

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korosi

Korosi adalah kerusakan atau degradasi logam akibat adanya interaksi antara logam dengan lingkungan yang korosif. Korosi dapat juga diartikan sebagai serangan yang merusak logam karena logam bereaksi secara kimia atau elektrokimia dengan lingkungan (Roberge, P. 1999).

Korosi dapat digambarkan sebagai sel galvani yang mempunyai “hubungan pendek” dimana beberapa daerah permukaan logam bertindak sebagai katoda dan lainnya sebagai anoda, serta “rangkaiian listrik” dilengkapi oleh rangkaian elektron menuju besi itu sendiri.

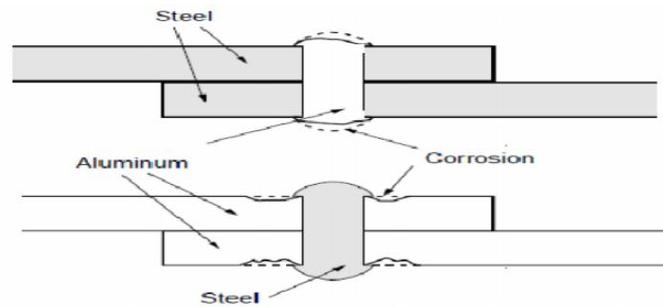
Berdasarkan bentuk kerusakan yang dihasilkan, penyebab korosi, lingkungan tempat terjadinya korosi, maupun jenis material yang diserang, korosi terbagi menjadi, diantaranya adalah:

1. Korosi umum/ *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 ketidak mampuan 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*

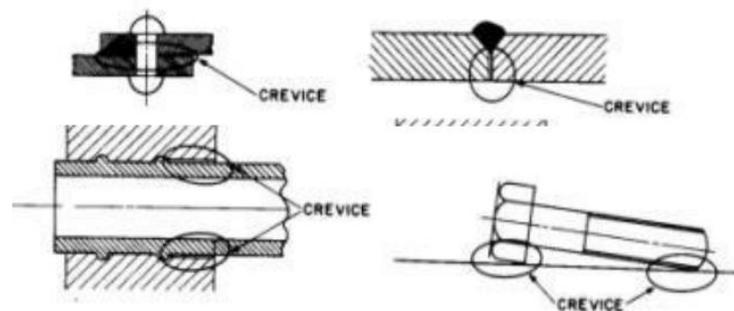
Merupakan korosi yang disebabkan adanya beda potensial antara dua logam yang berada pada fluida atau media konduktif dan korosif. Akibatnya, dengan ketahanan terhadap korosi yang rendah akan mengalami laju korosi lebih tinggi dibandingkan dengan logam yang memiliki ketahanan terhadap korosi tinggi. Pencegahan 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*.



Gambar 1. Mekanisme *Galvanic corrosion*

3. *Crevice corrosion*

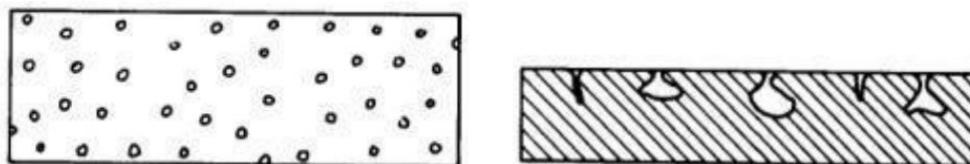
Merupakan korosi yang terjadi akibat adanya deposisi material pada celah-celah gasket, sambungan bertindih, sekrup-sekrup atau kelingan yang terbentuk oleh kotoran-kotoran endapan atau timbul dari produk-produk karat.



