

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Alpukat / *Avocado* (*Persea americana mill*)

#### 2.1.1 Klasifikasi Alpukat (*Persea americana mill*)

Tanaman alpukat (*Persea americana mill*) merupakan tanaman yang berasal dari daratan tinggi Amerika Tengah dan memiliki banyak varietas yang tersebar di seluruh dunia. Alpukat secara umum terbagi atas tiga tipe: tipe *West Indian*, tipe *Guatemalan*, dan tipe *Mexican*. Daging buah berwarna hijau di bagian bawah kulit dan menguning kearah biji. Warna kulit buah bervariasi, warna hijau karena kandungan klorofil atau hitam karena pigmen antosiasin (Lopez, 2002; Andi,2013).

Menurut Sunarjono (1998), alpukat termasuk tanaman hutan yang tingginya mencapai 20 meter. Bentuk pohonnya seperti kubah sehingga dari jauh tampak menarik. Daunnya panjang (lonjong) dan tersusun seperti pilin. Pohonnya berkayu, umumnya percabangan jarang dan arahnya horizontal. Bunga alpukat keluar pada ujung cabang atau ranting dalam tangkai panjang. Warna bunga putih dan setiap bunga akan mekar sebanyak dua kali.

**Tabel 2.1 Taksonomi tanaman alpukat**

Klasifikasi	Nama
Kingdom	<i>Plantae</i> (Tumbuhan)
Subkingdom	<i>Tracheobionta</i> (Tumbuhan berpembuluh)
Super Divisi	<i>Spermatophyta</i> (Menghasilkan biji)
Divisi	<i>Magnoliophyta</i> (Tumbuhan berbunga)
Kelas	<i>Magnoliopsida</i> (Berkeping dua/dikotil)
Sub kelas	<i>Magnoliidae</i>
Ordo	<i>Laurales</i>
Famili	<i>Lauraceae</i>
Genus	<i>Persea</i>
Spesies	<i>Persea americana mill</i>

Sumber : Plantamor, 2012; Andi, 2013

### 2.1.2 Nama Daerah Alpukat

Alpuket (Jawa Barat), alpokat (Jawa Timur / Jawa Tengah), boah pokat, jamboo pokat (Batak), advokat, jamboo mentega, jamboo pooan, pokat (Lampung) (Materia Medika Indonesia, 1996; Hika citra, 2009).

### 2.1.3 Morfologi

Tanaman alpukat berupa pohon dengan ketinggian 3-10 m, rating tegak dan berambut halus, daun berdesakan diujung ranting, bentuk bulat telur atau corong, awalnya berbulu pada kedua belah permukaannya dan lama-kelamaan menjadi licin. Bunga alpukat berupa malai dan terletak di dekat ujung ranting, bunganya sangat banyak berdiameter 1-1,5 cm, berwarna kekuningan, berbulu halus dan benang sari dalam 4 karangan, buah alpukat berbentuk bola lampu sampai bulat telur, berwarna hijau kekuningan berbintik ungu, gandel/halus, dan harum, biji berbentuk bola dan hanya terdapat satu biji dalam 1 buah (Materia Medika Indonesia, 1996; Hika citra, 2009).

### 2.1.4 Sinonim

*Persea Gratisima Gaertm. F* (Materia Medika Indonesia, 1996; Hika citra, 2009).

### 2.1.5 Bagian-Bagian Tanaman Alpukat

Tanaman alpukat memiliki dua jenis akar, yaitu akar tunggang dan memiliki akar rambut. Rambut pada akar tanaman alpukat hanya sedikit sehingga pemupukan harus dilakukan dengan cara yang benar. Pupuk harus diletakkan sedekat mungkin dengan akar sehingga pupuk ditanam dengan kedalaman 30 – 40 cm disekitar tanaman (Andi, 2013).

Tinggi tanaman alpukat dapat mencapai 20 m, terdiri dari batang berwarna coklat kotor memiliki banyak cabang dan ranting yang berambut halus. Batang tanaman alpukat biasanya digunakan sebagai pengembangan bibit, penyambungan dan okulasi (Prihatman 2000; Andi, 2013).

Daun tunggal, bertangkai yang panjangnya 1,5-5 cm, letaknya berdesakan di ujung ranting, bentuknya jorong sampai bundar telur memanjang, tebal seperti

kulit, ujung dan pangkal runcing, tepi rata kadang-kadang agak rmenggulung ke atas, bertulang menyirip, panjang 10-20 cm, lebar 3-10 cm, daun muda warnanya kemerahan dan berambut rapat, daun tua warnanya hijau dan gundul (Prihatman 2000; Andi, 2013).

