\text{Fe}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Fe}$  (menerima elektron).

Produk yang terbentuk di atas mempunyai kestabilan yang tinggi dibanding dengan Fe saja, sehingga sampel besi/baja yang diberikan inhibitor ekstrak bahan alam akan lebih tahan (ter-proteksi) terhadap korosi. Contoh lainnya, dapat juga dilihat dari struktur senyawa nikotin dan kafein yang terdapat dalam ekstrak daun tembakau, teh, dan kopi, dimana kafein dan nikotin yang mengandung gugus atom nitrogen akan menyumbangkan pasangan electron bebasnya untuk mendonorkan elektron pada logam  $\text{Fe}^{2+}$  sehingga terbentuk senyawa kompleks dengan mekanisme yang sama seperti diatas.

## 2.12 Perhitungan Laju Korosi

Pengukuran laju korosi merupakan suatu hal yang penting dalam rekayasa korosi. Permukaan material konstruksi di lingkungan korosif dilakukan berdasarkan data laju korosi. Korosi sangat dipengaruhi oleh lingkungan misalnya temperatur, pH, oksigen, kecepatan fluida, dan zat-zat oksidator. Laju korosi juga bergantung pada konsentrasi reaktan, jumlah mula-mula partikel (massa) logam, dan faktor mekanik seperti tegangan. Pengukuran laju korosi merupakan hal yang sangat penting di dalam proses rekayasa korosi.

Permukaan material konstruksi di lingkungan korosif berdasarkan data laju korosi yang terjadi. Bila serangan korosi terjadi terhadap material logam secara

merata , maka laju korosi dapat dihitung dengan metode kehilangan berat atau *weight gain loss* (WGL), pengujian ini sesuai dengan standar ASTM G 31-72.

Laju korosi dinyatakan dalam mpy (*milli inch per year*). Dengan menghitung massa logam yang telah dibersihkan dari oksida dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa awal lalu dilakukan pada suatu lingkungan yang korosif seperti pada air laut selama waktu tertentu. Setelah itu dilakukan penghitungan massa kembali dari suatu logam setelah dibersihkan logam tersebut dari hasil korosi yang terbentuk dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa akhir. Dengan mengambil beberapa data seperti luas permukaan yang terendam, waktu perendaman dan massa jenis logam yang di uji maka dihasilkan suatu laju korosi. Persamaan laju korosi dapat ditunjukkan pada persamaan berikut :

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

Sumber: Chodijah, Siti; 2008

Keterangan :

$v$  = laju korosi (mpy)

$w$  = kehilangan berat (g)

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

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

$t$  = waktu (jam).

$k$  = Konstanta

**Tabel 1. 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

### 2.13 Perhitungan Efisiensi Inhibitor

Dalam penggunaan inhibitor dapat ditentukan efisiensi dari penggunaan inhibitor tersebut. Semakin besar efisiensi inhibitor tersebut maka semakin baik inhibitor tersebut untuk diaplikasikan di lapangan. Penghitungan efisiensi didapatkan melalui persentase penurunan laju korosi dengan adanya penambahan dibandingkan dengan laju korosi yang tanpa ditambahkan inhibitor. Peghitungan ini dapat dijabarkan sebagai berikut :

$$\text{Efisiensi inhibitor} = \frac{X_a - X_b}{X_a} \times 100$$

Sumber: Abdurahman, Fahmi; 2010

Diman :  $X_a$  = Laju korosi tanpa inhibitor (mpy)

$X_b$  = Laju korosi dengan inhibitor (mpy)