

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korosi

2.1.1 Pengertian Korosi

Korosi merupakan suatu penurunan kualitas material logam yang disebabkan oleh reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungannya yang mengakibatkan terjadinya penurunan mutu logam menjadi rapuh, kasar, dan mudah hancur.. Akibat terjadinya peristiwa korosi karena adanya reaksi kimia dengan elektrokimia. Namun, terjadinya peristiwa korosi terdapat beberapa elemen utama yang harus dipenuhi agar reaksi tersebut dapat berlangsung [7].

Proses korosi pada logam tidak dapat dihentikan, namun hanya bisa dikendalikan atau diperlambat laju korosinya sehingga dapat memperlambat proses perusakannya. Oleh sebab itu, Korosi harus segera ditangani, karena jika tidak akan menimbulkan suatu masalah, seperti mengakibatkan kerugian baik secara ekonomi ataupun keamanan. Permasalahan korosi perlu mendapat perhatian serius, mengingat dua per tiga wilayah nusantara terdiri dari lautan dan terletak di daerah tropis dengan curah hujan tinggi dan kandungan senyawa klorida yang tinggi, dimana lingkungan seperti ini dikenal sebagai lingkungan korosif. (Nugroho, 2015).

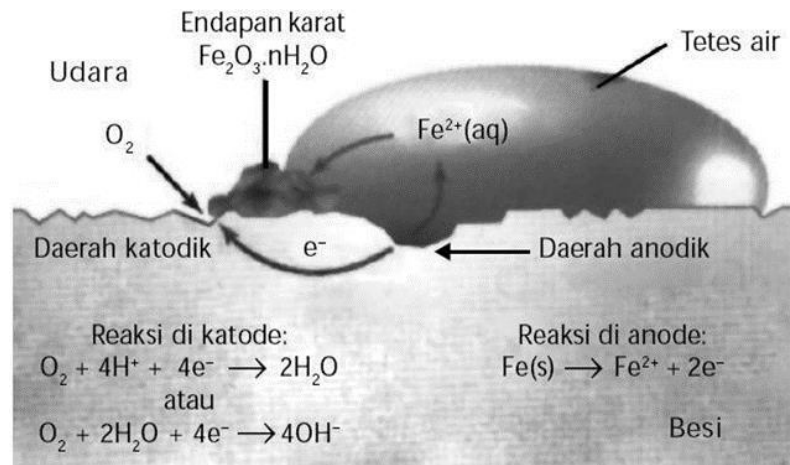
Korosi didefinisikan sebagai kehancuran atau kerusakan material karena adanya reaksi dengan lingkungan. Suatu kerusakan pada material (umumnya logam) disebut sebagai korosi dikarenakan reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungannya. Proses transfer elektron dari logam ke lingkungan maka akan terjadi korosi, dimana logam bertindak sebagai anoda dan lingkungan sebagai elektron. Proses korosi ini terjadi secara alamiah serta tidak dapat dicegah akan tetapi hanya dapat diperlambat dengan cara memperlambat laju korosinya. Proses korosi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu adanya zat terlarut, seperti O₂, dan CO₂, suhu, kelembaban udara, pH dan jenis logam (Gapsari, 2017: 5).

Secara umum reaksi korosi yang terjadi pada suatu larutan mulanya berawal dari suatu logam yang teroksidasi di dalam larutan kemudian melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Larutan akan bertindak sebagai katoda dengan reaksi yang umum terjadi adalah pelepasan H₂ dan reduksi

O_2 , akibat ion H^+ dan H_2O yang tereduksi. Reaksi ini terjadi di permukaan logam akibat pelarutan logam ke dalam larutan secara berulang-ulang sehingga menyebabkan pengelupasan (Apriliyanti, 2020: 94).

2.1.2 Mekanisme Korosi

Secara umum mekanisme korosi yang terjadi di dalam suatu larutan berawal dari logam yang teroksidasi 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 di permukaan logam yang akan menyebabkan pengelupasan akibat pelarutan logam ke dalam larutan secara berulang-ulang (Putrandi, 2017).



Gambar 2.1 Mekanisme Korosi (Putrandi, 2017)

Mekanisme terjadinya korosi membutuhkan beberapa komponen sebagai syarat terjadinya korosi, antar lain yaitu:

1. Anoda

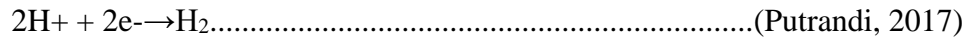
Anoda adalah bagian permukaan yang mengalami reaksi oksidasi atau terkorosi. Pada anoda ini logam terlarut dalam larutan dan melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Reaksi korosi suatu logam M dinyatakan dalam persamaan berikut (Putrandi, 2017):



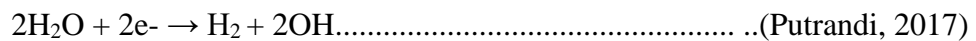
2. Katoda

Katoda adalah elektroda yang mengalami reaksi reduksi menggunakan elektron yang dilepaskan oleh anoda. Pada lingkungan air alam, proses yang sering terjadi adalah pelepasan H₂ dan reduksi O₂ (Putrandi, 2017).