Bunga alpukat bersifat sempurna (*hermaprodit*), tetapi sifat pembungaannya *dichogamy*, artinya tiap bunga mekar 2 kali berselang, menutup antara 2 mekar dalam waktu berbeda. Pada hari mekar pertama, bunga betina yang berfungsi sedangkan pada hari mekar berikutnya bunga jantan yang berfungsi. Berdasarkan sifat pembungaannya, tanaman alpukat dibedakan menjadi 2 tipe. Tipe A: bunga betina mekar pada pagi hari sedangkan bunga jantan mekar pada sore hari pada hari berikutnya. Tipe B: bunga betina mekar pada sore hari dan bunga jantan mekar pada pagi hari berikutnya (Ashari, 2004; Andi, 2013).

Buah alpukat jenis unggul berbentuk lonjong, bola atau bulat telur dan bulat tidak simetris, panjang 9 – 11,5 cm, memiliki massa 0,25 – 0,38 kg, berwarna hijau atau hijau kekuningan, berbintik – bintik ungu, buahnya memiliki kulit yang lembut dan memiliki warna yang berbeda-beda. Biasanya warna buah alpukat bervariasi dari warna hijau tua hingga ungu kecoklatan. Buah alpukat berbiji satu dengan bentuk seperti bola berdiameter 6,5 – 7,5 cm, keping biji berwarna putih kemerahan. Buah alpukat memiliki biji yang besar berukuran 5,5 x 4 cm (Andi, 2013).



**Gambar 2.1 Tanaman dan buah alpukat**

Sumber : Andi, 2013

### 2.1.6 Budidaya

Tanaman alpukat dapat diperbanyak dengan biji, dengan cara okulasi dan dengan cara enten. Persyaratan yang dikehendaki adalah lapisan tanah yang gembur subur (Materia Medika Indonesia, 1996; Hika citra, 2009).

### 2.1.7 Manfaat Alpukat

Alpukat merupakan buah yang sangat bergizi, mengandung 3-30 persen minyak dengan komposisi yang sama dengan minyak zaitun dan banyak mengandung vitamin B (Samson, 1980; Andi 2013).

Dalam daging buah alpukat terkandung protein, mineral Ca, Fe, vitamin A, B, dan C (Samson,1980; Andi,2013). Dengan kandungan nutrisi yang banyak tersebut maka alpukat dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan, diantaranya:

1. Lemak monosaturated (tak jenuh) yang terdapat di dalam alpukat mengandung *oleic acid* yang terbukti mampu meningkatkan kadar lemak sehat dalam tubuh, dan mengontrol diabetes. Dengan menggunakan alpukat sebagai sumber lemak, penderita diabetes dapat menurunkan kadar *triglycerides* sampai 20%.
2. Lemak tak jenuh ini juga sangat baik untuk mengurangi kadar kolesterol. Diet rendah lemak yang menyertakan alpukat telah terbukti mampu menurunkan kadar kolesterol jahat, dan meningkatkan kadar kolesterol baik dalam darah.
3. Alpukat juga banyak mengandung serat yang sangat bermanfaat untuk mencegah tekanan darah tinggi, penyakit jantung, dan beberapa jenis kanker.
4. Alpukat juga mengandung potassium 30% lebih banyak di banding nenas. Potassium sangat bermanfaat bagi tubuh untuk mengurangi resiko terkena penyakit tekanan darah tinggi, serangan jantung, dan kanker. Selain itu, alpukat juga sangat sempurna jika di jadikan sebagai makanan untuk wanita yang sedang hamil. Itu karena *follate* yang terdapat dalam alpukat, dapat mengurangi resiko terhadap ancaman penyakit *birth defect* ( Andi, 2013).

### 2.1.8 Jenis Alpukat

Berdasarkan sifat ekologis, tanaman alpukat terdiri dari 3 tipe keturunan/ras, yaitu:

#### 1. Ras Meksiko

Berasal dari dataran tinggi Meksiko dan Equador beriklim semi tropis dengan ketinggian antara 2.400-2.800 m dpl. Ras ini mempunyai daun dan buahnya yang berbau adas. Masa berbunga sampai buah bisa dipanen lebih kurang 6 bulan. Buah kecil dengan berat 100-225 gram, bentuk jorong (oval), bertangkai pendek, kulitnya tipis dan licin. Biji besar memenuhi rongga buah. Daging buah mempunyai kandungan minyak/lemak yang paling tinggi. Ras ini tahan terhadap suhu dingin.

