

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Korosi

Korosi merupakan degradasi material (biasanya logam) akibat reaksi elektrokimia material tersebut dengan lingkungannya (Bardal, 2003). Banyak ahli juga menyebutkan korosi merupakan penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (Trethewey dan J. Chamberlain, 1991). Lingkungan tersebut dapat berupa air, udara, gas, larutan asam, dan lain-lain (Riastuti dan Rustandi, 2008).

Korosi merupakan sesuatu yang sangat berbahaya, baik secara langsung maupun tidak langsung. Di bidang industri minyak dan gas, proses korosi adalah suatu masalah yang penting dan perlu diperhatikan karena dampak akibat dari korosi cukup besar. Contoh di bidang industri minyak dan gas dari pengeboran menuju platform proses, maka akan dapat berakibat timbul kerusakan (*damage*) dan kebocoran pada pipa-pipa tersebut. Dampak bahaya korosi secara langsung ialah dibutuhkan biaya untuk mengganti material-material logam atau alat-alat yang rusak akibat korosi, bila pengerjaan untuk penggantian material terkorosi, biaya untuk pengendalian korosi dan biaya tambahan untuk membuat konstruksi dengan logam yang lebih tebal (*over design*). Dampak secara tidak langsung, korosi dapat mengakibatkan kerugian seperti penyediaan gas terhenti, image perusahaan menurun, nilai saham menjadi turun, dan menghasilkan *safety* yang rendah (Jaya, 2010).

Korosi secara awam lebih dikenal dengan istilah pengkaratan yang merupakan fenomena kimia bahan-bahan logam di berbagai macam kondisi lingkungan. Penyelidikan tentang sistem elektrokimia telah banyak membantu menjelaskan mengenai korosi ini, yaitu reaksi kimia antara logam dengan zat-zat yang ada disekitarnya atau dengan partikel-partikel lain yang ada di dalam logam itu sendiri. Jadi dilihat dari sudut pandang kimia, korosi pada dasarnya merupakan reaksi logam menjadi ion pada permukaan logam yang kontak langsung dengan lingkungan yang berair dan beroksigen (Chodijah, 2008). Korosi dapat terjadi di

dalam medium kering (*dry corrosion*) dengan media elektrolitnya tanah dan juga medium basah (*wet corrosion*) dengan media elektrolitnya air. Sebagai contoh korosi yang berlangsung di dalam 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. Dengan demikian, apabila di dalam usaha pencegahan korosi dilakukan melalui penggunaan inhibitor korosi (Abduh, 2011).

2.2 Jenis - Jenis Korosi

Menurut Halwan Jaya dkk (2010) korosi memiliki berbagai macam bentuk. Setiap bentuk korosi memiliki karakteristik dan mekanisme yang berbeda-beda. Jenis-jenis korosi adalah sebagai berikut:

2.2.1 Korosi Merata (*Uniform Corrosion*)

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. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1 Korosi Merata pada Logam

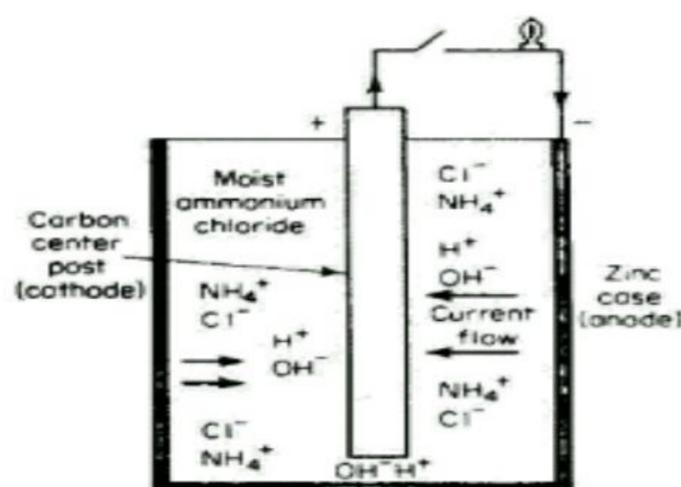
Korosi merata merupakan keadaan kerusakan yang sangat besar terhadap material. Namun demikian korosi ini kurang diperhatikan karena umur dari peralatan dapat diperkirakan secara akurat dengan pengujian lain yang lebih sederhana. Korosi merata dapat dilakukan pencegahan dengan cara pelapisan,

inhibitor dan proteksi katodik.

2.2.2 Korosi Galvanik (*Galvanic Corrosion*)

Perbedaan potensial biasanya terjadi diantara dua logam yang berbeda, ketika keduanya di celupkan ke dalam larutan korosif. Ketika logam tersebut berkontak, dengan adanya perbedaan potensial akan menghasilkan aliran elektron. Elektron mengalir dari logam yang kurang mulia (anodik) menuju ke metal yang lebih mulia (katodik). Akibatnya metal yang kurang mulia berubah menjadi ion-ion positif karena kehilangan elektron. Ion-ion positif metal bereaksi dengan ion-ion negatif yang berada di dalam elektrolit menjadi garam metal. Karena peristiwa tersebut permukaan anoda kehilangan metal.

Korosi akan menyerang logam yang ketahanan-korosinya lebih rendah dan serangan pada logam yang lebih tahan-korosi akan lebih sedikit. Logam yang terserang korosi akan menjadi anoda dan logam yang lebih tahan terhadap serangan korosi akan menjadi katoda. Biasanya logam yang katodik akan terserang sedikit bahkan tidak terjadi korosi ketika kedua logam tersebut disambungkan. Jenis korosi ini disebut korosi galvanik. Contoh dari korosi galvanik dapat dilihat pada kasus batu baterai pada gambar 2, elektroda karbon sebagai logam mulia atau yang tahan terhadap korosi katoda dan seng sebagai anoda yang terserang karat.



Gambar 2 Korosi Galvanik pada Batu Batrai

Bila besi kontak langsung dengan tembaga dimana tembaga lebih mulia, maka besi akan bersifat anodik dan akan mengorbankan diri sehingga akan terjadi

korosi pada besi, sedangkan tembaganya tetap utuh.

