

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pengertian Korosi

Korosi sesuai (Korosi, Kenneth r. Trethewey, 1991) adalah proses perusakan pada permukaan logam yang disebabkan oleh terjadinya reaksi kimia (reaksi elektro kimia) pada permukaan logam. Pada hakikatnya korosi adalah suatu reaksi dimana suatu logam dioksidasi sebagai akibat dari serangan kimia oleh lingkungan (uap air, oksigen di atmosfer, oksida asam yang terlarut dalam air). Dalam bahasa sehari-hari korosi disebut dengan perkaratan. Kata korosi berasal dari bahasa latin “corrodere” yang artinya pengrusakan logam atau perkaratan. Jadi jelas korosi dikenal sangat merugikan.

Korosi merupakan sistem termodinamika logam dengan lingkungannya, yang berusaha untuk mencapai kesetimbangan. Sistem ini dikatakan setimbang bila logam telah membentuk oksida atau senyawa kimia lain yang lebih stabil. Korosi merupakan reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tak dikehendaki. Dalam bahasa sehari-hari, korosi disebut perkaratan. Contoh korosi yang paling lazim adalah perkaratan besi. Pada peristiwa korosi, logam mengalami oksidasi, sedangkan oksigen (udara) mengalami reduksi. Karat logam umumnya adalah berupa oksida dan karbonat. Rumus kimia karat besi adalah  $Fe_2O_3 \cdot xH_2O$ , suatu zat padat yang berwarna coklat-merah. Korosi atau perkaratan logam juga dikenal sebagai proses oksidasi sebuah logam dengan udara atau elektrolit lainnya, dimana udara atau elektrolit akan mengalami reduksi, sehingga proses korosi merupakan proses elektrokimia.

Korosi disebut juga suatu penyakit dalam dunia teknik, walaupun secara langsung tidak termasuk produk teknik. Studi dari korosi adalah sejenis usaha pengendalian kerusakan supaya serangannya serendah mungkin dan dapat melampaui nilai ekonomisnya, atau jangan ada logam jadi rongsokan sebelum waktunya. Caranya adalah dengan pengendalian

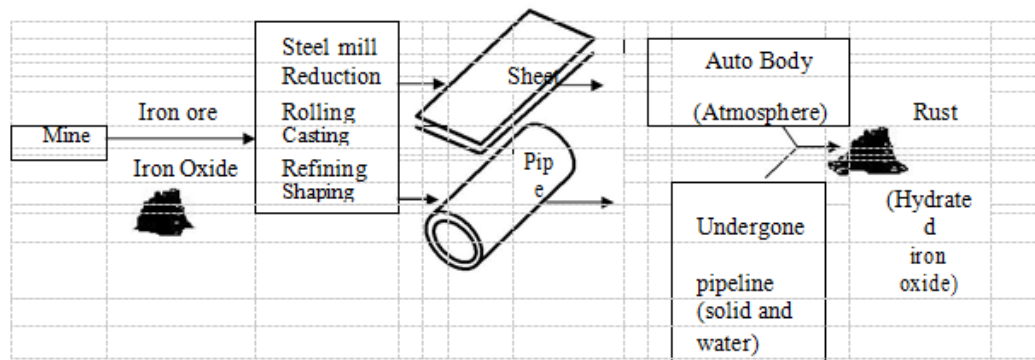
secara preventif supaya menghambat serangan korosi. Cara ini lebih baik daripada memperbaiki secara represif yang biayanya akan jauh lebih besar.

## 2.2 Dasar Terjadinya 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, teknik pencampuran bahan dan sebagainya. Faktor dari lingkungan meliputi tingkat pencemaran udara, suhu, kelembaban, keberadaan zat-zat kimia yang bersifat korosif dan sebagainya.

Bahan-bahan korosif (yang dapat menyebabkan korosi) terdiri atas asam, basa serta garam, baik dalam bentuk senyawa an-organik maupun organic, terjadinya gesekan antara air laut dengan plat, terdapatnya air laut pada tanki ballas sehingga dapat menimbulkan korosi yang besar pada plat tank top, serta terjadinya gesekan antara muatan container dengan tank top kapal. Maka dari penyebab tersebut dapat membuat korosi semakin tinggi dan dapat merusak konstruksi dari kapal.

Dalam dunia teknik, material korosi yang sering disinggung adalah korosi pada logam. Ilustrasi dari proses pengkorosian pada material logam dapat dilihat pada Gambar 2.1 dimana besi yang dibentuk sesuai kegunaannya dapat terkorosi akibat lingkungan yang dihadapi pada aplikasinya.



**Gambar 2.1** Proses pengkorosian logam  
(Sumber : Korosi, Kenneth r. Trethewey, 1991)

Kondisi lingkungan sangat mempengaruhi tingkat korosifitas pada suatu material. Sebagai contoh bahwa kelembaban di Indonesia sangat korosif, dapat dibuktikan dari percobaan di bawah ini:

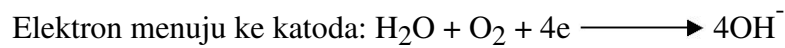
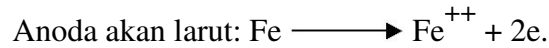
Dua buah bayonet yang terbuat dari baja karbon 0.45% dalam keadaan putih (tanpa lapis lindung) digantungkan dalam gelas penyungkup yang di bawahnya diberi pengering silicagel, maka setelah beberapa minggu kita amati ternyata masih tetap tidak ada perubahan. Tetapi bayonet lain yang terbuat dari bahan dan kondisi yang sama digantung di bawah atap yang dapat pengaruh langsung dari udara luar tapi tidak kena sinar matahari dan hujan, maka dalam hari ketiga sudah mulai ada lapisan yang berwarna coklat karena terjadi lapisan karat. Contoh lain yaitu pabrik minyak kelapa di Ambon yang menurut perancangnya dari Jepang akan tahan lebih dari 20 tahun, tetapi ternyata tangki-tangkinya sudah mulai berkarat pada tahun kedua karena air pendingin dan pencuci dicemari air laut pada saat pasang.

Dalam lingkungan tertentu dapat saja medianya bersifat asam netral, lembab, panas dan ada yang menunjang zat-zat renik yang juga dapat menimbulkan masalah korosi. Dari segi teori, korosi tidak mungkin sepenuhnya dapat dicegah karena memang merupakan proses alamiah bahwa semua logam akan kembali ke sifat asalnya. Asal dari tanah kembali ke tanah, asal dari bijih besi kembali ke oksida besi. Walaupun demikian pengendalian korosi harus dilakukan secara maksimal, karena dilihat dari segi ekonomi dan segi keamanan merupakan hal yang tidak mungkin ditinggalkan.

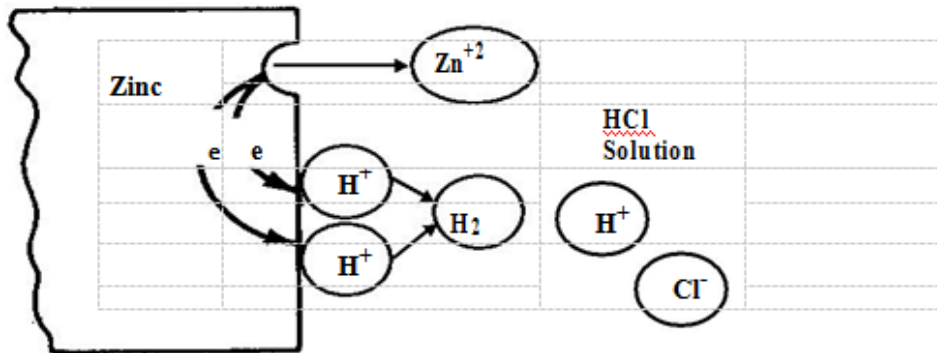
Jadi pengendalian korosi harus dimulai dari perancangan, pengumpulan data lingkungan, proses, peralatan yang dipakai bahan baku dan cara pemeliharaan yang akan dilaksanakan.