#### 2. Ras Guatemala

Berasal dari dataran tinggi Amerika Tengah beriklim sub tropis dengan ketinggian sekitar 800-2.400 m dpl. Ras ini kurang tahan terhadap suhu dingin (toleransi sampai  $-4,5$  °C). Daunnya tidak berbau adas. Buah mempunyai ukuran yang cukup besar, berat berkisar antara 200-2.300 gram, kulit buah tebal, keras, mudah rusak dan kasar (berbintil-bintil). Masak buah antara 9-12 bulan sesudah berbunga. Bijinya relatif berukuran kecil dan menempel erat dalam rongga, dengan kulit biji yang melekat. Daging buah mempunyai kandungan minyak yang sedang.

#### 3. Ras Hindia Barat

Berasal dari dataran rendah Amerika Tengah dan Amerika Selatan yang beriklim tropis, dengan ketinggian di bawah 800 m dpl. Varietas ini sangat peka terhadap suhu rendah, dengan toleransi sampai minus 2 derajat C. Daunnya tidak berbau adas, warna daunnya lebih terang dibandingkan dengan kedua ras yang lain. Buahnya berukuran besar dengan berat antara 400-2.300 gram, tangkai pendek, kulit buah licin agak liat dan tebal. Buah masak 6-9 bulan sesudah berbunga. Biji besar dan sering lepas di dalam rongga, keping biji kasar. Kandungan minyak dari daging buahnya paling rendah (Andi, 2013).

### 2.1.9 Bagian Tanaman yang Digunakan

Pada penelitian ini yang digunakan sebagai bahan baku adalah biji alpukat yang merupakan bagian dari buah alpukat.

### 2.1.10 Kandungan Gizi Buah Alpukat

Pada buah alpukat, mengandung banyak senyawa-senyawa yang penting bagi tubuh manusia diantaranya yaitu:

**Tabel 2.2 Komposisi kimiawi buah alpukat dalam 100 gram daging buah**

<b>Komponen</b>	<b>Kadar</b>
Energi buah (kal)	85 – 233
Air (%)	67,49 – 84,30
Protein (%)	0,27 – 1,7
Lemak (gr)	6,5 – 25,18
Karbohidrat (gr)	5,56 – 8
Abu (gr)	0,70 – 1,4
Vitamin (mg):	
A	0,13 – 0,51
B <sub>1</sub>	0,025 – 0,12
B <sub>2</sub>	0,13 – 0,23
B <sub>3</sub>	0,79 – 2,16
B <sub>6</sub>	0,45
C	2,3 – 7
D	0,01
E	3
K	0,008
Mineral (mg) :	
Ca	10
Fe	0,9
P	20

Sumber : Kali, 1997; Andi, 2013

### 2.1.11 Komposisi Kimia pada Biji Alpukat

Biji buah alpukat sampai saat ini hanya dibuang sebagai limbah yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Padahal biji alpukat memiliki banyak kandungan yang dapat dimanfaatkan. Kandungan tersebut antara lain :

Tabel 2.3 Komposisi biji alpukat

Komponen	Basis	
	Basah	Kering
Kelembaban, %	50,58	0
Abu, %	1,34	2,7
Nitrogen, %	0,39	0,79
Protein, %	2,45	4,95
Gula tereduksi	1,60	3,24
Sukrosa, %	0,61	1,23
Total gula	2,21	4,47
Pati, %	29,60	59,87
Pentosa, %	1,64	3,33
Arabinosa, %	2,04	4,12
Ekstrak eter, %	0,99	2,00
Dan lain-lain	9,25	18,71

Sumber : Leroy, 1931; Andi, 2013

## 2.2 Senyawa *Tannin* (C<sub>76</sub>H<sub>52</sub>O<sub>46</sub>)

Liberti, P (2012) dalam penelitiannya ditemukan bahwa biji alpukat mengandung kandungan total *tannin* ekstrak biji alpukat kering yaitu ekstrak AK 117 mg/kg, ekstrak BK 112 mg/kg dan kandungan *tannin* terkondensasi ekstrak biji alpukat kering yaitu ekstrak AK 20,855 mg/kg, ekstrak BK 16,966 mg/kg.

