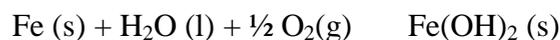


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

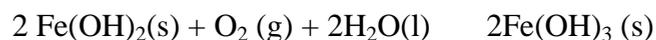
2.1 Pengertian Korosi

Korosi adalah proses perusakan suatu material metal/logam secara elektrokimia akibat reaksi dengan lingkungan. Korosi (pengkaratan) merupakan fenomena kimia bahan-bahan logam di berbagai macam kondisi lingkungan, yaitu reaksi kimia antara logam dengan zat-zat yang ada di sekitarnya atau dengan partikel-partikel lain yang ada di dalam matriks logam itu sendiri. Lingkungan yang dapat menyebabkan terjadinya korosi pada logam misalnya udara, air, larutan garam, larutan asam dan lain – lain (Dhadhang & Teuku Nanda, 2012).

Korosi dapat digambarkan sebagai sel galvanik yang mempunyai “hubungan pendek” dimana beberapa daerah permukaan logam bertindak sebagai katoda dan lainnya sebagai anoda, dan “rangkain listrik” dilengkapi oleh rangkaian elektron menuju besi itu sendiri. Mekanisme korosi yang terjadi pada logam besi (Fe) dituliskan sebagai berikut :

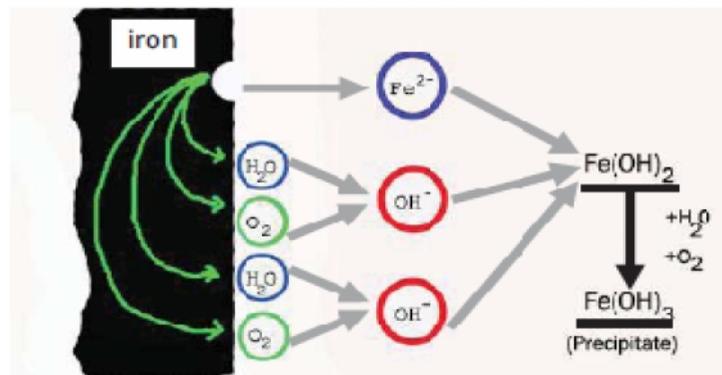


Fero hidroksida [Fe(OH)₂] yang terjadi merupakan hasil sementara yang dapat teroksidasi secara alami oleh air dan udara menjadi ferri hidroksida [Fe(OH)₃], sehingga mekanisme reaksi selanjutnya adalah :



Ferri hidroksida yang terbentuk akan berubah menjadi Fe₂O₃ yang berwarna merah kecoklatan yang biasa kita sebut karat (Vogel, 1979). Reaksinya adalah:





Sumber : Gogot haryono, 2010

Gambar 2.1 Mekanisme 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 H₂ dan reduksi O₂, akibat ion H⁺ dan H₂O yang tereduksi. Reaksi ini terjadi dipermukaan logam yang akan menyebabkan pengelupasan akibat pelarutan logam ke dalam larutan secara berulang-ulang (Alfin, 2011).

2.2 Korosi Pada Logam Baja

2.2.1 Pengertian Baja

Baja adalah logam paduan, logam besi sebagai unsur dasar dengan beberapa elemen lainnya, termasuk karbon. Kandungan unsur karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% berat sesuai *grade*-nya. Elemen yang terdapat pada baja biasanya karbon, mangan, fosfor, sulfur, silikon, dan sebagian kecil oksigen, nitrogen dan aluminium. Selain itu, ada elemen lain yang ditambahkan untuk membedakan karakteristik antara beberapa jenis baja diantaranya mangan, nikel, krom, molybdenum, boron, titanium, vanadium dan niobium. Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi. Baja karbon ini dikenal sebagai baja hitam karena berwarna hitam (www.wikipedia.org).

Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*).

Baja karbon paling banyak digunakan untuk material keteknikan, diperkirakan 85% dari produksi baja dunia. Walaupun terdapat keterbatasan ketahanan korosi, baja karbon banyak digunakan untuk aplikasi kelautan (*maritime*), nuklir, transportasi, proses kimia, industri perminyakan, *refining*, pipa saluran, konstruksi pertambangan dan peralatan proses logam (Roberge, Pierre 2000).

2.2.2 Karakteristik Karat Baja

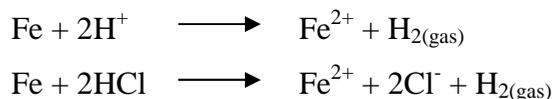
Baja murni terdiri atas logam berwarna putih-perak, tangguh, dan kuat. Baja tersebut melebur pada temperatur 1535°C. Pada aplikasi jarang sekali menggunakan baja murni, biasanya baja yang digunakan mengandung sejumlah grafit dan elemen paduan lainnya. Unsur paduan tersebut berperan dalam meningkatkan *mechanical properties* dari baja. Besi membentuk dua deret garam yang penting, yaitu :

1. Garam besi (II) oksida yang diturunkan dari besi (II) oksida (FeO)

Dalam kondisi larutan *aqueous*, garam besi tersebut mengandung kation Fe^{2+} (ion besi II) dapat dengan mudah dioksidasikan menjadi ion 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 (Fe_2O_3)

