

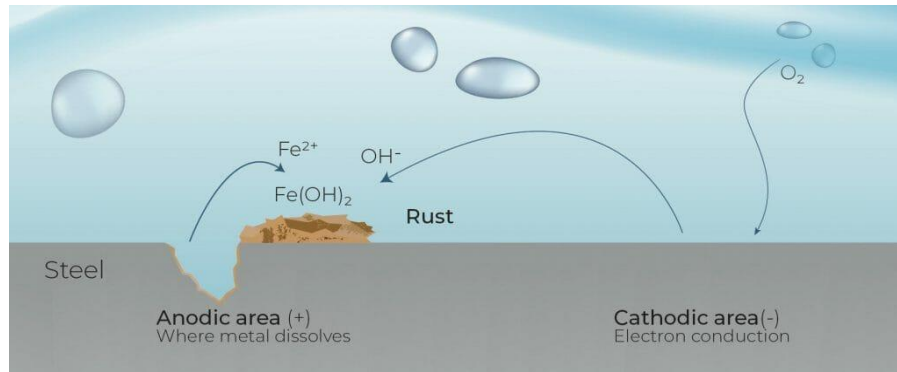
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Korosi

Secara luas, korosi dapat diartikan sebagai penurunan sifat-sifat yang berguna dari material/bahan ketika mereka berinteraksi dengan lingkungannya. Material-material ini dapat berupa logam dan paduannya, komposit, polimer, keramik, dan lain lain. Istilah “kerusakan” atau penurunan sifat-sifat yang berguna dari material secara khusus mengacu pada reaksi kimia yang tidak diinginkan antara bahan-bahan ini dan lingkungannya yang mengandung cairan, gas, garam, dan lain lain. Korosi umumnya dikenal sebagai “karat”. Namun, kata “berkarat” lebih tepat digunakan untuk korosi yang terjadi pada besi (Dhawan, 2020).

Logam besi dan paduannya merupakan material yang paling umum digunakan untuk merancang berbagai komponen struktural, sehingga penggunaannya tidak lepas dari ancaman korosi. Korosi terjadi dan berlangsung secara spontanitas/alami. Hampir setiap logam memiliki kecenderungan untuk berubah menjadi keadaan oksidanya yang stabil. Korosi merupakan masalah yang terjadi secara global, karena kerugian akibat korosi sangat besar, dan berdampak buruk pada perekonomian organisasi pada khususnya dan negara pada umumnya. Sama seperti bencana alam lainnya, korosi juga dapat menyebabkan kerusakan besar pada jembatan, bangunan, jaringan pipa gas/minyak bumi, komponen struktural industri, mobil, peralatan rumah tangga, sistem air minum, dan lainnya (Dhawan, 2020).

Sedangkan definisi korosi yang dijabarkan oleh *American Society for Testing and Material's Corrosion Glossary*, korosi merupakan proses reaksi dari sebuah materi (umumnya material) dengan zat-zat sekitarnya (biasanya lingkungan atau media korosif) berupa reaksi kimia ataupun reaksi elektrokimia yang menyebabkan material kehilangan elektronnya dan pada akhirnya logam tersebut kehilangan kualitasnya.



Sumber: <https://cathwell.com/what-is-corrosion/>

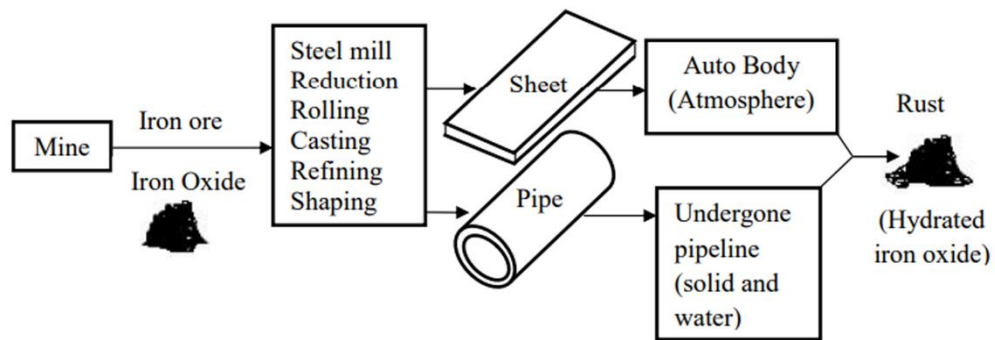
Gambar 2.1 Ilustrasi Proses Korosi

Korosi merupakan penurunan kualitas suatu logam yang disebabkan oleh terjadinya reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungannya yang mengakibatkan terjadinya penurunan mutu logam menjadi rapuh, kasar, dan mudah hancur. Proses terjadinya korosi pada logam tidak dapat dihentikan, namun hanya bisa dikendalikan atau diperlambat lajunya sehingga memperlambat proses perusakannya, salah satu diantaranya adalah dengan pelapisan pada permukaan logam, perlindungan katodik, penambahan inhibitor korosi dan lain-lain. Sejauh ini penggunaan inhibitor merupakan salah satu cara yang paling efektif untuk mencegah korosi, karena biayanya yang relatif murah dan prosesnya yang sederhana (Hermawan, 2010; Irianty, 2012).

