

BAB II

TEORI DASAR

2.1 Teori Dasar

Korosi berasal dari bahasa latin “*Corrodere*” yang artinya perusakan logam atau berkarat. Definisi korosi adalah proses degradasi/deteorisasi/perusakan material yang terjadi disebabkan oleh lingkungan sekelilingnya. Beberapa pakar bersikeras definisi hanya berlakupada logam saja, tetapi para insinyur korosi juga ada yang mendefinisikan istilah korosiberlaku juga untuk material non logam, seperti keramik, plastik, karet. Sebagai contoh rusaknya cat karet karena sinar matahari atau terkena bahan kimia, mencairnya lapisan tungku pembuatan baja, serangan logam yang *solid* oleh logam yang cair (*liquid metal corrosion*).

Adapun definisi korosi dari pakar lain:

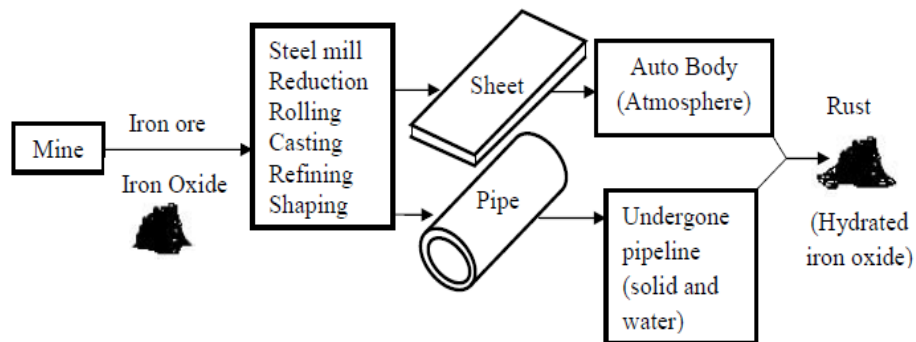
1. Perusakan material tanpa perusakan mekanis.
2. Kebalikan dari metalurgi ekstraktif.
3. Proses elektrokimia dalam mencapai kesetimbangan termodinamika suatu sistem.

Jadi korosi adalah merupakan sistem termodinamika logam dengan lingkungan (air, udara, tanah) yang berusaha mencapai keseimbangan. Sistem ini dikategorikan setimbang bila logam telah membentuk oksida atau senyawa kimia lain yang lebih stabil (berenergi paling rendah).

Adapun proses korosi yang terjadi, di samping oleh reaksi kimia biasa, maka yang lebih umum adalah proses elektro kimia. Yang dimaksud dengan lingkungannya dapat berupa udara dengan sinar matahari, embun, air tawar, air laut, air danau, air sungai dan tanah yang berupatanah pertanian, tanah rawa, tanah kapur dan tanah berpasir/berbatu-batu.

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.

Korosi dapat berjalan secara cepat ataupun lambat tergantung dari material bahan, lingkungan, temperatur dan lain sebagainya. Dalam dunia teknik, material korosi yang sering disinggung adalah korosi pada logam. Ilustrasi dari proses pengkorosian pada material logam dapat dilihat pada Gambar 2.1 dimana besi yang dibentuk sesuai kegunaannya dapat terkorosi akibat lingkungan yang dihadapi pada aplikasinya.



Gambar 2.1 Proses Pengkorosian Logam

2.2 Jenis-Jenis Korosi

Dibawah ini akan kita uraikan bebera jenis korosi yang sering kita temui diantara nya adalah yaitu :

- 1). Korosi Batas Butir.
- 2). Korosi Celah.
- 3). Korosi Erosi.
- 4). Korosi Galvanik
- 5). Korosi Merata
- 6). Korosi Semuran

2.2.1 Korosi Batas Butir (*Intergranular Corosion*)

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*.

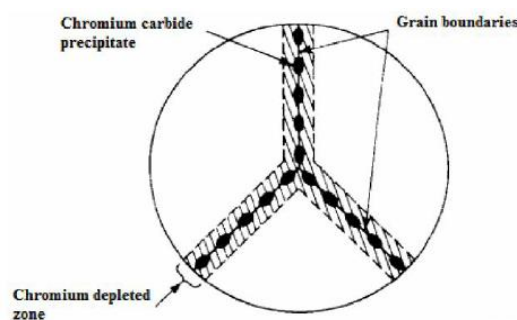
Intergranular corrosion dapat terjadi karena adanya kotoran pada batas butir, penambahan pada salah satu 10 amper paduan, atau penurunan salah satu 10 amper di daerah batas butir. Sebagai contoh paduan besi dan aluminium, dimana kelarutan besi lambat maka akan terjadi serangan pada batas butir.

Beberapa kegagalan pada 18-8 baja karbon telah terjadi karena *intergranular corrosion*. Ini terjadi dalam lingkungan dimana paduan harus memiliki ketahanan korosi yang sangat baik. Ketika baja dipanaskan pada suhu kira-kira antara 950⁰F sampai 1450⁰F, baja tersebut akan peka atau rentan terhadap *intergranular corrosion*. Sebagai contoh untuk menghindari terjadinya *intergranular corrosion*, maka prosedur kepekaan di panaskan pada suhu 1200⁰F selama satu jam.

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.

