

Buku (Editor)

by Erma Yulia

Submission date: 12-Jun-2023 09:46AM (UTC+0700)

Submission ID: 2114072617

File name: Buku_2022_editor.pdf (1.7M)

Word count: 29535

Character count: 185061

**MODUL
BAHAN AJAR KOROSI DAN
PELAPISAN LOGAM**

Dr. Saut Purba, M.Pd.

Binsar Maruli Tua Pakpahan, S.T., M.Eng.

Ferry Indra Sinaga, S.T., M.T.

DEWA
PUBLISHING

PENERBIT CV. DEWA PUBLISHING

MODUL BAHAN AJAR KOROSI DAN PELAPISAN LOGAM

ISBN : 978-623-8016-23-5

Penulis : Dr. Saut Purba, M.Pd.
Binsar Maruli Tua Pakpahan, S.T., M.Eng.
Ferry Indra Sinaga, S.T., M.T.

Editor : Dr. Ir. Erma Yulia, M.T.
Kisno, M.Pd.

Desain Cover : Redaksi Dewa Publishing

Layout : Irsyadul Mubin

15,5 cm x 23 cm

215 Halaman

Cetakan Pertama, Oktober 2022

Penerbit CV. Dewa Publishing

Redaksi:

Desa Kalianyar RT 003/RW 002, Kec. Ngronggot,
Kab. Nganjuk, Jawa Timur

Email : publishingdewa@gmail.com

Website : www.dewapublishing.com

Phone : 0819-1810-0313

Anggota IKAPI 341/ JTI/ 2022

@Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Dilarang memperbanyak, mencetak atau menerbitkan sebagian isi
atau seluruh buku dengan cara apapun juga tanpa seizin editor
dan penerbit.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	iii
KATA PENGANTAR	iv
MODULE 1 PENGANTAR KOROSI	1
1.1. Pengertian Korosi : Apa itu Korosi?.....	1
1.2. Jenis Jenis Korosi	3
1.3. Korosi pada Temperatur Tinggi	10
1.4. Rasio Palling Bedworth.....	14
1.5. Material temperatur tinggi.....	20
1.6. Korosi pada panas paduan logam	25
1.7. Dampak Akibat Korosi.....	27
MODULE 2 FAKTOR PENYEBAB KOROSI	33
2.1 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Korosi	34
2.2 Reaksi korosi berdasarkan mekanisme elektrokimia	36
2.3 Lingkungan korosi	37
MODULE 3 PENGENDALIAN KOROSI	40
A. Prinsip-Prinsip Pengendalian Korosi	40
3.1. Pengendalian korosi dengan pelapisan permukaan.	41
3.2. Pengendalian Korosi dengan Mengubah Jenis Logam dengan Desain.....	42
3.3. Pengendalian Korosi dengan Mengubah Media Korosif..	45
3.4. Pengendalian Korosi dengan Cara Mengubah Potensial Logam/Media Korosif.....	45
3.5. Pengendalian Korosi melalui Perancangan	48
3.6. Pengendalian Korosi Melalui Perubahan Lingkungan... 48	
B. Pengendalian Korosi Dengan Lapisan Penghalang	52
MODULE 4 TERMODINAMIKA KOROSI	59
4.1. Keseimbangan Elektroda dan Persamaan Nernst	60
4.2. Diagram E – pH.....	62

4.3	Reaksi Kesetimbangan	65
4.4	Kinetika Korosi.....	73
4.5	Inhibitor	79
MODULE 5 PELAPISAN		92
5.1	Konsep Pelapisan.....	92
5.2	Tujuan dan Jenis Pelapisan Logam.....	93
5.3	Pekerjaan Pendahuluan Untuk Proses Pelapisan	94
5.4	Pembersihan dengan asam sulfat	114
5.5	Pembersihan dengan asam klorida.....	116
5.6	Macam-Macam Pelapisan Logam	117
5.7	4 Pelapisan Logam Ditinjau Dari Sifat Elektrokimia Bahan Pelapis	120
5.8	Metode Pelapisan Logam	122
5.9	Prinsip Dasar Pelapisan Dengan Cara Listrik (<i>Electroplating</i>).....	134
5.10	Pelapisan Seng yang Dikonversikan Kromat	146
5.11	Masalah yang Terjadi pada Lapisan Seng	159
5.12	Pelapisan Chromate	162
5.13	Pelapisan Dengan Tembaga.....	163
5.14	Pelapisan Perak (<i>Silver</i>).....	164
5.15	Lapisan Kuningan (Brass)	183
MODUL 6 PROTEKSI KATODIK DAN ANODIK.....		198
6.1	Larutan Elektrolit Pelapisan.....	198
6.2	Anoda (Elektroda Positif).....	200
6.3	Menggunakan perlindungan katode.....	203
RANGKUMAN.....		204
DAFTAR PUSTAKA		215

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa telah memberikan rahmatNya sehingga modul korosi dan teknik pelapisan logam dapat diselesaikan dengan sebaik baiknya. Modul korosi ini dan Teknik Pelapisan ini dibuat sebagai pedoman dalam melakukan kegiatan belajar mengajar modul ini diharapkan membantu pendidik (dosen/guru) pada setiap topik tidak ditetapkan tidak disiapkan latihan untuk memperdalam pemahaman mahasiswa mengenai materi yang dibahas Tim penyusun yakin bahwa pembuatan modul ini masih kurang sempurna oleh karna itu tim penyusun mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk penyempurnaan modul ini dimasa yang akan datang
Akhir kata penyusun mengucapkan banyak terimakasih kepada semua yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Medan, Juli 2022

Tim penyusun

MODULE 1

PENGANTAR KOROSI

Setelah mempelajari modul ini anda diharapkan dapat memahami pengetahuan konsep korosi, jenis korosi, dampak akibat korosi, anda diharapkan dapat:

1. Menjelaskan konsep korosi
2. Menjelaskan dampak akibat korosi
3. Menjelaskan jenis korosi

Konsep korosi

1.1. Pengertian Korosi : Apa itu Korosi?

Korosi adalah sesuatu yang teramat berbahaya, baik secara langsung ataupun tidak langsung. Pada bidang industri minyak dan juga gas, proses dari korosi adalah terjadinya suatu masalah yang penting dan perlu diperhatikan karena terjadi suatu dampak akibat dari korosi yang demikian cukup besar. Contohnya pada bidang industri minyak dan juga gas melalui pengeboran menuju platform proses, maka dapat menimbulkan kerusakan (damage) dan kebocoran yang terjadi melalui pipa tersebut.

Korosi dapat terjadi Karena Logam kontak /bersentuhan/berhubungan dengan lingkungan sekitarnya. Bila suatu plat baja dibiarkan pada udara terbuka akan mengalami korosi. Udara mengandung oksigen, sehingga memungkinkan

mengalami reaksi reduksi oksigen. Logam akan selalu berusaha menyesuaikan diri lingkungannya untuk mencapai kestabilan, sehingga dalam udara terbuka akan melepaskan electron dan electron tersebut ditangkap dan bereaksi dengan uap air (reduksi oksigen).

Dampak yang terdapat di Korosi secara langsung ialah membutuhkan biaya dalam mengganti material-material logam ataupun alat-alat yang dapat mengakibatkan korosi. Jika pengerjaan dalam penggantian material terkorosi, biaya dalam pengendalian korosi dan biaya tambahannya membua konstruksi melalui logam yang lebih tebal.

Hal tersebut dapat berdampak secara tidak langsung, dimana korosi dapat mengakibatkan terjadi suatu kerugian misalnya penyediaan gas dapat terhenti, image suatu perusahaan dapat menurun, nilai dari suatu saham menjadi turun dan juga dapat menghasilkan safety yang rendah.

Menurut ahli Trethewey dan Chamberlain (1991) bahwa korosi merupakan penurunan mutu logam akibat dari adanya reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Lingkungan demikian berupa air, gas, udara, larutan asam, dan lain-lainnya.

Korosi terjadi pada lingkungan cair dan dapat pula gas asalkan terjadi oksidasi dengan penguraian logam anodic dan reduksi pada katodik. (Sato, 1990). Ada juga pendapat (NACE, 2002), Korosi adalah penurunan kualitas material, khususnya logam karena reaksi dengan lingkungan.

Korosi dapat dikatakan kerusakan material karena bukan murni mekanik. Dikatakan bukan murni mekanik karena bisa dilihat logam-logam yang dibiarkan begitu saja di udara terbuka dapat mengalami korosi. Hal ini disebabkan karena adanya reaksi antara logam tersebut dengan lingkungannya, dalam hal ini udara terbuka. Oleh karenanya ada tiga aspek dari korosi yaitu: material, reaksi, dan lingkungan. Ketiga aspek ini menunjukkan bahwa apabila kita membahas korosi tidak akan pernah lepas dari aspek tersebut, masing-masing aspek memiliki potensial yang memicu terjadinya korosi.

1.2. Jenis Jenis Korosi

Berdasarkan pendapat yang dikemukakan oleh Halwan Jaya dkk bahwa korosi mempunyai berbagai macam bentuk. Bentuk dari setiap korosi mempunyai karakteristik dan juga mekanismenya yang berbeda-beda. Jenis atau macam-macam korosi tersebut adalah sebagai berikut.

1. Korosi Merata (Uniform Corrosion)

Korosi yang terjadi secara bersamaan dan menyeluruh pada permukaan logam diidentifikasi sebagai korosi merata. Hal ini dikarenakan adanya reaksi dengan lingkungannya.

Korosi merata merupakan bentuk dari korosi yang biasanya terjadi. Korosi merata ditandai dengan adanya reaksi kimia atau elektrokimia pada permukaan

bereaksi. Dampaknya dapat terlihat misalnya logam menjadi tipis dan akhirnya terjadi kegagalan pada logam tersebut. Sebuah plat besi akan menunjukkan pada dasarnya tingkat pengkaratannya adalah sama di seluruh permukaan luar dari plat besi tersebut. Korosi jenis ini terlihat pada permukaan yang secara menyeluruh terkorosi akibat terekspos dengan lingkungannya. Lingkungan tersebut, yaitu : Uap air, kelembaban udara, pH, dan lainnya.

Korosi merata juga keadaan kerusakan yang besar pada material. Namun, korosi merata kurang diperhatikan karena bergantung dari umur suatu peralatan dan dapat diperkirakan secara akurat dengan pengujian yang lebih sederhana. Adapun bentuk atau cara mencegah terjadinya korosi merata adalah pelapisan inhibitor dan juga proteksi katodik.

2. Korosi Galvanik

Korosi ini terjadi karena dua logam yang memiliki potensial elektrokimia berbeda berada berdekatan. Hal ini akan mengakibatkan logam yang lebih anodik terkorosi dan sebaliknya yang lebih katodik akan terlindungi. Perbedaan yang potensial dan sering terjadi diantara kedua logam yang berbeda, pada saat keduanya di celupkan dari larutan korosif. Saat

logam itu berkontak, terjadi sesuatu perbedaan potensial yang dapat menghasilkan aliran elektron. Elektron tersebut mengalir dari logam yang kurang mulia (anodik) ke metal yang lebih mulia (katodik).

Akibatnya pada metal yang kurang mulia dapat berubah ke ionion yang lebih positif karena mampu kehilangan elektron. Ion-ion positif metal dapat beraksi dengan ionion negatif yang terdapat di dalam elektrolit menjadi garam metal. Karena peristiwa demikian permukaan anoda dapat kehilangan metal.

Korosi akan menyerang logam yang ketahanan-korosinya lebih rendah dan serangan pada logam yang lebih tahan-korosi akan lebih sedikit. Logam yang terserang korosi akan menjadi anoda dan logam yang lebih tahan terhadap serangan korosi akan menjadi katoda. Biasanya logam yang katodik akan terserang sedikit bahkan tidak terjadi korosi ketika kedua logam tersebut disambungkan. Jenis korosi ini disebut korosi galvanik.

3. Korosi Celah (Crevice Corrosion)

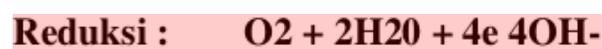
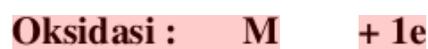
Bentuk dari korosi yang ketika terdapat celah akibat penggabungan atau suatu penyatuan dua logam yang sama mempunyai kadar oksigen yang berbeda dengan bagian luarnya. Jenis dari korosi tersebut pada

umumnya disebabkan oleh lubang yang kecil, dan celah-celah di bawah kepala baut dan pakunya keling.

1
Crevice corrosion memiliki sifat :

- a. Tidak tampak dari luar dan sangat merusak konstruksi
- b. Sering terjadi pada sambungan kurang kedap

Hal ini disebabkan oleh, lubang, gasket, lap joint, kotoran/endapan. Reaksi dari korosi ini :



Dari reaksi diatas ion electron (e^{-}) yang dihasilkan dalam reaksi oksidasi akan digunakan oleh oksigen (O_2) untuk mereduksi air (H_2O) untuk menjadi ion OH^{-} . Dengan kata lain bahwa ion hidroksil (OH^{-}) dihasilkan pada setiap pembentukan ion logam M^{+} . Karena tempatnya atau celahnya terbatas maka reaksi reduksi dari oksigen pada daerah tersebut habis sedangkan metal M terus bereaksi

Kecenderungan pembentukan ion M^{+} ini kemudian disetimbangkan oleh adanya ion klorida atau Cl^{-} yang terdapat pada celah tersebut. Hasil reaksi dari kedua ion tersebut akan meningkatkan konsentrasi dari metal klorida atau MCl .

Dari reaksi diatas didapat HCl yang berubah ion H^{+}

atau Cl^- yang dapat meningkatkan laju penghancuran metal didalam celah. Laju korosi didalam celah tersebut sangat cepat dan bersifat auto katalik karena adanya ion H^+ dan Cl^-

Hal ini dapat dicegah dengan :

1. Penggunaan sistem sambungan butt joint dengan pengelasan dibanding dengan sambungan keling untuk peralatan peralatan baru
2. Celah sambungan ditutup dengan pengelasan menerus atau dengan soldering
3. Peralatan-peralatan harus diperiksa dan dibersihkan secara teratur, terutama pada sambungan yang rawan
4. Hindari pemakaian packing yang bersifat higroskopis
5. Penggunaan gasket dan absorbent seperti teflon jika memungkinkan
6. Pada desain saluran drainase, hindari adanya lengkungan – lengkungan tajam serta daerah genangan fluida.

4. Korosi Sumuran

Korosi sumuran merupakan bentuk dari adanya serangan korosi yang sangat lokal kemudian menyerang suatu daerah tertentu yang mengakibatkan adanya lubang dalam logam. Kemudian lubang yang berdiameter kecil ataupun besar, dalam banyak kasus lubang tersebut relatif

kecil. Lubang yang terisolasi ataupun terkadang terlihat misalnya permukaan yang kasar. Pits umumnya bisa digambarkan.

Sebagai rongga atau lubang berdiameter permukaan kurang-lebih sama ataupun kurang dari kedalaman. Korosi sumuran adalah bentuk dari suatu korosi yang paling mudah merusak dan juga berbahaya. Hal tersebut menyebabkan suatu peralatan dapat gagal karena dengan terjadinya suatu penurunan massa yang sedikit saja dapat mengakibatkan terjadinya suatu lubang, maka kegagalan dapat juga terjadi dengan mudah. Terkadang sulit dalam mendeteksi pit karena ukurannya yang kecil dan juga pada arena lubang-lubang tersebut dapat tertutup oleh produksi korosi.

3 5. Korosi Erosi

Korosi Erosi adalah suatu korosi yang terjadi karena tingkat percepatan kerusakan atau serangan pada logam dari gerakan relatif antara cairan korosif dan permukaan logam. Biasanya gerakan tersebut cukup cepat, dan ikut serta dengan abrasi. Logam yang berada di permukaan tersebut kemudian berubah ke ion terlarut atau bentuk produk korosi yang padat.

Terkadang juga dipengaruhi dari lingkungan yang mengurangi laju korosi, khususnya pada saat terjadi

serangan logam dalam kondisi tergenang, tapi tidak dapat disebut dengan erosi corrosion karena terjadi suatu kerusakan tidak bertambah. Bentuk fisik dari korosi erosi dapat ditandai dalam suatu penampilannya berupa alur, parit, gelombanang, lubang bulat, lembah- lembah, dan juga dapat menunjukkan pola arah.

6. Korosi Tegangan

Gaya-gaya mekanis misalnya dari tarikan atau kompresi berpengaruh sangat kecil pada proses pengkaratan di bagian metal yang sama jika ditinjau dari laju pengkaratan dalam mil pertahun. Namun, ketika itu merupakan bagian kombinasi antara tensile stress dan lingkungan yang korosif, maka kondisi tersebut merupakan salah satu dari penyebab utama dalam kegagalan material. Kegiatan tersebut dapat berupa retakan yang biasa disebut dengan korosi tegangan. jenis serangan yang dapat berkarat terjadi sangat cepat, dalam ukuran menit, yaitu ketika seluruh persyaratan dapat terjadi karat regangan (tegangan) ini telah terpenuhi pada saat tertentu yakni adanya suatu regangan internal dan tercipta ketika kondisi korosif yang berhubungan dengan konsentrasi zat karat (corrodent) dan juga suhu lingkungan.

1.3. Korosi pada Temperatur Tinggi

Andaikan pikiran semua orang besar di dunia digabung menjadi satu, dan biarkan gabungan yang dahsyat ini meregangkan syaraf sampai batas kemampuannya; biarkan bumi dan langit dijelajahnya; biarkan setiap bukit dan ngarai ditelusurinya; yang akan diketemukan hanyalah penyebab makin beratnya logam yang teroksidasi di udara.

(Jean Rey: 1630)

⁷ Korosi temperature tinggi didefinisikan sebagai proses degradasi atau penurunan mutu material, termasuk degradasi sifat-sifat mekanisnya yang disebabkan oleh adanya pengaruh atmosfer pada tempertur tinggi. Tempertur tinggi memiliki pengertian bahwa air dalam fasa gas, atmosfer tidak mengandung air. Temperatur dimana terjadi difusi atom yang memberikan pengaruh yang besar dan temperaturnya diestimasi dengan $0,5 T_m$ (T_m = temperature melting, Kelvin). Temperature terjadinya oksidasi besi/baja dengan cepat, yaitu di atas 570 celcius.

Temperature tinggi memberikan pengaruh ganda terhadap degradasi logam yang ditimbulkannya. Pertama, kenaikan temperature akan mempengaruhi aspek termodinamika dan kinetika reaksi, artinya degradasi akan semakin cepat pada temperature yang lebih tinggi. Yang kedua, kenaikan temperature akan mempengaruhi dan merubah struktur dan perilaku logam. Jika struktur berubah, maka

secara umum kekuatan dan perilaku logam juga berubah. Jadi selain terjadi degradasi yang berupa kerusakan fisik pada permukaan atau kerusakan eksternal, juga terjadi degradasi, penurunan sifat mekanik, logam menjadi rapuh. Pada temperature tinggi, atmosfer bersifat oksidatif, atmosfer yang berpotensi untuk mengoksidasi logam. Atmosfer ini merupakan lingkungan penyebab utama terjadinya korosi pada temperature tinggi. Korosi pada temperature tinggi mencakup reaksi langsung antara logam dengan gas. Untuk lingkungan tertentu kerusakan dapat terjadi akibat reaksi dengan lelehan garam, atau fused salt yang terbentuk pada temperature tinggi, korosi ini biasa disebut hot corrosion atau korosi panas.

Telah diketahui bahwa korosi sebagai penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya, tetapi lingkungan yang dimaksudkan hampir selalu mengandung air. Korosi pada permukaan logam ternyata masih dapat terjadi meskipun elektrolit cair tidak ada; karena itu tidak mengherankan bila proses tersebut sering disebut korosi kering. Namun demikian, definisi tentang korosi yang telah digunakan selama ini tidak Barangkali proses korosi kering yang paling nyata adalah reaksi logam dengan oksigen udara. (walaupun nitrogen menjadi unsur utama yang membentuk udara, perannya tidak penting ketika logam dipanaskan di udara, karena pengaruh oksigen lebih dominan. Pada temperatur tinggi, nitrogen memang bereaksi dengan kromium,

aluminium, titanium, molibdenum, dan tungsten). Kendati reaksi dengan oksigen pada prinsipnya sangat sederhana, para ilmuwan di masa lampau mengalami kesulitan dalam memahami perubahan berat yang menyertai kalsinasi (oksidasi) logam di udara. Bahkan sekarang, pengkajian tentang oksidasi dan reaksi - reaksi temperatur tinggi lain menyangkut paduan – paduan moderen telah membuktikan bahwa proses yang dilibatkan kompleks sekali.

Oksigen mudah bereaksi dengan kebanyakan logam; meskipun energi termal yang dibutuhkan untuk menghasilkan laju oksidasi yang bermakna bagi perekayasa mungkin sangat bervariasi untuk logam - logam yang berbeda pada temperatur yang sama. Pada temperatur lingkungan sehari – hari, dari kebanyakan bahan untuk rekayasa ada yang sudah teroksidasi sedemikian rupa sehingga lapisan oksida melindungi logam di bawahnya. Ada pula yang di udara kering bereaksi begitu lambat sehingga oksidasi tidak mendatangkan masalah. Pada temperatur tinggi, walau bagaimanapun, laju oksidasi logam - logam meningkat. Jadi, jika sebuah komponen rekayasa mengalami kontak langsung dengan lingkungan bertemperatur tinggi untuk waktu yang lama, komponen itu mungkin menjadi tidak berguna. Sebagai contoh, dalam udara kering yang murni pada temperatur hanya sedikit di bawah 480°C, sebuah selaput pelindung yang sangat tipis terbentuk pada permukaan baja lunak yang telah dipoles, tetapi dengan laju yang dalam

pengertian rekayasa dapat diabaikan. (Laju ambang batas yang telah didefinisikan adalah $10^{-3} \text{ Kg m}^{-2} \text{ jam}^{-2}$). Meskipun demikian, selama proses penggilingan dan pengepresan panas terhadap baja lunak (proses yang berlangsung pada sekitar 900°C), laju oksidasi cukup besar untuk menghasilkan selapis oksida yang disebut kerak giling (mill scale), yang tidak berfungsi sebagai pelindung. Kita sudah melihat bahwa kerak giling mungkin penting pengaruhnya terhadap laju korosi baja lunak dalam lingkungan berair. Di pihak lain, kemanfaatan logam-logam seperti aluminium dan titanium bergantung pada kemampuan masing – masing dalam membentuk selaput oksida pelindung pada temperatur kamar.

Kita melihat bahwa tidak semua proses korosi tidak dikehendaki. Oksida yang terkendali pada besi dan baja dalam pembuatan senjata sudah menjadi seni tersendiri, karena dengan cara ini senjata–senjata tersebut dapat dibuat menjadi indah dan tahan lama. Dekorasi yang indah bisa diperoleh melalui pembentukan warna–warni pada permukaan logam. Titanium dapat dioksidasi secara elektrokimia agar menghasilkan warna–warni indah seperti permata. Efek–efek tersebut ditimbulkan oleh selaput oksida. Efek serupa yang mudah dijumpai adalah warna–warni pelangi pada ujung knalpot sepeda motor yang terbuat dari baja nirkarat.

Sebelum pengendalian temperatur dalam proses-proses perlakuan panas mencapai kecanggihan seperti pada masa

sekarang ini, temperatur lempengan atau batangan baja sering diukur dari warna – warni yang berkembang pada permukaannya selama perlakuan panas itu berlangsung. Cara ini ternyata cukup teliti : untuk setiap kenaikan 10°C antara 230°C dan 280°C , warna logam berubah menurut urutannya adalah : gading pucat, gading tua, coklat, ungu kecoklatan, ungu, dan ungu tua. Logam baja tampak kebiruan pada temperatur 300°C .

1.4. Rasio Palling Bedworth

Pilling-Bedworth mengusulkan bahwa ketahanan oksidasi dapat berhubungan dengan oksida logam dalam rasio volume per atom gram logam. Berdasarkan Pilling- Bedworth, rasio volume yang kurang dari 1 menghasilkan oksida yang dapat menutupi logam sehingga tidak terlindung. Disisi lain volume yang lebih dari 1 cenderung menyebabkan tegangan tekan yang besar dalam oksidasi, yang juga menyebabkan ketahanan oksidasi yang buruk karena keretakan. Rasio yang ideal yang direkomendasikan yaitu mendekati Rasio Palling Bedworth.

Rasio volume untuk beberapa logam tercantu pada tabel 8.1. Secara umum logam yang rasio volume kurang dari 1, yang bektuk oksidanya tidak berpelindung, seperti yang lainnya dengan rasio volume yang sangat tinggi (2 sampai 3), tetapi rasio ini dimaksudkan hanya sebagai criteria empiris dan

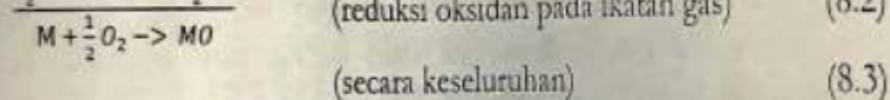
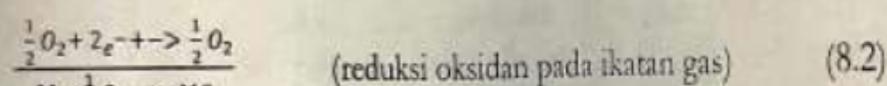
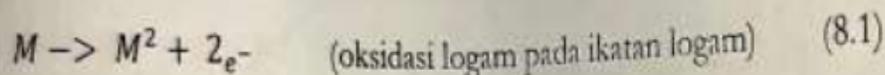
hal ini tidak mencakup sifat yang lebih penting dalam menentukan ketahanan oksidasinya.