Gambar 2. Area potensi *Crevice Corrosion*

4. *Pitting corrosion*

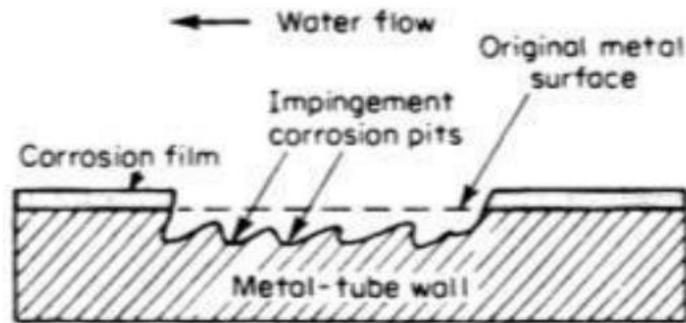
Merupakan fenomena korosi dimana proses korosi terjadi pada suatu area pada permukaan logam yang akhirnya menyebabkan terjadinya lubang pada permukaan tersebut. Korosi ini biasanya disebabkan oleh *chloride* atau *ion* yang mengandung *chlorine*. Korosi ini dapat dicegah dengan pemilihan material yang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



Gambar 3. *Pitting Corrosion*

5. *Erosion corrosion*

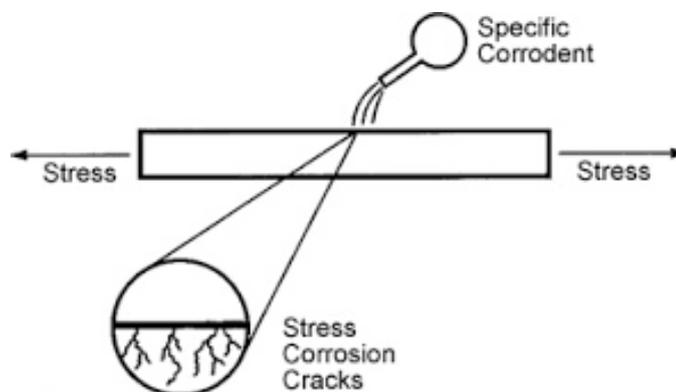
Merupakan korosi yang terjadi sebagai akibat dari tingginya pergerakan relatif fluida korosif terhadap permukaan logam. Proses ini umumnya berlangsung dengan adanya dekomposisi kimia atau elektrokimia pada permukaan logam.



Gambar 4. *Erosion Corrosion Pada Tube Condensor*

6. *Stress corrosion*

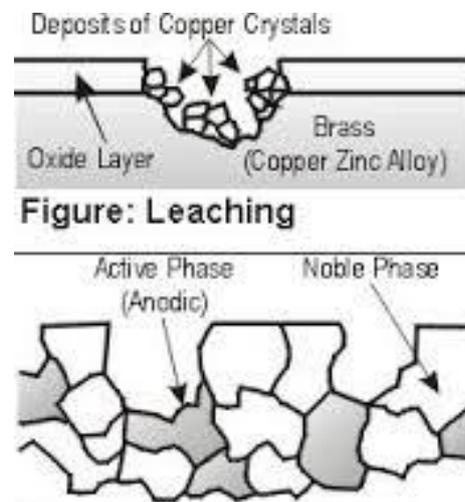
Merupakan korosi yang terjadi akibat kombinasi antara beban/ stress pada logam dan media yang korosif. Korosi ini dapat terjadi apabila beban yang diterima oleh logam melebihi suatu *minimum stress level*.



Gambar 5. *Stress corrosion*

7. *Selective leaching*

Korosi ini berhubungan dengan melepasnya satu elemen dari campuran logam. Contoh yang paling mudah adalah *desinification* yang melepaskan *zinc* dari paduan tembaga (Denny A. Jones, 1997).



Gambar 6. *Selective leaching*

2.1.1 Faktor – faktor yang Mempengaruhi Proses Korosi

Beberapa faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi proses pengkorosian pada besi antara lain, yaitu:

1. Suhu

Kenaikan suhu akan menyebabkan bertambahnya kecepatan korosi. Hal ini terjadi karena makin tinggi suhu maka energi kinetik dari partikel – partikel yang bereaksi akan meningkat sehingga melampaui besarnya harga aktivasi dan akibatnya laju kecepatan reaksi (korosi) juga akan semakin 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 semakin banyak yang lepas dan logam akan mengalami kerapuhan (Kirk Othmer, 1965).

3. Konsentrasi Bahan Korosif

Hal ini berhubungan dengan pH atau keasaman dan kebasahan 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 didalam udara dapat bersentuhan dengan permukaan logam yang lembab. Sehingga kemungkinan menjadi korosi lebih besar. Didalam air (lingkungan terbuka), adanya oksigen menyebabkan korosi (Djaprie, 1995).