Korosi dapat terjadi apabila terdapat empat elemen di bawah ini: (Afandi, 2015):

1. Anoda: Terjadi reaksi oksidasi, maka daerah tersebut akan timbul korosi (melepaskan elektron).
2. Katoda: Terjadi reaksi reduksi, daerah tersebut mengkonsumsi elektron (menerima elektron).
3. Jalur Logam (*Metallic Pathaway*): Tempat arus mengalir dari katoda ke anoda.
4. Larutan (*electrolyte*): Larutan korosif yang dapat mengalirkan arus listrik, mengandung ion-ion.

Korosi dapat berjalan secara cepat ataupun lambat tergantung dari material bahan, lingkungan, temperatur dan lain sebagainya. Dalam dunia teknik, material korosi yang sering disinggung adalah korosi pada logam. Ilustrasi dari proses pengkorosian pada material logam dapat dilihat pada gambar 2.2.



Sumber: Fontana, Mars G., 1987. *Corrosion*

Gambar 2.2 Proses Pengkorosian Logam

2.2 Jenis-Jenis Korosi

Menurut Utomo (2015), korosi terbagi menjadi beberapa jenis yaitu:

1. Korosi Merata (*Uniform Corrosion*)

Korosi merata merupakan korosi yang disebabkan oleh reaksi kimia atau elektrokimia yang terjadi secara seragam/merata pada permukaan logam. Korosi ini terjadi akibat adanya reaksi kimia karena pH air yang rendah dan udara yang lembab, sehingga makin lama logam makin menipis. Akibat korosi merata secara langsung berupa kehilangan material konstruksi, keselamatan kerja dan akibat produk korosi berupa bentuk senyawa yang mencemarkan lingkungan sedangkan kerugian tidak langsung, antara lain berupa penurunan kapasitas dan peningkatan biaya perawatan (*preventive maintenance*).



Sumber: Utomo, 2009

Gambar 2.3 Korosi Seragam pada Pipa *Ballast*

2. Korosi Galvanik (*Galvanic Corrosion*)

Korosi galvanik terjadi apabila dua logam yang berbeda dihubungkan dan berada di lingkungan korosif saat terjadi kontak atau terdapat secara listrik kedua logam yang berbeda potensial tersebut akan menimbulkan aliran elektron/listrik diantara kedua logam. Sehingga salah satu dari logam tersebut akan mengalami korosi, sedangkan logam lainnya akan terlindungi dari serangan korosi. Logam yang mengalami korosi adalah logam yang memiliki potensial lebih rendah dan logam yang tidak mengalami korosi adalah logam yang memiliki potensial yang lebih tinggi. Contoh korosi galvanik, misalnya pada seng terjadi akibat perbedaan potensial lokal yang dimilikinya. Perbedaan potensial tersebut dapat berasal dari fasa-fasa, batas-batas butir, impurity dan bagian-bagian lain. Dengan demikian akan terbentuk suatu anoda dan katoda lokal pada permukaan logam tersebut. Selanjutnya terjadi aliran elektron dari anoda ke katoda yang dimiliki oleh oksidasi dari anoda lokal. Pada keadaan tertentu, misalnya seng tercelup dalam larutan asam klorida pekat, Zn akan terkorosi maka terus sampai habis. Korosi galvanik dipengaruhi antara lain oleh lingkungan, jarak, dan area/luas.



Sumber: Utomo, 2009

Gambar 2.4 Korosi Galvanik pada Pipa

3. Korosi Celah (*Crevice Corrosion*)

Korosi celah merupakan bentuk korosi dimana korosi terjadi ketika terdapat celah akibat penggabungan atau penyatuan dua logam yang sama memiliki kadar oksigen berbeda dengan area luarnya. Karat yang terjadi karena celah sempit terisi dengan elektrolit (air yang pHnya rendah) maka terjadilah suatu sel korosi dengan

katodanya permukaan sebelah luar celah yang basa dengan air yang lebih banyak mengandung zat asam dari pada bagian sebelah dalam celah yang sedikit mengandung zat asam sehingga bersifat anodic. Korosi celah merupakan korosi yang terjadi di sela-sela gasket, sambungan bertindih, sekrup-sekrup atau kelingan yang terbentuk oleh kotoran-kotoran endapan atau timbul dari produk-produk karat.

