

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Baja

Baja adalah logam paduan antara besi (Fe) dan karbon (C), dimana besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,2% hingga 17% berat sesuai *grade*-nya. Dalam proses pembuatan baja terdapat unsur-unsur lain selain karbon yang tertinggal di dalam baja seperti mangan (Mn), silikon (Si), kromium (Cr), vanadium (V) dan unsur lainnya (Surdia, 1999).

Menurut ASM handbook, baja dapat diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimianya yaitu baja karbon dan baja paduan.

#### 1. Baja Karbon

Baja karbon hanya terdiri dari besi dan karbon. Karbon merupakan unsur penguat besi yang efektif dan murah. Oleh karena itu, pada umumnya sebagian besar baja hanya mengandung karbon dengan sedikit unsur paduan lainnya. Perbedaan persentase kandungan karbon dalam campuran logam baja menjadi salah satu pengklasifikasian baja. Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga macam yaitu:

##### 1. Baja karbon rendah (*Low carbon steel*)

Baja karbon rendah adalah baja yang mengandung karbon kurang dari 0,3%. Baja karbon rendah merupakan baja yang paling murah diproduksi diantara semua

karbon, mudah di *machining* dan dilas, serta keuletan dan ketangguhannya yang sangat tinggi, tetapi kekerasannya rendah dan tahan aus. Sehingga baja jenis ini dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan komponen bodi mobil, struktur bangunan, pipa gedung, jembatan, kaleng, pagar dan lain-lain.

## 2. Baja karbon menengah (*Medium carbon steel*)

Baja karbon menengah adalah baja yang mengandung karbon 0,3%-0,6%. Baja ini memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan baja karbon rendah yaitu kekerasannya lebih tinggi, kekuatan tarik dan batas regang yang lebih tinggi, tidak mudah dibentuk oleh mesin, lebih sulit digunakan untuk pengelasan, dan dapat dikeraskan (*quenching*) dengan baik. Baja karbon menengah dapat digunakan untuk poros, rel kereta api, roda gigi, pegas, baut, komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi dan lain-lain.

## 3. Baja karbon tinggi (*High carbon steel*)

Baja karbon tinggi adalah baja yang mengandung kandungan karbon 0,6%-1,7% dan memiliki ketahanan panas yang tinggi, namun keuletannya lebih rendah. Baja karbon tinggi mempunyai kuat tarik yang paling tinggi dan banyak digunakan untuk material *tools*. Salah satu aplikasi dari baja ini adalah dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung di dalam baja, maka baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas dan alat-alat perkakas seperti palu, gergaji dan lain-lain (ASM handbook, 1993).

## 2. Baja Paduan

Baja paduan adalah baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran, seperti nikel, mangan, kromium dan wolfram, yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat baja yang dikehendaki, seperti sifat kekuatan, kekerasan dan

keuletannya. Paduan dari beberapa unsur yang berbeda memberikan sifat khas dari baja. Misalnya baja yang dipadu dengan Ni dan Cr akan menghasilkan baja yang mempunyai sifat keras dan ulet.

Berdasarkan kadar paduannya, baja paduan dibagi menjadi tiga macam yaitu:

1. Baja paduan rendah (*Low alloy steel*)

Baja paduan rendah merupakan baja paduan yang elemen paduannya kurang dari 2,5% wt misalnya unsur Cr, Mn, S, Si, P dan lain-lain.

2. Baja paduan menengah (*Medium alloy steel*)

Baja paduan menengah merupakan baja paduan yang elemen paduannya 2,5%-10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

3. Baja paduan tinggi (*High alloy steel*)

Baja paduan tinggi merupakan baja paduan yang elemen paduannya lebih dari 10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dll (Amanto dan Daryanto, 1999).

C-Mn *steel* merupakan baja yang sering digunakan dalam industri pembuatan pipa. Baja ini merupakan baja berkarbon rendah karena kadar karbon yang dimilikinya di bawah 0,3%. Baja jenis ini biasa digunakan dalam industri *liquid*, seperti air dan minyak serta dalam industri gas (uap air). Komposisi kimia dari C-Mn *steel* disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Komposisi kimia C-Mn *steel*

No	Unsur	Komposisi (%)
1	Karbon (C)	0,08
2	Mangan (Mn)	1,51
3	Silikon (Si)	0,30
4	Fosfor (P)	0,010
5	Sulfur (S)	0,003
6	<i>Cuprum</i> (Cu)	0,01
7	Nikel (Ni)	0,01
8	Molibden (Mo)	0,005
9	Krom (Cr)	0,02
10	Aluminium (Al)	0,030
11	Niobium (Nb)	0,02
12	Vanadium (V)	0,001
13	Titanium (Ti)	0,015
14	Nitrogen (N)	0,017
15	Kalsium (Ca)	0,0002
16	Boron (B)	0,0004
17	Niobium + Vanadium (Nb+V)	0,020

Sumber: SEAPI *Laboratory*, 2015.

## B. Korosi

Korosi merupakan suatu peristiwa kerusakan atau penurunan kualitas suatu logam akibat bereaksi dengan lingkungannya yang terjadi secara elektrokimia. Kondisi lingkungan yang sering menyebabkan terjadinya korosi pada logam adalah udara dan air (Fontana dan Greene, 1986).

### 1. Faktor Korosi

Menurut Trethewey dan Chamberlin (1991), ada beberapa faktor penyebab terjadinya korosi antara lain adalah udara, air, tanah dan zat-zat kimia.

#### a. Udara

Udara adalah suatu campuran gas yang terdapat pada lapisan bumi dan komposisi campuran gas tersebut tidak selalu konsisten. Adanya oksigen yang terdapat di

dalam udara dapat bersentuhan dengan permukaan logam yang lembab sehingga kemungkinan terjadi korosi lebih besar.

b. Air

Air dapat dibedakan atas air laut dan air tawar. Air laut merupakan larutan yang mengandung berbagai macam unsur yang bersifat korosif. Jumlah garam dapat dinyatakan dengan salinitas, yaitu jumlah bahan-bahan padat yang terlarut dalam satu kilogram air laut. Karena banyaknya bahan-bahan padat yang terdapat dalam air laut maka akan mempengaruhi laju korosi suatu bahan logam.