Garam ini bersifat lebih stabil dibandingkan garam besi (II). Dalam kondisi *aqueous*, kation dari Fe^{3+} berwarna kuning muda, jika larutan mengandung klorida, maka warna kuning yang dihasilkan di permukaannya semakin kuat. Baja dapat dilarutkan menjadi ion Fe^{2+} dan Fe^{3+} dengan menambahkan asam klorida encer atau pekat dan asam sulfat encer. Reaksi antara baja dengan asam klorida menghasilkan garam-garam besi (II) dan gas hidrogen, reaksinya yaitu :



Sedangkan reaksi antara asam sulfat panas dan baja menghasilkan ion-ion besi (III) dan belerang dioksida. Reaksinya sebagai berikut :



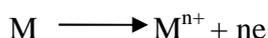
Selain itu, endapan putih besi (II) hidroksida ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) apabila bereaksi dengan atmosfer maka mudah bereaksi dengan oksigen yang pada akhirnya menghasilkan besi (III) hidroksida yang berwarna coklat-kemerahan. Pada kondisi biasa, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ tampak seperti endapan hijau kotor (www.wordpress.com).

2.2.3 Korosi Aqueous Baja

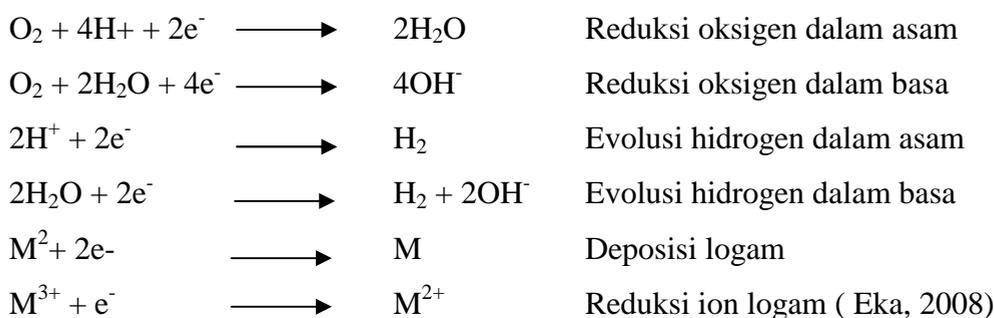
Korosi merupakan suatu kerusakan yang dihasilkan dari reaksi kimia antara sebuah logam atau logam paduan dan didalam suatu lingkungan. Fenomena korosi merupakan reaksi kimia yang dihasilkan dari dua reaksi setengah sel yang melibatkan elektron sehingga menghasilkan suatu reaksi elektrokimia. Dari dua reaksi setengah sel ini terdapat reaksi oksidasi pada anoda dan reaksi reduksi pada katoda (Alfin, 2011).

Kebanyakan proses korosi bersifat elektrokimia, dimana larutan berfungsi sebagai elektrolit sedangkan anoda dan katoda terbentuk karena adanya *inhomogenitas*. Reaksi elektrokimia pada proses korosi, yaitu (Denny A. Jones, 1997) :

Reaksi oksidasi :



Reaksi reduksi :



Beberapa faktor yang mempengaruhi proses korosi pada sistem aqueous antara lain (ASM Handbook, 2003) :

1. Komponen ion larutan dan konsentrasinya
2. pH (tingkat keasaman)
3. Kadar oksigen
4. Temperatur dan transfer panas
5. Kecepatan (pergerakan fluida).

2.2.4 Korosi Aqueous Baja Oleh Ion Klorida

2.2.4.1 Asam Klorida (HCl)

Asam klorida adalah larutan akuatik dari gas hidrogen klorida (HCl). Asam klorida merupakan asam kuat dan merupakan komponen utama asam lambung. Senyawa ini juga digunakan secara luas dalam industri.

Asam klorida pekat akan membentuk kabut asam. Baik kabut dan larutan tersebut bersifat korosif. Seketika asam klorida bercampur dengan bahan oksidator lainnya, seperti natrium hipoklorit (pemutih NaClO) atau kalium permanganate (KMnO_4) maupun gas beracun klorin akan terbentuk (www.wikipedia.org).

Tabel 2.1 Sifat – sifat Dari Asam Klorida

Sifat Asam Klorida (HCl)	
Nama IUPAC	Asam Klorida
Nama Trivial	Klorana
Rumus Molekul	HCl dalam air
Massa molar	36,46 gr/mol
Densitas	1,18 gr/cm ³
Titik lebur	-23°C (247 K) larutan 38%
Titik didih	110°C (383 K) larutan 20,2 % ; 48°C (321 K) larutan 38%
Viskositas	1,9 mPa pada 25°C, larutan 31,5 %
Kelarutan dalam air	Tercampur penuh
Penampilan	Cairan tak berwarna, kuning pekat
Keasaman	-8,0

Sumber : www.wikipedia.org (2014)

2.2.4.2 Pengaruh Ion Klorida Terhadap Korosi *Aqueous* Baja

Korosi pada baja karbon antara lain dipengaruhi oleh konsentrasi ion agresif seperti ion klorida (Cl^-). Konsentrasi ion klorida yang makin tinggi akan semakin meningkatkan kecenderungan terjadinya korosi. Ion klorida kebanyakan bertindak sebagai ion agresif karena kemampuannya yaitu menghancurkan lapisan pasif pada permukaan baja karbon dan mempercepat laju korosinya. Ion klorida bukan merupakan unsur ilmiah yang terdapat dalam air, namun biasanya ditambahkan untuk mengontrol perkembangan organisme air. Ketika terlarut di dalam air, maka ion klorida akan berubah menjadi asam hipoklorit (HClO) dan asam klorida (HCl), yang mana akan menurunkan nilai pH.