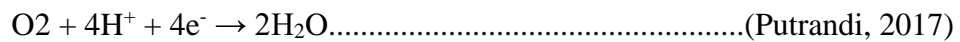
a) Pelepasan H₂ dalam larutan asam dan netral Evolusi hidrogen / larutan asam:



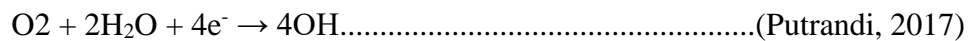
Reduksi air / larutan netral / basa:



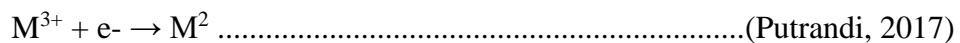
b) Reduksi oksigen terlarut dalam larutan asam dan netral : Reduksi oksigen / asam:



Reduksi oksigen / netral atau basa



c) Reduksi ion logam yang lebih elektronegatif



3. Elektrolit

Untuk mendukung suatu reaksi reduksi dan oksidasi, sertamelengkapi rangkaian elektrik, antara anoda dan katoda harus dilengkapi dengan elektrolit. Elektrolit menghantarkan arus listrik karena mengandung ion-ion yang mampu menghantarkan elektroequivalen force sehingga reaksi dapat berlangsung. Semakin banyak kandungan ion-ion dalam elektrolit maka semakin cepat elektrolit menghantarkan arus listrik. Elektrolit ini sendiri terdapat pada lingkungan dari suatu rangkaian elektrik. Beberapa lingkungan yang dapat bersifat katoda adalah lingkungan air, atmosfer, gas, mineral acid, tanah, dan minyak (Putrandi, 2017).

4. Hubungan arus listrik

Antara anoda dan katoda haruslah terdapat suatu hubungan atau kontak seperti listrik agar elektron dapat mengalir dari anoda menuju katoda (Putrandi, 2017).

2.1.3. Jenis-Jenis Korosi

Berdasarkan jenis reaksi jenis-jenis korosi antara lain yaitu:

2.1.3.1 Korosi merata (*Uniform Corrosion*)

Korosi merata adalah bentuk korosi elektrokimia yang terjadi dengan tingkat ekuivalen tinggi pada seluruh bagian permukaan yang diuji dan sering kali meninggalkan suatu kerak dibalik permukaan atau endapan. Korosi merata terjadi karena proses anodik dan katodik yang berlangsung pada permukaan logam terdistribusi secara merata. Ini terjadi karena adanya pengaruh dari lingkungan sehingga kontak yang berlangsung mengakibatkan seluruh permukaan logam terkorosi. Korosi ini dapat dicegah dengan penambahan inhibitor (katalisator negatif), perlindungan katodik dan pelapisan oleh material yang tepat. Gapsari,F., (2017)



Gambar 2.2 Korosi merata (Karyono dkk., 2017)

2.1.3.2 Korosi celah (*Crevice Corrosion*)

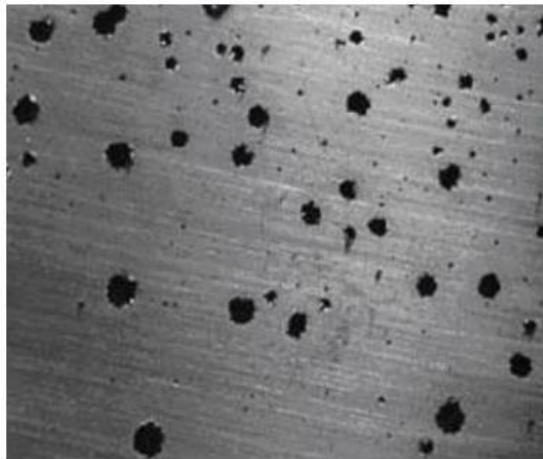
Korosi ini terjadi pada lingkungan agresif dalam celah/lubang atau daerah logam yang tersembunyi yang biasanya bersumber dari korosi merata yang mengakibatkan permukaan tidak rata kemudian oksigen dapat mengoksidasi logam sekitarnya sehingga terjadi korosi. Biasanya dipengaruhi oleh lingkungan asam kuat, garam dan basa. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan penambahan material tahan korosi dan penambahan inhibitor. (Gapsari, F., 2017)



Gambar 2.3 Korosi celah (Karyono dkk., 2017)

2.1.3.3 Korosi Sumuran

Korosi ini terjadi pada lubang permukaan yang tidak dilapisi atau tidak merata. Korosi jenis ini merupakan jenis korosi yang paling merusak dan berbahaya. Logam baja dan aluminium merupakan jenis logam yang paling rentan terhadap korosi sumuran (Gapsari, F., 2017)



Gambar 2.4 Korosi Sumuran (Rahmadtulloh, 2021)

2.1.3.4 Korosi Galvanik

Korosi ini terjadi karena dua logam yang memiliki potensial elektrokimia berbeda berada berdekatan yang menyebabkan anodik terkorosi dan katodik terlindungi. Korosi jenis ini dapat dikendalikan dengan pelapisan logam berdasarkan deret volta dan inhibitor (Gapsar, F., 2017)



Gambar 2.5 Korosi galvanik (Budi, 2009)

2.1.3.5 Korosi Erosi

Korosi ini terjadi karena pengikisan lapisan pelindung material dan pengaruh mekanik pada permukaan logam seperti gesekan. Korosi jenis ini dapat dikendalikan dengan pemilihan material, inhibitor, perlindungan katodik, pelapisan, perubahan lingkungan dan bentuk dari material (Gapsari, F., 2017)



Gambar 2.6 Korosi Erosi (Budi, 2009)

2.1.3.6 Korosi Lelah (*Fatigue Corrosion*)

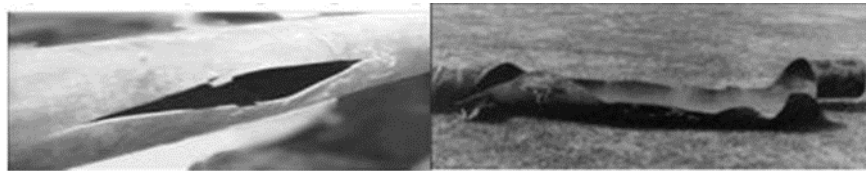
Korosi jenis ini dapat terjadi karena adanya beban yang diberikan tidak sesuai dengan tegangan luluhnya secara terus menerus sehingga terjadi retakan atau kelelahan pada logam. Faktor-faktor yang mempengaruhi korosi ini adalah oksigen, pH, temperatur dan komposisi larutan. Namun dapat di perlambat dengan mengurangi beban/tegangan pada logam serta pemberian inhibitor (Gapsari, F., 2017)