Menurut proses elektrokimia, bahwa proses korosi pada logam disebabkan karena logam itu mempunyai komposisi kimia yang tidak homogen. Dalam kenyataan memang logam sangat sulit untuk dibuat betul-betul homogen. Akibatnya akan ada perbedaan potensial yang dapat

menimbulkan korosi galvanis bila ada elektrolit (uap air dan udara). Bagian yang berpotensi lebih rendah akan menjadi anoda sedangkan yang berpotensi lebih tinggi akan menjadi katoda. Sebagai contoh korosi pada besi.



Contoh lain: Bila  $\text{Zn} + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2$  atau  $\text{Zn} \longrightarrow \text{Zn}^{++}$   
 (reaksi oksidasi terkorosi disebut reaksi anodik).  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2$   
 (reaksi reduksi disebut juga reaksi katodik).



**Gambar 2.2** Korosi karena logam tidak homogen  
 (Sumber : Korosi, Kenneth r. Trethewey, 1991)

Dapat disimpulkan bahwa logam kontak dengan elektrolit akan terjadi:

- a. Anoda di mana terjadi korosi.
- b. Katoda yang tidak terkorosi.
- c. Bajanya sebagai pembawa arus.
- d. Lingkungan yang korosif (air laut) sebagai elektrolit

### 2.3 Klasifikasi Korosi

Korosi dapat diklasifikasikan dalam berbagai cara. Salah satu metode dalam pembagian korosi adalah korosi oksidasi dan korosi elektro kimia. Pembagian lain dari klasifikasi korosi adalah korosi temperatur rendah dan korosi temperatur tinggi. Adapun pembagian yang sering digunakan adalah *wet corrosion* and *dry corrosion*.

### 2.2.3 *Wet Corrosion dan Dry Corrosion*

Korosi adalah reaksi kimia antara logam dan lingkungannya yang berakibat mengalirnya arus listrik. Lingkungan yang dimaksud adalah lingkungan yang berair, tetapi ini tidak berarti bahwa korosi tidak terjadi bila air tidak ada. Banyak reaksi korosi dapat berlangsung dilingkungan yang dikatakan kering. Selain itu ingat bahwa korosi dapat terjadi di udara karena kandungan uap air, serta bahan-bahan ionik cukup untuk menyebabkan korosi seperti bila logam direndam dalam air. Keberadaan air dan bahan ionik saling menunjang: arus hanya dapat diangkut melalui air oleh ion-ion bebas, sementara air menyebabkan terurainya padatan ionik menjadi ion-ion bebas yang dibutuhkan. Sebagai contoh untuk menunjukkan bahwa arus listrik mengalir dalam larutan hanya bila larutan itu mengandung ion-ion, misalnya larutan natrium klorida berpelarut air, seandainya ion-ion tidak ada, seperti pada spiritus putih, atau hanya sedikit sekali pada air murni, aliran arus tidak ada dan karena itu aliran listrik tidak terbentuk.

*Wet corrosion* terjadi ketika ada fasa cair yang terlibat dalam proses korosi. Korosi ini biasanya melibatkan larutan berair atau elektrolit. Contoh yang sering dijumpai adalah korosi besi karena berada dilingkungan berair. *Dry corrosion* terjadi karena tidak adanya fasa cair atau fasa di atas titik embun dari lingkungan. Penyebab dari korosi ini adalah uap air dan gas-gas yang ada di lingkungan sekitarnya. Korosi ini paling sering dikaitkan dengan suhu yang tinggi. Sebagai contoh serangan korosi pada baja akibat dimasukkan di dalam tungku pembakaran.

## 2.4 Laju Korosi

Karena hampir semua korosi adalah merupakan suatu reaksi elektrokimia, semua yang mempengaruhi kecepatan suatu reaksi kimia atau jumlah arus yang mengalir akan mempengaruhi laju korosi. Hukum Ohm dapat diterapkan untuk bagian elektrik dari sel korosi. Laju korosi berbanding lurus dengan sejumlah arus yang mengalir pada sel korosi elektrokimia. Jika arus dapat diukur, suatu kalkulasi yang tepat dari

kehilangan metal dapat ditentukan. Ini berarti bahwa suatu pengukuran dalam ampere atau milliampere secara matematis dihitung dalam kilogram (pound) per tahun. Suatu Amp tahun adalah satu Ampere yang mengalir selama periode satu tahun. Logam yang berbeda memiliki laju korosi yang berbeda.

Satuan laju korosi:

Konversi laju korosi kesatuan yang lain:

$$1 \text{ mpy} = 1000 \text{ ipy}$$

$$1 \text{ mpy} = 0.0254 \text{ mm/tahun}$$

$$1 \text{ mpy} = 25.4 \text{ } \mu\text{m/tahun}$$

$$1 \text{ mpy} = 12,100 \text{ in/bulan}$$

$$1 \text{ mpy} = 2.90 \text{ nm/jam}$$

$$1 \text{ mpy} = 0.0694 \text{ d gr/m}^2 \text{ tahun.}$$

#### **2.4.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi**

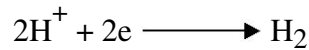
Sering di dalam proses industri, faktor-faktor yang mempengaruhi korosi terkadang diinginkan untuk melakukan perekayasaan diproses industri. Berikut ini adalah faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi laju korosi suatu material:

##### **2.4.1.1 Polarisasi**

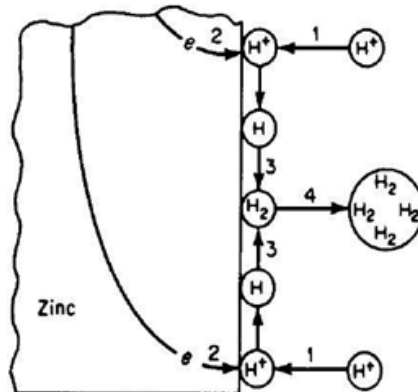
Suatu reaksi elektrokimia dikatakan terpolarisasi apabila terjadi proses perlambatan dari laju reaksi semula. Polarisasi bertindak sebagai pelapis tambahan, dan mempengaruhi tingkat pH dan konsentrasi ion pada elektrolit. Kecepatan pada reaksi elektrokimia terbatas oleh bermacam-macam faktor fisis dan kimia. Oleh karena itu reaksi elektrokimia dapat dikatakan sebagai polarisasi atau penurunan yang disebabkan oleh faktor

lingkungan. Polarisasi dapat dibagi menjadi dua jenis yang berbeda yaitu akitifasi polarisasi dan konsentrasi polarisasi.

Polarisasi aktivasi adalah polarisasi yang disebabkan oleh faktor pelambat yang berasal dari reaksi elektrokimia itu sendiri, yakni terjadinya evolusi terbentuknya gas hidrogen di katoda.



Sebagai ilustrasi yang mudah adalah reaksi terlepasnya atom hidrogen pada logam *zinc* sebagai akibat dari korosi pada lingkungan asam. Gambar 2.5 menunjukkan skema suatu tahapan pada proses tereduksinya hidrogen pada permukaan logam *zinc*. Tahapan ini dapat pula terjadi pada suatu jenis atom yang tereduksi pada permukaan logam. Tahap pertama atom tersebut harus dapat mengikat suatu permukaan sebelum terjadinya reaksi. Tahap kedua harus terjadi transfer elektron sebagai hasil reduksi dari atom tersebut. Tahap ketiga, dua atom hidrogen menyatu untuk membentuk gelembung dan pada tahap ke empat, gelembung tersebut menjadi gas hidrogen. Kecepatan reduksi pada ion hidrogen dapat dikendalikan dengan memperlambat empat tahap di atas.