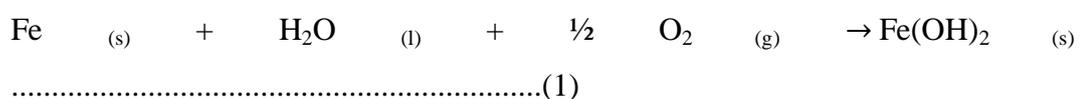
5. Waktu Kontak

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.

2.1.2 Mekanisme Terbentuknya Korosi

Secara umum mekanisme korosi yang terjadi di dalam suatu larutan berawal dari logam yang teroksidasi di dalam larutan, dan melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Larutan akan bertindak sebagai katoda dengan reaksi yang umum terjadi adalah pelepasan 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).

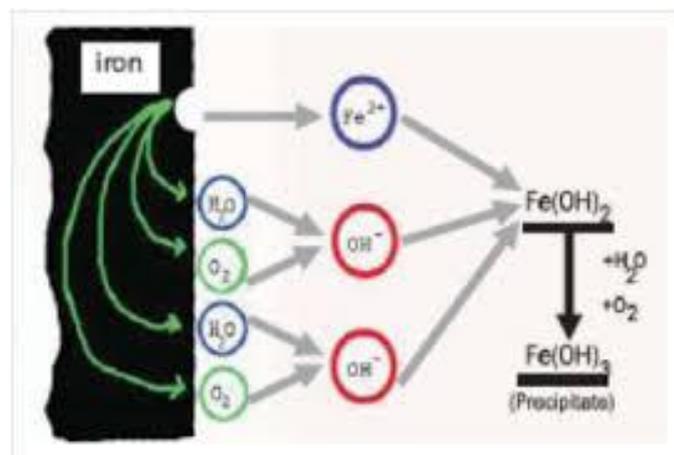
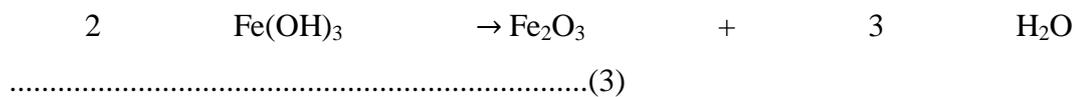
Mekanisme korosi yang terjadi pada logam besi (Fe) dituliskan sebagai berikut:



Fero Hidroksida $[\text{Fe}(\text{OH})_2]$ yang terbentuk merupakan hasil sementara yang dapat teroksidasi secara alami oleh air dan udara menjadi Ferri hidroksida $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$, sehingga mekanisme reaksi selanjutnya adalah:



Ferri Hidroksida yang terbentuk akan berubah menjadi Fe_2O_3 yang berwarna merah kecoklatan yang biasa kita sebut karat (Vogel, 1979). Reaksinya adalah sebagai berikut:



Gambar 7. Mekanisme korosi

2.2 Pengaruh Ion Klorida Terhadap Korosi

Korosi pada logam besi 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 *trigger* atau ion agresif karena kemampuannya yaitu menghancurkan lapisan pasif pada permukaan logam besi dan mempercepat laju korosinya. 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 perusak terhadap logam besi. Kebanyakan ion tersebut memiliki kemampuan untuk terserap di permukaan logam dan berinterferensi membentuk lapisan pasif.

Pitting corrosion 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. Logam besi akan terkorosi di dalam air yang mengandung klorida terutama dalam bentuk korosi *uniform* dibandingkan dalam bentuk *localized attack*. 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*.

2.3 Pengujian 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 terekspos 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 terekspos ke sebagian kondisi yang digunakan, misalnya pada proses pengaliran di plant kimia.

2.4 Proteksi Logam Besi 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.

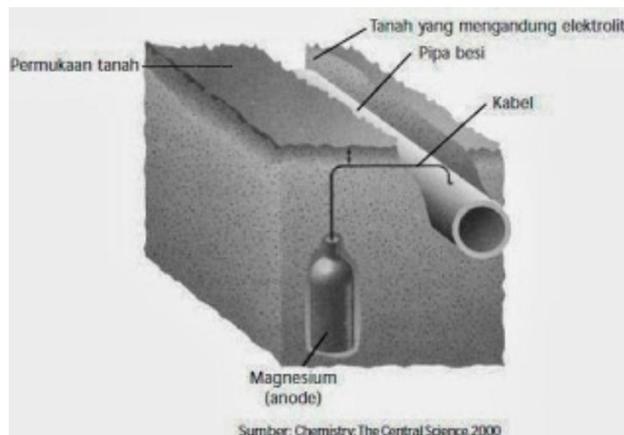


Gambar 8. Pengendalian Korosi dengan Metode Pelapisan (*Coating*)

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.