Gambar 2.7 Korosi Lelah (Budi, 2009)

2.1.3.7 *Stress corrosion cracking* (SCC)

Korosi jenis ini terjadi karena adanya tegangan yang mengakibatkan keretakan dan terjadi pada lingkungan yang korosif secara bersama-sama. Korosi terbentuk pada celah sempit (Gapsari, F., 2017)



Gambar 2.8 Korosi Retak Tegang (Syafei dkk., 2017)

2.1.3.8 Korosi Gesekan (*Fretting Corrosion*)

Korosi gesekan terjadi karena adanya gesekan pada konstruksi bergerak dan dapat terjadi pada lingkungan yang tidak korosif. Korosi ini sangat merugikan karena dapat merusak komponen logam dan menghasilkan oksida. Korosi jenis ini dapat diminimalisir dengan pemberian pelumas (Gapsari ,F., 2017)

2.1.4 Faktor-faktor Terjadinya Korosi

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

2.1.4.1 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)

2.1.4.2 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)

2.1.4.3 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)

2.1.4.4 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)

2.1.4.5 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).

2.1.5 Dampak Korosi

Korosi yang terjadi pada logam tidak dapat dihindari, tetapi hanya dapat dicegah dan dikendalikan sehingga struktur atau komponen mempunyai masa pakai yang lebih lama. Setiap komponen atau struktur mengalami tiga tahapan utama yaitu perancangan, pembuatan dan pemakaian. Ketidakberhasilan salah satu aspek seperti korosi menyebabkan komponen akan mengalami kegagalan. Kerugian yang

akan dialami dengan adanya korosi meliputi finansial dan safety, diantaranya (Sidiq, 2013):

1. Penurunan kekuatan material
2. Penipisan
3. Downtime dari equipment
4. Retak dan Lubang
5. Kebocoran fluida
6. Embrittlement
7. Penurunan sifat permukaan material
8. Penurunan nilai atau hasil produksi
9. Modification

(Sidiq, 2013)

2.1.6 Pencegahan Korosi

Menurut (Apriliyanti, 2020) korosi logam tidak dapat dicegah akan tetapi dapat dikendalikan atau diperlambat proses laju korosinya seminimal mungkin. Pengendalian korosi dapat dilakukan dengan berbagai metode yaitu pelapisan (*coating*), proteksi katodik, Proteksi Anodik dan penambahan bioinhibitor korosi.

2.1.6.1 Metode Pelapisan (*Coating*)

Metode pelapisan atau coating adalah metode yang dilakukan dengan cara pada permukaan logam atau material diberikan suatu lapisan, ini merupakan salah satu upaya bentuk pengendalian korosi. Misalnya dengan pengecatan atau penyepuhan logam. Timah atau krom merupakan bahan yang biasa digunakan pada penyepuhan besi. Kedua logam tersebut dapat membentuk lapisan oksida yang tahan akan serangan korosi sehingga dapat terlindungi dari korosi.

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 (Putrandi, 2017):



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 (Putrandi, 2017).

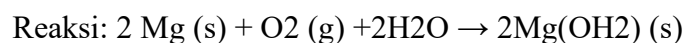
Jenis - jenis *coating* :

1. *Metallic coatings*
2. *Paint /organic coatings*
3. *Chemical conversion coatings*
4. *Miscellaneous coatings (enamel, thermoplastics)*

(Sidiq, 2013)

2.1.6.2 Metode Proteksi Katodik

Proteksi katodik adalah jenis perlindungan korosi dengan menghubungkan logam yang mempunyai potensial lebih tinggi ke struktur logam sehingga tercipta suatu sel elektrokimia dengan logam berpotensi rendah bersifat katodik dan terproteksi (Sidiq, 2013). Metode proteksi katodik adalah metode yang seringkali diterapkan untuk pengendalian korosi besi yang didalam tanah, seperti pipa ledeng, pipa Pertamina dan tanki penyimpanan BBM. Magnesium merupakan logam reaktif yang dihubungkan dengan pipa besi. Logam magnesium akan mengalami teroksidasi terlebih dahulu, karena magnesium merupakan reduktor yang lebih reaktif dari besi. Besi ini akan terkorosi apabila semua logam magnesium sudah menjadi oksida.



Oleh karena itu, penggantian logam magnesium harus dilakukan secara berkala dan diperiksa secara berkala agar jangan sampai logam magnesium tersebut habis karena berubah menjadi hidroksida.

2.1.6.3 Metode Proteksi Anodik

Proteksi Anodik (Anodic Protection) Adanya arus anodik akan meningkatkan laju ketidak-larutan logam dan menurunkan laju pembentukan hidrogen. Hal ini bisa terjadi untuk logam – logam “active-passive” seperti Ni, Fe,

Cr, Ti dan paduannya. Jika arus yang lewat logam dikontrol seksama (dengan potentiostat) maka logam akan bersifat pasif dan pembentukan logam-logam tak terlarut akan berkurang (Sidiq, 2013).