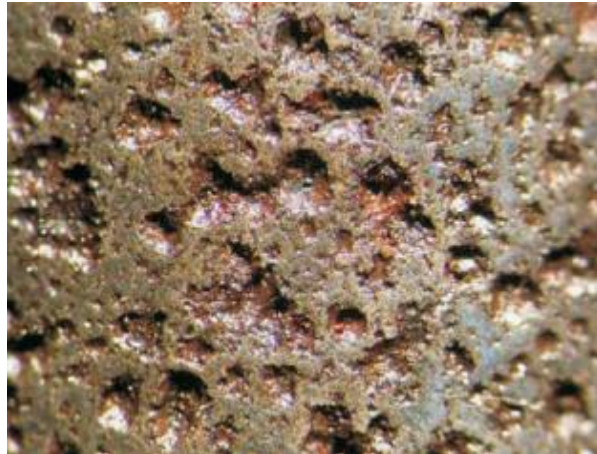


Sumber: Karyono, 2017

Gambar 2.5 Korosi Celah pada Baut dalam Air Laut

4. Korosi Sumuran (*Pitting Corrosion*)

Korosi sumuran adalah jenis korosi yang sangat terlokalisasi dan menimbulkan lubang pada permukaan logam. Jika material terkena korosi jenis ini, penetrasi yang terjadi akan terus meningkat dan mengacaukan data umur alat (*equipment life*). Korosi sumuran dapat terjadi karena variasi dari keadaan lingkungan. Korosi sumuran dapat mengakibatkan lubang dalam logam. Lubang ini mungkin memiliki diameter yang kecil atau besar, namun dalam banyak kasus lubang tersebut relatif kecil. Lubang terisolasi atau kadang-kadang terlihat seperti permukaan yang kasar. Lubang umumnya dapat digambarkan sebagai rongga atau lubang dengan diameter permukaan kurang-lebih sama atau kurang dari kedalaman. Korosi sumuran adalah salah satu bentuk korosi yang paling merusak dan berbahaya. Hal itu menyebabkan peralatan menjadi gagal karena dengan penurunan massa yang sedikit saja akibat adanya lubang, maka kegagalan dapat terjadi dengan mudah. Sering kali sulit untuk mendeteksi pit karena ukurannya yang kecil dan arena lubang-lubang tersebut tertutup oleh produk korosi.



Sumber: Sunandrio, 2011

Gambar 2.6 Korosi Sumuran pada Pipa Distribusi

5. Korosi Erosi (*Erosion Corrosion*)

Korosi erosi adalah korosi yang terjadi pada permukaan logam disebabkan oleh aliran fluida yang sangat cepat sehingga merusak permukaan logam dan terjadi lapisan film pelindung. Korosi erosi juga dapat terjadi karena efek-efek mekanik yang terjadi pada permukaan logam, misalnya: pengausan, abrasi dan gesekan. Logam yang mengalami korosi erosi akan menimbulkan bagian-bagian yang kasar dan tajam. Korosi ini disebabkan karena terlepasnya sebagian zat di permukaan logam akibat cuaca dan abrasi.



Sumber: Utomo, 2009

Gambar 2.7 Korosi Erosi pada Pipa

6. Korosi Tegangan (*Stress Corrosion*)

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



Sumber: <https://www.kajianpustaka.com>

Gambar 2.8 Korosi Tegangan pada Baja

2.3 Faktor-Faktor Laju Korosi

Faktor yang berpengaruh terhadap korosi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu yang berasal dari bahan itu sendiri dan dari lingkungan. Faktor dari bahan meliputi kemurnian bahan, struktur bahan, bentuk kristal, unsur-unsur yang ada dalam bahan, teknik pencampuran bahan dan sebagainya. Faktor dari lingkungan antara lain yaitu:

1. Temperatur

Penambahan temperatur umumnya menambah laju korosi walaupun kenyataannya kelarutan oksigen berkurang dengan meningkatnya temperatur. Apabila metal pada temperatur yang tidak uniform, maka akan besar kemungkinan terbentuk korosi. Temperatur mempunyai pengaruh yang sangat bervariasi terhadap korosi. Pada temperatur kamar laju korosi relatif rendah namun dapat meningkatkan kondensasi lapisan film pada permukaan yang berakibat meningkatkan terjadinya

korosi. Dan peningkatan temperatur dapat menurunkan laju korosi dengan terjadinya proses pengeringan pada permukaan. Namun adanya kombinasi antara nilai kelembaban dan temperatur tinggi serta diikuti oleh adanya polutan, maka akan meningkatkan laju korosi. Pada lingkungan berair (*aqueous*), temperatur mempengaruhi laju korosi, temperatur permukaan, *heat flux*, dan konsentrasi permukaan yang terkait serta gradien transfer kimia (Jalaludin dkk., 2015).

2. Faktor pH

pH adalah kepanjangan dari power of hydrogen atau pangkat hydrogen. pH merupakan ukuran konsentrasi ion hydrogen yang menunjukkan keasaman atau kebasaan suatu zat. pH netral adalah 7, sedangkan $pH < 7$ bersifat asam dan korosif, sedangkan untuk $pH > 7$ bersifat basa juga korosif. Tetapi untuk besi, laju korosi rendah pada pH antara 7 sampai 14. Laju korosi akan meningkat pada $pH < 7$ dan pada $pH > 14$ (Jalaludin dkk., 2015).

3. Faktor Gas Terlarut

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

a. Oksigen (O_2)

Adanya oksigen yang terlarut akan menyebabkan korosi pada metal seperti laju korosi pada *mild steel alloys* akan bertambah dengan meningkatnya kandungan oksigen. Kelarutan oksigen dalam air merupakan fungsi dari tekanan, temperatur dan kandungan klorida. Untuk tekanan 1 atm dan temperatur kamar, kelarutan oksigen dalam 10 ppm dan kelarutannya akan berkurang dengan bertambahnya temperatur dan konsentrasi garam. Sedangkan kandungan oksigen dalam kandungan minyak air dapat menghambat timbulnya korosi adalah 0,05 ppm atau kurang (Hilmatuddahlia, 2003).

b. Karbondioksida (CO_2)