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).



Gambar 9. 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.

Ada dua metode utama perlindungan katodik yang berusaha untuk mencegah korosi ini dengan menyediakan alternatif sumber elektron. Dalam perlindungan galvanik, logam dengan potensial redoks lebih negatif dari logam yang akan dilindungi terhubung ke struktur dengan kawat terisolasi, membentuk anoda. Magnesium, dengan potensial redoks dari -2,38 volt sering digunakan untuk tujuan ini – logam lainnya yang umum digunakan adalah aluminium dan seng. Prosedur ini membentuk sebuah sel listrik dengan arus yang mengalir dari anoda ke struktur, yang bertindak sebagai katoda. Anoda kehilangan elektron dan berkarat; untuk alasan ini, diketahui sebagai “anoda korban.”

3. Pengendalian Korosi dengan Penambahan Inhibitor

Inhibitor sendiri didefinisikan sebagai suatu zat yang apabila ditambahkan dalam jumlah sedikit ke dalam lingkungan akan menurunkan serangan korosi lingkungan terhadap logam. Umumnya inhibitor korosi berasal dari senyawa-senyawa organik dan anorganik yang mengandung gugus – gugus yang memiliki pasangan elektron bebas, seperti nitrit, kromat, fosfat, urea, fenilalanin, imidazolin, dan senyawa-senyawa amina. 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.



Gambar 10. Penambahan *inhibitor* korosi

2.5 Proteksi Korosi Dengan Penambahan *Inhibitor*

Korosi dapat dikurangi dengan berbagai cara, salah satu caranya yang mudah dan murah yaitu dengan menggunakan *inhibitor*. *Inhibitor* adalah senyawa yang bila ditambahkan dengan konsentrasi yang kecil kedalam lingkungan elektrolit akan menurunkan laju korosi. *Inhibitor* dapat dianggap merupakan katalisator yang memperlambat (*retarding catalyst*).

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.

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.

Mekanisme kerja *inhibitor* 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 dan selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam serta melindunginya terhadap korosi. Endapan yang terjadi cukup banyak, sehingga lapisan yang terjadi dapat teramati oleh mata.
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 konstituen yang agresif dari lingkungannya.

Secara umum inhibitor korosi dibagi atas beberapa kategori, yakni:

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 Karakteristik Karat Besi

Besi adalah logam yang berasal dari bijih besi (tambang) yang banyak digunakan untuk kehidupan manusia sehari – hari. Dalam tabel periodik, besi mempunyai simbol Fe dan nomor atom 26.



Gambar 11. Bentuk fisik besi

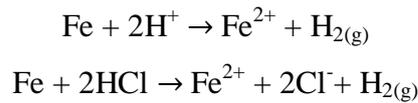
Besi juga mempunyai nilai ekonomis yang tinggi. Besi adalah logam yang paling banyak dan paling beragam penggunaannya. Hal ini dikarenakan beberapa hal, yaitu:

1. Kelimpahan besi dikulit bumi cukup besar
2. Pengolahannya relatif mudah dan murah
3. Besi mempunyai sifat – sifat yang menguntungkan dan mudah dimodifikasi.

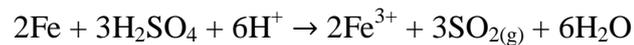
Salah satu kelemahan besi adalah mudah mengalami korosi. Korosi menimbulkan banyak kerugian karena mengurangi umur pakai berbagai barang atau bangunan yang menggunakan besi atau baja. Besi membentuk dua deret garam yang penting, yaitu:

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 dioksidasi 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.