Air laut sangat mempengaruhi laju korosi dari logam yang dilalui atau yang kontak langsung dengannya. Hal ini dikarenakan air laut mempunyai konduktivitas yang tinggi dan memiliki ion klorida yang dapat menembus permukaan logam (Kirk dan Othmer, 1965).

Air tawar seperti air sungai, air danau atau air tanah dapat mengandung berbagai macam garam alami, asam, oksigen, dan zat-zat kimia lain yang berasal dari susunan geologi dan mineral dari daerah yang bersangkutan. Biasanya zat terlarut yang membentuk asam, misalnya belerang dioksida, karbon dioksida dan sebagainya akan mempercepat laju korosi (Sulaiman, 1978).

c. Tanah

Di dalam tanah, korosi terjadi pada pipa, kabel, dan pada pondasi logam yang terendam di dalamnya. Tiang baja yang dikubur jauh di dalam tanah yang sudah lama tidak digali akan terkena korosi karena kurangnya oksigen dalam tanah. Pada pemasangan pipa di dalam tanah, tanah yang digali dan kemudian ditutup lagi memungkinkan adanya oksigen terkurung di dalam tanah, sehingga dapat

menyebabkan korosi. Korosi elektrokimia dapat terjadi dalam tanah akibat adanya arus listrik yang disebabkan oleh kebocoran arus listrik dari kabel jalan rel kereta api atau sumber-sumber lain. Tanah harus dianalisis terlebih dahulu sebelum logam-logam dimasukkan ke dalamnya, karena tanah dapat mengandung berbagai macam zat kimia dan mineral yang korosif. Setelah dianalisis, kita dapat menentukan usaha perlindungan yang tepat terhadap logam-logam tersebut dari serangan korosi di dalam tanah.

#### d. Zat-zat kimia

Zat kimia yang dapat menyebabkan korosi antara lain asam, basa dan garam, baik dalam bentuk cair, padat maupun gas. Pada umumnya, korosi oleh zat kimia pada suatu material dapat terjadi bila material mengalami kontak langsung dengan zat kimia tersebut (Trethewey dan Chamberlin, 1991).

## 2. Jenis-jenis Korosi

Jenis-jenis korosi sangatlah banyak. Secara umum jenis-jenis korosi dibedakan menjadi:

### 1. Korosi seragam

Korosi seragam merupakan jenis korosi yang dikarakterisasikan oleh reaksi kimia atau elektrokimia dengan penampakan produk korosi dan peronggaan skala besar dan merata, dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Korosi seragam (sumber Priyotomo, 2008).

Korosi merata merupakan bentuk korosi yang sering terjadi dan banyak dijumpai pada besi yang terendam dalam larutan asam. Jenis korosi ini terlihat secara merata pada permukaan logam dengan intensitas sama, yang akan menjadi tipis secara merata pada permukaannya dengan kecepatan yang hampir sama, sehingga daerah-daerah anoda dan katoda tersebar pada seluruh permukaan. Contohnya sebatang besi (Fe) atau seng (Zn) direndam dalam larutan  $H_2SO_4$ , keduanya akan larut dengan laju yang merata pada permukaan logam (Fontana dan Greene, 1986).

## 2. Korosi Dwi Logam (*galvanic corrosion*)

Korosi jenis ini merupakan hal yang umum terjadi pada kehidupan sehari-hari.

Untuk contoh korosi dwi logam dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Korosi dwi logam (sumber Priyotomo, 2008)

Korosi galvanik adalah jenis korosi yang terjadi antara dua buah logam dengan nilai potensial berbeda saat dua buah logam bersatu dalam suatu elektrolit yang korosif.

## 3. Korosi celah (*crevice corrosion*)

Untuk lebih jelas mengenai korosi jenis ini, penampakan korosi celah (*crevice corrosion*) dapat dilihat pada Gambar 2.3.

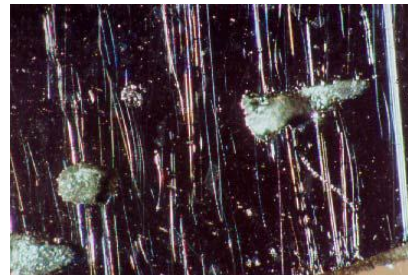


Gambar 2.3. Korosi celah (*crevice corrosion*) (sumber Priyotomo, 2008).

Jenis korosi lokal yang terjadi antara dua buah material baik logam-logam atau logam-non logam yang mempunyai celah antara keduanya, sehingga mengakibatkan terjadinya perbedaan konsentrasi oksigen (*differential oxygen*).

#### 4. Korosi sumuran (*pitting corrosion*)

Untuk mempermudah memahami korosi sumuran (*pitting corrosion*) dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Korosi sumuran (*pitting corrosion*) (sumber Priyotomo, 2008).

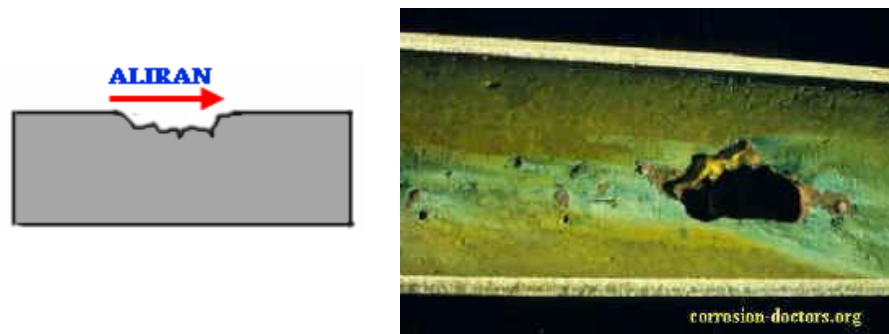
Korosi sumuran merupakan jenis korosi yang menyerang secara lokal selektif yang menghasilkan bentuk-bentuk permukaan lubang-lubang di logam.

#### 5. Korosi erosi

Jenis korosi ini terjadi pada industri yang mengalirkan minyak memakai pipa.

Contoh dari korosi ini dapat dilihat pada Gambar 2.5.



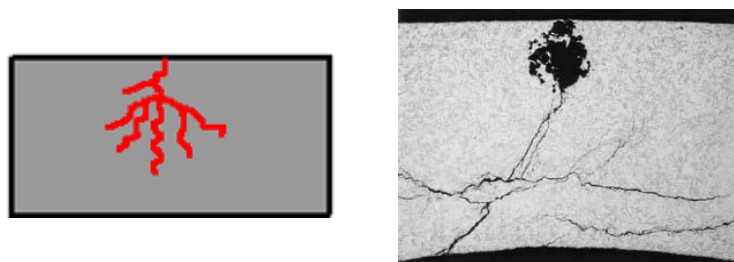


Gambar 2.5. Korosi erosi (sumber Priyotomo, 2008).