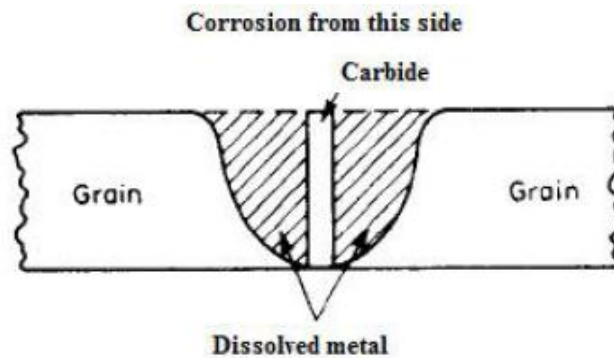
Di suhu antara 950⁰F-1250⁰F, endapan kromium karbida (Cr_{23}C_6) dan karbon akan 1 amper larut pada kandungan karbon sekitar 0.02% atau lebih tinggi. Kromium dengan demikian akan hilang dari larutan padat dan hasilnya adalah logam akan kehilangan kromium di daerah yang berdekatan dengan batas butir. Kromium karbida di daerah batas butir tidak akan menyebabkan serangan korosi. Pengurangan kromium pada daerah sekitar batas butir akan menyebabkan serangan korosi, karena tidak mengandung ketahanan korosi yang cukup untuk melawan serangan di berbagai kondisi lingkungan. Umumnya 18-8 *stainless steel*, tipe 304 biasanya mengandung 0.06% - 0.08% karbon, sehingga akan kelebihan karbon yang akan bersenyawa dengan kromium untuk membentuk endapan karbida. Karbon berdifusi cukup mudah menuju batas butir pada suhu sensitivitas, namun kromium jauh kurang bergerak. Permukaan yang ada pada batas butir akan berubah menjadi permukaan baru, yaitu disebut kromium karbida.

Ada beberapa bukti yang menunjukkan bahwa kandungan kromium pada batas butir dapat berkurang ke tingkat yang sangat rendah atau tidak ada sama sekali. Menganggap bahwa kandungan kromium dikurangi menjadi 2%.



Gambar 2.2 Batas Butir Pada Baja Karbon Tipe 304

Jika paduan dipotong menjadi lembaran tipis, di daerah batas butir akan ditunjukkan pada Gambar 2.3 Daerah berkarat akan muncul sebagai sebuah parit yang dalam dan sempit ketika diamati pada perbesaran rendah.



Gambar 2.3 Potongan Melintang Batas Butir *Stainless Steel* Tipe 304

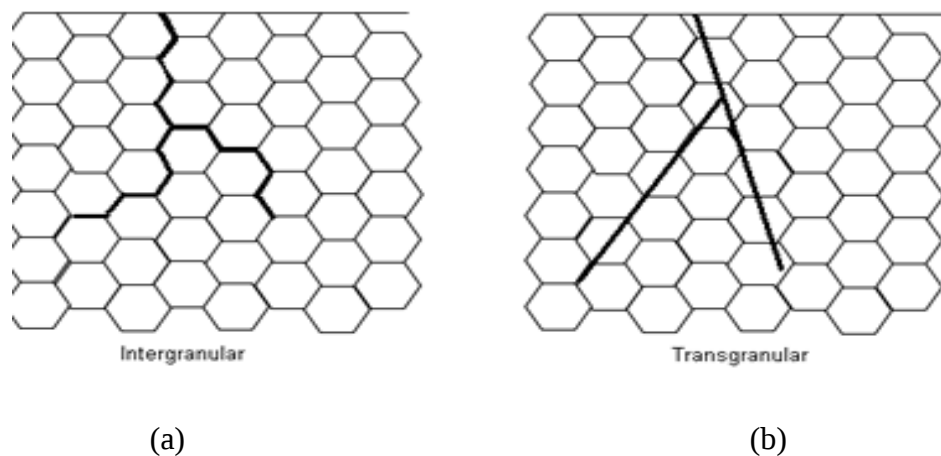
Endapan karbida kromium telah dijelaskan selama bertahun-tahun sebagai partikel karena mereka terlalu kecil untuk pemeriksaan dengan menggunakan mikroskop cahaya. Mahla dan Nielson dari Du Pont, menggunakan mikroskop elektron, menunjukkan bahwa bentuk karbida seperti sebuah film atau amplop di sekitar butir-butir dalam struktur *leaflike*. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Endapan karbida

Yang menunjukkan bahan sisa dari salah satu unsur paduan dilarutkan dalam asam klorida yang kuat. Ini menekankan bahwa karbida sendiri tidak diserang, akan tetapi kromium yang berdekatan dengan batas butir akan terlarut. Pada kenyatannya, larutan asam cepat menimbulkan korosi pada semua jenis paduan 18-8 terlepas dari perlakuan panas.

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 2.5



Gambar 2.5 (a) *Intergranular corrosion* dan (b) *transgranular corrosion*

2.2.2 Korosi Celah (*Crevice Corrosion*)

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 2.6



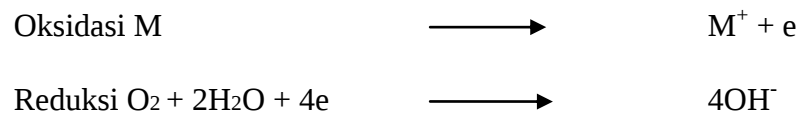
Gambar 2.6 *Crevice Corrosion* Pada Baut

Karat celah sebenarnya adalah sel korosi yang diakibatkan oleh perbedaan konsentrasi zat asam. Akan halnya karat celah, proses pengkaratannya dapat dijelaskan sebagai berikut:

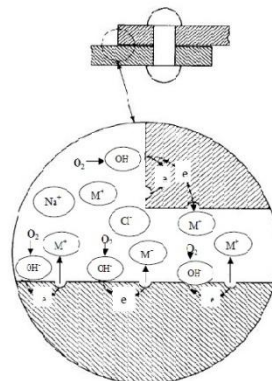
Karena celah sempit terisi dengan elektrolit (air yang pH-nya rendah) maka terjadilah suatu sel korosi dengan katoda-nya permukaan sebelah luar celah yang basah dengan air yang banyak mengandung zat asam daripada bagian dalam celah yang sedikit mengandung zat asam sehingga bersifat anodik.