Tabel 8.1 Volume rasio oksida logam

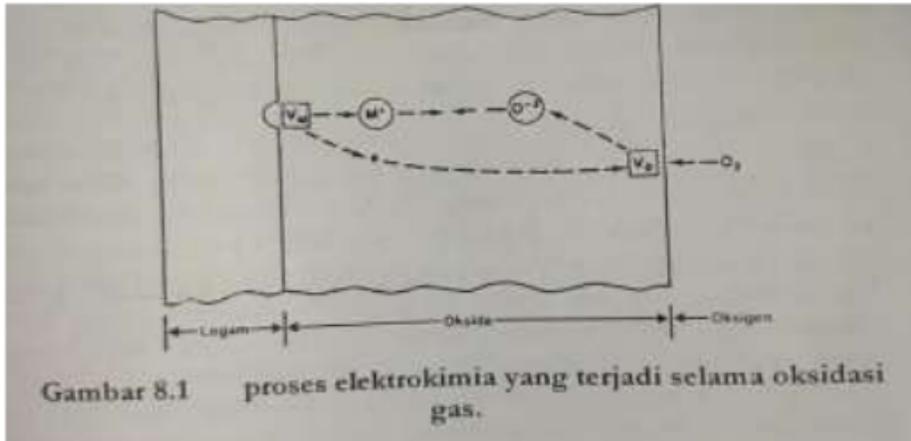
Oksida pelindung	Oksida tanpa pelindung
Be-1.59	Li-0.57
Cu-1.68	Na-0.57
Al-1.28	K-0.45
Si-2.27	Ag-1.59
Cr-1.99	Cd-1.21
Mn-1.79	Ti-1.95
Fe-1.77	Mo-3.40
Co-1.99	Cb-2.61
Ni-1.52	Sb-2.35
Pd-1.60	W-3.40
Pb-1.40	Ta-2.33
Ce-1.16	U-3.05
	V-3.18

a. Elektrokimia dan Aspek Morfologi Oksidasi

Oksidasi dengan gas oksigen, seperti korosi basah, adalah proses elektrokimia. Hal ini tidak hanya terjadi kombinasi kimia pada logam dan oksigen pada skala molekul, $M + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow MO$, tapi terdiri dari dua parsial, yaitu proses spasial terpisah:

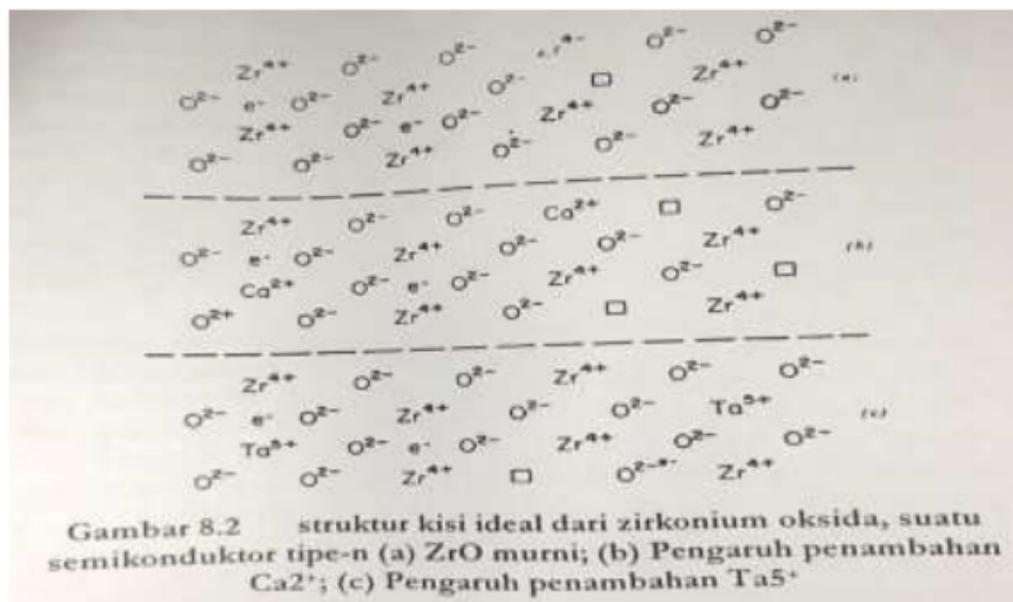


Dengan dihasilkan molekul MO yang baru, baik pada pemisahan logam atau pada pemisahan gas. Oksidasi gas memiliki kesamaan dengan korosi galvanic basah. Ion logam terbentuk pada ikatan logam dan oksigen direduksi menjadi oksigen pada ikatan gas.



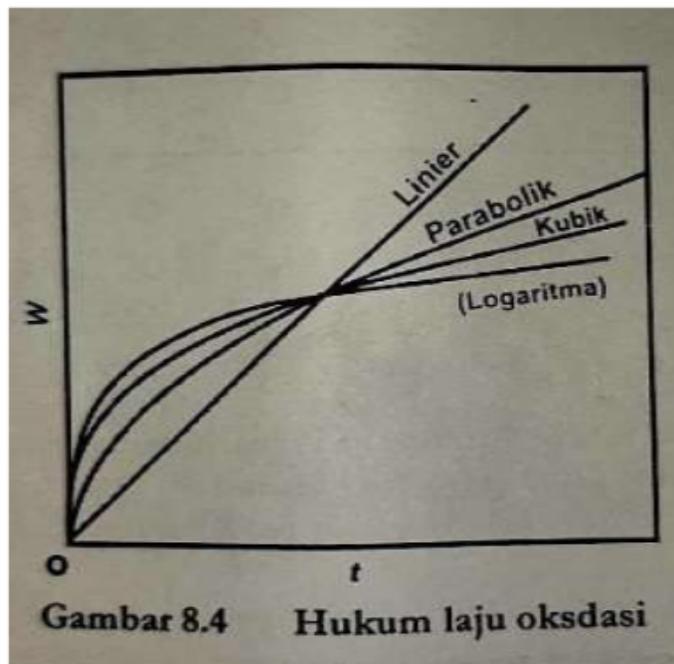
b. Struktur cacat Oksidasi

Umumnya semua oksida adalah senyawa tidak stabil. Komposisi oksidanya dan menyimpan rumusan molekul yang ideal. Beberapa oksida kelebihan dan lainnya kekurangan ion logam. Gambar 8.2 adalah skematik yang menunjukkan kelebihan ion logam ZrO_2 .



Kinetik Oksidasi

Parameter terpenting oksidasi logam dari pandangan rekayasa adalah besar reaksi. Mulai hasil oksidasi yang biasanya tersimpan dalam permukaan logam, besar oksidasi yang selalu diukur dan dinyatakan sebagai berat per satuan luas. Berbagai hukum empiris kadang-kadang diamati selama oksidasi untuk berbagai logam dibawah kondisi yang bermacam-macam seperti yang ditunjukkan pada gambar 8.4, dimana grafik merupakan berat per satuan luas berbanding waktu.



Pengaruh Pada Logam

1. Untuk oksida tipe-n (kelebihan logam, missal ZrO_2 , ZnO)
 - Substusi kation berevalansi lebih rendah menjadi atom meningkatkan konsentrasi intersisi kation atau kekosongan anion dan mengurangi konsentrasi electron berlebih. Nilai oksidasi difusi terkontrol akan meningkat.
 - Substitusi kation yang mempunyai valensi lebih besar mengurangi konsentrasi intersisi kation atau kekosongan anion dan meningkatkan konsentrasi electron berlebih.
2. Untuk oksida tipe -p (kekurangan logam, missal NiO , CoO)

- Penambah valensi yang lebih rendah menurunkan konsentrasi kekosongan kation atau intersisi anion dan meningkatkan jumlah rongga electron. Nilai oksidasi difusi terkontrol akan menurun,
- Penambahan valensi yang lebih tinggi meningkatkan konsentrasi kekosongan kation atau intersisi anion dan mengurangi jumlah rongga electron. Nilai oksidasi difusi akan menurun.

Oksidasi Katastropik

Oksidasi katastropik merupakan reaksi logam-oksigen yang terjadi peningkatan nilai secara kontinyu atau lolos dari perlindungan dan kemudian bereaksi dengan sangat cepat. Logam yang mengikuti kinetic oksidasi linear, pada suhu lebih rendah, cenderung untuk mengoksidasi secara katastropik pada suhu tinggi karena pada aliran terjadi reaksi ekstrotermal pada permukaan tersebut. Jika nilai perpindahan panas ke logam dan sekelilingnya kecil dari pada nilai peningkatan suhu reaksi dan suhu permukaan meningkat. Ini disebabkan sifat reaksi berantai dan peningkatan nilai reaksi.

Oksidasi enternal

Dalam sistem paduan, terdapat suhu atau lebih komponen cair yang kemungkinan bentuk oksida yang paling stabil dari pada logam dasar yang mungkin mengoksidasi

kepermukaan luar pada logam. Oksidasi enternal juga sering terjadi pada paduan besi, nikel, dan kobalt yang biasanya diaplikasikan ada suhu tinggi. Hal ini adalah fakta yang merusak karena penambahan paduan yang rendah kemurniannya, seperti Cr dan Al memiliki susunan pada pelapisan luar perlindungan.

1.5. Material temperatur tinggi

1. Sifat Mekanik

Material yang tahan terhadap temperatur tinggi secara umum mengacu kepada material yang memiliki kekuatan yang cukup, tahan terhadap kondisi lingkungan dan stabil pada temperatur 260o – 1200o Kedua kekuatan mekanik dan ketahanan oksidasi harus dipertimbangkan untuk temperatur tinggi dalam lingkungan oksidasi. Dalam aplikasi pada campuran besi, nikel dan kobalt, kekuatan mekanik lebih penting. Ketahanan oksidasi pada campuran selalu memuaskan pada temperatur diatas dimana kekuatan mekaniknya tidak mencukupi.

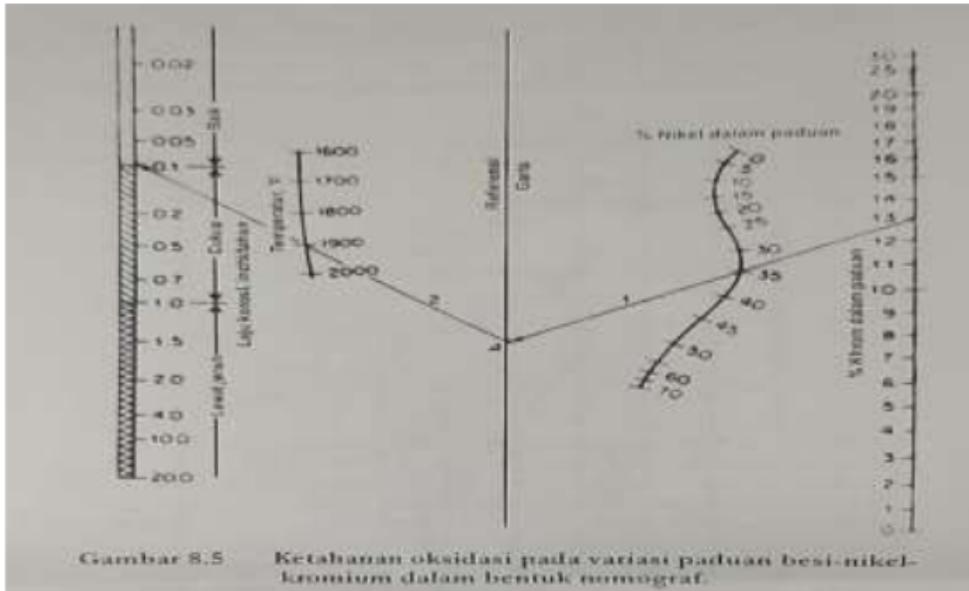
Sifat mekanisme fisik dari logam yang bersuhu tinggi yang baik yaitu:

- 1) Sifat mekanik dalam temperatur ruang yang baik seperti tegangan, keuletan dan kekerasan untuk pengerolan dan proses pembentukan

lainnya.

- 2) Sifat mekanik dalam temperatur yang tinggi yang cukup, termasuk rendahnya mulur (creep), tingginya kekuatan terhadap deformasi dan kekerasan untuk menghindari keretakan sangat diperlukan. Material suhu tinggi harus tahan terhadap siklus tegangan dan panas berulang-ulang dan siklus pendinginan.
- 3) Kestabilan struktur pada temperatur tinggi dibutuhkan untuk menghindari gravitas, pertumbuhan serat, perubahan fase, peleburan endapan, endapan baru dan perubahan metalurgi lainnya.
- 4) Ketahanan Oksidasi
Terdapat banyak sifat lapisan oksidasi yang harus memiliki perlindungan. Ketika kondisi tersebut dicapai. Tingginya derajat ketahanan untuk beroksidasi telah dicapai. Nikel, kobalt dan besi menunjukkan derajat yang cukup pada ketahanan oksidasi, penambahan paduan kromium, silicon dan aluminium memperbolehkan susunan pada kerelatifan perlindungan dan fase oksidas rhombohedral ($\text{Cr}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3$). Paduan besi-nikel-aluminium merupakan material yang paling penting untuk

oksidasi relatif rendah dan oksidasi suhu tinggi karena harganya yang murah, sifat mekaniknya yang baik dan ketahanan oksidasinya yang cukup



Reaksi gas alam lain

1. Dekarbursasi dan Penguraian Hidrogen

Hidrogen dapat mempengaruhi sifat mekanik pada logam dan campurannya. Jika paduan dikuatkan dengan menyisipkan karbon atau karbida, dekarburisasi menghasilkan penurunan tegangan dan peningkatan nilai keuletan dan mulur. Pada baja paduan rendah, karburisasi selalu menyebabkan kerusakan yang lebih rendah dari pada derkaburasi.

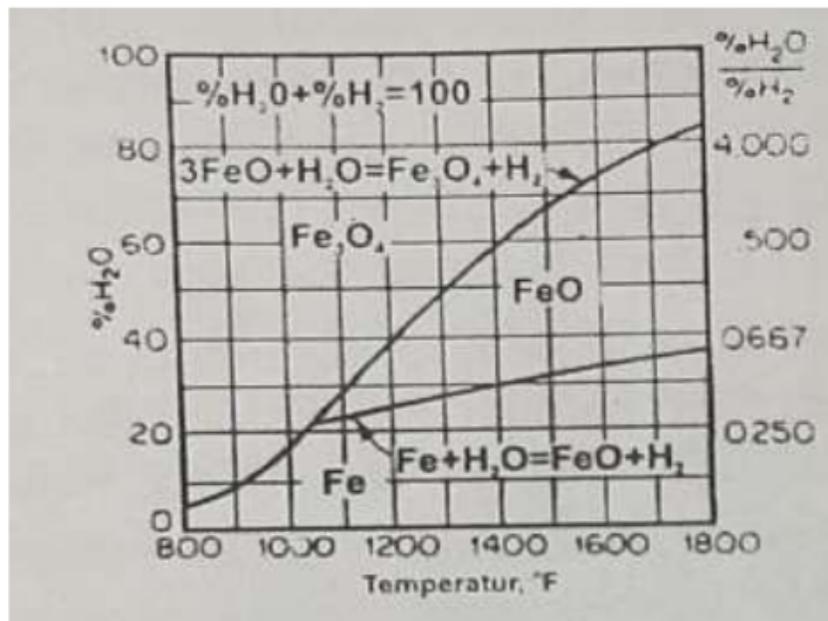
2. Gas hidrogen dan hidrokarbon

Karbit atau karbon terlarut bereaksi dengan hidrogen terlarut membentuk metana, nilai dan arah reaksi tergantung pada jumlah hidrogen dan adanya metana pada fase gas dan kandungan dalam paduan. Karena atom hidrogen berdifusi secara mudah pada baja, keretakan bisa dihasilkan dari susunan CH_4 pada tekanan tinggi di celah bagian dalam logam.

3. Uap hidrogen dan air

Karbida dan karbon bereaksi dengan uap air untuk membentuk hidrogen dan karbon monoksida. Nilai dari arah reaksi ini tergantung aktifitas karbon pada paduan dan jumlah relatif uap air, karbon monoksida dan hidrogen pada aliran gas.

Gambar disamping menunjukkan bahwa temperatur 1000 F besi dapat teroksidasi dalam hidrogen yang mengandung 20% atau lebih uap air. Dalam industri, gas memproses uap yang mengandung bermacam-macam karbon, hidrogen dan oksigen yang tidak mempertahankan komposisi tetap.



4. Campuran Karbon monoksida-Karbon Oksida
 Karbon dioksida dan gas lain yang banyak mengandung karbon. Atmosfer CO- CO₂ mampu untuk derkaburasi atau baja berkaburasi dengan arah reaksi kedepan atau kebelakang.



Diagram kesetimbangan dari sistem Fe- CO-CO₂ Korosi Logam oleh kandungan Sulfur Pada Temperatur tinggi

Dalam hubungan reaksi gas sulfur, uap pada keseimbangan larutan sulfur terdiri dari S₂, S₄, S₆, S₈, sebagai jenis molekul dasar. Dengan S₂ yang mendominasi jenis uap pada temperatur yang ditingkatkan dan aktifitas sulfur yang rendah. Pada penurunan gas yang mengandung hidrogen, seperti gas batu bara, sisa hidrolisasi, atau pemerosesan perminyakan. H₂S merupakan unsur utama gas dalam melakukan

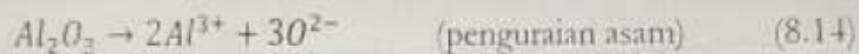
pengoksidasian gas,

seperti hasil pembakaran bahan bakar fosil, yaitu molekul SO₂ dapat berubah dari pecahan menjadi beberapa persen.

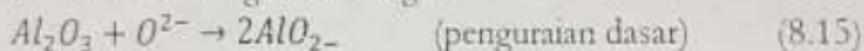
1.6. Korosi pada panas paduan logam

Korosi panas terjadi pada batas butir. Di boiler dan turbin, pembakaran abu batu bara atau sisa bahan bakar, kondensasi garam cair mempercepat oksidasi logam paduan. Pada pemindah panas, kondensasi menyebabkan korosi “fireside”; titik rendah sodium (TM= 570 C) rusak. Dalam gabungan bahan bakar alkali karbonat dan untuk sistem menyimpan energi karbonat, korosi panas meruoakan kendala. Benih garam menyatu pada peralatan konversi batu bara masa internal logam sehingga menyerang refraktori. Garam kimia dan elektrokimia keduanya terpengaruh penting untuk segala mekanisme komprehensif pada korosi panas.

Oksida Al₂O₃ dapat larut menjadi garam campuran, seperti Na₂SO₄ atau Na₂CO₃, salah satu reaksinya:



atau bereaksi dengan ion oksigen:



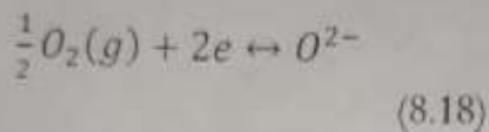
Garam kimia pada garam /permukaan gas dapat menjadi pasti dalam kesetimbangan



atau

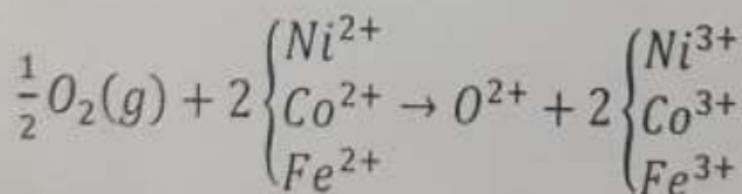


Dengan penambahan oksigen, aktivitas ion oksigen sekitar berhubungan dengan aktifitas sekitar pada molekul oksigen pada komposisi logam persamaan:



Sehingga reduksi molekul oksigen dihasilkan dengan lingkungan sekitarnya. Kemudian elektrokimia dan garam kima saling berkaitan.

Perbedaan larutan cair saya larut molekul O₂ dalam garam cair pada temperatur sedang tidak tinggi. Jadi reduksi oksigen mungkin tidak terjadi pada permukaan antra garam dan logam atau pelindung oksida. Tapi reduksi molekul oksigen pada permukaan garam-gas bisa terjadi oleh oksidasi pada logam transisi bervalensi rendah setelah difusi mengalir lapisan tipis elektrolit.



Dalam kejadian ini perlawanan difusi pada jenis redoks garam, dirangkai dengan difusi mengalirkan oksida pelindung yang tipis, dapat membatasi nilai reaksi tetap. Pada reaksi yang terlalu awal logam reaktif terus menerus mengurangi radikan SO_4^{2-} atau CO_3^{2-} dalam garam, kemudian meningkatkan aktifitas sulfur atau karbon secara berturut-turut pada permukaan logam garam.

1.7. Dampak Akibat Korosi

Oleh Sebagian besar orang, korosi diartikan sebagai karat, sesuatu yang hampir dianggap musuh umum masyarakat. 'Karat' (Rust) sering disebut belakangan ini hanya dikhususkan pada korosi besi.

¹ Karatan adalah logam yang mengalami kerusakan berbentuk keropos. Sedangkan bagian logam yang rusak dan berwarna hitam kecoklatan pada baja disebut Karat. Secara teoritis karat adalah istilah yang diberikan terhadap satu jenis logam saja yaitu baja, sedangkan secara umum istilah karat lebih tepat disebut korosi. Korosi didefinisikan sebagai degradasi material (khususnya logam dan paduannya) atau sifatnya akibat berinteraksi dengan lingkungannya. Korosi merupakan proses atau reaksi elektrokimia yang bersifat alamiah dan berlangsung dengan sendirinya, oleh karena itu korosi tidak dapat dicegah atau dihentikan sama sekali. Korosi hanya bisa dikendalikan atau diperlambat lajunya sehingga memperlambat proses

perusakannya. Dampak yang terasa akibat korosi adalah bidang industri maupun pertanian sampai mencapai 600juta dolar pertahun. Tingginya biaya yang dikeluarkan untuk mengendalikan korosi adalah pada penggantian komponen komponen (pada konstruksi) yang terkena korosi. Biaya ini terjadi:

- a. Produksi selama pekerjaan berhenti akibat pergantian komponen
- b. Tingginya biaya perawatan sejak awal
- c. Pemilihan unsur rancangan secara tepat

Latihan Soal :

1. Mengapa ada logam yang mudah berkarat, namun ada juga yang bersifat stabil dan tahan karat?
2. Sebutkan cara apa saja yang dapat dilakukan untuk mencegah korosi!
3. Apakah tembaga mudah berkarat?

Rangkuman :

Korosi adalah terjadinya suatu masalah yang penting dan perlu diperhatikan karena terjadi suatu dampak akibat dari korosi yang demikian cukup besar. Jika pengerjaan dalam penggantian material terkorosi, biaya tambahannya membua kontruksi melalui logam yang lebih tebal.

Ada banyak para ahli menyebutkan terutama dari Trethewey, dan CHamberlain serta R, ialah membutuhkan biaya dalam

mengganti material-material logam ataupun alat-alat.

Korosi merata kurang diperhatikan karena bergantung dari umur suatu peralatan dan dapat diperkirakan secara akurat dengan pengujian yang lebih sederhana.

Adapun bentuk atau cara mencegah terjadinya korosi adalah pelapisan inhibitor dan juga proteksi katodik. Akibatnya logam itu berkontak, terjadi sesuatu perbedaan potensial yang dapat menghasilkan aliran electron.

Rangkuman

Pada bidang industri minyak dan juga gas, proses dari korosi adalah terjadinya suatu masalah yang penting dan perlu diperhatikan karena terjadi suatu dampak akibat dari korosi yang demikian cukup besar. Contohnya pada bidang industri minyak dan juga gas melalui pengeboran menuju platform proses, maka dapat menimbulkan kerusakan (damage) dan kebocoran yang terjadi melalui pipa tersebut. Dampak yang terdapat di Korosi secara langsung ialah membutuhkan biaya dalam mengganti material-material logam ataupun alat-alat yang dapat mengakibatkan korosi. Hal tersebut dapat berdampak secara tidak langsung, dimana korosi dapat mengakibatkan terjadi suatu kerugian misalnya penyediaan gas dapat terhenti, image suatu perusahaan dapat menurun, nilai dari suatu saham menjadi turun dan juga dapat menghasilkan safety yang rendah.

Menurut Hakim bahwa korosi atau pengkaratan adalah suatu peristiwa kerusakan atau terjadinya penurunan kualitas suatu dari bahan logam yang terjadi, disebabkan oleh reaksi lingkungan. Sebagai contoh dari rusaknya cat karet karena terdapat sinar matahari atau terkena suatu bahan kimia yang mencair seperti lapisan tungku pembuatan baja, serangan logam yang solod oleh logam yang cair (Liquid metal corrosion). Korosi merata merupakan bentuk dari korosi yang biasanya terjadi. Dampaknya dapat terlihat misalnya logam menjadi tipis dan akhirnya terjadi kegagalan pada logam tersebut.

Namun, korosi merata kurang diperhatikan karena bergantung dari umur suatu peralatan dan dapat diperkirakan secara akurat dengan pengujian yang lebih sederhana. Perbedaan yang potensial dan sering terjadi diantara kedua logam yang berbeda, pada saat keduanya di celupkan dari larutan korosif. Elektron tersebut mengalir dari logam yang kurang mulia (anodik) ke metal yang lebih mulia (katodik). Akibatnya pada metal yang kurang mulia dapat berubah ke ionion yang lebih positif karena mampu kehilangan elektron.

Korosi akan menyerang logam yang ketahanan-korosinya lebih rendah dan serangan pada logam yang lebih tahan-korosi akan lebih sedikit. Bentuk dari korosi yang ketika terdapat celah akibat penggabungan atau suatu penyatuan dua logam yang sama

mempunyai kadar oksigen yang berbeda dengan bagian luarnya.
3 Korosi sumuran merupakan bentuk dari adanya serangan korosi yang sangat lokal kemudian menyerang suatu daerah tertentu yang mengakibatkan adanya lubang dalam logam. Korosi sumuran adalah bentuk dari suatu korosi yang paling mudah merusak dan juga berbahaya.

Hal tersebut menyebabkan suatu peralatan dapat gagal karena dengan terjadinya suatu penurunan massa yang sedikit saja dapat mengakibatkan terjadinya suatu lubang, maka kegagalan dapat juga terjadi dengan mudah. Terkadang sulit dalam mendeteksi pit karena ukurannya yang kecil dan juga pada arena lubang-lubang tersebut dapat tertutup oleh produksi korosi.
3 Korosi Erosi adalah suatu korosi yang terjadi karena tingkat percepatan kerusakan atau serangan pada logam dari gerakan relatif antara cairan korosif dan permukaan logam. Terkadang juga dipengaruhi dari lingkungan yang mengurangi laju korosi, khususnya pada saat terjadi serangna logam dalam kondisi tergenang, tapi tidak dapat disebut dengan erosion corrosion karena terjadi suatu kerusakan tidak bertambah.

Bentuk fisik dari korosi erosi dapat ditandai dalam suatu penampilannya berupa alur, parit, gelombanang, lubang bulat, lembah-lembah, dan juga dapat menunjukkan pola arah. Namun, ketika itu merupakan bagian kombinasi antara tensile stress dan lingkungan yang korosif, maka kondisi tersebut merupakan salah

satu dari penyebab utama dalam kegagalan material. Jenis serangan yang dapat berkarat terjadi sangat cepat, dalam ukuran menit, yaitu ketika seluruh persyaratan dapat terjadi karat regangan (tegangan) ini telah terpenuhi pada saat tertentu yakni adanya suatu regangan internal dan tercipta ketika kondisi korosif yang berhubungan dengan konsentrasi zat karat (corrodent) dan juga suhu lingkungan.

MODULE 2

FAKTOR PENYEBAB KOROSI

Secara umum faktor faktor penyebab korosi adalah lingkungan dan rancangan (gas, air, udara, uap). Peristiwa korosi sesuai dengan proses elektrokimia adalah proses (perubahan atau reaksi kimia) yang melibatkan adanya suatu aliran listrik. Bagian tertentu tersebut dari besi berlaku suatu kutub negatif (elektroda negatif, anoda), sedangkan bagian yang lain sebagai kutub positif (elektroda positif, katoda). Elektron tersebut mengalir dari anoda ke katoda, sehingga dapat terjadi suatu peristiwa korosi. Korosi tersebut terjadi karena terdapat medium kering yang juga medium basah. Sebagai contoh dari korosi yang berlangsung dalam suatu medium kering adalah penyerangan logam besi oleh gas oksigen (O_2) atau oleh gas belerang dioksida (SO_2).

Di dalam medium basah tersebut, korosi dapat terjadi secara seragam walaupun secara terlokalisasi. Contohnya dari korosi seragam di dalam medium basah adalah ketika besi terendam di dalam larutan asam klorida (HCl). Korosi dalam medium basah terjadi ketika terlokalisasi ada yang memberikan suatu makroskopis, seperti peristiwa korosi galvanik sistem besi-seng, korosi erosi, korosi reatakan, korosi lubang, korosi pengelupasan, serta korosi pelumeran, misalnya rupa yang mikroskopis yang dihasilkan dari korosi tegangan, korosi antar butir, dan korosi patahan.

Walaupun demikian sebagian dari korosi logam khususnya pada besi, terkorosi di alam dengan melalui suatu cara elektrokimia yang banyak menyangkut suatu fenomena antar muka. Hal demikian banyak dijadikan dasar utama dalam suatu pembahasan mengenai peran dalam pengendalian korosi.

2.1 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Korosi

1. Konsentrasi H₂O dan O₂

Pada kondisi kelembaban yang lebih tinggi, bisa dapat lebih cepat berkarat. Selain itu, air yang memiliki kadar oksigen terlarutnya lebih tinggi, memiliki perkaratan yang lebih cepat. Hal demikian sebagaimana air dan juga oksigen berperan sebagai suatu medium yang terjadi korosidan juga agen pengoksidasi besi.