Ion klorida dikenal memiliki efek merusak terhadap baja karbon. Kebanyakan ion tersebut memiliki kemampuan untuk terserap di permukaan logam dan berinterferensi membentuk lapisan pasif. *Pitting* merupakan jenis serangan utama yang terjadi akibat ion klorida. Area kecil dimana ion Cl^- terserap di permukaan logam merupakan daerah anodik menuju lapisan oksida pasif katodik yang luas. Ketika proses mulai, reaksi hidrolisis ion logam dari reaksi anodik menyebabkan penurunan pH, yang mana menghambat perbaikan lapisan film dan mempercepat serangan. Baja karbon akan terkorosi di dalam air yang mengandung klorida.

Pengaruh ion klorida terhadap laju korosi tergantung kation larutan konsentrasi garam. Adanya perbedaan laju korosi pada larutan garam seperti *Lithium chloride* (LiCl), *Sodium chloride* (NaCl), dan *Potassium chloride* (KCl) dikarenakan perbedaan kelarutan oksigen pada masing-masing larutan garam. Jadi, pengaruh konsentrasi satu komponen dapat dipengaruhi oleh variabel lingkungan lainnya pada korosi *aqueous*.

2.2.5 Pengaruh pH Terhadap Korosi *Aqueous* Baja

Nilai pH pada air (elektrolit) dapat berbeda dengan pH aktual di permukaan logam tergantung dari reaksi yang terjadi di permukaan. Reduksi oksigen akan menghasilkan ion OH^- yang dapat meningkatkan nilai pH, namun di bawah deposit produk korosi nilai pH dapat ditekan. Ketika pH air (elektrolit)

moderate (pH = 5), korosi uniform merupakan serangan dominan yang akan semakin meningkat dengan penurunan pH. Pada pH 4 atau < 4 maka lapisan oksida proteksi terlarut dan *terekspose* di permukaan metal. Korosi akan semakin cepat terjadi karena kadar oksigen terlarut berkurang pada permukaan logam di pH rendah. Kedua reaksi yaitu evolusi hidrogen dan reduksi oksigen menjadi reaksi katodik. Pada peningkatan pH di atas 4, besi oksida terpresipitasi dari larutan ke bentuk deposit. Korosi uniform secara tiba-tiba menurun, namun di bawah deposit mulai terbentuk Fe₂O₃ di permukaan metal. Reaksi anodiknya adalah sebagai berikut :



2.2.6 Pengaruh Oksigen Terlarut Terhadap Korosi *Aqueous* Baja

Proses korosi pada besi atau baja pada temperatur kamar membutuhkan oksigen terlarut netral dan alkali akan stabil tanpa kehadiran oksigen. Adanya proses agitasi ataupun *stirring* maka dapat meningkatkan transpor pelarutan oksigen dan meningkatkan laju korosi.

Peningkatan temperatur awalnya meningkatkan laju korosi mencapai dua kali lipat dengan kenaikan temperatur setiap 30°C, namun pada temperatur > 80°C *solubility* dari pelarutan oksigen dapat menurunkan laju korosi.

Oksigen terlalu sering mempunyai variabel akses untuk tujuan berbeda pada permukaan yang lebih besar. pH yang lebih rendah terdapat di daerah anoda (di bawah deposit karat oksida) sedangkan di sekelilingnya merupakan daerah katoda (ber-pH tinggi) yang dihasilkan dari reaksi reduksi oksigen terlarut.

Apabila dibandingkan dengan logam nonferrous, seperti copper dan zinc, maka perilaku korosi pada baja karbon sedikit sensitif terhadap kualitas air. Hal ini dikarenakan bahwa produk dari reaksi anodik pada baja karbon bersifat tidak protektif. Laju korosi pada baja dikontrol oleh katodik, yaitu suplai oksigen terlarut.