2.1.6.4 Metode Penambahan Bioinhibitor Korosi

Inhibitor adalah zat kimia yang dapat mengendalikan serangan korosi dengan cara menambahkan zat kimia tersebut ke dalam suatu lingkungan yang korosif dengan kadar yang relatif kecil. Inhibitor berdasarkan mekanisme pengendaliannya dikelompokkan menjadi empat bagian yaitu inhibitor anodik, inhibitor katodi inhibitor campuran dan inhibitor teradsorpsi. Inhibitor yang ditambahkan akan menyebabkan:

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

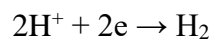
2.1.7 Inhibitor Korosi

Inhibitor korosi berdasarkan sumbernya dibedakan atas inhibitor organik dan anorganik. Pemilihan suatu inhibitor tidak hanya didasarkan pada kemampuannya dalam menghambat korosi dengan efisiensi yang tinggi, namun aspek tingkat toksisitas terutama bila diaplikasikan dalam industri makanan dan juga masalah pencemaran lingkungan perlu dipertimbangkan. Umumnya, inhibitor korosi berasal dari senyawa organik dan anorganik yang mengandung gugus-gugus yang memiliki pasangan elektron bebas, seperti nitrit, kromat, fosfat, urea, fenilalanin, imidazolin, dan senyawa-senyawa amina. Penggunaan inhibitor dengan senyawa kimia tersebut kurang efektif, karena harganya yang relatif mahal, mengandung bahan kimia yang berbahaya, dan tidak ramah lingkungan (Haryono dkk., 2010). Pertimbangan terhadap harga yang mahal dan tingkat toksisitas yang tinggi dari bahan kimia sintetik, mendorong dikembangkannya sumber alternatif inhibitor organik yang murah dan ramah lingkungan dari ekstrak bahan alam (Kayadoe, 2015). Salah satu alternatif ekstrak bahan alam khususnya senyawa yang mengandung atom N, O, P, S, dan atom-atom yang memiliki pasangan elektron bebas (Ludiana, 2012). Inhibitor biasanya berasal dari senyawa organik dan anorganik.

Sifat-sifat sebah elektrolit dapat diubah untuk membatasi agresifitas terhadap permukaan logam, ion-ion yang paling agresif yang dapat menyerang permukaan logam baja adalah ion-ion sulfat, tiosulfat, dan klorida. Untuk menghambat ion-ion agresif tersebut dapat ditambahkan inhibitor nitrit sehingga dapat mengurangi laju korosi pada permukaan logam, berdasarkan reaksi yang dihambat, maka inhibitor dibedakan menjadi :

2.1.5.1 Inhibitor Katodik

Inhibitor katodik ialah zat yang dapat menghambat terjadinya reaksi di katoda, karena pada daerah katodik terbentuk logam hidroksida yang sukar larut dan menempel kuat pada permukaan logam sehingga menghambat laju korosi. Dan karena adanya inhibitor katodik maka potensial korosi bergeser ke arah negative. Reaksi yang terjadi pada reaksi ini adalah :



Inhibitor katodik merupakan senyawa kimia yang mengendalikan korosi dengan cara menghambat salah satu tahap dari proses katodik, misalnya penangkapan gas oksigen (oxygen scavenger) atau pengikatan ion-ion hidrogen. Contoh inhibitor katodik adalah hidrazin, tannin, dan garam sulfit (Putrandi, 2017).

2.1.5.2 Inhibitor Anodik

Inhibitor anodik adalah zat yang ditambahkan ke dalam elektrolit, sehingga mampu menahan terjadinya reaksi anodik dioksida. Inhibitor ini berakibat potensial korosi bergerak ke arah positif. Contoh : kromat, nitrat, dan nitrit yang merupakan inhibitor anodik oksidator (efektif tanpa oksigen), sedangkan inhibitor non oksidator (efektif dengan adanya oksigen terlarut) seperti boraks, fosfat, silikat.

2.1.5.3 Inhibitor Campuran

Inhibitor campuran merupakan gabungan antara inhibitor anodik dan inhibitor katodik. Biasanya dalam inhibitor campuran mengandung salah satu bahan oksidator seperti kromat, nitrit, dan bahan non oksidator. Contoh aplikasi dari inhibitor campuran adalah senyawa kromat dan ortofosfat dalam air garam, senyawa kromat dan polifosfat sebagai inhibitor anodik dan katodik.

2.1.5.4 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 (Putrandi, 2017).

2.1.8 Bioinhibitor

Bioinhibitor atau yang biasa juga disebut inhibitor organik ataupun *green inhibitor* adalah inhibitor penghambat laju korosi yang terbuat dari ekstrak bahan alam. Penggunaan bioinhibitor menjadi salah satu pilihan alternatif, karena bersifat biodegradable, aman, biaya murah, ramah lingkungan, serta mudah didapat. Senyawa ekstrak bahan alam yang dijadikan inhibitor harus mengandung atom N, O, P, S, dan atom-atom yang memiliki pasangan elektron bebas yang mengandung makromolekul heterosiklik, yang ketika mencapai permukaan baja dengan difusi dan teradsorpsi pada antarmuka baja melalui interaksi molekuler sekunder dengan logam dan oksida logam, mereka dapat membentuk lapisan pelindung untuk menghilangkan molekul air dan menghambat masuknya spesies perusak yang dapat menyebabkan korosi (Abdulsada dkk., 2018).

2.1.9 Cara Penggunaan Inhibitor

Inihibitor korosi adalah bahan kimia yang diinjeksikan ke dalam sistem dengan tujuan untuk melapisi permukaan dalam pipa dengan lapisan anti korosi sehingga pipa terhindar dari korosi (IPS Engineering Standard, 1997). Inihibitor korosi biasanya diinjeksikan pada pipa, inlet vessel atau tanki, dan peralatan downhole. Jenis bahan yang digunakan berbeda-beda untuk penggunaan yang berbeda. Bahkan untuk sistem dengan keterbatasan kecepatan aliran sebaiknya digunakan alat bantu inisiator, seperti sprayer atau stringer (Hasan, 2013).