Nama '*Tannin*' berasal dari bahasa Prancis 'Tanin' (zat *Tanning*) dan digunakan untuk berbagai *polifenol* alami. *Tanin* merupakan substansi yang tersebar luas dalam tanaman, seperti daun, buah yang belum matang, batang, dan kulit kayu. Pada buah yang belum matang, *tannin* digunakan sebagai energi dalam proses metabolisme dalam bentuk oksidasi *tannin*. *Tannin* yang dikatakan sebagai sumber asam pada buah.

Sifat –sifat *tannin* :

1. Dalam air membentuk larutan koloidal yang bereaksi asam dan sepat.
2. Mengendapkan larutan gelatin dan larutan alkaloid.
3. Tidak dapat mengkristal
4. Larutan alkali mampu mengoksidasi oksigen
5. Mengendapkan protein dari larutannya dan bersenyawa dengan protein tersebut sehingga tidak dipengaruhi oleh enzim protiolitik.

Sifat kimia *tannin* :

1. Merupakan senyawa kompleks dalam bentuk campuran polifenol yang sukar dipisahkan sehingga sukar mengkristal.
2. *Tannin* dapat diidentifikasi dengan kromatografi.
3. Senyawa fenol dari *tannin* mempunyai aksi adstringensia, antiseptic, dan pemberi warna.

Identifikasi *tannin* dapat dilakukan dengan cara :

1. Diberikan larutan  $\text{FeCl}_3$  berwarna biru tua/ hitam kehijauan.
2. Ditambahkan Kalium Ferrisianida + amoniak berwarna coklat.
3. Diendapkan dengan garam Cu, Pb, Sn, dan larutan Kalium Bikromat berwarna coklat.

*Tannin*, senyawa polifenol alami yang tidak beracun dan *biodegradable*, diaplikasikan dalam formulasi *solvent* dan *waterbone pre-treatment*, diekstrak dari sumber tanaman yang telah digunakan sebagai inhibitor korosi dalam media *aqueous*. Secara umum, *tannin* dibedakan atas *condensed tannin* dan *hydrosable*. Contoh dari *condensed tannin* adalah *mangrove*, *quebracho*, dan *mimosa* yang mengandung *oligomer* dan *flavonoid*. Sedangkan contoh *hydrolysable tannin* adalah *chestnut* yang tersusun atas gula (umumnya glukosa) dan *asam gallic*.

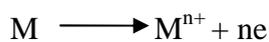
X. Chen, et. al. (2008) melakukan studi terhadap *tannin* yang digunakan sebagai *conversion coating* pada paduan magnesium. *Tannin* juga telah disebut sebagai konverter karat sejak keberadaannya mengubah karat aktif menjadi oksida *non-reactive protective*. Ross & Francis (1978) menemukan bahwa *tannin* mempercepat pembentukan fasa *magnetite* sebagai lapisan antikorosif. Sifat *protective* didapatkan dari reaksi komponen *polifenol* dari molekul *tannin* dengan *ion ferric* sehingga membentuk jaringan *cross-linked* padat yaitu *ferric-tannates*. P.O.eh, et. al. (2012) menentukan bahwa *tannin* melakukan mekanisme adsorpsi dengan membentuk *layer* pada permukaan *mild steel*. Sehingga adsorpsi pembentukan lapisan *pasif* merupakan perkiraan mekanisme inhibisi dari biji alpukat.

### 2.3 Korosi Aqueous Baja

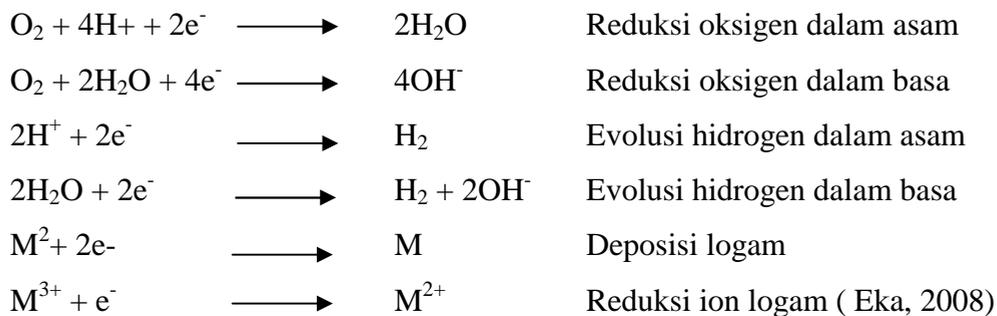
Korosi merupakan suatu kerusakan yang dihasilkan dari reaksi kimia antara sebuah logam atau logam paduan dan didalam suatu lingkungan. Fenomena korosi merupakan reaksi kimia yang dihasilkan dari dua reaksi setengah sel yang melibatkan elektron sehingga menghasilkan suatu reaksi elektrokimia. Dari dua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

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

Reaksi oksidasi :



Reaksi reduksi :



Beberapa faktor yang mempengaruhi proses korosi pada sistem aqueous antara lain :

1. Komponen ion larutan dan konsentrasinya
2. pH (tingkat keasaman)
3. Kadar oksigen
4. Temperatur dan transfer panas
5. Kecepatan (pergerakan fluida) (Eka, 2008).