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 :

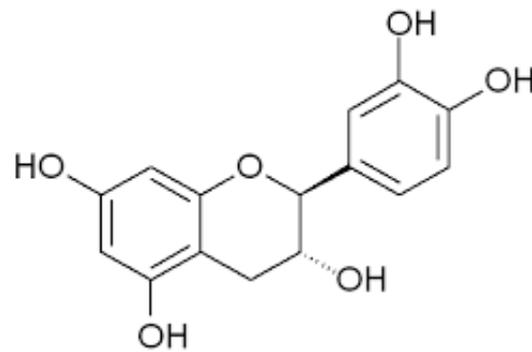


Selain itu, endapan putih besi (II) hidroksida ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) apabila bereaksi dengan atmosfer maka mudah bereaksi dengan oksigen yang pada akhirnya menghasilkan besi (III) hidroksida yang berwarna coklat-kemerahan. Pada kondisi biasa, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ tampak seperti endapan hijau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

2.7 Tanin

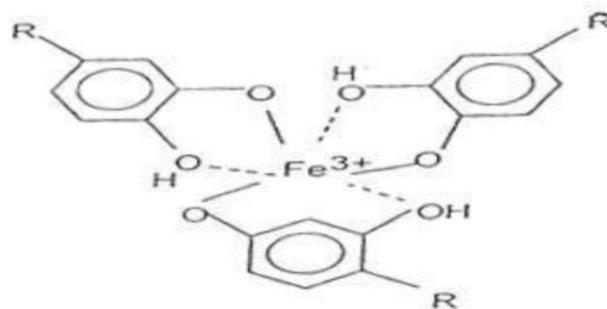
Secara umum tanin didefinisikan sebagai senyawa polifenol yang memiliki berat molekul cukup tinggi antara 500-3000 gr/ml dan dapat membentuk kompleks dengan protein. Senyawa-senyawa kompleks yang tersebar luas dalam dunia tumbuh-tumbuhan terdapat dalam jumlah besar pada daun, buah dan batang. Campuran senyawa polifenol, semakin banyak jumlah gugus fenolik maka semakin besar ukuran molekul tanin. Tanin berikatan kuat dengan protein & dapat mengendapkan protein dari larutan.

Tanin terdapat luas dalam tumbuhan berpembuluh, dalam *angiospermae* terdapat khusus dalam jaringan kayu. Menurut batasannya, tanin dapat bereaksi dengan protein membentuk *kopolimer* mantap yang tak larut dalam air. Dalam industri, tanin adalah senyawa yang berasal dari tumbuhan, yang mampu mengubah kulit hewan yang mentah menjadi kulit siap pakai karena kemampuannya menyambung silang protein.



Gambar 12. Struktur molekul tanin

Tanin dapat menghambat laju korosi karena tanin dapat membentuk senyawa kompleks besi dan tanin. Senyawa kompleks yang dibentuk oleh tanin nantinya akan melapisi logam dan berguna untuk menghambat laju korosi. Besi merupakan logam transisi, salah satu sifat unsur transisi adalah mempunyai kecenderungan untuk membentuk ion kompleks atau senyawa kompleks. Ion-ion dari besi memiliki orbital-orbital kosong yang dapat menerima pasangan elektron dari tanin menjadi d^2sp^3 . Berikut merupakan gambaran orbital besi (III) dan tanin.



Gambar 13. Struktur besi (III) dengan tanin

2.7.1 Sifat fisika dan sifat kimia tanin

1. Sifat Fisika.

Sifat fisika dari tanin adalah sebagai berikut :

- a. Apabila dilarutkan ke dalam air, tanin akan membentuk koloid dan akan memiliki rasa asam dan sepat. Apabila dicampur dengan alkaloid dan glatin, maka akan terbentuk endapan.
- b. Tanin tidak dapat mengkristal.

- c. Tanin dapat mengendapkan protein dari larutannya dan bersenyawa dengan protein tersebut sehingga tidak dipengaruhi oleh enzim proteolitik.

2. Sifat Kimia

Sifat kimia dari tanin adalah sebagai berikut :

- a. Tanin merupakan senyawa kompleks yang memiliki bentuk campuran polifenol yang sulit untuk dipisahkan sehingga sulit membentuk kristal.