Korosi erosi merupakan jenis korosi yang menggunakan proses mekanik melalui pergerakan relatif antara aliran gas atau cairan korosif dengan logam.

#### 6. Korosi retak tegang (*stress corrosion cracking*)

Korosi jenis ini sering terjadi dalam logam yang mengalami keretakan. Untuk mempermudah memahami korosi jenis ini dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Korosi retak tegang (sumber Priyotomo, 2008).

Korosi retak tegang merupakan jenis korosi yang disebabkan kehadiran secara simultan tegangan tarik (*tensile stress*) dan media korosif yang menyebabkan terjadi penampakan retak di dalam logam.

#### 7. Korosi batas butir (*intergranular corrosion*)

Untuk mempermudah dalam memahami korosi batas butir, dapat dilihat pada Gambar 2.7.

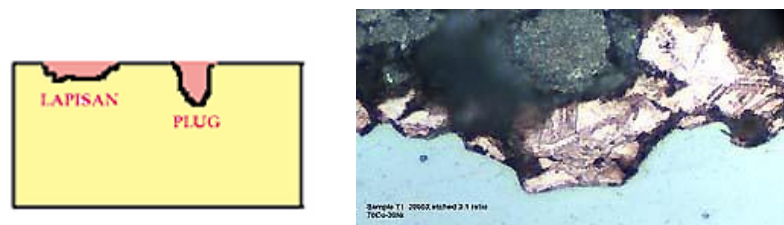


Gambar 2.7. Korosi batas butir (sumber Priyotomo, 2008).

Korosi batas butir merupakan korosi yang secara lokal menyerang batas butir-butir logam sehingga butir-butir logam akan hilang atau kekuatan mekanik dari logam akan berkurang, Korosi ini disebabkan adanya kotoran (*impurity*) batas butir, adanya unsur yang berlebih pada sistem perpaduan atau penghilangan salah satu unsur pada daerah batas butir.

#### 8. Peluluhan selektif (*selective leaching/dealloying*)

Korosi jenis ini secara visual dapat dilihat pada Gambar 2.8.

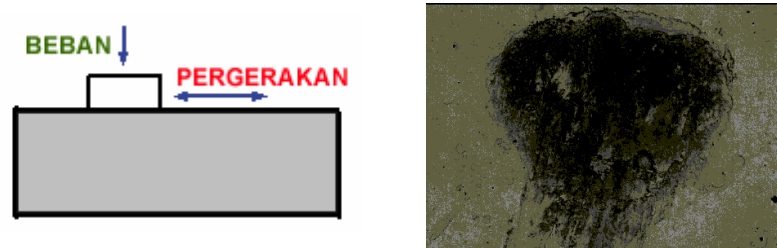


Gambar 2.8. Peluluhan selektif (Sumber Priyotomo, 2008).

Peluluhan selektif atau *dealloying* merupakan penghilangan salah satu unsur dari paduan logam oleh proses korosi.

#### 9. *Fretting corrosion*

*Fretting corrosion* terjadi karena ada pergerakan oleh beban, secara visual dapat dilihat pada Gambar 2.9.

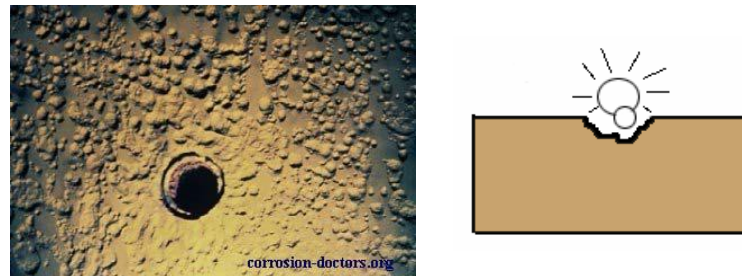


Gambar 2.9. *Fretting corrosion* (Sumber Priyotomo, 2008).

*Fretting corrosion* merupakan jenis korosi yang terjadi pada dua permukaan kontak logam dengan beban yang besar bergerak dengan gerak vibrasi pada permukaan logam dasar di lingkungan korosif.

#### 10. Peronggaan (*Cavitation*)

Peronggaan (*cavitation*) terjadi saat tekanan operasional cairan turun di bawah tekanan uap gelembung-gelembung gas yang dapat merusak permukaan logam dasar. Secara visual dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Peronggaan (*cavitation*) (Sumber Priyotomo, 2008).

### 3. Pencegahan Korosi

Proses korosi dapat dicegah dengan melihat berbagai aspek yang mempengaruhi proses korosi tersebut. Aspek-aspek dalam pencegahannya yaitu:

#### 1. Seleksi Material

Metode yang sering digunakan dalam pencegahan korosi yaitu seleksi material dengan pemilihan logam atau paduan yang ditempatkan dalam suatu lingkungan

korosif tertentu. Beberapa contoh material yaitu:

#### **a. Baja Karbon**

Logam struktur sering menggunakan baja karbon karena baja karbon secara ekonomis relatif murah, banyak sekali variasi jenis baja karbon dan dapat dikerjakan untuk permesinan, pengelasan dan pembuatan dalam berbagai bentuk. Beberapa jenis baja karbon dapat terjadi korosi perapuhan hidrogen (*hydrogen embrittlement*), korosi seragam, *stress corrosion*, korosi galvanik dan sebagainya.

#### **b. Baja Stainless**

Baja stainless umumnya sebagai alternatif pengganti baja karbon. Banyak jenis baja stainless yaitu *martensitic stainless steel*, *ferritic stainless steel*, *austenitic stainless steel* dan *precipitation-hardening stainless steel*. Umumnya *austenitic stainless steel* (seri 300) terdiri dari unsur pembentuk utama besi dan unsur krom 18% dan nikel 8%. Secara umum baja jenis ini tahan terhadap korosi, tetapi kurang tahan terhadap korosi sumuran, korosi celah dan korosi retak tegang pada beberapa lingkungan.