2.3 Jenis - Jenis Korosi

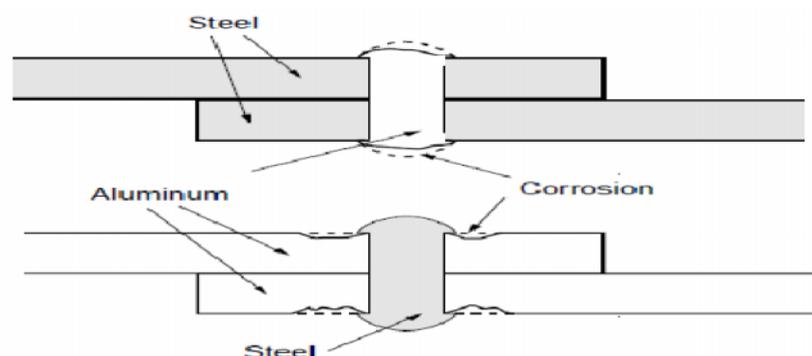
Berdasarkan bentuk kerusakan yang dihasilkan, penyebab korosi, lingkungan tempat terjadinya korosi, maupun jenis material yang diserang, korosi terbagi menjadi, diantaranya adalah (Denny A. Jones, 1997) :

1. *General / Uniform corrosion*

Merupakan korosi yang disebabkan oleh reaksi kimia atau elektrokimia yang terjadi secara seragam pada permukaan logam. Efeknya adalah terjadi penipisan pada permukaan dan akhirnya menyebabkan kegagalan karena ketidakmampuan untuk menahan beban. Korosi ini dapat dicegah atau dikendalikan dengan pemilihan material (termasuk *coating*), penambahan *corrosion inhibitor* pada fluida atau menggunakan *cathodic protection*.

2. *Galvanic corrosion*

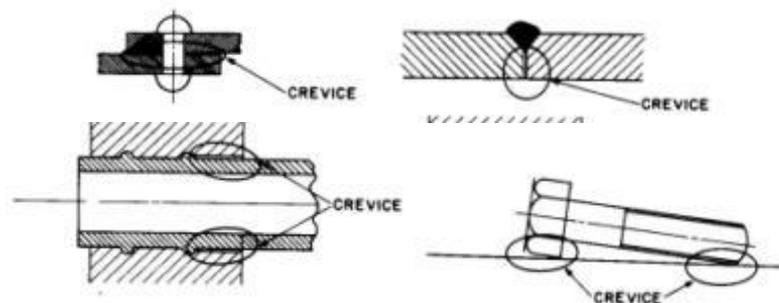
Merupakan korosi yang disebabkan adanya beda potensial antara dua logam yang berada pada fluida atau media konduktif dan korosif. Akibatnya, logam dengan ketahanan terhadap korosi yang rendah akan mengalami laju korosi lebih tinggi dibandingkan dengan logam yang memiliki ketahanan terhadap korosi tinggi. Pencegahan korosi ini adalah dengan menggunakan satu jenis material yang sama atau menggunakan kombinasi beberapa material yang memiliki sifat galvanis yang mirip, menggunakan insulasi pada sambungan antara logam, serta mengurangi karakteristik korosi dari fluida dengan *corrosion inhibitor*.



Sumber : Roberge P.R. - Handbook of Corrosion Engineering [McGraw-Hill 1999]
Gambar 2.2 Mekanisme *Galvanic corrosion*

3. *Crevice corrosion*

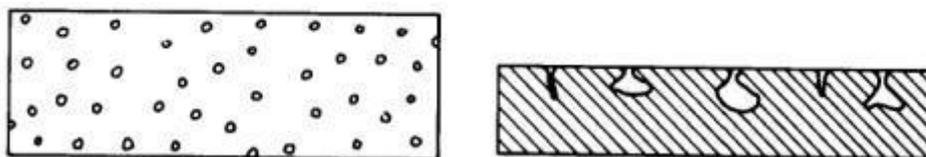
Merupakan korosi yang terjadi akibat adanya deposisi material pada celah-celah (terutama pada sambungan).



Sumber : TEMA – *Standards Of The Tubular Exchanger Manufacturers Association*
Gambar 2.3 Area potensi crevice corrosion

4. *Pitting corrosion*

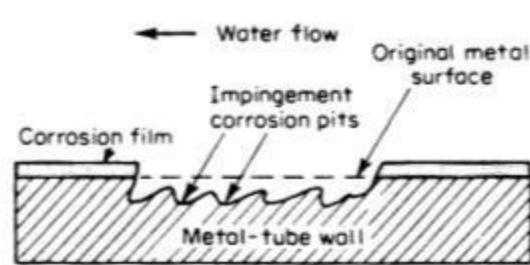
Merupakan fenomena korosi dimana proses korosi terjadi pada suatu area pada permukaan logam yang akhirnya menyebabkan terjadinya lubang pada permukaan tersebut. Korosi ini biasanya disebabkan oleh *chloride* atau *ion* yang mengandung *chlorine*. Korosi ini dapat dicegah dengan pemilihan material yang sesuai dan memiliki ketahanan tinggi terhadap korosi.



Sumber : TEMA – *Standards Of The Tubular Exchanger Manufacturers Association*
Gambar 2.4 Pitting corrosion

5. *Erosion corrosion*

Merupakan korosi yang terjadi sebagai akibat dari tingginya pergerakan relatif fluida korosif terhadap permukaan logam. Proses ini umumnya berlangsung dengan adanya dekomposisi kimia atau elektrokimia pada permukaan logam.