- b. Sifat sebagai pengkhelet logam

Fenol yang ada pada tanin, dapat berguna sebagai khelat logam. Mekanisme atau proses pengkheletan akan terjadi sesuai dengan pola substitusi dan pH senyawa fenol itu sendiri. Hal ini biasanya terjadi pada tanin terhidrolisis, sehingga memiliki kemampuan untuk menjadi pengkhelet logam. Khelat yang dihasilkan dari tanin ini dapat memiliki daya khelat yang kuat dan dapat membuat khelat logam menjadi lebih stabil dan aman di dalam tubuh. Namun, dalam mengkonsumsi tanin harus sesuai dengan kadarnya, karena apabila terlalu sedikit (kadarnya rendah) tidak akan memberikan efek, namun apabila mengkonsumsi terlalu banyak (kadar tinggi) dapat mengakibatkan anemia karena zat besi yang ada dalam darah akan dikhelet oleh senyawa tanin tersebut.

2.7.2 Manfaat Tanin

Sebagai senyawa metabolit sekunder, tanin memiliki banyak manfaat dan kegunaan. Manfaat dan kegunaan tanin adalah sebagai berikut :

1. Sebagai anti hama untuk mencegah serangga dan fungi pada tanaman.
2. Sebagai pelindung tanaman ketika masa pertumbuhan dari bagian tertentu tanaman, misalnya pada bagian buah, saat masih muda akan terasa pahit dan sepat.
3. Sebagai adstringensia pada GI dan kulit.
4. Untuk proses metabolisme dari beberapa bagian tanaman.
5. Dapat mengendapkan protein sehingga digunakan sebagai antiseptik.
6. Sebagai antidotum (keracunan alkaloid).
7. Sebagai reagen pendeteksi gelatin, alkaloid, dan protein.

8. Sebagai penyamak kulit dan pengawet.

2.8 Tanaman Lamtoro (*Leucaena leucocephala*)

Lamtoro dikenal dengan nama latin *Leucaena leucocephala*. Tanaman ini mempunyai sebutan berbeda di tiap daerah, misal di daerah Jawa Barat dan Jawa Timur, tanaman ini disebut *temu gledek* atau *temu poh*, di Jawa Barat disebut dengan *koneng badas*, *koneng lalab*, *koneng pari* dan *koneng juho*. Di daerah Madura menyebut tanaman ini dengan *temu pao* (Kardinan, 2003).



Gambar 14. Daun Lamtoro

2.8.1 Klasifikasi tanaman Lamtoro (*Leucaena leucocephala*)

Klasifikasi tanaman Lamtoro (*Leucaena leucocephala*) menurut Cronquist, (1981) adalah:

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Classis	: Magnoliopsida
Sub classis	: Rosidae
Ordo	: Fabales
Familia	: Mimosaceae
Genus	: <i>Leucaena</i>
Spesies	: <i>Leucaena leucocephala</i>

2.8.2 Morfologi Tanaman Lamtoro (*Leucaena leucocephala*)

Lamtoro adalah pohon perdu, tinggi 20 meter. Meski kebanyakan hanya antara 5-10 meter. Percabangan rendah, banyak, dengan pepagan kecoklatan atau keabu-abuan, berbintil-bintil dan berlentisel. Ranting bulat torak, dengan ujung yang berambut rapat. Daun majemuk menyirip rangkap, sirip 3-10 pasang, kebanyakan dengan kelenjar pada poros daun tepat sebelum pangkal sirip terbawah, daun penumpu kecil, berbentuk segitiga. Anak daun tiap sirip 5-20 pasang, berhadapan, bentuk garis memanjang dengan ujung runcing dan pangkal miring (tidak sama), permukaannya berambut halus dan tepinya berjumbai (Siswanto, 2010).



Gambar 15. Tanaman Lamtoro

Bunga majemuk berupa bongkol (perbungaan capitulum) bertangkai panjang yang berkumpul dalam malai berisi 2-6 bongkol, tiap-tiap bongkol tersusun dari 100-180 kuntum bunga, membentuk bola berwarna putih atau kekuningan berdiameter 12-21 mm, di atas tangkai sepanjang 2-5 cm. bunga kecil-kecil, berbilangan 5, tabung kelopak bentuk lonceng bergigi pendek, berukuran 3 mm, mahkota bentuk solet berukuran 5 mm, lepas-lepas. Benangsari 10 helai berukuran 10 mm dan lepas-lepas. Buah polong bentuk pita lurus, pipih tipis, 14-26 cm x 1,5-2 cm, dengan sekat-sekat diantara biji, berwarna hijau saat muda dan coklat kering jika telah masak, memecah sendiri sepanjang kampuhnya. Berisi 15-30 biji yang terletak melintang dalam polongan, bulat telur terbalik, berwarna coklat tua mengkilap, berukuran 6-10 mm x 3-4,5 mm (Siswanto, 2010).