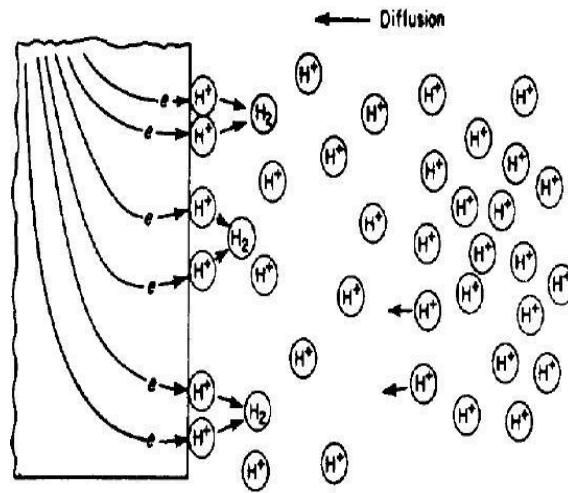


**Gambar 2.3** Reaksi reduksi hidrogen  
(Sumber : Korosi, Kenneth r. Trethewey, 1991)

Laju reduksi ion hidrogen menjadi gas hidrogen merupakan fungsi beberapa faktor termasuk kecepatan transfer elektron ke ion hidrogen di permukaan metal. Jadi terdapat keterkaitan antara laju reaksi dengan jenis metal, konsentrasi ion hidrogen serta suhu reaksi tersebut. Kemampuan

metal-metal untuk mentransfer elektron ke ion hidrogen dipermukaannya berbeda-beda, sehingga karenanya laju evolusi gas hidrogen pada permukaan berbagai bahan metal pun berbeda-beda pula.

Polarisasi konsentrasi menyangkut proses pelambatan reaksi elektro kimiawi sebagai akibat dari perubahan konsentrasi di dalam larutan di dekat permukaan metal. Konsentrasi polarisasi digambarkan pada Gambar 2.6. Untuk kasus evolusi hidrogen, dimana terdapat ion-ion hidrogen yang sangat kecil, dan kecepatan reduksi dapat dikendalikan oleh difusi pada ion-ion hidrogen yang terjadi pada permukaan logam. Aktifasi polarisasi biasanya dapat dikontrol pada media yang mengandung konsentrasi tinggi dan pada media pengkorosian aktif (contoh: konsentrasi asam). Konsentrasi polarisasi pada umumnya didominasi ketika konsentrasi pada proses reduksi adalah kecil, (contoh: asam yang terlarut dan aerasi garam). Konsentrasi yang berhubungan dengan logam biasanya kecil dan bisa diabaikan. Konsentrasi polarisasi sangat penting hanya pada reaksi reduksi.



**Gambar 2.4** Polarisasi kosentrasi selama reduksi hidrogen  
(Sumber : Korosi, Kenneth r. Trethewey, 1991)

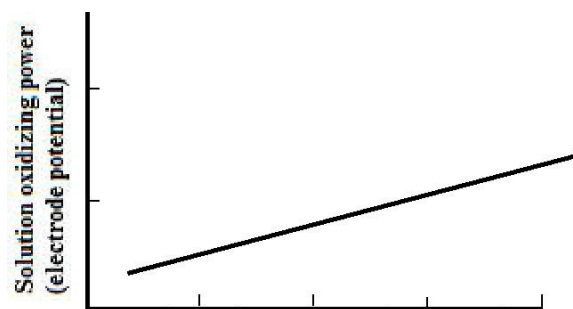
#### 2.4.1.2 Pasivasi

Pada dasarnya, pasivitas adalah lepasnya suatu unsur akibat reaksi kimia yang dialami oleh beberapa logam dan paduan pada suatu kondisi lingkungan khusus. Logam dan paduan yang mengalami pasivitas



diantaranya besi, nikel, silicon, chromium, titanium dan paduan-paduannya. Observasi juga telah dilakukan untuk mengetahui efek pasivitas pada beberapa logam, diantaranya *zinc*, *cadmium*, *tin* dan *thorium*.

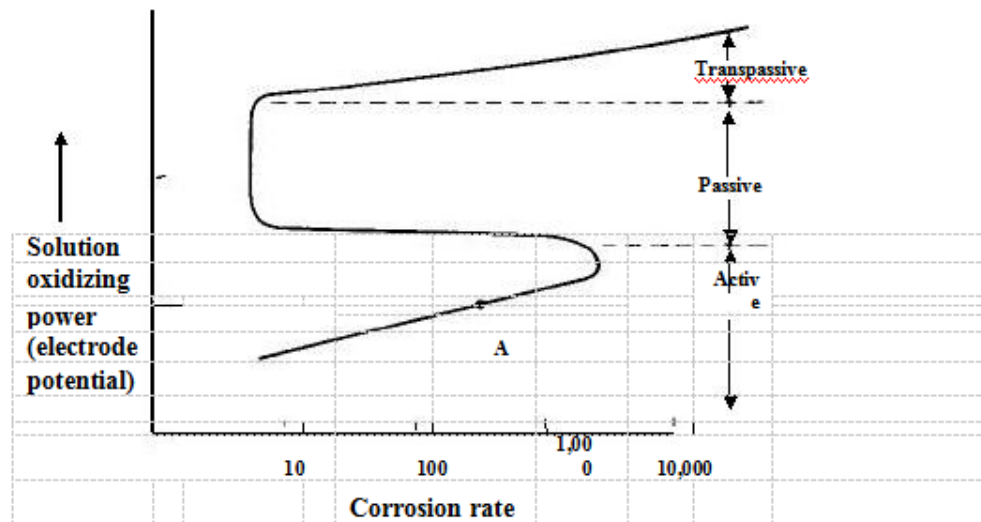
Pasivitas sulit untuk didefinisikan, karena pasivitas hanya dapat digambarkan secara kuantitatif dimana karakteristik suatu logam akan mengalami pengaruh yang luar biasa akibat pasivitas. Pada Gambar 2.7 diilustrasikan suatu pasivitas yang dialami oleh logam, dimana laju korosi logam tersebut dipengaruhi oleh daya oksidasi dengan menggunakan potensial elektron. Gambar tersebut mengilustrasikan bahwa sebuah logam dicelupkan pada lingkungan asam yang terbebas dari kandungan udara, lingkungan tersebut ditambahkan daya oksidasi pada titik A dan laju korosinya digambarkan dengan sebuah garis pada gambar tersebut. Jika daya oksidasi pada lingkungan ini meningkat, maka laju korosi pada logam tersebut juga meningkat .



**Gambar 2.5** Laju korosi pada logam sebagai fungsi dari potensial elektron  
(Sumber : Korosi, Kenneth r. Trethewey, 1991)

Gambar 2.8 mengilustrasikan jenis-jenis material berdasarkan laju korosinya pada penambahan daya oksidasi dengan menggunakan elektroda potensial. Jenis-jenis material dibagi menjadi tiga kategori yaitu aktif, pasif dan transpatif. Untuk material pada daerah aktif biasanya daerah ini identik dengan logam pada umumnya, dimana penambahan daya oksidasi dengan menggunakan elektroda potensial diikuti dengan penambahan laju korosi. Untuk material yang berada pada daerah pasif, penambahan daya

oksidasi tidak mempengaruhi laju korosi yang terjadi pada material tersebut. Sedangkan untuk daerah transpatif, penambahan daya oksidasi tidak mempengaruhi laju korosi, namun untuk penambahan daya oksidasi yang besar, laju korosi material tersebut juga ikut bertambah.