Penggunaan inihibitor korosi ada dua cara, yaitu injeksi secara terus menerus pada sistem atau dengan melakukan *batching* atau *pigging* (IPS Engineering Standard, 1997). Injeksi secara *batch* pada saat *pigging* digunakan terutama untuk pipa gas dimana bahan kimia dalam jumlah besar dimasukkan ke dalam pipa dan didorong dengan menggunakan *pig* sehingga seluruh permukaan pipa terlapisi oleh inihibitor korosi. Injeksi terus menerus digunakan untuk menjaga agar permukaan

yang terlapis tadi tetap terjaga sehingga tidak memberikan tempat bagi terbentuknya korosi.

Inihibitor korosi menggunakan satu dari tiga cara dalam proses kerjanya (IPS Engineering Standard, 1997):

- 1) Terakumulasi sebagai lapisan pelindung yang tipis pada permukaan logam.
- 2) Membentuk endapan yang akan melapisi logam.
- 3) Mengubah karakteristik lingkungan dengan membuang unsur-unsur pokok yang agresif.

2.1.10. Pengukuran Laju Korosi

Laju korosi merupakan mekanisme dimana logam dan oksigen mencapai kesetimbangan, beberapa logam teroksidasi pada laju yang rendah sehingga tidak dapat dideteksi tetapi ada juga logam yang terkorosi pada laju yang tinggi dan kecepatan korosi akan berubah sesuai dengan kondisi lingkungan, tetapi yang paling penting adalah pemasokan oksigen, pH dan hadirnya ion-ion agresif terutama oksida, belerang dan klorida. Komposisi logam, kondisi permukaan dan keadaan lingkungan sekitar dapat berpengaruh terhadap laju korosi. Ketika logam berada di medium air laju korosi memang tinggi tetapi kemudian turun secara konstan setelah terbentuknya lapisan oksida pada permukaan yang akan melindungi logam dari seragam korosi lebih lanjut.

Pengukuran laju korosi dilakukan untuk mengetahui prediksi berapa lama dan kapan suatu struktur itu bisa bertahan terhadap serangan korosi. Pengukuran dalam mengetahui prediksi tersebut disebut *corrosion monitoring*. Mengetahui laju korosi adalah salah satu aktivitas dari *corrosion monitoring*. Laju korosi merupakan pengukuran korosi yang perlu dilakukan untuk mengetahui prediksi berapa lama dan kapan suatu konstruksi atau material dapat bertahan. Dengan mengetahui laju korosi suatu material logam, maka dapat diketahui kualitas dari material logam tersebut (Siregar dkk., 2021).

Logam yang memiliki ketahanan korosi yang rendah akan mengalami laju korosi yang tinggi begitu pun sebaliknya, logam yang memiliki ketahanan korosi yang tinggi akan mengalami laju korosi yang rendah. Kecepatan penurunan atau kecepatan rambatan kualitas bahan terhadap waktu disebut laju korosi. Umumnya,

ada dua metode yang digunakan dalam menghitung laju korosi yakni Metode kinetika (kehilangan berat) dan Metode Elektrokimia (Siregar dkk., 2021).

2.1.11. Metode Kehilangan Berat (*Weight Loss*)

Prinsip *weight loss* adalah menghitung berapa banyak material yang hilang selepas pengujian dilakukan. Pengujian *Weight Loss* menggunakan standar (ASTM G31-72.1999). Metode ini dilakukan dengan cara menghitung berapa kekurangan berat akibat korosi yang terjadi dalam jangka waktu tertentu yang ditentukan. Metode kehilangan berat ini memanfaatkan jangka waktu sampai diperoleh jumlah kekurangan berat akibat korosi yang terjadi pada logam tersebut (Siregar dkk., 2021).

Perhitungan dilakukan dengan cara jumlah massa logam yang telah dibersihkan dari oksida dan jumlah massa tersebut dikategorikan sebagai massa awal, kemudian dihitung jumlah massa logam pada suatu lingkungan yang korosif seperti dilingkungan asam selama waktu tertentu (Siregar dkk., 2021). Untuk menghitung laju korosi dengan metode kehilangan berat akibat korosi digunakan rumus dari Standar ASTM G31-72.1999. Nilai konstanta tergantung dari pada satuan yang dipergunakan. Adapun nilai konstanta yang dipergunakan dapat dilihat pada Tabel 2.2.

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

$$CR \text{ (mpy)} = \frac{W \times K}{DAT}$$

(ASTM International, 1999)

Dimana :

CR = laju korosi (mpy)

W = berat yang hilang (gr)

K = konstanta laju korosi ($3,45 \times 10^6$)

D = densitas specimen / logam (gr/cm³)

A = luas permukaan (cm²)

T = Waktu Perendaman (jam)

Metode ini dilakukan dengan mengukur berat awal dan berat akhir setelah terjadi korosi dari benda uji (objek yang ingin diketahui laju korosi yang terjadi padanya). Metode kehilangan berat paling sering dipergunakan baik pada skala laboratorium maupun skala industri. Ini disebabkan metode ini menggunakan peralatan sederhana dan hasilnya akurat. Akan tetapi metode kehilangan berat ini juga memiliki kekurangan yaitu tidak bisa mengecek secara cepat jika terjadi perubahan saat proses korosi, korosi yang terjadi secara lokalisasi tidak bisa dilihat secara langsung tanpa adanya pemindahan spesimen dari lokasi pengujian. Perhitungan tidak bisa diprediksi secara langsung dari peralatan yang digunakan, dan bentuk korosi yang tidak bisa dideteksi secara langsung (Siregar dkk., 2021).