2.8.3 Kandungan Kimia Daun Lamtoro (*Leucaena leucocephala*)

Tabel 1. Kandungan Kimia Daun lamtoro

Kandungan Kimia Daun lamtoro	Jumlah kandungan
Abu	11%
Nitrogen	4,2%
Protein	25,9%
Serat kasar	20,4%
Kalsium	2,36%
Fosfor	0,23%
Beta karoten	536 mg/kg
Mimosin	8-12%
Tanin	10,15 mg/g

2.8.4 Manfaat Tanaman Lamtoro (*Leucaena leucocephala*)

Daun lamtoro (*Leucaena leucocephala*) digunakan oleh masyarakat sebagai pakan ternak dan mempunyai potensi besar untuk dikembangkan. Hal ini disebabkan karena lamtoro mudah ditanam, cepat tumbuh, produksi tinggi dan komposisi asam amino yang seimbang (Muelen,(1979). Sedangkan bijinya digunakan untuk lalapan saat makan ataupun sebagai campuran berbagai makanan. Di daerah Jawa Tengah, biji lamtoro (*Leucaena leucocephala*) digunakan sebagai campuran “bothok”. Batang lamtoro (*Leucaena leucocephala*) digunakan untuk membuat furniture atau dikumpulkan sebagai kayu bakar. Akar lamtoro (*Leucaena leucocephala*) mengandung bitil akar sehingga memiliki potensi besar untuk memperbaiki kesuburan tanah (Kustiawan, 2001).

2.9 Ekstraksi Daun Lamtoro

Ekstraksi merupakan metode pemisahan campuran dengan melarutkan bahan campuran dalam pelarut yang sesuai. Dasar metode pemisahan ini adalah perbedaan kelarutan bahan dalam pelarut tertentu. Tanin merupakan senyawa makromolekul dari golongan polifenol yang bersifat polar (Fengel dan Wegener, 1995), sehingga ekstraksi tanin dilakukan menggunakan pelarut polar.

Ekstraksi digolongkan ke dalam dua bagian besar berdasarkan bentuk fase yang diekstraksi yaitu ekstraksi cair-cair dan ekstraksi cair-padat. Ekstraksi cair-padat terdiri dari beberapa cara yaitu maserasi, perkolasi, dan ekstraksi

sinambung. Untuk ekstraksi tanin ini digunakan cara maserasi. Maserasi merupakan metode ekstraksi yang sederhana.



Gambar 16. Mekanisme maserasi

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 menggunakan metode ekstraksi ini, adalah metode dan peralatan yang digunakan sederhana dan mudah diusahakan (Cheong, dkk, 2005). Penekanan utama pada maserasi adalah tersedianya waktu kontak yang cukup antara pelarut dan jaringan yang diekstraksi (Guether, 1987).

Pemilihan metode maserasi pada penelitian ini dikarenakan senyawa katekin rentan terhadap panas sehingga tidak baik menggunakan metode soxhlet. Hal ini didukung oleh penelitian Cheong dkk (2005) bahwa konsentrasi senyawa katekin mengalami penurunan pada metode soxhlet dibandingkan dengan metode maserasi. Untuk memperoleh ekstrak dengan kualitas dan kuantitas yang tinggi, maka umumnya digunakan etanol atau metanol dengan perbandingan volume air yang sebanding (Browing, 1996).

2.10 Destilasi Daun Lamtoro

Destilasi atau penyulingan merupakan proses pemisahan campuran dengan penguapan yang diikuti pengembunan berdasarkan titik didih. Mula-mula campuran yang akan dipisahkan dipanaskan hingga di atas titik didih zat yang akan dipisahkan. Oleh karena zat yang akan dipisahkan memiliki titik didih yang lebih rendah dari pada larutan, maka zat tersebut akan menguap terlebih dahulu. Uap yang terbentuk kemudian didinginkan sehingga menjadi cairan. Cairan yang dihasilkan selanjutnya ditampung dalam suatu wadah sebagai distilat.