Sumber : TEMA – *Standards Of The Tubular Exchanger Manufacturers Association*
Gambar 2.5 Erosion corrosion pada tube condensor

6. *Stress corrosion*

Merupakan korosi yang terjadi akibat kombinasi antara beban/*stress* pada logam dan media yang korosif. Korosi ini dapat terjadi apabila beban yang diterima oleh logam melebihi suatu minimum *stress level*.

7. *Selective leaching*

Korosi ini berhubungan dengan melekasnya satu elemen dari campuran logam. Contoh yang paling mudah adalah desinification yang melepaskan zinc dari paduan tembaga.

2.4 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Korosi

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

1. Suhu

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

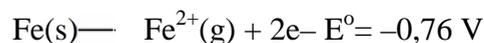
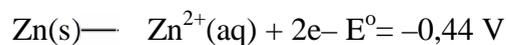
Aksi inhibitor diharapkan dapat membuat ketahanan logam terhadap korosi lebih besar. Dengan adanya penambahan inhibitor kedalam larutan, maka akan menyebabkan laju reaksi menjadi lebih rendah, sehingga waktu kerja inhibitor untuk melindungi logam menjadi lebih lama. Kemampuan inhibitor untuk melindungi 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 Proteksi Logam Dari Korosi

Korosi logam tidak dapat dicegah, tetapi dapat dikendalikan seminimal mungkin. Ada tiga metode umum untuk mengendalikan korosi, yaitu pelapisan (coating), proteksi katodik, dan penambahan zat inhibitor korosi.

1. Pengendalian Korosi dengan Metode Pelapisan (*Coating*)

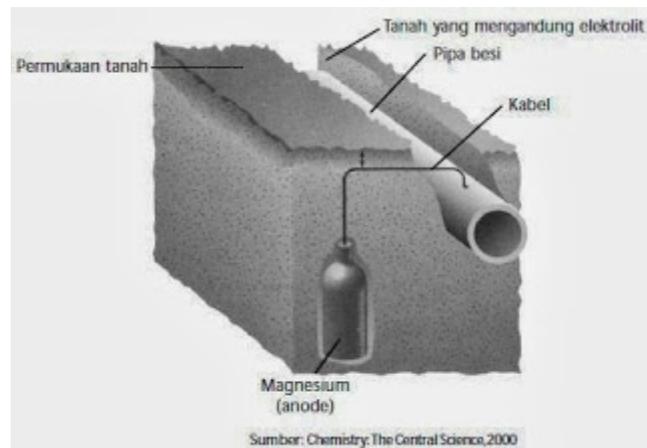
Metode pelapisan atau *coating* adalah suatu upaya mengendalikan korosi dengan menerapkan suatu lapisan pada permukaan logam besi. Misalnya, dengan pengecatan atau penyepuhan logam. Penyepuhan besi biasanya menggunakan logam krom atau timah. Kedua logam ini dapat membentuk lapisan oksida yang tahan terhadap karat (pasivasi) sehingga besi terlindung dari korosi. Pasivasi adalah pembentukan lapisan film permukaan dari oksida logam hasil oksidasi yang tahan terhadap korosi sehingga dapat mencegah korosi lebih lanjut. Logam seng juga digunakan untuk melapisi besi (galvanisir), tetapi seng tidak membentuk lapisan oksida seperti pada krom atau timah, melainkan berkorban demi besi. Seng adalah logam yang lebih reaktif dari besi, seperti dapat dilihat dari potensial setengah reaksi oksidasinya:



Oleh karena itu, seng akan terkorosi terlebih dahulu daripada besi. Jika pelapis seng habis maka besi akan terkorosi bahkan lebih cepat dari keadaan normal (tanpa seng). Paduan logam juga merupakan metode untuk mengendalikan korosi. Baja stainless steel terdiri atas baja karbon yang mengandung sejumlah kecil krom dan nikel. Kedua logam tersebut membentuk lapisan oksida yang mengubah potensial reduksi baja menyerupai sifat logam mulia sehingga tidak terkorosi (ASM Handbook).

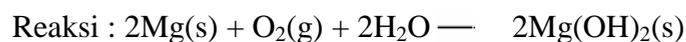
2. Pengendalian Korosi dengan Proteksi Katodik

Proteksi katodik adalah metode yang sering diterapkan untuk mengendalikan korosi besi yang dipendam dalam tanah, seperti pipa ledeng, pipa Pertamina, dan tanki penyimpanan BBM. Logam reaktif seperti magnesium dihubungkan dengan pipa besi. Oleh karena logam Mg merupakan reduktor yang lebih reaktif dari besi, Mg akan teroksidasi terlebih dahulu. Jika semua logam Mg sudah menjadi oksida maka besi akan terkorosi (Denny A. Jones, 1997).



Sumber : www.chemistry.blogspot.com

Gambar 2.6 Proses Katodik Menggunakan Logam Mg



Oleh sebab itu, logam magnesium harus selalu diganti dengan yang baru dan selalu diperiksa agar jangan sampai habis karena berubah menjadi hidroksidanya.