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

Untuk menggambarkan dasar pembentukan korosi celah, celupkan dua buah plat logam M yang dipaku dicelupkan di dalam air laut (pH 7) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.17. Reaksi tersebut mengakibatkan logam M menjadi terkikis dan reduksi oksigen menjadi ion hidroksida

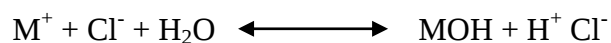


Awalnya reaksi ini terjadi merata di atas seluruh permukaan, termasuk bagian dalam celah. Setiap elektron yang dihasilkan selama pembentukan ion logam akan bereaksi dengan oksigen. Setelah waktu yang singkat, oksigen dalam celah habis karena konveksi dibatasi, sehingga reduksi oksigen berhenti di daerah celah. Hal ini, dengan sendirinya tidak menyebabkan perubahan yang berarti di dalam celah akibat korosi. Oleh karena itu laju korosi di dalam dan di luar celah tetap sama

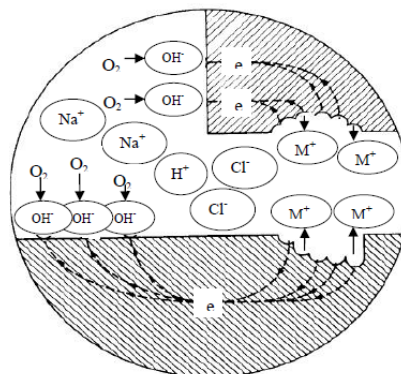


Gambar 2.7 Proses Tahap Awal Korosi Celah

Secara tidak langsung penurunan oksigen memiliki pengaruh yang penting, yang menjadi lebih jelas dengan meningkatnya penyinaran. Setelah oksigen habis, tidak ada pengurangan oksigen lebih lanjut, meskipun larutnya logam M terus menerus terjadi seperti yang terlihat pada Gambar 2.2.2.3. Ini cenderung menghasilkan kelebihan muatan positif dalam larutan (M^+), yang tentu seimbang dengan migrasi ion klorida ke dalam celah. Kecuali untuk logam alkali (misalnya natrium dan kalium), logam garam, termasuk klorida dan sulfat



Persamaan di atas menunjukkan bahwa di dalam larutan logam klorida terurai menjadi hidroksida yang tidak larut dan menjadi asam bebas. Untuk alasan yang belum diketahui, baik ion klorida maupun hidrogen dapat mempercepat tingkat pelarutan logam dan paduan. Ion-ion tersebut masuk ke dalam celah sebagai akibat dari migrasi dan hidrolisis, dan akibatnya laju pelarutan logam M akan meningkat, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2.2.3



Gambar 2.8 Proses Selanjutnya Dari Korosi Celah

2.2.3 Korosi Erosi (*Erosion Corrosion*)

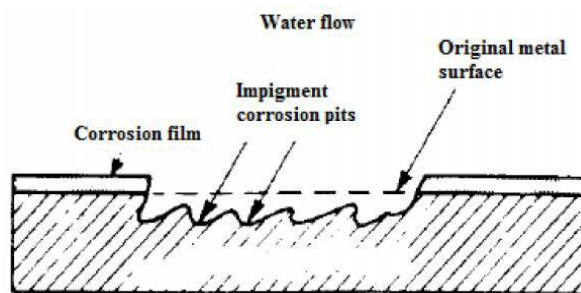
Korosi erosi adalah percepatan atau peningkatan tingkat kerusakan atau serangan pada logam karena gerakan relatif antara cairan korosif dan permukaan logam. Umumnya gerakan ini cukup cepat, dan berkaitan dengan abrasi. Logam yang berada di permukaan akan berubah menjadi ion terlarut atau menjadi bentuk 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 tidak bertambah.

Bentuk fisik dari korosi erosi ditandai dalam penampilan berupa alur, parit, gelombang, lubang bulat, lembah-lembah, dan biasanya menunjukkan pola arah. Gambar 2.9 menunjukkan penampilan alur dari kegagalan korosi erosi.



Gambar 2.9 Korosi Erosi Pada Pipa Air Laut

Gambar 2.10 adalah sketsa yang mempresentasikan korosi erosi pada tabung alat *heatexchanger*. Di berbagai kasus korosi erosi terjadi dalam waktu yang relatif singkat, dan serangan nya tidak terduga karena evaluasi uji korosi terjadi dibawah kondisi statis atau karena efek erosi tidak dipertimbangkan dalam evaluasi uji korosi.



Gambar 2.10 Sketsa Korosi Erosi

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

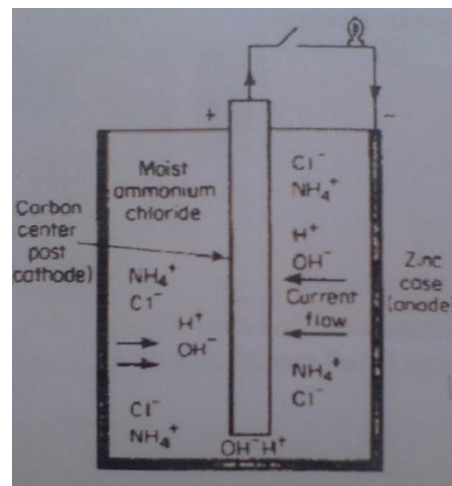
Banyak jenis media korosi dapat menyebabkan korosi erosi. Misalnya gas, larutan, sistem organik dan logam cair. Sebagai contoh, gas panas dapat mengoksidasi logam dan paduan ketika bergerak dengan kecepatan yang tinggi. Dari sudut pandang korosi erosi, padatan dalam suatu cairan (lumpur) adalah sangat 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*, sistem pipa-pipa pada alat *heat-exchanger* seperti pada *heaters* dan *kondensator*

2.2.4 Korosi Galvanik (*Galvanic Corrosion*)

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 galvanic.