Gambar 17. Mekanisme destilasi

Pemisahan dengan metode distilasi dilakukan dengan cara memanaskan campuran sampai mencapai titik didih sehingga dihasilkan destilat dan residu. Untuk mendapatkan ekstrak tanin yang lebih pekat digunakan proses lanjut seperti proses destilasi.

2.11 Aplikasi Penggunaan *Inhibitor* Korosi Pada Peralatan Industri

Salah satu masalah penting yang dihadapi oleh kelompok industri - industri maju adalah korosi logam. Dari peristiwa korosi yang terjadi, dapat menimbulkan kerusakan yang mengakibatkan kerugian baik secara ekonomi maupun keamanan. Industri yang sering terkena dampak korosi contohnya yaitu pada industri migas dan petrokimia. Dalam sebuah industri migas, korosi merupakan problematika yang sering terjadi pada peralatan – peralatan di industri migas. Berbagai macam cara dilakukan dalam mengendalikan korosi tersebut. Salah satu metodenya

adalah penggunaan *inhibitor* korosi. Saat ini penggunaan *bio inhibitor* menjadi alternatif baru. *Bio inhibitor* berbahan alam ini dipilih sebagai alternatif karena sifatnya aman, biayanya yang murah, ramah lingkungan dan juga mudah didapat. Berikut alat - alat industri migas dan petrokimia yang sering terkena dampak korosi serta bagaimana cara pencegahannya dengan *inhibitor* korosi :

1. *Cooling tower*

Cooling tower merupakan salah satu peralatan industri yang sering terkena korosi dikarenakan langsung berhubungan dengan air sebagai pendingin. Korosi yang biasa terjadi pada sistem menara pendingin adalah korosi erosi dan korosi galvanik. Cara pencegahan korosi di *cooling tower* biasanya dengan menggunakan *corrosion inhibitor*.

2. Pipa

Pipa rentan sekali akan korosi karena pipa merupakan jalur transportasi bagi gas dan fluida yang akan masuk atau keluar dari proses. Korosi yang biasanya terjadi pada pipa adalah korosi erosi pada bagian dalam pipa dan korosi galvanik pada sambungan pipa. Cara pencegahan korosi yang bisa dilakukan adalah yang pertama dengan cara *coating* pada sambungan dan juga pada luar pipa selain itu juga jika memungkinkan dan tidak merusak gas atau fluida yang terdapat didalam pipa ada baiknya menggunakan *corrosion inhibitor*.

3. Reaktor

Reaktor berpotensi cukup besar untuk terjadinya korosi dikarenakan pada reaktor terjadi reaksi antara 2 atau lebih fluida atau gas. Kemungkinan terjadinya korosi akan menjadi cukup besar. Korosi yang terjadi pada reaktor kemungkinan berupa korosi sumuran, korosi galvanik, korosi erosi, dan korosi seragam. Pencegahan korosi pada reaktor adalah dengan cara menggunakan *inhibitor* korosi dan juga menggunakan cara pelapisan atau *coating*. Pada tahap yang sudah mengkhawatirkan biasanya langsung mengganti alat.

2.12 Perhitungan Laju Korosi dan Efisiensi *Inhibitor*

2.12. 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 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:

$$\text{Laju Korosi} = \frac{\text{Berat Awal} - \text{Berat Akhir}}{\text{Luas Plat Besi} \times \text{Waktu Perendaman}}$$

Tabel 2. 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	0,00219	1	0,547
G m⁻² day⁻¹	0,00401	0,0463	1,83	1

Bunga, 2008

Semakin besar laju korosi suatu logam maka semakin cepat material itu untuk terkorosi. Kualitas ketahanan korosi suatu material dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Distribusi kualitas ketahanan korosi suatu material.

Relative corrosion resistance	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+

Roni, 2011

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

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

Dimana: X_a = laju reaksi tanpa *inhibitor* (mm/y)

X_b = laju reaksi dengan *inhibitor* (mm/y)