3. Pengendalian Korosi dengan Penambahan Inhibitor

Inhibitor adalah zat kimia yang ditambahkan ke dalam suatu lingkungan korosif dengan kadar sangat kecil (ukuran ppm) guna mengendalikan korosi. Inhibitor korosi dapat dikelompokkan berdasarkan mekanisme pengendaliannya, yaitu inhibitor anodik, inhibitor katodik, inhibitor campuran, dan inhibitor teradsorpsi. Pemakaian inhibitor dalam suatu sistem tertutup atau sistem resirkulasi, pada umumnya hanya dipakai sebanyak 0,1% berat. Inhibitor yang ditambahkan akan menyebabkan (Indocor) :

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

Cara inhibitor mereduksi laju korosi adalah sebagai berikut:

- a. Memodifikasi polarisasi katodik dan anodik (*Slope Tafel*)
- b. Mengurangi pergerakan ion ke permukaan logam.
- c. Menambah hambatan listrik dipermukaan logam
- d. Menangkap atau menjebak zat korosif dalam larutan melalui pembentukan senyawa yang tidak agresif.

Mekanisme kerja inhibitor dapat dibedakan sebagai berikut :

- 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, dan 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 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 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.

Secara umum inhibitor korosi dibagi atas beberapa kategori, yakni (www.scribd.com):

1. Inhibitor Anodik

Inhibitor anodik menurunkan laju korosi dengan cara memperlambat reaksi anodik. Inhibitor anodik membentuk lapisan pasif melalui reaksi ion-ion logam yang terkorosi untuk menghasilkan selaput pasif tipis yang akan menutupi anoda (permukaan logam) dan lapisan ini akan menghalangi pelarutan anoda selanjutnya. Lapisan pasif yang terbentuk mempunyai potensial korosi yang tinggi atau inhibitor anodik menaikkan polarisasi anodik. Senyawa yang biasa digunakan sebagai inhibitor anodik adalah kromat, nitrit, nitrat, molibdat, silikat, fosfat, borat.

2. Inhibitor Katodik

Inhibitor katodik menurunkan laju korosi dengan cara memperlambat reaksi katodik. Inhibitor katodik bereaksi dengan OH^- untuk mengendapkan senyawa-senyawa tidak larut pada permukaan logam sehingga dapat menghalangi masuknya oksigen. Contohnya antara lain Zn, CaCO_3 , polifosfat.

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 Teradsorpsi

Inhibitor teradsorpsi umumnya senyawa organik yang dapat mengisolasi permukaan logam dari lingkungan korosif dengan cara membentuk film tipis yang teradsorpsi pada permukaan logam. Contoh jenis inhibitor ini adalah merkaptobenzotiazol dan 1,3,5,7-tetraaza-adamantane.

2.6 Daun Jambu Biji (*Psidii Folium*)

2.6.1 Klasifikasi Daun Jambu Biji (*Psidii Folium*)

Jambu batu (*Psidium guajava*) atau sering juga disebut jambu biji, jambu siki dan jambu klutuk adalah tanaman tropis yang berasal dari Brazil, disebarkan ke Indonesia melalui Thailand. Jambu biji memiliki buah yang berwarna hijau dengan daging buah berwarna putih atau merah dan berasa asam-manis.

Daun jambu biji (*Psidii Folium*) berasal dari tanaman *Psidium guajava* L. (fam. *Myrtaceae*). Tanaman jambu biji merupakan tanaman daerah tropis dan dapat tumbuh dengan subur di daerah dengan intensitas curah hujan yang diperlukan berkisar antara 1000-2000 mm/tahun dan merata sepanjang tahun dengan ketinggian antara 5-1200 m dari permukaan laut. Tanaman jambu biji dapat tumbuh berkembang serta berbuah dengan optimal pada suhu sekitar 23-28°C di siang hari (Akhmad, 2007).

Tabel 2.2 Spesifikasi Tanaman Jambu Biji

Tanaman Jambu Biji (<i>Psidium Guajava</i>)	
<i>Kingdom</i>	<i>Plantae</i>
<i>Divisio</i>	<i>Spermatophyta</i>
<i>Kelas</i>	<i>Dicotylopsida</i>
<i>Ordo</i>	<i>Myrtales</i>
<i>Family</i>	<i>Myrtaceaea</i>
<i>Genus</i>	<i>Psidium</i>
<i>Species</i>	<i>Psidium Guajava</i>

Sumber : www.wikipedia.org (2014)



Sumber : www.wikipedia.org

Gambar 2.7 Daun Jambu Biji

Kandungan senyawa kimia pada daun tersebut meliputi alkohol, aldehida, hidrokarbon alifatik, alkohol aromatik, kadalena, kalsium, karbohidrat, beta kariofilena, kasuarinin, klorofil A, klorofil B, sineol, tanin terkondensasi, asam krategolat, asam 2-alfa-3 beta-dihidroksiurs- 12en28-oat, minyak atsiri, galiotanin, 4-gentiobiosida asam elagat, guajaverin, asam guajavolat, guavin A, guavin B, guavin C, guavin D, tanin yang dapat terhidrolisis, asam 2-alfa-hidroksi ursolat, unsur anorganik, isostriktinin, leukosianidin, limonena, lutein, asam mastinat, monoterpenoid, neo-beta-karotena U, nerolidol, asam oleanolat, asam oksalat, pedunkulagin, pigmen, kalium, asam psidiolat, kuersetin serta asam ursolat (Soegijanto, 2010: 9).