2. pH

Pada suasana yang lebih asam, $\text{pH} < 7$, reaksi korosi besi dapat lebih cepat, sebagaimana reaksi reduksi oksigen dalam suatu suasana asama dapat lebih spontan yang ditandai suatu potensial reduksinya yang lebih besar dibandingkan dengan suasana netral ataupun biasa.

3. Keberadaan Elektrolit

Elektrolit misalnya garam NaCl di suatu medium korosi dapat mempercepat terjadinya korosi, sebagaimana ion-ion

elektrolit yang dapat membantu menghantarkan elektron-elektron bebas yang terlepas dari adanya suatu reaksi oksidasi di daerah anode kepada reaksi reduksi pada daerah katode.

4. Suhu

Semakin tinggi suatu suhu, maka akan semakin cepat juga korosinya yang terjadi. Hal tersebut terjadi, sebagaimana laju reaksi kimia yang terus meningkatkan seiring bertambahnya suhu.

5. Galvanic Coupling

Jika besi terhubung ataupun menempel pada bagian logam yang kurang reaktif (tidak mudah teroksidasi, potensial reduksi lebih positif), maka dapat timbul suatu beda potensial yang mampu menyebabkan terjadinya aliran elektron dan besi (anode) ke logam yang kurang reaktif (katode). Hal demikian menyebabkan besi dapat lebih cepat mengalami korosi dibandingkan tanpa keberadaan logam yang kurang efektif. Efek demikian juga dengan efek Galvanic Coupling.

2.2 Reaksi korosi berdasarkan mekanisme elektrokimia

6
Secara sederhana, electroplating dapat diartikan sebagai proses pelapisan logam, dengan menggunakan bantuan arus listrik dan senyawa kimia tertentu guna memindahkan partikel logam pelapis ke material yang hendak dilapis. 6 material. Perbedaan utama dari pelapisan tersebut selain anoda yang digunakan adalah larutan. 6 Pelapisan logam dapat berupa lapis seng (zink), galvanis, perak, emas, brass, tembaga, nikel dan krom. Penggunaan lapisan tersebut disesuaikan dengan kebutuhan dan kegunaan masing-masing 6 elektrolisisnya. Dalam penelitian yang baru belakangan ini (tahun 2004), dilakukan oleh Tadashi Doi dan Kazunari Mizumoto, mereka menemukan larutan baru (elektrolisis) yang dinamakan larutan citrate (kekerasan deposit mencapai 440 VHN). Proses electroplating mengubah sifat fisik, mekanik, dan sifat teknologi suatu material. Salah satu contoh perubahan fisik ketika material dilapis dengan nikel adalah bertambahnya daya tahan material tersebut terhadap korosi, serta bertambahnya kapasitas konduktifitasnya. Adapun dalam sifat mekanik, terjadi perubahan kekuatan tarik maupun tekan dari suatu material sesudah mengalami pelapisan dibandingkannya sebelumnya.

2.3 Lingkungan korosi

Sifat dan keagresifan lingkungan menentukan sebagian besar tingkat korosi dua logam. Biasanya logam dengan ketahanan yang lebih rendah kelingkungan tertentu menjadi sisi anodik dari pasangan. Kadang kadang potensial membalikkan selama beberapa diberikan dalam lingkungan yang berbeda. Dalam kasus luar biasa, seperti beberapa perairan domestik suhu $>180^{\circ}\text{F}$ pasangan menjadi terbalik dan baja menjadi anodik. Ternyata produk korosi pada seng dalam hal ini membuatnya bertindak sebagai permukaan mulia untuk baja.

Korosi gelvanik juga terjadi di udara, sebagai contoh korosi lebih besar dekat tepi pantai daripada dipedesaan dengan atmosfer kering. Kondensat dekat pantai yang mengandung garam dan karna itu lebih konduktif dan korosif dan elektrolit lebih baik dari kondensat dilokasi pedalaman bahkan dibawah kelembapan yang sama dan kondisi temperatur. Tes paparan udara di berbagai negara telah menunjukkan seng menjadi anodik untuk baja dalam semua kasus, variasi aluminium dan timah dan nikel selalu katodik. Korosi gelvanik tidak terjadi ketika logam benar benar kering karna tidak ada elektrolit membawa arus antara 2 daerah elektroda.

RANGKUMAN

Peristiwa korosi sesuai dengan proses elektrokimia adalah proses (perubahan atau reaksi kimia) yang melibatkan adanya suatu aliran listrik. Elektron tersebut mengalir dari anoda ke katoda, sehingga dapat terjadi suatu peristiwa korosi. Korosi tersebut terjadi karena terdapat medium kering yang juga medium basah. Sebagai contoh dari korosi yang tberlangsung dalam suatu medium kering adalah penyerangan logam besi oleh gas oksigen (O₂) atau oleh gas belerang dioksida (SO₂).

Korosi dalam medium basah terjadi ketika terlokalisasi ada yang memberikan suatu makroskopis, seperti peristiwa korosi galvanik sistem besi-seng, korosi erosi, korosi reatakan, korosi lubang, korosi pengelupasan, serta korosi pelumeran, misalnya rupa yang mikroskopis yang dihasilkan dari korosi tegangan, korosi antar butir, dan korosi patahan. Walaupun demikian sebagian dari korosi logam khususnya pada besi, terkorosi di alam dengan melalui suatu cara elektrokimia yang banyak menyangkut suatu fenomena antar muka. Hal demikian sebagaimana air dan juga oksigen berperan sebagai suatu medium yang terjadi korosi dan juga agen pengoksidasi besi. Yang dimaksud dengan pengendalian korosi dengan lapisan penghalang adalah memisahkan lingkungan dari logam, yang dimaksud dengan lapisan penghalang adalah cat, selaput organik kemudian vernis dan enamel.

- a. Wahana (vehicle)- yaitu zat cair yang membuat fluiditas dan bila mengering atau menguap meninggalkan suatu selaput padat
- b. Pigmen yang tersuspensi dalam wahana. Pigmen mengendalikan laju korosi, atau laju difusi reaktan reaktan pada selaput kering.

Perubahan kimia, oksidasi terhadap unsur cair dalam wahana misalnya minyak cat. Cat mengering mulai dari permukaannya dan diulaskan atau disemprotkan selapis demi selapis hingga mencapai ketebalan yang dikehendaki c. Polimerisasi, yaitu reaksi kimia antara dan agen pengering (curing agent) yang dicampurkan kedalam cat tepat sebelum digunakan. Agen pengering itu disimpan dalam kemasan terpisah sehingga cat jenis ini disebut cat kemasan ganda dalam hal ini cat mengering diseluruh lapisan secara bersamaan jadi dapat diulaskan atau disemprotkan membentuk lapisan tebal sekaligus.

LATIHAN

1. Proses Koting/metode koting yang menggunakan galvanis sebagai larutannya?

MODULE 3

PENGENDALIAN KOROSI

A. Prinsip-Prinsip Pengendalian Korosi

Korosi didefinisikan sebagai proses kerusakan ataupun penurunan sifat material (logam) oleh reaksi elektrokimia karena berinteraksi dengan lingkungan. Pada kebanyakan situasi praktis, serangan korosi ini tidak dapat dicegah, dan upaya yang dapat dilakukan adalah pengendalian sehingga struktur ataupun komponen mempunyai masa pakai lebih panjang. Pengendalian korosi bertujuan mengatur laju korosi, sehingga perkembangannya tetap berada dalam rentang tertentu atau dapat untuk meramalkan batas umur suatu struktur.

Setiap komponen mengalami tiga tahapan utama yaitu perancangan, pembuatan dan penggunaannya. Dalam setiap tahapan tersebut, perlakuan pengendalian korosi merupakan suatu hal yang penting. Kegagalan salah satu dari aspek-aspek pengendalian korosi ini dapat menyebabkan struktur mengalami kerusakan/kegagalan yang prematur.

Pengendalian bisa dilakukan dengan berbagai cara tetapi yang paling penting adalah:

- ❖ Modifikasi rancangan
- ❖ Modifikasi lingkungan
- ❖ Pemberian lapisan pelindung
- ❖ Pemilihan bahan
- ❖ Proteksi Katodik dan anodik

8

Proteksi terhadap korosi atau lebih tepat disebut pengendalian terhadap korosi dapat digolongkan menjadi empat golongan besar yaitu :

- A. Pengendalian korosi dengan mengubah jenis logam dan desain.
- B. Pengendalian korosi dengan mengubah media korosif.
- C. Pengendalian korosi dengan cara mengubah potensial (tegangan) antara logam/media korosif.

8

3.1. Pengendalian korosi dengan pelapisan permukaan.

Keempat cara pengendalian tersebut diatas bertujuan untuk menghambat laju korosi sehingga dapat diharapkan umur logamnya menjadi lebih lama, penghematan pemakaian bahan, yang pada gilirannya akan menurunkan biaya-biaya operasi yang disebabkan oleh masalah-masalah korosi.

3.2. Pengendalian Korosi dengan Mengubah Jenis Logam dengan Desain.

Daya tahan bahan metalik terhadap korosi seringkali dapat ditingkatkan dengan cara mengubah komposisi logam, struktur mikronya atau dengan mengubah kondisi tegangan dan permukaannya. Peningkatan daya tahan korosi dengan pemaduan (alloying) dapat bersifat :

- 1). Passivatif, misalnya penambahan Cr (11%), Ni dan Mo dalam baja tahan karat dan dalam baja tahan asam.
- 2). Katodik, mendorong proses pasifasi misalnya penambahan unsur-unsur Cu, Ag, Pd atau Pt dalam baja tahan asam; Ni dalam aluminium.
- 3). Penetratif, misalnya Ti, Nb dan Ta sebagai pembentuk karbida dalam austenitic stainless steel; Ce, Ti dan Cu untuk menetralkan unsur S dalam baja; demikian pula Mg dan Mn untuk menetralkan Fe dan Si dalam aluminium.
- 4). Pembentuk oksida, misalnya Cr, Al dan Si dalam baja tahan panas; Al, Be dan Mg dalam tembaga untuk meningkatkan daya tahan terhadap korosi.
- 5). Inhibiting, misalnya As atau Sb dalam kuningan (brass) untuk mencegah pengawa-seng-an (dezincification).

Proses pemurnian seperti pengurangan sulfur dalam berbagai jenis baja, carbon dalam stainless steel, juga Fe, Si dan Cu dalam aluminium dapat memperbaiki daya tahan korosi. Perubahan truktur mikro dengan cara perlakuan panas dengan tujuan melarutkan fasa-fasa sekunder (senyawa intermetalik atau karbida) yang diikuti proses pendinginan cepat, dapat memperbaiki daya tahan korosinya.

Demikian pula stress relieving annealing dilakukan untuk menghilangkan tegangan tarik sehingga kemungkinan terjadinya stress corrosion cracking atau hydrogen cracking dapat dikurangi. Sebaliknya tegangan tekan pada permukaan logam merupakan keadaan yang menunjang daya tahan bahan terhadap stress corrosion dan corrosion fatigue.

Surface treatment seperti polishing menempati tempat penting dalam memperbaiki daya tahan korosi logam pasifatif seperti stainless steel atau logam-logam grup Pt. Contoh lain, misalnya acid pickling merupakan cara yang efisien untuk memperbaiki daya tahan korosi baja karbon dan baja tahan karat.

Dalam mendesain suatu konstruksi atau mesin sejak awal harus sudah dipikirkan langkah-langkah untuk menanggulangi masalah-masalah korosi, karena konstruksi atau mesin tersebut berada dalam lingkungan yang korosif. Oleh karenanya didalam mendesain suatu konstruksi memerlukan langkah sebagai berikut :

- Harus dapat memenuhi persyaratan-persyaratan dasar.
- Memilih bahan-bahan konstruksi dan surface treatment yang tepat atau metoda proteksi lainnya.
- Melaksanakan pekerjaan desain dengan seksama.

Prinsip-prinsip desain yang berkaitan dengan masalah korosi adalah :

- a. Penyederhanaan bentuk.
- b. Hindari residual moisture.
- c. Perhatikan kemungkinan terjadinya korosi galvanik.
- d. Hati-hati dengan joints dan junction.
- e. Perhitungkan adanya perubahan dimensi karena korosi.
- f. Perhitungkan adanya perubahan dimensi karena pelapisan protektif.
- g. Beri petunjuk tentang masalah fabrikasi dan pemeliharaan.

3.3. Pengendalian Korosi dengan Mengubah Media Korosif.

Langkah-langkah pengendalian korosi dengan mengubah media korosifnya dapat dilakukan dengan berbagai cara :

1. Menghilangkan O₂ dalam air dengan cara evakuasi.
2. Menghilangkan asam dalam air dengan cara netralisasi.
3. Menghilangkan garam-garam dalam air dengan pertukaran ion.
4. Penghilangan air dalam udara dengan cara peng-awalembaran (dehumidification).
5. Penurunan kelembaban misbi udara sekeliling dengan menaikkan temperatur.
6. Peniadaan partikel-partikel debu dalam air atau udara dengan cara filtrasi.

3.4. Pengendalian Korosi dengan Cara Mengubah Potensial Logam/Media Korosif.

Karena masalah korosi logam dalam lingkungan basah melibatkan proses elektrokimia maka penanggulangannya pun harus secara elektrokimia. Pengendalian korosi secara elektrokimia dilakukan dengan cara mengubah tegangan

elektrodanya agar korosi dapat dicegah atau paling tidak mengurangi pelarutan logam. Tergantung apakah tegangan elektrodanya digeser kearah positif atau negatif, proteksi korosi dapat dibagi menjadi :

1. Proteksi katodik dan
2. Proteksi anodik

Dari kedua cara tersebut diantara proteksi katodiklah yang merupakan cara yang lebih penting. Prinsip bekerjanya dapat dijelaskan dengan menggunakan diagram tegangan (E) – pH.

2

Proteksi katodik

Pada proteksi katodik, benda yang terkorosi berfungsi sebagai katoda dari suatu sel elektrokimia. Kalau tegangan elektrodanya digeser kearah negative sampai dibawah harga tegangan kesetimbangan korosinya, maka benda tersebut tidak akan terkorosi. Proteksi katodik dapat dibagi menjadi :

- a. Galvanic protection : dalam hal ini benda yang terkorosi dipasang sebagai katoda pada suatu sel galvanic. Anodanya yang terdiri dari logam Mg, Zn atau Al berfungsi sebagai anoda korban yang dapat dilakukan :

- Sebagai pelapis pada logam dasarnya (mis, baja galvanis)
- Sebagai pelat anoda terdispersi dengan atau tanpa pengutaran arus

b. Elektrolytic cathodic protection : cara ini menggunakan objek yang mengalami korosi sebagai katoda sel elektrokimia yang arusnya disuplai dari sumber arus searah luar (impressed) current. Anoda tambahannya biasanya terdiri dari logam yang tidak larut (Pt, Pb, C dan Ni), tetapi dapat pula berupa logam yang dapat larut (Fe,Al).

Untuk proteksi baja bahan anoda yang dipakai adalah Mg, Al dan Zn atau paduan dari logam-logam tersebut atau dengan Ca. Untuk proteksi tembaga dapat dipakai karbon sebagai anoda karbonnya.

Memilih insoluble anode untuk electrolytic cathodic protection adalah hal yang tidak mudah, karena tidak ada bahan yang sama sekali tidak larut bila dipasang sebagai anoda dalam sel elektrolisa. Dalam lingkungan yang mengandung larutan klorida material standar yang dipakai sebagai anoda adalah grafit, sedang dalam larutan sulfat paduan timbale dengan antimony dan atau perak.

3.5. Pengendalian Korosi melalui Perancangan

Komponen-komponen akan menghadapi berbagai macam lingkungan baik selama tahapan-tahapan pembuatan, pemindahan dan penyimpanan, maupun ketika kelak harus menjalankan tugas sehari-hari. Laju korosi atau kerusakan lapisan pelindung yang diberikan kepada logam akan dipengaruhi oleh perubahan-perubahan faktor diantaranya kelembaban relatif, temperatur, pH, konsentrasi oksigen, bahan pengotor padat atau terlarut, konsentrasi, dan kecepatan elektrolit. Variasi-variasi kondisi lingkungan ini sedapat mungkin harus sudah diidentifikasi sejak tahapan perancangan Trethewey, 1991

3.6. Pengendalian Korosi Melalui Perubahan Lingkungan

Korosi adalah reaksi antara logam dan lingkungannya, karena itu upaya perubahan lingkungan yang menjadikannya kurang agresif akan bermanfaat untuk membatasi serangan terhadap logam. Dalam hal ini ada 3 (tiga) situasi yang akan kita pelajari.

- ❖ Lingkungan Berwujud Gas. Biasanya yang dimaksud disini adalah udara dengan rentang temperature $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Beberapa metode yang digunakan untuk mengurangi laju korosi di udara bebas adalah :

- a. Menurunkan kelembaban relative;
 - b. Menghilangkan komponen -komponen mudah menguap yang dihasilkan oleh bahan -bahan disekitas;
 - c. Mengubah temperature
 - d. Menghilangkan kotoran – kotoran (termasuk partikel-partikel padat yang abrasive)endapan-endapan yang akan membentuk katoda(misalnya jelaga),dan ion-ion agresif.
- ❖ Bahan terendam di air bebas yang cukup mengandung ion untuk menjadikan sebuah elektrolit.Modifikasi terhadap elektrolit meliputi:
- a. Menurunkan konduktivitas ionic
 - b. Mengubah pH
 - c. Secara homogen mengurangi kandungan oksigen
 - d. Mengubah temperature
- ❖ Logam terkubur dalam tanah dan mineral-mineral yang terlarut membentuk elektrolit. Pengendalian biasanya melalui proteksi katodik atau pelapisan permukaan ,tetapi lingkungan tersebut dapat dibuat kurang agresif dengan menggantikan tanah urungan yang tidak menahan air,mengendalikan Ph dan mengubah konduktivitasnya. Baik Proses di udara maupun proses korosi basah dapat

dikendalikan menggunakan bahan kimia khusus yang disebut inhibitor. Apabila bahan ini ditambahkan kedalam lingkungan, laju serangan akan berkurang.

Menurut Haryono, 2010, terdapat beberapa faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi proses korosi antara lain, yaitu:

1. Suhu, Kenaikan suhu akan menyebabkan bertambahnya kecepatan reaksi korosi. Hal ini terjadi karena semakin tingginya energi kinetik dari partikel-partikel yang bereaksi sehingga melampaui besarnya harga energi aktivasi dan akibatnya laju korosi juga akan semakin cepat, begitu juga sebaliknya.
2. Kecepatan alir fluida atau kecepatan pengadukan. Laju korosi cenderung bertambah jika laju atau kecepatan aliran fluida bertambah besar. Hal ini karena kontak antara zat perekasi dan logam akan makin banyak yang lepas sehingga logam akan mengalami kerapuhan korosi.
3. Konsentrasi bahan korosif. Hal ini berhubungan dengan pH atau keasaman dan kebasaan suatu larutan. Larutan yang bersifat asam sangat korosif terhadap logam dimana logam yang berada di dalam media larutan asam akan lebih cepat terkorosi karena merupakan reaksi anoda. Sedangkan larutan

yang bersifat basa dapat menyebabkan korosi pada katodanya karena reaksi katoda selalu serentak dengan reaksi anoda.

4. Oksigen. Adanya oksigen yang terdapat di dalam udara dapat bersentuhan dengan permukaan logam yang lembab. Sehingga kemungkinan menjadi korosi lebih besar. Di dalam air lingkungan terbuka, adanya oksigen menyebabkan korosi cepat terjadi.
5. Waktu kontak, Aksi inhibitor diharapkan dapat membuat ketahanan logam terhadap korosi lebih besar. Dengan adanya penambahan inhibitor ke dalam larutan, maka akan menyebabkan laju reaksi menjadi lebih rendah, sehingga waktu kerja inhibitor untuk melindungi logam dari korosi akan hilang atau habis pada waktu tertentu.

Hal itu dikarenakan semakin lama waktunya maka inhibitor akan semakin habis terserang oleh larutan. Baik proses korosi di udara maupun proses korosi basah dapat dikendalikan menggunakan bahan kimia khusus yang disebut inhibitor. Apabila bahan ini ditambahkan ke dalam lingkungan, laju serangan korosi akan berkurang Trethewey, 1991. Korosi dapat dikurangi dengan berbagai macam cara, dan cara yang paling mudah dan paling murah adalah dengan menambahkan inhibitor ke dalam media.

B. Pengendalian Korosi Dengan Lapisan

Penghalang

Yang dimaksud dengan pengendalian korosi dengan lapisan penghalang adalah memisahkan lingkungan dari logam, maupun untuk mengendalikan lingkungan mikro pada permukaan logam. Banyak cara pelapisan yang dimaksud dengan lapisan penghalang adalah cat, selaput organik kemudian vernis dan enamel.

1. Pelapisan dengan cat

Komposisi cat istilah cat meliputi sejumlah pelapisan berbeda yang dirancang untuk keperluan berbeda-beda pula. Sebelum cat digunakan terlebih dahulu kita harus menetapkan cara penyiapan permukaan cara pengecatan, dan untung rugi penggunaan cat utuh.

Cat pada dasarnya terdiri atas

- ❖ Wahana (vehicle)- yaitu zat cair yang membuat fluiditas dan bila mengering atau menguap meninggalkan suatu selaput padat laju korosi, atau laju difusi reaktan reaktan pada selaput kering.
- ❖ Pigmen yang tersuspensi dalam wahana. Pigmen mengendalikan

- ❖ Aditif yang mempercepat proses pengeringan atau memungkinkan lapisan cat kering lebih tahan terhadap lingkungan kerja.

Wahana menjadi kering melalui salah satu proses berikut:

- Penguapan unsur pelarut dalam wahana
- Perubahan kimia, oksidasi terhadap unsur cair dalam wahana misalnya minyak cat. Cat mengering mulai dari permukaannya dan diulaskan atau disemprotkan selapis demi selapis hingga mencapai ketebalan yang dikehendaki
- Polimerisasi, yaitu reaksi kimia antara dan agen pengering (curing agent) yang dicampurkan kedalam cat tepat sebelum digunakan. Agen pengering itu disimpan dalam kemasan terpisah sehingga cat jenis ini disebut cat kemasan ganda dalam hal ini cat mengering diseluruh lapisan secara bersamaan jadi dapat diulaskan atau disemprotkan membentuk lapisan tebal sekaligus. Sesudah dicampur dengan agen pengering, cat harus segera digunakan sebab bila tidak demikian cat menjadi rusak.

Latihan Soal:

1. Didalam pengendalian korosi melalui perubahan lingkungan ada 3 situasi yang dipelajari dan sebutkan beberapa metode yang digunakan untuk mengurangi laju korosi di udara bebas?
2. Jelaskan dan sebutkan pada pengendalian korosi dengan lapisan penghalang Cat pada dasarnya terdiri atas?
3. Sebutkan dan jelaskan apa saja karakteristik Cat?

RANGKUMAN

Korosi didefinisikan sebagai proses kerusakan ataupun penurunan sifat material (logam) oleh reaksi elektrokimia karena berinteraksi dengan lingkungan. Pada kebanyakan situasi praktis, serangs korosi ini tidak dapat dicegah, dan upaya yang dapat dilakukan adalah pengendalian sehingga struktur ataupun komponen mempunyai masa pakai lebih panjang. Pengendalian korosi bertujuan mengatur laju korosi, sehingga perkembangannya tetap berada dalam rentang tertentu atau dapat untuk meramalkan batas umur suatu struktur. Dalam setiap tahapan tersebut, perlakuan pengendalian korosi merupakan suatu hal yang penting.

Kegagalan salah satu dari aspek-aspek pengendalian korosi ini dapat menyebabkan struktur mengalami kerusakan/kegagalan yang prematur. Pengendalian bisa dilakukan dengan berbagai caratetapi yang paling penting adalah: Proteksi terhadap korosi atau lebih tepat disebut pengendalian terhadap korosi dapat digolongkan menjadi empat golongan besar yaitu : A. Pengendalian korosi dengan mengubah jenis logam dan desain. B. Pengendalian korosi dengan cara mengubah potensial (tegangan) antara logam/media korosif. Keempat cara pengendalian tersebut diatas bertujuan untuk menghambat laju korosi sehingga dapat diharapkan umur logamnya menjadi lebih lama, penghematan pemakaian bahan, yang pada gilirannya akan menurunkan biaya-biaya operasi yang disebabkan oleh masalah-

masalah korosi. Pengendalian **Korosi** dengan Mengubah Jenis Logam dengan Desain. Daya tahan bahan metalik terhadap korosi seringkali dapat ditingkatkan dengan cara mengubah komposisi logam, struktur mikronya atau dengan mengubah kondisi tegangan dan permukaannya.

Katodik, mendorong proses pasifasi misalnya penambahan unsur-unsur Cu, Ag, Pd atau Pt dalam baja tahan asam; Ni dalam aluminium. Proses pemurnian seperti pengurangan sulfur dalam berbagai jenis baja, carbon dalam stainless steel, juga Fe, Si dan Cu dalam aluminium dapat memperbaiki daya tahan korosi. Perubahan truktur mikro dengan cara perlakuan panas dengan tujuan melarutkan fasa-fasa sekunder (senyawa intermetalik atau karbida) yang diikuti proses pendinginan cepat, dapat memperbaiki daya tahan korosinya. Demikian pula stress relieving annealing dilakukan untuk menghilangkan tegangan tarik sehingga kemungkinan terjadinya stress corrosion cracking atau hydrogen cracking dapat dikurangi.

Sebaliknya tegangan tekan pada permukaan logam merupakan keadaan yang menunjang daya tahan bahan terhadap stress corrosion dan corrosion fatigue. Surface treatment seperti polishing menempati tempat penting dalam memperbaiki daya tahan korosi logam pasifatif seperti stainless steel atau logam-logam grup Pt. Contoh lain, misalnya acid pickling merupakan cara yang efisien untuk memperbaiki daya tahan korosi baja karbon dan baja tahan karat. Dalam medesain suatu konstruksi

atau mesin sejak awal harus sudah dipikirkan langkah-langkah untuk menanggulangi masalah-masalah korosi, karena konstruksi atau mesin tersebut berada dalam lingkungan yang korosif.

Langkah-langkah pengendalian korosi dengan mengubah media korosifnya dapat dilakukan dengan berbagai cara :
Pengendalian Korosi dengan Cara Mengubah Potensial Logam/Media Korosif. Karena masalah korosi logam dalam lingkungan basah melibatkan proses elektrokimia maka penanggulangannya pun harus secara elektrokimia. Pengendalian korosi secara elektrokimia dilakukan dengan cara mengubah tegangan elektrodanya agar korosi dapat dicegah atau paling tidak mengurangi pelarutan logam. Tergantung apakah tegangan elektrodanya digeser kearah positif atau negatif, proteksi korosi dapat dibagi menjadi : Pada proteksi katodik, benda yang terkorosi berfungsi sebagai katoda dari suatu sel elektrokimia.

Galvanic protection : dalam hal ini benda yang terkorosi dipasang sebagai katoda pada suatu sel galvanic. Anodanya yang terdiri dari logam Mg, Zn atau Al berfungsi sebagai anoda korban yang dapat dilakukan : Untuk proteksi baja bahan anoda yang dipakai adalah Mg, Al dan Zn atau paduan dari logam-logam tersebut atau dengan Ca. Untuk proteksi tembaga dapat dipakai karbon sebagai anoda karbonnya.