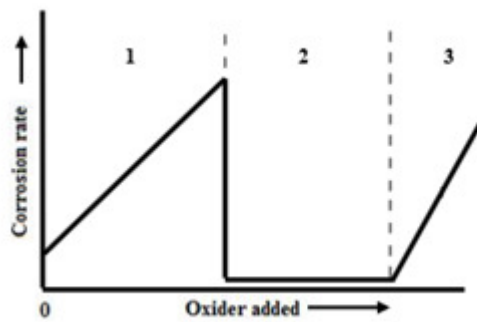


**Gambar 2.6** Karakteristik korosi dari logam aktif-pasif sebagai fungsi potensial elektroda

(Sumber : Korosi, Kenneth r. Trethewey, 1991)

#### 2.4.1.3 Konsentrasi Oksigen

Pengaruh oksigen pada laju korosi dapat digambarkan pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 2.9. Bentuk grafik tersebut dibagi menjadi tiga bagian yang berbeda. Untuk daerah 1 adalah karakteristik pada logam normal dan juga pada logam aktif-pasif di mana logam tersebut berada pada daerah aktif. Untuk logam yang ditunjukkan pada daerah transisi aktif-pasif, sifat pasif dicapai bila kuantitas oksigen tercukupi. Bertambah cepatnya laju korosi seiring dengan bertambahnya konsentrasi oksigen yang ditambahkan hal ini digambarkan pada daerah 1 dimana karakteristik daerah ini dimiliki oleh logam monel dan tembaga pada lingkungan *acid solution* yang mengandung oksigen.



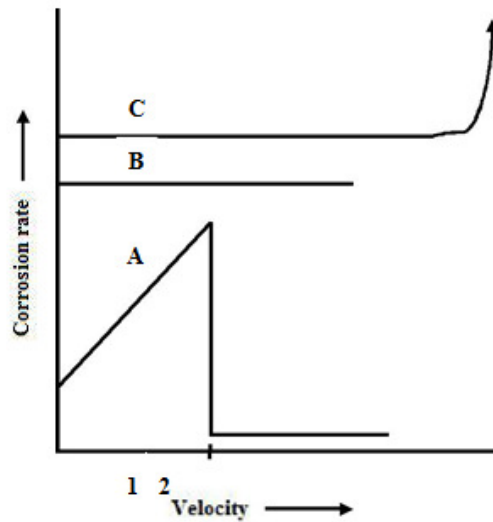
**Gambar 2.7** Pengaruh oksigen terhadap laju korosi

(Sumber : Korosi, Kenneth r. Trethewey, 1991)

#### 2.4.1.4 Kecepatan Angin

Pengaruh kecepatan angin terhadap laju korosi adalah seperti pengaruh penambahan oksigen terhadap laju korosi. Gambar 2.10 menunjukkan ciri khas pengaruh kecepatan terhadap laju reaksi. Untuk proses korosi yang dikendalikan oleh aktivasi polarisasi maka kecepatan tidak memiliki pengaruh terhadap laju reaksi, seperti yang diilustrasikan oleh kurva B. Jika proses korosi dikendalikan oleh difusi katodik. Ketika kecepatan meningkat maka laju korosi meningkat seperti yang ditunjukkan pada kurva A bagian 1. Pengaruh ini umumnya terjadi ketika adanya zat pengoksidasi dalam jumlah yang sedikit, seperti halnya oksigen yang terlarut dalam larutan asam atau air.

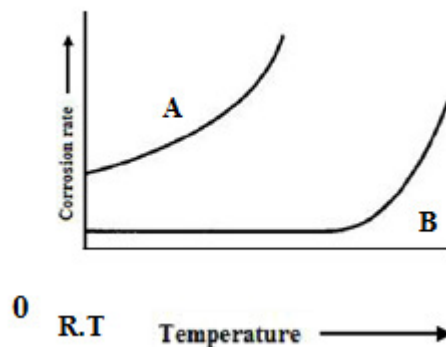
Jika proses mengalami difusi dan logam bersifat pasif maka besarnya laju reaksi akan digambarkan oleh kurva A bagian 1 dan 2. Beberapa logam memiliki ketahanan korosi pada medium tertentu karena terbentuknya lapisan pelindung yang sangat besar. Ketika material yang terkena sinar matahari dan terdapat angin yang sangat besar maka hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada lapisan pelindung tersebut, sehingga laju korosi meningkat.



**Gambar 2.8** Pengaruh kecepatan terhadap laju korosi  
(Sumber : Korosi, Kenneth r. Trethewey, 1991)

#### 2.4.1.5 Pengaruh Suhu

Peningkatan suhu dapat meningkatkan laju reaksi kimia. Gambar 2.11 menggambarkan pengamatan dua keadaan umum pengaruh suhu terhadap laju korosi logam. Kurva A menunjukkan kenaikan yang sangat cepat dalam laju korosi disebabkan oleh kenaikan suhu pula. Kurva B menggambarkan bahwa laju reaksi tidak terlalu dipengaruhi oleh kenaikan suhu, yaitu pengaruh suhu diabaikan terhadap laju reaksi meskipun terjadi dalam suhu yang sangat tinggi. Sebagai contoh kasus yang terjadi pada baja karbon, monel dan nikel dalam lingkungan yang asam.



**Gambar 2.9** Pengaruh suhu terhadap laju korosi  
(Sumber : Korosi, Kenneth r. Trethewey, 1991)

## 2.5 Bentuk-Bentuk Korosi

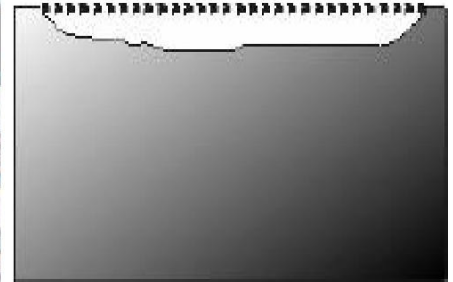
Akan lebih mudah untuk mengklasifikasikan korosi berdasarkan penampilan atau rupa logam yang terserang korosi. Masing-masing bentuk korosi dapat dikenali dengan hanya melakukan pengamatan secara visual. Pada kebanyakan kasus, pengamatan bentuk korosi hanya dengan mata telanjang sudah cukup. Tetapi kadang-kadang pengamatan dengan menggunakan perbesaran juga dibutuhkan. Informasi yang penting untuk solusi dari masalah korosi sering diperoleh melalui pengamatan yang cermat dari spesimen uji korosi.

Beberapa dari delapan bentuk korosi adalah bersifat unik. Delapan bentuk korosi tersebut adalah : *uniform or general attack, galvanic or two metal corrosion, crevice corrosion, pitting, intergranular corrosion, selective leaching or parting, erosion corrosion, and stress corrosion*. Bentuk-bentuk korosi tersebut mencakup hampir semua kegagalan korosi. *Hydrogen damage* adalah bukan bentuk korosi, akan tetapi sering terjadi akibat dari serangan korosi.

### 2.5.1 *Uniform Attack* (Korosi Merata)

Korosi merata adalah bentuk korosi yang pada umumnya sering terjadi. Hal ini biasanya ditandai dengan adanya reaksi kimia atau elektrokimia yang terjadi pada permukaan yang bereaksi. Logam menjadi tipis dan akhirnya terjadi kegagalan pada logam tersebut. Sebagai contoh, potongan baja atau seng dicelupkan pada asam sulfat encer, biasanya akan terlarut secara seragam pada seluruh permukaannya.