2.2.3 Korosi Celah (*Crevice Corrosion*)

Merupakan bentuk korosi dimana korosi terjadi ketika terdapat celah akibat penggabungan atau penyatuan dua logam yang sama memiliki kadar oksigen berbeda dengan area luarnya. Jenis korosi ini biasanya disebabkan oleh lubang yang kecil, dan celah-celah di bawah kepala baut dan paku keling. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3 Korosi Celah pada Baut

2.2.4 Korosi Sumuran (*Pitting Corrosion*)

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

Korosi sumuran adalah salah satu bentuk korosi yang paling merusak dan berbahaya. Hal itu menyebabkan peralatan menjadi gagal karena dengan penurunan massa yang sedikit saja akibat adanya lubang, maka kegagalan dapat terjadi dengan mudah. Sering kali sulit untuk mendeteksi *pit* karena ukurannya yang kecil dan arena lubang-lubang tersebut tertutup oleh produk korosi. Seperti yang terlihat pada gambar 4.

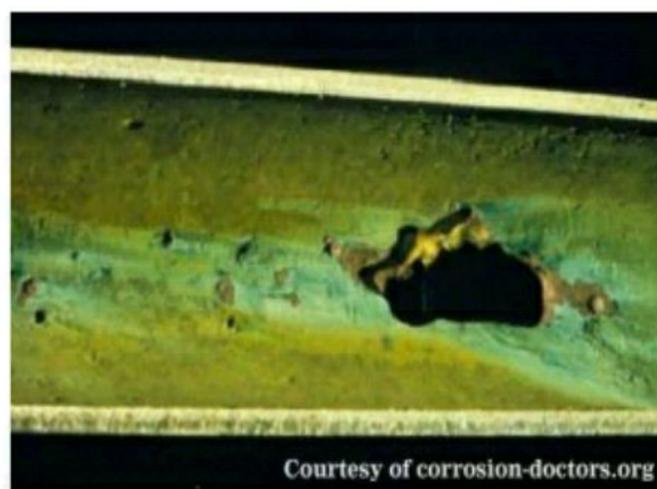


Gambar 4 Korosi Sumuran pada Bak Mandi

2.2.5 Korosi Erosi (*Erosion Corrosion*)

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

Bentuk fisik dari korosi erosi ditandai dalam penampilan berupa alur, parit, gelombang, lubang bulat, lembah-lembah, dan biasanya menunjukkan pola arah. Gambar 5 menunjukkan penampilan alur dari kegagalan korosi erosi.



Gambar 5 Korosi Erosi pada Pipa Air Laut

2.2.6 Korosi Tegangan (*Stress Corrosion*)

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

Jenis serangan karat ini terjadi sangat cepat, dalam ukuran menit, yakni jika semua persyaratan untuk terjadinya karat regangan (tegangan) ini telah terpenuhi pada saat tertentu yaitu adanya regangan internal dan terciptanya kondisi korosif yang berhubungan dengan konsentrasi zat karat (*corrodent*) dan suhu lingkungan. Contoh korosi tegangan pada pipa dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6 Korosi retak pada pipa

2.3 Faktor yang Mempengaruhi Korosi

Faktor yang berpengaruh terhadap korosi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu yang berasal dari bahan itu sendiri dan dari lingkungan. Faktor dari bahan meliputi kemurnian bahan, struktur bahan, bentuk kristal, unsur-unsur yang ada dalam bahan, teknik pencampuran bahan, dan sebagainya. Faktor dari lingkungan meliputi tingkat pencemaran udara, suhu, kelembaban, keberadaan zat-zat kimia yang bersifat korosif, mikroba, dan sebagainya.

Menurut Halimatuddahlia (2003) penguapan dan pelepasan bahan-bahan korosif ke udara dapat mempercepat proses korosi, yaitu:

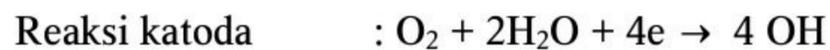
2.3.1 Faktor gas terlarut

Laju korosi sangat dipengaruhi oleh gas yang dapat larut dalam air yang menyebabkan terjadinya korosi. Gas terlarut yang dapat menyebabkan terjadinya korosi adalah sebagai berikut:

a. Oksigen (O₂)

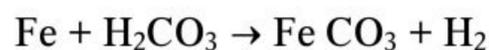
Adanya oksigen yang terlarut akan menyebabkan korosi pada metal seperti laju korosi pada *mild steel alloys* akan bertambah dengan meningkatnya kandungan oksigen. Kelarutan oksigen dalam air merupakan fungsi dari tekanan, temperatur, dan kandungan klorida.

Untuk tekanan 1 atm dan temperatur kamar, kelarutan oksigen adalah 10 ppm dan kelarutannya akan berkurang dengan bertambahnya temperatur dan konsentrasi garam. Sedangkan kandungan oksigen dalam kandungan minyak-air yang dapat menghambat timbulnya korosi adalah 0,05 ppm atau kurang. Reaksi korosi secara umum pada besi karena adanya kelarutan oksigen berikut:



b. Karbondioksida (CO₂)

Jika karbondioksida dilarutkan dalam air maka akan terbentuk asam karbonat (H₂CO₃) yang dapat menurunkan pH air dan meningkatkan korosifitas, biasanya bentuk korosinya berupa *pitting* yang secara umum reaksinya adalah:



2.3.2 Faktor Temperatur

Kenaikan temperatur pada umumnya dapat menambah laju korosi walaupun kenyatannya kelarutan oksigen berkurang dengan meningkatnya temperatur. Apabila metal pada temperatur yang tidak seragam, maka akan besar kemungkinan terbentuk korosi.

2.3.3 Faktor pH

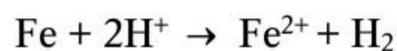
Besi dan baja akan terkorosi dalam suasana asam, tetapi sedikit terkorosi dalam suasana basa. Sifat ini dapat dijelaskan dengan rangkaian GGL (gaya gerak listrik) yang tersusun dari elemen-elemen dimana akan terjadi pengurangan potensial pada elektroda negatif jika elemen tersebut tercelup larutan asam. Potensi saat logam mulai terkorosi dapat dihitung dengan persamaan Nernst:

$$E = E - 0,059 \text{ pH}$$

Adapun korosi dalam lingkungan asam, basa, dan garam adalah sebagai berikut:

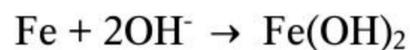
a. Asam

Korosi logam dalam asam biasanya menghasilkan gas hydrogen.



b. Basa

Basa adalah senyawa yang dapat menghasilkan ion OH^- ion. OH^- tidak beraksi langsung dengan logam. Reaksi akan terjadi setelah logam mengalami oksidasi.