## 2.4 Jenis – Jenis Korosi

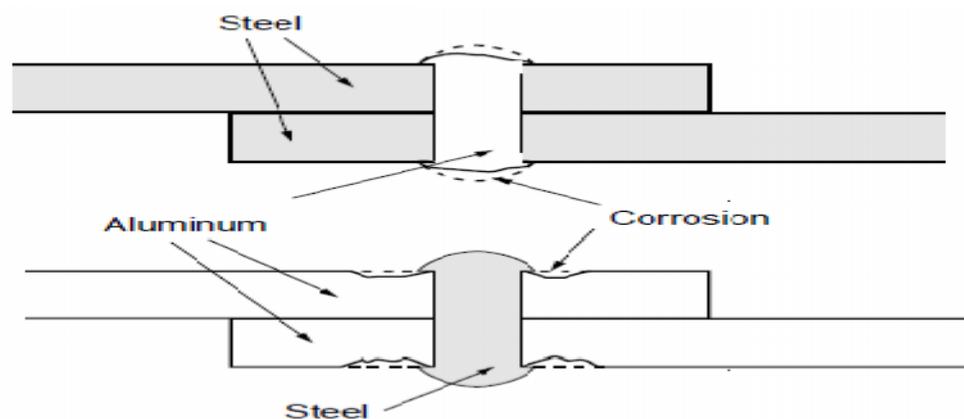
Berdasarkan bentuk kerusakan yang dihasilkan, penyebab korosi, lingkungan tempat terjadinya korosi, maupun jenis material yang diserang, korosi terbagi menjadi, diantaranya adalah :

### 1. *General / Uniform corrosion*

Merupakan korosi yang disebabkan oleh reaksi kimia atau elektrokimia yang terjadi secara seragam pada permukaan logam. Efeknya adalah terjadi penipisan pada permukaan dan akhirnya menyebabkan kegagalan karena 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, logam dengan ketahanan terhadap korosi yang rendah akan mengalami laju korosi lebih tinggi dibandingkan dengan logam yang memiliki ketahanan terhadap korosi tinggi. Pencegahan korosi ini adalah dengan menggunakan satu jenis material yang sama atau menggunakan kombinasi beberapa material yang memiliki sifat galvanis yang mirip, menggunakan insulasi pada sambungan antara logam, serta mengurangi karakteristik korosi dari fluida dengan menggunakan *corrosion inhibitor*.

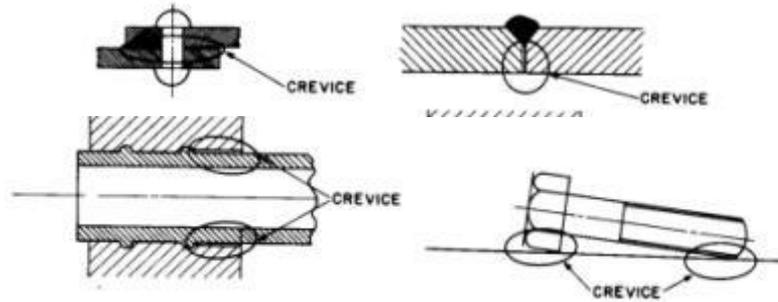


**Gambar 2.2. Galvanic corrosion**

Sumber : Roberge P.R. - Handbook of Corrosion Engineering [McGraw-Hill 1999]

