

# AHLI KOROSI DASAR

**Sanksi pelanggaran Pasal 72  
Undang-undang Nomor 19 Tahun 2002  
Tentang Perubahan atas Undang-undang Nomor 12 Tahun 1997  
Pasal 44 Tentang Hak Cipta**

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta atau hak terkait, sebagaimana dimaksud ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)

# AHLI KOROSI DASAR

**DARMAWI  
TRI KURNIA DEWI  
HELMY ALIAN  
KASTA GINTING**



# **AHLI KOROSI DASAR**

**Darmawi**

**Tri Kurnia Dewi**

**Helmy Alian**

**Kasta Ginting**

UPT. Penerbit dan Percetakan

Universitas Sriwijaya 2022

Kampus Unsri Palembang

Jalan Srijaya Negara, Bukit Besa

.r Palembang 30139

Telp. 0711-360969

email : unsri.press@yahoo.com, penerbitunsri@gmail.com

website : www.unsri.unsripress.ac.id

**Editor :**

**Akhsani Taqwiym, Spd., M.Kom**

**Nurussama, SE., MM**

Anggota APPTI No. 026/KTA/APPTI/X/2015

Anggota IKAPI No. 001/SMS/2009

190 halaman : 16x24 cm

Cetakan Pertama, Tahun 2022

Hak cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penerbit.

Hak Terbit Pada Unsri Press

**ISBN : 978-623-399-017-2**



## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT, serta shalawat dan salam kepada junjungan kita nabi Muhammad SAW, buku ini dapat diterbitkan dan dihadirkan ketengah-tengah masyarakat.

Isi buku ini merupakan materi pembelajaran yang disampaikan kepada peserta pelatihan “Ahli Korosi Tingkat Dasar” yang dilakukan oleh INDOCOR Cabang Sumatera Selatan pada tahun 2017 dan pada tahun 2019 di kota Palembang. Materi ini dirasa perlu dimasyarakatkan lebih jauh lagi khususnya bagi kalangan praktisi dan rekayasawan serta mahasiswa Fakultas Teknik sebagai suatu bentuk dukungan keilmuan bagi mereka untuk terjun ke dunia industri dan menjadi praktisi lapangan.

Materi buku ini disusun dengan perpaduan antara ilmuwan dari perguruan tinggi dan praktisi lapangan, yaitu tiga orang dosen Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yaitu Bapak Dr.Ir. Darmawi, MT.,MT , Ibu Dr.Ir. Tri Kurnia Dewi, MSc, Bapak Ir. Helmy Alian, MT dan Bapak Ir.Kasta Ginting dari PT.PUSRI yang semuanya merupakan pengurus INDOCOR Cabang Sumatera Selatan. Materi teoritis dan tayangan pembelajaran kelas disajikan secara keseluruhan dalam buku ini karena antara satu dengan lainnya saling melengkapi.

Buku ini tidak hanya membahas korosi dari aspek teoritis, tetapi juga menghadirkan kasus-kasus faktual korosi yang terjadi di industri,

sehingga merupakan perpaduan antara ilmu yang teoritis dan fakta lapangan yang saling melengkapi

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Rektor Universitas Sriwijaya yang telah memberi dukungan moril bagi dosen untuk menulis buku. Terima kasih juga kami sampaikan kepada Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya serta Laboratorium Korosi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Unsri yang telah memberikan dukungan moril bagi penerbitan buku ini.

Akhirul kalam, kami mengharapkan semoga buku ini berguna bagi pembaca sekalian, tak lupa kami selalu menerima masukan dan saran dari pembaca untuk penyempurnaan buku ini kedepan.

Wabillahittaufiq wal hidayah, wassalamualaikum wr.wb.

Penulis

**KATA SAMBUTAN**  
**DEKAN FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

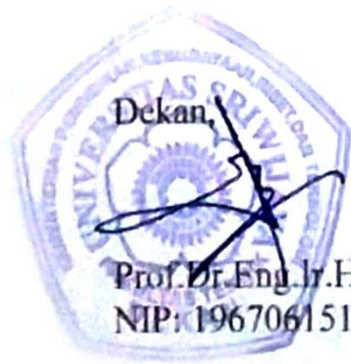
Puji syukur kehadirat Allah azza wa jalla, dimana atas berkah dan rahmatNya jua maka buku Ahli Korosi Dasar ini dapat dihadirkan ketengah-tengah masyarakat. Shalawat dan salam kita panjatkan kepada nabi Muhammad SAW, beserta anak keturunan dan pengikut-pengikutnya hingga ahir zaman.

Buku ini berisi materi pembelajaran yang dipandang cukup untuk menjadikan seseorang Ahli Korosi Tingkat Dasar yang pelatihannya diadakan oleh Indocor Provinsi Sumatera Selatan. Isi buku ini setara dengan materi kuliah korosi satu semester pada jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya plus tinjauan kasus khusus korosi di industri guna pengayaan wawasan peserta didik. Kami berpandangan buku ini anggap layak untuk dibaca dan dimiliki oleh semua civitas akademika, praktisi lapangan dan rekayasawan, terkait masalah korosi dan teknik dasar pengendalian..Dalam buku ini juga dibahas secara khusus tentang Penggetasan Hidrogen dan Korosi Baja Tulangan Beton yang merupakan topik khusus yang perlu dipahami secara lebih mendalam.

Kehadiran buku Ahli Korosi Dasar ini dianggap perlu sebagai bentuk pembakuan materi pembelajaran bagi peminat ilmu korosi untuk tingkat dasar. Pada saat bersamaan buku ini hadir bertepatan dengan upaya pemerintah untuk meningkatkan literasi ditengah

masyarakat. Kami berpandangan korosi akan tetap penting dimengerti dan dipahami, selama logam masih dipergunakan sebagai bahan baku peralatan yang kita gunakan untuk menunjang kehidupan kita di bumi.

Ahirnya kami mengucapkan selamat atas kehadiran buku ini ditengah-tengah masyarakat, semoga bermanfaat bagi mahasiswa dan praktisi yang membutuhkan. Aamiin YRA.



Dekan,  
Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, MT  
NIP: 196706151995121002

**KATA SAMBUTAN**  
**KETUA ASOSIASI KOROSI INDONESIA**  
**(INDOCOR)**

Bismillahirrohmanirohim,

Puji syukur kehadiran Allah azza wa jalla, dimana atas berkah dan rahmatNya jua maka buku Ahli Korosi Dasar ini dapat dihadirkan ketengah-tengah masyarakat. Shalawat dan salam kita panjatkan kepada nabi Muhammad SAW, beserta anak keturunan dan pengikut-pengikutnya hingga ahir zaman.

Materi pembelajaran yang ada dalam buku ini dipandang cukup untuk menjadi seorang Ahli Korosi Tingkat Dasar yang pelatihannya diadakan oleh Indocor Cabang Sumatera Selatan. Kami berpandangan buku ini dapat dianggap layak untuk dibaca dan dimiliki oleh semua civitas akademika, praktisi lapangan dan rekayasawan, terkait masalah korosi dan teknik dasar pengendalian. Lebih-lebih lagi dalam buku ini juga dibahas secara khusus tentang Pengetasan Hidrogen dan Korosi Baja Tulangan Beton yang merupakan topik khusus yang perlu dipahami secara lebih mendalam oleh peminat korosi dimanapun.

Kehadiran buku Ahli Korosi Dasar ini dianggap perlu sebagai bentuk pembakuan materi pembelajaran bagi peminat ilmu korosi untuk tingkat dasar. Pada saat bersamaan buku ini hadir bertepatan dengan upaya pemerintah untuk meningkatkan literasi ditengah masyarakat. Kami berpandangan korosi akan tetap penting dimengerti dan dipahami, selama logam masih dipergunakan sebagai bahan baku peralatan yang kita gunakan untuk menunjang kehidupan kita di bumi.

Ahirnya kami mengucapkan selamat atas kehadiran buku ini ditengah-tengah masyarakat, semoga bermanfaat bagi mahasiswa dan praktisi yang membutuhkan. Aamiin YRA.

Serpong, Januari 2022

Ketua;

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Tiwibowo', written over a faint, illegible printed name.

Dr.Ir. Tiwibowo, MSc

# DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
KATA SAMBUTAN DEKAN FAKULTAS TEKNIK	vii
DAFTAR ISI	xi
I. PENDAHULUAN	1
II. PEMAHAMAN DASAR KOROSI	22
Oleh: Darmawi, Dosen Fakultas Teknik Unsri, Ketua Indocor Prov. Sumatera Selatan	
III. PENGGETASAN HIDROGEN	49
Oleh: Helmy Alian, Dosen Fakultas Teknik Unsri, Dewan Pakar Indocor Sumsel	
IV. KOROSI BAJA TULANGAN BETON	73
Oleh: Darmawi, Dosen Fakultas Teknik Unsri, Ketua Indocor Prov. Sumatera Selatan	
V. PENGENDALIAN KOROSI MELALUI PERLAKUAN LINGKUNGAN	85
Oleh: Tri Kurnia Dewi, Dosen Fakultas Teknik Unsri, Ketua Dewan Pakar Indocor Sumsel	
VI. KASUS-KASUS KOROSI DALAM INDUSTRI	102
Oleh: Kasta Ginting, Ahli Korosi Madya, Dewan Pakar Indocor Sumsel	

## SYNOPSIS

Buku Ahli Korosi Dasar ini memuat tentang pemahaman dasar korosi yang meliputi mekanisme, beda potensial logam, bentuk-bentuk korosi, prinsip dasar pengendalian korosi dan kasus-kasus korosi di industri. Materi dalam buku ini sebagian besar diambil dari bahan pelatihan korosi yang dilakukan oleh INDOCOR Cabang Provinsi Sumatera Selatan pada tahun 2017 dan tahun 2019.

Buku ini diterbitkan untuk lebih memasyarakatkan ilmu korosi dan teknik pengendaliannya di lingkungan mahasiswa dan masyarakat, yaitu kalangan praktisi, industriawan dan rekayasawan.

Materi disajikan dalam bentuk teoritis dan dalam bentuk tayangan powerpoint yang mudah dimengerti dan dipahami. Penggetasan Hidrogen dan Korosi Tulangan Beton dibahas secara khusus, karena dipandang penting untuk didalami secara tersendiri. Demikian juga kasus korosi di industri dibahas secara luas lengkap dengan contoh kasus lapangan. Diharapkan dapat memberi gambaran tentang kasus-kasus korosi di lapangan. Materi ini dianggap cukup oleh Indocor Provinsi Sumatera Selatan untuk dikuasai oleh seseorang dengan status tingkat penguasaan Ahli Korosi Dasar.



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Korosi merupakan salah satu masalah yang berakibat pada timbulnya kerugian dalam bentuk material, financial dan bahkan jiwa manusia. Berdasarkan penelitian di Amerika, korosi telah menelan biaya ratusan milyar dolar setiap tahunnya. Biaya yang ditimbulkan oleh korosi telah dipelajari oleh beberapa negara maju. Hasil dari penelitian tersebut menyatakan bahwa biaya yang ditimbulkan oleh korosi adalah 1 sampai dengan 5% dari *Gross National Product*. Biaya tersebut meliputi utilitas 34.7%, transportasi 21.5%, infrastruktur 16.4%, pemerintahan 14.6%, produksi dan manufaktur 12,8%

Korosi adalah suatu peristiwa alamiah yang tidak dapat dihilangkan atau ditiadakan namun dapat dikendalikan dengan memproteksi material dari reaksi dengan lingkungan. Salah-satunya adalah dengan proteksi katodik baik sistem proteksi katodik anoda korban (Sacrificial anode) maupun proteksi katodik arus tanding (Impressed current). Proteksi katodik sistem anoda korban dan proteksi katodik system arus tanding telah digunakan secara meluas dalam industry dan konstruksi. Desain yang digunakan merupakan perpaduan antara pengalaman dan data experiment.

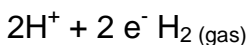
Pemahaman dasar tentang korosi menjadi sangat penting dimana pengendalian korosi secara swadaya dapat dilakukan dengan mengenali penyebab-penyebabnya. Proteksi katodik sistem anoda korban memerlukan perhitungan dan perancangan yang tepat agar desain sesuai dengan proteksi yang dibutuhkan. Desain yang tepat akan menolong perusahaan dari extracost akibat desain yang tidak tepat. Oleh karena itu diperlukan pemantau berupa perangkat dengan akurasi tinggi untuk proteksi, sehingga desain yang dihasilkan efektif. Banyak penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan perancangan proteksi katodik dengan menggunakan program komputer untuk mengejar ketepatan dan keefektifan diantaranya antara lain Ernesto Santana dan Robert Adey tahun 2006, V.G DeGiorgi tahun 2001, Robert A Adey dan John Baynham tahun 2000, meneliti tentang perancangan dan optimasi proteksi katodik dengan simulasi komputer. Penelitian itu tidak dibahas dalam materi pembelajaran ini, tetapi merupakan petunjuk arah pembelajaran lebih lanjut tentang korosi dan pengendalian secara lebih komprehensif.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

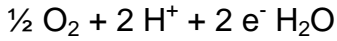
### 2.1 Pengertian Korosi

Korosi merupakan penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Secara umum korosi meliputi hilangnya logam secara ionic pada bagian yang ter-ekpose lingkungan. Korosi terjadi dalam berbagai macam bentuk, mulai dari korosi merata pada seluruh permukaan logam sampai dengan korosi yang terkonsentrasi pada bagian tertentu saja.

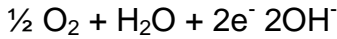
Korosi pada logam terjadi karena adanya aliran arus listrik dari satu bagian logam ke bagian yang lain di permukaan logam akibat adanya perbedaan potensial antara kedua bagian.. Aliran arus ini akan menyebabkan hilangnya metal pada bagian dimana arus dilepaskan ke lingkungan (reaksinya disebut oksidasi atau reaksi anodik), dipihak lain terjadi reaksi reduksi, yaitu penerimaan electron oleh bagian katodik logam. Akseptor electron ini bisa juga dilakukan oleh ion  $H^+$  dalam lingkungan (media), sehingga terjadi gas  $H_2$ .



Reaksi penangkapan electron dapat berbeda sesuai keadaan media. Dilingkungan asam, reaksiya adalah sebagai berikut:

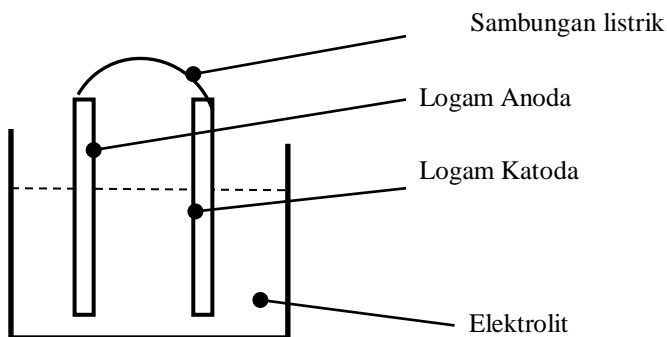


Dilingkungan basa reaksinya adalah sbb:



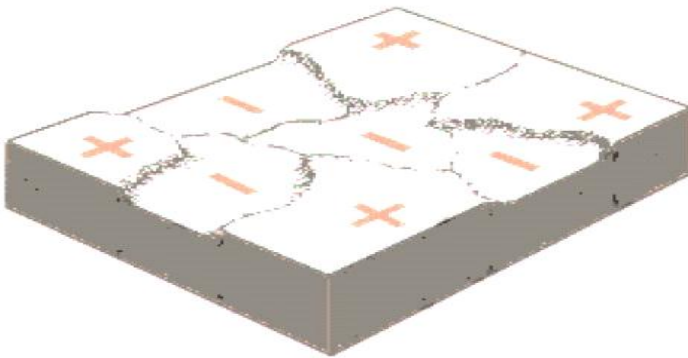
Terdapat empat unsur pokok yang harus dipenuhi agar korosi dapat terjadi. Jika salah satunya tiada, maka korosi tidak dapat terjadi. Empat unsur pokok tersebut adalah:

- Terdapat anoda, tempat terjadinya reaksi oksidasi.
- Terdapat katoda, tempat terjadinya reaksi reduksi.
- Terdapat Elektrolit, Lingkungan tempat katoda dan anoda ter-ekpose.
- Terdapat sambungan logam, dimana katoda dan anoda disambung dengan menggunakan logam agar arus listrik dapat mengalir.



Gambar 2.1. Sel Korosi Sederhana

Pada logam yang sama, salah satu bagian permukaannya dapat menjadi anoda dan bagian permukaan lainnya menjadi katoda. Hal ini bisa terjadi karena berbagai sebab diantaranya adalah dinamika kimiawi yang terdapat pada permukaan logam itu sendiri, diantaranya adalah energy internal, segregasi, phase yang berbeda dll, atau bisa juga karena di permukaan logam terdapat lebih dari satu macam elektrolit.



Gambar 2.2. Perbedaan potensial pada permukaan logam.

Salah satu contohnya adalah korosi yang terjadi antara seng dan asam HCl. Berikut ini merupakan gambaran reaksi elektrokimia yang terjadi;

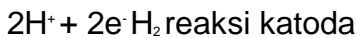


Seng bereaksi dengan larutan asam sehingga membentuk seng clorida dan melepaskan gas hidrogen ke udara. Reaksi ionik yang terjadi adalah sebagai berikut;



Dengan menghapus  $\text{Cl}^-$  pada kedua sisi, reaksi dapat disederhanakan menjadi:

Reaksi di atas dapat dibagi menjadi reaksi anoda dan reaksi katoda.



Jika suplai elektron dari anoda memadai, maka potensial pada permukaan katoda akan menjadi lebih negatif dan menyebabkan dia terproteksi.

Pada larutan elektrolit, permukaan akan mencapai nilai potensial yang setimbang  $E_{\text{corr}}$ , yang nilainya tergantung pada kemampuan dan laju pertukaran elektron pada reaksi katoda dan anoda. Pada saat nilai potensial meningkat dari  $E_{\text{corr}}$  menjadi  $E$ , laju reaksi anoda atau laju korosi secara umum akan meningkat. Polarisasi anoda dapat didefinisikan sebagai  $\zeta_a = E - E_{\text{corr}}$ . Tanpa polarisasi, laju korosi akan terjadi sangat cepat. Polarisasi akan menurunkan reaksi korosi dan memperkecil logam yang hilang dengan cara merubah potensial pada anoda atau katoda atau pada keduanya, sehingga perbedaan potensial di antara kedua berubah menjadi minimum.

## 2.2. Elektroda Pembanding (Reference Electrode)

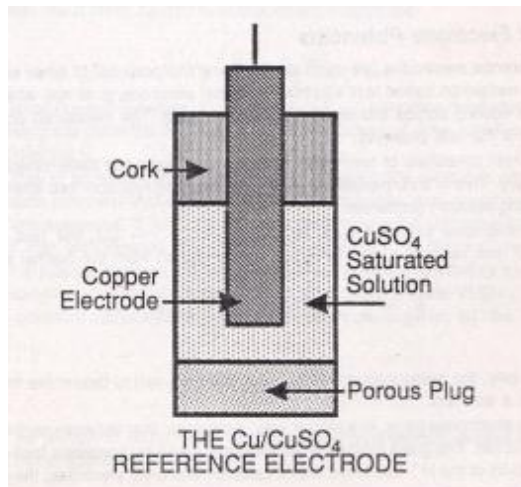
Elektroda pembanding atau sering disebut juga elektroda standard, atau elektroda acuan adalah elektroda yang

digunakan sebagai alat ukur potensial antarmuka logam. Penentuan elektroda acuan ini penting, karena memperjelas tolak ukur suatu nilai. Setidaknya ada tiga jenis elektroda standard yang umum digunakan yaitu:

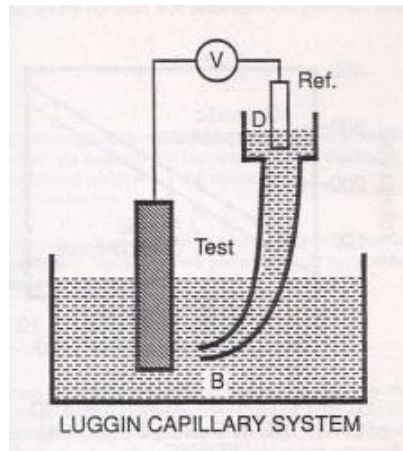
- [Standard hydrogen electrode](#) (SHE) ( $E=0.000$  V) activity of  $H^+=1$
- [Copper-copper sulfate electrode](#) (Cu/CuSO<sub>4</sub>) (CSE) ( $E=+0.314$  V)
- [Silver chloride electrode](#) (Ag/AgCl) ( $E=+0.197$  V saturated)

Pada pelatihan ini, elektroda yang kita gunakan adalah elektroda Cu/CuSO<sub>4</sub> dengan beberapa alasan, yaitu:

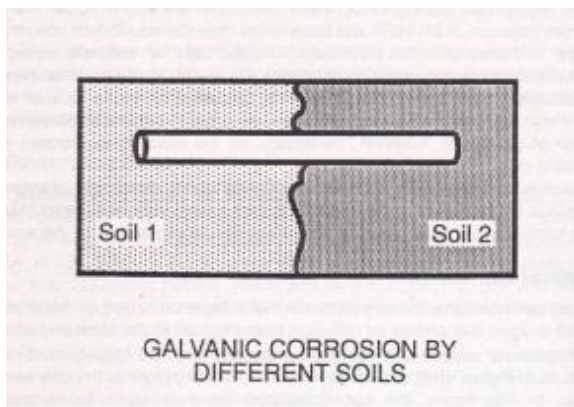
- Dapat dibuat sendiri.
- Tidak mahal dan lebih mudah dioperasikan.



Gambar 2.3. Elektroda Standard Cu/CuSO<sub>4</sub>



Gambar 2.4. Lugin Capillary dengan elektroda Cu/CuSO<sub>4</sub>



Gambar 2.5. Korosi yang dipicu oleh perbedaan media yang berkontak dengan struktur.

Pada skala pendidikan dan pelatihan, elektroda standard dibuat sendiri dengan maksud agar tidak ketergantungan pada alat dan pengukuran dilakukan dengan variable logam terhadap larutan yang sama serta variable larutan terhadap logam yang sama. Pada umumnya, angka potensial yang diambil adalah harga yang didapat setelah satu jam pencelupan. Logam yang



dicelupkan pada elektrolit akan berkontak dengan elektrolit dan membentuk passive film berupa lapisan tipis yang tidak lain adalah oksida logam itu sendiri. Laju korosi bergantung pada konduktifitas listrik elektrolit. Air murni memiliki konduktifitas listrik yang kurang baik sehingga laju korosi yang terjadi akan lebih rendah jika dibandingkan dengan larutan asam yang memiliki konduktifitas listrik lebih tinggi.

Kemampuan logam untuk menahan korosi biasanya bergantung pada posisi mereka dalam deret elektrokimia. Makin katodik logam pada posisinya dalam deret elektrokimia (emf series), maka akan makin mulia logam tersebut dan akan makin tinggi ketahanannya terhadap korosi.

Jika dua buah logam yang jenisnya berbeda terpisah sangat jauh pada deret elektrokimia, maka arus listrik yang dihasilkan karena kontak yang terjadi diantara keduanya akan semakin besar. Logam yang berada pada deretan tabel bagian atas adalah logam yang mulia (mulia), sedangkan logam yang berada pada tabel bagian bawah adalah logam yang aktif (anodic). Jadi, semakin ke arah atas tabel maka logam akan semakin katodik dan semakin ke arah bawah tabel maka logam akan semakin anodic.

**TABLE 2.1** Standard Electromotive Force Potentials (Reduction Potentials)

	Reaction	Standard Potential, $e^{\circ}$ (volts vs. SHE)
Noble	$\text{Au}^{3+} + 3e^{-} = \text{Au}$	+1.498
	$\text{Cl}_2 + 2e^{-} = 2\text{Cl}^{-}$	+1.358
	$\text{O}_2 + 4\text{H}^{+} + 4e^{-} = 2\text{H}_2\text{O}$ (pH 0)	+1.229
	$\text{Pt}^{3+} + 3e^{-} = \text{Pt}$	+1.2
	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^{-} = 4\text{OH}^{-}$ (pH 7) <sup>a</sup>	+0.82
	$\text{Ag}^{+} + e^{-} = \text{Ag}$	+0.799
	$\text{Hg}_2^{2+} + 2e^{-} = 2\text{Hg}$	+0.788
	$\text{Fe}^{3+} + e^{-} = \text{Fe}^{2+}$	+0.771
	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^{-} = 4\text{OH}^{-}$ (pH 14)	+0.401
	$\text{Cu}^{2+} + 2e^{-} = \text{Cu}$	+0.337
	$\text{Sn}^{4+} + 2e^{-} = \text{Sn}^{2+}$	+0.15
	$2\text{H}^{+} + 2e^{-} = \text{H}_2$	0.000
	$\text{Pb}^{2+} + 2e^{-} = \text{Pb}$	-0.126
	$\text{Sn}^{2+} + 2e^{-} = \text{Sn}$	-0.136
	$\text{Ni}^{2+} + 2e^{-} = \text{Ni}$	-0.250
	$\text{Co}^{2+} + 2e^{-} = \text{Co}$	-0.277
	$\text{Cd}^{2+} + 2e^{-} = \text{Cd}$	-0.403
	$\text{Fe}^{2+} + 2e^{-} = \text{Fe}$	-0.440
	$\text{Cr}^{3+} + 3e^{-} = \text{Cr}$	-0.744
	$\text{Zn}^{2+} + 2e^{-} = \text{Zn}$	-0.763
$2\text{H}_2\text{O} + 2e^{-} = \text{H}_2 + 2\text{OH}^{-}$	-0.828	
$\text{Al}^{3+} + 3e^{-} = \text{Al}$	-1.662	
$\text{Mg}^{2+} + 2e^{-} = \text{Mg}$	-2.363	
$\text{Na}^{+} + e^{-} = \text{Na}$	-2.714	
Active	$\text{K}^{+} + e^{-} = \text{K}$	-2.925

<sup>a</sup>Not a standard state but included for reference.

Source: A. J. deBethune and N. S. Lowry, Standard Electrode Potentials and Temperature Coefficients at 25°C, Clifford A. Hampel, Skokie, Ill., 1964.

Tabel 2.1 Deret Elektrokimia Logam-logam dalam satuan SHE

Salah satu contohnya adalah korosi galvanik yang terjadi antara tembaga dan besi baja yang direndam dalam larutan asam, dimana tembaga bersifat katodik terhadap baja. Dengan adanya ekspose baja terhadap lingkungan, maka bagian

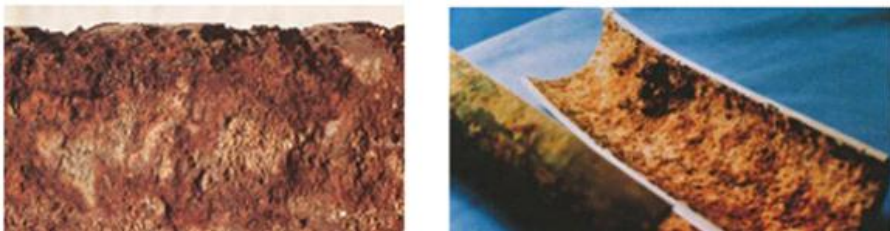
tersebut akan terserang korosi karena dua alasan, alasan pertama karena berada dilingkungan asam (acid) dan alasan kedua karena ada efek galvanic terhadap tembaga.

### 2.3. Jenis-Jenis korosi

Berdasarkan bentuk dan tempat terjadinya, korosi terbagi dalam beberapa jenis antara lain; korosi merata (uniform corrosion), korosi sumuran, korosi antar butir, korosi erosi, korosi galvanik dan korosi celah dan masih banyak lainnya. Berikut ini merupakan penjelasannya;

#### 2.3.1 Korosi Merata

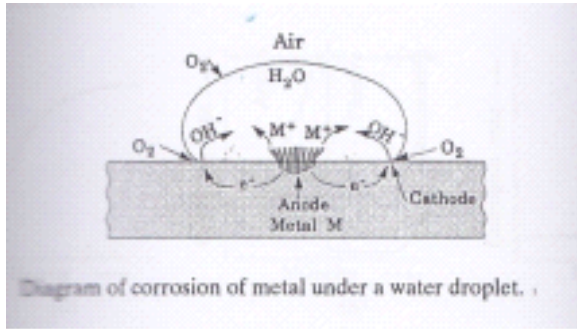
Korosi merata atau *general corrosion* merupakan bentuk korosi yang paling lazim terjadi. Korosi yang muncul terlihat merata pada seluruh permukaan logam dengan intensitas yang sama. Salah satu contohnya adalah efek dari korosi atmosfer pada permukaan logam. Korosi merata terjadi apabila seluruh bagian logam memiliki komposisi yang sama. Korosi jenis ini biasanya diatasi dengan cara melapisi permukaan logam atau dengan memberikan 'corrosion allowance' dengan besaran tertentu yang disesuaikan dengan usia alat yang direncanakan.



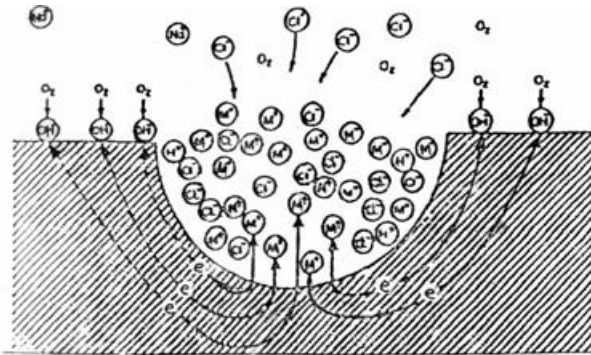
Gambar 2.6. Korosi merata pada pipa

### 2.3.2 Korosi Sumuran

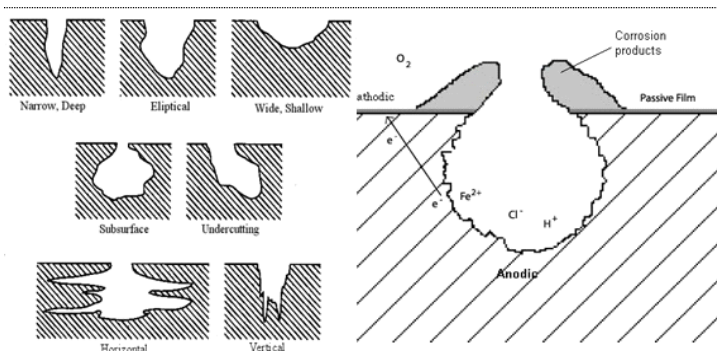
Korosi sumuran merupakan korosi yang muncul dan terkonsentrasi pada daerah tertentu. Inisiator serangan korosi ini biasanya adalah klorida. Penyebabnya bisa bermacam-macam, antara lain: Pecahnya lapisan pasif, scratch pd permukaan, crack akibat beban mekanik, fasa kedua, impurities dll. Mekanisme terbentuknya korosi sumuran pada tahap awal biasanya hanya berupa korosi biasa. Namun pada tahap lanjut mekanisme korosi memiliki banyak kesamaan dengan korosi celah, yaitu dipicu oleh deplesi oksigen dalam celah yang pada gilirannya akan makin asam karena banyaknya ion  $H^+$  dalam sumuran dan akan menarik ion  $Cl^-$  kedalam sumuran sehingga reaksi korosi di dalam sumuran akan makin dahsyat. Hanya saja korosi sumuran pada umumnya berukuran lebih kecil jika dibandingkan dengan korosi celah. Jika korosi sumuran berjumlah banyak dan jaraknya yang saling berdekatan satu sama lain, maka korosi sumuran akan mengakibatkan permukaan logam menjadi kasar. Korosi sumuran terjadi karena komposisi material yang tidak homogen, rusaknya lapisan pelindung, adanya endapan dipermukaan material, serta adanya bagian yang cacat pada material.