2.3.4 Faktor Mikroba

Korosi yang dipengaruhi oleh mikroba merupakan suatu akibat dari aktifitas mikroba. Mikroba yang mempengaruhi korosi antara lain bakteri, jamur, alga, dan protoza. Fenomena korosi yang terjadi dapat disebabkan adanya keberadaan dari bakteri tertentu.

Menurut Habibiwildan (2010) Jenis-jenis bakteri tersebut adalah:

a. Bakteri Reduksi Sulfat (SRB)

Bakteri ini merupakan bakteri jenis anaerob yang membutuhkan lingkungan bebas oksigen atau lingkungan reduksi, bakteri ini bersirkulasi di dalam air aerasi termasuk larutan klorin dan pengoksidasi lainnya, hingga mencapai kondisi ideal untuk mendukung metabolisme. Bakteri ini tumbuh pada oksigen rendah. Bakteri ini tumbuh pada daerah-daerah kanal, pelabuhan, dan daerah air tenang yang tergantung pada lingkungannya. Bakteri ini mereduksi sulfat menjadi sulfit,

biasanya terlihat dari meningkatnya kadar H₂S atau besi sulfida. Bakteri jenis ini berisi enzim hidrogenase yang dapat mengkonsumsi hidrogen. Contohnya: *Thiobacillus thi-oxidans*.

b. Bakteri Oksidasi Sulfur-Sulfida

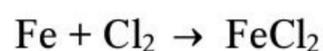
Bakteri jenis ini merupakan bakteri aerob yang mendapatkan energi dari oksida sulfid atau sulfur. Beberapa tipe bakteri aerob dapat mengoksidasi sulfur menjadi asam sulfurik dan nilai pH menjadi 1. Contohnya: *Genus Desulfovibrio* atau *Desulfotomaculum*.

2.3.5 Faktor Padatan Terlarut

Selain gas terlarut, faktor lain yang dapat menyebabkan terjadinya reaksi korosi adalah faktor padatan terlarut. Padatan terlarut tersebut adalah:

a. Klorida (Cl)

Klorida menyerang lapisan *mild steel* dan lapisan *stainless steel*. Padatan ini menyebabkan terjadinya *pitting*, *crevice corrosion*, dan juga menyebabkan pecahnya *alloys*. Klorida biasanya ditemukan pada campuran minyak-air dalam konsentrasi tinggi yang akan menyebabkan proses korosi. Proses korosi juga dapat disebabkan oleh kenaikan konduktivitas larutan garam, dimana larutan garam yang lebih konduktif dapat menyebabkan laju korosinya menjadi lebih tinggi. Kandungan Klor dalam garam akan menyebabkan terjadinya korosi pada logam. Reaksi yang terjadi pada besi:



Sedangkan untuk tembaga reaksi yang terjadi:



b. Karbonat (CO₃)

Kalsium karbonat sering digunakan sebagai pengontrol korosi dimana film karbonat diendapkan sebagai lapisan pelindung permukaan metal, tetapi dalam produksi minyak hal ini cenderung menimbulkan masalah *scale*.

c. Sulfat (SO₄)

Ion sulfat ini biasanya terdapat dalam minyak. Dalam air, ion sulfar juga ditemukan dalam konsentrasi yang cukup tinggi dan bersifat kontaminan, dan oleh bakteri SRB sulfat diubah menjadi sulfida yang korosif.

2.4 Mekanisme Korosi

Mekanisme korosi tidak terlepas dari reaksi elektrokimia. Reaksi elektrokimia melibatkan perpindahan elektron-elektron. Perpindahan elektron merupakan hasil reaksi redoks (reduksi-oksidasi). Mekanisme korosi melalui reaksi elektrokimia melibatkan reaksi anodik. Reaksi anodik (oksidasi) diindikasikan melalui peningkatan valensi atau produk elektron-elektron. Reaksi anodik yang terjadi pada proses korosi logam yaitu:

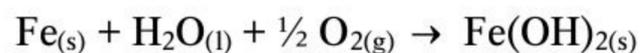


Pada korosi dari logam M adalah proses oksidasi logam menjadi satu ion (n^+) dalam pelepasan n elektron. Harga dari n bergantung dari sifat logam sebagai contoh besi:

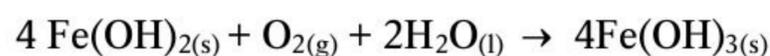


Reaksi katodik juga berlangsung di proses korosi. Reaksi katodik diindikasikan melalui penurunan nilai valensi atau konsumsi elektron-elektron yang dihasilkan dari reaksi anodik. Reaksi katodik dimana oksigen dari udara akan larut dalam larutan terbuka.

Menurut Haryono (2010) mekanisme korosi yang terjadi pada logam besi (Fe) dituliskan sebagai berikut :