Untuk mengetahui kemampuan inhibitor yang digunakan maka dapat digunakan persamaan berikut :

$$EI (\%) = \frac{CRO \times CRI}{CRO} \times 100\%$$

Dimana,

EI : efisiensi inhibisi (%)

Cro : laju korosi tanpa penambahan inhibitor (mmpy)

Cri : laju korosi dengan penambahan inhibitor (mmpy)

Tabel 2.1 Konstanta (K) pada Rumus Variasi Laju Korosi

Variasi unit laju korosi	Konstanta (K)
Mils per year (mpy)	$3,45 \times 10^6$
Inches per year (ipy)	$3,45 \times 10^3$
Milimeters per year (mm/y)	$8,76 \times 10^4$
Picnometers per second (pm/y)	$2,78 \times 10^6$
Micrometers per year ($\mu\text{m}/\text{y}$)	$8,76 \times 10^7$

(Siregar dkk., 2021)

Kerusakan meterail yang diakibatkan oleh korosi umumnya dinyatakan dengan laju penetrasi yang ditunjukkan sebagai berikut:

Tabel 2.2. Laju Penetrasi Korosi

Ketahanan relatif korosi	mpy	Mm/yr	$\mu\text{m/yr}$	nm/h
Sempurna	<1	<0.03	<25	<2
Baik sekali	1-5	0.02-0.1	25-100	2-10
Baik	5-20	0.1-0.5	100-500	10-50
Sedang	20-50	0.5-1	500-1000	50-150
Rendah	50-200	1-5	1000-5000	150-500
Sangat rendah	200+	5+	5000+	500+

(Siregar dkk., 2021)

2.2 Metode Maserasi

Maserasi merupakan metode ekstraksi dengan proses perendaman bahan dengan pelarut yang sesuai dengan senyawa aktif yang akan diambil dengan pemanasan rendah atau tanpa adanya proses pemanasan. Faktor-faktor yang mempengaruhi ekstraksi antara lain waktu, suhu, jenis pelarut, perbandingan bahan dan pelarut, dan ukuran partikel. Ekstraksi dengan metode maserasi memiliki kelebihan yaitu terjaminnya zat aktif yang diekstrak tidak akan rusak (Pratiwi, 2010). Pada saat proses perendaman bahan akan terjadi pemecahan dinding sel dan membran sel yang diakibatkan oleh perbedaan tekanan antara luar sel dengan bagian dalam sel sehingga metabolit sekunder yang ada dalam sitoplasma akan pecah dan terlarut pada pelarut organik yang digunakan (Novitasari & Putri, 2016).

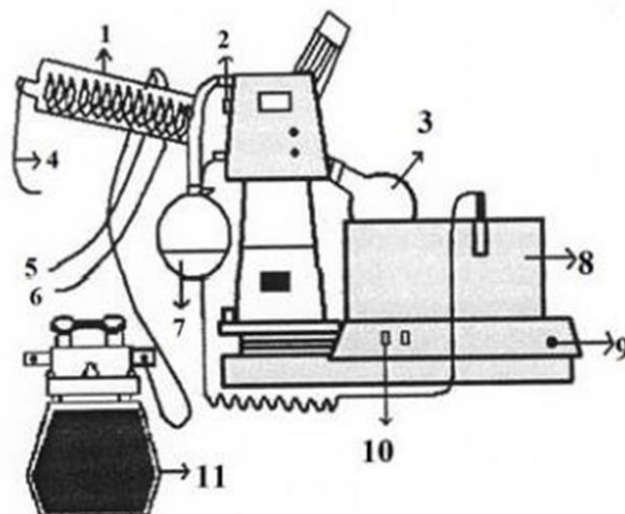
Maserasi merupakan metode ekstraksi dengan menggunakan pelarut diam atau dengan adanya pengadukan beberapa kali pada suhu ruangan. Metode ini dapat dilakukan dengan cara merendam bahan dengan sekali-sekali dilakukan pengadukan agar dapat mempercepat kontak antara sampel dan pelarut. Pelarut yang digunakan adalah golongan alcohol atau terkadang menggunakan air.

Pada umumnya, proses ekstraksi secara maserasi akan semakin baik bila permukaan serbuk simplisia yang bersentuhan dengan pelarut semakin luas. Semakin halus serbuk simplisia maka akan semakin baik ekstraksinya. Selain luas bidang, ekstraksi juga dipengaruhi oleh sifat fisik dan kimia simplisia yang bersangkutan. Setelah dilakukan proses maserasi, campuran ini kemudian disaring dan ampas yang diperoleh diperas untuk memperoleh bagian cairannya saja. Cairan yang diperoleh kemudian dijernihkan dengan penyaringan atau dekantasi setelah

dibiarkan selama waktu tertentu (Kumaro, 2015). Larutan dipekatkan dengan menggunakan *rotary vacuum evaporator* sehingga diperoleh ekstrak pekat. Proses evaporasi ini dilakukan untuk memekatkan ekstrak dan memisahkan antara pelarut dan senyawa aktif dalam bahan. Pemekatan dengan menggunakan bantuan *rotary vacuum evaporator* akan menurunkan tekanan uap pelarut, sehingga pelarut akan menguap dibawah titik didih normalnya.