Gambar 2.9. Korosi dibawah setetes air yang dapat menginisiasi korosi sumuran.



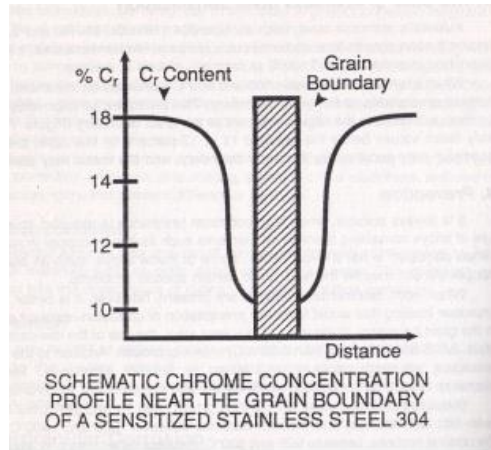
Gambar 2.10. Mekanisme Korosi Sumuran pada tahap awal



Gambar 2.11. Morphology Korosi Sumura

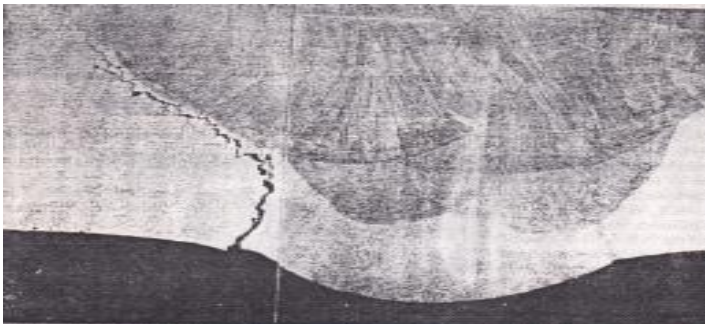
### 2.3.3 Korosi Antar Butir (Intergranular Corrosion)

Korosi antar butir atau *intergranular corrosion* merupakan korosi yang terjadi pada *grain boundary* sebuah logam atau alloy. Korosi tipe ini biasanya disebabkan



Gambar 2.12. Mekanisme korosi batas butir

karena adanya karbida pada batas butir dan terjadi disepanjang batas butir pada logam paduan. Umumnya hal ini terjadi pada baja stainless yang terkena perlakuan panas, misalnya pengelasan.

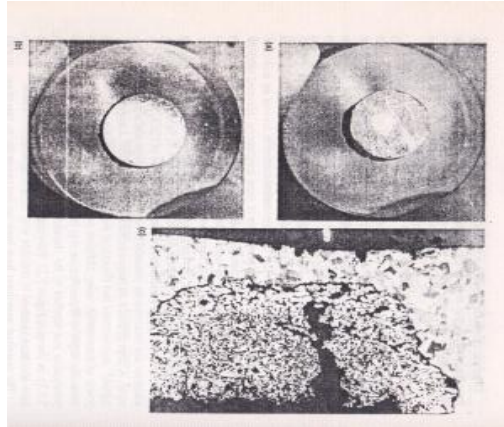


Gambar 2.13. Korosi Antar Butir

Gambar di atas menunjukkan sebuah logam stainless steel yang terkorosi pada bagian yang terkena panas (HAZ) dimana jaraknya tidak jauh dari bagian las-lasan. Ini merupakan tipikal dari korosi antar butir pada *austenitic stainless steel*. Korosi tipe ini dapat dihilangkan dengan menggunakan stainless steel 321 atau 347 atau dengan menggunakan stainless steel yang tingkat karbonnya rendah (304L atau 316L)

#### **2.3.4. Korosi Selective (Selective leaching)**

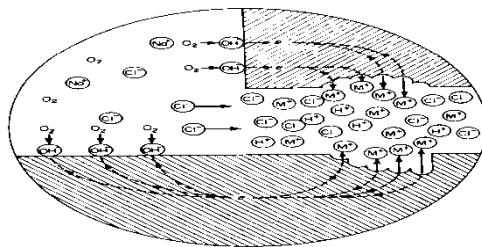
Korosi selektif terjadi pada logam paduan dengan pola campuran mekanik (mechanical mixture). Pola paduan seperti ini umumnya terjadi pada logam dengan perbedaan temperature cair (melting point) yang jauh berbeda. Misalnya pada logam kuningan yang merupakan paduan antara Cu (Melting temp.  $1082^{\circ}\text{C}$ ) dan Zn (Melting temp  $419^{\circ}\text{C}$ ). Yang dimaksud dengan campuran mekanik, adalah logam dimana masing-masing logam paduan masih memiliki sifat2 aslinya, tidak bercampur sempurna dan tidak menghasilkan sifat bersama yang baru.



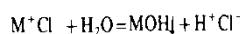
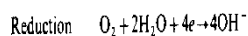
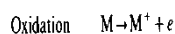
Gambar 2.14. Dezincification pada logam kuningan.

### 2.3.5. Korosi Celah (Crevice Corrosion)

Korosi celah merupakan jenis korosi yang terjadi akibat perbedaan konsentrasi oksigen didalam dan diluar celah. Bagian logam yang berada di dalam celah menjadi anodik karena tipisnya konsentrasi oksigen dan karenanya bagian tersebut mengalami oksidasi. Sementara itu bagian logam diluar celah menjadi katodik dan karenanya bagian tersebut mengalami reaksi reduksi.



Gambar 2.15: Korosi celah pada logam.





### 2.3.6 . Korosi Retak Tegang (Stress Corrosion Cracking)

Merupakan type korosi yang terjadi akibat interaksi tiga unsur yang meliputi: 1. Adanya tegangan tarik yang melampaui tegangan yield logam, 2. Adanya material yang susceptible terhadap serangan korosi dan 3. Adanya lingkungan yang korosif terhadap logam. Dalam kasus2 yang dijumpai, SCC ditemukan pada lingkungan2 tertentu seperti pada tabel berikut.



Gambar 2.16: Korosi Retak Tegang pada baja tahan karat

Tabel 2.2: Kasus korosi SCC yang pernah dijumpai

Alloy	Environment	Temp.	Ref.
Nickel-Cr-Fe Alloys 600, 800, 690	High-temperature chloride solutions aggravating factors: pH < 4, oxidizing species, such as dissolved oxygen, H <sub>2</sub> S, free sulfur	>205°C	37
	Polythionic acids and thiosulfate solutions, sensitized alloys with excess carbon	RT	37 28
	Caustic alkaline solutions	315°C	37
Ni-Cu Monel Alloy 400	Acidic fluoride solutions	RT	28
	Hydrofluoric acid	RT	28
	Hydrofluosilicic acid	RT	23
	Susceptible in cold-worked state. Resistant in stress relieved state		
	H <sub>2</sub> S		28
Nickel Alloy 200, 201	Caustic alkaline solutions	290°C	28
Copper-Zinc Alloys (Brass) > 15% Zn	Ammonia vapors in water	RT	28
	Amines in water	RT	28
	Nitrites in water	RT	28
	Water, Water vapor alone (45-50% Zn, $\beta$ or $\beta + \gamma$ alloys)	RT	39
	Nitrate solutions		28
	Some sulfate solutions		40
Aluminum Alloys	Air with water vapor	RT	21
	Potable waters	RT	21
	Seawater	RT	21
	NaCl solutions	RT	21
	NaCl-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> solutions	RT	21
Titanium Alloys	Red fuming nitric acid	RT	39
	Hot salts, molten salts	>260°C	39
	N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	30-75°C	39
	Methanol/halide	RT	39

SCC pada umumnya berawal dari korosi setempat yang kemudian berpropagasi membentuk retakan yang akhirnya menyebabkan gagal katastrofik. Dalam banyak kejadian, SCC tidak kasat mata, sehingga baru diketahui setelah terjadi kegagalan struktur. Mode retakan pada SCC dibagi dalam dua macam, yang meliputi intergranuler dan transgranuler.

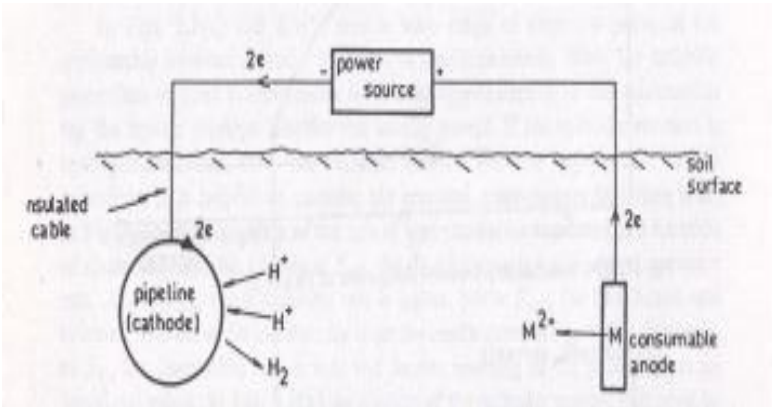
## 2.4. Proteksi Katodik

Proteksi katodik merupakan suatu proses perekayasaan potensial permukaan logam sehingga nilai potensialnya berada pada daerah imun, sehingga tidak mengalami proses korosi.

Ada dua macam proteksi katodik, yaitu:

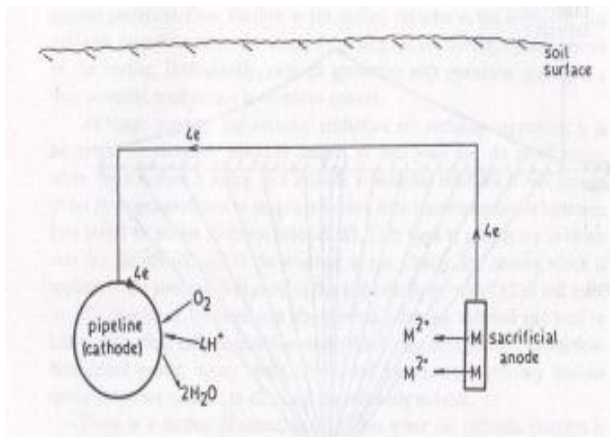
- Proteksi Katodik Arus Tanding (Impressed current)
- Proteksi Katodik Anoda Tumbal (Sacrificial anode)

Proteksi katodik Arus Tanding, adalah proteksi katodik yang arus proteksinya berasal dari arus listrik DC. Di daerah dimana tidak terdapat arus listrik, dapat digunakan sel surya (solar cell) untuk proteksi katodik.



Gambar 2.17. Proteksi katodik arus tanding

Proteksi katodik Anoda Tumbal (Sacrificial Anode) adalah suatu cara melindungi logam dengan cara menghubungkannya dengan logam lain yang lebih anodik. Dengan cara seperti itu maka struktur yang lebih katodik akan terhindar dari korosi.



## **Referensi:**

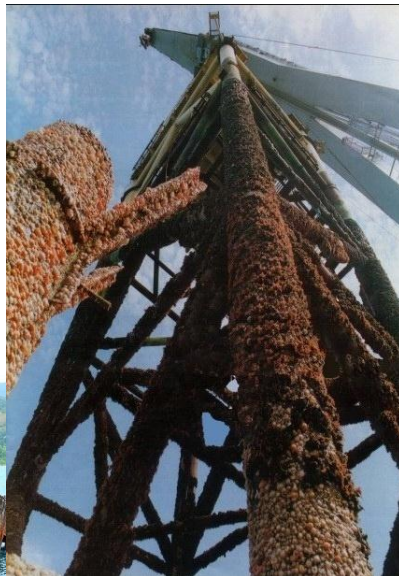
1. Mars.G Fontana, "Corrosion Engineering", McGraw Hill Book Company, New York, 2008
2. Denny A Jones, "Priciples and Prevention of Corrosion", Maxwell Macmillan International Editions, Singapore, 2002.
3. D.L.Piron, "The Electrochemistry of Corrosion", National Association of Corrosion Engineers", Houston, 2006
4. Marshall E Parker, Edward G Peattie, "Pipe Line Corrosion and Cathodic Protection", Gulf Publishing Company, Tokyo, 1998
5. Corrosion Testing Laboratories, "Corrosion Erosion", <http://www.corrosionlab.com/papers/erosion-corrosion/erosion-corrosion.htm>
6. David Pascoe, "A boatmans Primer on Essentials" [http://www.marinesurvey.com/yacht/corrosion\\_1.htm](http://www.marinesurvey.com/yacht/corrosion_1.htm)



Dr. Ir. H. Darmawi, MT



- S1 Teknik Mesin, Unsri, 1986
- S2 Corrosion Engineering, ITB, 1995
- S2 Teknologi Energi, Pascasarjana Unsri, 2005
- S3 Ilmu Lingkungan, Bidang kajian Hydropower Pascasarjana Unsri, 2013



## Dampak Ekonomi Korosi

- **Dampak Primer**

- Efisiensi menurun.
- Kinerja menurun.
- Disfungsi alat & Safety
- Kehilangan nilai estetika.
- Tampilan.
- Mencemari produk

- **Dampak Sekunder**

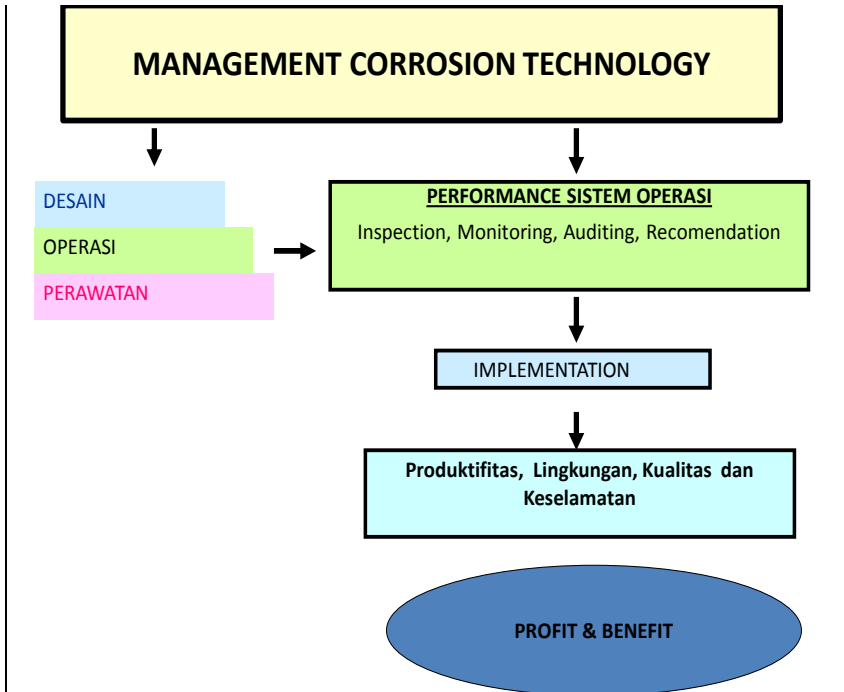
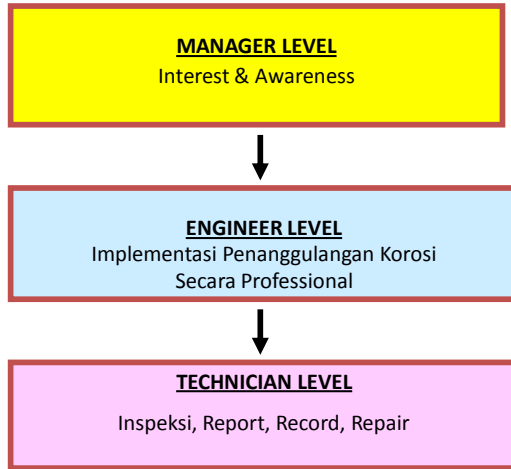
- Shut Down
- Explosion
- Kebakaran
- Korban Jiwa.
- Korban Harta Benda

## Kerugian Akibat Korosi di Berbagai Negara

2 – 5 % dari GNP

The monetary value of all the finished goods and services produced within a country's borders in a specific time period, GDP is usually calculated on an annual basis

**MANAGEMENT PELAKSANA PERAWATAN  
DI LINGKUNGAN INDUSTRI**





# Standard Electrode

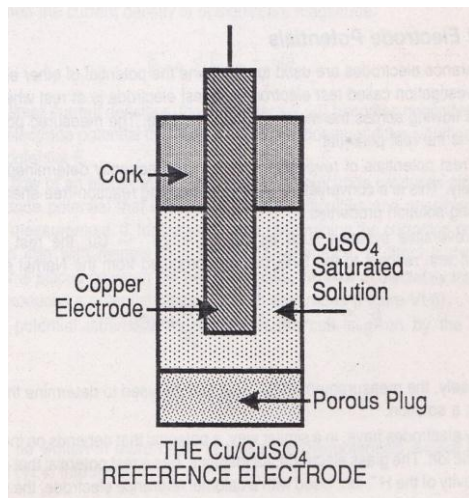
-Standard Hydrogen Electrode (SHE)

--Cu/CuSO<sub>4</sub>

-- Ag/AgCl

-- Calomel

Standard pengukuran potensial antarmuka: ASTM G215-17



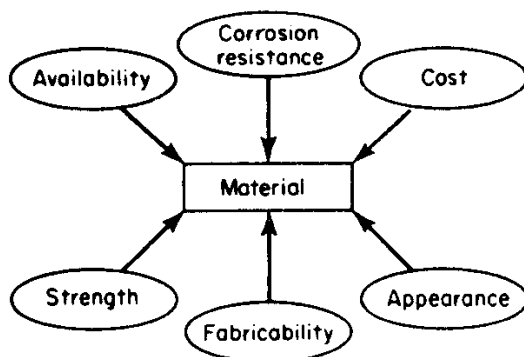
## JENIS-JENIS KOROSI

1. Korosi Merata
2. Korosi Galvanik
3. Korosi Celah
4. Korosi Sumuran (Pitting Corrosion)
5. Korosi Retak Tegangan (Stress Corrosion Cracking)
6. Korosi Intergranular
7. Korosi Aerasi Differential (Water Level Corrosion)
8. Korosi Erosi

## PRINSIP DASAR PENCEGAHAN KOROSI

- **Anodic-cathodic Separation:**
  - Isolasi sambungan dwi-logam.
- **Electrolyte modifying:**
  - Inhibitor
  - O<sub>2</sub> Scavenger
- **Metal and Electrolyte Separation:**
  - Coating
  - Plating
  - Wrapping
- **Cathodic Protection**
  - Sacrificial anode
  - Impressed Current
- **Anodic Protection**

# Material Selection



**Table 3-1 Standard emf series of metals**

	Metal-metal ion equilibrium (unit activity)	Electrode potential vs. normal hydrogen electrode at 25°C, volts
↑ Noble or cathodic	Au-Au <sup>+3</sup>	+1.498
	Pt-Pt <sup>+2</sup>	+1.2
	Pd-Pd <sup>+2</sup>	+0.987
	Ag-Ag <sup>+</sup>	+0.799
	Hg-Hg <sub>2</sub> <sup>+2</sup>	+0.788
	Cu-Cu <sup>+2</sup>	+0.337
	H <sub>2</sub> -H <sup>+</sup>	0.000
↓ Active or anodic	Pb-Pb <sup>+2</sup>	-0.126
	Sn-Sn <sup>+2</sup>	-0.136
	Ni-Ni <sup>+2</sup>	-0.250
	Co-Co <sup>+2</sup>	-0.277
	Cd-Cd <sup>+2</sup>	-0.403
	Fe-Fe <sup>+2</sup>	-0.440
	Cr-Cr <sup>+3</sup>	-0.744
	Zn-Zn <sup>+2</sup>	-0.763
	Al-Al <sup>+3</sup>	-1.662
	Mg-Mg <sup>+2</sup>	-2.363
	Na-Na <sup>+</sup>	-2.714
K-K <sup>+</sup>	-2.925	

Source: A. J. de Bethune and N. A. S. Loud, "Standard Aqueous Electrode Potentials and Temperature Coefficients at 25°C," Clifford A. Hampel, Skokie, Ill., 1964. See also Table 9-1. These potentials are listed in accordance with the Stockholm Convention. See J. O'M. Bockris and A. K. N. Reddy, *Modern Electrochemistry*, Plenum Press, New York, 1970.

**Table 2-1 Alloying Elements in Steel and Their Effects**

Element	Solid Solubility, %		Influence on Ferrite	Influence on Austenite (Hardenability)	Influence Exerted Through Carbide		Principal Functions
	In Gamma Iron	In Alpha Iron			Carbide-Forming Tendency	Action During Tempering	
Aluminum	1.1 (increased by C)	36	Hardens considerably by solid solution	Increases hardenability mildly, if dissolved in austenite	Negative (graphitizes)	...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Deoxidizes efficiently</li> <li>2. Restricts grain growth (by forming dispersed oxides or nitrides)</li> <li>3. Alloying element in nitriding steel</li> </ol>
Chromium	12.8 (20 with 0.5C)	Unlimited	Hardens slightly; increases corrosion resistance	Increases hardenability moderately	Greater than Mn; less than W	Mildly resists softening	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Increases resistance to corrosion and oxidation ✓</li> <li>2. Increases hardenability ✓</li> <li>3. Adds some strength at high temperatures</li> <li>4. Resists abrasion and wear (with high carbon) ✓</li> </ol>
Cobalt	Unlimited	75	Hardens considerably by solid solution	Decreases hardenability as dissolved	Similar to Fe	Sustains hardness by solid solution	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Contributes to red hardness by hardening ferrite</li> </ol>
Manganese	Unlimited	3	Hardens markedly; reduces plasticity somewhat	Increases hardenability moderately	Greater than Fe; less than Cr	Very little, in usual percentages	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Counteracts brittleness from the sulfur</li> <li>2. Increases hardenability inexpensively</li> </ol>
Molybdenum	3.1 (8 with .3 C)	37.5 (less with lowered temperature)	Provides age-hardening system in high Mo-Fe alloys	Increases hardenability strongly (Mo > Cr)	Stronger than Cr	Opposes softening, by secondary hardening	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Raises grain-coarsening temperature of austenite</li> <li>2. Deepens hardening</li> <li>3. Counteracts tendency toward temper brittleness</li> <li>4. Raises hot and creep strength, red hardness ✓</li> <li>5. Enhances corrosion resistance in stainless steel</li> <li>6. Forms abrasion-resisting particles ✓</li> </ol>
Nickel	Unlimited	10 (irrespective of carbon content)	Strengthens and toughens by solid solution	Increases hardenability mildly, but tends to retain austenite with higher carbon	Negative (graphitizes)	Very little in small percentages	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Strengthens unquenched or annealed steels</li> <li>2. Toughens pearlitic-ferritic steels (especially at low temperature)</li> <li>3. Renders high-chromium iron alloys austenitic</li> </ol>
Phosphorus	0.5	2.8 (irrespective of carbon content)	Hardens strongly by solid solution	Increases hardenability	Nil	...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Strengthens low-carbon steel</li> <li>2. Increases resistance to corrosion ✓</li> <li>3. Improves machinability in free-cutting steels ✓</li> </ol>
Silicon	2.1 (9 with 0.35)	18.5 (not much changed by carbon)	Hardens with loss in plasticity (Mn < Si < P)	Increases hardenability moderately	Negative (graphitizes)	Sustains hardness by solid solution	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Used as general-purpose deoxidizer</li> <li>2. Alloying element for electrical and magnetic sheet</li> <li>3. Improves oxidation resistance</li> <li>4. Increases hardenability of steels carrying nongraphitizing elements</li> <li>5. Strengthens low-alloy steels</li> </ol>
Titanium	0.75 (1.1 with 0.20 C)	6.1 (less with lowered temperature)	Provides age-hardening system in high Ti-Fe alloys	Probably increases hardenability very strongly as dissolved. The carbide effects reduce hardenability	Greatest carbides (2% Ti renders 0.50% carbon steel unhardenable)	Persistent carbides probably unaffected. Some secondary hardening	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fixes carbon in inert particles <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Reduces martensitic hardness and hardenability in medium-chromium steels</li> <li>b. Prevents formation of austenite in high-chromium steels</li> <li>c. Prevents localized depletion of chromium in stainless steel during long heating</li> </ol> </li> </ol>
Tungsten	6 (11 with 0.25 C)	33 (less with lowered temperature)	Provides age-hardening system in high W-Fe alloys	Increases hardenability strongly in small amounts	Strong	Opposes softening by secondary hardening	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Forms hard, abrasion-resistant particles in tool steels ✓</li> <li>2. Promotes hardness and strength at elevated temperature ✓</li> </ol>
Vanadium	1 (4 with 0.20 C)	Unlimited	Hardens moderately by solid solution	Increases hardenability very strongly, as dissolved	Very strong (V < Ti or Cb)	Maximum for secondary hardening	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Elevates coarsening temperature of austenite (promotes fine grain)</li> <li>2. Increases hardenability (when dissolved)</li> <li>3. Resists tempering and causes marked secondary hardening</li> </ol>

SOURCE: *Metals Handbook*, Vol. 1, 8th ed. American Society of Metals, Metals Park, Ohio, 1961.



**Table 3-2 Galvanic series of some commercial metals and alloys in seawater**

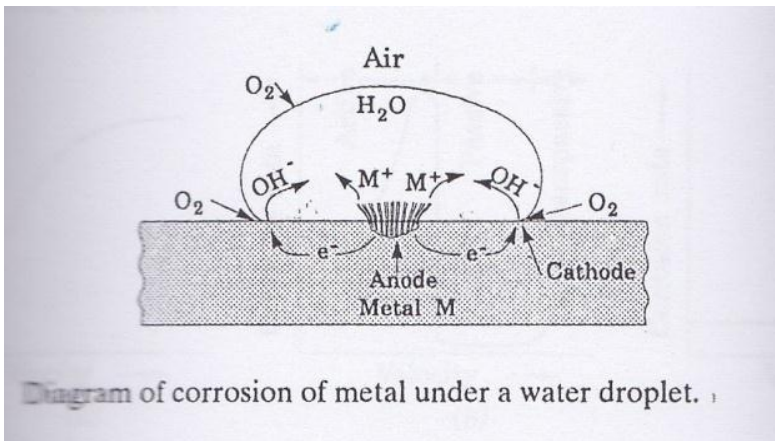
↑	Platinum
Noble or cathodic	Gold
	Graphite
	Titanium
	Silver
	[Chlorimet 3 (62 Ni, 18 Cr, 18 Mo)
	[Hastelloy C (62 Ni, 17 Cr, 15 Mo)
	[18-8 Mo stainless steel (passive)
	[18-8 stainless steel (passive)
	[Chromium stainless steel 11-30% Cr (passive)
	[Inconel (passive) (80 Ni, 13 Cr, 7 Fe)
	[Nickel (passive)
	Silver solder
	[Monel (70 Ni, 30 Cu)
	[Cupronickels (60-90 Cu, 40-10 Ni)
	Bronzes (Cu-Sn)
	Copper
	Brasses (Cu-Zn)
	[Chlorimet 2 (66 Ni, 32 Mo, 1 Fe)
	[Hastelloy B (60 Ni, 30 Mo, 6 Fe, 1 Mn)
	[Inconel (active)
	[Nickel (active)
	Tin
	Lead
	Lead-tin solders
	[18-8 Mo stainless steel (active)
	[18-8 stainless steel (active)
	Ni-Resist (high Ni cast iron)
	Chromium stainless steel, 13% Cr (active)
	[Cast iron
	[Steel or iron
	2024 aluminum (4.5 Cu, 1.5 Mg, 0.6 Mn)
Active or anodic	Cadmium
	Commercially pure aluminum (1100)
	Zinc
↓	Magnesium and magnesium alloys

# Korosi Merata (Uniform Corrosion)

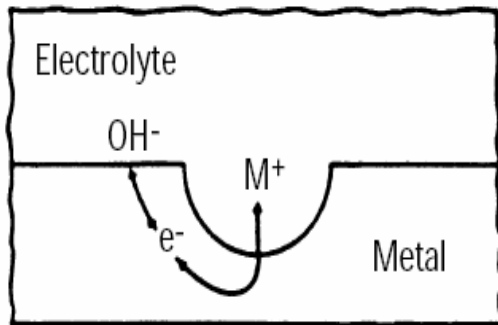
Merupakan korosi yang terjadi pada logam dimana *anodic site* dan *cathodic site* berubah secara bergantian.

Korosi merata bersifat predictable  
Salah satu cara mengatasinya adalah dengan memberikan angka *corrosion allowance* pada objek terkait.

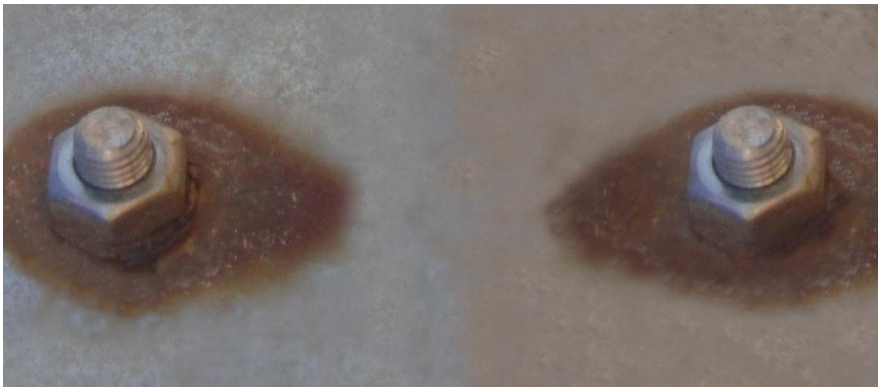
## Inisiasi Pitting Corrossion Pada Setetes Air



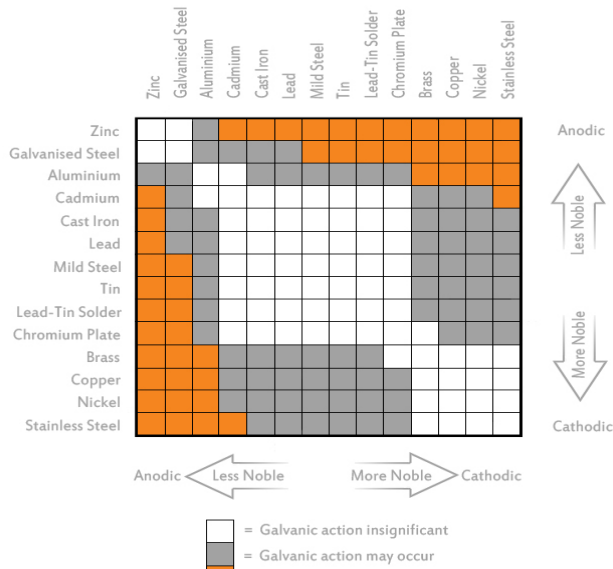
## MEKANISME KOROSI SUMURAN PADA TAHAP AWAL



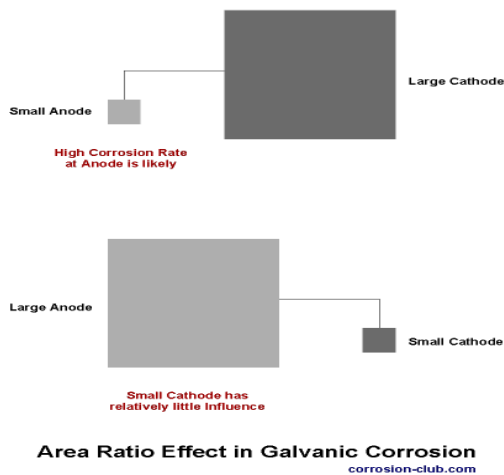
## KOROSI GALVANIK



# Galvanic Corrosion Chart

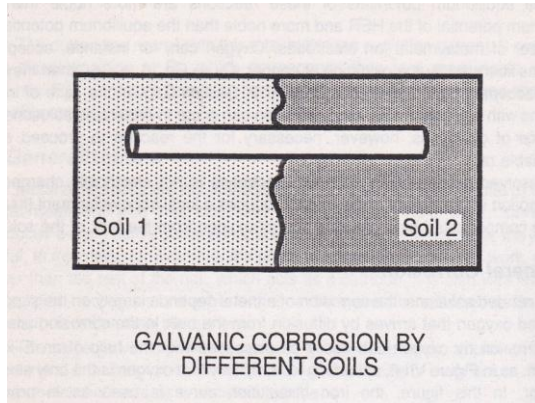


## Efek Luas Permukaan Pada Korosi Galvanik





# GALVANIC CORROSION



## Crevice Corrosion Mechanism

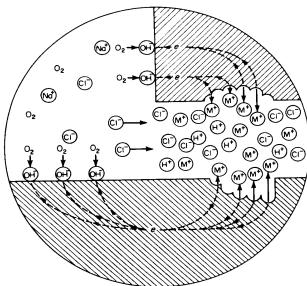
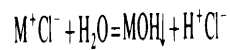
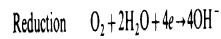


Figure 3-10 Crevice corrosion—later stage.