Contoh dari korosi galvanik dapat dilihat pada kasus batu baterai. Pada Gambar 2.11, 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

Bila besi kontak langsung dengan tembaga dimana tembaga lebih mulia, maka besi akan bersifat anodik dan akan mengorbankan diri sehingga akan terjadi korosi pada besi, sedangkan tembaganya tetap utuh.

2.2.5 Korosi Merata (*Uniform Attack*)

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 2.12 Korosi Merata Pada Logam

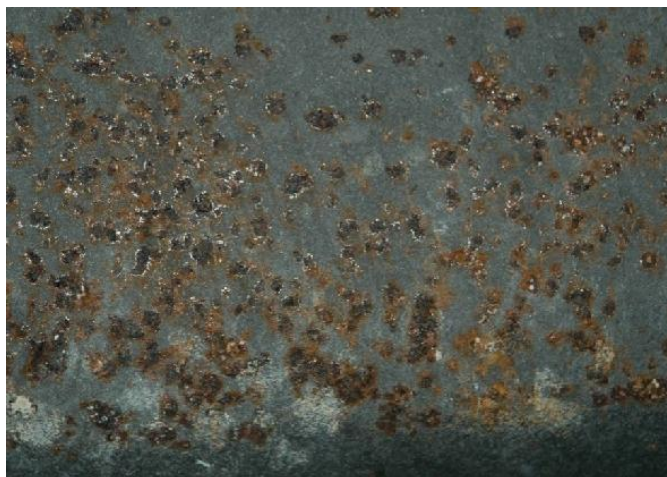
Korosi merata merupakan keadaan kerusakan yang sangat besar terhadap material. Namun demikian korosi ini kurang diperhatikan karena umur dari peralatan dapat diperkirakan secara akurat dengan pengujian lain yang lebih sederhana. Korosi merata dapat dilakukan pencegahan dengan cara pelapisan, inhibitor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

2.2.6 Korosi Sumuran (*Pitting Corrosion*)

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 komposisi logam tidak homogeny dan dapat menimbulkan korosi yang dalam pada beberapa tempat. Dapat juga karena adakontak antara logam yang berlainan dan logam kurang mulia, maka pada daerah batas, timbul korosi berbentuk sumur.

2.3 Penyebab Korosi

Faktor yang berpengaruh terhadap korosi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu yang berasal dari bahan itu sendiri dan dari lingkungan. Faktor dari bahan meliputi kemurnian bahan, struktur bahan, bentuk kristal, unsur-unsur kelumit yang ada dalam bahan, 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 organik.

Faktor yang mempengaruhi Korosi

Korosi pada permukaan suatu logam dapat dipercepat oleh beberapa faktor, antara lain:

1. *Oksigen terlarut* (DO = Dissolved oxygen) → DO berperan dalam sebagian proses korosi, bila konsentrasi DO naik, maka kecepatan korosi akan naik.
2. *Zat padat terlarut jumlah* (TDS = total dissolved solid) → konsentrasi TDS sangatlah penting, karena air yang mengandung TDS merupakan penghantar arus listrik yang baik dibandingkan dengan air tanpa TDS. Aliran listrik diperlukan untuk terjadinya korosi pada pipa logam, oleh karena itu jika TDS naik, maka kecepatan korosi akan naik.
3. *pH dan Alkalinitas* → mempengaruhi kecepatan reaksi, pada umumnya pH dan alkalinitas naik, kecepatan korosi akan naik. Peristiwa korosi pada kondisi asam, yakni pada kondisi $\text{pH} < 7$ semakin besar, karena adanya reaksi reduksi tambahan yang berlangsung pada katode yaitu:
$$2\text{H}^+_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$$
4. *Temperatur* → makin tinggi temperatur, reaksi kimia lebih cepat terjadi dan naiknya temperatur air pada umumnya menambah kecepatan korosi.
5. *Tipe logam* yang digunakan untuk pipa dan perlengkapan pipa → logam yang mudah memberikan elektron atau yang mudah teroksidasi, akan mudah terkorosi.

6. *Aliran listrik* → Aliran listrik yang diakibatkan oleh korosi sangat lemah dan isolasi dapat menghalangi aliran listrik antara logam-logam yang berbeda, sehingga korosi galvanis dapat dihindari. Bilamana aliran listrik yang kuat melewati logam yang mudah terkorosi, maka akan menimbulkan aliran nyasar dari sistem pemasangan listrik di pelanggan yang tidak menggunakan aarde, hal ini menyebabkan korosi cepat terjadi.
7. *Bakteri* → tipe bakteri tertentu dapat mempercepat korosi, karena mereka akan menghasilkan karbon dioksida (CO_2) dan hidrogen sulfida (H_2S), selama masa putaran hidupnya. CO_2 akan menurunkan pH secara berarti sehingga menaikkan kecepatan korosi. H_2S dan besi sulfida, Fe_2S_2 , hasil reduksi sulfat (SO_4^{2-}) oleh bakteri pereduksi sulfat pada kondisi anaerob, dapat mempercepat korosi bila sulfat ada di dalam air. Zat-zat ini dapat menaikkan kecepatan korosi. Jika terjadi korosi logam besi maka hal ini dapat mendorong bakteri besi (*iron bacteria*) untuk berkembang, karena mereka senang dengan air yang mengandung besi.