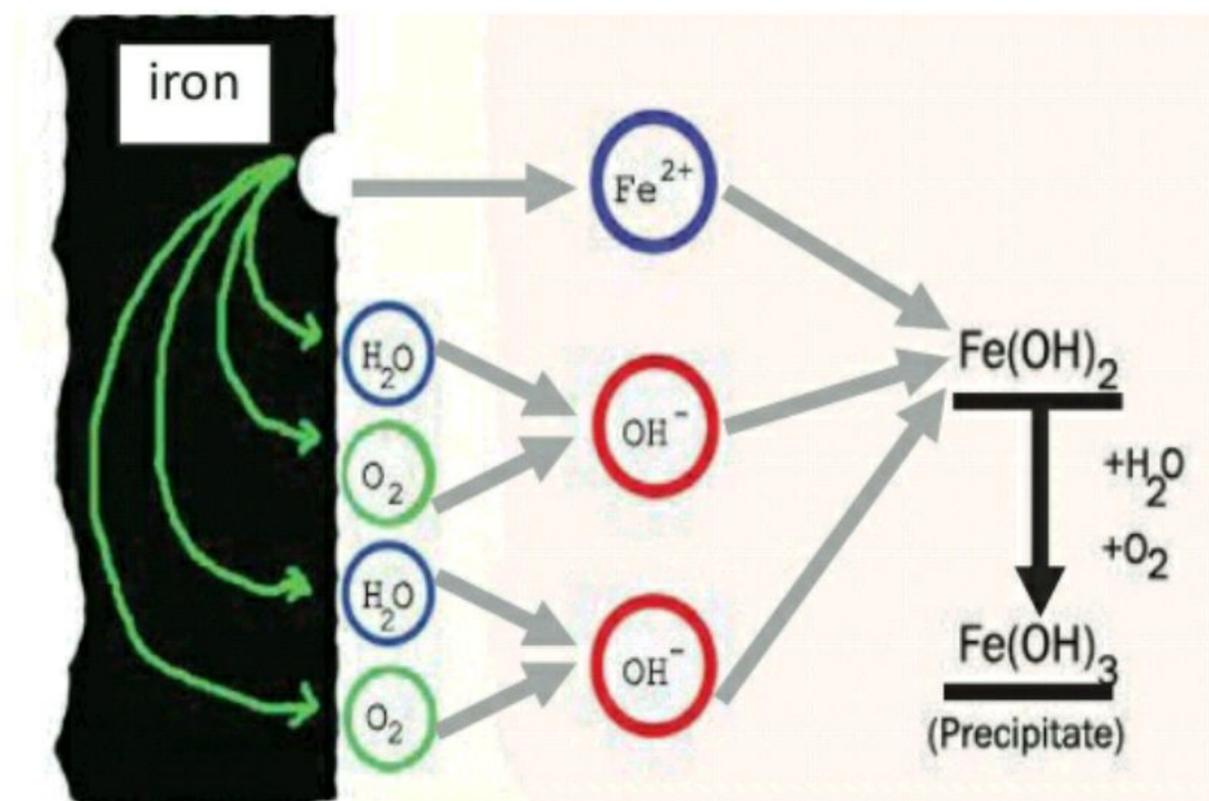
Fero hidroksida [$Fe(OH)_2$] yang terjadi merupakan hasil sementara yang dapat teroksidasi secara alami oleh air dan udara menjadi feri hidroksida [$Fe(OH)_3$], sehingga mekanisme reaksi selanjutnya adalah:



Feri hidroksida yang terbentuk akan berubah menjadi Fe_2O_3 yang berwarna merah kecoklatan yang biasa kita sebut karat. Menurut Vogel (1979) Reaksinya adalah:



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 ion H^+ dan H_2O yang tereduksi. Reaksi ini terjadi dipermukaan logam yang akan menyebabkan pengelupasan akibat pelarutan logam ke dalam larutan secara berulang-ulang. Gambar 7 menunjukkan mekanisme korosi pada permukaan logam.



Gambar 7 Mekanisme korosi

2.5 Perlindungan Terhadap Korosi

Menurut Korb, Lawrence J., & David L. Olson (1992) untuk mengurangi bahkan menghindari kerugian yang diakibatkan oleh proses korosi, maka perlu dilakukan perlindungan terhadap korosi. Ada beberapa metode yang dapat dikembangkan untuk memperlambat laju korosi. Adapun beberapa metode untuk perlindungan terhadap korosi adalah sebagai berikut:

2.5.1 Proteksi Katodik

Menurut Pierre R. Roberge (1999) proteksi merupakan salah satu cara perlindungan terhadap korosi yaitu dengan pemberian arus searah (DC) dari suatu sumber eksternal untuk melindungi permukaan logam dari korosi. Metode ini efektif dan berhasil melindungi logam dari korosi khusus di lingkungan yang terbenam air maupun di dalam tanah, seperti perlindungan pada kapal laut, instalasi pipa bawah tanah, dan sebagainya. Untuk memberikan arus searah dalam sistem proteksi katodik, terdapat dua cara yaitu dengan cara menerapkan anoda karbon (*sacrificial anode*) atau dengan cara menerapkan arus tanding (*impressed current*).

Metode anoda karbon menggunakan prinsip galvanik, dimana logam yang ingin dilindungi dengan logam lain yang akan menjadi pelindung, dengan syarat logam pelindung tersebut bersifat lebih anodik (lebih negatif) dibandingkan dengan logam yang ingin dilindungi, sehingga logam yang ingin dilindungi akan bersifat katodik dan tidak terkorosi.

Sedangkan metode arus tanding (*impressed current*) dilakukan dengan memberikan arus listrik searah dari suatu sumber eksternal, untuk melindungi suatu struktur logam yang saling berdekatan. Pada metode ini, kita memberikan suplai elektron kepada struktur yang diproteksi secara katodik agar tidak terjadi kebocoran elektron. Proses ini memerlukan penyearah (*rectifier*) dengan kutub negatif dihubungkan ke logam yang akan dilindungi dan kutub positif dihubungkan ke anoda. Anoda yang digunakan biasanya adalah anoda inert.

2.5.2 Pelapisan (*Coating*)

Coating merupakan proses pelapisan permukaan logam dengan cairan atau serbuk, yang akan melekat secara kontinu pada logam yang akan dilindungi. Adanya lapisan pada permukaan logam akan meminimalkan kontak antara logam dengan lingkungannya, yang kemudian akan mencegah proses terjadinya korosi pada logam. Pelapisan yang paling umum digunakan adalah dengan cat. Pelapisan biasanya dimaksudkan untuk memberikan suatu lapisan padat dan merata sebagai bahan isolator atau penghambat aliran listrik diseluruh permukaan logam yang dilindungi. Fungsi dari lapisan tersebut adalah untuk mencegah logam dari kontak

langsung dengan elektrolit dan lingkungan sehingga reaksi logam dan lingkungan terhambat.

Menurut Korb, Lawrence J., & David L. Olson, (1992) *coating* dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

- a. Pelapisan Logam: *electroplating, electroless-plating, hot dip galvaning, pack cementation, cladding, thermal spraying*, dan *physical vapor deposition*.
- b. Pelapisan Anorganik: *anodizing, chromate filming, phosphate coating, nitriding*, dan lapisan pasif.
- c. Pelapisan Organik, dengan tiga metode proteksi, yaitu *barrier effect, sacrificial effect*, dan *inhibition effect*.

2.5.3 Pemilihan Material (*Material Selection*)

Prinsip dasar dari pemilihan material ini adalah mengenai tepat atau tidaknya pengaplikasian suatu material terhadap suatu lingkungan tertentu. Pemilihan material yang sesuai dengan kondisi lingkungan, dapat meminimalisir terjadinya kerugian akibat proses korosi. Deret galvanik merupakan suatu acuan yang penting dalam melakukan pemilihan material.

2.5.4 Penambahan Inhibitor

Inhibitor adalah zat kimia yang ditambahkan ke dalam suatu lingkungan korosif dengan kadar sangat kecil (ukuran ppm) guna mengendalikan korosi.