2.2.1 Rotary Vacum Evaporator

Rotary vacum evaporator adalah alat dengan sistem vakum yang berfungsi menurunkan tekanan di sekitar cairan sampel yang akan menurunkan titik didih dari komponen dalam cairan atau larutan tersebut. *Rotary evaporator* sederhana pertama kali ditemukan oleh Lyman C. Craig yang kemudian dipasarkan secara komersil oleh perusahaan Buchi pada tahun 1957 (Laurence dan Christopher, 1989). *Rotary evaporator* digunakan pada komponen pelarut yang akan dihilangkan dari sampel setelah ekstraksi segera setelah isolasi dari produk ekstrak tersebut. Dengan *rotary evaporator* akan didapatkan cara penguapan pelarut tanpa pemanasan berlebih dan terhindar dari resiko merusak sampel yang biasanya merupakan molekul kombinasi yang sensitif dan kompleks antara pelarut dan zat terlarutnya. *Rotary evaporator* diterapkan untuk memisahkan pelarut yang telah diturunkan titik didihnya dengan komponen yang akan berwujud padat pada suhu dan tekanan kamar (Laurence dan Christopher, 1989).



Gambar 2.9 Alat Rotary evaporator (Ariyani dkk., 2017)

2.2.2 Etanol

Etanol disebut juga etil alkohol dengan rumus kimia C_2H_5OH atau CH_3CH_2OH dengan titik didihnya $78,4^\circ C$. Etanol memiliki sifat tidak berwarna, volatil dan dapat bercampur dengan air (Kartika dkk., 1997). Secara garis besar penggunaan etanol adalah sebagai pelarut untuk zat organik maupun anorganik, bahan dasar industri asam cuka, ester, spiritus, dan asetaldehid. Selain itu etanol juga digunakan untuk campuran minuman serta digunakan sebagai bahan bakar yang terbarukan (Endah dkk, 2007). Pembuatan etanol dalam industri ada 2 macam yaitu: 1) cara non fermentasi (sintetik), suatu proses pembuatan alkohol yang tidak menggunakan enzim ataupun jasad renik, 2) cara fermentasi, merupakan proses metabolisme dimana terjadi perubahan kimia dalam substrat karena aktivitas enzim yang dihasilkan oleh mikroba (Endah dkk, 2007).

2.3. Sawo (*Manilkara Zapota*)

Sawo (*Manilkara zapota*) adalah tanaman buah yang termasuk dalam famili Sapotaceae yang berasal dari Amerika Tengah dan Meksiko. Tanaman sawo termasuk tumbuhan tropis yang mudah beradaptasi pada berbagai suhu, curah hujan, tanah, dan salinitas tanah (Balai Penelitian Tanah, 2008). Tanaman sawo sudah banyak dibudidayakan di berbagai negara termasuk di Indonesia, sawo banyak diusahakan di lahan pekarangan dan sangat mudah dijumpai di pasaran (Nastasha dan Mufti, 2017).

Adapun klasifikasi tanaman sawo (*Manilkara zapota*) sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Ericates
Family	: Sapotaceae
Genus	: Manilkara
Spesies	: Manilkara zapota (Dalimartha, 2006)



Gambar 2.10 Daun Sawo (*Manilkara zapota*)

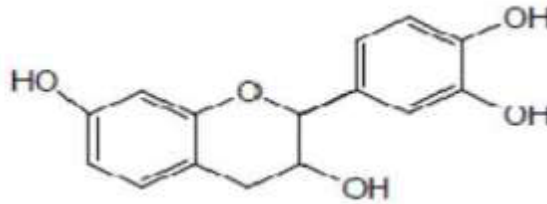
Tanaman sawo memiliki potensi sebagai alternatif obat herbal dalam kehidupan sehari-hari. Buah muda, kulit batang, dan daun sawo secara tradisional digunakan masyarakat sebagai obat anti diare. Bunga dari tanaman ini bisa dibuat menjadi bubuk parem untuk wanita pasca melahirkan. Manfaat lain juga ada pada daun, daun sawo bisa menjadi obat alternatif pereda demam, pendarahan, luka, sariawan, maupun bisul (Juwita, 2013).

Hampir seluruh bagian dari tanaman sawo dapat dimanfaatkan, mulai dari buah, batang hingga daun. Buah, batang dan daun sawo dijadikan obat tradisional karena di dalamnya terdapat zat-zat aktif yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri maupun jamur. Berdasarkan penelitian hasil dari skrining fitokimia ekstrak daun sawo manila positif mengandung alkaloid, flavonoid, tanin dan saponin. Senyawa tanin dapat berfungsi sebagai zat anti korosi Yang dapat membantu melindungi plat besi karena sifat daya adsorpsinya yang tinggi. (Prihardini, 2021).

2.3.1 Tanin

Tanin merupakan salah satu senyawa organik yang berpotensi sebagai inhibitor korosi. Tanin diduga memiliki potensi sebagai inhibitor korosi logam karena selain sifatnya yang dapat membentuk kompleks dengan logam juga merupakan senyawa organik ramah lingkungan. Tanin merupakan senyawa polifenol alam yang banyak terkandung dalam berbagai tumbuh-tumbuhan di Indonesia dengan struktur sangat besar membentuk makromolekul dan mengandung banyak gugus hidroksi (-OH) sehingga menjadi dasar pijakan bahwa tanin diharapkan memiliki potensi sebagai inhibitor korosi pada logam. Hal ini juga

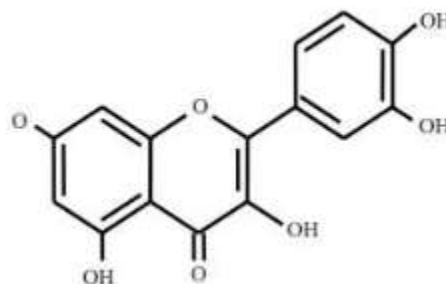
diperkuat oleh sifat tanin yang mampu menyerap logam–logam berat, transisi, dan bahkan uranium (Rochmat, dkk., 2016).