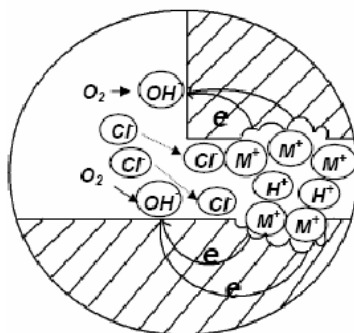
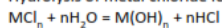
## Crevice - Mechanism of formation – concentration cell

Inside the Crevice	Outside the Crevice
O <sub>2</sub> depleted	O <sub>2</sub> readily available
Anodic reaction	cathodic reaction
High [M <sup>2+</sup> ] concentration	High [OH <sup>-</sup> ] concentration
Overall positive	Overall negative
High [Cl <sup>-</sup> ] concentration	Normal [Cl <sup>-</sup> ] concentration

Cl<sup>-</sup> and OH<sup>-</sup> diffuse into the crevice to maintain a minimum potential energy.

=>Metal chloride is formed.

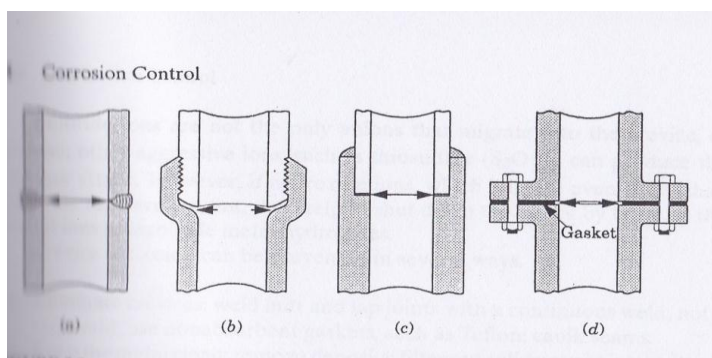
Hydrolysis of metal chloride lowers pH=>



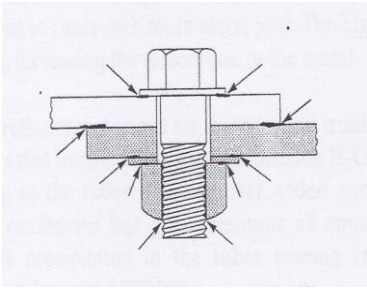
(b): Crevice corrosion-later stage

Inside the Crevice	Outside the Crevice
Low pH	Normal pH
High [Cl <sup>-</sup> ] concentration	Normal [Cl <sup>-</sup> ] concentration
High [M <sup>2+</sup> ] concentration	Low [M <sup>2+</sup> ] concentration

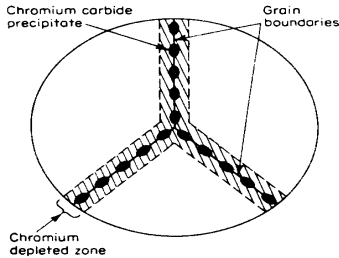
## Titik-titik Rawan Korosi Celah Pada Sambungan Pipa



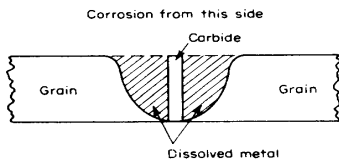
# Korosi Celah Pada Sambungan Baut dan Rivet



## Intergranular Corrosion Mechanism



**Figure 3-24** Diagrammatic representation of a grain boundary in sensitized type 304 stainless steel.



**Figure 3-25** Cross section of area shown in Fig. 3-24.

# Welding Temperature Distribution

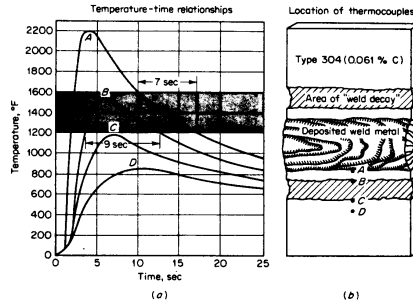


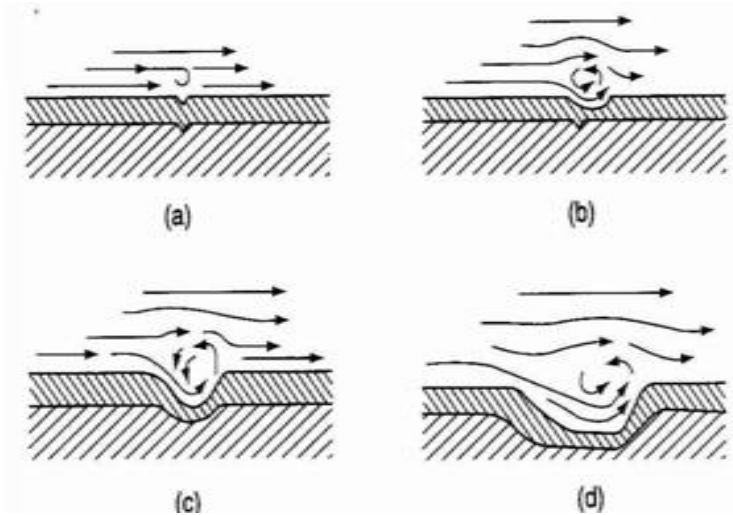
Figure 3-29 Temperatures during electric-arc welding of type 304 stainless steel. (Du Pont Company)

## The Media of Intergranular Corrosion of Austenitic Stainless Steel

**Table 3-9 Corrosives that induce intergranular corrosion in austenitic stainless steel**

Acetic acid	Oxalic acid
Acetic acid + salicylic acid	Phenol + naphthenic acid
Ammonium nitrate	Phosphoric acid
Ammonium sulfate	Phthalic acid
Ammonium sulfate + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Salt spray
Beet juice	Seawater
Calcium nitrate	Silver nitrate + acetic acid
Chromic acid	Sodium bisulfate
Chromium chloride	Sodium hydroxide + sodium sulfide
Copper sulfate	Sodium hypochlorite
Crude oil	Sulfamic acid
Fatty acids	Sulfite cooking liquor
Ferric chloride	Sulfite digester acid
Ferric sulfate	(calcium bisulfite + sulfur dioxide)
Formic acid	Sulfite solution
Hydrocyanic acid	Sulfur dioxide (wet)
Hydrocyanic acid + sulfur dioxide	Sulfuric acid
Hydrofluoric acid + ferric sulfate	Sulfuric acid + acetic acid
Lactic acid	Sulfuric acid + copper sulfate
Lactic acid + nitric acid	Sulfuric acid + ferrous sulfate
Maleic acid	Sulfuric acid + methanol
Nitric acid	Sulfuric acid + nitric acid
Nitric acid + hydrochloric acid	Sulfurous acid
Nitric acid + hydrofluoric acid	Water + starch + sulfur dioxide
	Water + aluminum sulfate

## KOROSI EROSI



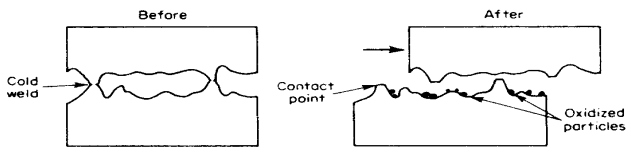
### FAKTOR-FAKTOR YANG BERPENGARUH DALAM KOROSI EROSI

1. Lapisan pasif dipermukaan
2. Kecepatan aliran
3. Turbulensi
4. Impingement

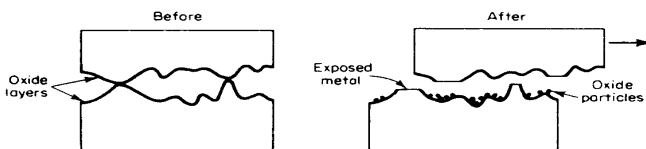


**Figure 3-45** Impingement in steam condensate line.

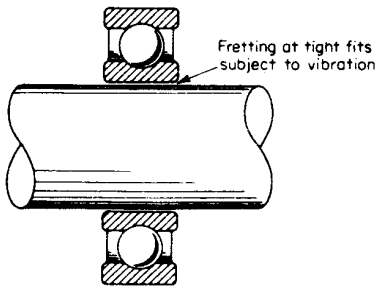
## Fretting Corrosion



**Figure 3-51** Schematic illustration of the wear-oxidation theory of fretting corrosion.



**Figure 3-52.** Schematic illustration of the oxidation-wear theory of fretting corrosion.



**Figure 3-50** Example of typical fretting corrosion location.

## Korosi Selektif

1. Dezincification (Pada kuningan)
2. Graphitization (Pada besi tuang)



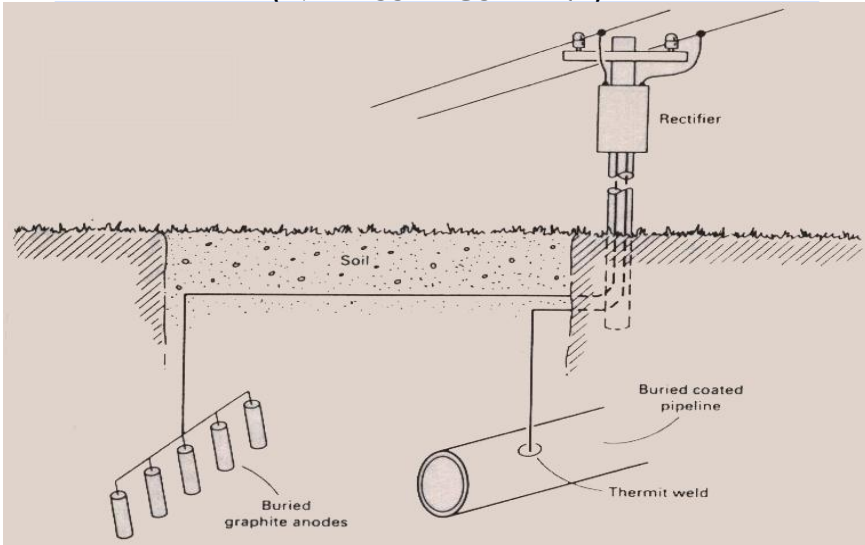
## Stages Involved In SCC

- The process of SCC consists of three stages:
  - Crack Initiation
  - Crack Propagation
  - Brittle Fracture

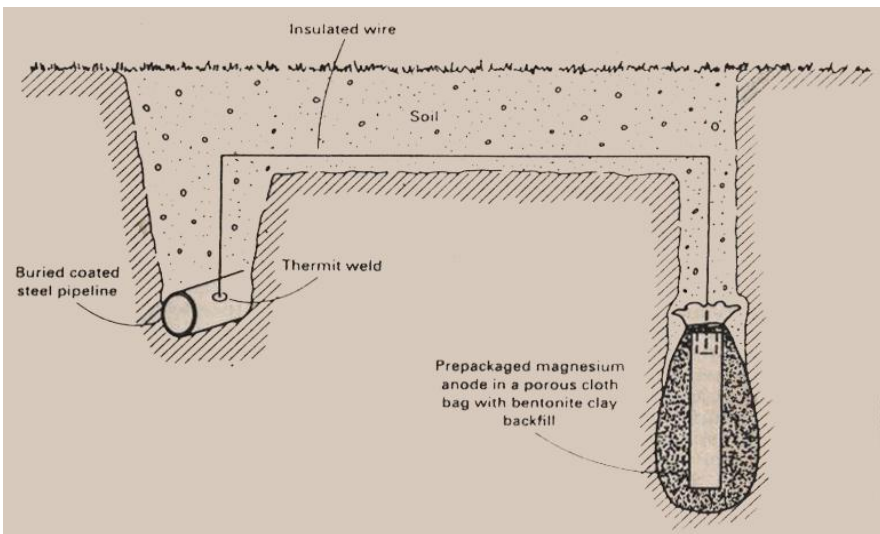




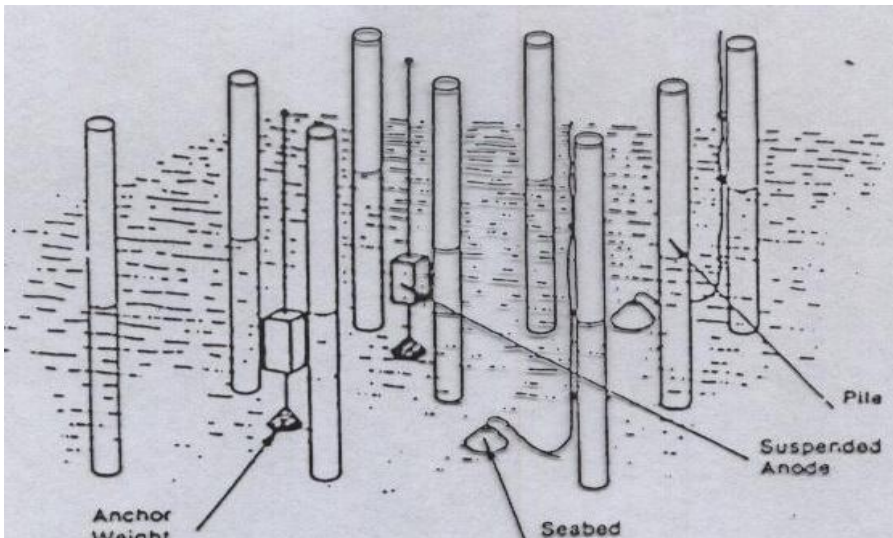
## PROTEKSI KATODIK DENGAN ARUS TANDING (IMPRESSED CURRENT)



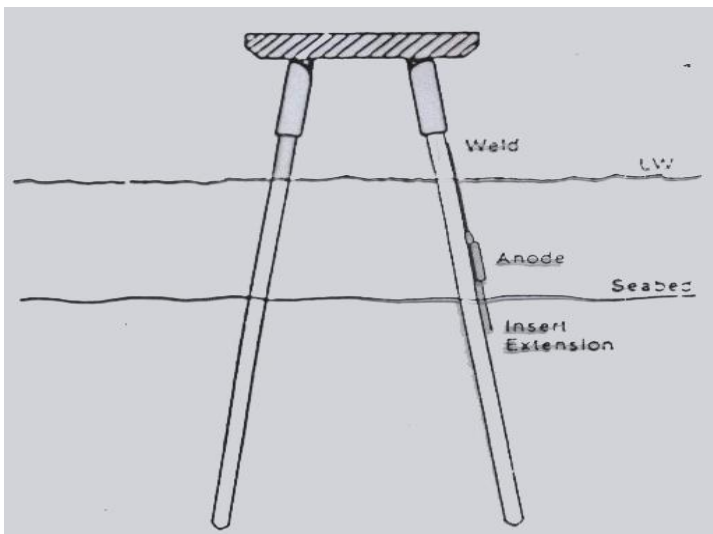
## PROTEKSI KATODIK DENGAN ANODA KORBAN (SACRIFICIAL ANODE)



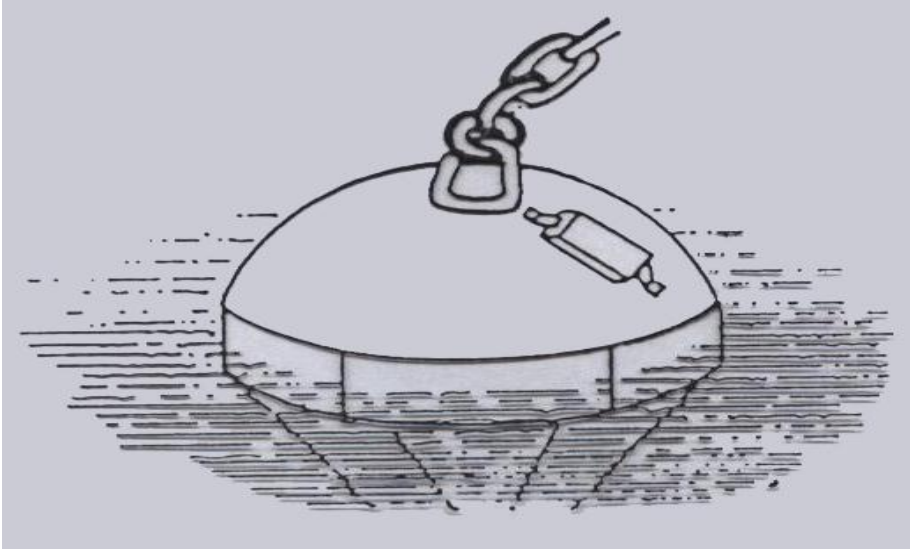
## Cathodic Protection dengan anoda menggantung dan dengan anoda pada dasar laut.



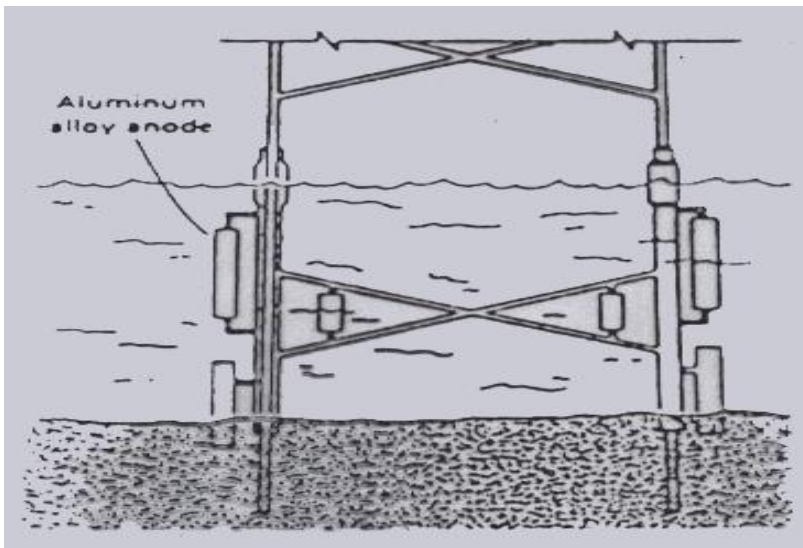
## Anoda korban pada tiang trestle



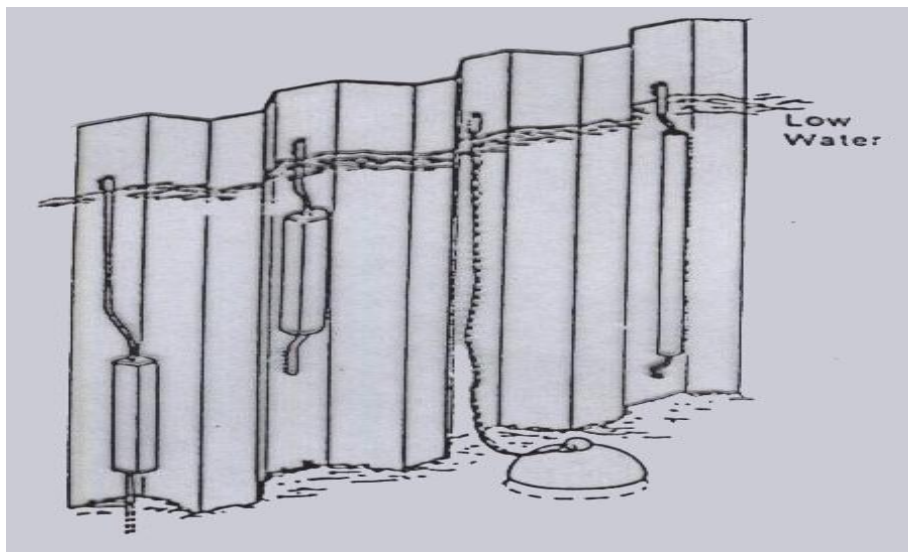
## Pemasangan Anoda pada Buoy



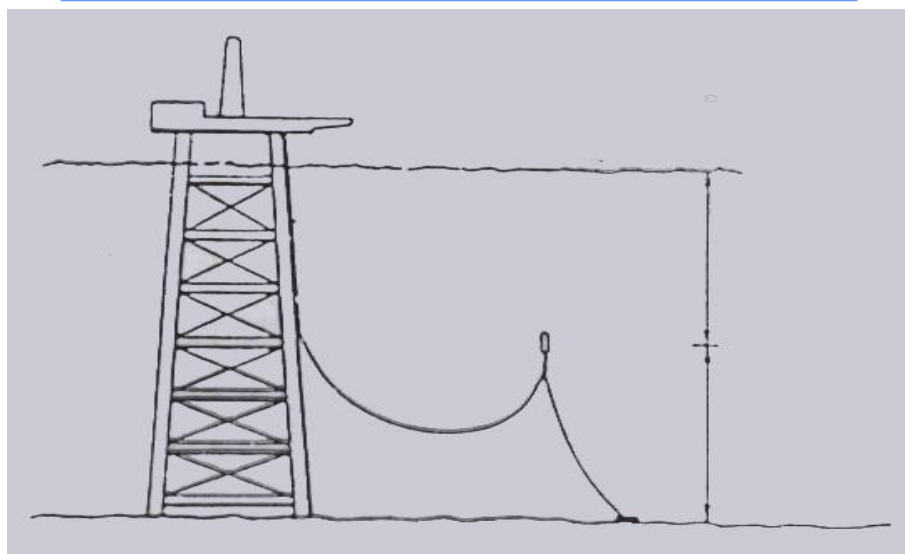
## Anoda pada tiang anjungan



## System anoda pada sheet steel piling

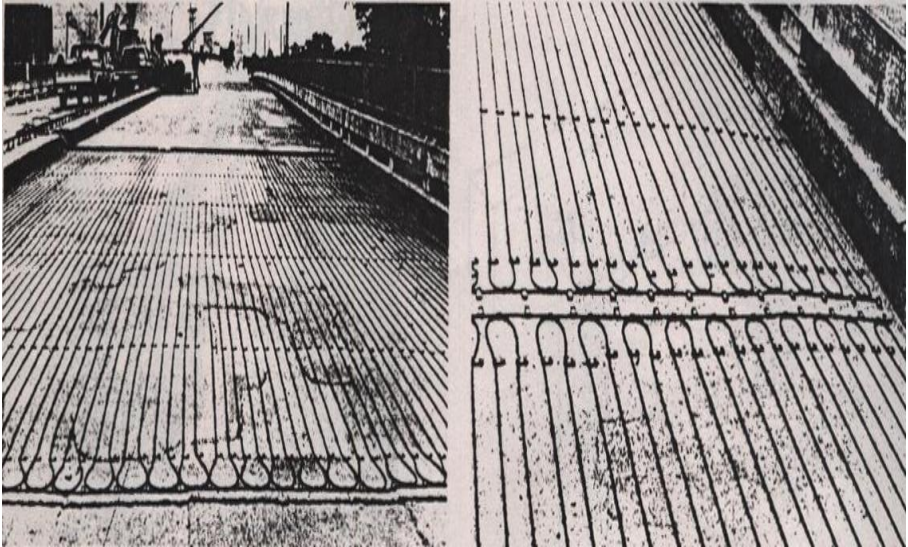


## Floating anode pada anjungan minyak lepas pantai

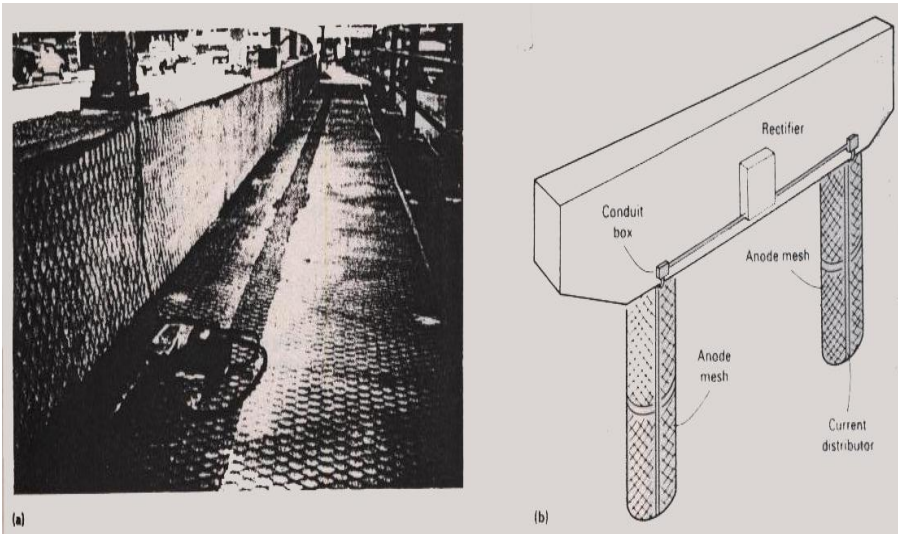




## Anoda Polymer untuk Impressed Current pada Jalan Layang di USA

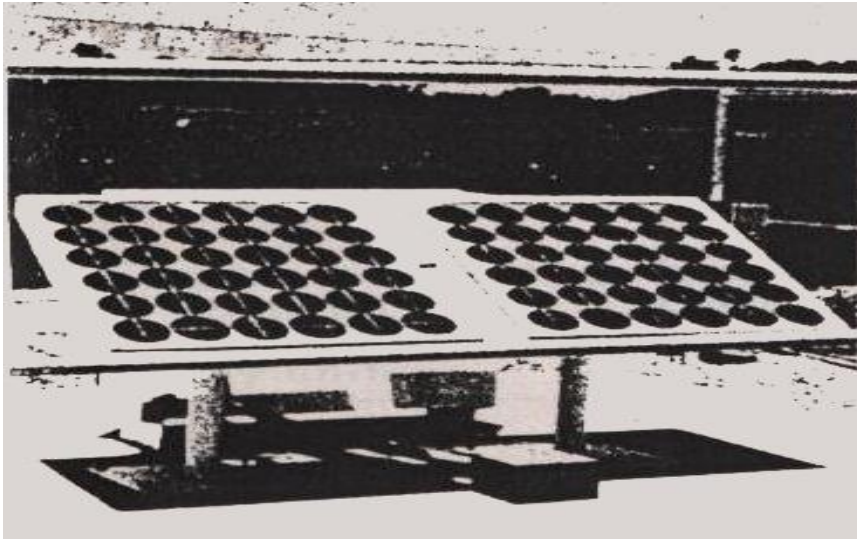


## Instalasi anyaman anoda titanium pada bahu jalan dan pada tiang flyover



## PROTEKSI KATODIK DENGAN SEL SURYA (SOLAR CELL)

---







# **PENGGETASAN HIDROGEN\***

## **(Hydrogen Embrittlement)**

Oleh:

Helmy Alian \*\*

Dosen Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Anggota Dewan Pakar INDOCOR Cabang Sumatera Selatan

### **PENDAHULUAN**

Peristiwa korosi yang banyak terjadi di Industri, khususnya industri kimia, terjadi karena interaksi kimiawi antara logam dengan lingkungannya. Akibat peristiwa korosi yang tidak terkendali ini sangat merugikan, selain karena menyebabkan kerusakan peralatan juga menghentikan kegiatan produksi. Penggetasan hidrogen merupakan salah satu peristiwa korosi yang akibatnya cukup parah, karena dapat mengakibatkan kerusakan peralatan yang cukup berat dan pada beberapa keadaan dapat terjadi secara tiba-tiba.

Dari sekian banyak pengaruh yang diakibatkan hidrogen, ternyata bahwa pengaruh buruk utama hidrogen dalam logam/paduan adalah penurunan sifat mekanik logam dan paduannya, terutama kekuatan tariknya. Penurunan sifat mekanik ini disebabkan oleh hidrogen yang larut dalam logam umumnya menimbulkan distorsi yang relatif besar pada kisi sistem kristal (lattice). Hal ini mudah sekali terjadi pada besi dan logam-logam dengan sel satuan kubus pusat badan (BCC). Sebagai konsekwensinya baja-baja martensitik dan feritik kekuatan tinggi mudah mengalami kegagalan yang

disebabkan hidrogen, yang umumnya disebut penggetasan oleh hidrogen (hydrogen embrittlement).

Dari sekian banyak kasus yang terjadi yang diakibatkan hidrogen, dapat disimpulkan bahwa hidrogen memberikan efek yang merugikan terhadap sifat mekanik logam dan paduannya. Penggetasan hidrogen yang akan dibahas disini meliputi hal-hal sebagai berikut :

## **I. INISIASI DAN PROSES PENGGETASAN**

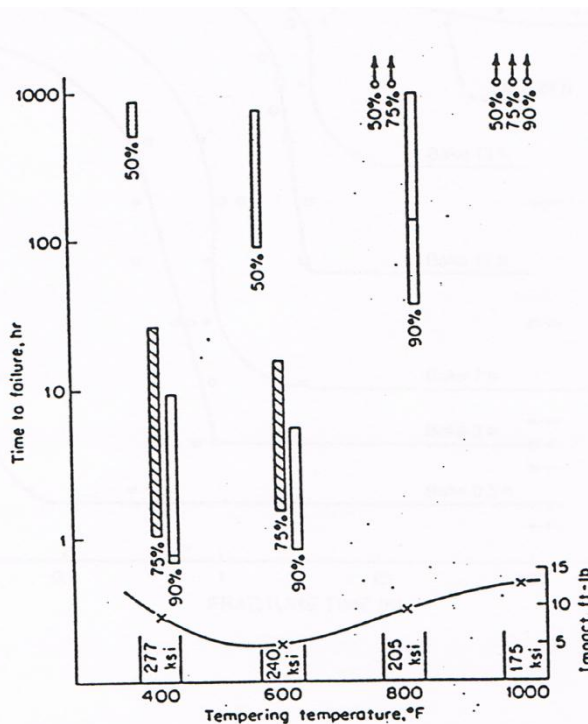
Dalam praktek, hidrogen bisa diabsorb dengan mudah kedalam logam yang berhubungan dengan hidrogen atau melibatkan lingkungan yang menghasilkan hidrogen dalam proses-proses seperti electroplating, pickling, casting, reaksi-reaksi korosi dan proteksi katodik.

Beberapa teori tentang mekanisme penggetasan pada logam fero, sebagai hasil dari penelitian, telah banyak dipublikasikan. Semua teori tersebut melibatkan difusi H ke daerah-daerah yang bertegangan atau mikrovoid dalam material yang selanjutnya akan merupakan tempat awal terjadinya kegagalan. Tetapi meskipun demikian, beberapa teori menyebutkan bahwa dibawah harga konsentrasi H tertentu, tidak akan terjadi proses penggetasan. Harga konsentrasi H tersebut sangat dipengaruhi oleh : komposisi kimia logam yang bersangkutan, struktur mikro, konfigurasi tegangan dan besarnya doformasi plastis yang dialami oleh logam yang bersangkutan.

Untuk titanium dan logam-logam yang membentuk hidrida yang kuat lainnya, reaksi-reaksi hidrogen terlarut membentuk senyawa-senyawa hidrida yang bersifat getas. Dalam logam-logam lain, seperti besi dan baja, interaksi antara atom-atom hidrogen terlarut

dengan logam tidak diketahui secara sempurna.