Menurut Indra Surya Dalimunthe (2004) mekanisme kerja dari inhibitor dapat dibagi menjadi:

- a. 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.
- b. Melalui pengaruh lingkungan (misal pH) menyebabkan inhibitor dapat mengendap dan selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam serta melindunginya terhadap korosi. Endapan yang terjadi cukup banyak, sehingga lapisan yang terjadi dapat teramati oleh mata.
- c. Inhibitor lebih dulu mengkorosi logamnya, kemudian menghasilkan suatu zat kimia yang kemudian melalui peristiwa adsorpsi dari produk korosi tersebut

membentuk suatu lapisan pasif pada permukaan logam.

- d. Inhibitor menghilangkan konstituen yang agresif dari lingkungannya. Berdasarkan sifat korosi logam secara elektrokimia, inhibitor dapat mempengaruhi polarisasi anodik dan katodik. Bila suatu sel korosi dapat dianggap terdiri dari empat komponen yaitu: anoda, katoda, elektrolit dan penghantar elektrolit, maka inhibitor korosi memberikan kemungkinan menaikkan polarisasi anodik, atau menaikkan polarisasi katodik atau menaikkan tahanan listrik dari rangkaian melalui pembentukan endapan tipis pada permukaan logam. Mekanisme ini dapat diamati melalui suatu kurva polarisasi hasil pengujian.

Menurut Pierre R. Roberge (1999) berdasarkan fungsi, inhibitor terbagi menjadi:

a. Inhibitor Anodik

Inhibitor anodik dapat memperlambat reaksi elektrokimia di anoda melalui pembentukan lapisan pasif di permukaan logam tersebut logam terlindungi dari korosi. Inhibitor anodik merupakan inhibitor yang paling efektif serta paling banyak digunakan diantara jenis inhibitor yang lain.

Terdapat dua jenis inhibitor anodik, yaitu:

- *Oxydizing anions*, yang dapat membentuk lapisan pasif pada logam tanpa kehadiran oksigen. Contohnya antara lain kromat, nitrit, dan nitrat.
- *Non-oxydizing ions*, yang dapat membentuk lapisan pasif pada logam dengan kehadiran oksigen. Contohnya antara lain fosfat, tungstat, dan molybdat.

b. Inhibitor Presipitasi

Inhibitor presipitasi dapat membentuk presipitat di seluruh permukaan suatu logam yang berperan sebagai lapisan pelindung untuk menghambat reaksi anodik dan katodik logam tersebut secara tidak langsung. Contohnya dari inhibitor jenis

ini adalah silikat dan fosfat.

c. Inhibitor Katodik

Inhibitor katodik dapat memperlambat reaksi katodik suatu logam dan membentuk presipitat di wilayah katoda yang dapat meningkatkan impedansi permukaan sekaligus membatasi difusi pereduksi untuk melindungi logam tersebut.

Terdapat tiga jenis inhibitor katodik, yaitu:

- Racun katoda, dapat menghambat reaksi evolusi hidrogen. Contohnya seperti sulfida, selenida, arsenat, dan antimonat.
- Presipitat katoda, dapat mengendap membentuk oksida sebagai lapisan pelindung pada logam. Contohnya seperti kalsium, seng, dan magnesium.
- *Oxygen scavengers*, yang dapat mengikat oksigen terlarut sehingga mencegah reaksi reduksi oksigen pada katoda. Contohnya seperti hidrasin, natrium sulfit, dan hidroksil amin HCl.

d. Inhibitor Organik

Saat ini pengembangan terhadap inhibitor organik atau inhibitor alami sangat diperlukan. Inhibitor jenis ini sangat menguntungkan dunia industri dikarenakan harganya yang relatif tidak mahal dan pengaplikasiannya yang ramah lingkungan.

Efektifitas inhibitor ini sangat bergantung kepada komposisi kimia yang dimilikinya, struktur molekul, dan afinitasnya terhadap permukaan logam. Karena pembentukan lapisan merupakan proses adsorpsi, maka temperatur dan tekanan dalam sistem memegang peranan penting. Inhibitor organik akan teradsorpsi sesuai dengan muatan ion-ion inhibitor dan muatan permukaan.

Pada umumnya senyawa-senyawa organik yang dapat digunakan adalah senyawa-senyawa yang mampu membentuk senyawa kompleks baik kompleks yang terlarut maupun kompleks yang mengendap. Untuk itu diperlukan adanya gugus-gugus fungsi yang mengandung atom-atom yang mampu membentuk ikatan kovalen terkoordinasi, misalnya atom nitrogen, belerang, pada suatu senyawa tertentu.

Ikatan antara logam dengan ion logam yang cukup kuat terjadi pada beberapa

jenis senyawa kompleks khelat (kompleks sepit). Suatu contoh adalah studi yang dilakukan oleh d. J. Gardiner (Corros. Sci., 25 (1985) p. (1019) mengenai inhibitor yang membentuk kompleks pada permukaan tembaga diamatai dengan mikroskop Raman.

2.6 Ekstraksi Daun Mangga (*Mangifera indica* L)

Menurut Harborne (1987) ekstraksi adalah proses pemisahan suatu zat berdasarkan perbedaan kelarutannya terhadap dua cairan tidak saling larut yang berbeda. Prinsip ekstraksi adalah melarutkan senyawa polar dalam pelarut polar dan senyawa non polar. Secara umum ekstraksi dilakukan secara berturut-turut mulai dengan senyawa pelarut non polar (n-heksan) lalu pelarut yang kepolarannya menengah (diklor metan atau etil asetat) kemudian pelarut yang bersifat polar (metanol atau etanol). Ekstraksi digolongkan ke dalam dua bagian fase yang diekstraksi yaitu ekstraksi cair-cair dan ekstraksi cair padat, ekstraksi cair padat terdiri dari beberapa cara yaitu maserasi, perkolasi dan ekstraksi sinambung.

Dalam metode ekstraksi bahan alam, dikenal suatu metode maserasi. Maserasi merupakan metode ekstraksi yang sederhana. Maserasi dilakukan dengan cara merendam sampel dalam pelarut organik. Pelarut organik akan menembus dinding sel dan masuk ke dalam rongga sel yang mengandung zat aktif sehingga zat aktif akan larut. Karena adanya perbedaan konsentrasi antara larutan zat aktif di dalam sel, maka larutan yang terpekat didesak keluar. Keuntungan metode ekstraksi ini, adalah metode dan peralatan yang digunakan sederhana dan mudah diusahakan (Cheong, 2005).