Contoh lain dari korosi merata adalah pada pelat baja atau profil, permukaannya bersih dan logamnya homogen, bila dibiarkan di udara biasa beberapa bulan maka akan terbentuk korosi merata pada seluruh permukaannya.



**Gambar 2.10** Korosi merata pada logam  
(Sumber : Korosi, Kenneth r. Trethewey, 1991)

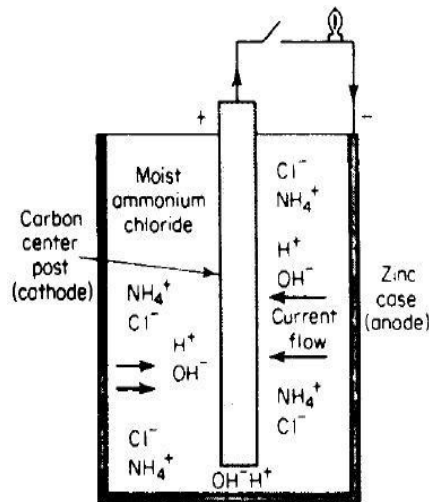
Korosi merata merupakan keadaan kerusakan yang sangat besar terhadap material. Namun demikian korosi ini kurang diperhatikan karena umur dari peralatan dapat diperkirakan secara akurat dengan pengujian lain yang lebih sederhana. Korosi merata dapat dilakukan pencegahan dengan cara pelapisan, inhibitor dan proteksi katodik.

### **2.5.2 Galvanic Corrosion (Korosi Galvanik)**

Perbedaan potensial biasanya terjadi diantara dua logam yang berbeda, ketika keduanya di celupkan ke dalam larutan korosif. Ketika logam tersebut berkontak, dengan adanya perbedaan potensial akan menghasilkan aliran elektron. Elektron mengalir dari logam yang kurang mulia (anodik) menuju ke metal yang lebih mulia (katodik). Akibatnya metal yang kurang mulia berubah menjadi ion-ion positif karena kehilangan elektron. Ion-ion positif metal bereaksi dengan ion-ion negatif yang berada di dalam elektrolit menjadi garam metal. Karena peristiwa tersebut permukaan anoda kehilangan metal. Korosi akan menyerang logam yang ketahanan-korosi nya lebih rendah dan serangan pada logam yang lebih tahan-korosi akan lebih sedikit. Logam yang terserang korosi akan menjadi anoda dan logam yang lebih tahan terhadap serangan korosi akan menjadi katoda. Biasanya logam yang katodik akan terserang sedikit

bahkan tidak terjadi korosi ketika kedua logam tersebut disambungkan. Jenis korosi ini disebut korosi galvanik.

Contoh dari korosi galvanik dapat dilihat pada kasus batu baterai. Pada Gambar 2.15, elektroda karbon sebagai logam mulia atau yang tahan terhadap korosi (katoda) dan seng sebagai anoda yang terserang karat.



**Gambar 2.11** Korosi galvanik pada batu baterai

(Sumber : Korosi, Kenneth r. Trethewey, 1991)

### 2.5.3 Crevice Corrosion (Korosi Celah)

Korosi lokal sering terjadi di dalam celah-celah dan daerah yang tertutup pada permukaan logam yang terkena korosi. Jenis korosi ini biasanya disebabkan oleh lubang yang kecil, dan celah-celah di bawah kepala baut dan paku keling. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12.



**Gambar 2.12** Crevice corrosion pada baut

(Sumber : Korosi, Kenneth r. Trethewey, 1991)

Celah sempit terisi dengan elektrolit (air yang pH-nya rendah) maka terjadilah suatu sel korosi dengan katoda-nya permukaan sebelah luar celah yang basah dengan air yang banyak mengandung zat asam daripada bagian dalam celah yang sedikit mengandung zat asam sehingga bersifat anodik. Akibatnya terjadi kehilangan metal pada bagian yang di dalam celah. Proses pengkaratan ini berlangsung cukup lama karena cairan elektrolit di dalam celah cenderung lama mengeringnya walaupun bagian luar celah telah lama mengering.

#### **2.5.4 Pitting Corrosion (Korosi Sumur)**

*Pitting corrosion* adalah bentuk serangan korosi yang sangat lokal (menyerang pada daerah tertentu saja) yang mengakibatkan lubang dalam logam. Lubang ini mungkin memiliki diameter yang kecil atau besar, namun dalam banyak kasus lubang tersebut kecil relatif kecil. Lubang terisolasi atau kadang-kadang terlihat seperti permukaan yang kasar. *Pits* umumnya dapat digambarkan sebagai rongga atau lubang dengan diameter permukaan kurang-lebih sama atau kurang dari kedalaman.

*Pitting corrosion* 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. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.13.



**Gambar 2.13** Korosi sumuran pada bak mandi



Perhatikan lubang yang tampak menyolok serta kurangnya serangan korosi pada sebagian besar permukaan logam. Serangan meningkat dalam beberapa hari. Namun, ini adalah contoh ekstrim, karena pitting biasanya membutuhkan berbulan-bulan atau tahun untuk melubangi bagian logam .

Terjadinya korosi bentuk ini antara lain karena karena komposisi logam tidak homogen dan dapat menimbulkan korosi yang dalam pada beberapa tempat. Dapat juga karena ada kontak antara logam yang berlainan dan logam kurang mulia, maka pada daerah batas, timbul korosi berbentuk sumur.

#### **2.5.5 Intergranular Corosion (Korosi antar Batas Butir)**

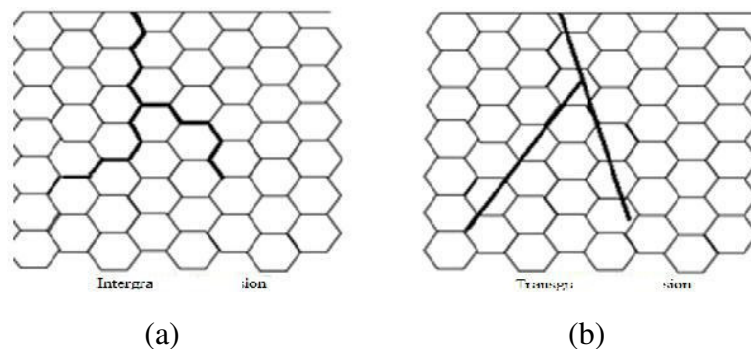
Di daerah batas butir memiliki sifat yang lebih reaktif. Banyak-sedikitnya batas butir akan mempengaruhi kegunaan logam tersebut. Semakin sedikit batas butir pada suatu material maka akan menurunkan kekuatan material tersebut. Jika logam terkena karat, maka di daerah batas butir akan terkena serangan terlebih dahulu dibandingkan daerah yang jauh dari batas butir. Serangan yang terjadi pada daerah batas butir dan daerah yang berdekatan dengan batas butir hal ini biasa disebut *intergranular corrosion* .

*Intergranular corrosion* dapat terjadi karena adanya kotoran pada batas butir, penambahan pada salah satu unsur paduan, atau penurunan salah satu unsur di daerah batas butir. Sebagai contoh paduan besi dan aluminium, dimana kelarutan besi lambat maka akan terjadi serangan pada batas butir.

Kebanyakan teori tentang terjadinya *intergranular corrosion* didasarkan pada kehilangan atau penipisan kromium di daerah batas butir. Penambahan kromium pada baja akan meningkatkan ketahanan korosi diberbagai kondisi lingkungan. Umumnya penambahan tersebut berkisar

10% kromium untuk pembuatan baja karbon tahan karat. Jika kromium secara efektif diturunkan ketahanan terhadap korosi akan berkurang.