Penyebab korosi ada dua macam, yaitu korosi kimia dan korosi elektrolit

2.3.1 Korosi Kimia

Logam akan berkarat karena sesuatu yang proses yang dikatakan sebagai suatu proses kimia yang sederhana. Oksigen yang terdapat pada atmosfer dapat bergabung dengan logam – logam membentuk lapisan oksidasi pada permukaannya. Apabila lapisan ini lepas, proses oksidasi dapat dilanjutkan dan logam secara perlahan – lahan berkarat.

Berkaratnya besi dan baja tidak dalam oksidasi yang sederhana, diperlukan adanya udara dan air (udara lembab). Besi tidak akan berkarat pada udara yang kering dan juga pada air yang murni. Akan tetapi, apabila udara dan air ada bersama-sama, besi dan khususnya baja akan berkarat.

Kecepatan berkarat tidak akan berkurang. Sebab, lapisan dari hasil korosi yang terbentuk akan lepas sehingga lapisan karat yang baru terbentuk dibawahnya dan melepaskan lapisan yang diatasnya.

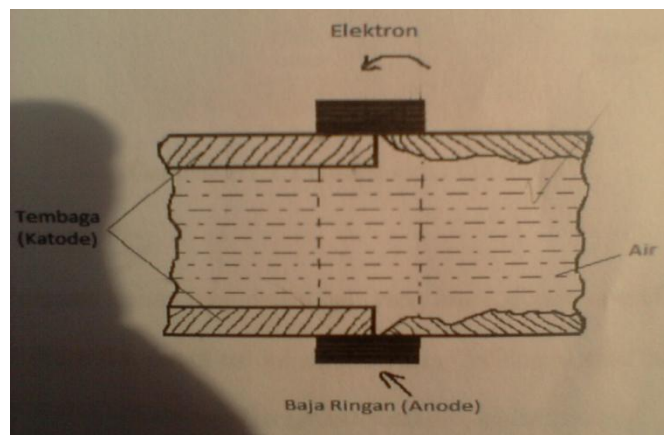
2.3.2 Korosi Elektrolit

Korosi elektrolit juga pada dasarnya adalah korosi kimia juga, walaupun sedikit lebih kompleks. Kita lihat prinsip suatu sel listrik yang sederhana, terdiri dari peralatan tembaga dan plat seng keduanya tercelup dalam larutan asam sulfat.

Apabila plat-plat tersebut tidak bersentuhan di Dalam larutan ataupun tidak ada hubungan diluar larutan, tidak akan ada aksi yang ambil bagian. Tapi begitu mereka menghubungkan suatu arus listrik yang mampu menyalakan lampu kecil, mengalir membuat suatu rangkaian.

Ketika mengerti bahwa suatu arus listrik terdiri dari arus partikel bermuatan negatif (electron) mengalir dari seng ke tembaga (atau dari anoda ke katode). Bagian yang paling harus diingat yaitu bahwa seng adalah “anodic” terhadap tembaga. Sehingga apabila logam-logam itu dihubungkan dan dicelupkan kedalam suatu elektrolit, seng akan mengurai atau berkorosi dari pada dicelupkan sendiri dalam elektrolit.

Misalnya, saluran pipa yang terdiri dari pipa besi ringan yang disambungkan dengan pipa tembaga dan dialiri air. Karena besi ringan anodic pada tembaga, baja ringan tersebut akan berkarat lebih cepat dibanding apabila keseluruhannya baja ringan, yang akan berkarat dengan cepat adalah bagian yang berhubungan langsung dengan pipa tembaga.

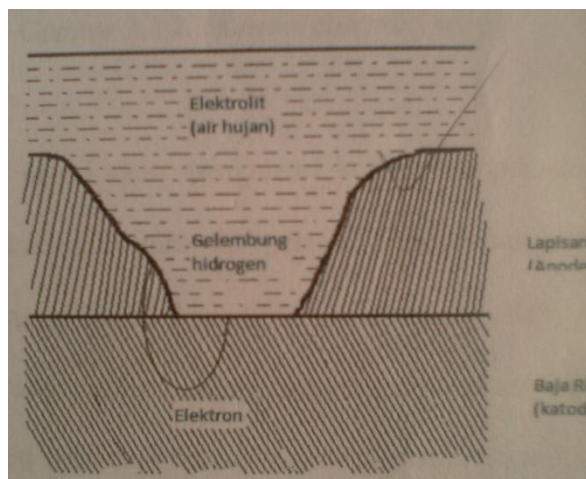


Gambar 2.14 Korosi elektrolit pipa tembaga

Beberapa logam murni mempunyai daya tahan karat yang baik dan korosi atmosfer. Akan tetapi logam itu biasanya mahal dan beberapa diantaranya sifat mekaniknya lemah. Sehingga pelapisan tipis dan sama diantara logam-logam itu sering digunakan melindungi baja-baja ringan.

Tima murni mempunyai daya tahan korosi yang baik sekali, tidak hanya dalam atmosfer dan air, akan tetapi juga dalam beberapa cairan dan larutan.