### 3. *Crevice corrosion*

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

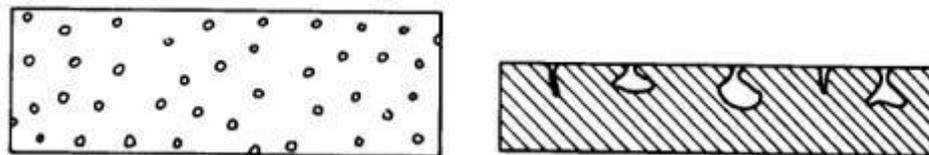


**Gambar 2.3. Area potensi crevice corrosion**

Sumber : TEMA – *Standards Of The Tubular Exchanger Manufactures Association*

### 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.

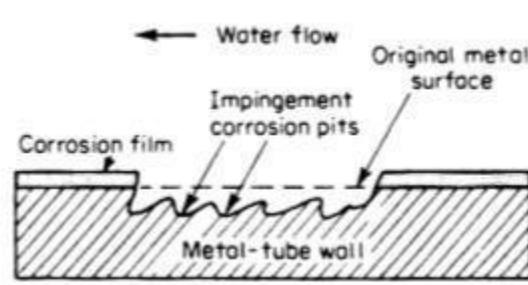


**Gambar 2.4. Pitting corrosion**

Sumber : TEMA – *Standards Of The Tubular Exchanger Manufactures Association*

### 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 2.5. Erosion corrosion pada tube condensor**

Sumber : TEMA – *Standards Of The Tubular Exchanger Manufacturers Association*

#### 6. *Stress corrosion*

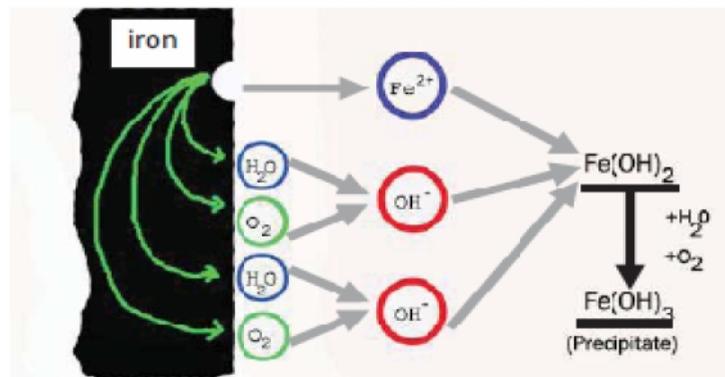
Merupakan korosi yang terjadi akibat kombinasi antara beban/*stress* pada logam dan media yang korosif. Korosi ini dapat terjadi apabila beban yang diterima oleh logam melebihi suatu minimum *stress level*.

#### 7. *Selective leaching*

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

### 2.5 Mekanisme Terbentuknya Sel 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  $H_2$  dan reduksi  $O_2$ , akibat ion  $H^+$  dan  $H_2O$  yang tereduksi. Reaksi ini terjadi dipermukaan logam yang akan menyebabkan pengelupasan akibat pelarutan logam ke dalam larutan secara berulang-ulang (Alfin, 2011).



**Gambar 2.6. Mekanisme korosi**

Sumber : Gogot haryono, 2010

## 2.6 Pengaruh Ion Klorida Terhadap Korosi Aqueous Baja

Korosi pada baja karbon antara lain dipengaruhi oleh konsentrasi ion agresif seperti ion klorida (Cl<sup>-</sup>). Konsentrasi ion klorida yang makin tinggi akan semakin meningkatkan kecenderungan terjadinya korosi.

Ion klorida kebanyakan bertindak sebagai ion triger atau ion agresif karena kemampuannya yaitu menghancurkan lapisan pasif pada permukaan baja karbon dan mempercepat laju korosinya. Ion klorida bukan merupakan unsur ilmiah yang terdapat dalam air, namun biasanya ditambahkan untuk mengontrol perkembangan organisme air. Ketika terlarut di dalam air, maka ion klorida akan berubah menjadi asam hipoklorit (HClO) dan asam klorida (HCl), yang mana akan menurunkan nilai pH.

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

### 2.7 Pengaruh pH Terhadap Korosi Aqueous Baja

Nilai pH pada air (elektrolit) dapat berbeda dengan pH aktual di permukaan logam tergantung dari reaksi yang terjadi di permukaan. Reduksi oksigen akan menghasilkan ion OH<sup>-</sup> yang dapat meningkatkan nilai pH, namun di bawah deposit produk korosi nilai pH dapat ditekan. Ketika pH air (elektrolit) moderate (pH = 5), korosi uniform merupakan serangan dominan yang akan semakin meningkat dengan penurunan pH. Pada pH 4 atau < 4 maka lapisan oksida proteksi terlarut dan terekspose di permukaan metal. Korosi akan semakin cepat terjadi karena kadar oksigen terlarut berkurang pada permukaan logam di pH rendah. Kedua reaksi yaitu evolusi hidrogen dan reduksi oksigen menjadi reaksi katodik. Pada peningkatan pH di atas 4, besi oksida terpresipitasi dari larutan ke bentuk deposit. Korosi uniform secara tiba-tiba menurun, namun di bawah deposit mulai terbentuk Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> di permukaan metal. Reaksi anodiknya adalah sebagai berikut :



Deposit tersebut bersifat sebagai penahan difusi oksigen ke permukaan logam. Pada peningkatan pH, deposit oksida besi berubah dari sedikit bersifat adherent di pH 6 menjadi keras dan kuat pada pH > 8.