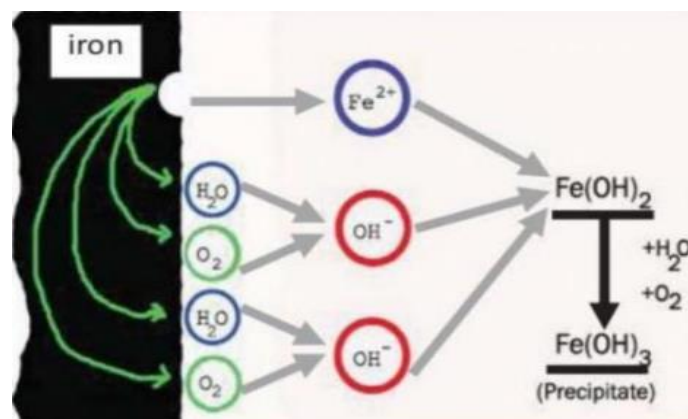
Jika karbondioksida dilarutkan dalam air maka akan terbentuk asam karbonat (H_2CO_3) yang dapat menurunkan pH air dan meningkatkan korosifitas, biasanya bentuk korosinya berupa *pitting* (Hilmatuddahlia, 2003).

4. Faktor Bakteri Pereduksi atau *Sulfat Reducing Bacteria* (SRB)

Adanya bakteri pereduksi sulfat akan mereduksi ion sulfat menjadi gas H_2S , yang mana jika gas tersebut kontak dengan besi akan menyebabkan terjadinya korosi. Permukaan logam umumnya mengalami oksidasi ketika berada di udara pada temperatur ruang dan membentuk lapisan oksida sangat tipis (lapisan kusam). Korosi kering ini sangat terbatas, dan hanya merusak sebagian kecil permukaan substrat metalik. Namun pada temperatur tinggi, hampir semua logam dan paduan bereaksi dengan lingkungan sekitarnya dengan laju yang cukup berarti dan membentuk lapisan oksida tebal (kerak) yang tidak bersifat melindungi. Di lapisan kerak ini dapat terbentuk fasa cair yang berbahaya karena dapat menimbulkan difusi dua arah dari zat yang bereaksi antara fasa gas dan substrat metalik (Jalaludin dkk., 2015).

2.4 Mekanisme Terbentuknya Korosi

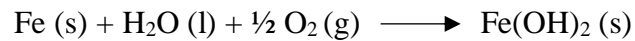
Secara umum mekanisme korosi yang terjadi dalam suatu larutan berawal dari logam yang teroksidasi di dalam larutan dan melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Larutan akan bertindak sebagai katoda dengan reaksi yang umum terjadi adalah pelepasan H_2 dan reduksi O_2 , akibat ion H^+ dari 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 2.8 menunjukkan mekanisme korosi pada permukaan logam.



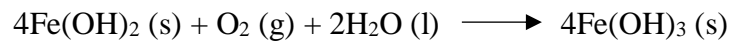
Sumber: Buku Penghantar Inhibitor Korosi Alami, 2021

Gambar 2.9 Mekanisme Laju Korosi

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



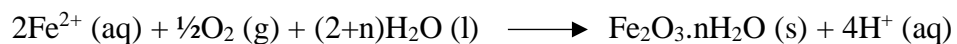
Fero Hidroksida [Fe(OH)₂] yang terjadi merupakan hasil sementara yang dapat teroksidasi secara alami oleh air dan udara menjadi feri hidroksida [Fe(OH)₃], sehingga mekanisme reaksi selanjutnya adalah:



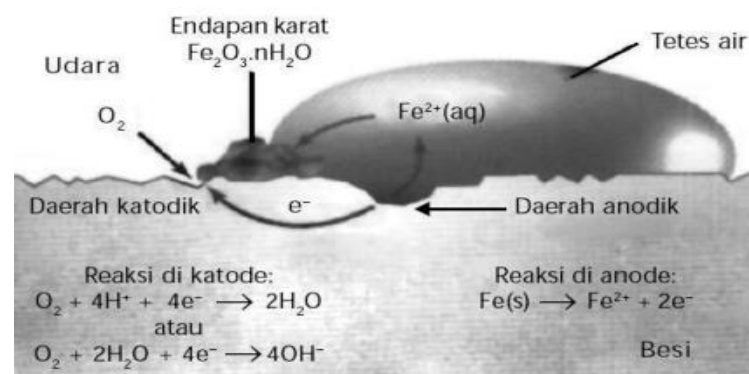
Feri hidroksida yang terbentuk akan berubah menjadi Fe₂O₃ yang berwarna merah kecokelatan yang biasa disebut karat. Menurut Vogel (1979) reaksinya adalah sebagai berikut:



Karat pada logam besi, Fe₂O₃.nH₂O yang merupakan senyawa padatan yang berwarna coklat kemerahan, terbentuk pada reaksi redoks yang berbeda dengan reaksi sebelumnya. Ion-ion Fe²⁺ yang terbentuk pada daerah anoda terdispersi dalam air dan bereaksi dengan O₂ membentuk Fe³⁺ dalam karat. Keseluruhan reaksi pada proses ini adalah :



2.5 Komponen Syarat Terbentuknya Laju Korosi



(Putrandi, 2017)