#### **c. Paduan Aluminium**

Paduan aluminium umumnya digunakan di bidang penerbangan, otomotif dan sebagainya karena mempunyai ketahanan terhadap korosi atmosfer, sayangnya sifat protektif dari lapisan film oksida aluminium yang membentuk paduan dapat pecah secara lokal dan akan mengakibatkan kegagalan korosi pada lokasi pecahnya lapisan protektif itu. Lapisan protektif atau lapisan pasif yang pecah akan mengakibatkan jenis korosi batas butir (*intergranular corrosion*) sehingga akan terjadi pelepasan butir-butir logam dari logam ke lingkungan (*exfoliation corrosion*).

#### **d. Paduan Tembaga**

Perunggu dan kuningan umumnya digunakan untuk material perpipaan, katup-katup dan perkakas (perabotan). Material tersebut rentan terhadap korosi retak tegang (*stress corrosion cracking*) saat di lingkungan bersenyawa amonia, *dealloying* dan menyebabkan korosi dwi logam saat dipasangkan dengan baja atau struktur logam lainnya. Umumnya paduan-paduan tembaga relatif lunak sehingga rentan terjadi korosi erosi.

#### **e. Titanium**

Titanium merupakan salah satu logam yang ada di alam dalam jumlah terbatas, sehingga relatif mahal saat pembuatannya. Aplikasi logam ini umumnya sebagai bahan industri antariksa dan industri proses kimia. Dua jenis paduan titanium secara umum yaitu paduan ruang angkasa (*aerospace alloy*) dan paduan tahan korosi. Walaupun mempunyai ketahanan lebih dari material logam lainnya, korosi celah masih dapat terjadi.

### **2. 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.

### **3. Pelapisan (*coating*)**

Prinsip umum dari pelapisan (*coating*) yaitu melapisi logam induk dengan suatu bahan atau material pelindung. Jenis-jenis pelapisan sebagai pelindung proses

korosi dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu pelapisan organik, anorganik dan logam.

a. Pelapisan logam dan anorganik

Pelapisan logam dan anorganik dengan ketebalan tertentu dapat memberikan pembatas antara logam dan lingkungannya.

Metode pelapisan dengan logam:

1. *Electroplating* (Penyepuhan listrik)

Komponen yang akan dilapisi dan batangan atau pelat logam direndam dalam suatu larutan elektrolit yang mengandung garam-garam logam bahan penyepuh. Kemudian suatu potensial diberikan, sehingga komponen sebagai katoda dan batangan logam penyepuh menjadi anoda. Ion-ion logam penyepuh dari larutan akan mengendap ke permukaan komponen sementara dari anoda ion-ion akan terlarut.

2. *Hot dipping* (Pencelupan panas)

Komponen dicelupkan ke dalam wadah besar berisi logam pelapis yang meleleh (dalam keadaan cair). Antara logam pelapis dan logam yang dilindungi terbentuk ikatan secara metalurgi yang baik karena terjadinya proses perpaduan antarmuka (*interface alloying*).

3. *Flame spraying* (Penyemprotan dengan semburan api)

Logam pelapis berbentuk kawat diumpankan pada bagian depan penyembur api hingga meleleh, kemudian segera dihembuskan dengan tekanan yang tinggi menjadi butiran-butiran halus. Butiran-butiran halus dengan kecepatan 100-150 m/s menjadi pipih saat menumbuk permukaan logam dan melekat.

#### b. Pelapisan Organik

Pelapisan ini memberikan batasan-batasan antara material dasar dan lingkungan.

Pelapis organik antara lain: cat, vernis, enamel, selaput organik dan sebagainya.

#### **4. Perubahan media dan inhibitor**

Perubahan media lingkungan bertujuan untuk mengurangi dampak korosi.

Parameter-parameter umum yaitu:

- Penurunan temperatur
- Penurunan laju alir larutan elektrolit
- Menghilangkan unsur oksigen atau oksidiser
- Perubahan konsentrasi
- Inhibitor (Priyotomo, 2008).

#### **C. Inhibitor**

Inhibitor korosi adalah suatu senyawa organik atau anorganik yang apabila ditambahkan dalam jumlah relatif sedikit ke dalam sistem logam akan efektif menurunkan laju korosi logam. Syarat umum suatu senyawa yang dapat digunakan sebagai inhibitor korosi adalah senyawa-senyawa yang mampu membentuk senyawa kompleks atau memiliki gugus fungsi yang mampu membentuk ikatan kovalen koordinasi (Dalimunthe, 2004).

##### **1. Jenis Inhibitor**

Berdasarkan materialnya, inhibitor korosi terbagi menjadi dua, yaitu inhibitor organik dan anorganik.

a. Inhibitor anorganik

Inhibitor anorganik dapat menghambat material logam secara anodik atau katodik karena memiliki gugus aktif (Wiston, 2000). Inhibitor ini terdiri dari beberapa senyawa anorganik seperti fosfat, kromat, dikromat, silikat, borat, molibdat dan arsenat. Senyawa-senyawa tersebut sangat berguna dalam aplikasi pelapisan korosi, namun inhibitor ini memiliki kelemahan yaitu bersifat toksik (Ameer dkk, 2000).

b. Inhibitor organik

Inhibitor organik berperan sebagai inhibitor anodik dan katodik karena dapat menghambat reaksi anodik dan katodik, sehingga akan terjadi penurunan laju korosi yang ditandai dengan melambatnya reaksi anodik, reaksi katodik atau bahkan kedua reaksi tersebut (Argrawal dkk, 2004). Senyawa yang digunakan sebagai inhibitor organik adalah senyawa heterosiklik yang mengandung atom nitrogen, sulfur atau oksigen yang mempunyai elektron bebas (Stupnisek dkk, 2002).

Inhibitor dapat mempengaruhi seluruh permukaan dari suatu logam yang terkorosi apabila digunakan dalam konsentrasi yang cukup. Efektifitas dari inhibitor ini bergantung pada komposisi kimia, struktur molekul, dan permukaan logam. Inhibitor organik diklasifikasikan ke dalam 2 bentuk, yaitu sintetis dan alami. Inhibitor sintetis dapat menghambat laju korosi logam, namun inhibitor ini sangat berbahaya terhadap manusia dan lingkungan karena inhibitor sintetis bersifat toksik. Sedangkan untuk inhibitor organik alami bersifat non-toksik dan ramah lingkungan karena berasal dari senyawa bahan alam seperti tumbuh-tumbuhan



(Oguzie dkk, 2007) dan hewan (Cheng dkk, 2007) yang mengandung atom N, O, P, S, dan atom-atom yang memiliki pasangan elektron bebas yang dapat berfungsi sebagai ligan yang akan membentuk senyawa kompleks dengan logam (Ilim dan Hermawan, 2008).