Metode maserasi merupakan salah satu metode ekstraksi bahan alam yang menggunakan lemak panas, akan tetapi lemak-lemak panas itu telah diganti dengan pelarut-pelarut organik yang mudah menguap. Penekanan utama pada maserasi adalah tersedianya waktu kontak yang cukup antara pelarut dan jaringan yang diekstraksi (Guether, 1987).

Lydia Ninan Lestario dkk (2011) mengekstrak antosianin dari kulit buah jenitri dengan metanol yang mengandung 1 % HCl dengan perbandingan sampel

terhadap pelarut 1:4 (b/v), menggunakan metode maserasi selama semalam pada suhu (± 5 °C). Filtrat disaring dengan kertas Whatman No. 1, lalu dipartisi dengan corong pisah dengan penambahan dietil eter untuk memisahkan komponen non-antosianin (Ozela, 2007). Didapatkan kandungan antosianin total dari kulit buah jenitri adalah sebesar $23,87 \pm 4,11$ mg/100 g berat kering zat antosianin.

Rosdiana Moeksin & Stevanus Ronald HP (2009) mengekstrak antosianin dari kelopak bunga rosela menggunakan alat sokhlet dengan pelarut aquadest dan etanol (90 %) selama 4 jam didapatkan % yield antosianin tertinggi dengan berat sampel 25 gram kelopak bunga rosela.

Ekawati dkk. (2013) telah melakukan penelitian sebelumnya mengenai efek waktu ekstraksi terhadap aktivitas antioksidan, total fenol dan kadar antosianin ekstrak daun mangga (*Mangifera indica* L). Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut adalah lama ekstraksi berpengaruh nyata terhadap kadar antosianin, dan kapasitas antioksidan tetapi tidak berpengaruh terhadap total fenol dan aktivitas antioksidan. Komponen bioaktif antosianin ekstrak daun mangga (*Mangifera indica* L) terbaik pada lama ekstraksi 18 jam dengan karakteristik kadar antosianin, total fenol, kapasitas antioksidan dan aktivitas antioksidan berturut: 48,494 mg/100 g; 5,219 g GE/100 g bahan; 81,009 g/100 g; 6,108 g GE/100 g.

2.7 Perhitungan Laju Korosi dan Effisiensi Inhibitor

2.7.1 Perhitungan Laju Korosi

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

Metode *weight loss* atau kehilangan berat merupakan metode yang dapat digunakan untuk mendapatkan laju korosi. Prinsip dari metode ini adalah dengan menghitung banyaknya material yang hilang atau kehilangan berat setelah

dilakukan pengujian rendaman sesuai dengan standar ASTM G 31-72. Dengan menghitung banyaknya massa logam yang telah dibersihkan dari oksida dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa awal lalu dilakukan pada suatu lingkungan yang korosif seperti di lingkungan asam selama waktu tertentu. Setelah itu dilakukan perhitungan 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:

Laju korosi =

Keterangan:

K : Konstanta, lihat pada tabel 2.1

t : *Time of exposure*

A : Luas permukaan yang direndam (cm²)

w : Kehilangan berat (gram)

D : Density (ρ) = , gr/cm³ (Bunga, 2008)

Tabel 1 Konstanta perhitungan laju korosi berdasarkan satuannya

Satuan Laju Korosi / <i>Corrosion Rate</i>	Konstanta
Mils per year (mpy)	3,45 x 10 ⁶
Inches per year (ipy)	3,45 x 10 ³
Milimeters per year (mm/y)	8,76 x 10 ⁴
Micrometers per year (μ m/y)	8,76 x 10 ⁷

Sumber: Bunga, 2008

Semakin besar laju korosi suatu logam maka semakin cepat material tersebut untuk terkorosi. Kualitas ketahanan korosi suatu material dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Distribusi kualitas ketahanan korosi suatu material

<i>Relative corrosion resistance</i>	Mpy	mm/yr	µm/yr	nm/yr	pm/s
<i>Outstanding</i>	< 1	< 0,02	< 25	< 2	< 1
<i>Excellent</i>	1-5	0,02- 0,1	25 - 100	2 - 10	1 - 5
<i>Good</i>	5-20	0,1 - 0,5	100 - 500	10 - 50	20 - 50
<i>Fair</i>	20 - 50	0,5 - 1	500 - 1000	20 - 150	20 - 50
<i>Poor</i>	50 - 200	1 - 5	1000 -5000	150 - 500	50 - 200
<i>Unacceptable</i>	200+	5+	5000+	500+	200+

Sumber: Roni, 2011

Metode *weight loss* sering digunakan pada skala industri dan laboratorium karena peralatan sederhana dan hasil cukup akurat, namun dari pengujian dengan metode *weight loss* dalam mendapatkan suatu laju korosi memiliki kelemahan. Kelemahan tersebut adalah tidak dapat mendeteksi secara cepat perubahan yang terjadi saat proses korosi, perhitungan kupon yang tidak dapat diterjemahkan secara langsung dari peralatan, korosi lokalisasi tidak dapat dilihat langsung tanpa pemindahan sampel dari tempat pengujian, dan bentuk korosi yang tidak dapat dideteksi.

2.7.2 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. Penghitungan ini dapat dijabarkan sebagai berikut:

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

Dimana : Xa : Laju korosi tanpa inhibitor (mpy)

Xb : Laju korosi dengan inhibitor (mpy)

2.8 Daun Mangga (*Mangifera indica* L)

2.8.1 Morfologi Tanaman Daun Mangga (*Mangifera indica* L)

Secara morfologi tanaman mangga adalah tanaman berdaun tunggal, dengan letak tersebar, tanpa daun penumpu. Panjang tangkai daun bervariasi dari 1,25 – 12,5 cm, bagian pangkalnya membesar dan pada sisi sebelah atas ada alurnya. Aturan letak daun pada batang biasanya $3/8$, tetapi makin mendekati ujung, letaknya makin berdekatan sehingga nampaknya seperti dalam lingkaran (roset). Helai daun bervariasi namun kebanyakan berbentuk jorong sampai lanset, 2 – 10 x 8 – 40 cm, agak liat seperti kulit, hijau tua berkilap, berpangkal melancip dengan tepi daun bergelombang dan ujung meluncip, dengan 12 – 30 tulang daun sekunder. Daun yang masih muda biasanya berwarna kemerahan, keunguan atau kekuningan, yang di kemudian hari akan berubah pada bagian permukaan sebelah atas menjadi hijau mengkilat, sedangkan bagian permukaan bawah berwarna hijau muda. Umur daun bisa mencapai 1 tahun lebih. Adapun kedudukan tanaman mangga dalam tata nama (sistematika) dapat dilihat pada tabel 3.