Gambar 2.10 Komponen Terbentuknya Laju Korosi

Mekanisme terjadinya korosi membutuhkan beberapa komponen sebagai syarat terjadinya korosi, antara 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):

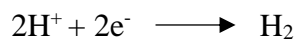


2. Katoda

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 (Putradi, 2017).

a. Pelepasan H₂ dalam larutan asam dan netral

Evolusi hidrogen/larutan asam:



Reduksi air/larutan netral/basa:

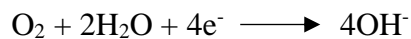


b. Reduksi oksigen terlarut dalam larutan asam dan netral :

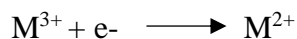
Reduksi oksigen/asam:



Reduksi oksigen / netral atau basa



c. Reduksi ion logam yang lebih elektronegatif



3. Elektrolit

Untuk mendukung suatu reaksi reduksi dan oksidasi, serta melengkapi 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

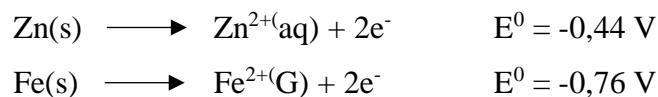
Antara anoda dan katoda haruslah terdapat suatu hubungan atau kontak seperti listrik agar elektron dapat mengalir dari anoda menuju katoda (Putrandi, 2017).

2.6 Pengendalian Laju 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*). 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).

2. Pengendalian Korosi dengan 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). 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 (Putrandi, 2017).

3. Pengendalian Korosi dengan Penambahan Inhibitor

Salah satu cara untuk meminimalkan efek degradasi material yang sering digunakan adalah dengan penggunaan inhibitor. Inhibitor berfungsi untuk memperlambat reaksi korosi yang bekerja dengan cara membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam. Lapisan molekul pertama yang terbentuk mempunyai ikatan yang sangat kuat yang disebut *chemisorption*. Inhibitor umumnya berbentuk cairan yang diinjeksikan pada *production line*. Karena inhibitor tersebut merupakan masalah yang penting dalam menangani korosi maka perlu dilakukan pemilihan inhibitor yang sesuai dengan kondisinya (Sidiq, 2013).

2.7 Inhibitor

Inhibitor digunakan untuk melindungi bagian dalam struktur dari serangan korosi yang diakibatkan oleh fluida yang mengalir atau tersimpan di dalamnya. Inhibitor biasanya ditambahkan sedikit dalam lingkungan asam, air pendingin, uap, maupun lingkungan lain. Keuntungan menggunakan inhibitor antara lain; menaikkan umur struktur atau bahan, mencegah berhentinya suatu proses produksi, mencegah kecelakaan akibat korosi, menghindari kontaminasi produk dan lain sebagainya. 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, dan 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 , dan 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 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.

Secara umum inhibitor korosi merupakan suatu zat kimia yang bila ditambahkan ke dalam suatu lingkungan dapat menurunkan laju serangan korosi terhadap suatu logam. Penggunaan inhibitor hingga saat ini masih menjadi solusi terbaik untuk melindungi korosi internal pada logam, dan dijadikan sebagai pertahanan utama industri proses dan ekstraksi minyak. Inhibitor merupakan metoda perlindungan yang fleksibel, yaitu mampu memberikan perlindungan dari lingkungan yang kurang agresif sampai pada lingkungan yang tingkat korosifitasnya sangat tinggi, mudah diaplikasikan dan tingkat keefektifan biayanya paling tinggi karena lapisan yang terbentuk sangat tipis sehingga dalam jumlah kecil mampu memberikan perlindungan yang luas (Terms dan Zahrani, 2006; Fajar, 2015).

2.8 Cara Penggunaan Inhibitor

Penggunaan inhibitor 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 terlapsi oleh inhibitor korosi. Injeksi terus menerus digunakan untuk menjaga agar permukaan yang terlapsi tadi tetap terjaga sehingga tidak memberikan tempat bagi terbentuknya korosi. Inhibitor 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 melapsi logam.
3. Mengubah karakteristik lingkungan dengan membuang unsur-unsur pokok yang agresif.

2.9 Perhitungan Laju Korosi dan Efisiensi Inhibitor

Salah satu tujuan dari *Corrosion Monitoring* adalah dengan mengetahui laju korosi pada logam dari suatu struktur sehingga 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 kehilangan berat/kinetika (*weight loss*) dan elektrokimia (diagram polarisasi, *linear polarization resistance*, *electrochemical impedance spectroscopy*, potensial korosi dan *electrochemical noise*).