Memilih insoluble anode untuk electrolytic cathodic protection adalah hal yang tidak mudah, karena tidak ada bahan yang sama sekali tidak larut bila dipasang sebagai anoda dalam

sel elektrolisa. Laju korosi atau perusakan lapisan pelindung yang diberikan kepada logam akan dipengaruhi oleh perubahan-perubahan faktor diantaranya kelembaban relatif, temperatur, pH, konsentrasi oksigen, bahan pengotor padat atau terlarut, konsentrasi, dan kecepatan elektrolit. Korosi adalah reaksi antara logam dan lingkungannya, karena itu upaya perubahan lingkungan yang menjadikannya kurang agresif akan bermanfaat untuk

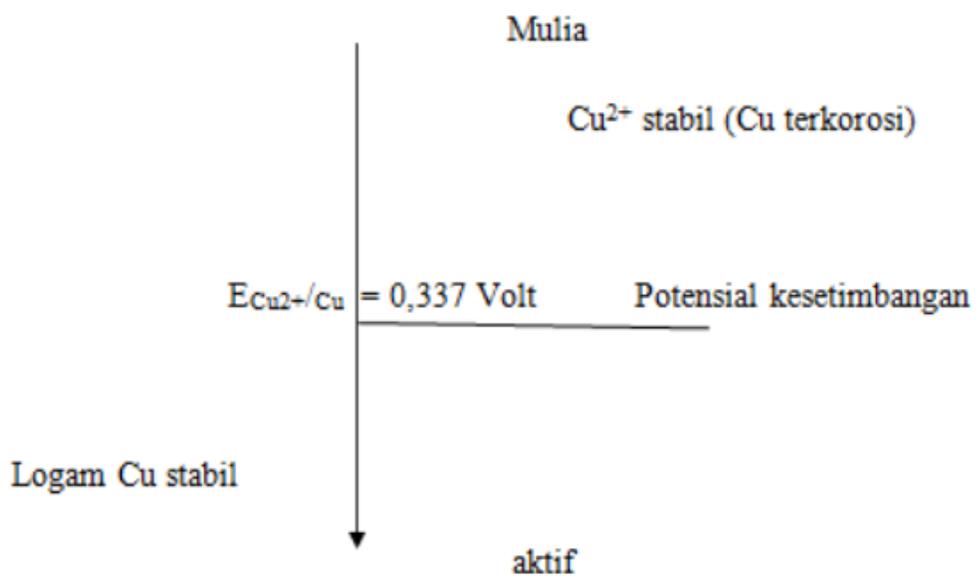
Latihan Soal:

1. Didalam pengendalian korosi melalui perubahan lingkungan ada 3 situasi yang dipelajari dan sebutkan beberapa metode yang digunakan untuk mengurangi laju korosi di udara bebas?
2. Jelaskan dan sebutkan pada pengendalian korosi dengan lapisan penghalang Cat pada dasarnya terdiri atas?
3. Sebutkan dan jelaskan apa saja karakteristik Cat?

MODULE 4

TERMODINAMIKA KOROSI

Korosi terjadi kerana adanya kecenderungan suatu logam kembali pada keadaan lebih stabil, dengan reaksi oksidasi. Hasil reaksi oksidasi membebaskan energy. Kecenderungan oksidasi berbagai jenis logam berkaitan dengan potensial elektrodanya. Kesetimbangan potensial elektroda (E_{eq}) suatu logam sesuai kesetimbangan oksidasi dan reduksinya. Sebagai contoh, untuk logam Cu, potensial kesetimbangan digambarkan dengan garis horizontal pada gambar 2.1 menurut kondisi stabilitas Cu^{2+} dan Cu.

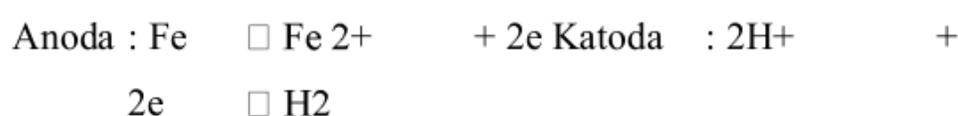


Gambar 2.1 Stabilitas ion Cu^{2+} dan Cu

Proses kesetimbangan (*reversible*) dan energy berhubungan dengan termodinamika. Bagian ini akan mempelajari beberapa aspek penting termodinamika kimia yang digunakan sebagai elektrokimia korosi. Persamaan Nerst akan mengawali pembahasan pada bagian ini, dilanjutkan dengan contoh dan perhitungan potensial kesetimbangan. Hal ini berfungsi untuk memprediksi korosi logam dan stabilitasnya, kemudian pembahasan tentang diagram E-pH dan penggunaannya.

4.1. Kesetimbangan Elektroda dan Persamaan Nernst

Apabila logam besi dicelupkan dalam larutan asam



Elektroda kesetimbangan ditentukan oleh besarnya perubahan energy bebas (ΔG) yang merupakan perbedaan antara keadaan akhir dan keadaan awal, antar produk dan pereaksi untuk reaksi elektrokimia. Dengan kata lain, energy oksidasi (anodic) = energy reduksi (katodik), tetapi dengan arah yang (tanda) berlawanan.

Untuk reaksi elektrokimia:

$$\begin{array}{l} \text{Oks} \quad + \quad ne \quad \square \text{ Red} \\ \Delta G_{\text{reaksi}} = G_{\text{produk}} - G_{\text{reaktan}} \text{ atau} \\ \quad \quad \quad = G_{\text{red}} - G_{\text{oks}} \end{array}$$

Dalam suatu system elektrokimia pada tekanan dan temperature tetap, energy yang berhubungan dengan proses adalah perubahan energy bebas, yang dinyatakan dalam ΔG . Hubungan antara ΔG

dengan potensial elektroda dirumuskan sesuai persamaan:

$$\Delta G = -nFE \text{ atau } \Delta G_o = -nFE_o$$

Persamaan termodinamika dapat ditulis :

$$\begin{aligned} \Delta G_o \text{ reaksi} &= G_o \text{ red} - G_o \text{ oks} + (RT) \ln [\text{red/oks}] \text{ atau} \\ &= G_o \text{ produk} - G_o \text{ reaktan} + (RT) \ln [\text{produk/reaktan}] \\ &= \Delta G_o + (RT) \ln [\text{produk/reaktan}] \end{aligned}$$

Karena $E = -\Delta G/nF$, maka persamaan termodinamika menjadi

$$E = E_o - (RT)/(nF) \ln [\text{red/oks}]$$

Persamaan ini disebut persamaan Nernst

$$\Delta G = \Delta G_o + RT \ln K \quad nFE = nFE_o - RT \ln K$$

$$E = E_o - [RT/nF] \ln K$$

Apabila ada reaksi:

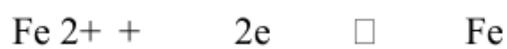


$$E = E_o - [RT/nF] \ln (a_C \cdot a_D / a_A \cdot a_B)$$

$$E = E_o - [RT/nF] \ln (a \text{ produk} / a \text{ reaktan})$$

(a = aktivitas; $a = 1$ jika unsur, senyawa, logam dalam kondisi stabil)

Sebagai contoh untuk reaksi :



$$E = E_o - (RT/nF) \ln a_{\text{red}} / a_{\text{oks}} = E_o - (RT/nF) \ln a_{\text{Fe}} / a_{\text{Fe}^{2+}}$$

Karena aktivitas $\text{Fe} = 1$ maka

$$E = E_o - (RT/nF) \ln 1 / a_{\text{Fe}^{2+}}$$

$$E = E_o + (RT/nF) \ln a_{\text{Fe}^{2+}}$$

Apabila konsentrasi Fe²⁺ berturut – turut = 1,0 M, 0,1M 0,01 M dan E_o Fe = -0,440 Volt/SHE maka nilai E sebagai berikut:

$$E = -0,440 + \left\{ \frac{(1,987)(298)(2,303)(4,184)}{(2)(96500)} \right\} \log a_{\text{Fe}^{2+}}$$

$$E = -0,440 + 0,0592/2 \log 1 = -0,44 \text{ Volt/SHE}$$

$$E = -0,440 + 0,0592/2 \log 0,01 = -0,4991 \text{ v0lt/SHE}$$

$$E = -0,440 + 0,0592/2 \log 0,001 = -0,52 \text{ volt/SHE}$$

Nilai 0,0592 diperoleh dari $\frac{(1,987)(298)(2,303)(4,184)}{96500}$

Nilai 4,184 konversi kalori ke Joule

Nilai 2,303 konversi ln menjadi log

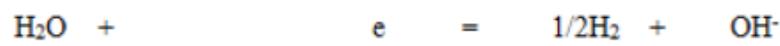
4.2. Diagram E - pH

Diagram ini menampilkan daerah-daerah kestabilan air, daerah-daerah logam akan imun, terkorosi atau terpasivasi sebagai fungsi dari potensial sel dan pH. Diagram ini memberikan informasi tentang reaksi anodik dan katodik yang mungkin terjadi dan kemungkinan proteksi korosi berdasarkan termodinamika. Diagram E-pH (Pourbaix) dibuat untuk logam murni dan dengan bertambahnya hasil pengukuran besaran termodinamika paduan, beberapa diagram potensial paduan telah dibuat.

Perhatikan diagram potensial terhadap pH untuk system Fe –H₂O Di atas garis (b) gas oksigen lebih stabil sehingga kenaikan potensial antar muka ke potensial di atas garis (b) menyebabkan terbentuknya gas O₂. Sebaliknya penurunan potensial antar muka ke potensial di bawah garis (a) menyebabkan terjadinya gas H₂.

Persamaan garis (a) dan (b) dapat diplot dengan menggunakan persamaan reaksi air yang tereduksi maupun air teroksidasi.

Reaksi air tereduksi:



$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} (2,303) \log \frac{a_{\text{oksidasi}}}{a_{\text{reduksi}}}$$

$$= E_0 + \frac{RT}{nF} (2,303) \log \frac{a_{\text{H}_2}}{a_{\text{H}^+}}$$

$$= 0 + \frac{2,303RT}{nF} \log [\text{H}^+]$$

$$= 0 - 2,303 \frac{RT}{nF} \text{pH}$$

$$\frac{nF}{nF}$$

Sudah didefinisikan bahwa $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ konsentrasi hydrogen yang juga dapat ditulis $[\text{H}^+] = \text{konstrasi hydrogen yang juga dapat ditulis } C_{\text{H}^+}$ jadi $[\text{H}^+] = C_{\text{H}^+}$

Atau defenisi $\log C_{\text{H}^+} = -\text{pH}$ dengan demikian diperoleh persamaan:

$$E = 0 - \frac{(2,303)(298)(1,987)(4,184)}{(1)(96500)} \text{pH}$$

Potensial standar $\text{H}_2 = 0$ Volt

$$E = -0,0592 \text{pH}$$

Kalau $\text{pH} = -2$

Maka $E = -(0,0592)(-2)$

$$E = 0,1182 \text{ Volt}$$

Jika $\text{pH} = 16$

$$E = -(0,0592)(16)$$

$$E = -0,944 \text{ Volt}$$

Jadi untuk garis (a) mempunyai persamaan:

$$E = -0,0592 \text{ pH}$$

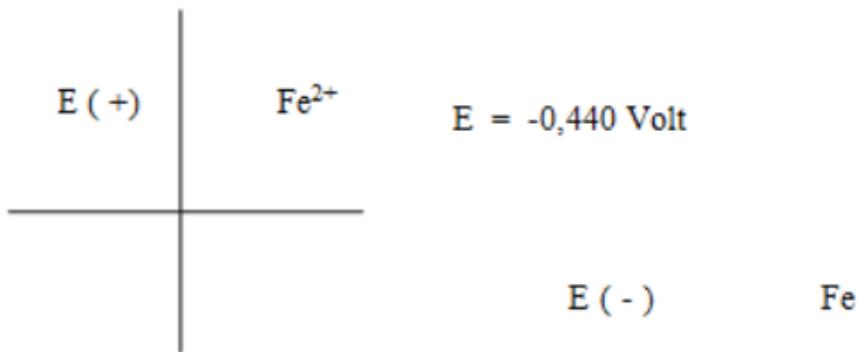
Dengan menggunakan cara yang sama, maka diperoleh persamaan untuk garis (b)

$$E = E_{O_2} - (2,303) (298)(1,987) (4,184) \text{ pH} \\ (1)(96500)$$

$$E = 1,23 - 0,0592 \text{ pH}$$

Jika $\text{pH} = -2$ diperoleh $E = 1,344 \text{ Volt}$ Jika $\text{pH} = 16$ diperoleh $E = 0,282 \text{ Volt}$

Kondisi Fe selain digambarkan secara umum menurut gambar 2.3 dapat juga dijelaskan sesuai gambar 2.3 sebagai berikut:



Jika aktivitas logam semakin menurun (menjadi kecil), maka arah gerak ke bawah sehingga terbentuk endapan Fe yang stabil, artinya Fe immum atau kebal terhadap korosi. Kalau bergerak ke atas maka aktivitas logam akan naik. Hal ini akan menyebabkan terbentuknya ion Fe^{2+} sehingga terjadi korosi. Besi (Fe) dalam keadaan ion, unsure maupun senyawa mempunyai energy bebas standar yang dapat dilihat pada table 2.1 sebagai berikut:

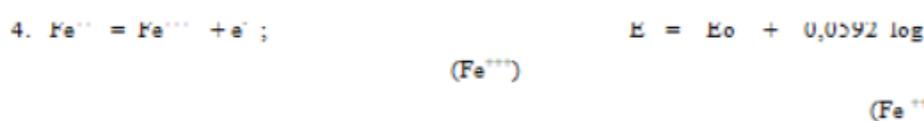
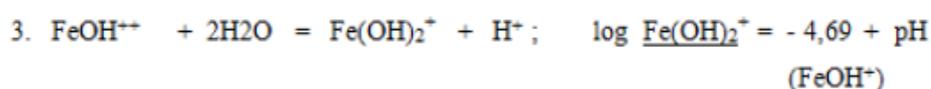
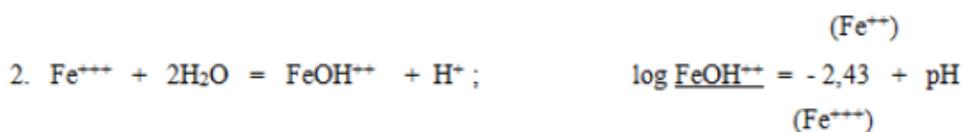
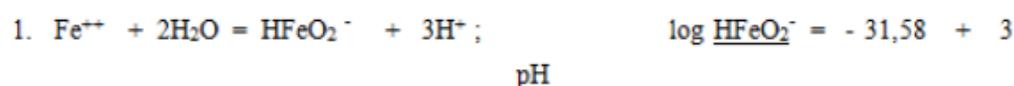
Tabel 2.1 Harga energy bebas unsure Fe/ senyawanya

Unsur/Senyawanya/Ion	G° (kal)
Fe	0
FeO hydrous Fe ₃ O ₄ anhydrous	-58.880
Fe ₂ O ₃ anhydrous Fe ₂ O ₃ hydrous	-242.400
Fe ⁺⁺	-177.100
HFeO ₂ ⁻ Fe ⁺⁺⁺ FeOH ⁺⁺ Fe	-161.930
(OH) ₂ ⁺ FeO ₄ ⁻	-20.300
H ₂ O	-90.627
	-2.530
	-55.910
	-106.200
	-117.685
	-56.690

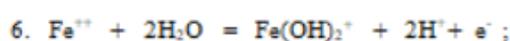
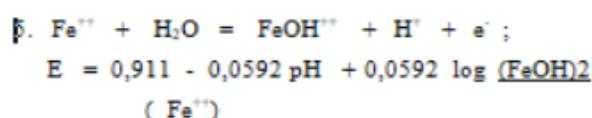
4.3 Reaksi Kestimbangan

Reaksi kestimbangan berdasarkan nomor yang ditunjukkan pada gambar 2.3. Reaksi berikut merupakan reaksi kestimbangan yang disertai dengan persamaan hasil

perhitungan yang memberikan hubungan antara potensial dan pH.



$$E = 0,771 + 0,0592 \log (\text{Fe}^{3+})$$



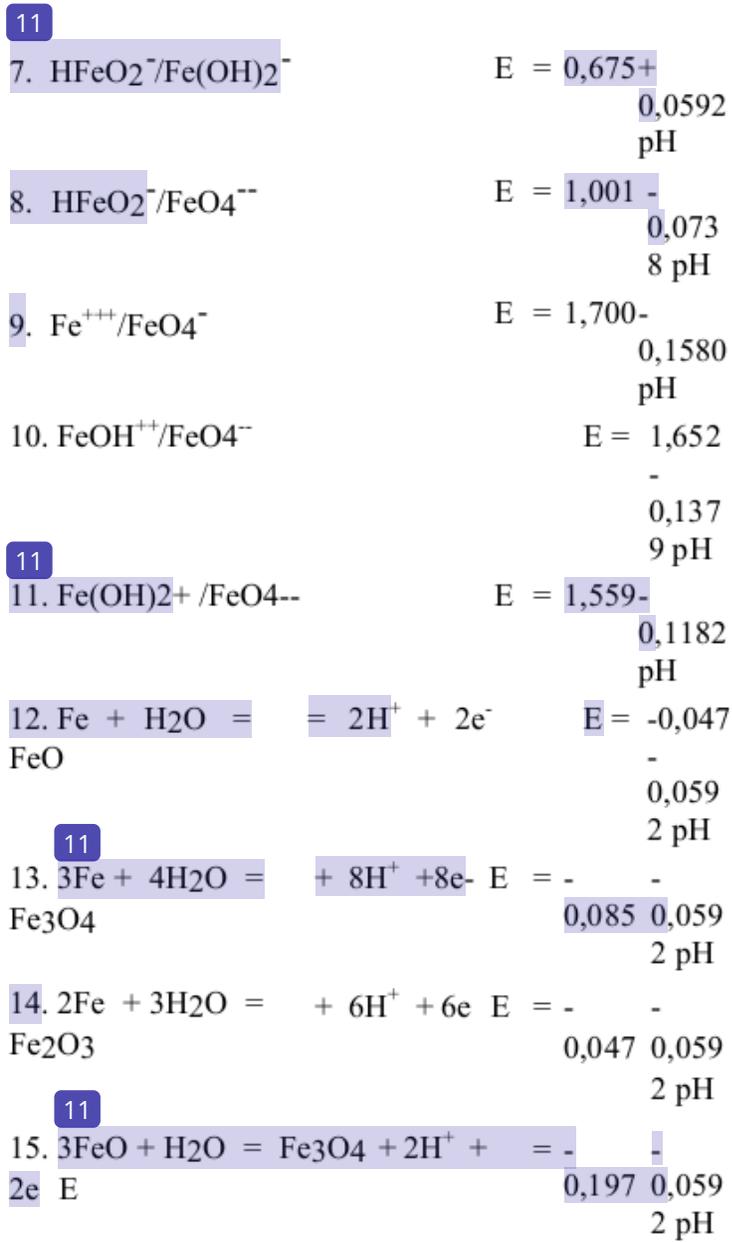
$$E = 1,197 - 0,1182 \text{ pH} + 0,0592 \log \frac{(\text{Fe(OH)}_2^+)}{(\text{Fe}^{2+})}$$

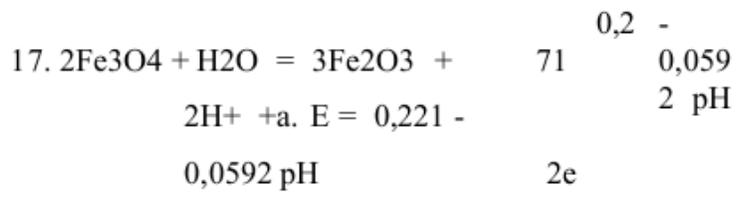
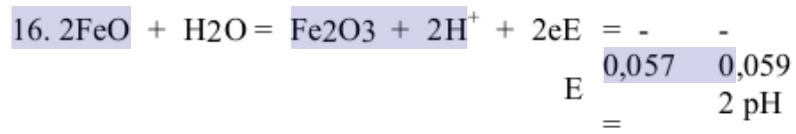
Latihan mencari persamaan potensialnya (E)

1. $\text{HFeO}_2^- + \text{H}^+ = \text{Fe(OH)}_2^+ + e^-$
2. $\text{HFeO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} = \text{FeO}_4^- + 5\text{H}^+ + 4e^-$
3. $\text{Fe}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O} = \text{FeO}_4^- + 8\text{H}^+ + 3e^-$
4. $\text{FeOH}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O} = \text{FeO}_4^- + 7\text{H}^+ + 3e^-$
5. $\text{Fe(OH)}_2^+ + 2\text{H}_2\text{O} = \text{FeO}_4^- + 6\text{H}^+ + 3e^-$

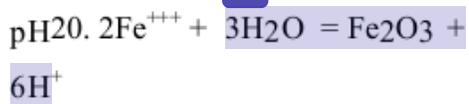
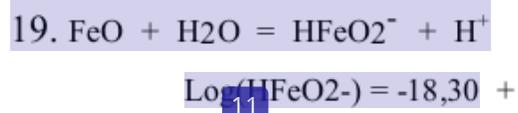
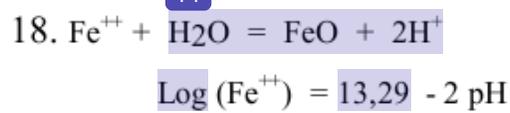
Reaksi dan kesetimbangan berdasarkan gambar 2.3

- | | |
|---|-----------------------|
| 1. $\text{Fe}^{2+}/\text{HFeO}_2^-$ | pH = 10,52 |
| 2. $\text{Fe}^{3+}/\text{FeOH}^{2+}$ | pH = 2,43 |
| 3. $\text{FeOH}^{2+}/\text{Fe(OH)}_2^+$ | pH = 4,69 |
| 4. $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ | E = 0,771 Volt |
| 5. $\text{Fe}^{2+}/\text{FeOH}^{2+}$ | E = 0,914 - 0,0952 pH |
| 6. $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe(OH)}_2^+$ | E = 1,194 - 0,1182 pH |



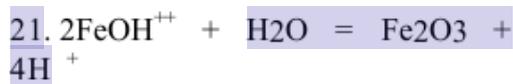


$$\text{b. } E = 1,208 - 0,0592 \text{pH}$$



$$\text{a. } \text{Log}(\text{Fe}^{3+}) = -0,72 - 3\text{pH}$$

$$\text{b. } \text{Log}(\text{Fe}^{3+}) = 4,84 - 3\text{pH}$$



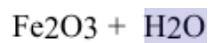
a. $\text{Log}(\text{FeOH}^{++}) = -3,15 - 2\text{pH}$

b. Log

$(\text{FeOH}^{++}) = -$

$2,41 - 2\text{pH}$

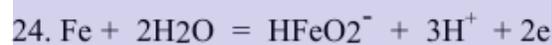
$2\text{Fe}(\text{OH})_2^+ =$



a. $\text{Log Fe}(\text{OH})_2^+ = -7,84 - \text{pH}$

b. $\text{Log Fe}(\text{OH})_2^+ = -2,28 - \text{pH}$

23. $\text{Fe} = \text{Fe}^{++} + 2e$ $E = -0,440 + 0,0295 \log(\text{Fe}^{++})$

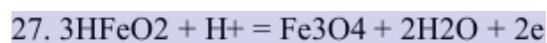


$E = 0,493 - 0,0886 \text{pH} + 0,0295 \log(\text{HFeO}_2^-)$



$E = -0,037 + 0,0197 \log(\text{Fe}^{+++})$ 11 26. $3\text{Fe}^{++} + 4\text{H}_2\text{O} + \text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{H}^+ + 2e$

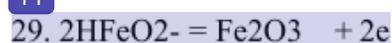
$E = 0,980 - 0,2364 \text{pH} - 0,0886 \log(\text{Fe}^{++})$



$E = -1,819 + 0,0295 \text{pH} - 0,0886 \log(\text{HFeO}_2^-)$ 28. $2\text{Fe}^{++} + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ + 2e$

a. $E = 0,278 - 0,1773 \text{pH} - 0,0592 \log(\text{Fe}^{++})$

b. $E = 1,057 - 0,1773 \text{pH} - 0,0582 \log(\text{Fe}^{++})$

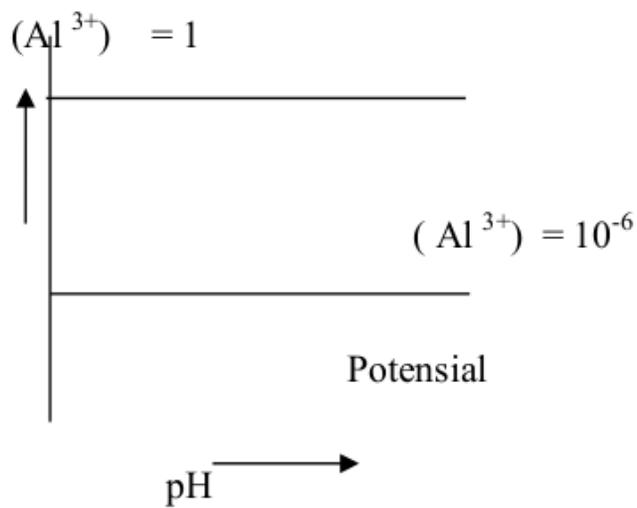


a. $E = -1,139 - 0,0592 \log(\text{HFeO}_2^-)$

b. $E = -0,810 - 0,0592 \log(\text{HFeO}_2^-)$

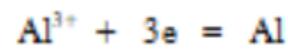
Jika memperhatikan diagram kesetimbangan potensial –pH setiap unsure dalam sisten air dan hasil reaksinya ada yang melibatkan ion H^+ dan OH^- ada juga yang tidak melibatkan kedua ion tersebut. Semua reaksi yang tidak melibatkan ion H^+ dan OH^- maka garis reaksi kesetimbangan akan sejajar dengan ABSIS artinya reaksi kesetimbangan tidak dipengaruhi oleh pH, sedangkan nilai potensial dipengaruhi oleh aktivitas ion.