#### **D. Daun Teh (*Camellia sinensis*)**

*Camellia sinensis* adalah tanaman teh, dimana spesies tanaman ini daun dan pucuk daunnya digunakan untuk minuman teh. Tumbuhan ini termasuk genus *Camellia*, suatu genus tumbuhan berbunga dari famili *Theaceae*. Teh putih, teh hijau, dan teh hitam semuanya didapat dari spesies ini, namun diproses secara berbeda untuk memperoleh tingkat oksidasi yang berbeda. Nama *sinensis* dalam bahasa Latin berarti Cina. Sedangkan *Camellia* diambil dari nama Latin Pendeta Georg Camel, S. J (1661-1706), seorang pendeta kelahiran Ceko yang menjadi seorang pakar botani dan misionaris. Meskipun Kamel tidak menemukan maupun menamai tumbuhan ini, Carolus Linnaeus, pencipta sistem taksonomi yang masih dipakai hingga sekarang, memilih namanya sebagai penghargaan atas kontribusi Camel terhadap sains. Nama lama untuk tumbuhan teh ini termasuk *Thea bohea*, *Thea sinensis*, dan *Thea viridis*. Bentuk daun teh (*Camellia sinensis*) diperlihatkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Daun teh (*Camellia sinensis*)

Taksonomi dari daun teh ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Taksonomi dari Daun Teh

Klasifikasi Ilmiah	
Kingdom	<i>Plantae</i>
Divisi	<i>Magnoliophyta</i>
Kelas	<i>Magnoliopsida</i>
Ordo	<i>Ericales</i>
Famili	<i>Theaceae</i>
Genus	<i>Camellia</i>
Spesies	<i>C. sinensis</i>

Sumber: Wikipedia, 2014.

Selanjutnya untuk kandungan dari daun teh ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Kandungan daun teh

Zat	Kandungan
Tanin	17,68%
Flavanol	3-4%
Karbohidrat	3-5%
Pektin	4,9-7,6%
Alkoloid	3-4%
Protein dan Asam Amino	1,4-5%
Zat Warna	0,019%
Asam Organik	0,5-2%
Resin	3%
Mineral	4-5%

Sumber: Tim penelitian dan pengembangan industri, 2013.

### E. Natrium Klorida

Natrium klorida, juga dikenal sebagai garam dan garam dapur, merupakan senyawa ionik dengan rumus NaCl. Natrium klorida pada umumnya merupakan padatan bening dan tak berbau, serta dapat larut dalam gliserol, etilen glikol, dan asam formiat, namun tidak larut dalam HCl. Natrium klorida adalah garam paling berpengaruh terhadap salinitas laut dan cairan ekstraselular pada banyak organisme multiselular. Natrium klorida merupakan bahan utama dalam garam

dapur, dan biasanya digunakan sebagai bumbu dan pengawet makanan. Natrium klorida terkadang digunakan sebagai bahan pengering yang murah dan aman karena memiliki sifat higroskopis, membuat penggaraman menjadi salah satu metode yang efektif untuk pengawetan makanan (Anonim B, 2010).

Adapun sifat fisis natrium klorida dapat dilihat pada Tabel 2.4.

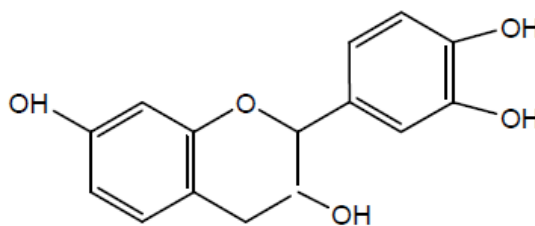
Tabel 2.4. Sifat fisis natrium klorida

No.	Sifat fisis	
1	Berat molekul	58,44 g/mol
2	Titik didih	1465°C pada 1 atm
3	Titik beku	801,4°C pada 1 atm
4	Densitas	2,16 g/ml
5	Warna	putih
6	Bentuk	kristal putih
7	Rumus molekul	NaCl

Sumber: Wikipedia, 2015.

## F. Tanin

Tanin merupakan zat organik yang sangat kompleks dan terdiri dari senyawa fenolik. Pada tumbuh-tumbuhan, senyawa tanin terdapat pada bagian kulit kayu, batang, daun dan buah. Beberapa jenis tanaman yang dapat menghasilkan tanin, antara lain: tanaman pinang, daun sirsak, daun teh, tanaman akasia, gabus, bakau, pinus, kulit manggis, kulit kakao dan gambir. Struktur tanin dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Struktur Tanin

Dilihat dari struktur kimianya, tanin memiliki rumus empiris  $C_{14}H_{14}O_{11}$  dengan berat molekul antara 500-2000 (Harborne, 1984).

Ekstraksi merupakan proses penarikan komponen/ zat aktif suatu simpliasi menggunakan pelarut tertentu. Prinsip ekstraksi didasarkan pada distribusi zat terlarut dengan perbandingan tertentu antara dua pelarut yang tidak saling bercampur (Khopar, 2002). Ekstraksi digolongkan ke dalam dua bagian besar berdasarkan bentuk fasa yang diekstraksi yaitu ekstraksi cair-cair dan ekstraksi cair-padat. Untuk ekstraksi cair-cair dapat menggunakan corong pisah, sedangkan ekstraksi cair-padat terdiri dari beberapa cara yaitu maserasi, perkolasi dan sokletasi (Harborne, 1984).

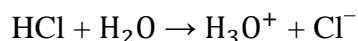
Maserasi merupakan proses ekstraksi dengan cara perendaman menggunakan pelarut organik pada suhu ruang. Proses ini sangat menguntungkan dalam proses isolasi senyawa organik bahan alam karena dengan perendaman sampel akan terjadi pemecahan dinding dan membran sel akibat perbedaan tekanan di dalam dan di luar sel, sehingga metabolit sekunder yang ada dalam sitoplasma akan terlarut dalam pelarut organik serta struktur senyawa tidak akan mudah rusak (Harborne, 1984).