Korosi antar batas butir (*intergranular corrosion*) terjadinya hanya pada batas butir biasanya akibat serangan elektrolit, karena tegangan pada kristal adalah paling tinggi. Pengendaliannya adalah menghindari terbentuknya karbida pada batas butir.. Pada Korosi transkristalin (*transgranular corrosion*), terjadinya korosi adalah melewati kristal. Perbedaan korosi antar batas butir dengan korosi transkristalin ditunjukkan pada gambar 2.



**Gambar 2.14** (a) *Intergranular corrosion* dan (b) *transgranular corrosion*  
(Sumber : Korosi, Kenneth r. Trethewey, 1991)

### 2.5.6 *Selective Leaching*

*Selective leaching* (pelarutan selektif) adalah pemindahan salah satu unsur dari sebuah paduan yang padat akibat proses korosi. Contoh yang paling umum adalah pelarutan selektif dalam paduan seng kuningan (*dezincification*). Proses yang sama terjadi dalam sistem paduan lain dimana aluminium, besi, kobalt, kromium dan elemen lainnya yang akan terlarut. Pelarutan selektif adalah istilah umum yang menggambarkan proses-proses dan penggunaan istilah tersebut tidak mencakup pada istilah *dealuminumification*, *decobaltification* dan lain-lain. *Parting* (*dealloying*) adalah istilah metalurgi yang kadang-kadang digunakan, akan tetapi istilah *selective leaching* lebih disukai.

Zat komponen yang larut adalah selalu bersifat anodik terhadap komponen yang lain. Walaupun secara visual tampak perubahan warna pada permukaan paduan namun tidak tampak adanya kehilangan materi berupa takik, perubahan dimensi, retak atau alur. Bentuk permukaan tampaknya tetap tidak berubah tingkat kehalusan/kekasarannya. Namun sebenarnya berat bagian yang terkena karat ini menjadi berkurang, berpori-pori dan yang terpenting adalah kehilangan sifat mekanisnya yakni menjadi getas dan memiliki kekuatan tarik yang sangat yang rendah.

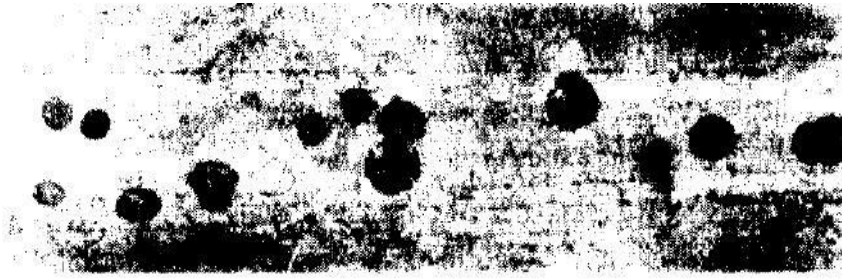
Kuningan umumnya terdiri dari sekitar 30% seng dan 70% tembaga. *Dezincification* mudah diamati dengan mata telanjang karena perubahan mencolok dari warna kekuningan (kuningan) menjadi warna merah tembaga. Ada dua jenis bentuk *dezincification*, dan keduanya mudah dikenali. Pertama adalah *uniform* (merata) atau *layer-type* dan yang kedua adalah *localized* (setempat) atau *plug-type*. Gambar 2.24 adalah contoh *uniform attack*. Lapisan bagian dalam adalah bagian yang terlarut dan bagian luar adalah bagian yang tidak terserang



**Gambar 2.15** *Uniform dezincification*

(Sumber : Korosi, Kenneth r. Trethewey, 1991)

Gambar 2.25 adalah contoh yang tepat untuk kasus *plug-type dezincification*. Daerah yang gelap pada pipa adalah daerah yang terserang. Sementara bagian yang lainnya tidak terserang karat. Serangan dapat terjadi pada permukaan setempat dan berkembang makin ke dalam bukan mendatar. Hal inilah yang membedakan antara *plug-type* dan *uniform type*.



**Gambar 2.16** *Plug-type dezincification*  
(Sumber : Korosi, Kenneth r. Trethewey, 1991)

*Dealloying* dari kuningan ini biasanya terjadi di dalam proses yang menggunakan air lunak (air yang sedikit akan mineral) terutama apabila kandungan karbondioksida-nya tinggi. Faktor lain yang menaikkan tingkat kepekaan kuningan terhadap serangan pelarutan selektif adalah suhu tinggi, kandungan klorida dalam air yang tinggi, kecepatan air yang rendah, celah-celah sempit dan endapan seperti misalnya pasir pada permukaan metal.

#### **2.5.7 Erosion Corrosion (korosi Erosi)**

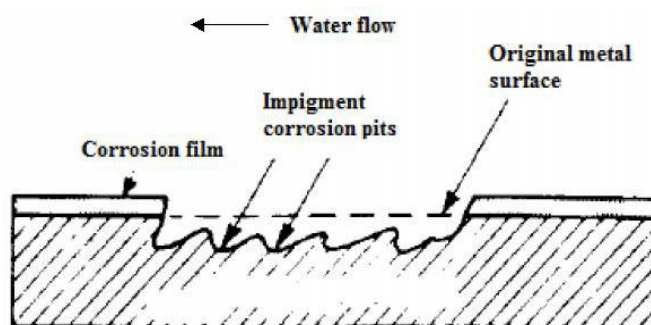
Korosi erosi adalah percepatan atau peningkatan tingkat kerusakan atau serangan pada logam karena gerakan relatif antara cairan korosif dan permukaan logam. Umumnya gerakan ini cukup cepat, dan berkaitan dengan abrasi. Logam yang berada di permukaan akan berubah menjadi ion terlarut atau menjadi bentuk produk korosi yang padat. Kadang-kadang pengaruh dari lingkungan dapat mengurangi laju korosi, khususnya ketika serangan lokal terjadi dalam kondisi tergenang, tapi ini tidak bisa disebut *erosion corrosion* karena kerusakan tidakbertambah.

Bentuk fisik dari korosi erosi ditandai dalam penampilan berupa alur, parit, gelombang, lubang bulat, lembah-lembah, dan biasanya menunjukkan pola arah. Gambar 2.26 menunjukkan penampilan alur dari kegagalan korosi erosi.



**Gambar 2.17** Korosi erosi pada pipa air laut  
 (Sumber : Korosi, Kenneth r. Trethewey, 1991)

Gambar 2.27 adalah sketsa yang mempresentasikan korosi erosi pada tabung alat *heat-exchanger*. Di berbagai kasus korosi erosi terjadi dalam waktu yang relatif singkat, dan serangannya tidak terduga karena evaluasi uji korosi terjadi dibawah kondisi statis atau karena efek erosi tidak dipertimbangkan dalam evaluasi uji korosi.



**Gambar 2.18** Sketsa korosi erosi  
 (Sumber : Korosi, Kenneth r. Trethewey, 1991)

Kebanyakan logam dan paduan adalah rentan terhadap serangan korosi erosi. Korosi erosi terjadi ketika permukaan logam rusak karena diserang dengan kecepatan yang tinggi. Logam yang lunak dan mudah rusak seperti tembaga dan timah adalah rentan terhadap korosi erosi.

Banyak jenis media korosi dapat menyebabkan korosi erosi. Misalnya gas, larutan, sistem organik dan logam cair. Sebagai contoh, gas panas dapat mengoksidasi logam dan paduan ketika bergerak dengan kecepatan yang tinggi. Dari sudut pandang korosi erosi, padatan dalam suatu cairan (lumpur) adalah sangat merusak.