Contoh :



Aktivitas (a_{AL3^+})	Potensial (E298)
1	-1,662
10-2	-1,701
10-4	- 1,7408

Reaksi kesetimbangan:



$$\Delta G^{\circ} = G^{\circ} \text{Al} - (G^{\circ} \text{Al}^{3+} + G^{\circ} e)$$

$$= 0 - 115.000 - 0$$

$$= -115.000 \text{ kal/mol}$$

Rumus:

$$\Delta G^{\circ} = -nFE^{\circ}$$

$$E^{\circ} = \frac{(115.000)(4.184)}{(3)(96500)}$$

$$E^{\circ} = 1,1662 \text{ Volt}$$

Rumus:

$$E = E^{\circ} - \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{\text{Al}}}{a_{\text{Al}^{3+}}}$$

$a_{\text{Al}} = 1$ (bila Al murni)

$$E = E^{\circ} - \frac{RT}{nF} \ln \frac{1}{a_{\text{Al}^{3+}}}$$

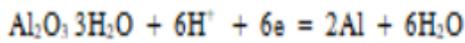
atau

$$E = -E^{\circ} + \frac{RT}{nF} \ln a_{\text{Al}^{3+}}$$

$$E = \frac{-1,662 + 1,987 (298)(4,184)(2,303) \log a_{\text{Al}^{3+}}}{(3)(96500)}$$

$$E = \frac{1,662 + 0,0592 \log a_{\text{Al}^{3+}}}{3}$$

Jika nilai $\log a_{\text{Al}^{3+}}$ dimasukkan sesuai table maka nilai E akan diperoleh sesuai table di atas. Akan diberikan contoh reaksi yang melibatkan ion H^+ dan perpindahan muatan dan electron



$$\begin{aligned} \Delta G^\circ \text{ reaksi} &= 2G^\circ_{\text{Al}} + 6G^\circ_{\text{H}_2\text{O}} - (G^\circ_{\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}} + 6G^\circ_{\text{H}^+} + 6G^\circ_{\text{e}}) \\ &= 0 + 6(-56690) - (-554600) - 0 - 0 \end{aligned}$$

$$= 214460 \text{ kal}$$

$$E^\circ = - \frac{\Delta G^\circ}{nF}$$

$$nF$$

$$\begin{aligned} &= \frac{-214460 \times 4,198 \text{ Volt}}{(6)(96500)} \\ &= -1,549 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$E = E^\circ + \frac{RT}{nF} 2,303 \log a_{\text{H}^+}$$

$$E = -1,549 - 0,0592 \text{ pH}$$

$$\begin{aligned}\Delta G^\circ \text{ reaksi} &= G^\circ \text{AlO}_2^- + 4G^\circ \text{H}^+ - (G^\circ \text{Al}^{3+} + 2G^\circ \text{H}_2\text{O}) \\ &= -200710 + 0 - (-115000 + 2(-56690)) \\ &= 27.670 \text{ kJ}\end{aligned}$$

Reaksi tersebut di atas tidak melibatkan perpindahan muatan hingga tidak ada nilai/harga potensial. Dengan demikian garis kesetimbangan reaksi sejajar dengan koordinat dan nilai diperoleh pada pH tertentu

Jika $a_{\text{AlO}_2^-} = a_{\text{Al}^{3+}}$
Hitung pH dengan menggunakan hasil perhitungan ΔG°

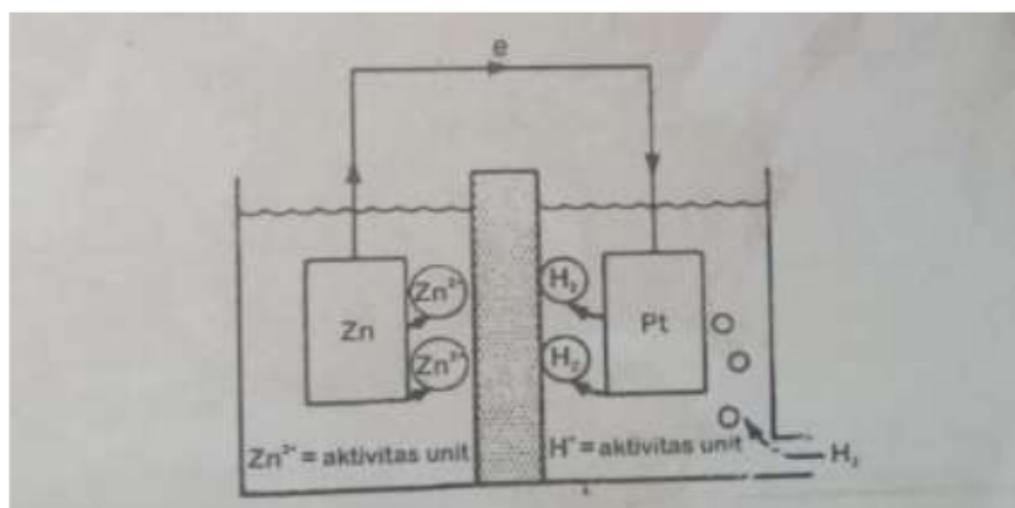
$$\begin{aligned}\Delta G^\circ &= -RT \ln K \\ \Delta G^\circ &= -1,987(298)(2,303) \log \frac{a_{\text{AlO}_2^-}}{a_{\text{Al}^{3+}} \cdot a_{\text{H}_2\text{O}}^4} \\ (27670 &= 1,987)(298)(2,303) \log \frac{a_{\text{AlO}_2^-}}{a_{\text{Al}^{3+}} \cdot a_{\text{H}_2\text{O}}^4} \\ 20,92 &= -\log a_{\text{H}^+}^4 - \log \frac{a_{\text{AlO}_2^-}}{a_{\text{Al}^{3+}}}\end{aligned}$$

4.4 Kinetika Korosi

Pada korosi basah dibedakan atas teori klasik dan teori modern. Teori klasik menggunakan prinsip elektrokimia dan teori modern menggunakan prinsip termodinamika korosi. Metode elektrokimia menyangkut reaksi elektrokimia, polarisasi, pasivasi yang telah dibahas pada aspek tinjauan korosi pada materi sebelumnya. Pada dasarnya, kita tertarik dengan apa yang terjadi apabila sel seperti yang deskripsikan di atas mengalami hubungan pendek seperti diilustrasikan dalam gambar 5.1 secara singkat, reaksi yang kuat terjadi; elektroda seng dengan cepat larut dalam larutan dan bersamaan perubahan cepat dari hidrogen dapat diamati pada elektroda platinum. Elektron dilepaskan dari

reaksi kelarutan seng yang kemudian dipindahkan melalui kabelterhubung menuju elektroda platina dimana mereka dibutuhkan dalam reaksi reduksi hidrogen.

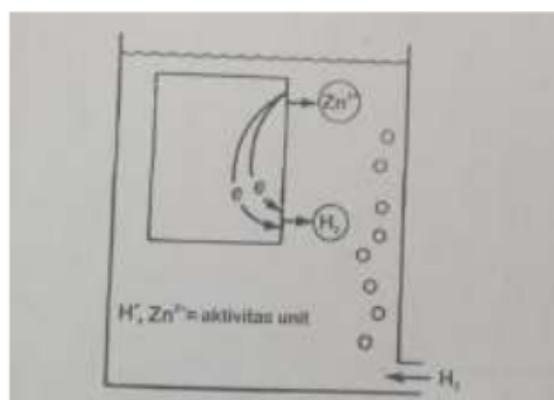
Proses yang terjadi dalam gambar 5.1 adalah proses yang sama terjadi apabila logam seng direndam dalam larutan jenuh asam hidrogen yang mengandung ion seng seperti dalam gambar 5.2. Coba saran di bawah atau ketikkan pertanyaan baru di atas.



Gambar 5.1. Sirkuit hubungan pendek sel elektroda seng dan hydrogen

Sebelum melanjutkan diskusi dari prinsip-prinsip dari kinetika elektroda, beberapa aturan harus ditentukan. Anoda menunjukkan pada elektroda di mana proses oksidasi terjadi, dan katoda menunjuk. pada elektroda di mana reaksi reduksi terjadi. Berdasarkan Gambar 5.1, elektroda seng adalah anoda dan platina atau elektroda hidrogen adalah katoda.

Di dalam sel tersebut ketika jalurnya mengalami hubungan pendek. Oleh karena itu reaksi anodik memiliki arti yang sama dengan reaksi oksidasi, dan juga reaksi katodik memiliki arti yang sama pula dengan reaksi reduksi. Jika sel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.1 mengalami hubungan pendek, dan oksidasi serta reduksi terjadi pada bagian elektroda, potensial dari elektroda tidak akan lagi sama dengan potensial pada kesetimbangan. Penyimpangan dari potensial kesetimbangan ini disebut dengan polarisasi. Polarisasi didefinisikan sebagai pemindahan potensial elektroda yang dihasilkan dari arus bersih. Besarnya polarisasi ini seringkali diukur dengan istilah overvoltage. Overvoltage, biasanya disimbolkan dengan η adalah mengukur polarisasi dengan hubungan potensial keseimbangan dari elektroda. Maka potensial kesetimbangan dari elektroda dianggap nol dan overvoltage dinyatakan dalam istilah volts atau millivolts plus atau minus dengan acuan referensi no.



Gambar 5.2 ilustrasi korosi pada seng

Dalam kedua kasus, reaksi keseluruhannya adalah larutan dari seng perubahan dari hidrogen. Dalam sel terpisah yang di tunjukkan dalam gambar5.1, reaksi yang terjadi pada elektroda yang terpisah. Sedangkan pada gambar5.2, realai tersebut terjadi pada permukaan logam Dalam kedua kasus di atas, perubahan energi bebas dan reaksi dinilai sama karena logam platina tidak ikut bereaksi.

Kinetika reaksi elektrokimia merupakan hal dasar untuk menentukan laju korosi suatu logam M yang diletakkan pada media korosif (elektrolit). Sistem yang terkorosi tidak berada pada kesetimbangan, dan sebelumnya perhitungan termodinamika tidak dapat diaplikasikan. Termodinamika hanya mampu memperkirakan kemungkinan terjadinya korosi, namun tidak dapat membeikan informasi seberapa cepat atau lambat korosi itu terjadi. Kinetika reaksi pada permukaan elektroda tergantung pada potensial elektroda. Sedangkan laju korosi sangat bergantung pada kecepatan aliran elektron dari atau ke antarmuka logam elektrolit. Jika sistem elektrokimia (elektroda dan elektrolit) setimbang, laju reaksi sama dengan nol, laju reaksi diatur oleh kinetika kimia, dimana laju korosi dipengaruhi oleh kinetika elektrokimia.

Kinetika korosi berhubungan dengan laju korosi logam atau paduan logam. Faktor sifat bahan dan jenis lingkungannya menyebabkan laju korosi tiap logamberbeda-beda. Laju korosi (Ca) logam ditunjukkan dengan banyaknya

massa teroksidasi dalam waktu tertentu per satuan luas. Hubungan tersebut dapat diturunkan dari hukum faraday I .

$$m = \frac{I \times t \times a}{n \times F}$$

(5.11)

Dimana m adalah massa logam yang teroksidasi dalam gram, I adalah arus yang digunakan, t adalah waktu dalam detik, a adalah berat molekul, n adalah jumlah elektron yang terlibat dan F adalah bilangan faraday (96500 C/mol). Berdasarkan hukum faraday, laju korosi dapat dihitung menggunakan persamaan 5.12 m i x a

$$C_r = \frac{m}{t \times A} = \frac{i \times a}{n \times F}$$

(5.12)

dimana i adalah densitas arus yang merupakan arus (I) per satuan luas (A). Setiap logam memiliki nilai densitas masing-masing sehingga laju korosinya dalam satuan mpy atau mmpy dapat dituliskan dengan persamaan 5.13 dan persamaan 5.14.

$$C_R = \frac{0,129 \times a \times i}{n \times D} \text{ (dalam mpy)} \quad (5.13)$$

Atau,

$$C_x = \frac{0,00327 \times a \times i}{n \times D} \text{ (dalam mmpy)} \quad (5.14)$$

dimana D adalah densitas (g/cm) dan 0,129 dan 0,00327

adalah suatu tetapan. Densitas baja SS 304 adalah $7,9 \text{ g/cm}^3$

Kinetika korosi juga dapat dinyatakan dengan persamaan Arrhenius

$$\log i_{kor} = \log A - \left(\frac{E_a}{2,303RT} \right) \quad (5.15)$$

5.15.

dimana i_{kor} adalah arus korosi, A adalah konstanta Arrhenius, E_a adalah energi aktivasi, R adalah konstanta gas ideal, T adalah suhu. Persamaan 6-5 menyatakan hubungan suhu terhadap arus korosi yang dihasilkan (Umoren, 2011).

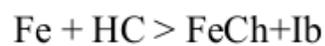
Contoh soal:

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

Penyelesaian:

Diketahui: sepotong baja berada dalam larutan HCl, kandungan utama baja besi (Fe) dengan reaksi oksidasi: $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2e$ maka $n = 2$,

reaksi kimia total yang terjadi:



Nilai $i = 1 \mu\text{A/cm}^2$, $a = 55,847 \text{ gr/mol}$, $D = 7,86 \text{ gr/cm}^3$

$$\text{Jadi:CR} = \frac{0,129 \times 55,847 \times 12}{2 \times 7,86} = 0,548 \text{ mpy}$$

4.5 Inhibitor

Inhibitor Salah satu cara untuk meminimalkan efek degradasi material yang sering digunakan adalah dengan penggunaan inhibitor. Inhibitor berfungsi untuk memperlambat reaksi korosi yang bekerja dengan cara membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam. Lapisan molekul pertama yang terbentuk mempunyai ikatan yang sangat kuat yang disebut chemisorption. Inhibitor umumnya berbentuk cairan yang diinjeksikan pada production line. Karena inhibitor tersebut merupakan masalah yang penting dalam menangani korosi maka perlu dilakukan pemilihan inhibitor yang sesuai dengan kondisinya.

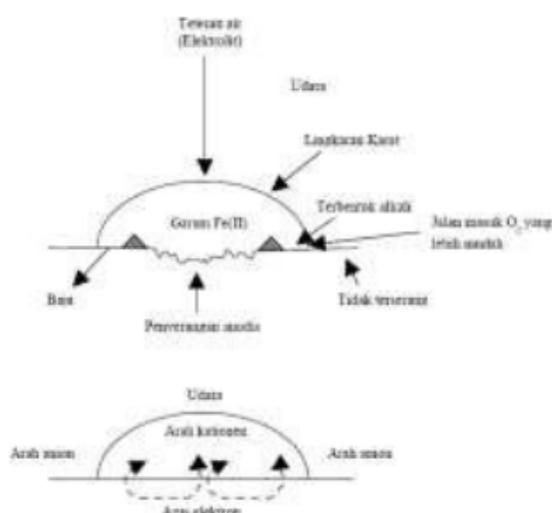
Inhibitor digunakan untuk melindungi bagian dalam struktur dari serangan korosi yang diakibatkan oleh fluida yang mengalir atau tersimpan di dalamnya. Inhibitor biasanya ditambahkan sedikit dalam lingkungan asam, air pendingin, uap, maupun lingkungan lain. Keuntungan menggunakan inhibitor antara lain ; menaikkan umur struktur atau bahan, mencegah berhentinya suatu proses produksi, mencegah kecelakaan akibat korosi, menghindari kontaminasi produk dan lain sebagainya. Penggunaan inhibitor hingga saat ini masih menjadi solusi terbaik untuk melindungi korosi internal pada logam, dan dijadikan sebagai pertahanan utama industri proses dan ekstraksi minyak. Inhibitor merupakan metoda perlindungan yang fleksibel, yaitu

mampu memberikan perlindungan dari lingkungan yang kurang agresif sampai pada lingkungan yang tingkat korosifitasnya sangat tinggi, mudah diaplikasikan dan tingkat keefektifan biayanya paling tinggi karena lapisan yang terbentuk sangat tipis sehingga dalam jumlah kecil mampu memberikan perlindungan yang luas (Terms dan Zahrani, 2006) Secara umum inhibitor korosi merupakan suatu zat kimia yang bila ditambahkan ke dalam suatu lingkungan dapat menurunkan laju serangan korosi terhadap suatu logam.

Fontana (1987) menjelaskan sejumlah inhibitor menghambat korosi melalui caramodifikasi polarisasi katodik dan anodik, mengurangi pergerakan ion ke permukaan logam, menambah hambatan listrik pada permukaan logam dan menangkap atau menjebak zat korosif dalam larutan melalui pembentukan senyawa tidak agresif. Inhibitor korosi menurut bahan dasarnya, dapat dibagi menjadi dua, yaitu inhibitor dari senyawa organik dan dari senyawa anorganik (Widharto,1999). Inhibitor organik pada umumnya berasal dari ekstrak bahan alami yang mengandung atom N, O, P, S dan atom-atom yang mempunyai pasangan elektron bebas. Inhibitor anorganik yang saat ini biasa digunakan adalah sodium nitrit, kromat, fosfat, dan garam seng (Hatch,1984) . Dewasa ini banyak dikembangkan berbagai jenis inhibitor baik yang organik maupun anorganik.

Berbagai jenis inhibitor baru ini diharapkan akan mampu mengurangi laju korosi terhadap suatu material

khususnya material baja karbon rendah. Ada berbagai jenis inhibitor sintetis yang sekarang banyak digunakan untuk menggantikan inhibitor anorganik konvensional seperti HBTT (Hydroxy- Benzylidene-amino-Thioxo-Thiazolidin), DHBTPH (Dihydroxybenzylidenetrifluoromethyl quinolin-Thio-Propano-Hydrazide), BMIC (Alkaloid, ButylMethylimidazolium chlorides), [BMIM]HSO₄ (Butyl-Methylimidazolium hydrogen sulfate), Calcium Gluconate, PEGME (Polyethylene Glycol Methyl Ether) dan lain-lain. Mekanisme Inhibitor Korosi baja adalah penurunan kualitas baja karena terjadinya reaksi kimia atau elektrokimia, antara baja dengan lingkungannya, sebagai contoh; apabila baja dicelupkan dalam air akan terlihat bagian baja yang terkorosi (berkarat). Bagian baja yang terkorosi disebut anodik dan bagian baja yang tidakterkorosi disebut katodik. Proses terbentuknya korosi dapat dijelaskan dalam gambar 1 dan reaksi kimia dibawah ini:

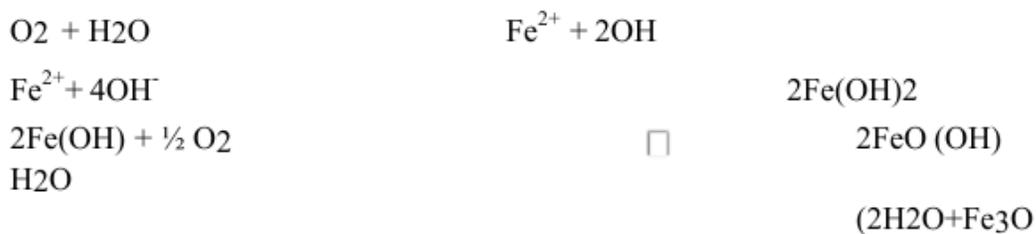


Reaksi-reaksi elektrokimiawi terjadi dalam lingkungan netral

Pada anoda : $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$
(reaksi oksidasi)

Pada katoda : $\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^-$
(reaksi reduksi)

Reaksi total : $\text{Fe} + \frac{1}{2}$



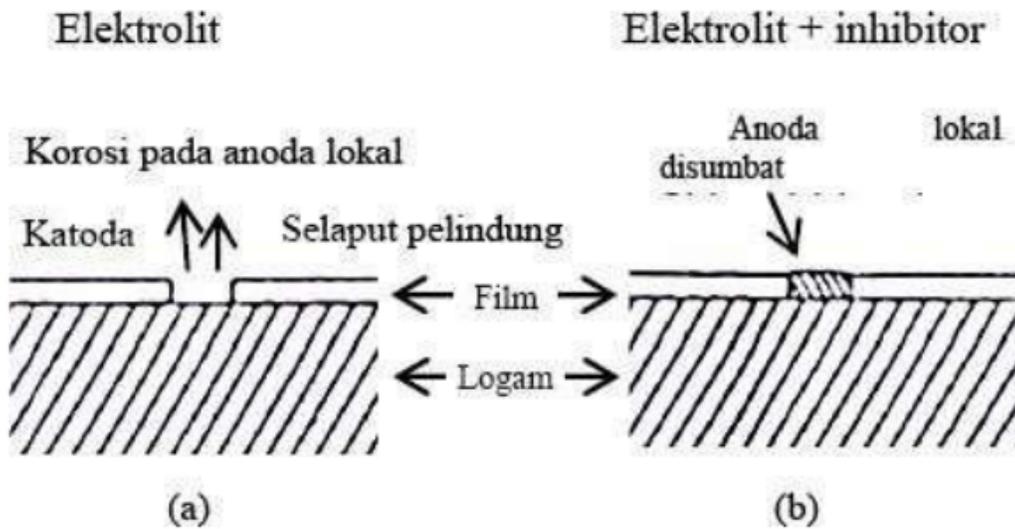
4)

Dimana senyawa Fe_3O_4 merupakan produk karat.

Sejumlah inhibitor menghambat korosi melalui cara adsorpsi untuk membentuk suatu lapisan tipis yang tidak nampak dengan ketebalan beberapa molekul saja, ada pula yang karena pengaruh lingkungan membentuk endapan yang nampak dan melindungi logam dari serangan yang mengkorosi logamnya dan menghasilkan produk yang membentuk lapisan pasif, dan ada pula yang menghilangkan konstituen yang agresif.

Sementara itu mekanisme *inhibitor* anodik dalam mempertahankan lapisan pasif dapat dilihat pada Gambar 2. Pada Gambar 2(a) terlihat korosi terjadi pada bagian selaput oksida yang terkelupas. Selaput pelindung kemudian akan bertindak sebagai katoda, sedangkan logam yang tersingkap sebagai anoda. Kemudian anion dalam *inhibitor* anodik bereaksi dengan ion logam dalam larutan dan menutup bagian yang bersifat anodik,

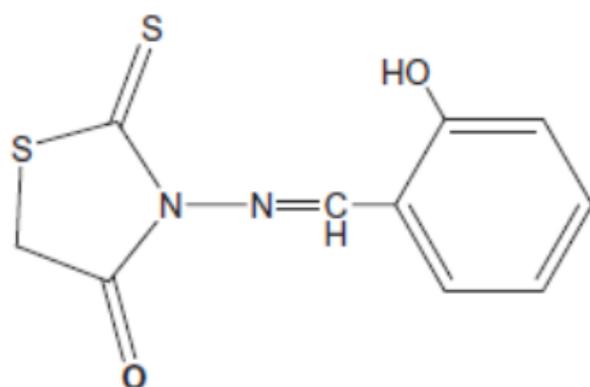
sehingga laju korosi menjadi terhenti kembali ditunjukkan pada Gambar 2(b).



Gambar 2. Efek konsentrasi terhadap *inhibitor* Anodik pada laju korosi (Trethewey, 1991)

Saat telah banyak dikembangkan berbagai jenis inhibitor baik organik maupun anorganik. Salah jenis inhibitor yang banyak digunakan adalah inhibitor anorganik dengan berbagai bahan dasar. Ada berbagai jenis inhibitor sintesis yang sekarang banyak digunakan untuk menggantikan inhibitor anorganik konvensional seperti HBTT (hydroxy-benzylidene)- amino]-2-thioxo-thiazolidin-4-one), DHBTPH (N-(3,4-dihydroxybenzylidene)-3-[[8-(trifluoromethyl)quinolin-4-yl]thio} propanohydrazide), BMIC (Alkaloid, 1-butyl-3-methylimidazolium chlorides), [BMIM]HSO₄ (1-butyl-3-methylimidazolium hydrogen sulfate), Calcium Gluconate, PEGME (Polyethylene Glycol Methyl Ether) dan lain-lain.

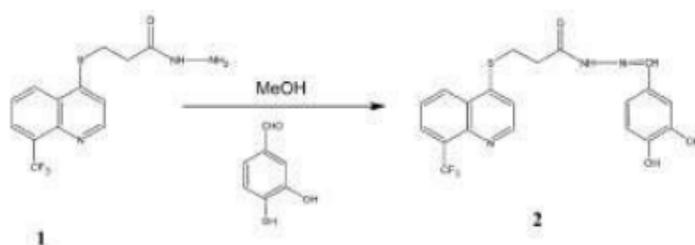
Bahan inhibitor dengan menggunakan HIBTT, dimaksudkan untuk memperbaiki efisiensi dari bahan Rhodanine beserta turunannya yang telah memberikan hasil yang cukup baik ketika diaplikasikan pada material baja karbon rendah. Molekul inhibitor HIBTT yang pertama kali akan diserap pada permukaan baja karbon rendah dan menahan reaksi kimia yang terjadi pada permukaan material dengan fluida yang mengalir.



Gambar 3. Struktur Molekul HIBTT atau Hydroxy-Benzylideneamino-Thioxo-Thiazolidin

Molekul inhibitor HIBTT (Hydroxy-Benzylideneamino-Thioxo-Thiazolidin) tersebut akan terserap pada permukaan baja karbon rendah baik pada reaksi anodik maupun katodik. Reaksi yang timbul dari HIBTT pada baja karbon rendah seperti penggunaan dua jenis inhibitor yang digunakan secara bersama-sama. Namun demikian penggunaan inhibitor jenis ini menunjukkan hasil yang lebih baik jika digunakan dengan konsentrasi yang tinggi dan akan menurun seiring dengan lamanya waktu penggunaan HIBTT. Ditinjau dari ada energi Gibbs antara molekul HIBTT dengan permukaan baja

karbon rendah juga menunjukkan adanya interaksi yang kuat, sehingga dengan penambahan inhibitor ini dengan konsentrasi larutan yang tepat akan menghasilkan lapisan pelindung terhadap korosi pada permukaanbaja karbon rendah (Done dkk, 2012). Selanjutnya DHBTPH (Dihydroxybenzylidene-Trifluoromethyl-Thio Propano Hydrazide) merupakan jenis bahan inhbitor jenis baru yang digunakan untuk menahan serangan korosi pada baja karbon rendah. Dari pengamatan reaksi baik pada katodik dan anodik terlihat bahwa reaksi kimia pada reaksi anodik lebih besar daripada reaksi kathodik. Penggunaan DHBTPH sebagai inhibitor tergantung pada temperatur operasional dan jumlah kandungan zat tambahan untuk mengurangi laju korosi. Reaksi inhibitor ini baik jika dilakukan dalam reaksi yang isothermis (Saliyan dan Adhikari, 2008).



Gambar 4. Struktur Molekul DHBTPH atau (*Dihydroxybenzylidene-Trifluoromethyl-Thio Propano Hydrazide*)

Jenis inhibitor korosi yang lain adalah BMIC (Alkaloid, 1-butyl-3- methylimidazolium chlorides) dan [BMIM]HSO₄ (1-butyl-3-methylimidazolium hydrogen sulfate) yang digunakan secara bersama-sama. Kedua jenis inhibitor ini semakin baik dan

efektif untuk mencegah terjadinya korosi jika konsentrasinya dinaikan. Namun dalam aplikasinya konsentrasi BMIC harus lebih tinggi jika dibandingkan dengan [BMIM]HSO₄. Reaksi yang terjadi antara larutan inhibitor dan permukaan baja karbon rendah berlangsung secara spontan dan *exothermic*. (Zhang dan Hua, 2008)

Name and abbreviation	Molecular structure
1-Butyl-3-methylimidazolium chlorides (BMIC)	
1-Butyl-3-methylimidazolium hydrogen sulfate ([BMIM]HSO ₄)	

Gambar 5. Struktur Molekul BMIC dan [BMIM]HSO₄

Calcium Gluconate juga dapat digunakan sebagai inhibitor untuk mencegah korosi pada baja karbon rendah. Namun dalam aplikasinya jenis inhibitor ini harus digunakan kondisi pH netral. Aktivitas inhibitor akan semakin naik meningkat dengan meningkatnya konsentrasi *gluconate* pada pH 6 dan akan semakin menurun dengan menurunnya kadar pH fluida. Dalam kondisi basa, efektivitas *Calcium Gluconate* menunjukkan hasil yang semakin baik terutama jika digunakan dalam waktu yang cukup lama. Penggunaan jenis inhibitor ini menunjukkan baik untuk fluida berbasis air. (Karim dkk, 2010).

Bahan kimia lainnya yang bisa digunakan sebagai larutan inhibitor untuk mencegah korosi pada baja karbon rendah adalah *Poly Ethylene Glycol Methyl Ether* (PEGME) yang memiliki

rumus kimia $\text{CH}_3(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_n\text{OH}$. Penggunaan PEGME sebagai larutan inhibitor dalam lingkungan asam menunjukkan hasil yang sangat baik dan sangat efektif untuk mengatasi masalah korosi pada material baja karbon rendah (Dubey dan Singh, 2007). Efisiensi inhibitor korosi dengan menggunakan bahan PEGME ini akan semakin baik dengan meningkatnya konsentrasi PEGME yang digunakan.

Rangkuman :

Korosi Berdasarkan Hukum Termodinamika

Di alam bebas kebanyakan logam ditemukan dalam keadaan tergabung secara kimia disebut ore. Bijih-bijih ini berupa oksida, sulfida, karbonat atau senyawa lain yang lebih kompleks. Dengan adanya teori termodinamika dapat dikatakan bahwa bijih atau senyawa lain berada pada energi yang terendah. Energi yang besar diperlukan untuk memisahkan logam misalnya besi dari bijihnya seperti besi oksida, ini dilakukan dengan melalui pemanasan (dengan agen pereduksi) dalam *blast furnance* dengan temperatur sekitar 1600oC. Oleh karena itu logam-logam dalam keadaan tidak bergabung dengan bahan lain memiliki tingkat energi yang tinggi. Hukum termodinamika menggambarkan keadaan energi yang tinggi yang akan berubah ke energi yang rendah. Kecenderungan ini membuat logam-logam bergabung kembali dengan unsur-unsur yang dilingkungan, yang akhirnya membentuk gejala yang disebut korosi (Chodijah Siti.2008).