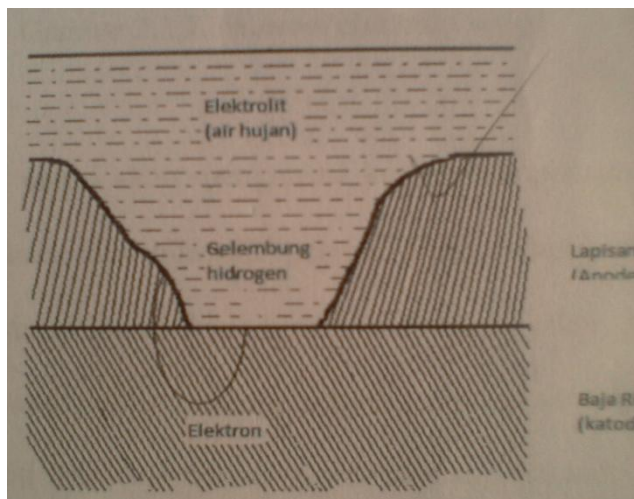
Apa yang terjadi apabila lapisan pada baja ringan tergores? Baja ringan menjadi anodic pada timah sehingga akan terkorosi lebih cepat pada daerah tergores dibanding apabila tanpa timah sama sekali. Dengan demikian, dalam memberi pelapisan baja ringan harus betul-betul menyeluruh dan tanpa celah.



Gambar 2.15 Korosi elektrolit timah

Pengaruh lapisan seng dalam hal yang sama, di sini seng adalah anodic pada baja ringan dan dalam hal ini seng berkarat lebih dari pada bajanya. Baja ringan tidak akan berkarat sejauh seng masih terdapat didekat goresan.

Pelapisan dengan seng untuk baja ringan dikenal dengan istilah “perlindungan berkorban”. Pada dasarnya seng akan berkarat dengan cepat, dalam keadaan ini akhirnya pelindung akan terbatas.



Gambar 2.16 Korosi elektrolit seng

Baja karbon murni akan mengalami korosi, hampir semua lingkungan bila kelembaban relatif melebihi 60 persen. Begitu lapisan butir-butir air terbentuk pada permukaannya, laju korosi ditentukan oleh berbagai faktor lingkungan, tetapi yang paling penting adalah pemasukan oksigen, PH, dan hadirnya ion-ion agresif, terutama oksida-oksida belerang dan klorida.

Komposisi baja, kondisi permukaan, dan sudut bukanya juga berpengaruh terhadap laju korosi, walaupun adanya adanya mangan sulfida dalam baja bubut memproduksi sel-sel galvanik lokal dan mengurangi hambatan terhadap korosi.

Penembahan tembaga mempunyai efek yang menguntungkan dan baja giling atau baja yang diasamkan akan lebih cepat terkorosi dibandingkan dengan dibubut atau di gosok.

Kerak giling (mill cale), yakni lapisan oksida besi yang terbentuk selama perlakuan panas, penggilingan dan pengepresan dalam keadaan panas merupakan katoda yang sangat efektif pada permukaan baja asalkan tidak dibuang dahulu sampai logam akan dioprasikan. Lapisan itu terdiri dari FeO yang langsung berbatasan dengan logam Fe_3O_4 dan Fe_2O_3 sebagai kulit paling luar. Walaupun kerak giling mungkin bertindak sebagai lapisan penghalang yang dapat menghalangi korosi oleh udara, namun perlindungan yang diberikannya tidak awet. Kerak ini mudah pecah apabila beban mengalami beban kejat atau getar, dan akibat muai termal yang berbeda, sebagian permukaan logam akan tersikap dan terkorosi dengan cepat. Zat yang dilapiskan pada permukaan terak tidak ada gunanya karena akan pasti terkelupas bersama kerak.

Plat pada posisi tegak lurus akan lebih lambat menderita korosi dibandingkan dengan posisi 45. Pada posisi 45 ini korosi paling banyak di alam oleh bagian yang berada dibawah. Ketika logam masih belum dilapisi laju korosi sangat tinggi, tetapi laju ini kemudian turun secara konstan sesudah tahun pertama *exposure* berkat terbentuknya lapisan oksida pada permukaan.

Baja paduan rendah mengandung berbagai unsur pembentuk paduan, misalnya Cr, Ni, Cu, Mn, V dan Mo, hingga 2 atau 3 persen. Penambahan unsur paduan ini memperbaiki sifat-sifat mekaanik, tetapi efeknya kecil terhadap laju korosi komponen-komponen terendah atau yang terkubur, karena disitu baja lunak, baja paduan rendah atau baja tempa akan terkorosi dengan laju yang kurang lebih sama. Penimbangan krum sedikit lebih banyak diketahui mendatangkan perbaikan dalam perilaku korosi. Sedangkan tembaga adalah jumlah kecil, sehingga 0,3 persen diketahui mengurangi korosi semuran pada ketel baja walaupun korosi biasa agak meningkat.

2.4 Pengendalian Korosi Pada Pipa

Adapun beberapa pencegahan dan pengendalian korosi diantaranya dengan cara :

1. Anoda galvanic
2. Impressed current system
3. Internal lining
4. Pencegahan dan penanggulangan secara umum (Termodinamik, kinetic, desain dan pengendalian lingkungan)
5. Penggunaan Inhibitor
6. Penggunaan lapisan pelindung
7. Perlindungan Katodik

Secara garis besar korosi ada dua jenis yaitu :

1. Korosi Internal

Yaitu korosi yang terjadi akibat adanya kandungan CO_2 dan H_2S pada minyak bumi, sehingga apabila terjadi kontak dengan air akan membentuk asam yang merupakan penyebab korosi.