2.9.1 Perhitungan Laju Korosi Berdasarkan Metode Kehilangan Berat

Metode *weight loss* atau kehilangan berat merupakan metode yang dapat digunakan untuk mendapatkan laju korosi. Prinsip dari metode ini adalah dengan menghitung banyaknya material yang hilang atau kehilangan berat setelah dilakukan pengujian rendaman sesuai dengan standar ASTM G 31-72. Laju korosi dinyatakan dalam mpy (*mils per year*). Dengan menghitung massa logam yang telah dibersihkan dari oksida dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa awal lalu dilakukan pada suatu lingkungan yang korosif seperti air laut selama waktu tertentu. Setelah itu dilakukan perhitungan massa kembali dari suatu logam setelah

dibersihkan logam tersebut dari hasil korosi yang terbentuk dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa akhir. Dengan mengambil beberapa data seperti luas permukaan yang terendam, waktu perendaman dan massa jenis logam yang diuji maka dihasilkan suatu laju korosi (Bunga, 2008). Persamaan laju korosi dapat ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut :

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

Sumber: ASTM International, 1999

Dimana :

- CR = Laju korosi (mpy)
 W = Kehilangan berat (gr)
 K = Konstanta laju korosi ($3,45 \times 10^6$ mpy)
 D = Densitas logam besi (gr/cm^3)
 A = Luas permukaan logam besi (cm^2)
 T = Waktu perendaman (jam)

Tabel 2.1 Konstanta Perhitungan Laju Korosi Berdasarkan Satuannya

Satuan Laju Korosi / <i>Corrosion Rate</i>	Konstanta
<i>Mils per year (mpy)</i>	$3,45 \times 10^6$
<i>Inches per year (ipy)</i>	$3,45 \times 10^3$
<i>Milimeters per year (mm/y)</i>	$8,76 \times 10^4$
<i>Micrometers per year ($\mu\text{m/y}$)</i>	$8,76 \times 10^7$

Sumber: Bunga, 2008

Tabel 2.2 Konversi Perhitungan Laju Korosi

	mA/cm^2	mm/year	mpy	$\text{gr/m}^2\text{day}$
mA/cm^2	1	11,6	456	249
mm/year	0,0863	1	39,4	21,6
mpy	0,00219	0,0254	1	0,547
$\text{gr/m}^2\text{day}$	0,00401	0,0463	1,83	1

Sumber: Bunga, 2008

Tabel 2.3 Distribusi Kualitas Ketahanan Korosi Suatu Material

Ketahanan relatif korosi	mpy	mm/year	µm/year	nm/year	pm/s
Sempurna	< 1	< 0,02	< 25	< 2	< 1
Baik sekali	1-5	0,02-0,1	25-100	2-10	1-5
Baik	5-20	0,1-0,5	100-500	10-50	20-50
Sedang	20-50	0,5-1	500-1000	20-150	20-50
Rendah	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200
Sangat Rendah	200+	5+	5000+	500+	200+

Sumber: Fontana & Green, 1986

Dapat dilihat pada Tabel 2.3, bahwa semakin besar laju korosi suatu logam maka semakin cepat material tersebut terkorosi. 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.

2.9.2 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. Perhitungan efisiensi didapatkan melalui persentase penurunan laju korosi dengan adanya penambahan dibandingkan dengan laju korosi tanpa penambahan inhibitor. Efisiensi inhibitor dapat dihitung dengan rumus berikut:

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

Sumber: Widharto, 1999

Dimana :

X_a = laju korosi tanpa inhibitor (mpy)

X_b = laju korosi dengan inhibitor (mpy)

2.10 Media Korosi Air Laut

Lingkungan air laut merupakan salah satu lingkungan dengan tingkat korosivitas tinggi, 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 (Gogot, 2010). Air laut mengandung magnesium, potasium, kalsium sulfat, dan sodium. Air laut juga mengandung nigrin. Sifat kimia, fisika dan biologi air laut mempengaruhi laju korosi. Sifat kimia, ditunjukkan karena adanya bahan kimia dalam badan air laut seperti asam, adanya anion penyebab korosif dan gas.

2.11 Besi

Besi merupakan logam yang berasal dari bijih besi dan jarang ditemukan dalam keadaan unsur bebas. Besi banyak digunakan untuk kehidupan manusia sehari-hari dan juga mempunyai nilai ekonomis yang tinggi. Besi adalah logam paling melimpah nomor dua setelah aluminium. Bumi kita ini juga mengandung unsur besi. Selain itu, besi juga memiliki sifat kimia dan fisika (Rezkyana, 2014).

Untuk besi yang dipakai pada penelitian ini yaitu 'Besi Plat Strip'. Besi plat strip merupakan jenis besi baja yang berbentuk lembaran memanjang dan umum digunakan untuk keperluan konstruksi sipil, arsitektural dan juga pembuatan suatu produk.



Sumber: PT. Karya Baja Sukses, 2022

Gambar 2.11 Besi Pelat Strip

Komposisi utama dari baja jenis ini adalah besi dengan penambahan sedikit bahan karbon. Kombinasi ini menghadirkan beberapa karakter dan keunggulan, yang membuatnya kerap dipilih untuk menunjang proses konstruksi bangunan tertentu. Adapun karakter yang dimilikinya secara khas meliputi:

- Tidak responsif terhadap perlakuan panas
- Dikuatkan dengan metode *cold working*
- Memiliki struktur mikro yang tersusun dari ferit dan juga perlit
- Cenderung punya tekstur yang lunak yang kemudian membuatnya mudah untuk dibentuk.