Tabel 2.3 Komposisi Senyawa Kimia Daun Jambu Biji

Komponen Daun Jambu Biji	Jumlah
Tanin	3-8 %
Kalori	49,00 kal
Vitamin A	25,00 SI
Vitamin B ₁	0,02 mg
Vitamin C	87,00 mg
Kalsium	14,00 mg
Hidrat Arang	12.200 mg
Fosfor	28,00 mg
Besi	1,10 mg
Protein	0,90 mg
Lemak	300 mg
Air	86.600 mg

Sumber : Wahid (2011)

2.6.2 Senyawa Tanin

Tanin merupakan komponen zat organik derivat polimer glikosida yang terdapat dalam bermacam-macam tumbuhan, terutama tumbuhan berkeping dua (dikotil). Monomer tanin adalah digallic acid dan D-glukosa dan memiliki rumus molekul $C_{76}H_{52}O_{46}$. Ekstrak tanin terdiri dari campuran senyawa polifenol yang sangat kompleks dan biasanya tergabung dengan karbohidrat rendah. Oleh karena adanya gugus fenol, maka tanin akan dapat berkondensasi dengan formaldehida (Westendarp).

X. Chen, et. al. (2008) melakukan studi terhadap tanin yang digunakan sebagai *conversion coating* pada paduan magnesium. Tanin juga telah disebut

sebagai konverter karat sejak keberadaannya mengubah karat aktif menjadi oksida *non-reactive protective*. Ross & Francis (1978) menemukan bahwa tannin mempercepat pembentukan fasa *magnetite* sebagai lapisan antikorosi. Sifat *protective* didapatkan dari reaksi komponen *polifenol* dari molekul *tannin* dengan *ion ferric* sehingga membentuk jaringan *cross-linked* padat yaitu *ferric-tannates*. P.O.eh, et. al. (2012) menentukan bahwa tanin melakukan mekanisme adsorpsi dengan membentuk *layer* pada permukaan *mild steel*.

Buah, daun dan kulit batang pohon jambu biji mengandung tanin, sedang pada bunganya tidak banyak mengandung tanin. Daun jambu biji juga mengandung zat lain selain tanin, seperti minyak atsiri, asam ursolat, asam psidiolat, asam kratogolat, asam oleanolat, asam guajaverin dan vitamin (Ipteknet, 2007).

Untuk senyawa tanin yang ada di dalam daun jambu biji ini cukup istimewa. Jenis tannin ini adalah Psiditanin yakni sekumpulan zat organik amorf dengan karakter asam dan mampu mengendapkan alkaloid dan juga glukosida. Hal ini yang menjadikan tanin jenis ini dipakai untuk menyamak dan untuk membuat tinta dan mengendapkan senyawa protein. Selain itu tanin juga dipakai sebagai senyawa anti-bakteri, penetral atau pengelat racun (absorbent), untuk melapisi dinding mokus di usus atau astringent, dan juga sebagai antispasmodik dan mengatasi kontraksi yang ada di otot usus (Yuliani, dkk).

2.6.3 Manfaat Daun Jambu Biji Daun Jambu Biji (*Psidii Folium*)

Daun jambu biji mengandung berbagai macam komponen yang berkhasiat untuk mengatasi penyakit demam berdarah dengue (DBD). Kelompok senyawa tanin dan flavonoid yang dinyatakan sebagai quersetin dalam ekstrak daun jambu biji dapat menghambat pertumbuhan virus berinti RNA. Daun jambu biji memang mengandung berbagai macam komponen. Berkaitan dengan itu telah dilakukan uji invitro ekstrak daun jambu biji di mana ekstrak tersebut terbukti dapat menghambat pertumbuhan virus dengue. Daun jambu biji juga bermanfaat untuk mengobati penyakit lainnya seperti diabetes melitus, maag, sakit perut (diare dan mencret), sakit perut atau diare pada bayi yang masih menyusui, masuk angin,

beser (sering kencing) berlebihan, prolapsisani, sariawan, sakit kulit, obat luka baru (Ipteknet, 2007).

2.6.4 Ekstrak Daun Jambu Biji (*Psidium Folium*) Sebagai Inhibitor Korosi

Umumnya inhibitor korosi berasal dari senyawa-senyawa organik dan anorganik yang mengandung gugus-gugus yang memiliki pasangan elektron bebas, seperti nitrit, kromat, fospat, urea, fenilalanin, imidazolin, dan senyawa-senyawa amina. Namun demikian, pada kenyataannya bahwa bahan kimia sintesis ini merupakan bahan kimia yang berbahaya, harganya mahal, dan tidak ramah lingkungan, maka sering industri-industri kecil dan menengah jarang menggunakan inhibitor pada sistem pendingin, sistem pemipaan, dan sistem pengolahan air produksi mereka, untuk melindungi besi/baja dari serangan korosi. Untuk itu penggunaan inhibitor yang aman, mudah didapatkan, bersifat *biodegradabele*, biaya murah, dan ramah lingkungan sangatlah diperlukan (www.wordpress.com).