Semua jenis peralatan yang terkena fluida yang bergerak akan rentan terhadap korosi erosi. Beberapa diantaranya sistem perpipaan terutama bagian tikungan pipa, alat pengukur aliran air seperti *orifice*, system pipa-pipa pada alat *heat-exchanger* seperti pada *heaters* dan *kondensator*.

#### **2.5.8 Stress Corrosion (Korosi Tegangan)**

Gaya-gaya mekanis seperti tarikan atau kompresi berpengaruh sangat kecil pada proses pengkaratan pada bagian metal yang sama jika ditinjau dari laju pengkaratan dalam mils per tahun. Namun demikian apabila itu merupakan kombinasi antara *tensile stress* dan lingkungan yang korosif, maka kondisi ini merupakan salah satu dari penyebab utama kegagalan material. Kegagalan ini berupa retakan yang lazim disebut korosi tegangan.

Sifat retak jenis ini sangat spontan (tiba-tiba terjadinya). Bila logam telah dibentuk dingin (diregang, ditebuk) maka walaupun tidak sampai patahan atau retak, tetapi butiran logamnya berubah bentuk hingga timbul tegangan dalam. Butiran logam yang tegang ini mudah sekali bereaksi dengan lingkungannya, hingga suatu saat benda itu akan retak atau pecah dengan sendirinya.

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.

Karat dapat terbentuk di celah-celah sempit. Volume produk karat tersebut dapat jauh lebih besar dari metal asalnya yang dikonsumsi, akibatnya terjadi tekanan yang cukup besar di dalam celah tersebut sehingga menimbulkan korosi tegangan. Karat tegangan pada awal terjadinya berukuran mikroskopis (sangat kecil). Dengan menjalarnya retak ke dalam material, maka kekuatan penampang menjadi berkurang ketingkat sedemikian rendah sehingga struktur material tersebut gagal. Gambar 2.28 adalah contoh dari karat tegangan.



**Gambar 2.19** Korosi retak pada pipa  
(Sumber : Korosi, Kenneth r. Trethewey, 1991)

## 2.6 Cara Mencegah Laju Korosi

Korosi pada plat baja tidak dapat dihindari tetapi dapat dicegah dengan berbagai langkah pencegahan. Korosi kapal baja ini dapat dikurangi seminimum mungkin sehingga nilai laju korosi kapal baja semakin kecil, korosi tidak dapat di hentikan 100% tetapi dapat menekan nilai laju korosi seminimum mungkin sehingga umur kapal dapat sesuai dengan rencana awal agar dapat menekan nilai kerugian yang di akibatkan oleh korosi kapal baja.

Ada beberapa usaha yang dapat ditempuh dalam upaya mencegah terjadinya korosi, yaitu:

### **2.6.1 Pelapisan Cat**

Pelapisan adalah cara umum dan paling banyak di terapkan dalam istilah tonase baja, untuk mengendalikan korosi, untuk melindungi/isolasi paduan logam dari lingkungan yang korosif. Akan tetapi dalam prakteknya timbul banyak problem dan biasanya kurang perhatian tentang masalah itu. Tersedia banyak sekali macam pelapis dan yang paling umum adalah cat. Jembatan, pagar dan railing biasanya dicat. Cat menghindarkan kontak dengan udara dan air. Cat yang mengandung timbel dan zink (seng) akan lebih baik, karena keduanya melindungi besi terhadap korosi. Kontak antara besi dengan oksigen dan air dapat dicegah dengan melapisi besi dengan cat atau dengan logam lain. Hal ini dikarenakan jika besi dilapisi dengan cat atau logam lain yang lebih sukar teroksidasi (logam yang mempunyai Enol lebih besar). Yang akan bereaksi dengan udara adalah lapisan luarnya saja sehingga logam tersebut bisa dilindungi oleh logam tersebut.

Jika logam seperti seng dan timah mengalami korosi, senyawa yang terbentuk akan melindungi logam di bawahnya dari korosi selanjutnya. Seng, Zn dan timah dapat digunakan sebagai logam pelapis untuk melindungi besi dan korosi.

### **2.6.2 Cara proteksi katodik (katode pelindung)**

Cara ini digunakan terutama untuk logam besi yang di tanam di dalam tanah. Prinsipnya adalah logam besi di hubungkan dengan logam lain yang bertindak sebagai anode dan besi sebagai katode. Jadi, logam yang digunakan untuk melindungi besi harus yang lebih mudah teroksidasi daripada logam besi, yaitu memiliki potensial reduksi yang lebih negatif daripada besi. Umumnya digunakan logam Magnesium (Mg). Logam alkali tidak dapat di



gunakan karena reaktif. Logam aluminium (Al) dan seng (Zn) tidak dapat digunakan karena oksida logam tersebut ( $Al_2O_3$  atau  $ZnO$ ) akan menghambat proses oksidasi berikutnya dengan cara menutupi permukaan logam.

## 2.7 Perhitungan Laju Korosi

Laju korosi adalah kecepatan rambatan atau kecepatan penurunan kualitas bahan terhadap waktu. Menghitung laju korosi pada umumnya menggunakan cara metode kehilangan berat. Metode kehilangan berat adalah perhitungan laju korosi dengan mengukur kekurangan berat akibat korosi yang terjadi. Metode ini menggunakan jangka waktu penelitian hingga mendapatkan jumlah kehilangan akibat korosi yang terjadi. Untuk mendapatkan jumlah kehilangan berat akibat korosi digunakan rumus sebagai berikut:

$$Cr = \frac{KxW}{AxDxT} \text{ ( cm/tahun )}$$

Dimana:

Cr = Laju korosi

K = Kostanta ( 0.082 )

W = Selisih berat awal dan berat akhir (g)

A = Luas plat tank top kapal ( $cm^2$ )

D = Dencity plat baja ( $7.85 \text{ ton}/m^3$ )

T = Umur proteksi (tahun)

(Sumber : Korosi, Kenneth r. Trethewey, 1991)

## 2.8 Ultrasonic test

### 2.8.1 Prinsip Dasar Ultrasonic

Pemeriksaan tebal bahan atau adanya cacat dalam bahan dengan gelombang ultrasonic dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu : teknik resonansi, teknik transmisi dan teknik gema. Dari ketiga teknik tersebut, teknik gema kontak langsung paling sering digunakan terutama pada pemeriksaan di lapangan.

#### *Pantulan/Gema*

Pada teknik ini, probe secara bergantian mengeluarkan dan menerima getaran. Tebal bahan dan letak cacat ditentukan dari letak getaran/gema pada layar osiloskop, sedangkan besarnya ditentukan dari simpangan tinggi getaran yang diterima kembali.

### 2.8.2 Gelombang Ultrasonic.

Gelombang ultrasonic adalah gelombang mekanik seperti suara, yang frekuensinya lebih besar dari pada 20 kHz. Gelombang ini mempunyai besaran fisis seperti pada suara yakni panjang gelombang, kecepatan rambat ( $v$ ), waktu getar ( $T$ ), amplitudo ( $A$ ), frekuensi ( $f$ ), fasa dan sebagainya.

Hukum seperti hamburan, difraksi, difersi, disperse dan hukum gelombang ultrasonic. Tetapi dalam bahasan selanjutnya diutamakan perhitungan tentang jarak, panjang gelombang, pantulan dan pembiasan.