2.11.1 Sifat Fisika Besi

1. Pada suhu kamar berwujud padat, mengkilap dan berwarna keabu-abuan.
2. Merupakan logam feromagnetik karena memiliki 4 elektron tidak berpasangan pada orbital d.
3. Merupakan penghantar listrik yang baik.
4. Kation logam besi berwarna hijau (Fe^{2+}) dan jingga (Fe^{3+}). Hal ini disebabkan oleh adanya elektron tidak berpasangan dan tingkat energi orbital tidak berbeda jauh. Akibatnya, elektron mudah tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi menimbulkan warna tertentu.
5. Besi bersifat keras dan kuat.
6. Sifat besi lainnya:
 - a) Nomor atom : 26
 - b) Nomor massa : 57
 - c) Massa atom : 55,85 gr/mol
 - d) Kepadatan : 7,8 gr/cm³ pada 20 °C
 - e) Titik lebur : 1536 °C
 - f) Titik didih : 2861 °C
 - g) Isotop : 8
 - h) Energi ionisasi pertama : 761 kJ/mol
 - i) Energi ionisasi kedua : 1556,5 kJ/mol
 - j) Energi ionisasi ketiga : 2951 kJ/mol

2.11.2 Sifat Kimia Besi

1. Unsur besi bersifat elektropositif yaitu mudah melepaskan elektron. Karena sifat inilah bilangan oksidasi besi bertanda positif.
2. Besi dapat memiliki biloks 2, 3, 4 dan 6. Hal ini disebabkan karena perbedaan energi elektron pada subkulit 4s dan 3d cukup kecil, sehingga elektron pada subkulit 3d juga terlepas ketika terjadi ionisasi selain elektron pada subkulit 4s.
3. Logam murni besi sangat reaktif secara kimiawi dan mudah terkorosi, khususnya di udara yang lembab atau ketika terdapat peningkatan suhu.
4. Besi memiliki bentuk alotroik ferit yaitu alfa, beta, gamma dan omega dengan suhu transisi 700 °C, 928 °C dan 1530 °C. Bentuk alfa bersifat magnetik, tapi ketika berubah menjadi beta, sifat magnetnya menghilang meski pola geometris molekul tidak berubah.
5. Mudah bereaksi dengan unsur-unsur non logam seperti sulfur, fosfor, boron, karbon dan silikon.
6. Larut dalam asam-asam mineral encer.
7. Oksidasinya bersifat amfoter yaitu oksida yang menunjukkan sifat-sifat asam sekaligus basa.

2.12 Kulit Pisang Kepok (*Musa paradisiaca*)

Pisang kepok (*Musa paradisiaca*) adalah tanaman buah yang berasal dari kawasan Asia Tenggara (termasuk Indonesia). Pisang kepok merupakan jenis buah yang paling umum ditemui tidak hanya di perkotaan tetapi sampai ke pelosok desa. Pisang kepok berbentuk agak gepeng, bersegi dan kulit buahnya sangat tebal dengan warna kuning kehijauan dan kadang bernoda coklat. Jenis pisang yang digunakan untuk memproduksi berbagai olahan seperti keripik, pisang goreng. Berat kulit pisang kepok sekitar 25 – 40% dari berat buah pisang (Wadhwa and Bakshi, 2013).

Pisang merupakan salah satu tanaman yang cukup banyak ditemukan di daerah beriklim tropis seperti Indonesia. Pisang memiliki daun besar memanjang dari suku *Musaceae*. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), jika dilihat produksi per tahunnya dari tahun 2016, hasil produksi pisang terus menunjukkan angka yang menaik hingga tahun 2020, kemudian dari tahun 2019 terjadi kenaikan

yang sangat signifikan yaitu sebesar 7.280.658 ton ke 8.182.757 ton. Kulit pisang merupakan buangan atau limbah buah pisang (Lumowa dan Bardin, 2017). Berikut klasifikasi tanaman dari pisang yaitu:

- Kingdom : Plantae
- Division : Tracheophyta
- Class : Magnoliopsida
- Order : Zingiberales
- Family : Musaceae
- Genus : Musa
- Species : *Musa paradisiaca*



Sumber: Haidunia.com

Gambar 2.12 Pisang Kepok (*Musa paradisiaca*)

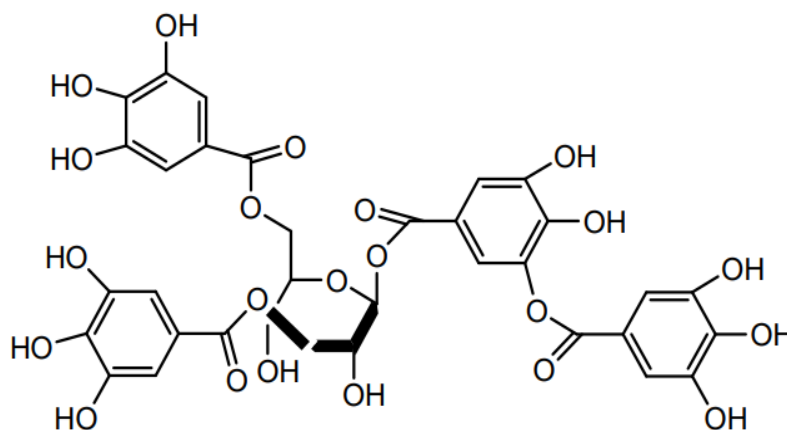
Menurut Okorie dkk (2015), kulit pisang merupakan 40% dari total berat buah pisang. Kulit pisang tersebut dimanfaatkan kembali menjadi pakan ternak, diekstrak untuk menghasilkan senyawa-senyawa tertentu yang bermanfaat, pupuk, atau dibuang menjadi tumpukan limbah padat. Kulit pisang memiliki kandungan senyawa tanin yang dapat digunakan untuk menghambat proses korosi yang terjadi. Senyawa antioksidan yang terdapat dalam kulit pisang adalah senyawa fenolik berupa, tanin, flavonoid dan alkaloid. Senyawa fenolik memiliki ciri yaitu memiliki cincin aromatik yang mengandung satu atau dua gugus hidroksil dan bersifat mudah larut dalam air (Amalia, 2016). Kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca*) merupakan salah satu limbah pertanian yang dapat dijadikan sebagai pakan ternak, kandungan protein kasar mencapai 8%, lemak kasar 6,2 % (Wadhwa and Bakshi, 2013), lemak kasar 2,52 %, serat kasar 18,71 % (Koni, 2013); Ca 0,27 dan pospor 0,26 % (Fitroh