Mekanisme korosi baja pada HCl yaitu laju korosi tinggi pada semua konsentrasi asam di pH < 3. Adanya ion klorida berfungsi mempercepat laju korosi. Laju korosi meningkat dengan adanya konsentrasi ion hidrogen (penurunan pH).

Mekanisme proses korosi berdasarkan variabel pH untuk baja yang laju korosi meningkat pada pH yang sangat rendah, laju korosi tidak tergantung pH pada range pH netral, laju korosi menurun dengan peningkatan pH, dan akhirnya laju korosi meningkat kembali pada pH yang sama tinggi. Reaksi anodik baja karbon yaitu :



Hal penting bahwa pH berpengaruh terhadap korosi baja karbon pada pH rendah bukan hal sederhana. Hal tersebut dikarenakan persamaan kinetik berhubungan dengan laju korosi. Selain itu, misalnya adanya ion tambahan seperti ion  $\text{Cl}^{-}$  kemungkinan meningkatkan timbulnya *localized attack* contohnya *pitting*, *crevice corrosion*, and *SCC (Stress Corrosion Cracking)*.

## 2.8 Pengaruh Oksigen Terlarut Terhadap Korosi *Aqueous* Baja

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

Peningkatan temperatur awalnya meningkatkan laju korosi mencapai dua kali lipat dengan kenaikan temperatur setiap  $30^{\circ}\text{C}$ , namun pada temperatur  $> 80^{\circ}\text{C}$  solubility dari pelarutan oksigen dapat menurunkan laju korosi.

Perbedaan transport oksigen terlarut menghasilkan perbedaan sel differensial aerasi, yang akan menghasilkan korosi terlokalisasi pada permukaan besi atau baja pada temperatur kamar. Oksigen terlalu sering mempunyai variabel access ntuk tujuan berbeda pada permukaan yang lebih besar. pH yang lebih rendah terdapat di daerah anoda (di bawah deposit karat oksida) sedangkan di sekelilingnya merupakan daerah katoda (ber-pH tinggi) yang dihasilkan dari reaksi reduksi oksigen terlarut.

Apabila dibandingkan dengan logam nonferrous seperti *copper* dan *zinc*, perilaku korosi pada baja karbon sedikit sensitif terhadap kualitas air. Hal ini sesuai dengan fakta bahwa produk dari reaksi anodik pada baja karbon bersifat tidak protektif.

## 2.9 Karakteristik Korosi Baja

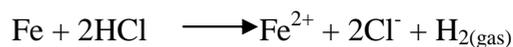
Baja murni terdiri atas logam berwarna putih-perak, tangguh, dan kuat. Baja tersebut melebur pada temperatur 1535°C. Pada aplikasi jarang sekali menggunakan baja murni, biasanya baja yang digunakan mengandung sejumlah grafit dan elemen paduan lainnya. Unsur paduan tersebut berperan dalam meningkatkan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

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

Dalam kondisi larutan *aqueous*, garam besi tersebut mengandung kation  $\text{Fe}^{2+}$  (ion besi II) dapat dengan mudah dioksidasikan menjadi ion  $\text{Fe}^{3+}$  (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 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

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



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



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

## 2.10 Proteksi Logam dari Korosi

Untuk menanggulangi masalah korosi, ada beberapa cara yang dapat dilakukan yaitu dengan perlindungan anoda, perlindungan katoda, ataupun dengan penambahan inhibitor korosi (Alfin, 2011).

### 1. Proteksi katoda

Hal ini dilakukan untuk mengurangi atau menghentikan laju korosi pada logam dengan cara arus tanding (*impressed current*). Dimana proses katodik ini dilakukan dengan memanfaatkan sumber arus luar DC (arus searah) yang dihasilkan dari *rectifier*. Pengalihan arus dari *rectifier* ini berfungsi untuk menghantarkan elektron menuju katoda sehingga dapat memberikan suplai elektron ke katoda, sehingga terlarutnya logam katoda menjadi ionnya. Perlindungan katoda ini biasanya digunakan pada baja yang terdapat dilingkungan alkali/alkali tanah atau air laut.