Ada indikasi bahwa suatu kerusakan berat dari retak yang diakibatkan lingkungan dari paduan-paduan dasar besi feritik dan martensitik dan paduan-paduan dasar titanium merupakan interaksi dari retak dengan hidrogen. Karakteristik-karakteristik secara umum dari kerentanan retakan yang demikian di ilustrasikan dalam gambar 1 untuk craking dari baja tipe 4340 ( 0,40 %C, 0,70 %Mn, 0,04 %P, 0,04 %S, 0,30 %Si, 1,8 %Ni, 0,80 %Cr, 0,25 %Mo ). Gambar I.1 ini memperlihatkan waktu untuk patah terhadap temperatur temper untuk baja 4340 pada tingkat tegangan 50, 75, dan 90 % dari tegangan patah. Spesimen dicelup dalam larutan 3,5 % NaCl pada temperatur kamar.

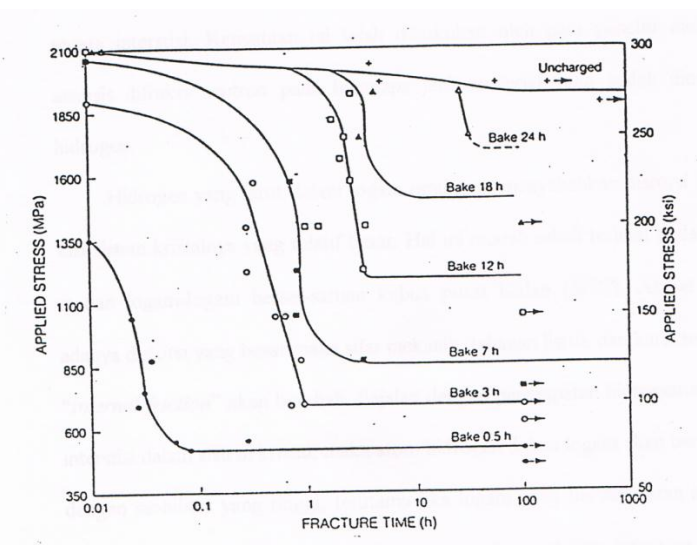


Gambar I.1. Waktu patah vs temperatur temper

Gambar ini menunjukkan bahwa tingkat kekuatan lebih tinggi akan lebih mudah terjadi retakan dan tegangan yang lebih tinggi menyebabkan retakan terjadi lebih cepat.

Kecenderungan ini umumnya untuk sebagian besar paduan-paduan yang menjadi sasaran penggetasan hidrogen, yaitu paduan-paduan yang sangat mudah mengalami retakan pada tingkat kekuatan tertinggi dari paduan tersebut.

Gambar I.2. menunjukkan kurva-kurva waktu patah terhadap tegangan pada baja AISI 4340 untuk berbagai konsentrasi hidrogen. Dalam kasus ini baja tersebut dipanggang pada temperatur 300 OF ( 150 OC ) dengan waktu pemanggangan berbeda-beda setelah dilakukan pemasukan hidrogen (cathodic hydrogen charging). Jadi dengan pemanggangan tersebut, hidrogen akan keluar dan ini akan memulihkan sifat awalnya dimana waktu pemanggangan menentukan banyaknya hidrogen yang keluar.



Gambar II.2. Kurva waktu patah vs tegangan

## II. HDROGEN DALAM LOGAM

Hidrogen pada logam mengakibatkan timbulnya penggetasan pada logam, dan pada lingkungan yang korosif, akan menjadikan logam sensitif terhadap korosi retak tegang (Stress Corrosion Cracking). Untuk memahami hal tersebut, perlu dipelajari kelakuan hidrogen dalam bahan-bahan metalik secara umum seperti berikut ini.

1. Atom hidrogen memiliki ukuran yang relatif kecil yaitu kira-kira sepertiga ukuran kisi kubus kristal logam sehingga atom hidrogen secara umum dapat larut pada hampir semua logam.
2. Hidrogen dalam logam larut secara interstisi. Kenyataan ini telah dibuktikan oleh para peneliti melalui analisis difraksi neutron pada beberapa jenis material yang sudah dimuati hidrogen.
3. Hidrogen yang larut dalam logam umumnya menyebabkan distorsi pada kisi sistem kristalnya yang relatif besar. Hal ini mudah sekali terlihat pada besi  $\alpha$  dan logam-logam bersel-satuan kubus pusat badan (BCC). Akibat dari adanya distorsi yang besar maka sifat mekanik, tahanan listrik dan karakteristik “internal friction” akan berubah. Sejalan dengan penempatan hidrogen secara interstisi dalam sistem kristal, maka atom hidrogen dalam logam akan berdifusi dengan mobilitas yang tinggi, terutama jika logam yang bersangkutan adalah kubus pusat badan.
4. Pada beberapa jenis material, hydrogen dapat mengakibatkan material-material tersebut menjadi getas. Pada temperature yang rendah, kelarutan hydrogen menurun.
5. Interaksi antara hydrogen dengan cacat secara umum dapat dipelajari dalam “system Hidrogen dalam logam.

### III. INTERAKSI HIDROGEN DENGAN CACAT KISI

Interaksi hidrogen dengan cacat kisi yang akan dibahas dalam sub-bab antara lain : interaksi hidrogen dengan cacat titik, dislokasi, permukaan dan cacat volume.

#### A. Interaksi Hidrogen Dengan Cacat Titik

Interaksi hidrogen dengan cacat titik ini akan dibagi lagi atas :

##### (1). Interaksi hidrogen dengan cacat kekosongan (vacancy)

Dalam hal ini, baik besar maupun bentuk interaksi antara hidrogen dengan cacat kekosongan dalam material ferro dan non-ferro masih belum jelas. Tetapi beberapa bukti kearah adanya interaksi tersebut dapat disimpulkan dari hal-hal sebagai berikut :

- (a). Beberapa peneliti telah membuktikan adanya interaksi antara unsur pengotor (impurities) dengan cacat dalam baja.
- (b). Studi tentang difusi mandiri (self diffusion) mengungkapkan adanya interaksi antara hidrogen dengan cacat kekosongan dengan syarat interaksi hidrogen dengan cacat kekosongan cukup besar.
- (c). Fenomena anelastic yang digunakan untuk mempelajari interaksi hidrogen dengan cacat titik melalui pengukuran “internal friction”.

##### (2). Interaksi hidrogen dengan hidrogen

Dapat ditunjukkan pula bahwa atom-atom hidrogen dalam logam saling ber-interaksi satu sama lain, dan juga dengan atom-atom lainnya yang larut, baik interstisi maupun substitusi. Kenyataan tersebut mudah terlihat pada logam-logam non-ferro, meskipun bentuk interaksinya masih belum jelas dan merupakan fungsi dari temperatur.

##### (3). Interaksi hidrogen dengan cacat interstisi

Sejumlah peneliti menunjukkan bahwa dengan meningkatnya derajat kemurnian suatu logam, difusivitas hidrogen juga meningkat.[1] Disamping itu, melalui studi “internal friction”, ditunjukkan pula bahwa tinggi dan bentuk peak dari hidrogen sangat dipengaruhi oleh jenis proses pengerjaan yang diterapkan pada material yang bersangkutan. Dari hal diatas tersiratkan adanya interaksi hidrogen dengan cacat interstisi.

#### (4). Interaksi hidrogen dengan cacat substitusi

Data solubilitas (kelarutan) hidrogen pada material-material yang berbasis Fe merupakan fungsi dari konsentrasi unsur-unsur paduan yang larut substitusi. Dari data tersebut terlihat bahwa jika unsur paduan memiliki elektron bebas yang lebih besar dari Fe maka cenderung akan menurunkan kelarutan hidrogen, tetapi bila elektron bebas yang dimiliki oleh unsur paduan lebih kecil dari besi, maka kelarutan hidrogen akan meningkat.

### **B. Interaksi Hidrogen Dengan Dislokasi**

Interaksi hidrogen dengan dislokasi merupakan interaksi yang lebih besar dibanding dengan jenis interaksi sebelumnya. Dengan demikian, pengaruhnya terhadap sifat mekanik juga lebih besar. Pernyataan di atas dibuktikan melalui pengukuran besarnya energi ikatan (binding energy) antara hidrogen dan dislokasi, serta melalui pengukuran internal friction. Disamping itu, hal yang membuktikan besarnya interaksi adalah adanya migrasi atom hidrogen ke dislokasi; misalnya dapat ditunjukkan dari pengamatan Auto-radiografi resolusi tinggi.

### C. Interaksi Hidrogen Dengan Permukaan

Interaksi hidrogen dengan permukaan ini terdiri dari beberapa macam interaksi.

#### (1). Interaksi dengan antar muka (interface)

Beberapa peneliti telah menunjukkan bahwa posisi pada dislokasi (defect site) tidak cukup besar untuk menampung jumlah total hidrogen yang terperangkap. Dengan demikian, kelebihan hidrogen akan ditampung pada antar muka partikel intermetalik dengan matriknya, retakan atau void pada matrik. Bahkan dari analisis hasil percobaan mengenai pengaruh struktur mikro terhadap kelarutan, difusivitas dan penetrasi hidrogen, ditunjukkan bahwa jumlah hidrogen yang terperangkap lebih banyak dari jumlah hidrogen yang seharusnya diambil oleh dislokasi pada rapat dislokasi tertentu.

#### (2). Interaksi dengan batas butir

Pada hakekatnya, batas butir adalah susunan dislokasi yang tersusun sedemikian sehingga merupakan antar muka. Ini berarti, akan ada interaksi antara hidrogen dengan batas butir (bagian B : dislokasi) seperti diuraikan didepan. Hasil pengukuran dengan Auto radiografi menunjukkan adanya segregasi hidrogen ke batas butir. Besarnya interaksi hidrogen dengan batas butir sangat dipengaruhi oleh konfigurasi besar butir dalam struktur mikro, orientasi dan komposisi (dari yang larut). Dua faktor pertama menentukan medan tegangan (stress field) yang menentukan besarnya segregasi hidrogen. Jika ada atom lain yang larut ke batas butir, atom tersebut dapat berperan dalam mempercepat dan memperlambat segregasi hidrogen.

#### (3). Interaksi dengan salah susun (stacking fault)

Interaksi hidrogen dengan salah susun banyak teramati pada



logam-logam fcc dan hcp (hexagonal close packed). Salah susun itu sendiri terjadi diantara dua dislokasi parsial. Untuk konsentrasi hidrogen yang kecil, perubahan energi salah susun relatif besar. Ini berarti bahwa salah susun dapat berperan sebagai tempat untuk presipitasi hidrida pada bahan-bahan dengan energi salah susun yang kecil.

#### **D. Interaksi Hidrogen Dengan Cacat Volume**

Pada suatu cacat volume terdapat antar muka (interface) dan permukaan (surface) yang dapat mempengaruhi interaksi hidrogen dengan cacat permukaan atau antar muka. Cacat volume pada umumnya membangkitkan tegangan dalam yang cukup besar dalam matrik disekitar cacat, dan hal ini dapat mempengaruhi besar kecilnya konsentrasi hidrogen secara lokal tergantung dengan besar kecilnya cacat volume tersebut.[1] Disamping itu, cacat volume dapat menyimpan (atau berfungsi sebagai penampung) hidrogen. Contoh : misalnya pada kekosongan mikro dalam baja dapat diisi oleh hidrogen (molekular) dengan tekanan tinggi. Dari beberapa data ditunjukkan bahwa adanya void yang terisi oleh hidrogen molekular dengan tekanan yang tinggi merupakan penyebab timbulnya penggetasan hidrogen pada baja. Dua hal yang perlu diketahui pada interaksi hidrogen dengan void yaitu :

- (a). Antar muka antara matriks dengan void merupakan tempat potensial bagi hidrogen.
- (b). Pada kondisi tekanan (fugasitas) kesetimbangan hidrogen yang tinggi, void akan dipenuhi oleh hidrogen.

#### IV. EFEK HIDROGEN TERHADAP SIFAT MEKANIK

Masuknya hidrogen kedalam baja akan menyebabkan sifat mekaniknya menurun. Konsekwensi terbesar dari penggetasan hidrogen adalah pada baja, terutama pada baja-baja kekuatan tinggi, karena penggunaannya secara luas dalam konstruksi dan peralatan pada lingkungan yang dapat menyebabkan pembentukan hidrogen. Sulit untuk membuat suatu klasifikasi sederhana dari tipe-tipe penurunan sifat material yang disebabkan hidrogen, karena perbedaan dari sifat-sifat mekanik yang bervariasi, gejala-gejala kerusakan dan sumber-sumber hidrogen berbeda yang ditemukan dalam praktek.

*Hirth* dan *Jonhson* membedakan macam-macam penggetasan hidrogen sebagai berikut :

- (1). Kerusakan yang tertunda (*delayed failure*), yang terdiri dari pembentukan retak-retak dalam material yang dimuati hidrogen. Retak berkembang secara berangsur-angsur dimana kerusakan dipercepat dengan banyaknya hidrogen dan pembentukan konsentrasi tegangan lokal.
- (2). Penurunan keuletan (*reduced plasticity*), menunjukkan penurunan perpanjangan dan reduksi luas penampang benda uji yang dimuati hidrogen dibandingkan dengan benda uji bebas hidrogen pada pengujian tarik.
- (3). Penggetasan akibat kontak dengan gas hidrogen, terjadi pada baja-baja yang diregang secara plastik yang kontak dengan gas hidrogen.

Penggetasan hidrogen mungkin dapat balik (*reversible*) dalam kasus dimana material dapat memulihkan sifat aslinya, sewaktu sumber hydrogen dipindahkan dan gas hidrogen dikeluarkan dari

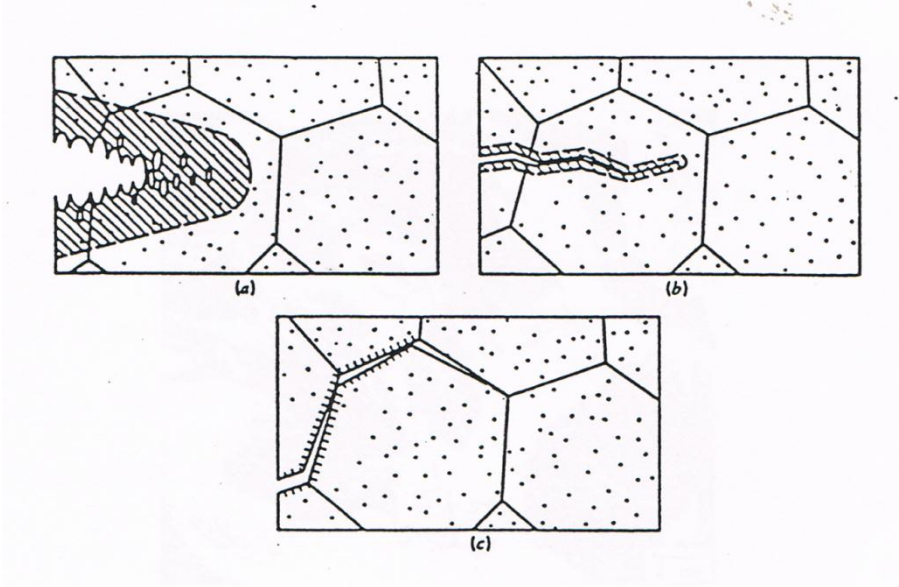
dalam material. Tetapi, bagaimanapun hidrogen yang diserap baja menyebabkan pengretakan mikro dalam baja, sehingga pemulihan sifat-sifat aslinya tidak komplit dan efek penggetasan menjadi tidak dapat balik (irreversible). Dari efek penggetasan yang tidak dapat balik ini akan menyebabkan sifat-sifat mekanik mengalami perubahan.

## **V. MORFOLOGI PERPATAHAN**

Perpatahan adalah pemisahan atau pemecahan suatu benda padat, menjadi dua bagian atau lebih akibat adanya tegangan. Proses perpatahan terdiri atas dua tahap, yaitu timbulnya retak dan tahap penjarangan retak. Patah dapat digolongkan dalam dua katagori umum, yaitu patah ulet dan patah getas. Patah ulet ditandai oleh deformasi plastik yang cukup besar, sebelum dan selama proses penjarangan retak. Pada permukaan patahan, biasanya nampak adanya deformasi yang cukup besar. Patah getas pada logam, ditandai oleh adanya kecepatan penjarangan retak yang tinggi, tanpa terjadi deformasi kasar (makro) dan sedikit sekali terjadi deformasi mikro.

Penting juga diketahui bahwa cara perpatahan pada keberadaan suatu lingkungan tergantung pada harga intensitas tegangan ( $K$ ), yang mana bila  $K$  turun, sifat plastis pada ujung retak akan turun. Gambaran secara skematik cara perpatahan tersebut ditunjukkan dalam Gambar V.1a menunjukkan pertumbuhan retakan menuju ke setengah kekosongan (half-voids) pada permukaan perpatahan yang disebut microvoid coalescence dan ini terjadi pada  $K$  tinggi. Pada  $K$  sedang menghasilkan perpatahan lintas butir (transgranular fracture) dengan mekanisme quasicleave (Gambar V.1b). Dalam gambar V.1c

menunjukkan pada tingkat K rendah akan terjadi perpatahan batas butir (intergranular).



Gambar V.1. Gambaran secara skematik perpatahan yang disebabkan hidrogen



UNIVERSITAS SRIWIJAYA



## PELATIHAN KOROSI

27 April 2019 di Hotel Swarna Dwipa



### DIFINISI KOROSI

P  
E  
L  
A  
T  
I  
H  
A  
N  
  
K  
O  
R  
O  
S  
I

**Korosi** : proses degradasi/  
penurunan mutu material  
(logam) akibat berinteraksi  
dengan lingkungannya.



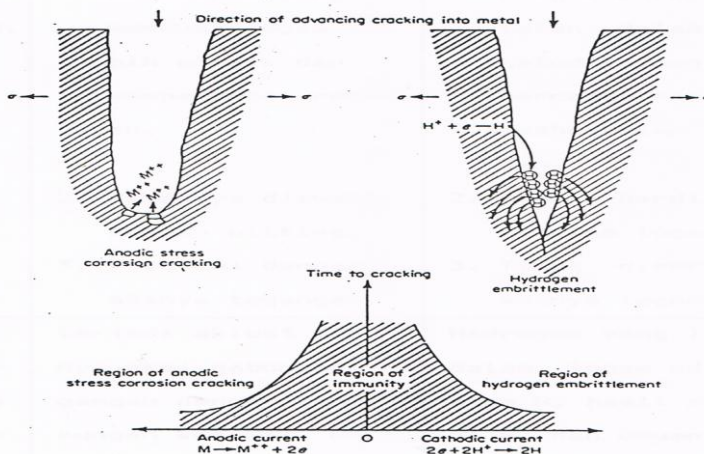
# FORMS OF CORROSION (Fontana)

P  
E  
L  
A  
T  
I  
H  
A  
N  
  
K  
O  
R  
O  
S  
I

1. Uniform Corrosion
2. Galvanic Corrosion
3. Crevice Corrosion
4. Pitting Corrosion
5. Selective Corrosion
6. Erosion Corrosion
7. Intergranular Corrosion
8. Stress Corrosion :
  - a. Stress Corrosion Cracking (SCC)
  - b. Hydrogen Embrittlement (HE)



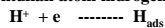
## Stress Corrosion Cracking vs Hydrogen Embrittlement



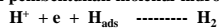
P  
E  
L  
A  
T  
I  
H  
A  
N  
  
K  
O  
R  
O  
S  
I

Reaksi reduksi ion hidrogen berlangsung dalam beberapa tahap:

(1). Pembentukan atom hidrogen :



(2). Reaksi pembentukan molekul hidrogen :



## PENGETASAN OLEH HIDROGEN (Hydrogen Embrittlement)

### Akibat penggetasan hidrogen :

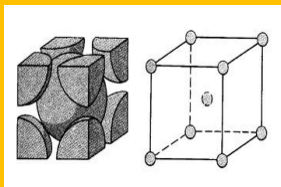
- Mengakibatkan kerusakan peralatan yang cukup berat dan pada beberapa keadaan dapat terjadi secara tiba-tiba.
- Pengaruh buruk utama hidrogen dalam logam/paduan adalah penurunan sifat mekanik logam dan paduannya, terutama kekuatannya.

### Penurunan sifat mekanik :

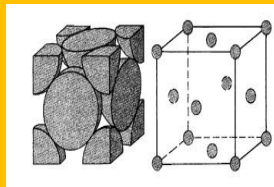
- Difusi H ke daerah-daerah yang bertegangan atau mikrovoid dalam material yang merupakan tempat awal terjadinya retakan/kegagalan.
- Hidrogen yang larut dalam logam umumnya menimbulkan distorsi yang relatif besar pada kisi sistem kristal (lattice).

HE mudah sekali terjadi pada besi dan logam-logam dengan sel satuan kubus pusat badan (BCC). Sebagai konsekwensinya baja-baja martensitik dan feritik kekuatan tinggi mudah mengalami kegagalan yang disebabkan hidrogen.

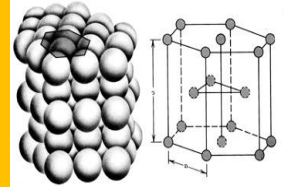
## STRUKTUR KRISTAL (di antara nya)



*body-centered cubic (BCC)*



*face-centered cubic (FCC)*



*hexagonal close-packed (HCP)*

## STRUKTUR KRISTAL UNTUK BEBERAPA LOGAM

Tabel 2.2. Jari-jari atom dan struktur kristal untuk 16 jenis unsur logam

Logam	Struktur kristal	Jari-jari atom (nm)	Logam	Struktur kristal	Jari-jari atom (nm)
Aluminium	FCC	0.1431	Molibdenum	BCC	0.1363
Cadmium	HCP	0.1490	Nikel	FCC	0.1246
Chromium	BCC	0.1249	Platinum	FCC	0.1397
Cobalt	HCP	0.1253	Silver	FCC	0.1445
Tembaga	FCC	0.1278	Tantalum	BCC	0.1430
Emas	FCC	0.1442	Titanium ( $\alpha$ )	HCP	0.1445
Besi ( $\alpha$ )	BCC	0.1241	Wolfram	BCC	0.1371
Timah	FCC	0.1750	Seng	HCP	0.1332

## KONSENTRASI & SUMBER HIDROGEN

\* Beberapa teori menyebutkan bahwa dibawah harga konsentrasi H tertentu, tidak akan terjadi proses penggetasan.

Harga konsentrasi H tersebut sangat dipengaruhi oleh :

- Komposisi kimia
- Struktur mikro
- Konfigurasi tegangan
- Besarnya deformasi plastis.

Sumber hidrogen :

- Korosi (reaksi-reaksi korosi)
- Proteksi katodik
- Perlakuan elektro kimia (misalnya: electroplating, pickling)
- Gas yang mengandung hidrogen dan bertekanan tinggi pada suhu yang relatif tinggi juga.



## HIDROGEN DALAM LOGAM

Atom hidrogen memiliki ukuran relatif kecil yaitu kira-kira sepertiga ukuran kisi kubus kristal logam sehingga atom hidrogen secara umum dapat larut pada hampir semua logam.

Konsentrasi H ( $C_H$ ) yang larut dalam logam setimbang dengan gas H dalam fasa pada temperature dan tekanan H ( $P_{H_2}$ ) seperti digambarkan oleh **hukum Sievert** yaitu:

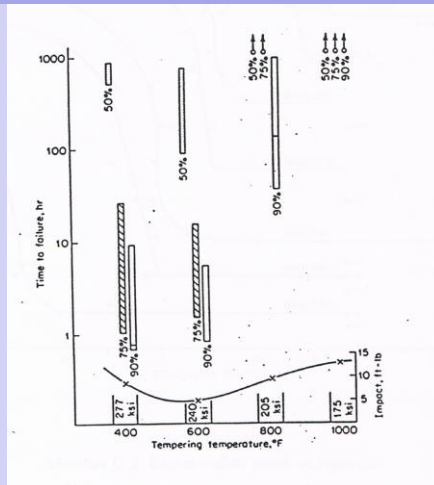
$$C_H = \eta (T) P_{H_2}^{1/2}$$

dimana:

$\eta (T)$  adalah konstanta yang tergantung secara proporsional dengan T.

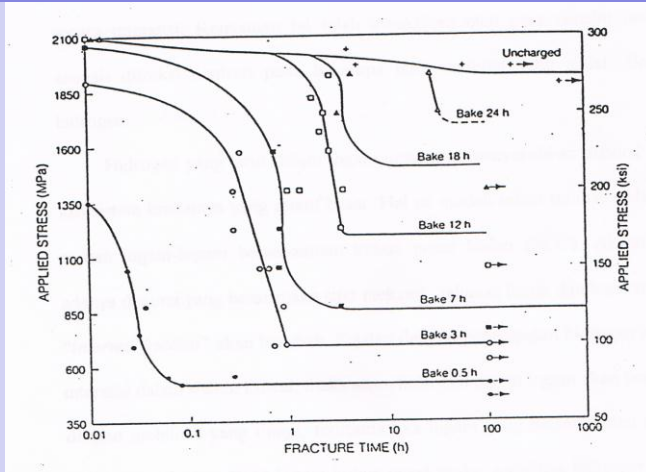
Persamaan diatas menyatakan bahwa hydrogen yang larut dalam logam adalah atom H hasil disosiasi gas  $H_2$ .

## Pengaruh tingkat kekuatan tinggi terhadap retakan dan tegangan



Gambar: Waktu patah vs temperatur temper (baja 4340 pada tegangan 50, 75, dan 90 % dari tegangan patah, Spesimen dicelup dalam larutan 3,5 % NaCl pada temperatur kamar)

## PENGARUH KONSENTRASI HIDROGEN TERHADAP KEKUATAN BAJA



Kurva waktu patah vs tegangan pada baja AISI 4340 untuk berbagai konsentrasi hidrogen, di charging pada temp. 150<sup>0</sup>C

## INTERAKSI HIDROGEN DENGAN CACAT

### A. Interaksi Hidrogen Dengan Cacat Titik

- (1). Interaksi hidrogen dengan cacat kekosongan (vacancy)
- (2). Interaksi hidrogen dengan hidrogen .

Atom-atom hidrogen dalam logam saling ber-interaksi satu sama lain, dan juga dengan atom-atom lainnya yang larut.

- (3). Interaksi hidrogen dengan cacat interstisi
- (4). Interaksi hidrogen dengan cacat substitusi

### B. Interaksi Hidrogen Dengan Dislokasi

merupakan interaksi yang lebih besar dibanding dgn jenis interaksi sebelumnya, pengaruhnya terhadap sifat mekanik juga lebih besar, adanya migrasi atom hidrogen ke dislokasi; misalnya dapat ditunjukkan dari pengamatan auto-radiografi resolusi tinggi.

### C. Interaksi Hidrogen Dengan Permukaan

terdiri dari beberapa macam interaksi :

- (1). Interaksi dengan antar muka (interface)

Posisi pada dislokasi (defect site) tdk cukup besar utk mrnampung jumlah hidrogen yg terperangkap. Dengan demikian, kelebihan hidrogen akan di tampung pada antar muka partikel intermetalik dengan matriknya, retakan atau void pada matrik.

## INTERAKSI HIDROGEN DENGAN CACAT

### (2). Interaksi dengan batas butir

Batas butir adalah susunan dislokasi yang tersusun sedemikian sehingga merupakan antar muka. Ini berarti, akan ada interaksi antara hidrogen dengan batas butir. Hasil pengukuran dengan Auto radiografi menunjukkan adanya segregasi hidrogen ke batas butir. Besarnya interaksi hidrogen dengan batas butir sangat dipengaruhi oleh konfigurasi besar butir dalam struktur mikro, orientasi dan komposisi (dari yang larut).

### (3). Interaksi dengan salah susun (stacking fault)

Banyak teramati pada logam-logam fcc dan hcp (hexagonal close packed). Salah susun itu sendiri terjadi diantara dua dislokasi parsial. Salah susun dapat berperan sebagai tempat untuk presipitasi hidrida pada bahan-bahan dengan energi salah susun yang kecil.

### D. Interaksi Hidrogen Dengan Cacat Volume

Cacat volume pada umumnya membangkitkan tegangan dalam yang cukup besar dalam matrik disekitar cacat. Dua hal yang perlu diketahui pada interaksi hidrogen dengan void yaitu :

- (a). Antar muka antara matriks dgn void merupakan tempat potensial bagi H.
- (b). Pada kondisi tekanan (fugasitas) kesetimbangan hidrogen yang tinggi, void akan dipenuhi oleh hidrogen.

## Contoh PERCOBAAN HYDROGEN EMBRITTLEMENT

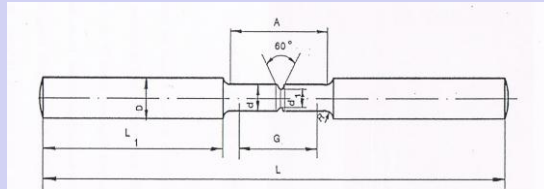
**Helmy Alian**



Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya

## PERCOBAAN TENTANG HE

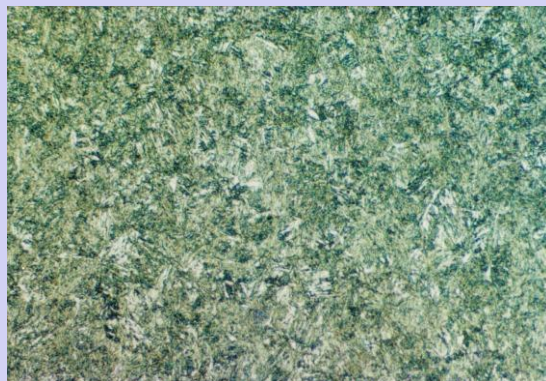
Bahan baja AISI 4337 , spesimen uji tarik dengan ukuran mengikuti standar ASTM A-370 seperti ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar : Spesimen uji tarik

## Perlakuan Panas

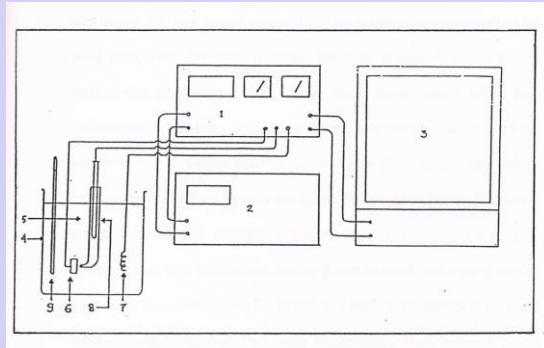
- Quenching: 840 °C selama 1 jam, didingin kan kejut dalam olie sampai 60 °C untuk mencegah retakan yang disebabkan oleh tegangan panas (thermal stress).
- Temper ganda 200 °C selama 2 jam + 2 jam.



Gambar: Struktur mikro baja AISI 4337 setelah dilakukan perlakuan panas

## Pengukuran polarisasi

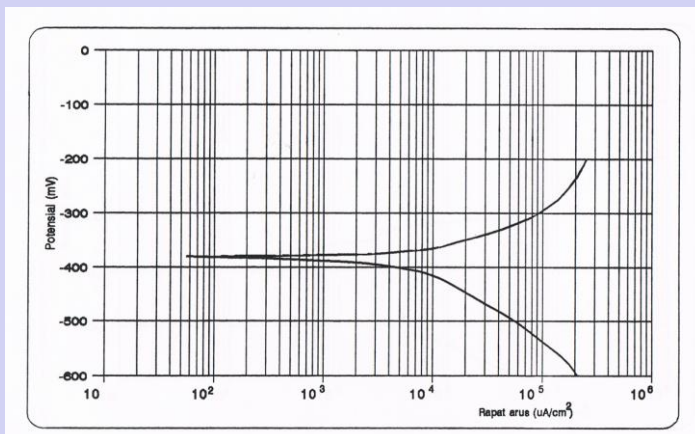
Pengukuran polarisasi dilakukan dengan mengacu standar ASTM G5-78



Keterangan :

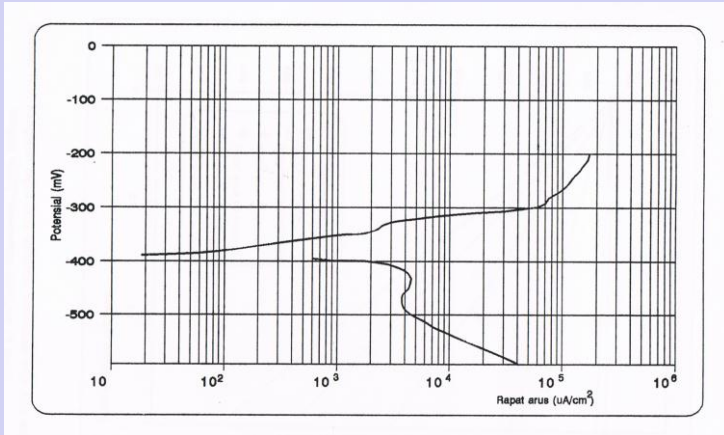
1. Potensiostat/galvanostat NICHIA NP-G1005ED
2. Pengatur tegangan yang dapat diprogram NICHIA ES-51A
3. Y-T recorder YOKOGAWA 3023, 4. Sel polarisasi,
5. Lar. 1N  $H_2SO_4$ +5 mg/l  $As_2O_3$
6. Elektroda kerja (baja AISI 4337),
7. Elektroda pembantu (platina)
8. Elektroda acuan (Ag/AgCl jenuh),
9. Termometer.