Selisih energi bebas antara logam dengan produk korosinya hanya menggambarkan logam yang mengalami korosi bukan penentuan laju korosinya. Energi bebas merupakan faktor satu- satunya yang menentukan suatu korosi berlangsung spontan atau tidak.

Semua korosi bergantung pada temperatur, ini karena tingkat energi bebas unsur-unsur yang terlibat bergantung pada temperatur. Oleh sebab itu kita dapat mengaplikasikan ke

persamaan termodinamika sebagai berikut :

$$\Delta G = \Delta G_o + RT \ln J \quad 2.1$$

J didefinisikan untuk suatu reaksi $A + B = C + D$

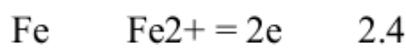
$$J = \frac{[C][D]}{[A][B]} \quad 2.2$$

J mengandung nilai berubah-ubah sesuai dengan perubahan energi pada keadaan tidak seimbang. Jika sistem mencapai suatu titik dimana perubahan energi bebas tidak ada, maka sistem itu berada dalam kesetimbangan dan $\Delta G=0$.

Maka $J = K$ dengan K adalah tetapan kesetimbangan

$$\Delta G_o = -RT \ln K \quad 2.3$$

Seperti contoh reaksi diatas menggambarkan besi yang terkorosi dalam larutan tembaga sulfat sebagai berikut :



Yang menggerakkan reaksi tersebut adalah energi bebas sehingga didapatkan persamaan

$$\Delta G = \Delta G_o + RT \ln \frac{[\text{Fe}^{2+}][\text{Cu}]}{[\text{Cu}^{2+}][\text{Fe}]} \quad 2.7$$

Berdasarkan persamaan yang dirumuskan Michael Faraday yang menyatakan kerja yang dilakukan (perubahan energi bebas pada proses korosi) berdasarkan beda potensial dan muatan yang dipindahkan :

$$\Delta G = E - zF \quad 2.8$$

Keterangan :

E = potensial yang diukur (volt)

z = banyaknya elektron yang dipindahkan dalam reaksi korosi

F = muatan yang dipindahkan oleh satu mol elektron (96494 coulomb per mol) Tanda negatif menunjukkan bahwa elektron bermuatan negatif.

Tanda (o) menyatakan kondisi baku sehingga dapat dituliskan menjadi :

$$\Delta G_o = -zFE \quad 2.9$$

Sehingga kita dapat memasukan kedalam persamaan [2.5] sebagai berikut :

$$-zFE = -zFE_o + RT \ln [Fe^{2+}]/[Cu^{2+}]$$

$$E = E_o - RT/zF \ln [Fe^{2+}]/[Cu^{2+}]$$

$$E = E_o - RT/zF \lg \text{ Hasil reaktan/reaktan} \quad 2.10$$

Dengan temperatur baku 298oK dan $R= 8.3143 \text{ J/mol/K}$ serta konversi ke logaritma berbasis 10 persamaan tersebut menjadi :

$$E = E_o - 0.059/z \log \text{ Hasil reaktan/reaktan} \quad 2.11$$

E adalah ketidakseimbangan yang dibangkitkan pada reaksi, dengan reaktan menyatakan konsentrasi reaktan dan hasil reaksi menyatakan konsentrasi hasil reaksi.

Perilaku termodinamika dapat dijelaskan pada diagram pourbaik/ E-pH. Dalam diagram ini menggambarkan hubungan pH dan potensial elektroda dalam kondisi elektroda sehingga dapat memperlihatkan kondisi-kondisi dimana logam akan terkorosi, tidak terkorosi atau mengalami pemasifan dalam larutan dalam pelarut air.

Inhibitor yang terbentuk mempunyai ikatan yang sangat kuat.

Inhibitor umumnya berbentuk cairan yang diinjeksikan pada production line. Maka perlu dilakukan pemilihan inhibitor yang sesuai dengan kondisinya. Inhibitor korosi merupakan suatu zat kimia yang bila ditambahkan ke dalam suatu lingkungan. Inhibitor anorganik yang saat ini biasa digunakan adalah sodium nitrit, kromat, fosfat, dan garam seng.

LATIHAN

1. Jelaskan pengertian Inhibitor
2. Jelaskan bagaimana reaksi inhibitor pada proses korosi pada logam

MODULE 5 PELAPISAN

5.1 Konsep Pelapisan

Untuk memberikan wawasan tentang lingkup pekerjaan pelapisan dalam proses produksi dapat dijelaskan, bahwa pelapisan pada umumnya merupakan bagian ahir dari proses produksi suatu produk. Proses tersebut dilakukan setelah benda kerja mencapai bentuk ahir, atau setelah proses pengerjaan mesin serta proses penghalusan terhadap permukaan benda kerja dilakukan. Dengan demikian, proses pelapisan termasuk dalam kategori pekerjaan *finishing* dari suatu benda kerja.

Pengerjaan ahir suatu benda kerja dewasa ini menjadi penting karena sangat berperan dalam menembus pasar. Ditengah keberhasilan para ilmuwan mengembangkan teknologi material abad ini, dimana tantangan teknis telah banyak terantisipasi ditingkat operasional, maka kebutuhan akan tampak luar yang menawan menjadi mengemuka.

Proses pelapisan logam dengan berbagai tujuannya menjadi semakin penting dan diperkirakan akan menjadi topik yang makin aktual karena sangat membantu dalam menekan biaya produksi dengan capaian mutu yang prima. Buku ini wat masih serba terbatas cakupan bahasannyadiharapkan dapat menjadi pembuka bagi studi lebih lanjut danlebihdalam tentang pelapisan logam.

5.2 Tujuan dan Jenis Pelapisan Logam

Proses pelapisan bertujuan untuk memberikan sifat tertentu pada suatu permukaan benda kerja. Secara teknis sifat sifat tersebut dapat diklasifikasikan antara lain bertujuan untuk:

- Memperbaiki tampilan luar permukaan
- Mengisolasi permukaan logam dari interaksi dengan lingkungan
- Memberikan sifat khusus pada permukaan logam, antara lain sifat keras, sifat tahan aus, sifat tahan suhu tinggi dll
- Gabungan dari beberapa tujuan diatas secara bersamaan.

Dilihat dari jenis material pelapis, maka pelapisan dapat dikategorikan dalam tiga jenis pelapisan, yaitu:

- Pelapisan organik
- Pelapisan inorganik
- Pelapisan metalik

Pelapisan organik, adalah pelapisan dengan bahan-bahan organik seperti Pelapisan dengan Cat, Lacquer dan Vernis. Pelapisan inorganik adalah pelapisan yang dilakukan dengan bahan-bahan inorganik seperti Gelas Porselain dan Enamel. Pelapisan Metalik merupakan suatu proses pelapisan logam terhadap logam lain yang dilakukan secara sengaja untuk suatu tujuan. Pada buku

yang sederhana ini, yang akan dibahas sedikit mendalam adalah Pelapisan Metalik dengan Hot Dipping dan Elektroplating sedang pelapisan dengan Cat (Painting) akan dibahas pada bagian akhir buku ini.

5.3 Pekerjaan Pendahuluan Untuk Proses Pelapisan

Pengerjaan pendahuluan/persiapan adalah pengerjaan mempersiapkan permukaan bahan yang akan dilapis. Istilah asingnya disebut *pretreatment*. Keberhasilan pengerjaan pendahuluan baik secara kimia dan mekanik akan menentukan kualitas lapisan seperti ketahanan korosi, tampak rupa, kekuatan daya lekat, ketangguhan, dan sebagainya.

1. Jenis-Jenis Pengotor

Pengotor dalam hal ini adalah pengotor yang terdapat pada benda yang akan dilapis, baik akibat pengerjaan pemesinan, poles, buffing, pengotor lemak (*greas*) karat, dan lain-lain.

a. Pengotor Organik dan Anorganik

Pengotor organik adalah semua senyawa organik seperti lemak/minyak hewani dan nabati, minyak mineral, dan minyak pelumas. Minyak hewani dapat dibersihkan melalui penyabunan dengan larutan basa, sedangkan minyak mineral dapat dibersihkan dengan bensin dan *hydro carbon*

chloride.

Pengotor jenis ini terjadi karena bekas pasta pengerjaan *buffing*, pelumas pada perkakas pemesinan, matres, dan sebagainya. Pengotor dari minyak pelumas, minyak mineral sulfide, lebih sulit dibersihkan dibandingkan dengan minyak pelumas tersebut diatas.

Membersihkan pengotor organic banyak digunakan larutan asam seperti larutan asam fosfat dan *ether ethylene*, sedangkan untuk bahan dasar aluminium menggunakan reaksi etsa dan memerlukan pembilasan dengan air yang betul betul bersih.

Pengotor anorganik terjadi akibat pengerjaan cuci asam (*pickling*), etsa, dan sulit dibersihkan. Contohnya seperti geram-geram atau partikel-partikel yang terdapat bersamaan pelumas saat pengerjaan pemesinan, gerinda, poles, dan bor. Endapan-endapan pengotor yang terjadi akibat dari proses etsa dapat dibersihkan dengan larutan nitrat. Pengotor jenis ini biasanya berbentuk oksida silikat, fosfat, inhibitor, pasivator, karena pengerjaan *cleaning* dan *pickling*.

b. Pengotor Oksida dan Fluida Geram

Pengotor yang terjadi akibat bereaksinya logam dengan oksigen dan adanya pengaruh dari lingkungan tertentu. Cara-cara pembersihan oksida karat pada umumnya adalah sebagai berikut.

- 1) Penyemprotan dengan pasir (*blasting/sand blast*)
- 2) Penyikatan (*brushing*)
- 3) Cuci asam (*pickling*)

Dari beberapa cara tersebut, metode yang digunakan tergantung dari tebal oksida/karat dan jenis bahan dasar. Bila diinginkan dapat digunakan lebih dari satu cara di atas dengan kondisi yang berbeda-beda. Selain dengan larutan asam (*acid*) dan basa (alkali) dengan larutan garam juga sangat efektif, karena pada temperature tinggi larutan tersebut dapat teroksidasi atau mereduksi oksida/karat.

Pengotor fluida geram terbentuk, karena adanya penggunaan fluida pada proses pemesinan seperti bubut, bor, frais dan gergaji, jenis fluida yang banyak digunakan adalah sebagai berikut.

- 1) Minyak mineral *chlor*, sulfur, dan *fatty*.
- 2) Minyak biasa/*heavy duty oil* yang mengandung sulfur.
- 3) Minyak pelumas gerinda yang mengandung bahan imbuhan.
- 4) Fluida kimia yang mengandung garam,

sabun, alkohol, dan sulfonat.

Pembersihan pengotor jenis ini dilakukan dengan cara emulsi, celup, dan larutan elektrolit(*electrolytic*) dalam larutan asam atau basa. Dalam pelaksanaan sehari-hari biasa dilakukan dengan kombinasi celup dan emulsi. Larutan yang banyak digunakan adalah larutan asam fosfor atau kromat.

c. Pengotor-Pengotor Lainnya

Pengotor jenis ini adalah pengotor yang berasal dari pengerjaan *buffing* dan poles, minyak yang mengandung pigmen dan pengotor karbon, karena proses pembakaran pada pengerjaan paskan (*heat treatment*).

Bahan kimia yang digunakan pada pengerjaan poles dan *buffing* dapat digolongkan ke dalam tiga kelas, yaitu:

- 1) Minyak mineral.
- 2) Minyak nabati dan hewani dengan partikel-partikel *abrasive*.
- 3) Senyawa yang larut dalam air mengandung *abrasive* dan bahan-bahan yang mengandung asam *stearat*, asam *fatty*, dan *glychlorid*.

Pengotor yang mengandung minyak mineral sulit dibersihkan dengan larutan basa, kecuali basa yang mengandung pengaktif

permukaan. Metode pembersihan dengan cara semprot, agitasi, getaran, penyikatan dapat membantu terutama yang berbentuk padat. Pengotor minyak yang mengandung pigmen agak sulit dibersihkan, karena pigmen terbuat dari oksida *seng*, *graphit*, *lead*, molybdenum sulfide. Unsur-unsur yang menyusun pigmen berfungsi untuk meningkatkan daya lekat minyak pada permukaan logam.

Pada pembersihan pengotor partikel-partikel, terutama partikel besi oksida memerlukan proses demagnetisasi. Setelah itu baru dilakukan dengan cara emulsi, celup dalam larutan kimia pada temperatur tinggi, selanjutnya langsung dibilas dengan air mengalir baik secara semprot atau getaran.

2. Pengerjaan Secara Mekanik

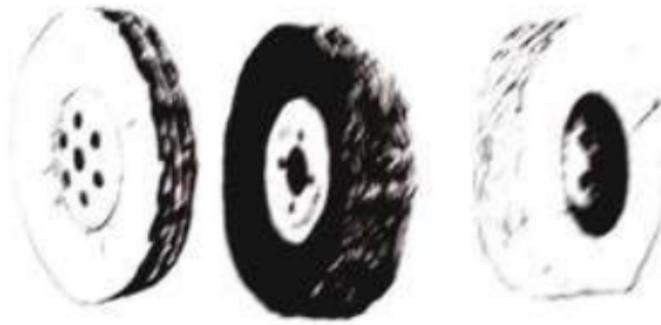
Pekerjaan ini bertujuan untuk menghaluskan permukaan dan menghilangkan goresan-goresan serta geram-geram yang masih melekat pada benda kerja. Biasanya untuk menghilangkan goresan-goresan dan geram-geram tersebut dilakukan dengan cara poles, *buffing*, penyikatan, *barreling*, dan penyemprotan *abrasive*.

a. Pengerjaan Poles (*Polishing*)

Prinsip kerjanya sama seperti proses gerinda, tetapi roda polesnya yang berbeda, yaitu terbuat dari bahan katun, kulit, laken, dan lain-lain. Pengerjaan poles dilakukan sebelum pengerjaan *buffing* dengan tujuan untuk

menghaluskan permukaan dan menghilangkan goresan-goresan yang terjadi akibat pengerjaan sebelumnya dan cacat-cacat yang akan memengaruhi kualitas lapisan. Akibatnya sebagian permukaan benda kerja akan terkikis dan kehalusan yang akan dicapai kira-kira 16 mikro inch. Hal-hal yang perlu diperhatikan pada pengerjaan poles adalah bentuk *abrasive*, kain poles, ketepatan penyenteran dan keseimbangan antara lain kain poles yang harus selalu dalam arah radial. Abrasive yang banyak digunakan dalam bentuk pasta daripada bentuk-bentuk cair dan terbuat dari partikel-partikel *corundum* (oksida aluminium) yang sangat keras, selain itu ada juga yang terbuat dari karbida silikon yang lebih keras dari oksida aluminium.

Kehalusan butiran *abrasive* antara 30-240 mesh dan didapat melalui pengayakan, sedangkan untuk 280-600 mesh didapat melalui proses klasifikasi. Untuk kain poles yang banyak digunakan terbuat dari bahan kanvas, muslin (kain tipis, misalnya satin), kain, kayu laken, dan sebagainya.



Gambar 5.1. Bentuk-bentuk kain poles

Karena putaran pada pengerjaan relative tinggi 6.000 – 8.000 Sfm, maka kesentrisan dan berat yang merata dari kain poles perlu dijaga agar tidak terjadi getaran. Getaran ini umumnya mengakibatkan tekanan pemolesan tidak merata. Kesulitan yang terjadi pada pekerjaan poles adalah benda ukuran yang sangat kecil serta terbatas pada permukaan tertentu saja, sehingga untuk itu perl digunakan proses pengerjaan dengan *barrel* dan pemolesan secara kimia yang dikenal dengan sebutan *chemical polishing process*.



Gambar 5.2. Mesin poles

b. Pengerjaan Buffing

Pengerjaan *buffing* merupakan pengerjaan penghalusan permukaan benda kerja setelah pengerjaan poles. Dengan adanya pengerjaan *buffing* permukaan benda kerja akan menjadi mengkilap tanpa terlihat goresan-goresan atau cacat lainnya. Pengerjaan *buffing* dilakukan dengan kain buff yang berputar sambil diberikan bahan kimia tertentu.



Gambar 5.3. Kain *buffing*

Pengerjaan *buffing* dapat dikelompokkan kedalam tiga kategori seperti berikut.

- 1) *Satin buffing* untuk mendapatkan permukaan satin dan halus yang dekoratif
- 2) *Cut color* untuk mendapatkan permukaan halus dengan luster tertentu.

3) *Color buffing*, *buffing* yang digunakan untuk mendapatkan permukaan yang sangat halus dan mengkilap.

Permasalahan dalam proses *buffing* adalah bahan pasta buff dan kain buff. Bahan pasta buff harus mengandung *abrasive* dan semacam perekat atau pengikat. Partikel *abrasive* berfungsi sebagai pemotong, sedangkan perekat berfungsi sebagai pelumas dan menjaga agar tidak timbul panas, serta perekat tidak boleh bereaksi dengan permukaan logam. Terdapat beberapa jenis pasta yang sering digunakan pada proses *buffing* di antaranya adalah sebagai berikut.

- 1) Pasta aluminium mengandung kwarsa halus dan lebih keras, digunakan untuk bahan aluminium hasil ekstrusi dan cor.
- 2) Pasta kapur digunakan untuk kuningan, tembaga, nikel, dan aluminium.
- 3) Pasta color mengandung silika seperti Tripoli, tetapi lebih halus untuk menghasilkan permukaan yang lebih rata.
- 4) Pasta Tripoli mengandung silika untuk proses *buffing non ferro*.
- 5) Pasta stainless steel mengandung aluminium oksida untuk stainless steel.
- 6) Pasta baja mengandung aluminium oksida untuk baja.

- 7) Pasta krom mengandung aluminium oksida untuk lapisan krom.
- 8) Pasta untuk logam mulia yang mengandung oksida besi.
- 9) Pasta intan untuk memperoleh permukaan satin.

Kain buffing pada mekanisnya berfungsi menekan *abrasive* terhadap permukaan dan dapat digolongkan menurut desainnya yaitu *bias, finger, fludesk*, dan *piece*.

c. Pengerjaan Penyikatan (*Brushing*)

Pasta abrasive jika digunakan tidak akan menempel pada sikat, tetapi melekat pada permukaan benda kerja. Pengerjaan penyikatan dapat dilakukan untuk pengerjaan pembersihan.

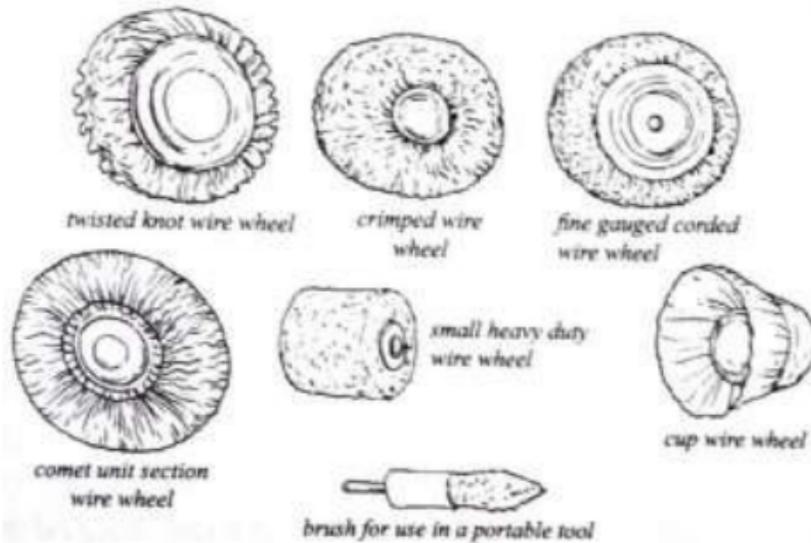
Sikat yang digunakan terbuat dari kawat atau serat-serat bukan logam. Menurut desain dan penggunaannya sikat dapat dikelompokkan dalam tiga golongan, yaitu:

- 1) Jenis kawat dan bukan kawat atau serat.
- 2) Panjang kawat yang bebas dari ikatannya.
- 3) Kerapatan/jumlah kawat persatuan luas.

Terdapat dua cara pengerjaan penyikatan yaitu penyikatan kering dipakai untuk membersihkan kotoran dari lasan, oksida cat. Sedangkan penyikatan basa digunakan bersama-sama dengan pengerjaan pembersihan lainnya.

Sikat yang terbuat dari bahan logam sering digunakan untuk mendapatkan permukaan dengan *texture dop* atau *matt*. Ikatan serta susunan kawat untuk penyikatan kering sedikit berbeda dengan ikatan dan susunan kawat basa.

Kawat yang terbuat dari baja umumnya berdiameter kecil yaitu 0,01 mm dan kecepatan putarannya berkisar 4.000 – 6.000 rpm.



Gambar 5.4. Bentuk-bentuk dan jenis sikat kawat

d. Pengerjaan Barrel (*Barreling*)

Pengerjaan dengan *barrel* merupakan pengerjaan pembersihan dan pengolahan permukaan untuk benda kerja berukuran kecil dalam jumlah yang besar secara bersamaan. Pengerjaan dengan metode ini dikategorikan sebagai pembersihan permukaan benda kerja dari pengotor minyak, lemak, geram, dan sebagainya sebelum dilanjutkan ke proses pelapisan.

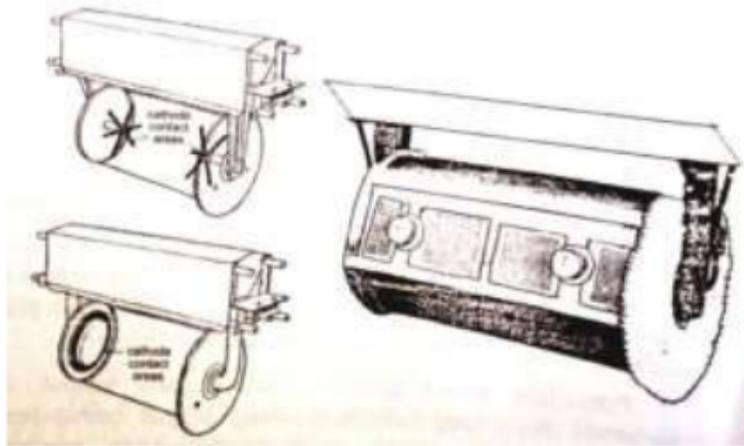
Pengerjaan barrel dilakukan dalam suatu tempat yang berbentuk drum yang berlobang-lobang dengan bentuk-bentuk yang khusus

dan berputar dengan kecepatan putarnya tergantung dari diameter *barrel*.

Ukuran diameter 10 inch kecepatan putarnya 72 rpm, diameter 8 inch kecepatan putarnya 92 rpm, diameter 6 inch kecepatan putarannya 120 rpm, sedangkan bentuk-bentuk *barrel* ada yang silinder, segienam, segidelapan polygon dengan ujung yang terbuka.

Didalam *barrel* yang menyertai benda kerja ada unsur-unsur bahan pencuci seperti sabun, detergen, basa, asam dan lain-lain, juga ada unsur-unsur *abrasive* dan bahan-bahan lain sebagai media. Media yang digunakan tergantung jenis benda kerja misalnya oksida aluminium, silikonkarbida, baja, kuningan, keramik, karet, kulit, serbuk gergaji dan sebagainya dalam bentuk-bentuk tertentu, sedangkan pemakaian *abrasive* tergantung pada operasinya apakah sebagai pencucian atau pembersihan karat.

Bentuk barrel untuk pengerjaan pembersihan atau pendahuluan sedikit berbeda dengan bentuk barrel untuk proses pelapisan. Dalam barrel untuk proses pembersihan tidak terdapat poros sebagai penghantar listrik searah.



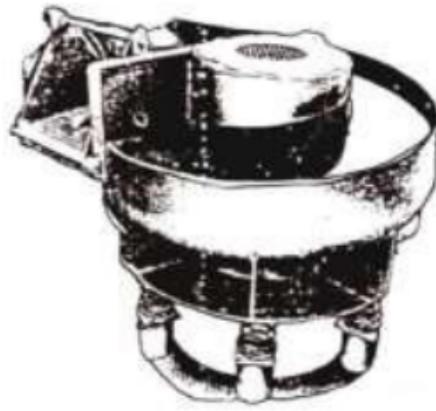
Gambar 5.5. Bentuk barrel untuk pengerjaan pembersihan

Operasi pengerjaan bisa dalam keadaan basah dan kering. Jika dalam keadaan basah biasanya digunakan abrasive, kadang-kadang bahan pembersih dan pelumas, sedangkan jika dalam keadaan kering biasanya digunakan kulit, kayu, aluminium, serbuk gergaji, dan lain-lain sebagai media pembersihnya.



Gambar 5.6. Bentuk-bentuk media pembersih/poles untuk pengerjaan barrel

Untuk benda kerja yang berukuran sedikit lebih besar perlu adanya alat untuk mencegah agar tidak terjadi tumbukan antara benda kerja yang relative lebih besar. Metode yang hampir sama dengan pengerjaan barrel adalah pengerjaan dengan sistem *vibratori* yang juga menggunakan media oksida aluminium, silikon karbida dan sebagainya, hanya bentuknya peralatannya yang berbeda.



Gambar 5.7. Bentuk vibrator tipe vertikal terbuka

e. Pengerjaan Semprot Abrasive

Pengerjaan pembersihan permukaan dengan abrasive blast cleaning adalah cara penyemprotan partikel-partikel abrasive bertekanan dan dilakukan dengan cara basah atau kering. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan kotoran yang menempel pada permukaan benda kerja. Proses semprot abrasive ini banyak digunakan untuk:

- 1) Membersihkan karat, terak, pasir cetak, dan sebagainya.
- 2) Pengkasaran benda kerja untuk meningkatkan daya

lekat.

- 3) Mendapatkan struktur yang *matt*.
- 4) Meratakan sudut dan permukaan yang runcing (*deburning*).

Abrasives untuk proses kering adalah grit yaitu mengandung partikel-partikel logam (serbuk baja cor dan lainnya). Sand atau partikel selika, kulit, serbuk gergaji, plastik, kaca, dan lainnya termasuk dalam abrasives nonlogam, sedangkan jenis dan ukurannya tergantung pada pengotoryang akan dibersihkan.

Abrasives untuk proses basah mempunyai ukuran 20 – 500 mesh terbuat dari bahan organik, silica, garnet, oksida aluminium, kaca dan sebagainya, sedangkan larutan yang digunakan harus mengandung antara lain inhibitor dan wetting agent. Kandungan partikel dalam larutan tersebut berbanding kira-kira 20 – 35% volume.

f. Pengerjaan Secara Kimia

Pengerjaan pembersihan dengan cara kimia dilakukan dengan menggunakan larutan kimia, sehingga terjadi reaksi yang dapat memisahkan pengotor dari permukaan benda kerja. Pengerjaan ini meliputi pengerjaan pembersihan dengan larutan basa, emulsi pelarut organik, larutan asam, poles listrik dan brightening untuk bahan dasar aluminium.

g. Pengerjaan Cuci Lemak (*Degreasing*)

Hal ini bertujuan untuk memberikan benda kerja dari pengotor seperti lemak, minyak atau pengotor padat lainnya. Pengerjaan ini sangat diperlukan, karena lemak dan minyak akan mengurangi daya hantar listrik antara ion pelapis dengan benda kerja. Pengerjaan cuci lemak ini menggunakan larutan jenis basa (alkali). Metode-metode yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut.

1) Metode pembersihan biasa

Menggunakan alat khusus (*hand cleaing*) seperti sikap dan kain lap.

2) Metode celup (*Dipping*)

Bentuk bak sangat menentukan antara lain letak pemanas, pengaduk, *over flow*, dan pengeluaran endapan atau pengotor.