Daun mangga mengandung senyawa organik tarakserol-3beta dan ekstrak etil asetat yang bersinergis dengan insulin mengaktivasi GLUT4, dan menstimulasi sintesis glikogen, sehingga dapat menurunkan gejala hiperglisemia

Tabel 3 Taksonomi Tanaman Mangga (*Mangifera indica* L)

Kingdom	Plantae
Divisi	Magnoliophyta
Kelas	Magnoliopsida
Ordo	Sapindales
Famili	Anacardiaceae
Genus	Mangifera
Spesies	Mangifera indica L

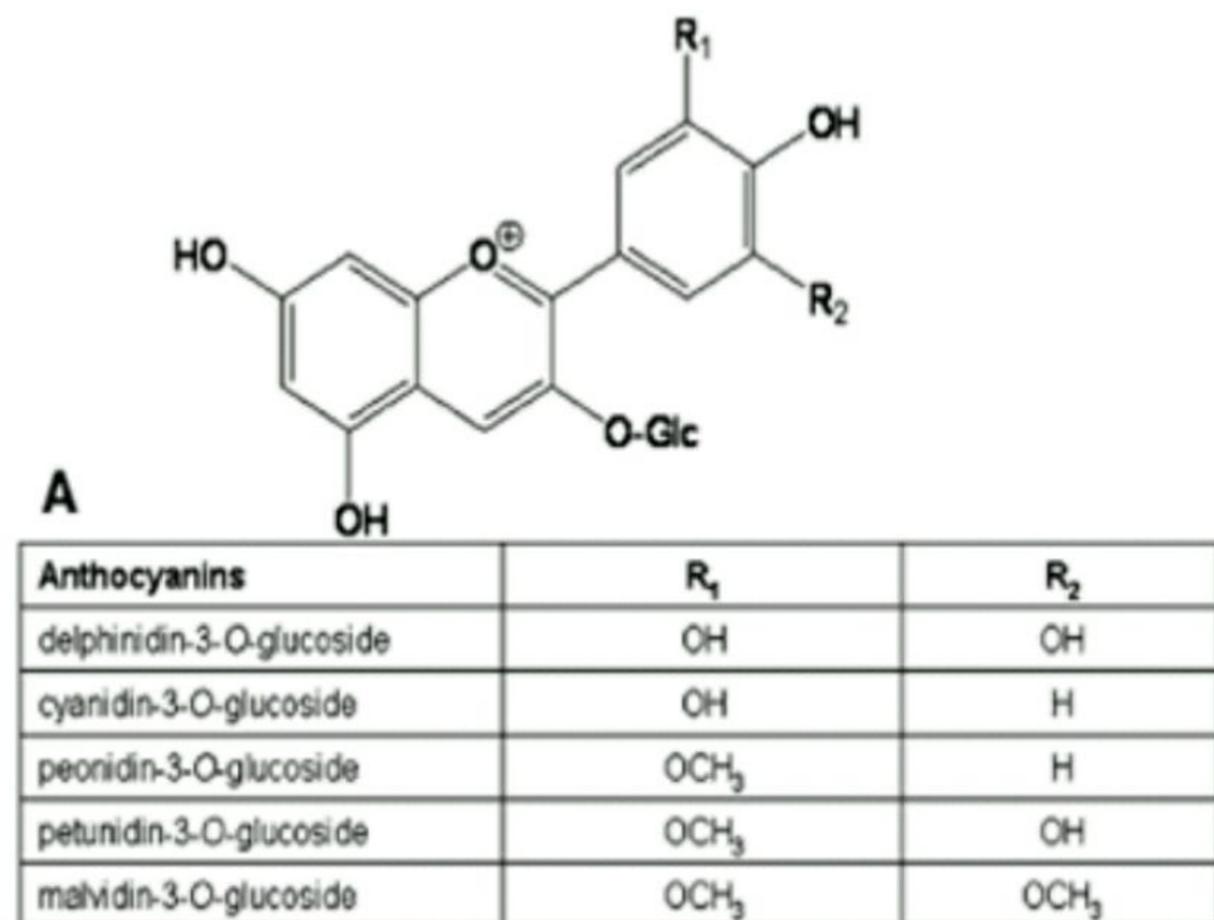
Sumber: wikipedia.org

2.8.2 Antosianin

Antosianin merupakan zat pewarna alami yang tergolong ke dalam benzopiran. Struktur utama turunan benzopiran ditandai dengan adanya dua cincin

aromatik benzena (C_6H_6) yang dihubungkan dengan tiga atom karbon yang membentuk cincin. Secara kimia semua antosianin merupakan turunan suatu struktur aromatik tunggal, yaitu sianidin, dan semuanya terbentuk dari pigmen sianidin ini dengan penambahan atau pengurangan gugus hidroksil, metilasi dan glikosilasi (Harborne, 1996). Antosianin adalah senyawa yang bersifat amfoter, yaitu memiliki kemampuan untuk bereaksi baik dengan asam maupun dalam basa. Dalam media asam antosianin berwarna merah seperti halnya saat dalam vakuolaselel dan berubah menjadi ungu dan biru jika media bertambah basa. Perubahan warna karena perubahan kondisi lingkungan ini tergantung dari gugus yang terikat pada struktur dasar dari posisi ikatannya (Charley, 1970).

Pigmen antosianin dari ubi ungu menunjukkan aktivitas penangkal radikal yang kuat, antimutagenik, dan menurunkan tekanan darah tinggi. Antosianin yang terdapat pada ubi jalar ungu antara lain cyanidin, pelargonidin, peonidin dan malvidin (Santoso, 2014).



Sumber: Wikipedia.org

Gambar 8 Struktur Antosianin

Antosianin merupakan pigmen alami yang dapat menghasilkan warna biru, ungu, violet, magenta dan kuning. Pigmen ini larut dalam air yang terdapat pada bunga, buah dan daun tumbuhan (Moss BW, 2002). Antosianin terdapat dalam vakuola sel bagian tanaman. Vakuola adalah organel sitoplasmik yang berisikan air, serta dibatasi oleh membran yang identik dengan membran tanaman (Kimbal JW, 1993). Antosianin adalah senyawa flavonoid 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, delphinidin, peonidin, petunidin, dan malvidin (Nugrahan, 2007).