## Hasil Kurva Polarisisasi



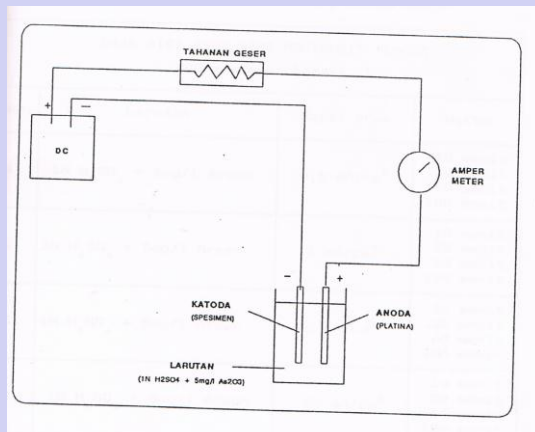
Gambar : Kurva hasil pengukuran polarisasi untuk baja AISI 4337 dalam larutan 1N  $H_2SO_4$

## Hasil Kurva Polarisasi



Gambar : Kurva hasil pengukuran polarisasi untuk baja AISI 4337 dalam larutan 1N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 5 mg/l As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

## Pemasukan Hidrogen Kedalam Benda Uji

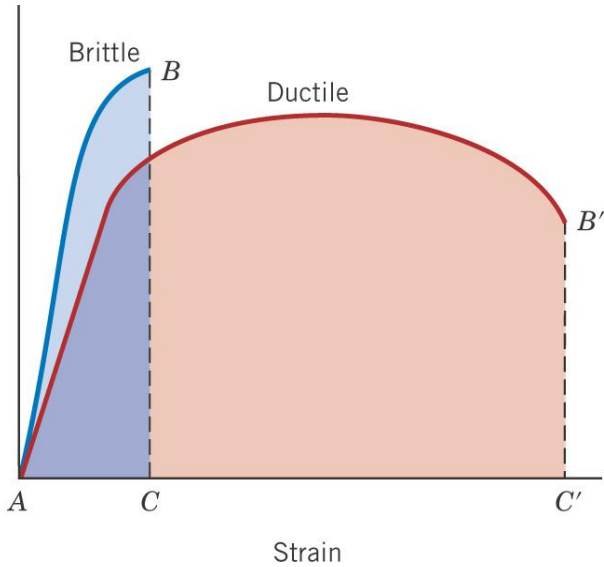


Gambar: Skema rangkaian Percobaan *Hydrogen Charging*

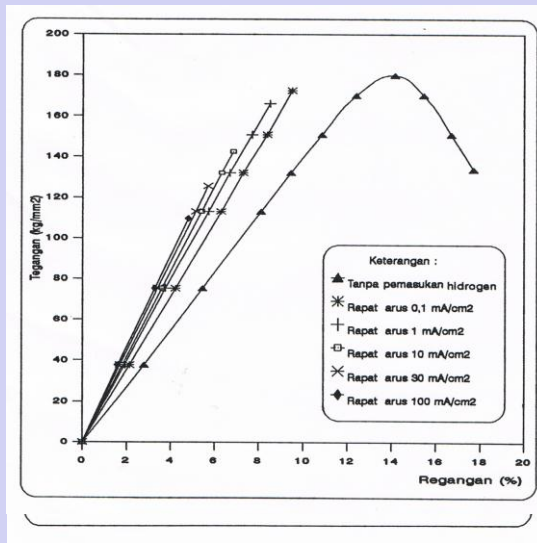
# Ketangguhan

Ketangguhan adalah kemampuan material menyerap energi sampai material patah

Ketangguhan dihitung besarnya luas daerah dibawah kurva



## Hasil Kurva Uji Tarik



Gambar : Tegangan vs Regangan





# KOROSI BAJA TULANGAN BETON

**Disusun oleh:**  
**Dr.Ir. Darmawi, MT**  
Dosen Fakultas Teknik Unsri  
Ketua Indocor Cabang Sumatera Selatan





Baja Tulangan Terkorosi Sebelum Konstruksi

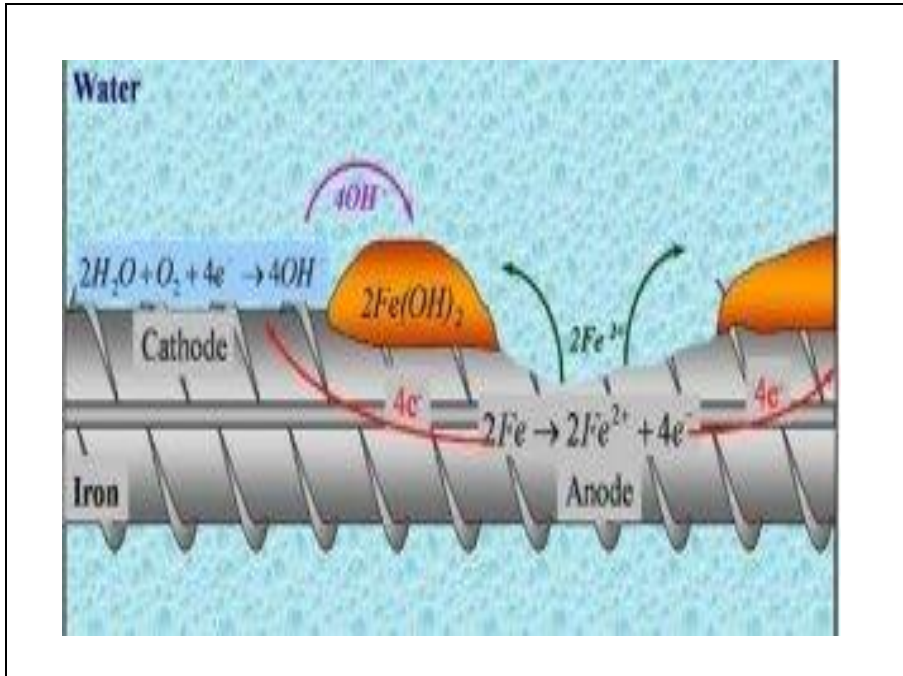




Micro Crack dan Permeability beton Sebagai akses utama gas CO<sub>2</sub> dan unsur Cl masuk kedalam beton.

Gas CO<sub>2</sub> yang masuk ke dalam beton akan bereaksi dengan Ca(OH)<sub>2</sub> dan menghasilkan H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> yang menyebabkan pH dari beton turun.

Selain itu, ion Cl<sup>-</sup> yang berinfiltrasi ke beton menyebabkan tingkat keasaman naik (pH beton turun)



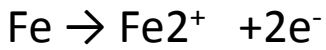
Menyebabkan pH beton turun

Cl<sup>-</sup> infiltrasi kedalam beton juga

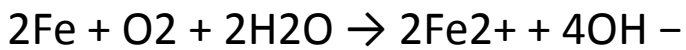
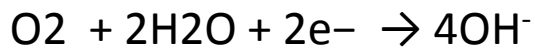
Menyebabkan pH beton turun

Sehingga lapisan pasif terkelupas

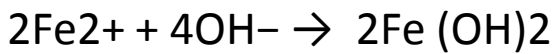
Reaksi anodik:



Reaksi katodik:

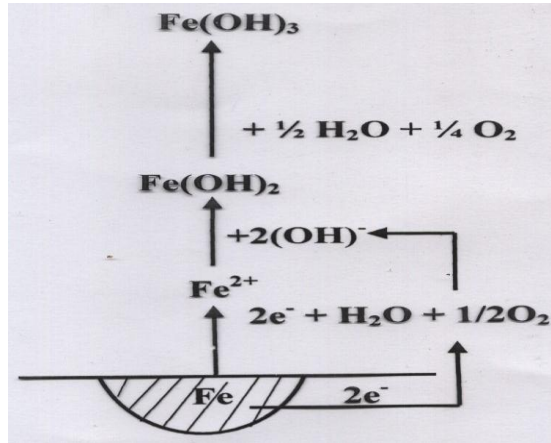


*(Ferrous hydrokside)*

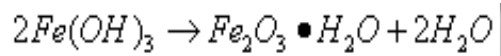
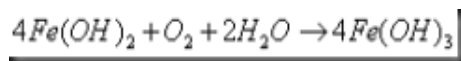
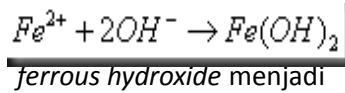


*(Ferric hydrokside)*

**KOROSI BAJA TULANGAN  
TERJADI BILA TERDAPAT CUKUP O<sub>2</sub> DAN H<sub>2</sub>O DALAM BETON**

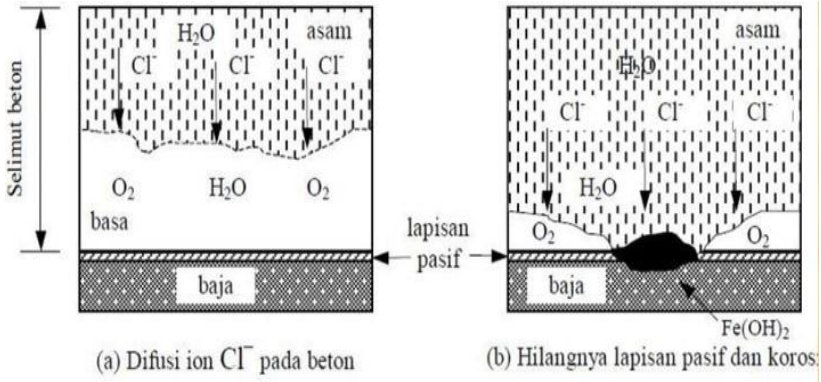
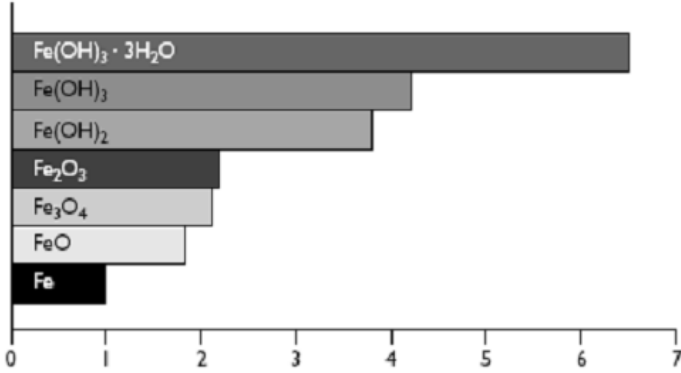


Reaksi ini berlanjut dengan tersedianya Air dan O<sub>2</sub> pada beton sbb:

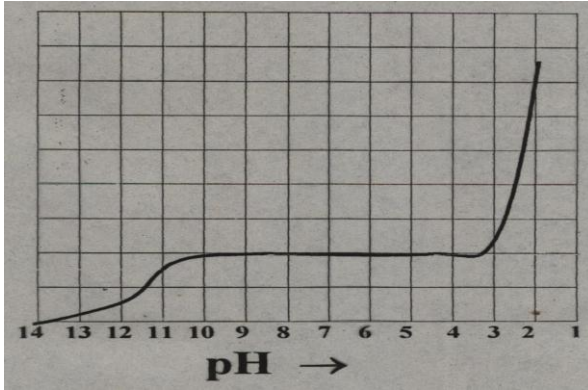


*hydrated ferric oxide* atau korosi

# Ratio Volumetric Oxida Fe



## LAJU KOROSI BAJA TULANGAN PADA BERBAGAI pH (in/year)



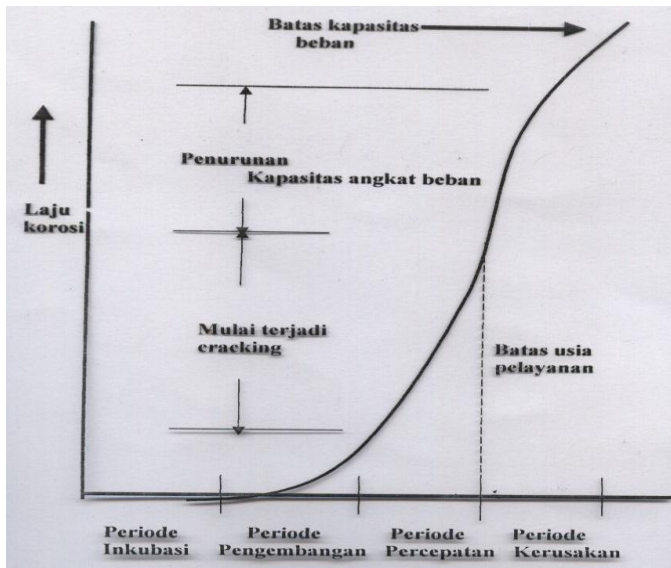
## Faktor-faktor Kerusakan Fisik Beton







### PERIODISASI KOROSI BAJA TULANGAN



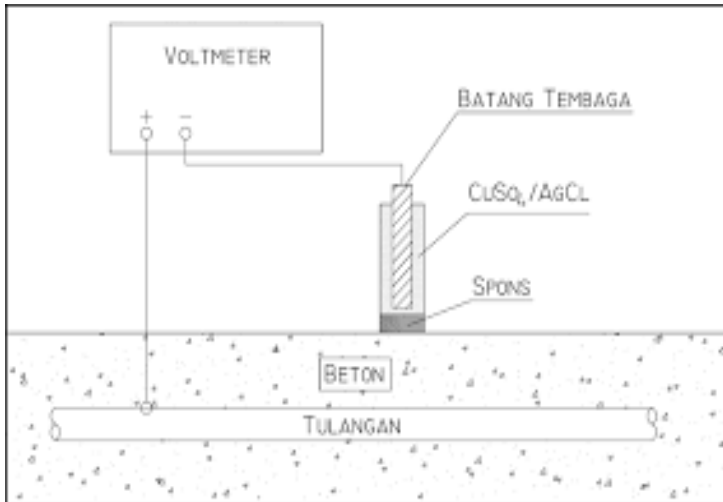
## PENCEGAHAN PADA TAHAP PEREKAYASAAN

- A. Pasir dan air yang digunakan harus minim khlorida.
- B. Ratio W/C sesuai standard yg ditentukan
- C. Selalu upayakan pH beton diatas 11.
- D. Ketebalan minimum selimut beton  $\pm 5$  cm
- E. Penerapan teknologi terbaru saat ini: Nano teknologi
- F. Dalam SNI 2052 point 3.14 hanya karat ringan yg diperbolehkan dipakai untuk bahan konstruksi. Hindari exposure yg lama baja tulangan thd alam terbuka.
- G. Minimalisasi pelengkungan pada baja tulangan.
- H. Simpan baja pada gudang yang memadai.

## PENCEGAHAN PADA TAHAP PASCA KONSTRUKSI

- A. Gunakan cat anti air pada permukaan luar beton.
- B. Monitoring secara terjadwal

# Pemeriksaan Berkala Potensial Baja Tulangan



## Rujukan:

1. Dwi Kusuma, "Korosi Baja Tulangan pada Beton Bertulang", <https://dwikusumadpu.wordpress.com/>
2. The Marinir, "Batasan korosi baja tulangan beton menurut SNI " <http://dickicoy.blogspot.com/2016/04/batasan-korosi-baja-tulangan-beton-yang.html>
3. Agus Hernandar, "Korosi Pada Beton Bertulang", <https://aguzher.wordpress.com/2008/12/16/korosi-pada-beton-bertulang/>
4. Cohen Sagala, "Construction Materials for marine environments", <http://cohencool.blogspot.co.id/2016/10/serangan-klorida-pada-beton.html>



# Pengendalian Korosi Melalui Perlakuan lingkungan

oleh :

**Dr.Ir. Tri Kurnia Dewi, MSc**

Dosen Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Unsri  
Ketua Dewan Pakar Indocor Cabang Sumatera Selatan

1

## Metode pencegahan dan pengendalian korosi

Ada 6 (enam) cara pengendalian korosi:

- 1) Desain
- 2) Pemilihan Bahan
- 3) **Perlakuan Lingkungan**
- 4) Pelapisan
- 5) Proteksi Katodik
- 6) Proteksi Anodik.

2

## **Perlakuan Lingkungan**

Pada metode penanggulangan korosi ini, lingkungan yang korosif diupayakan agar menjadi lingkungan yang tidak atau kurang korosif.

Ada 2 (dua) macam cara perlakuan lingkungan yaitu :

1. perubahan media/elektrolit
2. penggunaan inhibitor.

3

### **(1). Perubahan Media/Elektrolit**

Usaha perubahan media yang sering dilakukan untuk menanggulangi korosi ialah:

- a. penurunan suhu
- b. penurunan kecepatan alir
- c. penghilangan oksigen atau oksidator
- d. perubahan konsentrasi elektrolit.

4

a. Penurunan suhu

- Penurunan suhu biasanya menurunkan kecepatan korosi.
- Secara umum, suhu tinggi mempercepat laju reaksi kimia, termasuk reaksi korosi.
- Ada juga media yang jika panas malah korosifitasnya menurun, seperti air yang mengandung oksigen terlarut. Oksigen terlarut akan menguap pada suhu tinggi.

5

Dari Shreir:

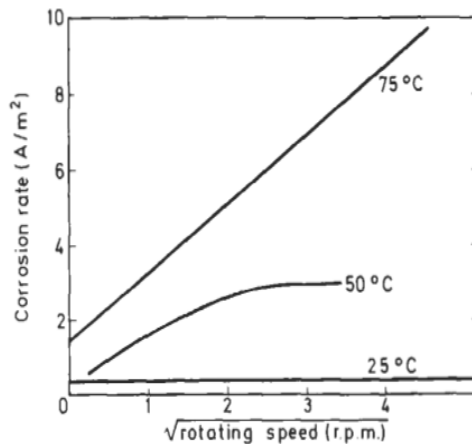


Fig. 2.5 Corrosion rate of a copper rotating disc in air-saturated 0.1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> at various temperatures (after Zembura<sup>23</sup>)

6

b. Penurunan kecepatan alir

- Kecepatan alir biasanya mempercepat laju korosi.
- Laju alir yang sangat tinggi beresiko terjadinya korosi erosi/abrasi.
- Korosi erosi/abrasi banyak terjadi pada Jet, Nozzle, Orifice dan alat ekspansi aliran yang lain.
- Tetapi, laju alir yang sangat rendah ataupun kondisi stasioner tidak baik untuk logam pembentuk lapis pasif protektif, seperti SS.

7

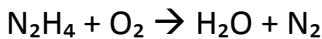
- Lapisan protektif SS tidak tahan lingkungan stasioner. Korosi setempat pada SS dalam lingkungan stasioner mengakibatkan terbentuknya keasaman lokal yang tinggi, sehingga terjadi korosi lokal yang intensif, yang menyebabkan pitting. Ini penyebab SS tidak digunakan sebagai container (stasioner), meskipun untuk aquadest.

8



c. Penghilangan oksigen atau oksidator

- Penghilangan oksigen atau oksidator sangat penting pada boiler yang bekerja pada suhu dan tekanan tinggi, bahaya meledak.
- Air umpan boiler dihilangkan dulu oksigennya secara fisik sebelum dimasukkan ke dalam boiler. Operasi dilakukan di luar boiler menggunakan steam sebagai *oxygen scrapper*.
- Di dalam boiler dilakukan penambahan bahan kimia *oxygen scavenger* seperti hidrazin untuk menghilangkan oksigen terlarut.



9

- Tidak semua logam “menyukai” ketiadaan oksigen atau oksidator.
- Logam-logam seperti SS “lebih suka” lingkungan oksidatif daripada yang non oksidatif. Hal ini karena lapisan protektif SS hanya dapat terbentuk jika ada oksigen di sekitarnya.

10

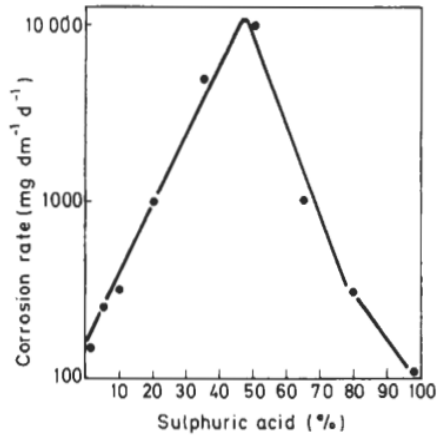


Fig. 2.1 Corrosion rate of Fe-18Cr-8Ni as a function of sulphuric acid concentration (20°C)

12

#### d. Perubahan konsentrasi elektrolit

- Umumnya penurunan konsentrasi elektrolit akan menurunkan korosifitas lingkungan.
- Pengecualian untuk  $H_2SO_4$  dan  $H_3PO_4$ . Mereka ini makin kurang korosif pada konsentrasi yang tinggi, jika suhunya tidak terlalu tinggi.

11

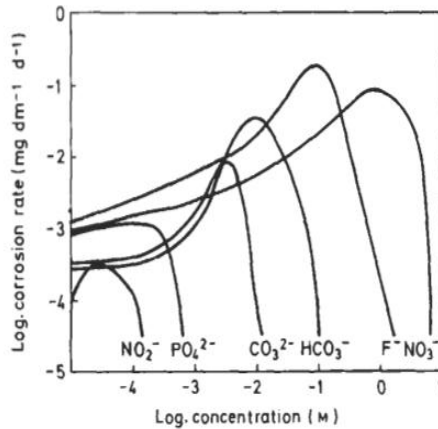
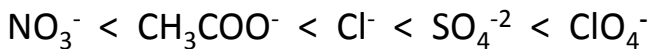


Fig. 2.2 Effect of increasing anion concentration on corrosion rate of mild steel in sodium salt solutions (after Brasher)

13

- pH ekuivalen konsentrasi ion hidrogen
- Jika konsentrasi asam di lingkungan makin tinggi, makin asam, maka lingkungan makin korosif.
- Suasana alkali mempercepat laju korosi besi.
- Besi dalam asam sulfat terkorosi lebih cepat pada pH tinggi, melalui mekanisme adsorpsi ion hidroksil di permukaan besi.
- Anion mempercepat korosi



14

## **(2). Penggunaan Inhibitor**

- ⦿ Inhibitor adalah bahan kimia yang jika ditambahkan dalam jumlah kecil/sedikit ke dalam lingkungan/media korosif, akan menurunkan kecepatan korosi.
- ⦿ Inhibitor bekerja menghambat laju korosi.

15

- ⦿ Banyak macam/rumus/resep inhibitor, yang kebanyakan merupakan hasil pengamatan/penelitian empiris, tanpa diketahui cara kerjanya.
- ⦿ Inhibitor dapat diklasifikasikan berdasar mekanisme penghambatannya maupun berdasar sifat senyawanya.

16

◎ **Klasifikasi inhibitor berdasar mekanisme penghambatan :**

- 1. inhibitor anodik**
- 2. inhibitor katodik**
- 3. inhibitor campuran.**

17

- Inhibitor anodik menghambat reaksi anodik
- inhibitor katodik menghambat reaksi katodik
- inhibitor campuran menghambat reaksi korosi secara keseluruhan, baik reaksi anodik maupun reaksi katodik.

18

- ⦿ Inhibitor anodik membentuk lapis lindung pasif di permukaan logam.
  - Inhibitor ini menaikkan potensial korosi sampai ke potensial pasifasi.
  - Konsentrasi inhibitor harus dijaga jangan sampai turun, karena logam akan terkorosi hebat (pitting). Dikenal istilah threshold treatment = konsentrasi minimum.
  - Adanya oksigen/oksidator sangat penting, karena oksigen diperlukan untuk membentuk lapis pasif.
  - Di antara inhibitor anodik : kromat dan nitrit.

19

- ⦿ Inhibitor katodik pada suasana netral membentuk lapisan atau endapan di permukaan logam.
- ⦿ Lapisan atau endapan tersebut akan menghambat difusi/akses oksigen atau oksidator ke permukaan logam, sehingga menghambat reaksi katodik.
- ⦿ Inhibitor ini menurunkan potensial korosi.
- ⦿ Inhibitor dapat memperlambat reaksi katodik ataupun membentuk endapan di katodik area sehingga membentuk tahanan di permukaan dan membatasi difusi senyawa yang dapat direduksi.

20

Mekanisme kerja inhibitor katodik bisa sebagai:

- 1) Racun reaksi katodik
- 2) Endapan di area reaksi katodik
- 3) Oxygen scavengers.

- Beberapa inhibitor katodik , seperti senyawa arsenik dan antimon, bekerja melalui rekombinasi dan mempersulit pelepasan hidrogen.
- Inhibitor katodik yang lain, seperti kalsium, seng, atau magnesium dapat mengendap sebagai oksida pada permukaan logam membentuk lapis protektif.
- Oxygen scavenger membantu menghambat korosi via pencegahan depolarisasi katodik oleh oksigen. Mungkin oxygen scavenger paling banyak dipakai pada suhu kamar adalah sodium sulfite ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ).

21

⦿ Inhibitor campuran dapat mengubah potensial korosi atau tidak, bergantung pada kekuatan penghambatan reaksi korosinya, apakah lebih kuat menekan reaksi anodik atau katodik, atau sama kuat menekan kedua reaksi anodik dan katodik.

- Meskipun andaikata tidak menurunkan potensial korosi, tetapi inhibitor ini menurunkan potensial aktifasi serta reaksi katodik secara serentak.

22

● Klasifikasi berdasar sifat senyawanya :

1. Inhibitor organik, anorganik
2. Inhibitor pembentuk endapan, lapis film protektif/passivator
3. Inhibitor safe, dangerous
4. Inhibitor fase gas/uap, liquid.

23

1. Inhibitor organik, anorganik

■ Inhibitor organik

Inhibitor organik terdiri dari:

- Inhibitor anionik
- Inhibitor kationik

-Inhibitor anionik: jenis inhibitor sodium sulfonat, fosfonat, atau mercaptobenzotriazol (MBT) biasa digunakan di cooling water dan larutan antifreeze.

-Inhibitor kationik: dalam bentuk konsentrat liquid atau solid mirip wax. Bagian aktif biasanya berupa senyawa alifatik rantai panjang atau senyawa aromatik dengan grup amin bermuatan positif.

■ Inhibitor anorganik

Biasanya berbentuk garam kristal seperti sodium kromat, fosfat, atau molibdat. Anion negatif senyawa ini menurunkan laju korosi logam. Jika digunakan seng selain sodium, maka kation seng menambah kekuatan inhibitor. Senyawa seng tambahan ini disebut mixed-charge inhibitor.

24



## 2. Inhibitor pembentuk endapan, lapis film protektif/passivator

- Inhibitor pembentuk endapan bereaksi dengan logam dan membentuk endapan di permukaan logam sehingga menutupi akses korosif ke permukaan logam
- Inhibitor pembentuk lapis film protektif bereaksi dengan logam yang dilindungi membentuk lapis film yang protektif di permukaan logam, sehingga logam menjadi pasif. Inhibitor semacam ini juga disebut sebagai passivator. Passivator meningkatkan potensial korosi logam sampai ke daerah pasif.

25

Ada 2 tipe pasifator:

- oxidizing anion, seperti kromat, nitrit, dan nitrat, yang mampu mempasifkan baja tanpa kehadiran oksigen
- nonoxidizing ion, seperti fosfat, wolframat, dan molibdat, yang butuh oksigen untuk mempasifkan baja.

Inhibitor pasifator paling efektif sehingga paling banyak dipakai. Inhibitor dasar kromat paling murah sehingga banyak dipakai untuk bermacam keperluan (sistem cooling resirkulasi pada motor bakar internal, rectifier, refrigerator, dan cooling tower).

26

- Tipikal digunakan inhibitor sodium kromat pada konsentrasi 0.04 - 0.1%. Untuk suhu lebih tinggi dan mengandung klorida > 10 ppm, dibutuhkan konsentrasi lebih tinggi.
- Jika perlu, ditambah sodium hidroksida untuk mengatur pH menjadi 7.5 - 9.5.
- Jika konsentrasi kromat jauh di bawah 0.016%, maka korosi akan dipercepat.
- Secara umum pasifator dapat menyebabkan pitting dan percepatan laju korosi jika konsentrasinya di bawah limit. Oleh sebab itu, maka penting untuk memonitor konsentrasi inhibitor secara periodik.
- Dikenal istilah threshold concentration atau threshold treatment.

27

### 3. Inhibitor safe, dangerous

- Safe inhibitor adalah inhibitor yang jika digunakan di bawah konsentrasi yang direkomendasikan tidak berbahaya bagi alat yang dilindungi. Biasanya inhibitor semacam ini adalah inhibitor katodik.
- Dangerous inhibitor adalah inhibitor yang jika digunakan dengan konsentrasi di bawah konsentrasi yang dianjurkan akan berbahaya bagi logam yang dilindungi, karena logam akan terkorosi lebih hebat dari pada jika tidak menggunakan inhibitor sama sekali. Biasanya mereka ini adalah inhibitor anodik, passive film forming inhibitor.

28

#### 4. Inhibitor fase gas/uap, liquid.

- Inhibitor fase uap/gas adalah inhibitor yang akan menguap dan menyublim di permukaan logam yang dilindungi. Inhibitor ini hanya dapat digunakan dalam lingkungan tertutup, seperti dalam mesin, dalam container untuk mengangkut peralatan yang rawan korosi ketika dalam perjalanan, dsb.
- Inhibitor fase liquid adalah inhibitor yang bekerja dalam bentuk larutan liquid.

29

**TABLE 10.1 Some Corrosive Systems and the Inhibitors Used to Protect Them**

System	Inhibitor	Metals	Concentration
Acids			
HCl	Ethylaniline	Fe	0.5%
	MBT*	..	1%
	Pyridine + phenylhydrazine	..	0.5% + 0.5%
	Rosin amine + ethylene oxide	..	0.2%
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Phenylacridine	..	0.5%
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	NaI	..	200 ppm
Others	Thiourea	..	1%
	Sulfonated castor oil	..	0.5–1.0%
	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	..	0.5%
	Na <sub>3</sub> AsO <sub>4</sub>	..	0.5%

30

Water

Potable	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Steel, cast iron	10 ppm
	Polyphosphate	Fe, Zn, Cu, Al	5–10 ppm
	Ca(OH) <sub>2</sub>	Fe, Zn, Cu	10 ppm
	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	..	10–20 ppm
Cooling	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Steel, cast iron	10 ppm
	Na <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	Fe, Zn, Cu	0.1%
	NaNO <sub>2</sub>	Fe	0.05%
	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	..	1%
	Morpholine	..	0.2%
Boilers	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Fe, Zn, Cu	10 ppm
	Polyphosphate	..	10 ppm
	Morpholine	Fe	Variable
	Hydrazine	..	O <sub>2</sub> scavenger
	Ammonia	..	Neutralizer
	Octadecylamine	..	Variable
Engine coolants	Na <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	Fe, Pb, Cu, Zn	0.1–1%
	NaNO <sub>2</sub>	Fe	0.1–1%
	Borax	..	1%
Glycol/water	Borax + MBT*	All	1% + 0.1%
Oil field brines	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	Fe	0.01%
	Quaternaries	..	10–25 ppm
	Imidazoline	..	10–25 ppm
Seawater	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	Zn	10 ppm
	NaNO <sub>2</sub>	Fe	0.5%
	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	All	pH dependent
	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> + NaNO <sub>2</sub>	Fe	10 ppm + 0.5%

\*MBT = mercaptobenzotriazole.