Dalam perambatannya pada bahan yang sama, kecepatan dan frekuensi dianggap tetap. Dalam perambatannya dalam berbagai bahan, frekuensi gelombang selalu dianggap tetap, sedangkan kecepatan rambat bergantung pada jenis bahan dan mode gelombang. Frekuensi yang sering digunakan untuk uji tanpa rusak umumnya antara 250 kHz-15 MHz, sedangkan pada pemeriksaan las digunakan frekuensi 2 MHz-6MHz

### 2.8.3 Mode Ultrasonic

Dari cara bergetar dan perambatannya maka gelombang ultrasonic dapat menjalar di dalam bahan dalam berbagai mode :

#### 1. *Mode Longitudinal.*

Mode longitudinal terjadi bila gelombang ultrasonic merambat pada suatu arah sejajar dengan arah gerakan atom yang digetarkan, misal atom digerakkan kekanan dan kekiri sedangkan gelombang bergerak merambat kearah kekiri atau kekanan. Gelombang longitudinal dapat merambat pada semua bahan, baik gas, cair maupun padat.

#### 2. *Mode Transversal*

Mode transversal terjadi bila gelombang ultrasonic merambat pada suatu arah tegak lurus pada arah gerakan atom yang di getarkan , missal atom digetarkan keatas dan ke bawah, sedangkan gelombang merambat kea rah kanan dan kiri .Gelombang transversal hanya bisa merambat pada benda padat .

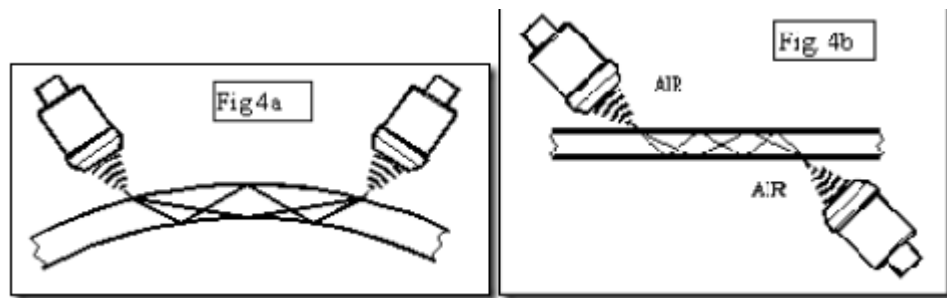
#### 3. *Mode Permukaan.*

Mode transversal terjadi bila gelombang transversal merambat pada permukaan. Gerakan atom yang bergetar berbentuk elips. Sesuai dengan namanya gelombang permukaan hanya merambat pada permukaan padat dengan kedalaman maksimum satu panjang gelombang.

#### 4. *Mode Plat.*

Mode pelat terjadi pada bila gelombang transversal merambat pada bahan pelat tipis yang tebalnya kurang dari setengah panjang gelombang. Gerakan atom yang bergetar berbentuk elips. Gelombang pelat merambat pada seluruh benda uji tipis tersebut, baik dalam bentuk gelombang simetris atau gelombang asimetris. *Perubahan Mode.*

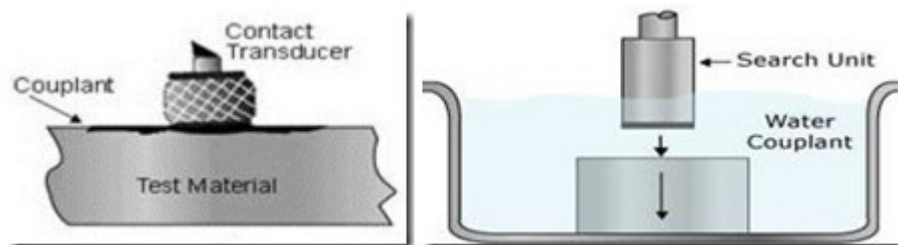
Gelombang ultrasonic yang merambat dalam suatu bahan dapat merubah mode dari satu mode ke mode lainnya. Perubahan mode ini terjadi misalnya karena pantulan atau pembiasan. Bila mode berubah maka kecepatan rambatnya berubah, sedangkan frekuensinya tetap, akibatnya panjang gelombangnya juga akan berubah.



**Gambar 2.20** Pantulan Ultrasonic  
(Sumber : Korosi, Kenneth r. Trethewey, 1991)

#### 2.8.4 Couplant

Couplant adalah bahan (biasanya cair) yang memfasilitasi transmisi energi ultrasonik dari transduser ke dalam benda uji. Couplant umumnya diperlukan karena ketidakcocokan impedansi akustik antara udara dan padatan (yaitu seperti benda uji) adalah besar. Oleh karena itu, hampir semua energi tercermin dan sangat sedikit yang diteruskan ke dalam bahan uji. couplant ini menggantikan udara dan memungkinkan untuk mendapatkan lebih banyak energi suara ke dalam benda uji sehingga sinyal ultrasonik yang dapat digunakan dapat diperoleh. Dalam pengujian ultrasonik film tipis, minyak, gliserin atau air yang umumnya digunakan antara transduser dan permukaan uji.



**Gambar 2.21** Couplant dan Probe

Ketika memeriksa bagian atas atau membuat pengukuran yang tepat, suatu teknik rendaman sering digunakan. Dalam pengujian ultrasonik transduser perendaman baik dan bagian yang direndam dalam couplant, yang biasanya air. Metode kopling membuatnya lebih mudah untuk mempertahankan kopling konsisten saat bergerak dan memanipulasi transduser.

### **2.8.5 Blok Kalibrasi**

#### **1. Blok kalibrasi V1 :**

Ketebalan 25 mm untuk kalibrasi probe normal untuk range kelipatan 25 mm. Lucite (23 mm) untuk pengecekan hasil kalibrasi probe normal tebal baja 50 mm. Lebar 100 mm untuk kalibrasi probe normal untuk range kelipatan 100 mm dan untuk pengecekan hasil kalibrasi. Lebar 200 mm untuk kalibrasi probe normal untuk range kelipatan 200 mm dan untuk pengecekan hasil kalibrasi. Lengkungan radius 100 mm untuk kalibrasi titik indeks probe sudut range probe sudut kelipatan 100 mm. Lubang bor sisi diameter 15 mm untuk cacat referensi probe normal maupun probe sudut. Celah 4 mm untuk retakan referensi untuk probe sudut. Jarak 85 mm, 91 mm dan 100 mm untuk pemeriksaan resolusi pesawat dan probe. Skala sudut untuk pemeriksaan sudut dari probe sudut. Celah 30 mm untuk refleksi ulang pada kalibrasi probe sudut dan pemeriksaan titik indeks.

#### **2. Kegunaan blok V2 :**

Ketebalan 12.5 mm untuk kalibrasi probe normal untuk range kelipatan 12.5 mm Lengkungan radius 25 mm dan 50 mm untuk kalibrasi probe sudut range 100 mm. Lubang 5 mm adalah cacat referensi.

#### **3. Kegunaan blok VW**

Untuk kalibrasi probe normal kembar range 10 mm

## 2.8.5 Probe

### Macam – macam Probe :

#### Probe Normal

#### Probe Sudut

Probe Normal digunakan untuk mengukur tebal bahan, menentukan lokasi cacat yang sejajar dengan permukaan benda uji dan menentukan ukuran cacat tersebut.



**Gambar 2.22** Kristal Ganda Dan Kristal Tunggal  
(Sumber : Korosi, Kenneth r. Trethewey, 1991)

Probe Sudut digunakan untuk menentukan lokasi dan besar cacat yang memiliki permukaan yang membentuk sudut terhadap permukaan benda uji. Probe sudut tidak biasa digunakan untuk mengukur tebal benda uji. Hal yang memudahkan dalam pengukuran dengan proses probe sudut adalah bahwa dari suatu cacata umumnya menghasilkan satu indikasi sehingga mudah di analisa.