### **G. Asam Klorida**

Asam klorida adalah larutan akuatik dari gas hidrogen klorida (HCl). HCl merupakan asam kuat, yang merupakan komponen utama dalam asam lambung. Senyawa ini juga digunakan secara luas dalam industri. Asam klorida harus ditangani dengan hati-hati, karena merupakan cairan yang sangat korosif, berbau

menyengat dan berbahaya. Asam klorida pertama kali ditemukan sekitar tahun 800 M oleh ahli kimia Jabir bin Hayyan (Geber) dengan mencampurkan natrium klorida dengan asam sulfat. Jabir menemukan banyak senyawa-senyawa kimia penting lainnya, dan mencatat penemuannya ke dalam lebih dari dua puluh buku (Van Dorst, 2004; Leicester, 1971).

Hidrogen klorida (HCl) adalah asam monoprotik, yang berarti bahwa ia dapat berdisosiasi melepaskan satu  $H^+$  hanya sekali. Dalam larutan asam klorida,  $H^+$  ini bergabung dengan molekul air membentuk ion hidronium,  $H_3O^+$ .



Ion lain yang terbentuk adalah ion klorida ( $Cl^-$ ). Asam klorida oleh karenanya dapat digunakan untuk membuat garam klorida, seperti natrium klorida. Asam klorida adalah asam kuat karena ia berdisosiasi penuh dalam air.

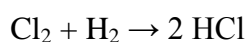
Asam klorida adalah larutan gas HCl dalam air. Kelarutan gas HCl ini dalam air dapat mencapai 450 liter per liter air pada suhu  $0^\circ C$  dan tekanan 1 atmosfer. Gas HCl tidak berwarna, membentuk kabut jika terkena udara lembab, baunya sangat menusuk dan sangat asam. Udara yang mengandung 0,004% gas tersebut dapat membunuh. Asam klorida pekat yang murni berupa cairan tidak berwarna, sedangkan yang teknis berwarna agak kuning karena mengandung feri. Asam klorida pekat memiliki massa jenis  $1,19 \text{ gr/cm}^3$  dan memiliki kadar sebesar 38%. Asam klorida adalah asam yang sangat kuat, dapat melarutkan hampir semua logam, termasuk Pb pada kondisi panas, kecuali logam-logam mulia.

Cara pembuatan asam klorida adalah:

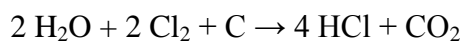
1. Menurut cara Leblanc, HCl dapat dibuat dengan memanaskan hablur NaCl dengan asam sulfat pekat.



2. Dari unsur-unsurnya pada suhu tinggi (600°C), dilakukan dalam pipa kwarsa yang dipanaskan.



3. Dari kokas yang dipijarkan dialiri gas klor dan uap air panas (900°C)



Selanjutnya, kegunaan asam klorida adalah:

1. Di laboratorium digunakan sebagai pengasam, menurunkan pH, penetral basa, membuat gas klor, gas karbon dioksida dan membuat garam-garam klorida (FeCl<sub>3</sub>, CaCl<sub>2</sub>, KCl dan sebagainya).
2. Dalam aneka industri digunakan dalam pembuatan cat celup, hidrolisis pati menjadi glukosa, dekstrin, membersihkan logam (Anonim A, 2014)

#### **H. XRD (*X-Ray Diffraction*)**

Suatu material dapat dipelajari kisi-kisi ruang dari intensitasnya secara cepat dan akurat menggunakan difraksi sinar-X (Brindley dan Brown, 1980). Sinar-X ditemukan pertama kali oleh Wilhelm Rontgent pada tahun 1895, ketika elektron yang dipercepat dengan tegangan yang tinggi dalam tabung vakum mengenai target yang berupa logam atau gelas, kemudian dihamburkan oleh target tersebut

(Giancoli, 1984). Sinar tersebut diberi nama “sinar-X” karena setelah penemuannya oleh Rontgen, sinar tersebut masih merupakan misteri. Hingga kemudian diketahui bahwa sifat sinar-X mempunyai daya penetrasi yang tinggi, dapat menghitamkan pelat film, dapat membuat mineral terfluoresensi dan tidak dapat dibelokkan oleh medan listrik maupun medan magnet (Keller dkk, 1993).

Fenomena tidak dipengaruhinya sinar-X oleh medan listrik dan medan magnet, mengindikasikan bahwa sinar-X bukan partikel bermuatan, dan mempunyai panjang gelombang yang sangat pendek (Giancoli, 1984). Hal ini menyebabkan sinar-X mempunyai tingkat resolusi yang lebih baik dalam mengamati atom-atom dan molekul-molekul mikroskopik.

Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang sekitar 0,5-2,5 Å. Bila seberkas sinar-X dengan panjang gelombang  $\lambda$  diarahkan pada permukaan kristal dengan sudut datang  $\theta$ , maka sinar tersebut akan dihamburkan oleh bidang atom kristal dan menghasilkan puncak-puncak difraksi yang dapat diamati dengan peralatan difraktor (Cullity, 1978).

Sistem kerja difraktometer sinar-X didasarkan pada hukum Bragg. Pola difraksi, intensitas dan sudut difraksi  $2\theta$  berbeda-beda untuk setiap bahan. Interferensi berupa puncak-puncak intensitas diperoleh sebagai hasil proses difraksi dimana terjadi interaksi antara sinar-X dengan atom-atom pada bidang kristal (Vlack, 1994). Hamburan sinar-X oleh elektron-elektron di dalam atom suatu material dapat dilihat dalam Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Sinar-X yang dihamburkan oleh atom-atom kristal yang berjarak  $d$  (Richman, 1967).