**INDOCOR**

CABANG SUMATERA SELATAN

# KASUS-KASUS KOROSI DALAM INDUSTRI



## Kasta Ginting

Ahli Korosi Madya

Anggota Dewan Pakar Indocor Cabang Sumatera Selatan

# **KASUS-KASUS KOROSI DALAM INDUSTRI**

## **1.PENDAHULUAN**

KOROSI adalah suatu fenomena terdegradasinya material ke bentuk lain yang tidak bermanfaat . Sebagai contoh besi/ baja diproses dari biji besi dengan reduksi menghasilkan besi ataupun baja yang mempunyai energi tinggi yang akhirnya cenderung menuju energi rendah yaitu dalam bentuk karat  $Fe_2O_3 \cdot xH_2O$ . Korosi tidak bisa dicegah tapi dapat dikendalikan sehingga waktu kembalinya dari energi tinggi ke rendah dapat diperpanjang. Banyak cara atau metoda untuk mengendalikan korosi sesuai tempat dan kondisi material yang dilindungi.

## **2.Beberapa tipe korosi dalam industri**

1. Korosi Merata ( General Corrosion)
2. Korosi Sumur ( Pitting Corrosion )
3. Korosi Celah ( Crevice Corrosion )
4. Korosi Gesek ( Fretting Corrosion )
5. Korosi Pengembunan ( Dew Point Corrosion )
6. Korosi Batas Butir ( Intergranular Corrosion )
7. Korosi Retak Tegang ( Stress Corrosion Cracking, SCC )
8. Korosi Penggetasan Hidrogen ( Hidrogen Embrittlement )
9. Korosi Erosi ( Erosion Corrosion )
10. DII ( Korosi Galvanic, Kavitasi, Temperatur tinggi, Lelah)

## 2.1. Korosi Merata ( General Corrosion )

1. Pada tipe korosi merata umumnya logam mengalami korosi dengan laju yang hampir merata diseluruh permukaan
2. Secara teknis korosi merata ini tidak terlalu berbahaya karena sejak awal sudah di - perhitungkan pada saat desain alat.
3. Pada pemeriksaan berkala jenis korosi ini mudah dideteksi dan umur sisa dapat di - hitung mendekati akurat.

Contoh perhitungan sederhana untuk mendesain alat dgn Corrosion Allowance (CA). Pipa CS NPS 10 inch dialiri dengan fluida dengan kecepatan korosi sebesar 0.2 mm/ thn. Umur teknis pipa diharapkan 20 thn. Tekanan fluida yang mengalir dalam pipa 260 psig. Temperatur fluida 200 oF, dan Stress Value CS pada temperatur tersebut 20.000 psig. Tentukan tebal pipa yang akan dipakai .

$$t_m = t + CA \quad ; \quad t_m = \text{tebal minimum pipa, inch}$$

t = tebal pipa. sesuai desain, inch.  $t_m$  = tebal minimum pipa, inch

CA = Corrosion Allowance, in

$$t_m = t + C$$

$$t = \frac{P D_o}{2SE} \quad ; \quad P = 260 \text{ psig}$$

$$P = 260 \text{ psig} \quad ; \quad D_o = 10.748 \text{ inch}; \quad E = 1$$

$$t = \frac{260 \times 10.748}{(2 \times 20.000 \times 1)} = 0.069862 = 0.07$$

$$t = 0.07 \text{ inch} = \mathbf{1.778 \text{ mm}} \quad ; \quad CA = 20 \times 0.2 \text{ mm} = \mathbf{4 \text{ mm}}$$

$$t_m = 1.778 \text{ mm} + 4 \text{ mm} = 5.778 \text{ mm} = 0.227 \text{ inch.}$$



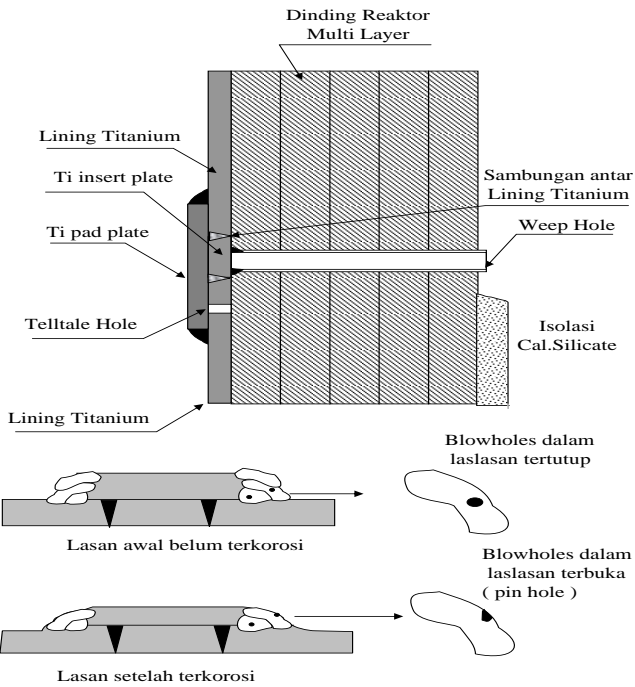
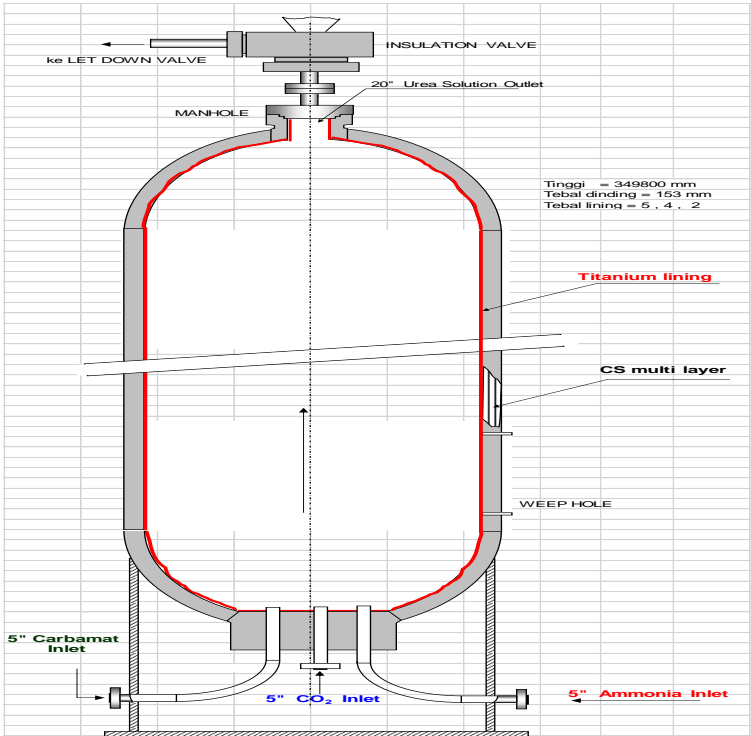
Terlihat bahwa  $t$  lebih kecil dari corrosion allowance

Pipa yang dipilih adalah CS 10 " sch 20 (  $t=6.4$  mm)

## KASUS 1 KOROSI MERATA

1. Terjadi pada sebuah reaktor Urea dengan material di lapisi / lining logam Titanium. Dinding pressure vessel dibuat dari multi layer carbon steel yg tidak tahan korosi urea / karbamat. Rate korosi teoritis Carbamat thd Ti sekitar 0.1 mm/thn, kenyataannya antara 0.1-sd 0.2 mm/thn
2. Bahan pereaksi berupa cairan  $\text{NH}_3$  , gas  $\text{CO}_2$  dan Recycle carbamat masuk melalui bottom reaktor pada tekanan tinggi ( 250 K ) dan temp.tinggi ( 200 °C ) , dan produk berupa campuran urea , urea carbamate dan sisa pereaksi keluar dari top reaktor.





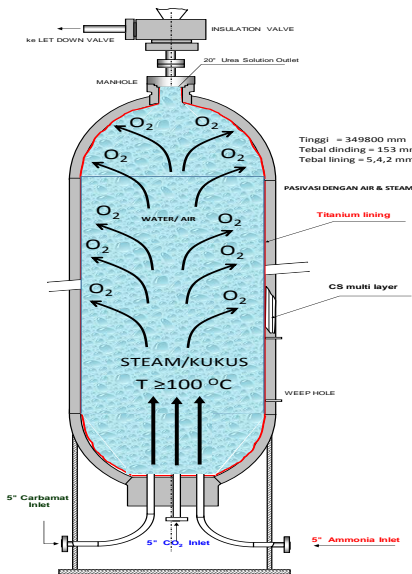
## SIFAT LOGAM TITANIUM

1. LEBIH RINGAN DARI CARBON STEEL ATAU BAJA PADUAN LAIN, TAPI LEBIH TAHAN TERHADAP KOROSI KARBAMAT
2. REAKTIF DENGAN HIDROGEN DI UDARA PADA SAAT PENGELASAN  $T = 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$
3. MUDAH BEREAKSI DENGAN OKSIGEN MEMBENTUK  $\text{TiO}_2$  YANG MERUPAKAN LAPISAN YANG TAHAN TERHADAP KOROSI KARBAMAT
4. TIDAK TAHAN TERHADAP EROSI, SEHINGGA PERLU TERUS MENERUS DIBENTUK LAPISAN TITANIUM OKSIDA GUNA MELINDUNGI LINING
5. KARENA SIFAT SIFAT TERSEBUT DIATAS MAKA TITANIUM RELATIF SUSAH DILAS, DAN MEMERLUKAN SHIELDING ARGON DENGAN KEMURNIAN TINGGI 99.995% ( SULIT DIDAPAT DIPASARAN ).

### *BAGAIMANA MEMBUAT TITANIUM OKSIDA YG BAIK PADA LINING REAKTOR*

1. Umpan Amoniak  $\text{NH}_3$  ke reaktor urea harus sedikit mengandung  $\text{H}_2$  . Sebab bila konsentrasi Hidrogen yang relative tinggi dalam umpan Amoniak, akan menyebabkan kan terjadi reaksi spontan dengan oksigen,  $\text{O}_2$  yang dimasukan kedalam reaktor bersama  $\text{CO}_2$  ( untuk passivasi ) dan dalam reaksi tersebut terjadi pelepasan energi yang dapat membuat tokak tokak kecil di dinding lining Titanium.
2. Umpan  $\text{CO}_2$  kedalam reaktor di campur udara ( udara 21%  $\text{O}_2$ ) untuk pembentukan Titanium Oksida selama operasi pabrik.

3. Bila saat Turn Around / TA ada perbaikan besar di lining titanium, maka perlu dilakukan passivasi dengan air/steam pada temperatur  $\geq 100^{\circ}\text{C}$ , sebelum reaktor dioperasikan kembali.



PASSIVASI LINING  
 TITANIUM DENGAN  
 AIR/STEAM  $>100^{\circ}\text{C}$

### KELARUTAN OKSIGEN DALAM AIR PADA P = 1 atm

T <sup>o</sup> C	ppm
0	69
20	43
40	31
60	27
80	14
100	1
120	-

## UPAYA PENGENDALIAN KOROSI MERATA DI REAKTOR TITANIUM

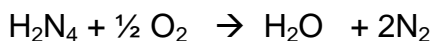
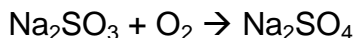
1. Menjaga agar dalam pengelasan lining reaktor tidak terkontaminasi udara sehingga tidak timbul porous porous. Kemurnian Ar shielding = 99,995%.
2. Menjaga pasokan udara passivasi secara terus menerus constan , sehingga pembentukan lapisan titanium oksida  $TiO_2$  tetap terjamin ( sangat sangat penting )
3. Menjaga kemurnian  $CO_2$  yang masuk reaktor tinggi, dan maksimum hidrogen serendah mungkin ( Pusri batas maksimum  $H_2 \leq 4 \%$  )

## HAL HAL YANG PERLU DIPERHATIKAN UNTUK MENGURANGI EFEK KOROSI MERATA

### 1. Material Carbon Steel

Dalam pipa, HE, Vessel, dan peralatan lainnya dengan material carbon steel yang dialiri oleh media proses , diusahakan Oksigen terlarut sekecil mungkin, karena bila oksigen terlarut besar akan mempercepat terjadinya korosi.

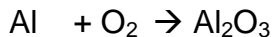
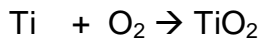
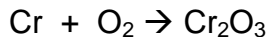
Untuk mengurangi konsentrasi oksigen pada air dilakukan dearasi , dengan menambahkan Sulfit ( $Na_2SO_3$ ) atau Hidrazin  $H_2N_4$  dengan reaksi sbb:



## 2. Material Non Carbon Steel

SS, Ti, Al, tahan terhadap korosi karena terbentuk lapisan oksida dipermukaan. Lapisan  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  utk Stainless Steel, Titanium Oksida,  $\text{TiO}_2$  utk logam Titanium dan Aluminium Oksida,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pada logam Aluminium (pesawat Udara, mobil Landrover). Sebenarnya logam Aluminium yang paling cepat membentuk lapisan oksida, tapi kelemahannya Aluminium murni, tidak tangguh

Maka untuk itu perlu di pasok Oksigen ( udara ) secara kontinu pada daerah yang terjadi korosi ,misalnya vessel, pipa yang dilewati fluida dengan kecepatan tinggi. Terbentuk lapisan film tahan korosi sebagai berikut:



### KESIMPULAN

1. Untuk material Carbon Steel harus dicegah adanya udara atau oksigen dalam aliran fluida.
2. Untuk material Stainless Steel, Aluminium, Titanium dll, diperlukan udara passivasi dalam aliran fluida.

## 1.2. Korosi Sumur ( Pitting Corrosion)

1. Korosi sumur ( Pitting Corrosion ) merupakan korosi setempat yang intensif menyerang logam dengan penetrasi yang cepat pada luas permukaan yang sempit.
2. Bentuk bentuk sumuran bisa sebagai berikut

- a. Dalam dan sempit
- b. Eliptikal
- c. Dangkal dan lebar ( pada saat saat permulaan )
- d. Sub surface
- e. Undercut
- f. Horizontal mikrostruktur
- g. Vertical mikrostruktur

Umumnya diameter sumuran ini relatif kecil dan tumbuh mengikuti arah gravitasi sehingga lebih berbahaya dari korosi merata. Biasanya Diameter sumur lebih kecil dari kedalam nya (  $L < H$  ). Dari berbagai kasus kecepatan korosi sumur yang sudah dalam dan miskin oksigen bertambah cepat hampir 10 x dibanding kecepatan korosi mula mula.

### **Penyebab Korosi Sumur**

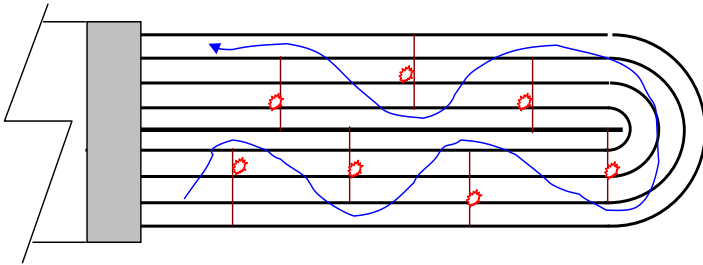
1. Cacat / goresan sejak pembuatan logam yang dilanjutkan dengan adanya genangan atau elektrolit pada permukaan logam.
2. Adanya debu, endapan endapan , kotoran yang kontak dengan logam ( Under deposit corrosion ).
3. Adanya inklusi logam lain didalam logam induk, seperti slag dan sulfida dalam baja

## KASUS KOROSI SUMUR

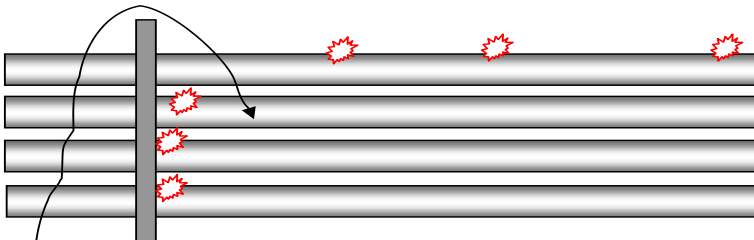
- a. Terjadi pada sebuah heat exchanger tekanan tinggi dan temperatur relatif tinggi, dengan tipe shell yang bisa dicabut dari bundle tube HE.
- b. Air mengalir di sisi shell ( 4 – 6 K ), dan gas proses campuran  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ , Ar, dengan tekanan tinggi ( 150 K ) mengalir di sisi Tube
- c. Korosi terjadi pada sisi luar tube atau pada sisi shell, berupa pitting corrosion.







Tempat tempat yang banyak mengalami korosi sumur



## UPAYA PENGENDALIAN KOROSI SUMUR DI HEAT EXCHANGER

1. Usahakan tidak ada deposit yang menempel pada logam /tube dengan mengaktifkan air rambling pada periode tertentu atau tidak memperlambat kecepatan air pendingin
2. Setiap penggantian alat baru agar dilakukan degreasing yang sempurna dan dipassivasi awal dengan sempurna ( high dosis phosphate )
3. Memakai material yang sesuai dengan fluida yang korosif.

Note: Pusri sdh ganti material tube dengan stainless steel.



Heat Exchanger sudah dilengkapi dengan perangkat air rambling, yang dibuka operator tiap shift. Pembukaan air rambling juga punya risiko. Tekanan udara tidak boleh lebih tinggi dari tekanan air pendingin sehingga harus dilakukan dengan hati hati.

## KOMPOSISI MATERIAL YANG MEMPUNYAI KETAHANAN KOROSI YANG CUKUP BAIK

NO	MATERIAL	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N	W	Cu	Ket
1	NTK R4-UG	0.03 max	1.0	1.0	0.04	0.01	6 - 6.7	24-26	1.2-2	0.12-0.2			
2	DP-12	< 0.03	0.75 max	1.1 max	0.03 max	0.03 max	6.7-7.5 max	24.8 - 26.0	2.5 - 3.2	0.1 - 0.3	0.1 - 0.3	0.1 - 0.3	
3	DP 28W	0.03 max	0.5 max	1.1 max	0.03 max	0.03 max	7.0 - 8.2 max	27 - 27.9	0.8 - 1.2	0.3 - 0.4	2.1 - 2.5		
4	UR-76 N	0.03 max	0.71 max	1.1 max	0.03 max	0.03 max	6.7-7.5 max	24.8 - 26.0	2.5 - 3.2	0.22	0.6	0.6	
5	SAF -2205	0.03 max	0.8 max	1.2 max	0.035 max	0.015 max	5	22	3.2	0.18			
6	SAF-2507	0.03 max	0.8 max	1.2 max	0.035 max	0.015 max	7	25	4	0.3			
7	SS-304	0.08	0.75	2.00	0.04	0.03	8 - 11	18 - 20					
8	SS-304 L	0.035	0.75	2.00	0.04	0.03	8 - 13	18 - 20					
9	SS-304 H	0.04-0.10	0.75	2.00	0.04	0.03	8 - 11	18 - 20					
10	SS-316	0.08	1.00	2.00	0.04	0.03	10-14	16 - 18	2.00-3.00				
11	SS-316 L	0.03	1.00	2.00	0.04	0.03	10-14	16 - 18	2.00-3.00				
12	SS-321	0.08	0.75	2.00	0.04	0.03	9-13	17 - 19					Ti 5xC ~ 0.70
13	SS-347	0.04-0.10	0.75	2.00	0.04	0.03	8 - 13	17 - 20					Nb+Ta 10xC ~ 1

PRE = Pitting Resistance Equivalent

PRE = % Cr + 3.3 x % Mo + 16 x % N

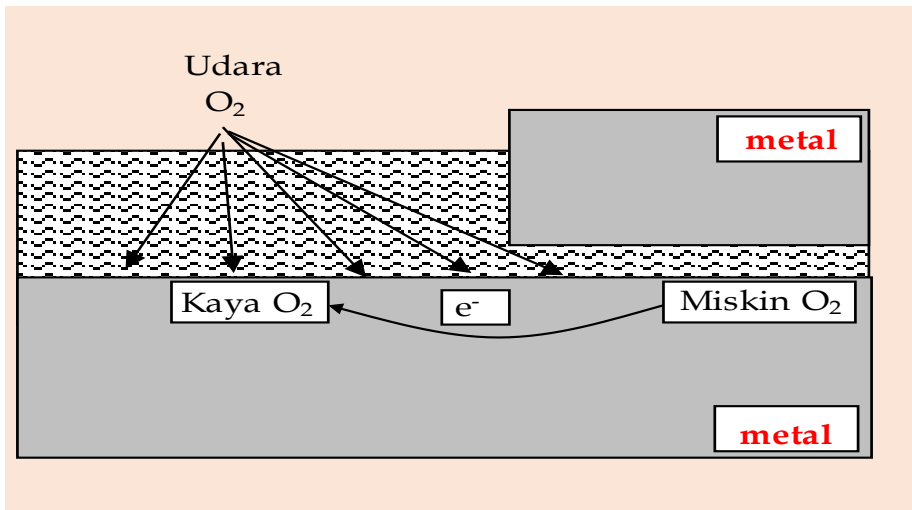
NO	MATERIAL	Cr	Mo	N	PRE
1	NTK R4-UG	25	1,6	1,6	55,88
2	DP-12	25,2	2,9	0,2	37,97
3	DP 28W	27,45	1	0,35	36,35
4	UR-76 N	25,4	2,85	0,22	38,325
5	SAF -2205	22	3,2	0,18	35,44
6	SAF-2507	25	4	0,3	43
7	SS-304	19	0	0	19
8	SS-304 L	19	0	0	19
9	SS-304 H	19	0	0	19
10	SS-316	17	2,5	0	25,25
11	SS-316 L	17	2,5	0	25,25
12	SS-321	18	0	0	18
13	SS-347	18,5	0	0	18,5

### 4. KOROSI CELAH ( CREVICE CORROSION )

1. Korosi ini terjadi pada daerah celahan atau daerah daerah yang tersembunyi pada permukaan logam yang berada dalam lingkungan korosif.

2. Korosi ini terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi oksigen antara daerah celahan dan sekitarnya. Pada celah, miskin  $O_2$  jadi anodik.
3. Korosi dapat juga terjadi karena adanya perbedaan ion logam. Pada celah konsentrasi ion logam rendah, jadi anodik

### KOROSI CELAH



### 4.KOROSI GESEK ( FRETTING CORROSION)

Korosi gesek terjadi oleh karena :

1. Terjadi akibat gesekan material satu dengan lainnya
2. Material yang lebih lembut akan kalah dengan material yang lebih keras
3. Material yang lebih tipis akan lebih terasa akibatnya dari pada material yang lebih tebal.

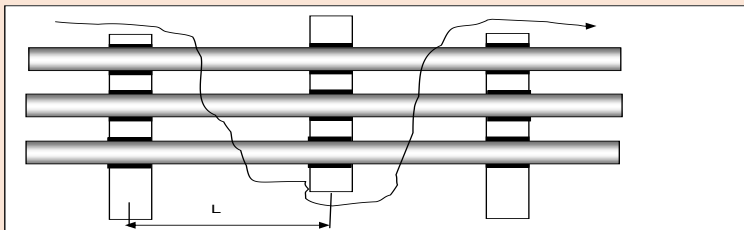
Kerusakan yang ditimbulkan oleh korosi gesekan ini sangat mahal untuk di perbaiki. Tidak ada metoda uji standar untuk mengidentifikasi korosi gesek ini. Desain teknik terhadap

peralatan lebih dominan dari pada pemilihan bahan untuk mencegah korosi seperti ini.

## KASUS KOROSI GESEK (FRETTING CORROSION)

1. Sebuah Heat Exchanger yang selalu mengalami kebocoran pada daerah tube sheet akibat adanya beda konsentrasi larutan antara luar dan didalam celah.
2. Terjadi gesekan antara tube dengan baffle plate karena:
  - Lubang di baffle plate sudah besar
  - Terjadi vibrasi yang kuat , sehingga terjadi gesekan yang berulang - ulang antara tube dengan baffle plate.

Holes pada baffle plate dan natural vibration penyebab korosi gesek

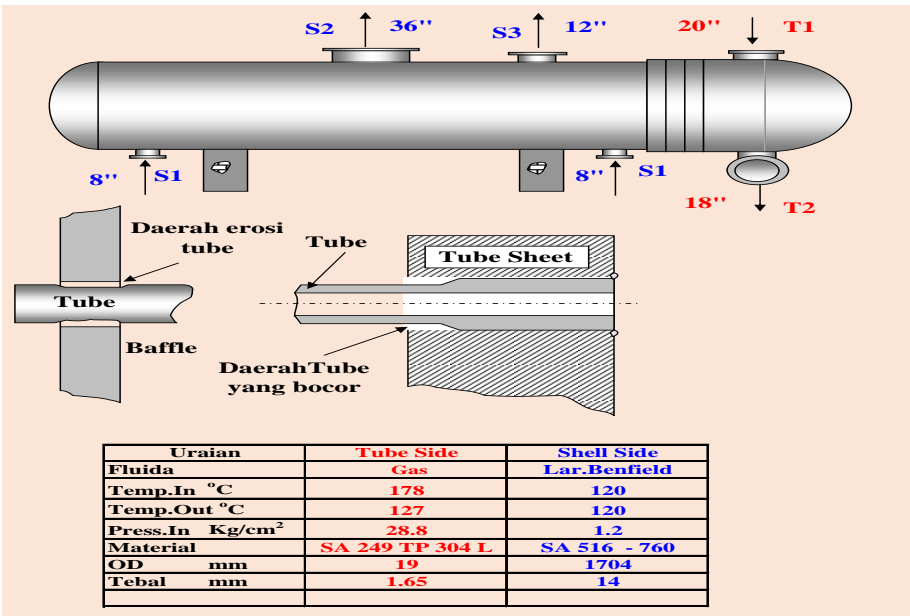


L = Baffle spacing

Keterangan:

Untuk desain HE minimal ada :

1. Perhitungan proses transfer kalor ( Heat Transfer Hand Book )
2. Perhitungan mekanikal ( ASME & TEMA )
3. Penentuan material utk tahan korosi ( Material Hand Book )



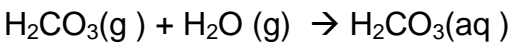
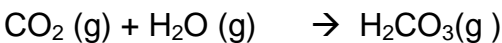
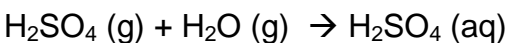
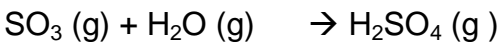
## 5.KOROSI PENGEMBUNAN ( DEW POINT CORROSION )

Dew point Corrosion atau sering diterjemahkan dengan Korosi Titik Embun adalah kerusakan akibat gas/ udara yang mengandung gas tertentu mencapai temperatur yang pada saat tersebut tingkat penguapan dan kondensasi sama, pada tekanan tertentu. Korosi jenis ini banyak terjadi di industri perminyakan. Keasaman dibentuk oleh gas buang yang di produksi kilang dan pada saat bergabung dengan air di udara, asam tersebut menjadi cair dan menyerang permukaan logam.

Gas buang umumnya terdiri dari SO<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> dan NOX

1. Terjadi akibat gas gas seperti asam sulfat dan asam karbonat mengembun.
2. Korosi ini akan berlangsung cepat bila temperatur gas yang mengandung asam sulfat dan asam carbonat dibawah temperatur embunnya

Reaksi pembentukannya:

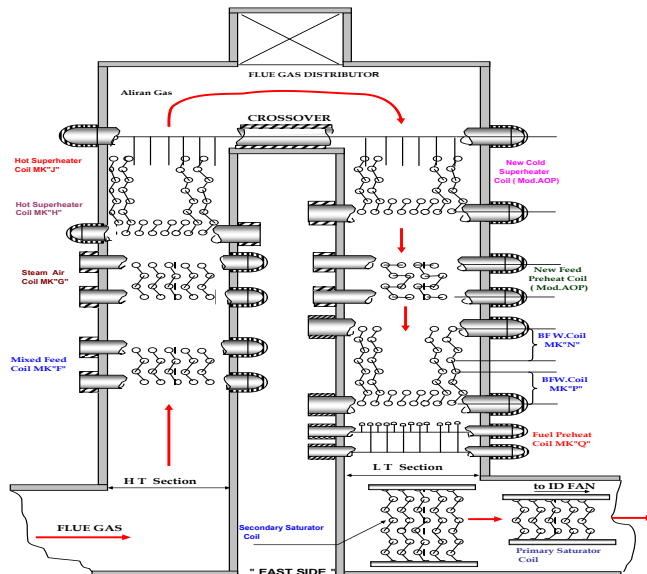


### KASUS DEW POINT CORROSION

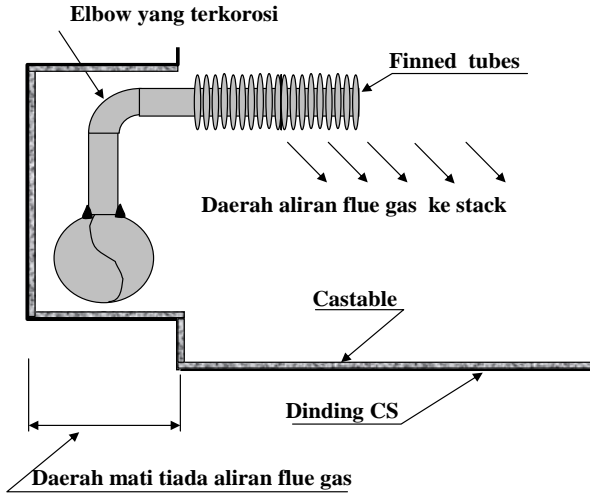
1. Terjadi pada suatu alat pemanfaatan panas gas buang ( Flue gas) dgn bahan bakar gasnya masih mengandung SO<sub>3</sub>,CO<sub>2</sub>. Sebenarnya gas bumi dari sumur telah dibersihkan dari sulfur, namun sesuai dengan standard

kontrak gas bumi ke pembeli , sulfur yang diizinkan dalam gas yang dikirim ke industri masih sekitar 6-10 ppm.

2. Gas buang yang mengalami pendinginan dibawah titik embun, akan mengalami kondensasi sulfur dan mengendap diatas logam , sehingga terjadi korosi.

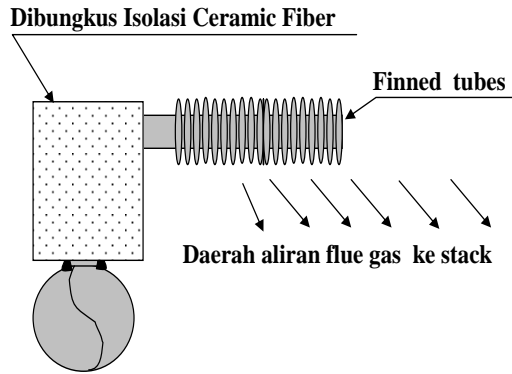






## UPAYA PENGENDALIAN DEW POINT CORROSION

1. Usahakan temperatur gas buang yang mengandung sulfur tidak turun dibawah temperatur kondensasi sulfur sekitar 140-160°C.
2. Mengisolasi metal terhadap kontak langsung dgn gas yg mengandung sulfur.
3. Mengisolasi alat dari pendinginan luar (mis. Stack diisolasi dari terpaan angin).
4. Menambahkan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  kedalam air di scrubber untuk menangkap gas gas yang mengandung sulfat



Stack Pusri 3 & Pusri 4



Stack Pusri IB

## 6. KOROSI BATAS BUTIR (INTERGRANULAR CORROSION)

Korosi intergranular juga dikenal dengan nama korosi batas butir adalah serangan korosi pada daerah sepanjang batas butir tanpa serangan yang cukup besar terhadap butirnya sendiri. Adanya serangan korosi pada batas butir menyebabkan butiran menjadi lemah terutama di batas butir sehingga secara keseluruhan logam kehilangan kekuatan dan keuletannya.