et al., 2018). Selain kandungan nutrisi kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca*) juga mengandung tanin sebesar 4,97 % (Hudiansyah et al., 2015).

2.13 Tanin

Tanin adalah suatu senyawa fenol yang memiliki berat molekul besar yang terdiri dari gugus hidroksi dan beberapa gugus yang bersangkutan seperti karboksil untuk membentuk kompleks kuat yang efektif dengan protein dan beberapa makromolekul. Monomer tanin adalah gallic acid dan D-glukosa dan memiliki rumus molekul $C_{76}H_{52}O_{46}$. Tanin ditemukan hampir di setiap bagian dari tanaman; kulit kayu, daun, buah, dan akar (Komalasari, 2018).

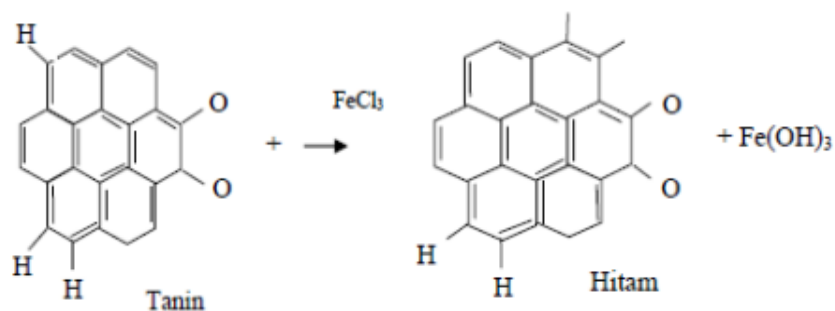
Tanin adalah senyawa metabolit sekunder di dalam tanaman dan disintesis oleh tumbuhan untuk melindungi dirinya, termasuk dalam golongan senyawa polyfenol dengan karakteristiknya yang mampu bereaksi menjadi senyawa yang lebih kompleks dengan makromolekul seperti hemoglobin. Tanin memiliki rasa pahit serta kelat, bisa bereaksi dengan protein dan mengumpulkannya, serta zat organik lain seperti asam amino serta alkoholoid (Yuliana, 2014).



Sumber: id.wikipedia.org

Gambar 2.13 Struktur Tanin

Struktur tanin terdiri dari cincin benzena (C6) yang berikatan dengan gugus hidroksil (-OH). Tanin memiliki peranan biologis yang besar karena fungsinya sebagai pengendap protein dan penghelat logam.



Sumber: Setyowati dkk., 2014

Gambar 2.14 Mekanisme Reaksi Tanin

Tanin merupakan inhibitor organik membentuk suatu lapisan tipis/film yang terabsorpsi pada permukaan logam, yang menjadi suatu penghalang pada pelarutan logam didalam larutan elektrolit. Mekanisme cara kerja tanin yaitu Fe(II)-tanin tidak berwarna dan sangat mudah larut dan teroksidasi. Dengan adanya oksigen, kompleks ini berubah menjadi Fe(III)-tanin yang disebut tanat. Senyawa kompleks inilah yang akan melekat pada permukaan besi dan akan menghalangi terjadinya proses korosi lebih lanjut keran senyawa kompleks tersebut akan membentuk lapisan tipis dan melindungi permukaan besi (Farida, 2014). Adapun sifat-sifat tanin menurut Ismail (2011) dapat dilihat pada tabel 2.5 berikut:

Tabel 2.4 Sifat Tanin

Parameter	Nilai
Rumus kimia	$\text{C}_{76}\text{H}_{52}\text{O}_{46}$
Berat molekul	1701,22 gr/mol
Titik leleh dan titik didih	305 °C dan 1271 °C
Kelarutan dalam 1 mL etanol (70 °C)	0,82 gr
Kelarutan dalam 1 mL air (70 °C)	0,656 gr
Bentuk dan warna	Padatan, kuning kecoklatan
Pemisahan	Sukar untuk dipisahkan

Sumber: Ismail, 2011

2.14 Metode Maserasi dengan Pelarut Etanol

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. Senyawa aktif saponin yang terkandung pada daun bidara akan lebih banyak dihasilkan jika diekstraksi menggunakan pelarut metanol, karena metanol bersifat polar sehingga akan lebih mudah larut dibandingkan pelarut lain (Suharto dkk., 2016).

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 dan Putri, 2016).