Gambar 2.8 Kerangka struktur kimia Tanin (Ashari, 2013)

2.3.1 Flavonoid

Flavonoid termasuk dalam golongan senyawa phenolik dengan struktur kimia C₆-C₃-C₆. Senyawa flavonoid yang terkandung di dalam ekstrak tumbuhan yang mempunyai banyak peranan penting yaitu salah satunya memperlambat laju korosi. Berdasarkan struktur molekulnya senyawa ini memiliki pasangan elektron bebas dan ikatan rangkap sebagai medium bagi inhibitor untuk berinteraksi dengan logam besi (Redha, 2019).



Gambar 2.9 Kerangka struktur kimia Flanovoid (Redha, 2019)

2.3.1 Alkaloid

Alkaloid merupakan jenis senyawa yang memiliki 1 atom N dan bersifat basa. Sifat ini bergantung pada pasangan elektron bebas. Jika gugus fungsional saling berdekatan maka akan menarik elektron bebas sehingga mengurangi elektron bebas dari reaksi anoda pada logam. Alkaloid juga mudah mengalami perubahan terutama jika dipengaruhi oleh temperatur dan sangat mudah larut dalam larutan organik. Tanin, alkaloid, steroid dan saponin merupakan senyawa antioksidan yaitu senyawa yang dapat menghambat reaksi oksidasi dengan menangkap elektron bebas (Handayani dkk, 2018).

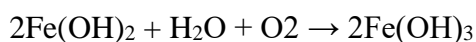
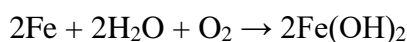
2.4. Besi

Besi adalah logam yang paling banyak terdapat di alam. Besi juga diketahui sebagai unsur yang paling banyak membentuk pada bumi, yaitu kira-kira 4,7 - 5% pada kerak bumi. Besi adalah logam yang dihasilkan dari bijih besi dan jarang dijumpai dalam keadaan bebas, kebanyakan besi terdapat dalam batu-batuan dan tanah sebagai oksida besi, seperti oksida besi magnetit (Fe_3O_4) mengandung besi 65%, hematit (Fe_2O_3) mengandung 60 - 75% besi, limonit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) mengandung 20% besi dan siderit (Fe_2CO_3) mengandung 10% besi [1]. Dalam kehidupan, besi merupakan logam paling biasa digunakan dari pada logam-logam yang lain sebagai paduan logam. Hal ini disebabkan karena harga yang murah dan kekuatannya yang baik serta penggunaannya yang luas. Besi juga merupakan logam terpenting dalam industri. Oleh karena itu, besi dalam industri selalu dipadukan dengan baja. Baja adalah berbagai macam paduan logam yang dibuat dari besi tuang kedalamnya ditambahkan unsur-unsur lain seperti Mn, Ni, V, atau W tergantung keperluannya.

2.4.1 Baja Karbon

Baja karbon rendah adalah baja yang memiliki kadar karbon kurang dari sama dengan 0,25% dan biasanya digunakan dalam aplikasi pipa saluran air. Untuk meningkatkan sifat-sifat mekanisnya diperlukan penambahan paduan lain. Baja terdiri dari beberapa fasa dan terdapat ketidakhomogenan pada permukaannya, sehingga menyebabkan sel elektrokimia lokal. Hal tersebut menyebabkan rendahnya ketahanan korosi pada baja karena reduksi katodik mudah untuk terjadi sehingga menyebabkan porous sebagai produk korosi dan tidak terbentuk produk sampingan seperti lapisan pasif (Roberge, 2000)

Produk korosi yang dihasilkan pada baja antara lain:



Penambahan elemen paduan pada baja karbon rendah seperti Cu, Ni, dan Cr, dapat meningkatkan ketahanan baja pada karbon rendah terhadap korosi. Sedangkan penambahan unsur seperti Si, Ti, S, Se, dan C akan menurunkan ketahanan terhadap korosi (ASM Handbook, 2005).

2.5. Air Laut

Air laut mempunyai sifat asin, karena mengandung garam NaCl. Kadar garam NaCl dalam air laut 3%. Dengan keadaan ini, maka air laut tak memenuhi syarat untuk air minum. Mekanisme korosi dalam air laut tidak berbeda dengan mekanisme korosi lingkungan basah lainnya, yaitu mekanisme elektrokimia. Hal ini mengandung konsekuensi terjadinya serangan korosi terhadap pelat lambung kapal. Korosi pada plat lambung kapal dapat mengakibatkan penipisan permukaan plat sehingga menurunkan kekuatan dan umur pakai. Korosi dapat menimbulkan beberapa kerugian diantaranya : kerugian ekonomi, sumber daya alam dan bahkan dapat membahayakan bagi manusia.

Tabel. 2.3 Komposisi Kimia Air Laut

No	Senyawa	Persen Berat (%)
1	NaCl	2,88
2	MgCl ₂	0,32
3	MgSO ₄	0,22
4	CaSO ₄	0,12
5	KCl	0,07
6	NaBr	0,008
7	H ₂ O	96,582

Sumber : Haryono (2010)

Air laut sangat mempengaruhi laju korosi dari logam yang dilaluinya atau yang kontak langsung dengannya, hal ini dikarenakan air laut mempunyai konduktivitas yang tinggi dan memiliki ion klorida yang dapat menembus permukaan logam. Besarnya pH pada permukaan air laut bervariasi antara 7,8 -8,3 dan merupakan fungsi dari kedalaman; pH biasanya bergerak minimum dengan naiknya kedalaman laut. Air laut merupakan lingkungan yang korosif untuk besi dan baja terutama karena resistifitas air laut sangat rendah (+25 Ω -cm) dibandingkan resistifitas air tawar (+4000 Ω -cm). Proses korosi air laut merupakan proses elektro kimia.