1. Korosi ini biasanya terjadi pada baja tahan karat akibat perlakuan panas diatas  $425^{\circ}\text{C}$ .
2. Pada pengelasan baja tahan karat  $T \gg \gg$  akan terbentuk  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  yaitu karbida khrom dibatas butir. Sifat Karbida Chrom getas dan cepat terlepas dari logam induk. Daerah yang memasok khrom ( Heat Affected

Zone / HAZ) akan ke kurangan khrom sehingga tidak tahan terhadap korosi larutan yang korosif.

3. Pada peralatan yang bekerja dengan temperatur 500-800 °C juga mudah terbentuk karbida khrom

## **KASUS KOROSI BATAS BUTIR**

Kasus ini terjadi pada pipa Urea Karbamat yang terkorosi pada seluruh las lasan sambungan pipa. Kejadian diawali pada pipa urea karbamat Pusri III yang bocor pada las lasan. Kemudian dilakukan pemeriksaan pada pipa yang sama di Pusri II dan di Pusri IV. Kondisi pipa di Pusri IV sama dengan Pusri III ( operasi mulai 1977 & 1978 ) Sedangkan di Pusri II ( operasi 1974) tidak terdapat korosi batas butir di las lasan.

## **UPAYA PENGENDALIAN KOROSI BATAS BUTIR**

1. Lakukan Solution Annealing pada las lasan guna melarutkan kembali karbida.
2. Lakukan pengelasan dengan kawat las Chrom tinggi, (diatas kandungan chrom base metal ).
3. Memakai material baja tahan karat low carbon, 0.03% C ( 304 L, 316 L )

## **7. KOROSI RETAK TEGANG ( STRESS CORROSION CRACKING/SCC)**

1. Terjadi akibat adanya aksi gabungan antara tegangan statis dengan lingkungan yang korosif ( tertentu).

2. Tegangan statis bisa merupakan tegangan sisa, atau/ dan tegangan dari luar.
3. Permulaan crack bisa berawal dari korosi sumur dan berkembang. Umumnya terjadi pada batas butir.
4. Kejadiannya sulit diprediksi karena bisa terjadi antara beberapa jam sampai beberapa tahun.

<b>ALLOY</b>	<b>ENVIRONMENT</b>
<b>Aluminum base</b>	Sea water Salt and chemical combination
<b>Magnesium base</b>	Nitrit acid Caustic HF Solution Salts Coastal atmospheres
<b>Copper base</b>	Primarily ammonia and Ammonium hydroxide Amines Mercury Sulfur dioxide
<b>Carbon Steel</b>	Caustic Anhydrous ammonia Nitrate solutions Carbonate / bicarbonate
<b>Martensitic and precipitation Hardening stainless steel</b>	Sea water Chlorides H <sub>2</sub> S Solutions
<b>Austenitic Stainless Steels</b>	Chlorides – inorganic and organic. Caustic Solutions. Sulfurous and polythionic acids.
<b>Nickel base</b>	Caustic above 315 °C Fused caustic Hydrofluoric acid
<b>Titanium</b>	Liquid nitrogen tetroxide Sea water Salt atmospheres Fused salt Methanol
<b>Tantalum</b>	Hydrogen Embrittlement

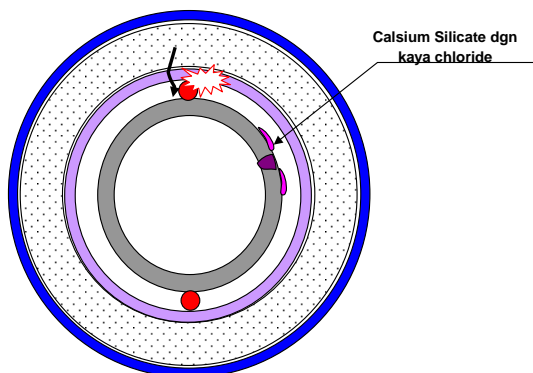
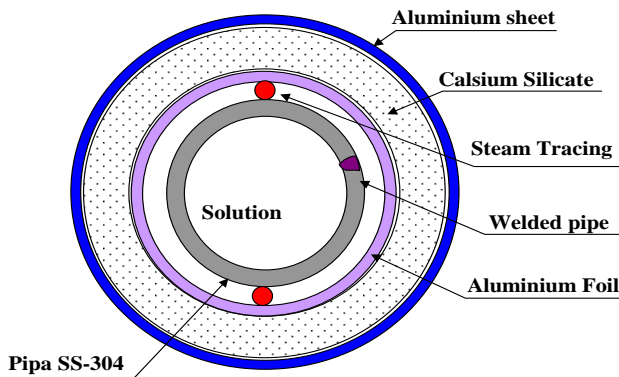
## KASUS 1 KOROSI RETAK TEGANG

1. Terjadi pada pipa larutan urea yang dibuat dari material SS 304 Welded.
2. Terjadi SCC dari sisi luar pipa karena adanya Cl<sup>-</sup> dari isolasi Calcium Silicate.
3. Syarat terjadinya SCC terpenuhi dengan:

- Tegangan statis berasal dari tegangan sisa pembuatan pipa ( welded )
- Lingkungan mengandung Chlor yang berasal dari isolasi yang terlarut oleh bocoran steam tracing .

4. Dipasang thn 1976, rusak krn SCC thn 1995

Susunan sistem perpipaan



Steam tracing bocor merusak Aluminium foil dan Calcium Silicate



Kondensat dari steam yang terkondensasi bersama dengan Calcium Silicate dan chloride yang terlarut jatuh ke pipa yang mempunyai tegangan sisa

## UPAYA PENGENDALIAN KOROSI RETAK TEGANG

1. Meminimalkan adanya tegangan sisa dengan stress release.
2. Mengisolasi material dari lingkungan yang dapat menyebabkan SCC ( lihat daftar ).
3. Mensyaratkan isolasi jenis calsium silicate dengan chlor rendah.
4. Menghindari timbulnya tegangan eksternal bila lingkungan tdk bisa diisolasi dari lingkungan luar.

### 3. Corrosion Resistance

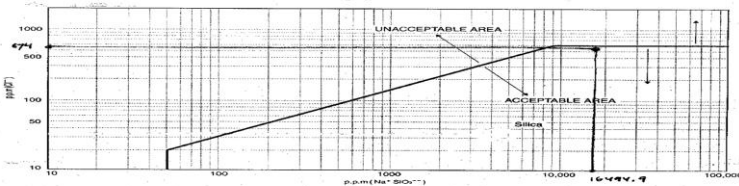
#### LTC (Lehigh Testing Laboratories, Inc.) Test Report about Restraint of Corrosion.

KCC Silica easily passed the test based on DANA TEST (Stress Corrosion Cracking Test) of ASTM C-692.

T/R NO.	component	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	SiO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>
		32	5	1088	3612

#### 2. ASTM C-795 Standard and Cl<sup>-</sup> Content of Silica

The surface corrosion of the materials is related to not only the content of Cl<sup>-</sup> but also the content of Na<sup>+</sup> and SiO<sub>3</sub><sup>-2</sup>. In this point of view, USA Atomic Energy Commission decides whether the materials are permitted or not. In compliance with ASTM-C795, our Silica is getting rid of factors making corrosion as shown below graph.



### 4. Asbestos Free

Asbestos free of KCC silica is certificated by Korea Chemical Inspection and Testing Institute, one of competent institutions in Korea.

## 8. KOROSI PENGGETASAN HIDROGEN ( HYDROGEN EMBRITTLEMENT)

Korosi penggetasan hidrogen adalah suatu proses hilangnya daktilasi / elastisitas baja akibat difusi hidrogen kedalam struktur material baja. Akibatnya baja kehilangan kekuatan dalam menerima beban. Pada kasus kasus korosi ada 2 jenis kerusakan akibat penggetasan hidrogen ini yaitu:

a. Embrittlement internal ( Penggetasan Internal )

Keadaan ini terjadi akibat difusi terus menerus hydrogen kedalam struktur baja yang akan menyebabkan peralatan fail. Untuk menghitung jumlah difusi ini ada 3 faktor yaitu: Tekanan partial Hidrogen, T, Material yang dilalui / dilewati. Salah satu contoh difusi hidrogen kedalam struktur baja dalam industri adalah didalam Reaktor Amoniak atau di pabrik amoniak sering disebut dengan Ammonia Converter . Dalam reaktor yang bertekanan lebih dari 100 KG dan temperatur yang cukup tinggi ,hydrogen yang bersama  $N_2$  yg merupakan bahan baku pembentukan  $NH_3$  akan berdifusi melalui dinding reaktor ke udara bebas. Di ammonia converter ini dilengkapi dengan weep hole yang ujungnya dicelupkan kedalam larutan metyl red. Untuk mengetahui apakah dinding reaktor sudah dalam keadaan kritis akibat difusi internal  $H_2$  maka jumlah gelembung dalam satu weep hole dihitung dan dibandingkan dengan hasil rumus perhitungan. Bila jumlah gelembung  $H_2$  yang terdifusi lebih besar dengan perhitungan maka kondisi reaktor sudah mendekati kritis. Dari pengalaman kondisi fatal akibat difusi hidrogen pada reaktor amoniak ini jarang ditemukan.

b. Embrittlement external.

Kondisi kerusakan atau kerapuhan baja akibat penggetasan external, lebih banyak ditemukan dalam industri dibandingkan penggetasan internal karena pada penggetasan external bagian peralatan terpapar hidrogen lebih banyak. Contoh kasus adalah peralatan baja gagal di las. Pada perbaikan internal part reaktor amoniak pernah ditemukan kondisi ini. Saat akan menyambung bagian satu yang baru dengan bagian

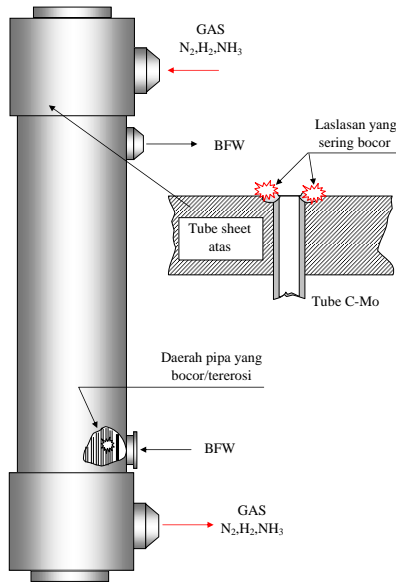


lainnya yang lama, maka setelah di periksa dengan dye penetrant test selalu gagal, ternyata bagian lama yang terpapar hidrogen sudah rapuh. Untuk penanggulangannya dilakukan pembuangan bagian luar baja yang rapuh dan baru kemudian di las ulang yang hasilnya baik. Kesimpulannya

1. Terjadi akibat penetrasi / difusi atom hidrogen ke dalam metal
2. Terjadi kerapuhan material akibatnya metal tidak dapat menahan tekanan kerja
3. Umumnya terjadi bila konsentrasi hidrogen tinggi dan temperatur operasi juga tinggi

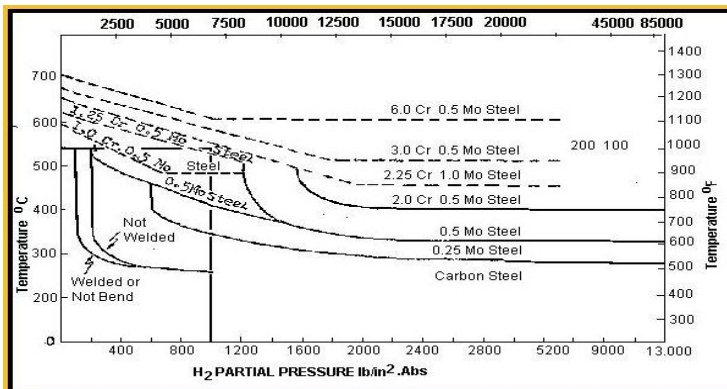
### **Kasus korosi hydrogen embrittlement**

1. Terjadi pada suatu Heat Exchanger dgn gas mengandung  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $NH_3$  tekanan 140 K ,temperatur  $460\text{ }^\circ\text{C}$  disisi tube dan air umpan boiler tekanan 105 K disisi shell.
2. Material tube sheet adalah baja carbon moly. Terjadi kerapuhan pada las lasan antara tube dengan tube sheet, yang menyebabkan kebocoran di tube sheet.



## UPAYA PENGENDALIAN KOROSI HYDROGEN EMBRITTELEMENT

1. Meminimalkan pengaruh hidrogen terhadap metal dengan memilih material yang tepat berdasarkan curva Nelson.
2. Dengan menaikkan kandungan chrom material, maka ketahanan material terhadap pengaruh hidrogen embrittlement semakin kecil.



## **9. KOROSI EROSI**

1. Korosi erosi adalah percepatan korosi karena adanya aliran fluida yang bersifat korosif pada permukaan logam.
2. Aliran yang sangat cepat seperti fluida dalam pipa , akan menimbulkan keausan atau abrasi.
3. Logam yang tererosi terlepas secara mekanik maupun sebagai ion karena adanya reaksi kimia

### **KASUS EROSI KOROSI PADA PUMPA SLURRY PT.ICA**

1. Terjadi pada pompa slurry di PT Indonesia Chemical Alumina ( PT ICA ) Tayan,Kalbar
2. Slurry adalah campuran tanah , pasir dan bauksit yang dilarutkan dengan NaOH ( komposisi tanah yg mengandung bauksit adalah 25% pasir, 45% Alumina, sisanya tanah )
3. Umur pompa antara 3 sd 5 bulan.
4. Beda kekerasan antara pasir dan material pompa cukup besar
5. Pompa yang tererosi umumnya sebelum alat Sand Catcher



## POMPA SLURRY YANG TER EROSI PARAH







## **UPAYA PENGENDALIAN KOROSI EROSI**

1. Menghitung kembali kecepatan linier fluida pada perpipaan (efek turbulensi )
2. Menghindari tumbukan aliran yg frontal oleh fluida (impingement attack ).
3. Mengusahakan excess penetration laslasan sekecil mungkin ( kasus pipa).
4. Memilih material yang tahan erosi. Misal Zirconium tdk tahan terhadap aliran fluida air pada tekanan tinggi ( kasus reaktor urea )

## DAFTAR PUSTAKA

- Handbook of comparative Material Standard, Toyo Engineering Corp.
- Jones, D.A, 1992, “ Principle and Prevention of Corrosion” ,  
Macmillan Publishing Company , New York
- Laporan shut down Pabrik PT ICA ( Indonesia Chemical Alumina ) ,  
2016, Tayan Kalbar
- Laporan Turn Around Pabrik Pusri , 1981- 2008, Palembang
- Moniz, B.J, “ *Matallurgy*” , American Technical Publishers Inc  
Homewood, Illinois
- Nelson, W.L, 1981, “*Petroleum Refinery Engineering*”, 4<sup>th</sup> ed,  
McGraw Hill Book Company Inc, New York
- Sandvik “ Stainless Steel for Urea Grade
- Setiamarga, B,H , 2001, “*Material Tahan Korosi*” , Pelatihan &  
Akreditasi Ahli Korosi Madya, Bandung





# INDOCOR

Indonesian Corrosion Assosiation



#### BIO DATA

Nama	: Kasta Ginting
Tempat/ Tgl lahir	: Brastagi Sumut / 6- 12- 1952
Jabatan	: - Anggota Dewan Pakar INDOCOR Sumsel
Pendidikan	
a. Formal	: - S1 Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta - Profesional Engineer ( Pusri - ITB )
b. Sertifikasi	: - Radiography Lev.III International ( IAEA ) - Radiography Lev.II Nasional ( BATAN ) - Ahli Korosi Madya ( INDOCOR ) 2001 - Sertifikat Ketrampilan Nasional Ahli Korosi Muda - Sertifikat Pengawas Operasional Pertama (K3 Tambang ) . Kementrian ESDM,2016
c. Pengalaman Kerja	
- 2017- sekarang	: Anggota Dewan Pakar INDOCOR SUMSEL
- 2015- 2016	: Site Manager PT Tracon Industri di Pabrik Alumina PT ICA , Tayan ,Kalbar
- 2014	: QC/QA PT Tracon Industri utk Proyek Turn Around MEDCO, Singa Lematang Sumsel
- 2008	: Owner Inspector ,Reformer Tube, Kubota Japan
- 2004 -2008	: Manajer Inspeksi Teknik & K3 & Lingkungan Hidup PT Pusri
- 2002 sd 2017	: Ketua Indocor ( Asosiasi Korosi Indonesia) cabang Sumsel
- 2002 sd sekarang	: Instruktur Pelatihan Korosi di Indocor Pusat (Bandung) dan Palembang
- 2001-2003	: Kadis Inspeksi.Tek PT Pusri
- 1998	: Owner Inspector, Reformer Tube, Wisconsin USA
- 1996	: Owner Inspector Reformer Tube ,Smith & Clement Germany
- 1991	: Owner Inspector,Economizer tube, Manchester UK
- 1981-2001	: Inspektor Pusri

## KOROSI DALAM INDUSTRI

**KOROSI** adalah suatu fenomena terdegradasinya material ke bentuk lain yang tidak bermanfaat . Sebagai contoh besi/ baja diproses dari biji besi dengan reduksi menghasilkan besi ataupun baja yang mempunyai energi tinggi yang akhirnya cenderung menuju energi rendah yaitu dalam bentuk karat  $Fe_2O_3 \cdot xH_2O$  . Korosi tidak bisa dicegah tapi dapat dikendalikan sehingga waktu kembalinya dari energi tinggi ke rendah dapat diperpanjang. Banyak cara atau metoda untuk mengendalikan korosi sesuai tempat dan kondisi material yang dilindungi.

**DERET NERNST ( emf )**

Diukur = - 0,76 mV Zn dalam ZnSO<sub>4</sub>  
 Diukur = + 0,34 mV Cu dalam CuSO<sub>4</sub>  
 Potensial = ( + 0,34 - 0,76 ) mV = 1,10 mV

**DERET NERNST**

Au<sup>3+</sup> = + 1,42  
 Pt<sup>2+</sup> = + 1,20  
 Ag<sup>+</sup> = + 0,80  
 Cu<sup>3+</sup> = + 0,34  
 H<sup>+</sup> = 0,000  
 Pb<sup>2+</sup> = - 0,13  
 Sn<sup>2+</sup> = - 0,14  
 Ni<sup>2+</sup> = - 0,25  
 Cd<sup>2+</sup> = - 0,40  
 Fe<sup>2+</sup> = - 0,43  
 Cr<sup>2+</sup> = - 0,51  
 Zn<sup>2+</sup> = - 0,76  
 Al<sup>3+</sup> = - 1,67  
 Mg<sup>2+</sup> = - 2,34  
 Na<sup>+</sup> = - 2,74  
 K<sup>+</sup> = - 2,92  
 Li<sup>+</sup> = - 3,02

**Katodik**



**Anodik**

**DERET PRAKTIS**

5 CrNi 18-8 ( SS )  
 AISI 410  
 Besi Cor  
 Baja karbon ( CS )  
 Aluminium  
 Cadmium  
 Al. Clod  
 Al3034  
 Seng  
 Paduan Mg  
 Mg

Contoh ANODA - KATODA

KONDISI	ANODA	KATODA
Logam benda Fe- Cu	Fe	Cu
Logam benda Zn - Fe	Zn	Fe
Fasa Berbeda ; Fe:C		Fe <sub>3</sub> C
Suhu	Panas	Dingin
Tegangan	Tegang	Rileks
Butiran Logam	Halus	Kasar
Kadar O <sub>2</sub>	Rendah	Tinggi

## BEBERAPA TIPE KOROSI DALAM INDUSTRI

1. Korosi Merata ( General Corrosion )
2. Korosi Sumur ( Pitting Corrosion )
3. Korosi Celah ( Crevice Corrosion )
4. Korosi Gesek ( Fretting Corrosion )
5. Korosi Pengembunan ( Dew Point Corrosion )
6. Korosi Batas Butir ( Intergranular Corrosion )
7. Korosi Retak Tegang ( Stress Corrosion Cracking, SCC )
8. Korosi Penggetasan Hidrogen ( Hidrogen Embrittlement )
9. Korosi Erosi ( Erosion Corrosion )
10. DII ( Korosi Galvanic, Kavitas, Temperatur tinggi, Lelah )

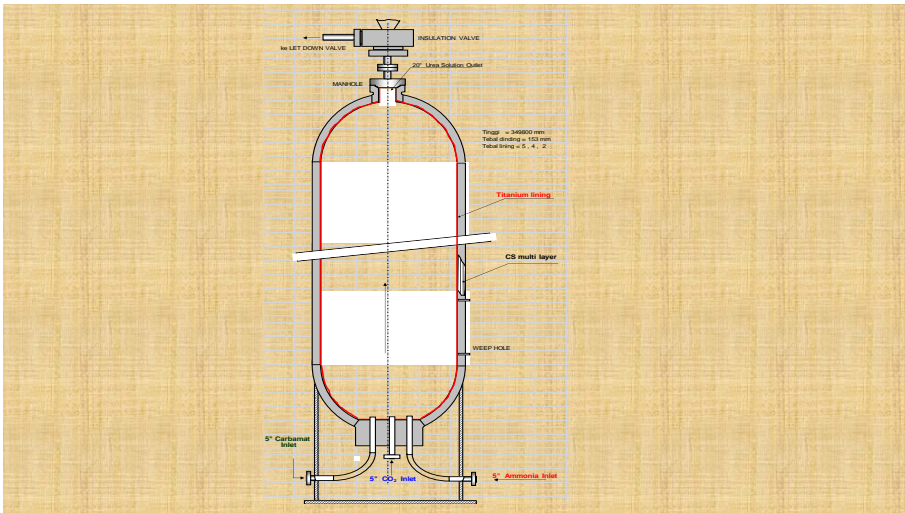
## 1. Korosi Merata ( General Corrosion)

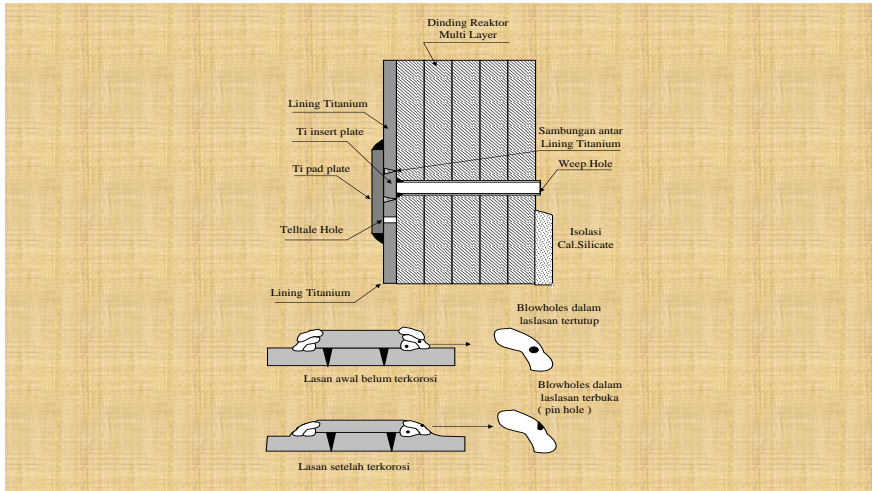
1. Pada tipe korosi merata umumnya logam mengalami korosi dengan laju yang hampir merata diseluruh permukaan
2. Secara teknis korosi merata ini tidak terlalu berbahaya karena sejak awal sudah diperhitungkan pada saat desain alat.
3. Pada pemeriksaan berkala jenis korosi ini mudah dideteksi dan umur sisa dapat dihitung mendekati akurat.

### Kasus 1: Korosi Merata ( General Corrosion)

1. Terjadi pada sebuah reaktor Urea dengan material di lapis / lining logam Titanium. Dinding pressure vessel dibuat dari multi layer carbon steel yg tidak tahan korosi urea / karbamat. Rate korosi teoritis Carbamat thd Ti sekitar 0.1 mm/thn, kenyataannya antara 0.1-sd 0.2 mm/thn
2. Bahan pereaksi berupa cairan  $\text{NH}_3$ , gas  $\text{CO}_2$  dan Recycle carbamat masuk melalui bottom reaktor pada tekanan tinggi ( 250 K ) dan temp. tinggi ( 200 °C ), dan produk berupa campuran urea , urea carbamate dan sisa pereaksi keluar dari top reaktor

## REAKTOR UREA PUSRI IV





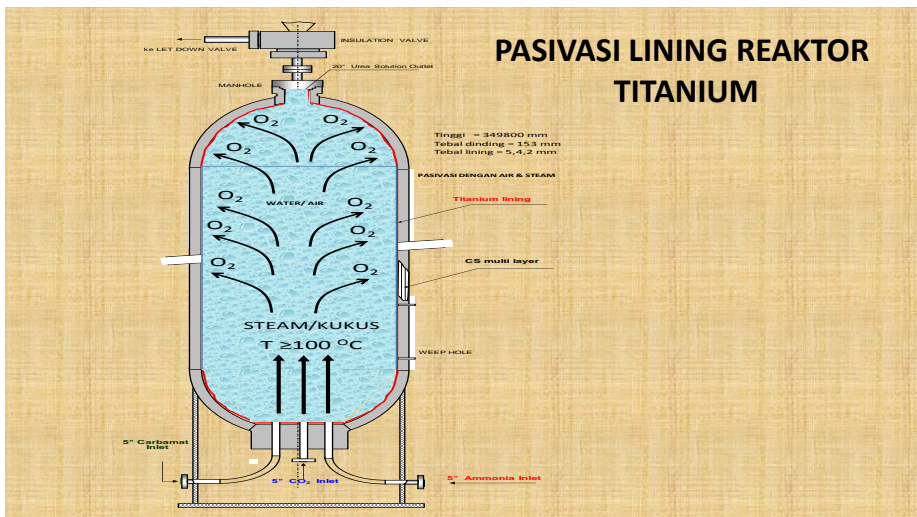
## BAGAIMANA MEMBUAT TITANIUM OKSIDA PADA LINING AGAR REAKTOR AMAN DARI KOROSI CARBAMAT

2. Umpan  $\text{CO}_2$  kedalam reaktor di campur udara ( udara 21%  $\text{O}_2$ ) untuk pembentukan Titanium Oksida selama operasi pabrik.
3. Bila saat Turn Around / TA ada perbaikan besar di lining Titanium, maka perlu dilakukan passivasi dengan air/steam pada temperatur  $\geq 100^\circ\text{C}$ , sebelum reaktor dioperasikan kembali.



## BAGAIMANA MEMBUAT TITANIUM OKSIDA PADA LINING AGAR REAKTOR AMAN DARI KOROSI CARBAMAT

1. Umpan Amoniak /NH<sub>3</sub> ke reaktor urea harus sedikit mengandung H<sub>2</sub> . Sebab bila konsentrasi Hidrogen yang relative tinggi dalam umpan Amoniak, akan menyebabkan terjadi reaksi spontan dengan oksigen, O<sub>2</sub> yang dimasukkan kedalam reaktor bersama CO<sub>2</sub> ( untuk passivasi ) dan dalam reaksi tersebut terjadi pelepasan energi yang dapat membuat tokak tokak kecil di dinding lining Titanium.





### KELARUTAN OKSIGEN DALAM AIR PADA P = 1 atm

<u>T °C</u>	<u>ppm</u>
0	69
20	43
40	31
60	27
80	14
100	1
120	-

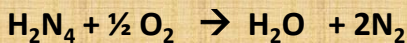
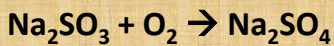
### UPAYA PENGENDALIAN KOROSI MERATA DI REAKTOR TITANIUM

1. Menjaga agar dalam pengelasan lining reaktor tidak terkontaminasi udara sehingga tidak timbul porous porous. Kemurnian Ar shielding = 99,995%
2. Menjaga pasokan udara passivasi secara terus menerus constan, sehingga pembentukan lapisan titanium oksida  $TiO_2$  tetap terjamin (sangat sangat penting)
3. Menjaga kemurnian  $CO_2$  yang masuk reaktor tinggi, dan maksimum hidrogen serendah mungkin (Pusri batas maksimum  $H_2 \leq 4\%$ )

**HAL HAL YANG PERLU DIPERHATIKAN UNTUK  
MENGURANGI EFEK KOROSI MERATA :**

1. Dalam pipa, HE, Vessel, dan peralatan lainnya dengan material carbon steel yang dialiri oleh media proses, diusahakan Oksigen terlarut sekecil mungkin, karena bila oksigen terlarut besar akan mempercepat terjadinya korosi.

Untuk mengurangi konsentrasi oksigen pada air dilakukan dearasi, dengan menambahkan Sulfit ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) atau Hidrazin  $\text{H}_2\text{N}_4$  dengan reaksi sbb:

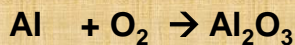
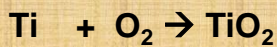
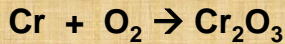


**HAL HAL YANG PERLU DIPERHATIKAN UNTUK  
MENGURANGI EFEK KOROSI MERATA :**

2. Material SS, Ti, Al, tahan terhadap korosi karena terbentuk lapisan oksida dipermukaan. Lapisan  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  utk Stainless Steel, Titanium Oksida,  $\text{TiO}_2$  utk logam Titanium dan Aluminium Oksida,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pada logam Aluminium (pesawat Udara, mobil Landrover). Sebenarnya logam Aluminium yang paling cepat membentuk lapisan oksida, tapi kelemahannya Aluminium murni, tidak tangguh

## HAL HAL YANG PERLU DIPERHATIKAN UNTUK MENGURANGI EFEK KOROSI MERATA :

Maka untuk itu perlu di pasok Oksigen ( udara ) secara kontinu pada daerah yang terjadi korosi ,misalnya vessel, pipa yang dilewati fluida dengan kecepatan tinggi. Terbentuk lapisan film tahan korosi sebagai berikut:

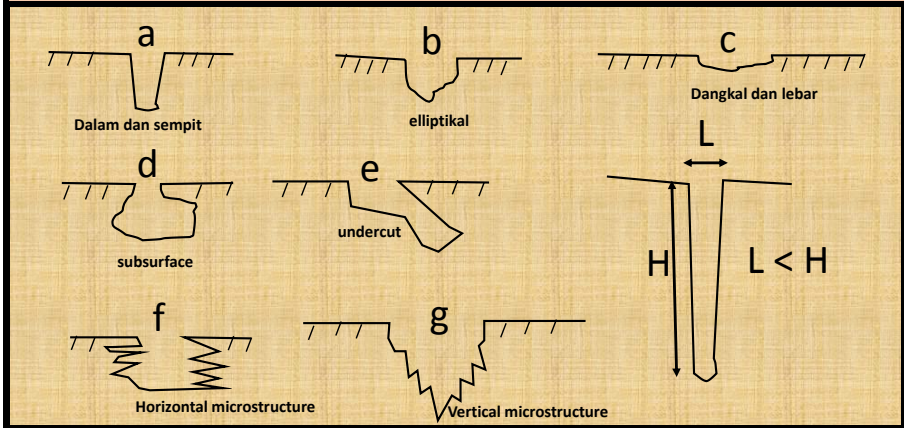


## 2. Korosi Sumur ( Pitting Corrosion)

Korosi sumur ( Pitting Corrosion ) merupakan korosi setempat yang intensif menyerang logam dengan penetrasi yang cepat pada luas permukaan yang sempit. Bentuk<sup>2</sup> sumuran

- a. Dalam dan sempit
- b. Eliptikal
- c. Dangkal dan lebar ( pada saat saat permulaan )
- d. Sub surface
- e. Undercut
- f. Horizontal mikrostruktur      g. Vertical mikrostruktur

## 2. Korosi Sumur ( Pitting Corrosion)



## 2. Korosi Sumur ( Pitting Corrosion)

Umumnya diameter sumuran ini relatif kecil dan tumbuh mengikuti arah gravitasi sehingga lebih berbahaya dari korosi merata. Biasanya *Diameter* sumur lebih kecil dari *kedalam nya* ( $L < H$ ). Dari berbagai kasus kecepatan korosi sumur yang sudah dalam dan miskin oksigen bertambah cepat hampir 10 x dibanding kecepatan korosi mula mula.