Dari Gambar 2.13 terlihat bahwa gelombang pertama memiliki panjang yang sama yaitu  $AB+BC$ , begitu pula dengan gelombang kedua  $DF+FH$ . Gelombang kedua berjalan lebih jauh dari gelombang pertama, dan selisihnya adalah:

$$\Delta = (DF + FH) - (AB + BC) \quad (2.1)$$

Jika dari titik B ditarik garis ke DF dan FH, diberi tanda E dan G, maka:

$$DE=AB, GH=BC \quad (2.2)$$

Perbedaan antara dua gelombang tersebut adalah:

$$\Delta = EF + FG \quad (2.3)$$

Diketahui bahwa  $EF+FG$  merupakan  $\lambda$  (panjang gelombang) dan panjang EF sama dengan panjang FG yaitu sebesar  $d \sin \theta$ , sehingga:

$$\lambda = d \sin \theta + d \sin \theta \quad (2.4)$$

$$\lambda = 2 d \sin \theta \quad (2.5)$$

Sinar 1 dan 2 akan menjadi 1 fasa jika beda lintasan sama dengan jumlah  $n$  panjang gelombang sehingga:

$$n\lambda = 2 d \sin \theta \quad (2.6)$$



persamaan inilah yang kemudian dikenal sebagai hukum Bragg, yang pertama kali ditulis oleh W. L. Bragg. Persamaan di atas kemudian diturunkan menjadi

$$\lambda = 2 \frac{d'}{n} \sin \theta \quad (2.7)$$

Jarak antar bidang adalah  $1/n$  dari jarak sebelumnya, maka ditetapkan  $d = \frac{d'}{n}$  dengan demikian persamaan Bragg dapat ditulis seperti:

$$\lambda = 2 d \sin \theta \quad (2.8)$$

Dengan  $\lambda$  = panjang gelombang (m),  $d$  = jarak kisi (m), dan  $\theta$ =sudut difraksi (Richman, 1967). Karena nilai  $\sin \theta$  maksimum adalah 1, maka persamaan menjadi:

$$\frac{n\lambda}{2d} = \sin \theta < 1 \quad (2.9)$$

Dari persamaan dapat dilihat untuk memenuhi nilai  $\sin \theta$ , maka nilai  $n\lambda$  harus  $< 2d$ . Dengan demikian kondisi untuk difraksi pada sudut  $2\theta$  yang teramati adalah:

$$\lambda < 2d \quad (2.10)$$

Pada kebanyakan kristal nilai  $d$  adalah dalam orde  $3 \text{ \AA}$  atau kurang, sehingga kristal tidak dapat mendifraksikan sinar ultraviolet dengan panjang gelombang kira-kira  $500 \text{ \AA}$  (Cullity, 1978).

## I. SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Mikroskop elektron dikenal dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) adalah sebuah mikroskop yang mampu melakukan pembesaran objek sampai 2 juta kali

dan merupakan salah satu teknik analisis untuk mengetahui struktur mikro dan morfologi dalam berbagai material seperti keramik, komposit, dan polimer. Mikroskop elektron menggunakan elektrostatik dan elektromagnetik untuk mengontrol pencahayaan dan tampilan gambar, serta memiliki kemampuan pembesaran objek dan resolusi yang jauh lebih bagus daripada mikroskop cahaya (Sembiring, 2012).

Secara sederhana prinsip instrumennya sama dengan mikroskop optik yang kita kenal, namun kemampuannya melebihi mikroskop optik. Mikroskop elektron memiliki resolusi dan kedalaman fokus yang sangat tinggi dibandingkan mikroskop optik, sehingga tekstur, morfologi dan topografi serta tampilan permukaan sampel dalam ukuran mikron dapat terlihat. Dengan memiliki resolusi tinggi, SEM juga mampu memberikan informasi dalam skala atomik. Tabel 2.5 menunjukkan perbandingan secara teoritis nilai resolusi untuk mata, mikroskop optik dan SEM.

Tabel 2.5. Perbandingan nilai batas resolusi alat SEM

Jenis	Panjang gelombang (nm)	Lebar celah	Resolusi	Magnifikasi
Mata	400-700	-----	0,1 mm	---
Mikroskop optik	400-700	1,4	0,2 $\mu\text{m}$	1000
Mikroskop elektron	0,0068	0,01	0,5 nm	500.000

Dari Tabel 2.5 dapat dilihat bahwa mikroskop elektron memiliki resolusi sampai dalam batas nanometer, sehingga mikroskop elektron dapat digunakan untuk karakterisasi material-material yang memiliki ukuran dalam skala nano (Griffin dan Riessen, 1991).

## 1. Sejarah SEM

Tidak diketahui secara persis siapa sebenarnya penemu mikroskop pemindai elektron (SEM). Publikasi pertama kali yang mendeskripsikan teori SEM dilakukan oleh fisikawan Jerman Dr. Max Knoll pada tahun 1935, meskipun fisikawan Jerman lainnya Dr. Manfred Von Ardenne mengklaim dirinya telah melakukan penelitian suatu fenomena yang kemudian disebut SEM hingga tahun 1937. Sehingga, tidak satu pun dari keduanya mendapatkan hadiah nobel untuk penemuan ini.

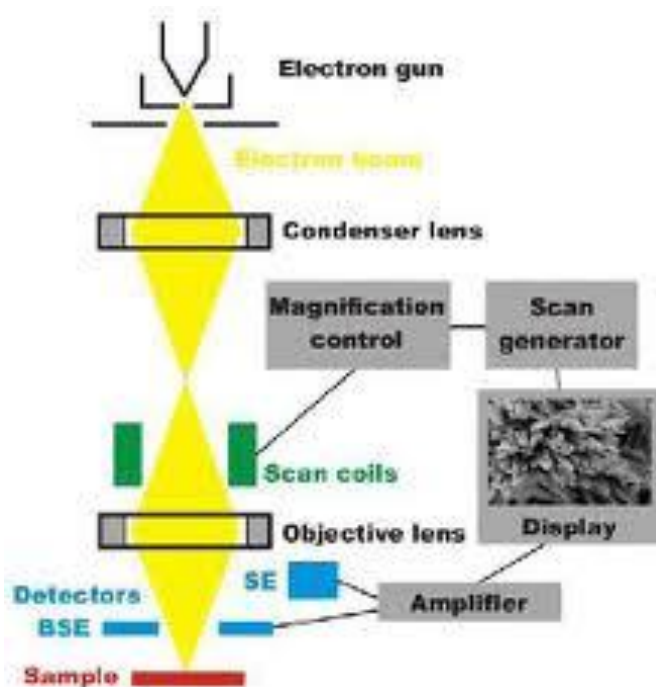
Pada tahun 1942 tiga orang ilmuwan Amerika yaitu Dr. Vladimir Kosma Zworykin, Dr. James Hillier, dan Dr. Snijder, benar-benar membangun sebuah mikroskop elektron metode pemindai (SEM) dengan resolusi hingga 50 nm dan magnifikasi 8.000 kali. Mikroskop elektron cara ini memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) di permukaan objek dan mengambil gambarnya dengan mendeteksi elektron yang muncul dari permukaan objek (McMullan, 1988).