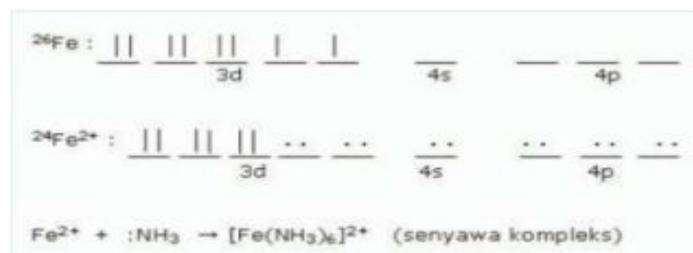
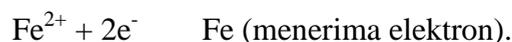
Inhibitor dari ekstrak bahan alam adalah solusinya karena aman, mudah didapatkan, bersifat *biodegradable*, biaya murah, dan ramah lingkungan. Ekstrak bahan alam khususnya senyawa yang mengandung atom N, O, P, S, dan atom-atom yang memiliki pasangan elektron bebas. Unsur-unsur yang mengandung pasangan elektron bebas ini nantinya dapat berfungsi sebagai ligan yang akan membentuk senyawa kompleks dengan logam dan baja. Ekstrak daun jambu biji diharapkan dapat efektif sebagai inhibitor pada sampel logam besi, tembaga, dan alumunium dalam medium larutan garam karena mengandung senyawa yang dapat menurunkan laju korosi pada logam besi dan baja (www.wordpress.com).

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 Fe^{2+} dengan medium korosif air laut yang mengandung ion-ion klorida yang terurai dari NaCl, $MgCl_2$, KCl akan bereaksi dengan Fe dan diperkirakan menghasilkan $FeCl_2$. Jika ion klorida yang bereaksi semakin besar, maka $FeCl_2$ yang terbentuk juga akan semakin besar, seperti tertulis dalam reaksi berikut (Gogot Haryono, 2010) :



Ion klorida pada reaksi diatas akan menyerang logam besi (Fe) sehingga besi akan terkorosi menjadi :

$2\text{Cl}^- + \text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{FeCl}_3$ dan reaksi antara 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 Fe^{2+} terdifusi ke dalam larutan elektrolit, reaksinya adalah:



Sumber : Gogot Haryono, dkk (2010)

Gambar 2.8 Mekanisme Proteksi

Produk yang terbentuk diatas mempunyai kestabilan yang tinggi dibanding dengan Fe saja, sehingga sampel besi/baja yang diberikan inhibitor ekstrak bahan alam akan lebih tahan (terproteksi) terhadap korosi.

2.7 Monitoring Korosi

Pengujian korosi dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama, yaitu :

1. Pengujian laboratorium, dimana kondisi dapat ditentukan dan dikontrol secara tepat.
2. Pengujian lapangan (pengujian pada lingkungan aslinya), dimana replika

sampel pengujian logam atau paduan yang disebut *coupon test* atau *specimen* terekspose ke kondisi lingkungan aktual dalam kondisi servis, misalnya atmosfer, tanah (ground), laut, dan sebagainya.

3. Pengujian saat aplikasi, dimana specimen pengujian yang biasanya mengambil bentuk komponen manufaktur terekspose ke sebagian kondisi yang digunakan, misalnya pada proses pengaliran di *plant* kimia.

2.8 Perhitungan Laju Korosi dan Efisiensi Inhibitor

2.8.3 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 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*) (Riastutui dkk, 2008).

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 (L. Caseres, 2007). 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 :

$$\text{Corrosion Rate} = \frac{K \times W}{A \times T \times D}$$

Keterangan :

K : Konstanta, dilihat pada Tabel 2.2

T : *Time of exposure* (hour)

A : Luas permukaan yang direndam (Cm²)

W : Kehilangan berat (gram)

D : Density (ρ) = $\frac{m}{P \times L \times T}$, gr/cm³

Tabel 2.4 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

Tabel 2.5 Konversi Perhitungan Laju Korosi

	mA cm ⁻²	mm year ⁻¹	mpy	g m ⁻² day ⁻¹
mA cm ⁻²	1	11,6	456	249
mm year ⁻¹	0,0863	1	39,4	21,6
Mpy	0,00219	0,0254	1	0,547
g m ⁻² day ⁻¹	0,00401	0,0463	1,83	1

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 2.6.

Tabel 2.6 Distribusi kualitas ketahanan korosi suatu material

<i>Relative corrosion resistance</i>	mpy	Mm/yr	μ m/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 kupon dari tempat pengujian, dan bentuk korosi yang tidak dapat dideteksi (L. Caceres, 2007).

2.8.4 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 presentase penurunan laju korosi dengan adanya penambahan dibandingkan dengan laju korosi yang tanpa ditambahkan inhibitor. Penghitungan ini dapat dijabarkan sebagai berikut :

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

Dimana : X_a : Laju korosi tanpa inhibitor (mpy)

X_b : Laju korosi dengan inhibitor (mpy)