## Penyebab Korosi Sumur

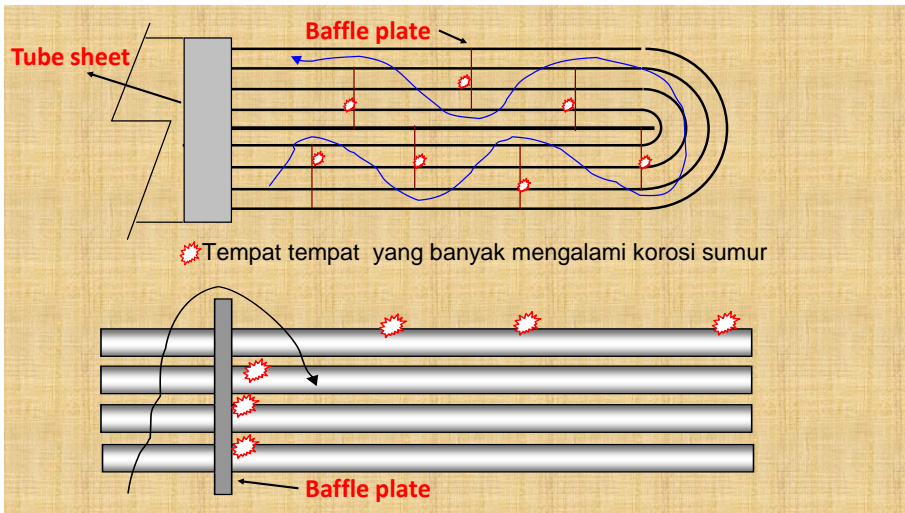
1. Cacat / goresan sejak pembuatan logam yang dilanjutkan dengan adanya genangan atau elektrolit pada permukaan logam
2. Adanya debu, endapan endapan, kotoran yang kontak dengan logam ( Under deposit corrosion )
3. Adanya inklusi logam lain didalam logam induk, seperti slag dan sulfida dalam baja

## Kasus Korosi Sumur ( Pitting Corrosion)

- a. Terjadi pada sebuah heat exchanger tekanan tinggi dan temperatur relatif tinggi, dengan tipe shell yang bisa dicabut dari bundle tube HE.
- b. Air mengalir di sisi shell ( 4 – 6 K ), dan gas proses campuran  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ , Ar, dengan tekanan tinggi ( 150 K ) mengalir di sisi Tube
- c. Korosi terjadi pada sisi luar tube atau pada sisi shell, berupa pitting corrosion







## UPAYA PENGENDALIAN KOROSI SUMUR DI HEAT EXCHANGER

1. Usahakan tidak ada deposit yang menempel pada logam / tube dengan mengaktifkan air rumbung pada periode tertentu atau tidak memperlambat kecepatan air pendingin
  2. Setiap penggantian alat baru agar dilakukan degreasing yang sempurna dan dipassivasi awal dengan sempurna ( high dosis phosphate )
  3. Memakai material yang sesuai dengan fluida yang korosif.
- Note: Pusri sdh ganti material tube dengan stainless steel.



**PERANGKAT AIR RUMBLING**

2004/10/01

**KOMPOSISI MATERIAL YANG MEMPUNYAI KETAHANAN KOROSI YANG CUKUP BAIK**

NO	MATERIAL	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N	W	Cu	Ket
1	NTK R4-UG	0.03 max	1.0	1.0	0.04	0.01	6 - 6.7	24-26	1.2-2	0.12-0.2			
2	DP-12	< 0.03	0.75 max	1.1 max	0.03 max	0.03 max	6.7-7.5 max	24.8 - 26.0	2.5 - 3.2	0.1 - 0.3	0.1 - 0.3	0.1 - 0.3	
3	DP 28W	0.03 max	0.5 max	1.1 max	0.03 max	0.03 max	7.0 - 8.2 max	27 - 27.9	0.8 - 1.2	0.3 - 0.4	2.1 - 2.5		
4	UR-76 N	0.03 max	0.71 max	1.1 max	0.03 max	0.03 max	6.7-7.5 max	24.8 - 26.0	2.5 - 3.2	0.22	0.6	0.6	
5	SAF -2205	0.03 max	0.8 max	1.2 max	0.035 max	0.015 max	5	22	3.2	0.18			
6	SAF-2507	0.03 max	0.8 max	1.2 max	0.035 max	0.015 max	7	25	4	0.3			
7	SS-304	0.08	0.75	2.00	0.04	0.03	8 - 11	18 - 20					
8	SS-304 L	0.035	0.75	2.00	0.04	0.03	8 - 13	18 - 20					
9	SS-304 H	0.04-0.10	0.75	2.00	0.04	0.03	8 - 11	18 - 20					
10	SS-316	0.08	1.00	2.00	0.04	0.03	10-14	16 - 18	2.00-3.00				
11	SS-316 L	0.03	1.00	2.00	0.04	0.03	10-14	16 - 18	2.00-3.00				
12	SS-321	0.08	0.75	2.00	0.04	0.03	9 - 13	17 - 19					Ti 5xC - 0.70
13	SS-347	0.04-0.10	0.75	2.00	0.04	0.03	8 - 13	17 - 20					Nb+Ta 10xC - 1



PRE = Pitting Resistance Equivalent

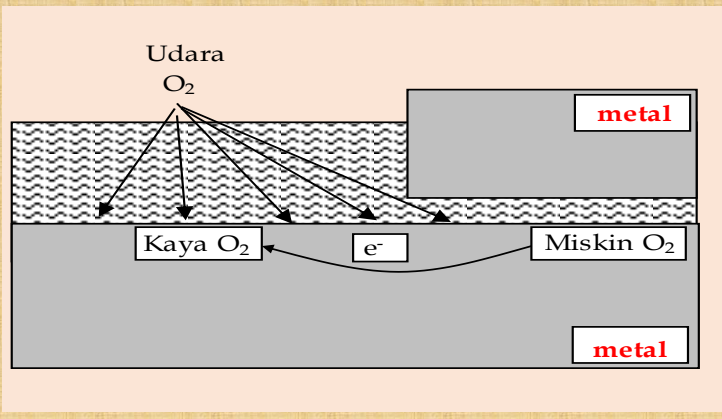
PRE = % Cr + 3.3 x % Mo + 16 x % N

NO	MATERIAL	Cr	Mo	N	PRE
1	NTK R4-UG	25	1.6	1.6	55.88
2	DP-12	25.2	2.9	0.2	37.97
3	DP 28W	27.45	1	0.35	36.35
4	UR-76 N	25.4	2.85	0.22	38.325
5	SAF -2205	22	3.2	0.18	35.44
6	SAF-2507	25	4	0.3	43
7	SS-304	19	0	0	19
8	SS-304 L	19	0	0	19
9	SS-304 H	19	0	0	19
10	SS-316	17	2.5	0	25.25
11	SS-316 L	17	2.5	0	25.25
12	SS-321	18	0	0	18
13	SS-347	18.5	0	0	18.5

### 3.KOROSI CELAH ( CREVICE CORROSION )

1. Korosi ini terjadi pada daerah celahan atau daerah daerah yang tersembunyi pada permukaan logam yang berada dalam lingkungan korosif.
2. Korosi ini terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi oksigen antara daerah celahan dan sekitarnya. Pada celah , miskin  $O_2$  jadi anodik
3. Korosi dapat juga terjadi karena adanya perbedaan ion logam. Pada celah konsentrasi ion logam rendah , jadi anodik

## KOROSI CELAH



## 4.KOROSI GESEK ( FRETTING CORROSION )

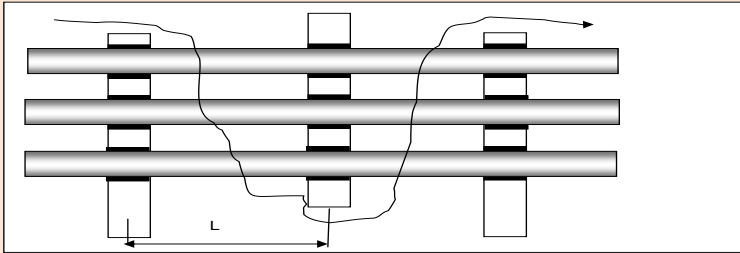
1. Terjadi akibat gesekan material satu dengan lainnya
2. Material yang lebih lembut akan kalah dengan material yang lebih keras
3. Material yang lebih tipis akan lebih terasa akibatnya dari pada material yang lebih tebal

## Kasus Korosi Celah dan Korosi Gesek

1. Sebuah Heat Exchanger yang selalu mengalami kebocoran pada daerah tube sheet akibat adanya beda konsentrasi larutan antara luar dan didalam celah
2. Terjadi gesekan antara tube dengan baffle plate karena:
  - Lubang di baffle plate sudah besar
  - Terjadi vibrasi yang kuat , sehingga terjadi gesekan yang berulang - ulang antara tube dengan baffle plate



## Holes pada baffle plate dan natural vibration penyebab korosi gesek

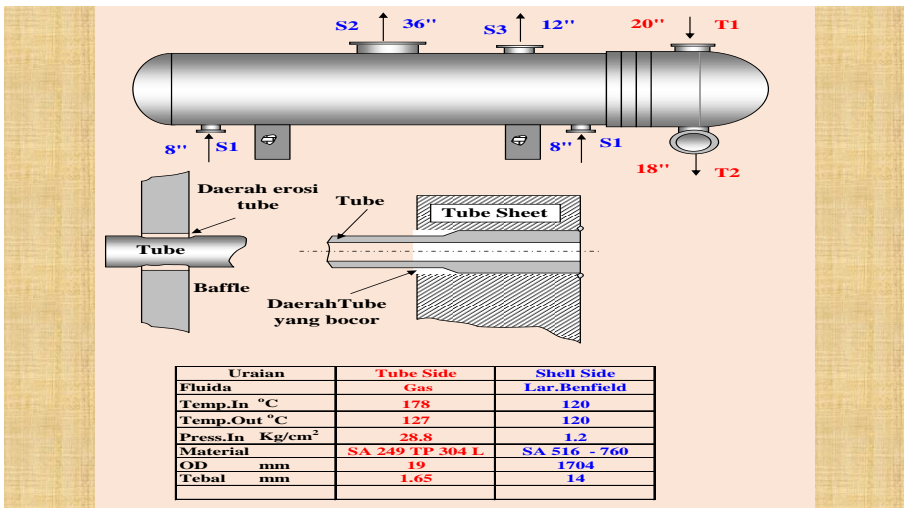


L = Baffle spacing

Keterangan:

Untuk desain HE minimal ada :

1. Perhitungan proses transfer kalor ( Heat Transfer Hand Book )
2. Perhitungan mekanikal ( ASME & TEMA )
3. Penentuan material utk tahan korosi ( Material Hand Book )



## 5.Dew Point Corrosion ( Korosi Pengembunan )

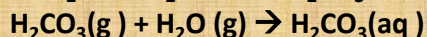
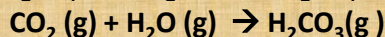
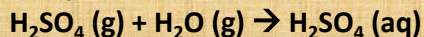
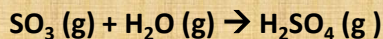
Dew point Corrosion atau sering diterjemahkan dengan Korosi Titik Embun adalah kerusakan akibat gas/ udara yang mengandung gas tertentu mencapai temperatur yang pada saat tersebut tingkat penguapan dan kondensasi sama, pada tekanan tertentu. Korosi jenis ini banyak terjadi di industri perminyakan. Keasaman dibentuk oleh gas buang yang di produksi kilang dan pada saat bergabung dengan air di udara, asam tersebut menjadi cair dan menyerang permukaan logam.

Gas buang umumnya terdiri dari  $\text{SO}_3$ ,  $\text{CO}_2$  dan  $\text{NO}_x$

## 5.Dew Point Corrosion ( Korosi Pengembunan )

1. Terjadi akibat gas gas seperti asam sulfat dan asam karbonat mengembun
2. Korosi ini akan berlangsung cepat bila temperatur gas yang mengandung asam sulfat dan asam karbonat dibawah temperatur embunnya

Reaksi pembentukannya:



## Kasus Dew Point Corrosion

1. Terjadi pada suatu alat pemanfaatan panas gas buang ( Flue gas) dgn bahan bakar gasnya masih mengandung  $\text{SO}_3, \text{CO}_2$ . Sebenarnya gas bumi dari sumur telah dibersihkan dari sulfur, namun sesuai dengan standard kontrak gas bumi ke pembeli , sulfur yang diizinkan dalam gas yang dikirim ke industri masih sekitar 6-10 ppm.
2. Gas buang yang mengalami pendinginan dibawah titik embun, akan mengalami kondensasi sulfur dan mengendap diatas logam , sehingga terjadi korosi.

### REFORMER PABRIK AMONIAK BUATAN KELLOGG







## DEW POINT CORROSION

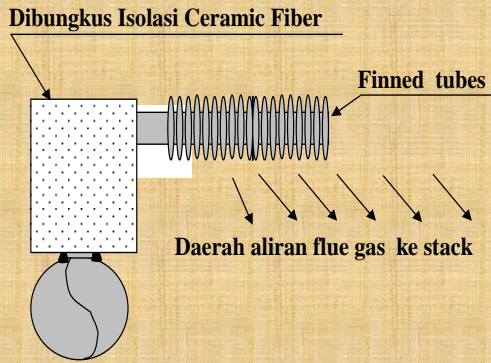


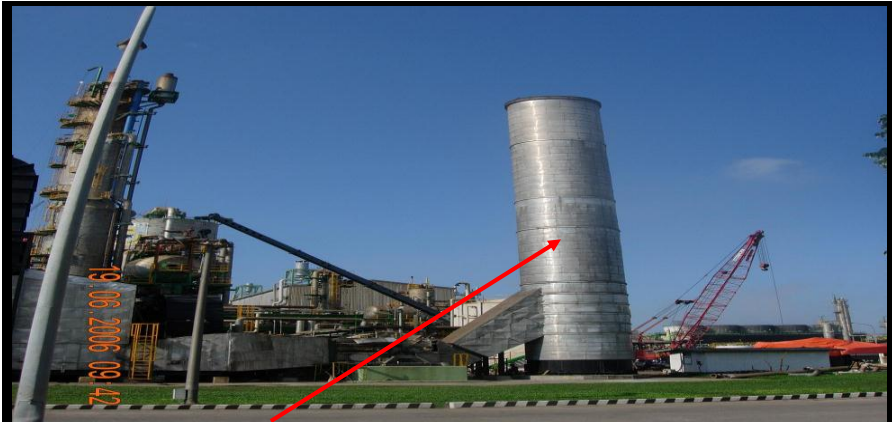
### Upaya Pengendalian Korosi Dew Point

1. Usahakan temperatur gas buang yang mengandung sulfur tidak turun dibawah temperatur kondensasi sulfur sekitar 140-160°C
2. Mengisolasi metal terhadap kontak langsung dgn gas yg mengandung sulfur
3. Mengisolasi alat dari pendinginan luar (mis. stack diisolasi dari terpaan angin)
4. Menambahkan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  kedalam air di scrubber utk menangkap gas gas yang mengandung sulfat



## DEW POINT CORROSION





Stack gas buang Pusri IB diisolasi  
guna mencegah pendinginan ekstrim dari angin

### 6. Korosi Batas Butir (Intergranular Corrosion)

Korosi intergranular juga dikenal dengan nama korosi batas butir adalah serangan korosi pada daerah sepanjang batas butir tanpa serangan yang cukup besar terhadap butirnya sendiri. Adanya serangan korosi pada batas butir menyebabkan butiran menjadi lemah terutama di batas butir sehingga secara keseluruhan logam kehilangan kekuatan dan keuletannya.



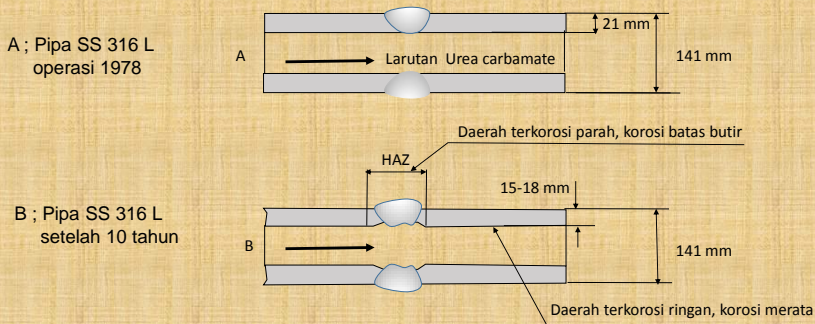
### **6.Korosi Batas Butir (Intergranular Corrosion)**

1. Korosi ini biasanya terjadi pada baja tahan karat akibat perlakuan panas diatas 425 °C.
2. Pada pengelasan baja tahan karat  $T \gg \gg$  akan terbentuk  $Cr_{23}C_6$  yaitu karbida khrom dibatas butir. Sifat Karbida Chrom getas dan cepat terlepas dari logam induk. Daerah yang memasok khrom (HAZ) akan ke kurangan khrom sehingga tidak tahan terhadap korosi larutan yang korosif
3. Pada peralatan yang bekerja dengan temperatur 500-800 °C juga mudah terbentuk karbida khrom

### **Kasus Korosi Batas Butir (Intergranular Corrosion)**

Kasus ini terjadi pada pipa Urea Karbamat yang terkorosi pada seluruh las lasan sambungan pipa. Kejadian diawali pada pipa urea karbamat Pusri III yang bocor pada las lasan. Kemudian dilakukan pemeriksaan pada pipa yang sama di Pusri II dan di Pusri IV. Kondisi pipa di Pusri IV sama dengan Pusri III ( operasi mulai 1977 & 1978 ) . Sedangkan di Pusri II ( operasi 1974) tidak terdapat korosi batas butir di las lasan.

## Kasus Korosi Batas Butir (Intergranular Corrosion)



## Upaya Pengendalian Korosi Antar Butir

1. Lakukan Solution Annealing pada las lasan guna melarutkan kembali karbida.
2. Lakukan pengelasan dengan kawat las Chrom tinggi , (diatas kandungan chrom base metal ).
3. Memakai material baja tahan karat low carbon, 0.03% C ( 304 L, 316 L )

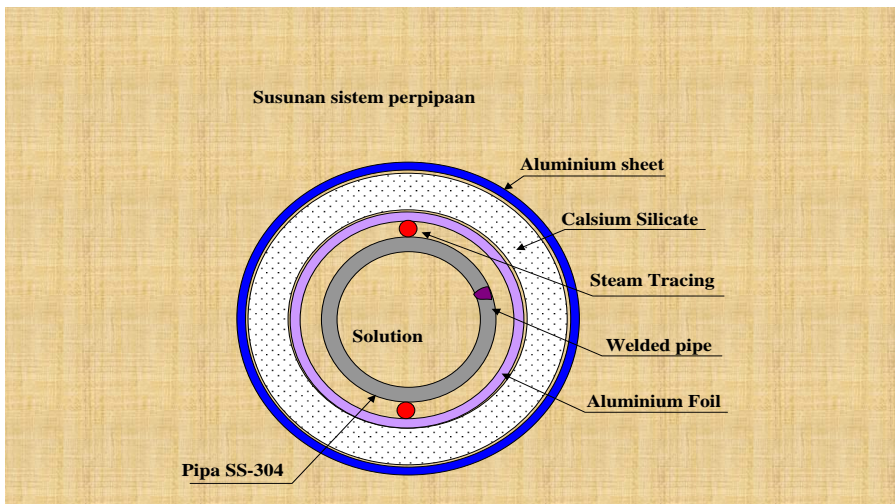
## 7. Korosi Retak Tegang ( Stress Corrosion Cracking, SCC )

1. Terjadi akibat adanya aksi gabungan antara tegangan statis dengan lingkungan yang korosif ( tertentu )
2. Tegangan statis bisa merupakan tegangan sisa, atau/ dan tegangan dari luar
3. Permulaan crack bisa berawal dari korosi sumur dan berkembang. Umumnya terjadi pada batas butir
4. Kejadiannya sulit diprediksi karena bisa terjadi antara beberapa jam sampai beberapa tahun.

Daftar bahan yang dapat menyebabkan SCC pada logam tertentu	
Alloy	Environment
Aluminium Base	- Sea Water    - Salt and chemical combination
Magnesium Base	- Nitrit Acid    - HF Solution                      - Coastal Atmospheres - Caustic        - Salts
Copper Base	- Primarily ammonia and NH <sub>4</sub> OH    - Mercury - Amines                                      - Sulfur Dioxide
Carbon Steel	- Caustic    - Nitrate solutions - Anhydrous Ammonia                      - Carbonate/ bicarbonate
Martensitic and Precipitation Hardening Stainless Steel	- Chlorides                      - Sea Water                      - H <sub>2</sub> S Solutions
Austenitic Stainless Steels	- Chlorides- inorganic and organic    - Sulfurous and polythionic acids - Caustic Solutions
Nickel base	- Caustic above 315 °C                      - Hydrofluoric Acid - Fused Caustic
Titanium	- Liquid Nitrogen tetroxide    - Salt Atmospheres                      - Methanol - Sea Water                                      - Fused Salt
Tantalum	- Hydrogen Embrittlement

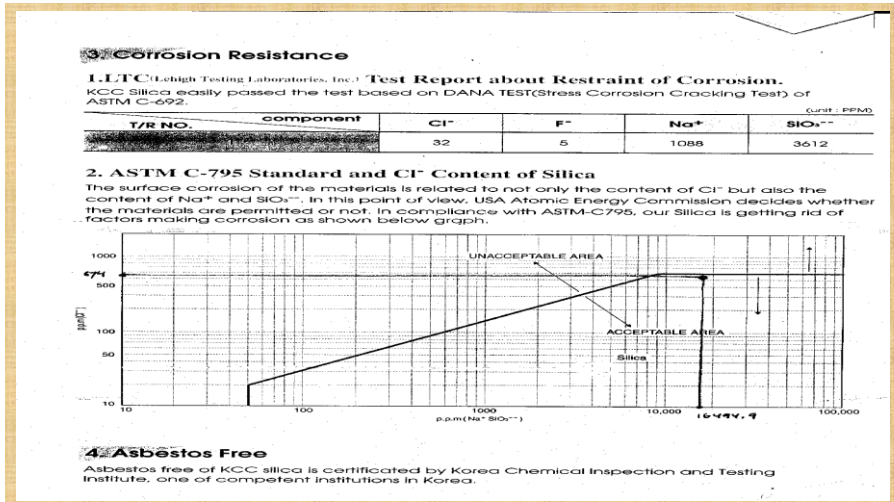
## Kasus 1: SCC

1. Terjadi pada pipa larutan urea yang dibuat dari material SS 304 Welded
2. Terjadi SCC dari sisi luar pipa karena adanya  $\text{Cl}^-$  dari isolasi Calcium Silicate
3. Syarat terjadinya SCC terpenuhi dengan:
  - Tegangan statis berasal dari tegangan sisa pembuatan pipa (welded)
  - Lingkungan mengandung Chlor yang berasal dari isolasi yang terlarut oleh bocoran steam tracing.
4. Dipasang thn 1976, rusak krn SCC thn 1995



## Upaya Pengendalian Stress Corrosion Cracking

1. Meminimalkan adanya tegangan sisa dengan stress release
2. Mengisolasi material dari lingkungan yang dapat menyebabkan SCC ( lihat daftar )
3. Mensyaratkan isolasi jenis calsium silicate dengan chlor rendah
4. Menghindari timbulnya tegangan eksternal bila lingkungan tdk bisa diisolasi dari lingkungan luar.





## 8. Korosi Hydrogen Embrittlement

Korosi penggetasan hidrogen adalah suatu proses hilangnya daktilitas / elastisitas baja akibat difusi hidrogen kedalam struktur material baja. Akibatnya baja kehilangan kekuatan dalam menerima beban. Pada kasus kasus korosi ada 2 jenis kerusakan akibat penggetasan hidrogen ini yaitu:

a. Embrittlement internal ( Penggetasan Internal )

Keadaan ini terjadi akibat difusi terus menerus hidrogen kedalam struktur baja yang akan menyebabkan peralatan fail. Untuk menghitung jumlah difusi ini ada 3 factor yaitu: Tekanan partial Hidrogen, T, Material yang dilalui .

## 8. Korosi Hydrogen Embrittlement

Salah satu contoh difusi hidrogen kedalam struktur baja dalam industri adalah didalam Reaktor Amoniak atau di pabrik amoniak sering disebut dengan Ammonia Converter .

Dalam reaktor yang bertekanan lebih dari 100 KG dan temperatur yang cukup tinggi ,hidrogen yang bersama  $N_2$  yg merupakan bahan baku pembentukan  $NH_3$  akan berdifusi melalui dinding reaktor ke udara bebas. Di ammonia converter ini dilengkapi dengan weep hole yang ujungnya dicelupkan kedalam larutan metyl red. Untuk mengetahui apakah dinding reaktor sudah dalam keadaan kritis akibat difusi internal  $H_2$  maka jumlah gelembung dalam satu weep hole dihitung dan --



## **8. Korosi Hydrogen Embrittlement**

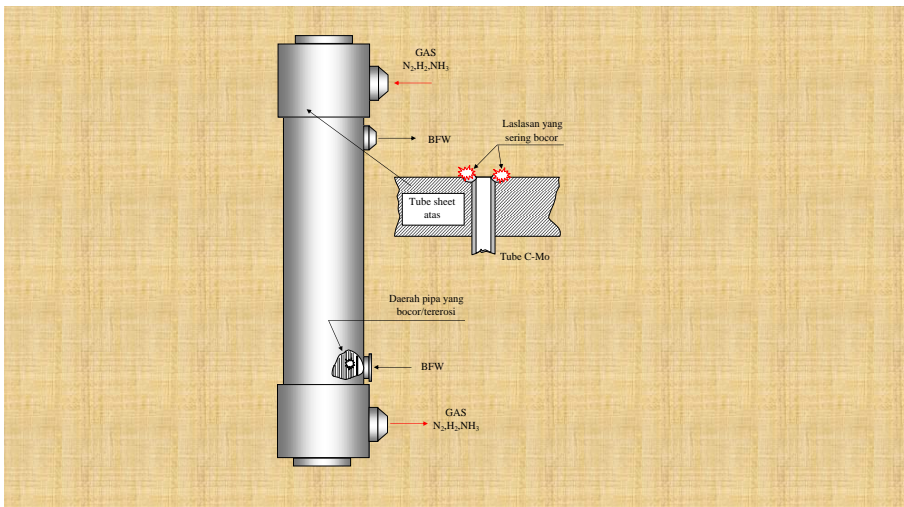
Contoh kasus adalah peralatan baja gagal di las. Pada perbaikan internal part reaktor amoniak pernah ditemukan kondisi ini. Saat akan menyambung bagian satu yang baru dengan bagian lainnya yang lama, maka setelah di periksa dengan dye penetrant test selalu gagal, ternyata bagian lama yang terpapar hidrogen sudah rapuh. Untuk penanggulangannya dilakukan pembuangan bagian luar baja yang rapuh dan baru kemudian di las ulang yang hasilnya baik.

## **8. Korosi Hydrogen Embrittlement**

- 1. Terjadi akibat penetrasi / difusi atom hidrogen ke dalam metal**
- 2. Terjadi kerapuhan material akibatnya metal tidak dapat menahan tekanan kerja**
- 3. Umumnya terjadi bila konsentrasi hidrogen tinggi dan temperatur operasi juga tinggi.**

## Kasus Korosi Hydrogen Embrittlement

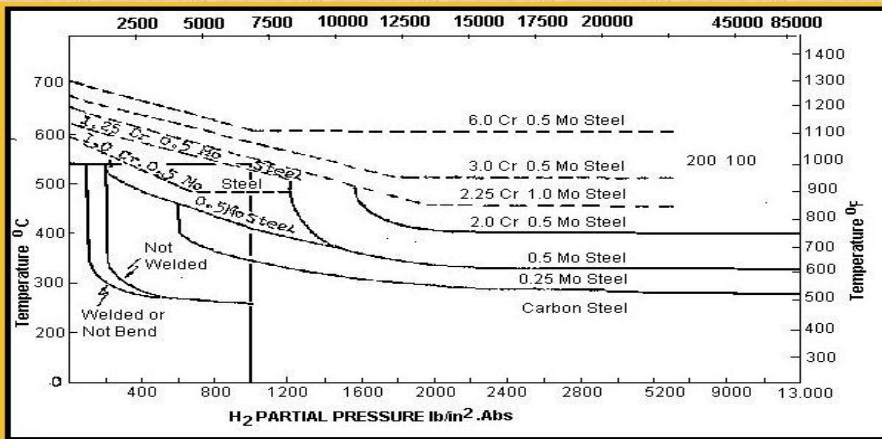
1. Terjadi pada suatu Heat Exchanger dgn gas mengandung  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $NH_3$  tekanan 140 K, temperatur  $460^\circ C$  disisi tube dan air umpan boiler tekanan 105 K disisi shell.
2. Material tube sheet adalah baja carbon moly. Terjadi kerapuhan pada las lasan antara tube dengan tube sheet, yang menyebabkan kebocoran di tube sheet.



## Upaya Pengendalian Korosi Hidrogen Embrittlement

1. Meminimalkan pengaruh hidrogen terhadap metal dengan memilih material yang tepat berdasarkan curva Nelson
2. Dengan menaikkan kandungan chrom material, maka ketahanan material terhadap pengaruh hidrogen embrittlement semakin kecil

NELSON CURVE



## **9. Korosi Erosi ( Erosion Corrosion )**

- 1. Korosi erosi adalah percepatan korosi karena adanya aliran fluida yang bersifat korosif pada permukaan logam**
- 2. Aliran yang sangat cepat seperti fluida dalam pipa , akan menimbulkan keausan atau abrasi**
- 3. Logam yang tererosi terlepas secara mekanik maupun sebagai ion karena adanya reaksi kimia**

### **Kasus : Korosi Erosi pada pompa slurry PT ICA**

- 1. Terjadi pada pompa slurry di PT Indonesia Chemical Alumina ( PT ICA ) Tayan, Kalbar**
- 2. Slurry adalah campuran tanah , pasir dan bauksit yang dilarutkan dengan NaOH ( komposisi tanah yg mengandung bauksit adalah 25% pasir, 45% Alumina, sisanya tanah )**
- 3. Umur pompa antara 3 sd 5 bulan.**
- 4. Beda kekerasan antara pasir dan material pompa cukup besar**
- 5. Pompa yang tererosi umumnya sebelum alat Sand Catcher**

## Feeder tanah Bauxit ke pabrik Alumina



## Pabrik Alumina PT ICA Tayan Kalbar



## Posisi Sand Catcher





### **POMPA SLURRY YANG TER EROSI PARAH**



### **POMPA SLURRY YANG TER EROSI PARAH**



**Tidak layak utk diperbaiki, langsung diganti pompa baru**



## **Upaya Pengendalian Korosi Erosi**

- 1. Menghitung kembali kecepatan linier fluida pada perpipaan ( efek turbulensi )**
- 2. Menghindari tumbukan aliran yang frontal oleh fluida ( impingement attack )**
- 3. Mengusahakan excess penetration laslasan sekecil mungkin.**
- 4. Memilih material yang tahan erosi . Misal Zirconium tdk tahan terhadap aliran fluida air pada tekanan tinggi**



**Terima Kasih**