3) Metode ultrasonic

Menggunakan getaran ultrasonic 20.000 Hz untuk mengaduk larutan agar dapat mempercepat proses pembersihan

4) Metode semprot

Larutan pembersih disemprotkan pada benda kerja yang berputar dan dilengkapi alat penyikat.

5) Metode listrik (*Elektro degreasing*)

Prinsipnya mirip proses pelapisan, benda kerja dijadikan anoda bila menggunakan arus searah dan pada katoda bila

menggunakan arus bolak balik. Larutan harus mengandung bahan emulsi dan witting agent. Tegangan yang digunakan 6 – 12 volt untuk arus searah dengan rapat arus 2,16 A/dm².

6) Metode barrel

Sistem ini sangat menguntungkan untuk benda-benda yang berukuran kecil dan ringan yang sulit dikerjakan dengan cara lain.

7) Metode getaran (vibrator)

Benda kerja bergerak dengan kecepatan rendah akibat adanya getaran di dalam media abrasive dan larutan detergent.

Dari ketujuh metode tersebut, yang paling banyak digunakan di industry pelapisan adalah:

- 1) Metode celup (dipping)
- 2) Metode listrik (elektro degreasing)
- 3) Metode barrel
- 4) Metode getaran (vibrator)

Pembersihan secara celup dilakukan dengan cara meredamkan benda kerja ke dalam larutan basa (alkalin) pada kondisi panas dengan suhu 60 – 70^oC selama 5 – 15 menit. Lamanya pencucian harus disesuaikan dengan kondisi permukaan benda kerja. Apabila lemak dan minyak yang menempel lebih banyak, maka lamanya pencucian ditambah, hingga permukaan bersih. Larutan

basa (alkalin) yang banyak digunakan ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 5.1. Komposisi larutan pembersih basa (*alkalin degreasing*)

Bahan dan Kondisi Operasi	Konsentrasi g/L							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Bahan:								
Caustic soda (NaOH)	20-40	20-30	50	-	12,5	62,5	62,5	37,5
Sodium carbonat (Na ₂ CO ₃)	-	15-30	50	-	25	-	-	-
Sodium orthosilikat (Na ₄ SiO ₄)	5-15	30-50	5-10	-	-	-	-	-
Sodium metasilikat (Na ₄ SiO ₃)	-	-	-	25	12,5	-	-	9,5
Sodium phospat (Na ₂ PO ₄)	0-10	-	-	25	2,5	37,5	37,5	6,5
Surfactant	1-3	1-2	1-2	-	0,75	-	-	1,5
Kondisi operasi: Temperatur (°C)	60 – 80							

h. Pengerjaan Cuci Lemak Secara Listrik (*Elektrolytic Degreasing*)

Pembersihan secara elektro yaitu pembersihan secara elektro yaitu pembersihan yang menggunakan arus listrik searah atau regtifier dan bertujuan selaian mendapatkan hasil pembersihan yang lebih bersih juga meningkatkan kecepatan pencucian. Prinsip kerja permbersihan metode ini sama seperti pada proses pelapisan, tetapi benda kerja yang akan dibersihkan dapat

ditempatkan pada katoda dan anoda. Katoda dan anoda yang dipakai adalah lempengan karbon, sedangkan untuk jenis larutannya berbeda, tergantung metode pencuciannya.

Bila benda kerja yang akan dibersihkan ditempatkan pada elektroda positif atau anoda, maka larutannya menggunakan larutan anoda cleaning dan prosesnya disebut anoda cleaning/degreasing. Sebaliknya bila ditempatkan pada elektroda negative atau katoda, larutannya harus menggunakan larutan katoda cleaning dan prosesnya disebut katoda cleaning/degreasing.

Dari kedua metode ini, metode dengan benda kerja ditempatkan pada elektroda positif (anoda) akan lebih menguntungkan dibandingkan dengan metode katoda, karena proses pembersihan akan lebih cepat. Namun, kekuarngannya adalah sering terjadi oksidasi, jika terlambat dalam pelaksanaan proses pelapis.

Komposisi dan kondisi operasi larutan alkalin untuk pencucian secara elektro dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 5.2. Komposisi dan kondisi operasi pembersihan secara elektro

Bahan dan Kondisi Operasi	Jenis Larutan Pembersih g/L	
	Katoda Cleaning	Anoda Cleaning
Bahan:		
Caustic soda (NaOH)	20-30	7,50-15
Sodium orthosilikat (Na ₄ SiO ₄)	30-50	-
Sodium carbonat (Na ₂ CO ₃)	10-20	30-45
Sodium phospat (Na ₂ PO ₄)	-	15-30
Pengaktif permukaan (Surfactant)	1-2	1-2
Kondisi operasi:		
Temperatur (°C)	60	
Rapat Arus (A/dm ²)	10	
Waktu (menit)	1	- 2

i. Pengerjaan Cuci Asam (*Pickling*)

Pencucian dengan asam bertujuan untuk membersihkan permukaan benda kerja dari oksidasi atau karat dan sejenisnya secara kimia melalui perendaman. Larutan asam ini terbuat dari

pencampuran air bersih dengan asam, berupa:

- 1) Asam klorida (HCl)
- 2) Asam sulfat (H₂SO₄)
- 3) Asam florida (HF)

Reaksi proses pickling sebetulnya adalah proses elektro kimia dalam sel galvanis antara logam dasar (anoda) dan oksida (katoda). Gas H₂ yang timbul dapat mereduksi ferri oksida menjadi ferro oksida yang mudah larut.

Selain itu perlu diperhatikan bahwa pada saat proses pickling sering terjadi hal-hal antara lain seperti:

- 1) Pemakanan logam dasar.
- 2) Kerapuhan hydrogen (*hydrogen embrittlement*).
- 3) Lubang yang kecil dan dalam (*pitting*)/*over pickling*.
- 4) Gas (*frame*) akibat reaksi yang berlebihan.

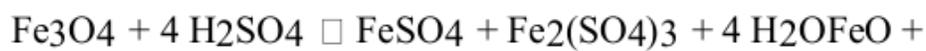
Untuk barang atau benda kerja dari besi/baja cor yang masih mengandung sisa-sisa pasir dapat digunakan larutan campuran dari asam sulfat dan asam florida, sebab larutan tersebut dapat berfungsi selain untuk menghilangkan oksida serpih, juga dapat membersihkan sisa-sisapasir yang menempel pada benda kerja.

5.4 Pembersihan dengan asam sulfat

Asam sulfat yang banyak digunakan dalam larutan pencuci untuk pengerjaan pembersihan adalah dengan komposisi dan kondisi operasi seperti berikut ini.

Asam sulfat (H ₂ SO ₄)	: (10-40%) x volume
Inhibitor	: (0,25-8,25%) x
volume	
Temperatur	: 50-60 ^o C Waktu
pembersihan	: 5-15 menit

Reaksi-reaksi yang terjadi pada saat proses pembersihan adalah sebagai berikut ini.



Keuntungan dan kelemahan menggunakan larutan asam sulfat:

Keuntungan:

- 1) Ongkos atau biaya pengerjaan lebih rendah
- 2) Pencemaran terutama bau rendah

Kelemahan:

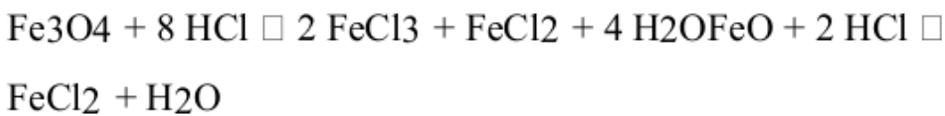
- 1) Permukaan menjadi agak gelap terutama untuk baja karbon tinggi
- 2) Inhibisi dari garam yang terjadi besar
- 3) Biaya instalasi tinggi
- 4) Beroperasi pada temperatur tinggi

5.5 Pembersihan dengan asam klorida

Komposisi dan kondisi operasi untuk pengerjaan pembersihan dengan larutan asam klorida yang banyak digunakan adalah seperti berikut ini.

Asam klorida (HCl)	: (2-20%) x volume
Inhibitor	: (0,20%) x volume
Temperatur	: 20-40 ^o C Waktu
pembersihan	: 5-15 menit

Reaksi-reaksi yang terjadi pada saat proses pembersihan adalah seperti berikut ini.



Keuntungan menggunakan larutan asam klorida:

- 1) Menghasilkan keseragaman permukaan yang rata.
- 2) Mudah dibilas dan terjadinya *over pickling* lebih kecil.
- 3) Kurang berbahaya dibandingkan dengan asam sulfat.
- 4) Sangat baik untuk proses lapis listrik karena rata dan daya lekat tinggi.
- 5) Biaya operasi rendah, karena beroperasi pada temperatur rendah.

5.6 Macam-Macam Pelapisan Logam

Tujuan pelapisan terutama secara garis besar dapat diklasifikasikan untuk kegunaan-kegunaan berikut

- a. Pelapisan Dekoratif
- b. Pelapisan Protektif
- c. Pelapisan untuk sifat khusus permukaan

4 a. Pelapisan Dekoratif:

Pelapisan dekoratif terutama bertujuan untuk menambah keindahan tampak luar suatu benda atau produk. Suatu produk yang terbuat dari bahan Zinc atau bajabiasa, akan nampak tumpul dan kurang menarik. Bila produk engineering ini dilapisi dengan Chromium, maka akan lebih atraktif dan nilai jualnya akan lebih tinggi.

Pelapisan dekoratif dengan bahan chromium dewasa ini lebih banyak memperoleh perhatian diluar pelapisan dengan perak dan emas karena warnanya yang cemerlang dan tahan lama. Untuk pelapisan yang tebal, chromium dilapiskan setelah lapisan awal tembaga atau nikel.

Pelapisan dekoratif untuk keindahan banyak digunakan untuk perhiasan dan peralatan interior rumah tangga. Logam-logam yang umum digunakan untuk pelapisan dekoratif adalah Emas, Perak, Nikel, Tembaga dan Rhodium.

b. Pelapisan Protektif

Pelapisan protektif adalah pelapisan yang terutama bertujuan untuk melindungi logam yang dilapisi dari serangan korosi. Pada umumnya, pelapisan protektif tidak berdiri sendiri dalam tujuannya. Umumnya, pelapisan protektif juga dirancang untuk memperbaiki tampak luar benda. Pelapisan protektif terutama ditujukan untuk melindungi logam substrate (logam yang dilapisi dari serangan korosi). Dengan pelapisan itu, logam *substrate* akan terhindar dari interaksi dengan lingkungan sehinggalah terhindar dari proses oksidasi atau korosi.

Untuk pelapisan protektif dengan tujuan utama melindungi substrate dari korosi, logam Zinc, Cadmium dan Timah putih lebih banyak digunakan.

4 c. Pelapisan Untuk Sifat Khusus

Pelapisan ini bertujuan untuk alasan khusus, misalnya pemakaian paduan Timah hitam dan Timah putih dengan konstituent lain dalam jumlah kecil pada kabel-kabel tembaga yang ada dalam alat-alat elektronik dan komunikasi berguna untuk memudahkan proses solder, Solder terhadap logam tembaga tanpa lapisan timah putih sebagai 'undercoats' akan menghasilkan kontak listrik yang kurang baik.

Termasuk kedalam kategori ini pelapisan yang dilakukan untuk mendapatkan sifat khusus permukaan, seperti sifat keras, sifat tahan aus dan sifat tahan suhu tinggi atau gabungan dari beberapa tujuan diatas secara bersama-sama. Pelapisan untuk

tujuan ini umumnya lebih tebal dibanding lapisan terdahulu. Satuan ketebalan umumnya dinyatakan dalam milimeter, tidak dalam micrometer seperti umumnya.

Pelapisan untuk menambah ketebalan suatu bagian mesin yang aus setelah sekian lama beroperasi, juga termasuk dalam kategori ini. Misalnya pada bagian bantalan poros, atau roll pada pabrik baja. Pelapisan Nikel, merupakan salah satu jenis pelapisan untuk menghasilkan sifat keras dan tahan aus pada permukaan logam. Misalnya untuk permukaan dalam silinder mesin Diesel dimana selaluterdigesekan dengan cincin iston pada suhu yang tinggi. Pelapisan yang sama juga dapat dilakukan pada permukaan poros yang ditumpu dengan bantalan journal

Cincin piston yang terbuat dari paduan Aluminium, umumnya dilapisi dengan timah putih (Sn) timbel (Pb). Indium atau Perak untuk menghindari timbulnya oksida Aluminium yang sangat abrasif pada dinding silinder pada motor pembakaran dalam. Suatu proses yang tergolong untuk kegunaan khusus, adalah Pengerasan Setempat (Case Hardening) yaitu suatu proses yang dilakukan untuk menutupi kebutuhan operasional, misalnya pada daerah dimana terdapat bantalan luncur yang memerlukan proses pengerasan setempat dan ketahanan terhadap aus. Salah satu contoh proses pengerasan setempat adalah proses Carburizing pada permukaan baja.

5.7 ⁴ Pelapisan Logam Ditinjau Dari Sifat Elektrokimia

Bahan Pelapis

Dilihat dari elektrokimia bahan pelapis terhadap substrate, maka sifat suatu pelapis dapat dikategorikan dalam klasifikasi berikut ini:

✓ ⁴ Pelapisan Anodik atau Sacrificial Coating

Pelapisan Anodik merupakan pelapisan dimana potensial listrik logam pelapis lebih anodik terhadap substrate. Pelapisan dengan Zinc dan Cadmium terhadap besi dan baja merupakan pelapisan anodik yang paling populer. Logam Zn dengan potensial listrik -0,762 Volt Vs SHE dan logam Cadmium dengan potensial listrik 0,402 Volt Vs SHE akan bersifat anodik terhadap baja dengan potensial listrik -0,04 Volt Vs SHE, sehingga ketika kedua jenis logam ini berkontak maka logam anodik akan bersifat melindungi logam yang katodik. Dalam bahasa yang sederhana, logam yang anodik akan mengorbankan dirinya (sacrifice) dalam bentuk korosi yaitu suatu reaksi penguraian logam berupa suatu reaksi oksidasi ⁴ sehingga logam yang lebih katodik terhindar dari reaksi korosi. Pelapisan Anodik umumnya dipilih untuk pelapisan dengan tujuan utama untuk melindungi logam dari serangan korosi ⁴ (Pelapisan Protektif).

Keunggulan dan Pelapisan Anodik adalah sifat logam pelapis yang bersifat “melindungi” logam yang dilapisi, sehingga walaupun terjadi cacat pada permukaan pelapis karena berbagai sebab seperti tergoresretak, terkelupas dll, sehingga terjadi

'exposure' terhadap lingkungan sekitarnya, sampai batas tertentu tetap terproteksi oleh logam pelapis. Sifat seperti ini tidak terdapat pada logam yang dilapisi dengan logam yang lebih katodik.

✓ ⁴ **Pelapisan Katodik**

Pelapisan katodik dikatakan pada setiap pelapisan dimana logam pelapis sifat elektrokimianya lebih Katodik dibandingkan dengan substrate. Pelapisan yang dilakukan dengan Emas atau Perak terhadap Tembaga merupakan contoh Pelapisan Katodik yang banyak dikenal.

Emas dengan potensial elektrokimia 1,5 Volt atau Perak dengan potensial elektrokimia +0,799 Volt akan bersifat Katodik terhadap Tembaga dengan potensial elektrokimia 0,34 Volt atau Besi dengan potensial elektrokimia -0,04 Volt. Dalam hal ini, bahan pelapis Emas (Au) atau Perak (Ag) bersifat lebih mulia dibanding substrate yang berupa Tembaga (Cu) atau Besi (Fe). Pelapisan Katodik pada umumnya dipakai pada perhiasan dimana tujuan Dekoratif lebih utama daripada tujuan Protektif.

Kelemahan dari Pelapisan Katodik, adalah kerawanan terhadap korosi lokal bila terjadi cacat pada permukaan logam pelapis, baik karena tergores, karena tergesek atau karena sebab lain yang tak dapat diperkirakan. Bila terjadi cacat pada logam pelapis, maka ⁴ logam yang dilapisi akan terekspose ke lingkungan dan akan bersifat anodik, sehingga akan terjadi korosi lokal yang intensif terhadap substrate.

Pelapisan Katodik sangat cocok digunakan pada Pelapisan Dekoratif, karena umumnya aksesoris dan perhiasan dari bahan-bahan imitasi tidak dikenai gaya-gaya dari luar sehingga kecil kemungkinan untuk mengalami cacat lokal pada permukaan.

5.8 Metode Pelapisan Logam

Secara teknis, pelapisan metalik dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain adalah dengan cara-cara sebagai berikut:

- Pelapisan dengan Celup Panas
(*Hot Dipping*)
- Pelapisan dengan Penyemprotan
(*Metal Spraying*)
- *Cladding*
- *Coverision Coating*
- Pelapisan Listrik
(*Elektroplating*)

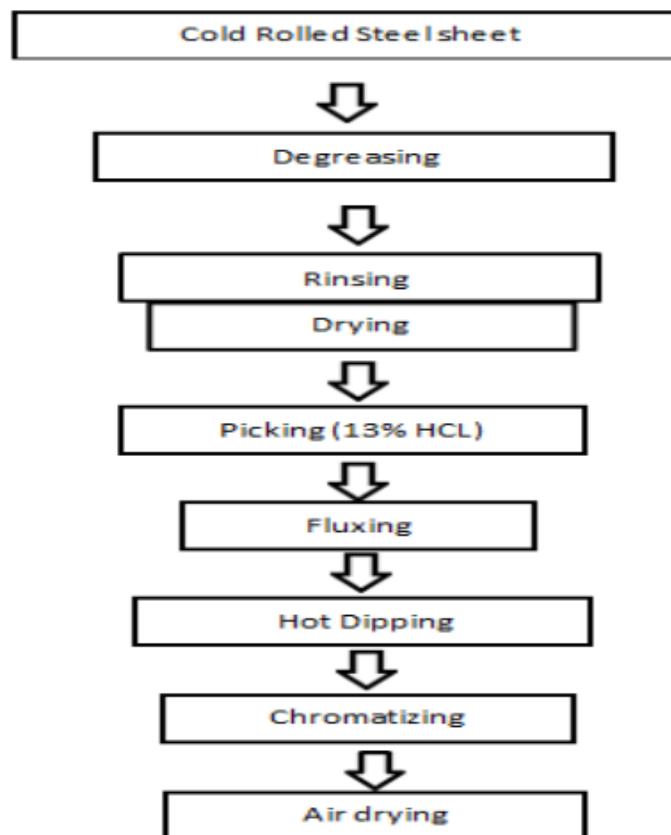
5.8.1 Pelapisan dengan Celup Panas (*Hot Dipping*)

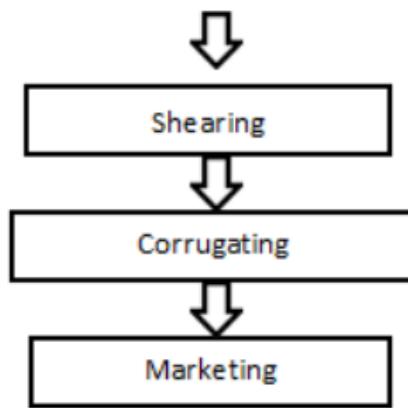
Pelapisan dengan celup panas dilakukan dengan cara mencelupkan logam yang akan dilapisi kedalam logam pelapis yang berada dalam keadaan cair. Karena itu titik cair logam yang akan dilapisi harus lebih tinggi dari titik cair logam pelapis. Metode pelapisan Celup Panas yang paling dikenal di tingkat komersial adalah pelapisan sheet baja dengan Zinc pada

pembuatan atap seng.

Untuk mengenal lebih dalam tentang praktek Pelapisan Celup Panas dalam skala industri, dapat kita lihat pada sebuah pabrik seng di Kota Palembang sebagai acuan praktis. Pabrik ini memproses baja lembaran polos menjadi seng gelombang dengan volume produksi mencapai 150.000 m³ per-tahun. Pabrik ini merupakan pabrik baja dengan tingkat proses sekunder. Umumnya pabrik seng memproses “coldrolled steel sheet” dengan tebal 0,2 mm menjadi “zinc plated steel” dengan metode “hot dipping”.

Secara garis besar proses Zinc Coating berlangsung dengan rangkaian proses seperti pada Gambar 5.8.





Gambar 5.8. Diagram alir pelapisan Zn dengan metode celup panas

Degreasing, adalah suatu proses untuk menghilangkan lemak, minyak dan kotoran lain yang melekat pada permukaan CRS (Colled Rolled Steel Sheet). Proses ini dilakukan paling awal dengan air bercampur chloride pada konsentrasi rendah.

- *Pickling*, adalah proses pembersihan permukaan CRS dengan larutan berupa air dengan 10% HCL pada suhu kamar. Proses ini dimaksudkan agar permukaan CRS bebas dari lapisan pasif yang dapat menghalangi proses pelapisan.

- *Rinsing*, adalah proses pembersihan permukaan CRS dari unsur-unsur chloride yang berasal dari unsur-unsur chloride yang berasal dari proses degreasing dan proses pickling yang dilakukan sebelumnya serta untuk membersihkan kotoran yang dilakukan sebelumnya serta untuk membersihkan kotoran yang mungkin masih melekat pada permukaan CRS setelah proses itu. Proses ini dilakukan dengan air hangat tanpa campuran pada temperatur $60^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$. pemanasan air ini dilakukan dengan suplai uap yang terus menerus.

- *Drying*, adalah proses pengeringan permukaan CRS yang sudah bersih dari proses sebelumnya. Pengeringan dilakukan dengan pemanasan yang berasal dari 'filament' yang ditempatkan pada sepanjang laluan CRS.
- *Fluxing*, merupakan persiapan akhir yang dilakukan agar bahan pelapis dapat melekat dengan baik di permukaan CRS. Larutan fluxing berupa 0,85 Kg $ZnCl_2$ dan 0,8 Kg NH_4Cl yang dilarutkan dalam lima liter air. Kapasitas tanki fluxing pada adalah 600 liter dengan penambahan terus menerus sebanyak 4 kg fluxing per 1 ton CRS. Pengeringan tak perlu dilakukan setelah fluxing, karena temperature operasi fluxing yang berkisar pada 340 °C.
- *Hot Dipping*, merupakan proses celup panas setelah fluxing. Pada proses ini CRS yang akan dilapisi dilewatkan pada tanki Zn cair yang berada pada temperatur 440 °C – 450 °C. Dalam bahan pelapis ini terkandung juga Belerang dan Antitin (Antimony dan Tin Ingot) yang berfungsi untuk memberikan efek mengkilap pada permukaan. Proses hot dipping ini dilanjutkan dengan proses pendinginan CRS dengan air pada suhu kamar. Proses ini sekaligus memberikan efek 'tempered' terhadap permukaan pelapis. Setelah itu dilanjutkan dengan proses pelapisan lanjutan berupa "chromatizing".
- *Chromatizing*, merupakan proses yang berguna untuk membuat agar CRS yang sudah dilapisi awet dalam penyimpanan.

Chromatizing merupakan proses pelapisan lanjutan dengan Sodium Dichromat (CrO_3) kepermukaan seng.

- *Drying* dengan udara hembus. Proses ini dilakukan dengan udara hembus untuk memberikan efek 'Sakura Flower' pada permukaan CRS. Setelah proses ini, maka CRS sudah selesai diproses dan dapat disebut sebagai "galvanized-CRS"
- *Shearing*, yaitu proses pemotongan galvanized-CRS dengan gunting. Proses ini sudah merupakan proses teknis biasa yang bukan merupakan proses pelapisan.
- *Corrugating*, yaitu proses pembuatan gelombang pada galvanized- CRS. Proses ini dilakukan dengan Corrugated rolls.
- *Marketing*, merupakan proses akhir dari proses produksi galvanized- CRS.

Perlu diketahui bahwa untuk mendapatkan suatu hasil yang baik, proses pelapisan Celup Panas memiliki keterbatasan dalam penerapannya, yaitu :

- Bentuk permukaan logam yang akan dilapisi tidak kompleks
 - Pelapisan relative tebal, yaitu sekitar 50 hingga 150 mils.
- Guna memperkecil resiko teknis yang dapat timbul, maka metode pelapisan ini terutama diterapkan pada pelapisan yang tidak memerlukan kerataan permukaan secara mutlak.

5.8.1. Pelapisan dengan Penyemprotan Logam (*Metal Spraying*)

Pelapisan dengan penyemprotan logam ini dilakukan dengan menyemprotkan logam cair dalam bentuk partikel-partikel halus ke permukaan logam yang akan dilapisi hingga membentuk suatu lapisan. Metal spraying adalah suatu metode pelapisan logam dengan menyemprotkan material logam atau non-logam dalam bentuk butiran halus agar membentuk lapisan. Jenis pelapisan ini digolongkan sebagai “*non fusion*” dimana material yang dilapisi dan endapan lapisan tidak menyatu karena tidak mencair bersama-sama.. Jenis material yang biasa digunakan berupa logam, ceramic, cermet dan bahkan plastik. Sebenarnya semua jenis material bisa digunakan selama material tersebut bisa mencair dan mudah dibentuk saat panas dan tidak mudah menguap saat dipanaskan namun adhesifnya terhadap substrate dipertimbangkan.

Endapan yang dihasilkan tidak mencair bersamaan dengan permukaan yang dilapisi. Oleh karena itu, permukaan yang akan dilapisi harus dibuat kasar dengan kedalaman pengasaran ini sekitar 1,25 mm. Ada tiga bentuk pengkasaran yang umumnya dilakukan sebelum melakukan metal spraying, yaitu:

1. Pengkasaran alur (*Grooving*), berupa pengkasaran yang dilakukan dengan membentuk slot atau alur-alur dengan sudut tajam yang dimaksudkan agar dapat mengikat logam pelapis yang disemprotkan dengan kuat dan tak mungkin bergeser.

2. Pengkasaran bubut (*Rough turning*), yaitu pengkasaran bergelombang yang dilakukan dengan mata pahat sementara benda kerja berputar sehingga terbentuk alur melingkar.

3. Pengkasaran amplas (*abrasive blasting*), yaitu pengkasaran dengan menggunakan amplas atau tembakan pasir.

Cara lain untuk mengikat logam pelapis adalah dengan menggunakan pengikat yang bekerja secara chemical. Karena proses deposisi partikel-partikel logam yang disemprotkan ini telah mengalami gesekan dengan udara sebelum menyentuh permukaan yang dilapisi, maka lapisan yang terbentuk cenderung porous dan kurang solid. Sifat lapisan yang 'porous' ini akan menguntungkan bila lapisan yang sudah ada ini akan di-overcoat dengan lapisan lain, karena akan memperkuat ikatan logam pelapis berikutnya. Namun, bila pelapisan lanjut tidak dilakukan lagi, maka untuk menutupi porositas ini, pada umumnya pelapisan dengan penyemprotan ini dilengkapi dengan jenis pelapisan lain, yaitu pengecatan untuk mengisolasi bahan pelapis yang sudah ada dari proses oksidasi atmosfer.

Pelapisan dengan Penyemprotan ini dapat dilakukan dengan alat yang mirip alat tembak ('pistol') dengan tiga bentuk logam pengumpan, yaitu: bentuk Kawat, bentuk Bubuk dan bentuk Plasma.