2. Korosi Eksternal

Yaitu korosi yang terjadi pada bagian permukaan dari system perpipaan dan peralatan, baik yang kontak dengan udara bebas dan permukaan tanah, akibat adanya kandungan asam pada udara dari tanah.

2.5 Faktor Penyebab terjadinya korosi pada pipa Air

- Air kimia
- PH air
- Jumlah oksigen di dalam air
- Suhu air
- Kecepatan / Tekanan air dalam pipa

Air kimia

Air kimia adalah semua materi dengan komposisi kimia tertentu. Sebagai contoh, suatu cuplikan air memiliki sifat yang sama dan rasio hidrogen terhadap oksigen yang sama baik jika cuplikan tersebut diambil dari sungai maupun dibuat di laboratorium.

Suatu zat murni tidak dapat dipisahkan menjadi zat lain dengan proses mekanis apapun. Zat kimia yang umum ditemukan sehari-hari antara lain adalah air, garam (natrium klorida), gula (sukrosa). Secara umum, zat terdapat dalam bentuk padat, cair, atau gas, dan dapat mengalami perubahan fase zat sesuai dengan perubahan temperatur atau tekanan.

Yang bisa menyebabkan terjadinya korosi pada sebuah baja atau pipa yang digunakan pada instalasi tersenut.

PH air

pH adalah kepanjangan dari pangkat hidrogen atau power of hydrogen yaitu merupakan tingkatan asam basa suatu larutan yang diukur dengan skala 0 s/d 14.

Tinggi rendahnya pH air sangat dipengaruhi oleh kandungan mineral lain yang terdapat dalam air. pH air standar adalah 7 s/d 8,5. pH Air dibawah 7 disebut asam, sedangkan diatas 8,5 disebut basa.

pH yang normal untuk berbagai penggunaan seperti :

- Air minum mineral antara 7 s/d 8,5
- Air minum Reverse Osmosis / Demineral antara 5,0 s/d 6,5
- Ikan hias di aquarium antara 6,5 s/d 7,5

Pengaruh pH terhadap air adalah sangat besar, terutama untuk usaha air minum. Jika pH air terlalu rendah akan berasa pahit /asam, disini yang banyak menjadikan pipa menjadi rebih cepat menjadi korosi sedangkan jika terlalu tinggi maka air akan berasa tidak enak (kental/licin).

Jumlah oksigen di dalam air

Sebuah sistem air domestik terbuka sistem, dimana air yang digunakan adalah selalu diisi kembali dengan segar, air beroksigen. Udara terlarut dalam air terdiri dari oksigen sekitar 30% dan sisanya dalam sebagian besar nitrogen non-korosif.

Akibatnya, logam secara bertahap akan dikonversi ke oksida (karat) dan menjadi kurus dan lemah dalam proses itu. Sebagai korosi pipa, kotoran disimpan di garis air dan bertatahkan membangun adalah akibat dari proses oksidasi.

Suhu Air

Air sering digunakan sebagai medium pendingin dalam berbagai proses industri. Air pendingin tersebut setelah digunakan akan mendapat panas dari bahan yang didinginkan, kemudian kembali ke tempat asalnya, yaitu sungai atau sumber air lainnya. Air buangan tersebut mungkin memiliki suhu lebih tinggi daripada air asalnya.

Naiknya suhu air akan menimbulkan akibat **menurunnya jumlah oksigen terlarut** dalam air, **meningkatkan kecepatan reaksi kimia**, mengganggu kehidupan ikan dan biota air lainnya, bahkan jika batas suhu yang mematikan terlampaui, komponen biotik air tersebut akan mati.

Ikan yang hidup di dalam air yang mempunyai suhu relatif tinggi akan mengalami kecepatan respirasi, disamping itu suhu yang tinggi juga akan menurunkan jumlah oksigen yang terlarut di dalam air, sehingga biota air akan mati kekurangan oksigen.

Kecepatan / Tekanan air dalam pipa

Perpindahan Fluida (cairan atau gas) didalam sebuah saluran tertutup (biasanya disebut sebuah pipa jika penampangnya bundar atau saluran duct jika bukan) sangat penting dikehidupan sehari-hari.

Contoh : air pada pipa-pipa di rumah kita dan sistem distribusi yang mengirimkan air dari sumur kota ke rumah-rumah. Banyak selang dan pipa-pipa menyalurkan fluida hidrolik atau fluida lainnya ke berbagai komponen kendaraan dan mesin. Kualitas udara di dalam gedung-gedung di jaga pada tingkat yang nyaman dengan distribusi udara yang terkondisi melalui suatu jaringan pipa atau saluran duct yang rumit. Meskipun sistem-sistem ini berbeda, prinsip-prinsip mekanika fluidanya adalah sama.

Dengan kecepatan dan tekanan yang dihasilkan maka akan terjadi gesekan antara permukaan air dan permukaan pipa yang digunakan. Dari

terjadinya gesekan tersebut yang menimbulkan celah dan menyebabkan terjadinya korosi.

2.6 Perhitungan Laju Korosi

Laju korosi adalah kecepatan rambatan atau kecepatan penurunan kualitas bahan terhadap waktu. Menghitung laju korosi pada umumnya menggunakan 2 cara yaitu:

- Metode kehilangan berat
- Metode Elektrokimia

a. 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:

$$CR = \frac{\Delta W \times K}{DA_s T} \dots \dots \dots \text{mpy} \quad (2.1)$$

Dimana :

CR	=	Corrosion Rate (mpy)
ΔW	=	Weight Loss (gram)
K	=	Konstanta Factor
D	=	Densitas spedimen (g/cm^3)
A_s	=	Surface Area (cm^2)
T	=	Eksposur Time (jam)

Metode ini adalah mengukur kembali berat awal dari benda uji (objek yang ingin diketahui laju korosi yang terjadi padanya), kekurangan berat dari pada berat awal merupakan nilai kehilangan berat. Kekurangan berat dikembalikan kedalam rumus untuk mendapatkan laju kehilangan beratnya.