Secara kimia antosianin merupakan turunan garam flavilum atau benziflavilum. Antosianin merupakan satuan gugus glikosida yang terbentuk dari gugus aglikon dan glikon. Terdapat lima jenis gula yang ditemui pada molekul antosianin, yaitu: glukosa, rhamnosa, galaktosa, xilosa dan arabinosa. Sedangkan senyawa-senyawa bentuk lainnya sangat jarang ditemui (Markakis, 1982).

Berdasarkan klasifikasi antosianin berdasarkan jumlah gulanya dapat dibedakan menjadi 3 yaitu: monosida, biosida, dan triosida. Antosianin yang mengandung satu gula dalam ikatannya disebut dengan monosida, biasanya ikatan gula tersebut terdapat pada posisi atom C nomor 3, terkadang pada posisi 5 dan 7. Antosianin yang mengandung dua gula dalam ikatannya disebut dengan biosida. Ikatan gula tersebut terdapat pada posisi atom C nomor 3 keduanya, pada posisi 3 dan 5, atau pada posisi 3 dan 7. Antosianin yang mengandung tiga gula dalam ikatannya, dua ikatan pada posisi 3 dan satu pada posisi 5. Seringkali juga ikatan gula terdapat pada posisi 3 (Harborne, 1996).

Sifat dan warna antosianin di dalam jaringan tanaman dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti: jumlah pigmen, letak, kopigmentasi, jumlah gugus hidroksi dan metoksi. Antosianin akan berubah warna seiring dengan perubahan nilai pH. Pada pH tinggi antosianin cenderung berwarna biru atau tidak berwarna,

kemudian cenderung berwarna merah pada pH rendah. Kebanyakan antosianin menghasilkan warna pada pH kurang dari 4. Jumlah gugus hidroksi atau metoksi pada struktur antosianidin, akan mempengaruhi warna antosianin. Jumlah gugus hidroksi yang dominan menyebabkan warna cenderung biru dan relatif tidak stabil. Sedangkan jumlah gugus metoksi yang dominan dibandingkan gugus hidroksi pada struktur antosianidin, menyebabkan warna cenderung merah (Wijaya and Suprioto F, 2009).

2.8.3 Ekstrak Daun Mangga (*Mangifera indica* L) sebagai Inhibitor Korosi

Saat ini mulai banyak penelitian yang mengarah ke penemuan sumber baru sebagai inhibitor korosi terutama dari bahan alami. Penggunaan bahan-bahan alam menjadi kunci utama dalam inovasi pembuatan inhibitor pada saat ini, karena bahan alam sifatnya dapat diperbaharui (renewable). Dengan menggunakan ekstrak tanaman yang kaya akan senyawa kimia dimana disintesis secara alamiah dalam artian bersifat biodegradable dan dapat diekstrak dengan proses sederhana serta biaya yang rendah mampu bersaing dengan inhibitor anorganik yang pengaruhnya cukup buruk terhadap lingkungan (Abiola O. B. & Tobun Y., 2010).

Para peneliti terdahulu sudah mulai banyak merambah riset yang bertemakan *green corrosion inhibitor*. Inhibitor organik pada umumnya berasal dari ekstrak bahan alami yang mengandung atom N, O, P, S dan atom-atom yang mempunyai pasangan elektron bebas. Unsur-unsur yang mengandung pasangan bebas ini nantinya dapat berfungsi sebagai ligan yang akan membentuk senyawa kompleks dengan logam (Hermawan, 2007). Hampir keseluruhan bagian dari tanaman bermanfaat sebagai inhibitor. Mulai dari ekstrak daun, kulit buah, biji, buah, kulit pohon, batang dan akar telah mulai diteliti efektifitasnya sebagai inhibitor korosi di lingkungan korosif yang berbeda-beda. Bagian tanaman yang paling sering diteliti adalah daun. Ekstrak bahan alam mempunyai aktivitas untuk menghambat laju korosi karena memiliki kandungan senyawa heterosiklik. Pada senyawa organik salah satunya terdapat zat antioksidan. Antioksidan bekerja dengan cara mendonorkan elektronnya kepada senyawa yang bersifat oksidan, sehingga aktivitas senyawa oksidan tersebut bisa dihambat (Winarsih, 2007). Zat

antioksidan didefinisikan sebagai senyawa yang dapat menunda, memperlambat, dan mencegah proses oksidasi. Dengan kata lain, dengan adanya senyawa antioksidan pada lingkungan korosif, dapat menghambat laju terjadinya korosi (Putra, 2011).

Daya inhibisi dari suatu senyawa organik terhadap korosi pada logam bergantung pada kemampuannya melepas elektron, jumlah elektron yang tidak berpasangan, kabut π elektron, sistem cincin aromatik, atau jenis grup fungsional yang mengandung unsur - unsur grup V dan VI dalam table periodik. Grup fungsional yang biasanya dipakai sebagai inhibitor adalah gugus hydroxi (- OH), epoxy (- C- O- C-), amine (- C- N- C-), amino (- NH₂), thiol (- C=S-), dan gugus fungsi lainnya terdapat dalam literatur (Marcus P., 2006).

Polifenol dan asam amino merupakan contoh dari gugus fungsi onal yang biasanya digunakan. Perlindungan logam oleh polifenol dan asam amino terjadi melalui tiga mekanisme, yaitu adsorpsi secara fisika, adsorpsi secara kimia, dan pembentukan lapisan pada permukaan logam. Adsorpsi secara fisika berlangsung dengan cepat, karena interaksi elektrostatik antara permukaan logam yang memiliki *charge* positif dengan polifenol yang memiliki *charge* negatif, reaksi yang terjadi bersifat *reversible*. Adsorpsi secara fisika ini mudah terlepas akibat gangguan mekanis dan peningkatan temperatur. Sedangkan adsorpsi secara kimia bersifat lebih stabil, tidak sepenuhnya *reversible*, dan berlangsung dengan lambat. Semakin tinggi temperatur biasanya mengakibatkan peningkatan adsorpsi dan inhibisi. Adsorpsi secara kimia merupakan aktivitas transfer atau berbagi elektron antara polifenol atau asam amio dan permukaan logam, sehingga menentukan kemampuan inhibisi.