## 2. Prinsip Kerja SEM

SEM terdiri dari penembak elektron (*electron gun*), tiga lensa elektrostatik dan kumparan pengulas elektromagnetik yang terletak antara lensa kedua dan ketiga, serta tabung foto multiplier untuk mendeteksi cahaya pada layar fosfor. Berkas elektron dihasilkan dengan memanaskan filamen, lalu diberikan tegangan tinggi antara anoda dan katoda. Tujuannya untuk mempercepat elektron hingga kecepatan yang kira-kira 1/3 kali kecepatan cahaya. Kemudian berkas elektron dikumpulkan oleh lensa kondenser elektromagnetik, dan difokuskan oleh lensa objektif. Berkas elektron menumbuk sampel menghasilkan elektron sekunder

yang dipantulkan dari sampel kemudian dideteksi dan dikuatkan oleh tabung multiplier.

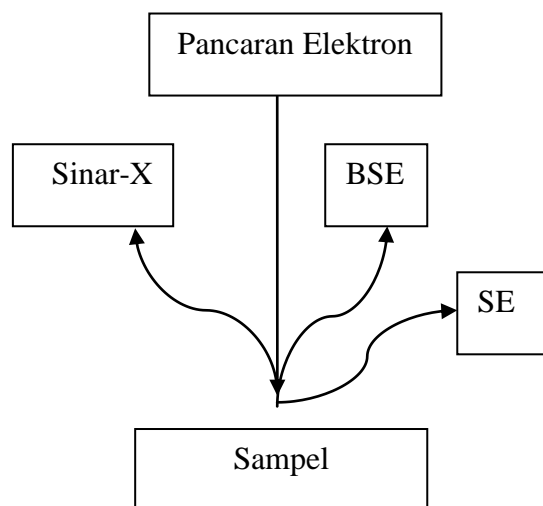
SEM bekerja dengan mengandalkan tembakan elektron yang dihasilkan dari filamen. Selanjutnya elektron primer difokuskan untuk berinteraksi dengan atom pada sampel seperti pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14. Skema SEM (Reed, 1993).

Pada Gambar 2.14 terlihat bahwa elektron yang keluar dari pancaran elektron-elektron primer dengan energi yang sangat besar dipusatkan oleh lensa kondensor membentuk berkas cahaya dan akan terbelokkan oleh sepasang *scan coils* kemudian difokuskan kembali oleh lensa objektif sehingga elektron primer berinteraksi dengan sampel. Pada saat terjadinya interaksi antara elektron primer dan elektron terluar dari sampel, misalnya kulit K, pada saat itu juga terjadi sebuah hamburan elektron yang mengakibatkan elektron di kulit K terpentil (tereksitasi) keluar karena energinya lebih kecil daripada energi elektron primer.

Dengan kenyataan tersebut, atom yang bereaksi mengakibatkan elektron yang baru datang tersebut dapat memberikan sisa energinya pada elektron-elektron di kulit K, L, M, N dan seterusnya dengan cara menjatuhkan diri hingga menuju kulit yang terdekat dengan inti dan elektron-elektron kulit-kulit di atasnya akan kelebihan energi dari sebelumnya sehingga secara beraturan elektron-elektron tersebut masing-masing akan naik menuju ke kulit terluar. Pada saat elektron kelebihan energi dan pindah ke kulit atasnya itulah akan timbul sinar-X. Dengan melihat kejadian-kejadian tersebut, mikroskop elektron tidak menggunakan sinar-X tetapi menggunakan elektron yang tereksitasi. Elektron yang tereksitasi tersebut pada umumnya akan memiliki dua sebutan akibat energinya yang terdeteksi pada posisi tertentu oleh detektor-detektor yang di dekatnya, ditunjukkan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15. Sinyal hasil interaksi berkas elektron dengan sampel (Reed, 1993).

Data atau tampilan gambar dari topologi permukaan atau lapisan yang tebalnya sekitar  $20 \mu\text{m}$  yang berupa tonjolan dapat diperoleh dari penangkapan elektron (hamburan inelastis) yang keluar dari kulit atom yang terluar dengan *secondary*

*electron detector* (SE). Kemudian diolah dalam bentuk tegangan-tegangan menjadi digital dan tampilan pada layar CRT (TV). Hal yang berbeda pada elektron terhambur balik *backscattered electron* (BE) yang mana akan menghasilkan suatu gambar berupa komposisi (gambar yang termaksimumkan) akibat penangkapan energi elektron yang keluar dari kulit atom yang terluar (hamburan elastis) (Smith, 1990).

### **3. SEM yang dilengkapi EDS**

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dilengkapi dengan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) yang dapat menentukan unsur dan analisis komposisi kimia. Bila suatu berkas elektron yang ditembakkan atau dikenai pada sampel akan terjadi interaksi berupa elektron yang keluar dari atomnya, maka elektron tersebut mempunyai tingkat energi yang lebih rendah dari yang lain. Hal ini menyebabkan atom menjadi kurang stabil, sedangkan suatu atom mempunyai kecenderungan ingin menjadi stabil. Oleh karena itu, elektron yang mempunyai tingkat energi yang lebih tinggi akan turun (transisi) ke tingkat yang lebih rendah, kelebihan energi yang dilepas pada waktu transisi adalah dalam bentuk sinar-X. Karena beda tingkat energi untuk suatu atom tertentu, sehingga sinar-X yang dihasilkan oleh suatu atom tersebut juga mempunyai energi tertentu dan ini disebut sinar-X karakteristik. Energi pancaran elektron dalam bentuk sinar-X akan dideteksi dan dihitung oleh EDS dan akan dihasilkan keluaran berupa grafik puncak-puncak tertentu yang mewakili unsur yang terkandung. EDS juga memiliki kemampuan untuk melakukan elemental masing-masing elemen di permukaan bahan. EDS juga dapat digunakan untuk menganalisis secara kualitatif dari persentase masing-masing elemen (Qulub, 2011).

#### **4. Kelemahan SEM**

Teknik karakterisasi menggunakan SEM memiliki beberapa kelemahan, antara lain:

- a. Memerlukan kondisi vakum
- b. Hanya menganalisis permukaan
- c. Resolusi lebih rendah dari TEM
- d. Sampel harus bahan yang konduktif, jika tidak konduktor maka perlu dilapisi logam seperti emas (Schmieg, 2012).