Metode ini bila dijalankan dengan waktu yang lama dan suistainable dapat dijadikan acuan terhadap kondisi tempat objek diletakkan (dapat diketahui seberapa korosif daerah tersebut) juga dapat dijadikan referensi untuk treatment yang harus diterapkan pada daerah dan kondisi tempat objek tersebut.

Contoh perhitungan laju korosi dengan metode Weight Loss :

Spesimen baja karbon rendah dengan ukuran $0,2 \times 0,1 \times 0,03 \text{ m}$ dipaparkan pada lingkungan industri kimia. Dalam waktu 1 minggu, setelah dilakukan produk korosinya dihilangkan, ternyata berat spesimen

berkurang sebanyak 0,0006 kg. Hitunglah laju korosi dari spesimen tersebut ?

Penyelesaian :

1. Dik : Dimensi spesimen baja karbon rendah = 0,2 x 0,1 x 0,03 m

Ekposur time = 1 minggu = 168 jam

Weight loss = 0,0006 kg = 0,6 gram

Densitas baja karbon = 7,86 g/cm³

Dilihat dari desainya, bentuk specimen adalah balok, maka untuk surfacenya adalah :

$$A_s = 2 \cdot (p \times l + p \times t + l \times t)$$

$$A_s = 2 \cdot (0,2 \times 0,1 + 0,2 \times 0,03 + 0,1 \times 0,03)$$

$$A_s = 0,058 \text{ m}^2 = 580 \text{ cm}^2$$

Maka,

$$CR (mm/y) = \frac{0,6 \times 8,76 \cdot 10^4}{7,86 \frac{g}{cm^3} \cdot 580 \text{ cm}^2 \cdot 168 \text{ hr}} = 0.0686 \text{ mm/year}$$

b. Metode Elektrokimia

Metode elektrokimia adalah metode mengukur laju korosi dengan mengukur beda potensial objek hingga didapat laju korosi yang terjadi, metode ini mengukur laju korosi pada saat diukur saja dimana memperkirakan laju tersebut dengan waktu yang panjang (memperkirakan walaupun hasil yang terjadi antara satu waktu dengan waktu lainnya

berbeda). Kelemahan metode ini adalah tidak dapat menggambarkan secara pasti laju korosi yang terjadi secara akurat karena hanya dapat mengukur laju korosi hanya pada waktu tertentu saja, hingga secara umur pemakaian maupun kondisi untuk dapat ditreatmen tidak dapat diketahui. Kelebihan metode ini adalah kita langsung dapat mengetahui laju korosi pada saat di ukur, hingga waktu pengukuran tidak memakan waktu yang lama.

Metode elektrokimia ini meggunakan rumus yang didasari pada Hukum Faraday yaitu menggunakan rumus sebagai berikut :

$$CR = K \frac{\alpha i}{nD} \dots \dots \dots mpy \quad (2.2)$$

Dimana :

- CR = Corrosion rate
- K = Constant factor, mpy = 0,129 : $\mu\text{m/yr}$ = 3,27 :
mm/yr = 0,00327
- α = Atonic weight of metal
- i = Current density ($\mu\text{A/cm}^2$)
- n = Number of electron lost
- D = Density (g/cm^3)

Metode ini menggunakan pembanding dengan meletakkan salah satu material dengan sifat korosif yang sangat baik dengan bahan yang akan diuji hingga beda potensial yang terjadi dapat diperhatikan dengan adanya pembanding tersebut. Berikut merupakan gambar metode yang

dilakukan untuk mendapatkan hasil pada penelitian laju korosi dengan metode elektrokimia yang diuraikan diatas.

Contoh perhitungan laju korosi dengan metode Elektrokimia :

Sepotong baja yang berada dalam larutan HCl (air-free) mengalami korosi dengan densitas arus $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Hitung laju korosi dalam mpy untuk baja tersebut ?

Penyelesaian :

Diketahui : Sepotong baja berada dalam larutan HCl (air-free)

Densitas arus, $i = 1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$

Massa atom Fe, $a = 55,847$

Masaa jenis Fe, $D = 7,86 \text{ g}/\text{cm}^3$

Reaksi kimia yang terjadi adalah



Fe $\rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ (oksidasi baja), maka $n = 2$

Jadi

$$\text{CR (mm/y)} = 0,129 \frac{55,847 \times 1 \mu\text{A}/\text{cm}^2}{2 \times 7,86 \text{ g}/\text{cm}^2} = 0.548 \text{ mm/year}$$

Ada beberapa satuan yang biasa dipakai dalam menghitung laju korosi. Maka untuk memudahkan pembaca, tabel dibawah ini adalah tabel pengkonversian satuan laju korosi :

	mA cm^{-2}	mm year^{-1}	Mpy	$\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$
mA cm^{-2}	1	3.21 nd/M	129 M/nd	8.95 M/n
mm year^{-1}	0.00777nd/M	1	39.4	2.74 d
Mpy	0.00777 nd/M	0.0254	1	0.0694 d
$\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$	0.112 n/M	0.365 /d	14.4 /d	1

Keterangan :

N = Number of electrons freed by the corrosion reaction

M = Atomic mass

D = Density