### 2. Proteksi anoda

Tujuan dari perlindungan anoda yaitu mengurangi reaksi elektrokimia yang menyebabkan pengurangan massa logam akibat lepasnya logam ke lingkungan dalam bentuk ion logam dengan cara mengatur nilai potensialnya. Perlindungan anoda biasanya dilakukan pada baja yang terdapat di lingkungan yang sangat korosif seperti di dalam larutan HCl.

### 3. Inhibitor korosi

Inhibitor korosi adalah senyawa kimia yang dapat mencegah atau memperlambat proses korosi. Sejauh ini, penggunaan inhibitor merupakan salah satu cara yang paling efektif untuk mencegah korosi, karena biayanya yang relatif lebih murah dan prosesnya yang sederhana. Biasanya proses korosi logam berlangsung secara elektrokimia yang terjadi secara simultan pada daerah anoda dan katoda yang membentuk rangkaian arus listrik tertutup.

Cara inhibitor mereduksi laju korosi adalah sebagai berikut:

1. Memodifikasi polarisasi katodik dan anodik (*Slope Tafel*)
2. Mengurangi pergerakan ion ke permukaan logam.
3. Menambah hambatan listrik dipermukaan logam
4. Menangkap atau menjebak zat korosif dalam larutan melalui pembentukan senyawa yang tidak agresif.

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  $\text{OH}^-$  untuk mengendapkan senyawa-senyawa tidak larut pada permukaan logam sehingga dapat menghalangi masuknya oksigen. Contoh inhibitor tipe ini antara lain Zn,  $\text{CaCO}_3$ , polifosfat.

### 2.11 Monitoring Korosi

Pengujian korosi dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama, yaitu :

1. Pengujian laboratorium, dimana kondisi dapat ditentukan dan dikontrol secara tepat.
2. Pengujian lapangan (pengujian pada lingkungan aslinya), dimana replika sampel pengujian logam atau paduan yang disebut *coupon test* atau *specimen* 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.

### 2.12 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*).

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

dilakukan pengujian rendaman sesuai dengan standar ASTM G 31-72. Dengan menghitung massa logam yang telah dibersihkan dari oksida dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa awal lalu dilakukan pada suatu lingkungan yang korosif seperti pada air laut selama waktu tertentu. Setelah itu dilakukan penghitungan massa kembali dari suatu logam setelah dibersihkan logam tersebut dari hasil korosi yang terbentuk dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa akhir. Dengan mengambil beberapa data seperti luas permukaan yang terendam, waktu perendaman dan massa jenis logam yang di uji maka dihasilkan suatu laju korosi. Persamaan laju korosi dapat ditunjukkan pada persamaan berikut :

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

Keterangan :

K : Konstanta, lihat pada Tabel 2.4

T : *Time of exposure*

A : Luas permukaan yang direndam (Cm<sup>2</sup>)

$$L = 2((p \times l) + (l \times t) + (p \times t))$$

W : Kehilangan berat (gram)

D : Density ( $\rho$ ) =  $\frac{m}{P \times L \times T}$ , gr/cm<sup>3</sup> (Bunga, 2008)

**Tabel 2.4. Konstanta Perhitungan Laju Korosi Berdasarkan Satuannya**

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

Sumber : Bunga, 2008

**Tabel 2.5. Konversi Perhitungan Laju Korosi**

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

Sumber : Bunga, 2008

Semakin besar laju korosi suatu logam maka semakin cepat material tersebut untuk terkorosi. Kualitas ketahanan korosi suatu material dapat dilihat pada Tabel 2.6.

**Tabel 2.6. Distribusi kualitas ketahanan korosi suatu material**

<i>Relative corrosion resistance</i>	Mpy	Mm/yr	$\mu\text{m}/\text{yr}$	nm/yr	pm/s
<i>Outstanding</i>	< 1	< 0,02	< 25	< 2	< 1
<i>Excellent</i>	1–5	0,02–0,1	25–100	2–10	1–5
<i>Good</i>	5–20	0,1–0,5	100–500	10–50	20–50
<i>Fair</i>	20–50	0,5–1	500–1000	20–150	20–50
<i>Poor</i>	50–200	1–5	1000–5000	150–500	50–200
<i>Unacceptable</i>	200+	5+	5000+	500+	200+

Sumber : Roni, 2011

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

### 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 :

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

Dimana :  $X_a$  : Laju korosi tanpa inhibitor (mpy)

$X_b$  : Laju korosi dengan inhibitor (mpy)