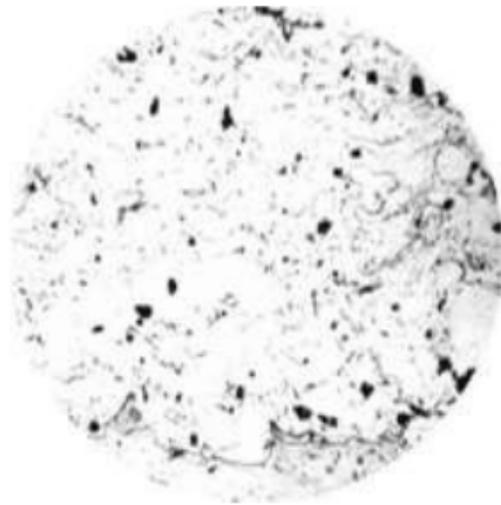
5.8.2. Metal spraying dengan pengumpan kawat

Proses ini spraying dengan pengumpan kawat pertama kali ditemukannoleh Schoop pada tahun 1910. Proses ini terdiri dari penarik kawat, udara bertekanan, tanki oxygen, acetylene dan roller. Cara kerjanya kawat ditarik ke ruang bakar yang berbahan bakar oxygen,acetylene dan udara bertekanan. Tetesan kawat yang mencair, diatomasi oleh udara yang bertekanan dan mendorongnya ke luar menuju permukaan yang dilapisi. Jarak penyemprotan berkisar 10 – 25 cm dan menghasilkan luas permukaan sekitar 2,5 – 10 cm². Kemampuan alat ini untuk melapisi sekitar 93 m² / jam.

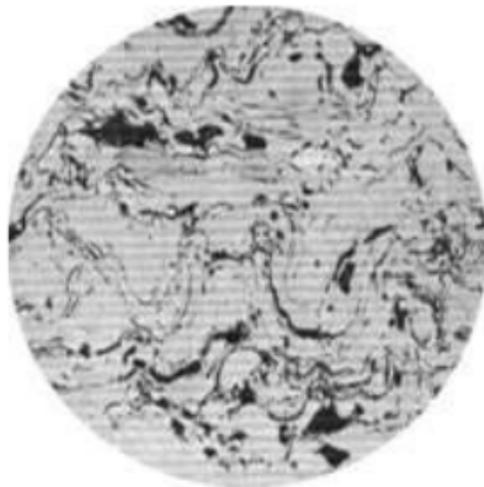
Material yang biasa diumpankan :

- Zinc, aluminium dan stainless steel untuk anti-korosi cathodic pada baja
- Molybdenum untuk pengikat lapisan
- Molybdenum untuk pengerasan dan ketahanan gesek.
- Baja kromium tinggi untuk kekerasan dan tahan aus.
- Stainless steels, nickel and monel untuk anti-corrosion and tahan aus.
- Aluminium, nickel/aluminium untuk tahan korosi

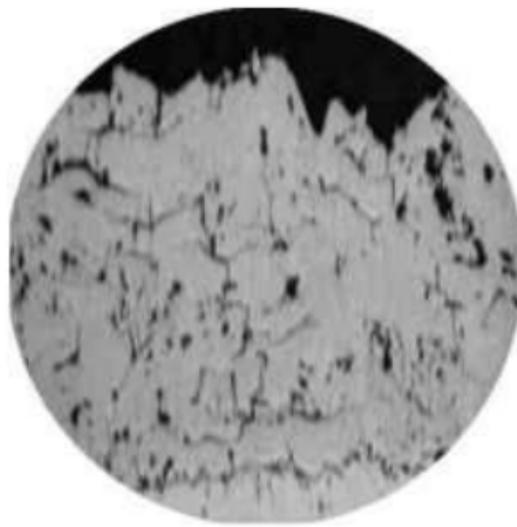
Struktur mikro logam pelapis yang dilapisi dengan metoda metalspraying, mengandung banyak pori atau void. Gambar-gambar berikut menunjukkan struktur mikro logam pelapis dimana titik-titik hitam adalah porositas yang berisi gas atau oksida.



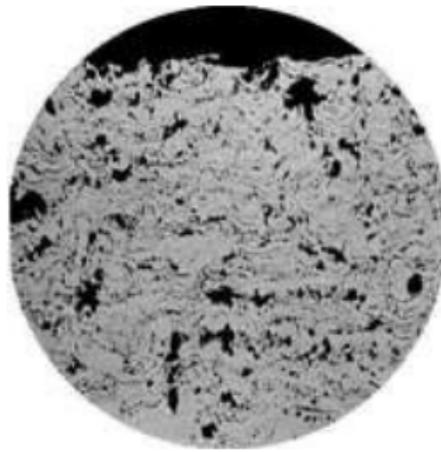
Gambar 5.9. Pelapisan dengan baja dengan kandungan chromium 13%. Titik-titik hitam menunjukkan porositas.



Gambar 5.10. Pelapisan dengan nickel. Titik-titik hitam menunjukkan porositas.



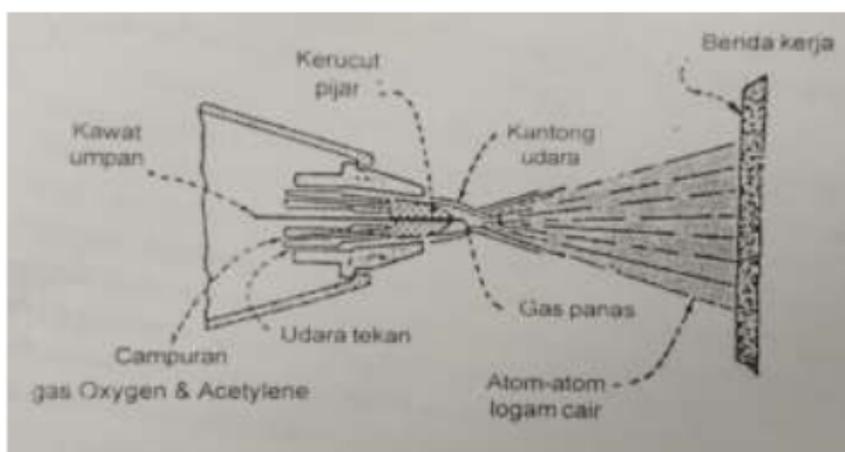
Gambar 5.11. Pelapisan dengan Molybdenum. Titik- titik hitam menunjukkan porositas.



Gambar 5.12. Pelapisan metoda spraying dengan baja karbon tinggi. Titik-titik hitam menunjukkan porositas.

Prinsip kerjanya sama, dimana ke bagian dalam 'chamber' atau ruang pembakar dialirkan gas campuran antara acetylene dan oksigen. Gas ini akan terbakar ketika melewati elektroda panas dalam 'chamber' sehingga timbul suhu yang tinggi mencapai 8500 – 17000 ($^{\circ}\text{C}$).

Dalam waktu yang bersamaan, gas panas ini akan melelehkan logam pengumpan yang diumpankan kedalam 'chamber' setelah tercapai stabilitas temperatur dalam 'chamber'. Gas panas yang mengalir dengan kecepatan tinggi ini kemudian akan memecah logam umpan yang meleleh tersebut menjadi butiran-butiran yang halus dan membawa butir-butir logam cair ini ikut serta dalam aliran gas tersebut hingga keluar alat penyemprot. Ketika aliran gas ini disemprotkan ke permukaan 'substrate', butiran-butiran logam yang halus ini akan terdampar pada permukaan logam 'substrate' dan tetap disana sebagai logam pelapis.



Gambar 5.13. Anatomi pistol dimana logam pengumpan berbentuk kawat.

Temperatur gas panas dalam chamber berkisar antara 8500 hingga 17000 °C. Gas ini dapat diatur kecepatannya dengan mengatur kelepyang ada pada alat penyemprot tersebut. Pada pistol dengan logam pengumpan berupa kawat, butir-butir halus logam cair berasal dari kawat yang di umpankan kedalam aliran gas panas. Karena dalam kondisi operasi, timbul panas yang tinggi dalam 'chamber' maka pelapisan dengan penyemprotan ini sering juga disebut "Flame Spraying".

Operasional pengaturan kelepyang, jarak permukaan logam yang akan dilapisi serta kaitannya dengan logam pelapis yang digunakan (antara lain Zinc dan Aluminium) amat merupakan keahlian praktis yang dimiliki seorang operator pengguna peralatan tersebut.

Proses pelapisan dengan pengumpan serbuk ini bekerja dengan cara serbuk dialirkan ke ruang bakar yang berbahan bakar gas (Acetylene / Hydrogen) ditambah dengan Oxygen. Temperatur di ruang bakar 3.100 °C (Oxy-Acetylene), 2.700 °C (Oxy-Hydrogen) sehingga akan dapat mencairkan serbuk dan udara yang bertekanan mendorong serbuk cair tersebut dengan kecepatan sebesar 60 – 240 m/s. Material yang sering digunakan pada pelapisan metoda ini diantaranya adalah karbida, baja paduan tinggi, stainless steel cobalt-base alloy dan keramik.



Gambar 5.14. Pelapisan spraying komposit Cu-Al dengan pengumpanserbuk.

Bagian-bagian hitam menunjukkan porositas.

5.9 Prinsip Dasar Pelapisan Dengan Cara Listrik (*Electroplating*)

5.9.1. Pengertian Pelapisan dengan Cara Listrik

Lapis dengan listrik (*electroplating*) adalah suatu proses pengendapan zat atau ion-ion pada elektroda katoda (negatif dengan cara elektrolisis. Hasil dari elektrolisis tersebut akan mengendap pada elektroda negatif/katoda. Terjadinya suatu endapan pada proses ini disebabkan adanya ion-ion bermuatan listrik yang berpindah dari suatu elektroda melalui elektrolit. Endapan yang terjadi bersifat adhesif terhadap logam dasar.

Selama proses pengendapan atau deposit

berlangsung, terjadi reaksi kimia pada elektroda dan elektrolit, baik reaksi reduksi maupun oksidasi. Reaksi kimia ini diharapkan berlangsung terus-menerus dan menuju arah tertentu secara tetap. Oleh karena itu, diperlukan arus listrik searah (direct current) dan tegangan yang konstant.

Prinsip atau teori dasar dari proses listrik berdasarkan pada Hukum Faraday yang menyatakan:

1. Jumlah zat-zat (unsur-unsur) yang terbentuk dan terbebas pada elektroda selama elektrolisis sebanding dengan jumlah arus listrik yang mengalir dalam larutan elektrolit.
2. Jumlah zat-zat (unsur-unsur) yang dihasilkan oleh arus listrik yang sama selama elektrolisis adalah sebanding dengan berat ekivalen masing-masing zat tersebut. Pernyataan Faraday tersebut dapat ditulis dengan rumus berikut ini:

$$B = \frac{e \cdot I \cdot t}{1F}$$

dengan:

B = Berat zat yang terbentuk (gram)

I = Jumlah arus yang mengalir (ampere)

t = Waktu (detik)

e = Berat ekivalen zat yang dibebaskan (berat atom suatu unsur dibagi valensi unsur tersebut)

F = Jumlah arus yang diperlukan untuk membebaskan sejumlah gram ekivalen suatu zat. $1 F = 96.500 C$, yaitu jumlah arus listrik yang diperlukan untuk membebaskan 1 greek greek suatu zat.

Hukum Faraday sangat erat kaitannya dengan efisiensi arus yang terjadi pada proses pelapisan dengan cara listrik. Efisiensi arus adalah perbandingan berat endapan yang terjadi dengan berat endapan secara teoritis dan dinyatakan dalam persen.

Pembahasan tersebut menjelaskan bahwa tegangan dan arus dalam proses lapis listrik diinginkan dalam kondisi yang konstan. Maksud dari pernyataan tersebut adalah tegangan tidak akan berubah atau terpengaruh oleh besar kecilnya arus yang dipakai. Hubungan antara tegangan dan arus dapat dilihat pada rumus berikut ini.

$$I = \frac{V}{R} -$$

dengan:

I = Banyaknya arus (ampere)
 V = Tegangan (volt)
 R = Tahanan (Ω)

Berdasarkan rumus tersebut, untuk memvariabelkan arus, maka yang divariabelkan hanyalah tahanannya saja, sedangkan tegangannya tetap.

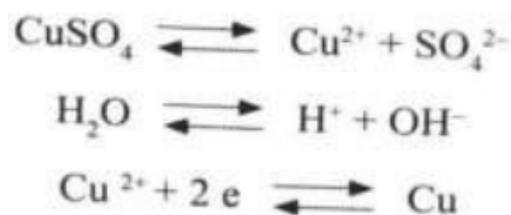
5.9.2. Prinsip Kerja Pelapisan dengan Cara Listrik

Pada prinsipnya, pelapisan logam dengan listrik merupakan rangkaian dari arus listrik, elektroda (anoda dan katoda), larutan elektrolit, dan benda kerja yang ditempatkan sebagai katoda. Keempat gugusan ini disusun sedemikian rupa sehingga membentuk suatu rangkaian sistem lapis listrik dengan rangkaian sebagai berikut.

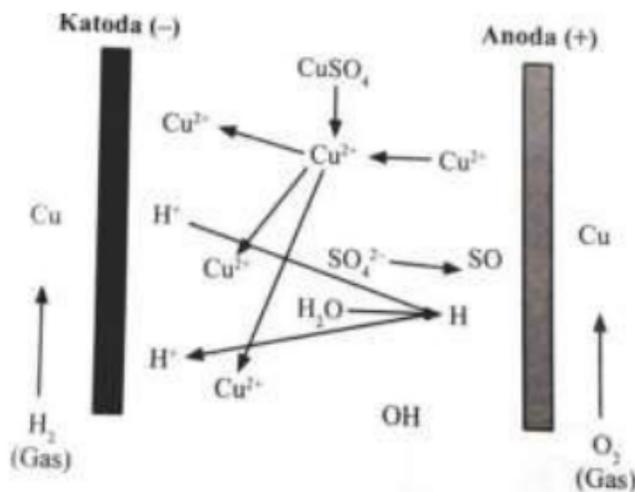
- 1) Anoda dihubungkan pada kutub positif dari sumber listrik.
- 2) Katoda dihubungkan pada kutub negatif dari sumber listrik.
- 3) Anoda dan katoda direndamkan dalam larutan elektrolit.

Apabila arus listrik searah dialirkan antara kedua elektroda (anoda dan katoda) dalam larutan elektrolit, maka muatan ion positif ditarik oleh katoda. Sementara ion bermuatan negatif berpindah ke arah anoda. Ion-ion tersebut dinetralkan oleh kedua elektroda dan larutan elektrolit yang hasilnya diendapkan pada katoda. Hasil yang terbentuk merupakan lapisan logam dan gas hidrogen. Sebagai contoh, plat baja yang akan dilapis dengan tembaga (Cu). Larutan yang digunakan adalah tembaga sulfat (CuSO_4).

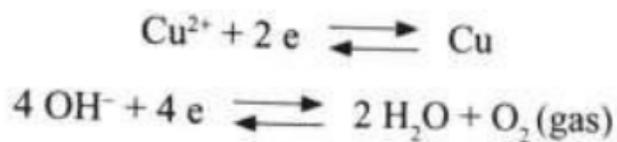
Adanya perbedaan potensial pada anoda dan katoda setelah dialiri listrik, maka logam tembaga akan terurai didalam larutan elektrolit sehingga larutan elektrolit mengandung ion-ion tembaga. Melalui larutan elektrolit, ion-ion tembaga (Cu^{2+}) akan terbawa kemudian mengendap pada permukaan katoda (pelat baja) dan berubah menjadi atom-atom tembaga. Di sini terjadi reaksi-reaksi ion tembaga menjadi logam tembaga sebagai berikut:



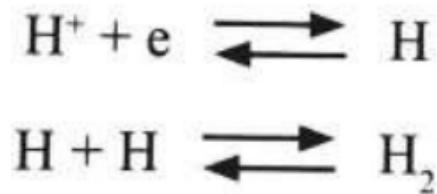
Peristiwa terjadinya reaksi pada saat proses pelapisan berlangsung dapat dilihat pada Gambar 5.15. berikut ini:



Gambar 5.16. Reaksi yang terjadi pada saat proses pelapisan



Maka, pada anoda terjadi reaksi:



ion-ion H^{+} sebagian akan mengendap pada pelat baja (katoda) dan sebagian lagi akan menguap membentuk gas H_2 .

Hidrogen (H) yang mengendap inilah yang perlu diperhatikan, karena gas tersebut akan menyebabkan cacat lapisan yang biasa disebut kerapuhan hidrogen (*hydrogen embrittlement*). Distribusi arus dalam menyuplai ion-ion selama proses pelapisan akan memengaruhi kerataan lapisan.

Jarak antara bagian yang berjauhan dengan anoda, akan menerima distribusi ion yang lebih kecil dibandingkan yang berada berdekatan dengan anoda.

5.9.3. Proses Pelapisan Dengan Cara Listrik

10 Setelah benda kerja bebas dari pengotor, maka benda kerja tersebut sudah siap untuk dilapis. Benda kerja yang belum bisa dilapis langsung, sebaiknya direndam dalam air bilas,

jangan dikeringkan diudara.

10

Dalam operasi pelapisan, kondisi operasi perlu/penting sekali untuk diperhatikan, karena kondisi tersebut akan menentukan berhasil atau tidaknya proses pelapisan serta mutu lapisan yang dihasilkan. Kondisi operasi yang perlu diperhatikan tersebut antara lain:

1) **Rapat Arus (*Current Density*)**

Rapat arus adalah bilangan yang menyatakan jumlah arus listrik yang mengalir per luas unit elektroda. Terbagi dalam dua macam, yaitu rapat arus katoda (cathode currenty) dan rapat arus anoda (anode current density).

Rapat arus dapat diatur, makin tinggi rapat arus, makin meningkatkan kecepatan pelapisan dan dapat memperkecil ukuran/bentuk kristal. Tetapi bila rapat arus terlalu tinggi akan mengakibatkan lapisan kasar, bersisik dan akan terbakar/hitam. Satuan rapat arus dinyatakan dalam A/dm^2 , A/Ft^2 , A/in^2 .

2) **Tegangan (*Voltage*)**

Tegangan yang digunakan harus konstan sehingga yang divariabelkan hanyalah arusnya saja. Apabila luas permukaan benda kerja bervariasi, maka rapat aruslah yang divariasikan sesuai dengan ketentuan, sedangkan tegangannya tetap.

Sebagai contoh pada pelapisan tembaga (*copper*), rapat arus ditentukan $3,6 \text{ A/dm}^2$, tegangan 6 volt, sedangkan luas benda yang akan dilapis 10 dm^2 , tetapi voltage/tegangan tetap 6 volt. Biasanya tegangan yang digunakan pada operasi lapis listrik adalah 6-12 volt.

3) Temperatur (Suhu Larutan)

Temperatur larutan dapat memengaruhi hasil lapisan. Kenaikan temperatur larutan menyebabkan bertambahnya ukuran kristal. Pada temperatur yang tinggi, daya larut bertambah besar dan terjadi penguraian garam logam yang menjadikan tingginya konduktivitas serta menambah mobilitas ion logam, tetapi viskositas jadi berkurang sehingga endapan ion logam pada katoda akan lebih cepat sirkulasinya.

Sebagai contoh dari pengaruh temperatur terhadap sifat lapisan dapat dijelaskan sebagai berikut. Bila temperatur larutan pada pelapisan krom hiasan (*chrom decorative*) lebih rendah dari 45°C , rapat arus 20 A/dm^2 , maka akan didapat lapisan krom yang suram, sebaliknya bila suhu terlalu tinggi misalnya di atas 55°C rapat arus sama (20 A/dm^2), tetapi hasil lapisan tampak juga suram. Hal ini dikarenakan lapisan terbakar.

4) pH Larutan

pH dipakai untuk menentukan derajat keasaman suatu larutan elektrolit dan dalam operasi lapis listrik, pH berarti pula pOH-,¹⁰ pH larutan dapat diatur/diukur dengan alat ukur pH meter atau pH colorimeter. Tujuan menentukan derajat keasaman ini adalah untuk melihat atau mengecek kemampuan dari larutan dalam menghasilkan lapisan yang lebih baik.

Umumnya untuk larutan yang bersifat basa/alkali, derajat keasaman pH-nya berkisar antara 11-14, sedangkan untuk larutan asam, pH-nya berkisar 4,5-5,6. Untuk mengatur nilai pH sesuai dengan yang diinginkan, digunakan sodium atau potassium hidroksida dan atau asam sulfat untuk larutan yang bersifat asam.

5.9.4. Proses Pengerjaan Akhir (*Post Treatment*)

Benda kerja yang telah dilakukan proses lapis listrik, biasanya dibilas dan kemudian dikeringkan. Tetapi kadang-kadang perlu juga dilakukan pengerjaan lanjut misalnya, dipasifkan atau diberi lapis pelindung kromat (*chromating*) atau lapis lindung transparan, yaitu dengan *lacquar*.

Proses ini dilakukan dengan cara celup (*dipping*) biasanya tetapi untuk lapis lindung dengan *lacquar*, bisa secara elektro dan *dipping*.

5.9.5. Perhitungan Ketebalan Lapisan

Jumlah pemakaian listrik pada proses secara listrik, bergantung pada waktu lapisan yang dikehendaki. Pengendapan/penempelan 1 gram berat ekuivalen memerlukan 1 Faraday (96.500 coulomb) arus listrik. Berat ekuivalen adalah berat atom logam dibagi dengan valensi logam tersebut.

Jika efektivitas larutan 100% dalam usaha pengendapan sejumlah ion-ion logam pelapis yang diinginkan, maka akan relatif lebih mudah untuk menghitung secara tepat pemakaian listriknya.

Reaksi beberapa macam bahan kimia dan ion-ion yang terjadi dalam larutan, dapat diketahui, berapa arus listrik yang terpakai untuk mencapai katoda (benda kerja). Besar arus listrik yang digunakan untuk mengendapkan lapisan dari suatu logam perlu diketahui efisiensi katodanya, begitu pula untuk menentukan perkiraan waktu lapisan.

Tabel 5.3. Tebal lapisan yang dihasilkan dengan cara lapis listrik

Bahan/Larutan	Efisiensi katoda (%)	A.J/in ² untuk mengendapkan 0,0001 In pada efisiensi 100%	Faktor (F)	R.Arus A/in ²
- Kuningan	50	1,95	0,027	0,035
- Cadmium	96	9,73	0,070	0,180
- Chromium	14	51,80	2,570	2,500
- Tembaga Asam	98	17,80	0,126	0,210
- Tembaga Sianida	70	8,89	0,088	0,210
- Emas Sianida	95	6,20	0,045	0,040
- Iridium	65	12,0	0,128	0,140
- Lead (Timah hitam)	89	6,9	0,049	0,100
- Nickel	95	19,0	0,199	0,250
- Rhodium	80	22,9	0,199	0,100
- Silver (Perak)	99	6,3	0,043	0,180
- Tin/timah putih (Tin)	70	7,8	0,077	0,140
- Zinc (Zn)	98	14,3	0,101	0,210

Keterangan:

Faktor (F) adalah nama dengan A/in² dalam usaha pengendapan 0,001 in endapan pada efisiensi katoda biasa. Sebagai penjelasan, waktu pelapisan yang dijelaskan pada **Tabel 1**. Berikut ini diberikan contoh perhitungan untuk menentukan perkiraan waktu pelapisan dengan formula sebagai berikut:

$$H = \frac{T \times 1.000 \times F}{C}$$

Keterangan:

- H = Waktu pelapisan (jam)
- T = Teballapisan (in)
- F = Faktor
- C = Rapat arus (A/in²)

Sedangkan untuk menentukan jumlah rapat arus yang dipakai, dapat digunakan formulasebagai berikut:

$$Jr = Ax C$$

Keterangan:

Jr = Jumlah rapat arus (A/in^2)

A = Luas permukaan (in^2) C = Rapat arus (A/in^2)

Untuk memudahkan perhitungan luas permukaan benda kerja yang akan dilapis, dapat diperhatikan formulas dari tiap-tiap bentuk dan ukuran benda kerja.

5.9.6. Beberapa Pelapisan Logam Dengan Cara Listrik

Pelapisan dengan cara listrik merupakan proses pelapisan suatu logam pada material logam dan nonlogam dengan cara elektrolisa, menggunakan arus listrik searah (direct current/ DC) dan larutan kimia (elektrolit). Larutan kimia (elektrolit) berfungsi sebagai media penyuplai ion-ion logam pelapis membentuk endapan (lapisan) pada elektroda katoda (benda kerja).

Proses pelapisan diperlukan sebagai pengerjaan akhir, melindungi material dasar kontak dengan lingkungan serta meningkatkan sifat-sifat dari material yang dilapis sesuai dengan lingkup material tersebut akan digunakan, baik sebagai bahan teknik (material engineering) maupun dekoratif. Lapis listrik memberikan suatu perlindungan material dengan memanfaatkan logam-logam tertentu sebagai lapis lindung misalnya seng, cadmium, copper, nikel, krom, emas, perak, timah putih,

kuningan, perunggu, dan sebagainya.

5.10 Pelapisan Seng yang Dikonversikan Kromat

Sebagai logam pelapis, lapisan seng bersifat lebih anodis terhadap logam dasar terutamabesi atau baja, di samping itu lebih reaktif terhadap lingkungan, sehingga sangat efektif, bila digunakan sebagai logam pelapis. Dari beberapa karakteristik dan sifat-sifat seng, lapisan seng sangat baik, bila dikonversikan dengan lapisan kromat, karena selain dapat memberikan ketahanan korosi yang tinggi juga menghasilkan tampak rupa lapisan lebih indah dan penyerapan cat lebih tinggi.

A. Jenis-jenis Larutan Elektrolit Seng

Sebelum tahun 1965 industri pelapisan seng banyak "Aluminium sulfat (Al, SO_4 ," menggunakan larutan elektrolit alkali sianida, tetapi mengingat pengaruh racun dari sianida. Masyarakat industri mulai menggunakan larutan lain tanpa menggunakan unsur sianida. Larutan-larutan tersebut dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- a. Larutan elektrolit jenis asam
 - Bahan tambah (Addeti)
 - Larutan seng sulfat
 - Larutan seng klorida
- b. Larutan elektrolit jenis alkali :
 - Larutan seng sianida
 - Larutan sengcate (zincate)

c. Larutan elektrolit jenis lain :

- Larutan amine
- Larutan sulfamine
- Larutan borofluorid

B. Larutan Seng Sulfat

Jenis larutan seng sulfat, baik sekali digunakan pada pelapisan secara terus menerus(kontinu) dan pelapisan besi tuang (cast iron) pada skala produksi besar. Larutan seng sulfat ini dapat dikelompokkan menjadi tujuh jenis larutan yang setiap jenisnya mempunyai komposisi kimia dan kondisi operasi yang berbeda-beda. bila dikonversikan dengan lapisan kromat, karena selain dapat memberikan ketahanan korosi yang tinggi juga menghasilkan tampak rupa lapisan lebih indah dan penyerapan cat lebih tinggi. Proses pelapisan diperlukan sebagai pengerjaan akhir, melindungi material dasar kontak dengan lingkungan serta meningkatkan sifat-sifat dari material yang dilapis sesuai dengan lingkup material tersebut akan digunakan, baik sebagai bahan teknik (material engineering) maupun dekoratif.

Komposisi dan kondisi operasi larutan seng sulfat dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikutini.

Bahan dan Kondisi Operasi	(Konsentrasi (g/L						
	I	I I	I I I	I V	V	V I	V I I
Bahan:							
Zinc Sulfat ($ZnSO_4$)	375	180	350	240	360	360	450
Sodium Sulfat	70	-	-	-	-	-	-
Magnesium Sulfat ($MgSO_4$)	60	-	-	-	-	-	-
Ammonium Sulfat ($(NH_4)_2SO_4$)	-	-	30	-	-	-	-
Aluminium Sulfat (Al_2SO_4)	-	-	-	30	-	30	10
Sodium acetate ($\{Na(CH_3COOH)\}$)	-	45	-	-	15	-	-
Sodium Chlorida ($NaCl$)	-	-	-	-	-	15	30
Ammonium Chlorida (NH_4Cl)	-	-	-	15	30	-	-
Boric acid (H_3BO_3)	-	-	-	-	-	20	30
Pemengkilap (<i>Brightener</i>)	Seperlu	Seperlu	Seperlu	Seperlu	Seperlu	Seperlu	Seperlu
Bahan Tambah	Seperlu	Seperlu	Seperlu	Seperlu	Seperlu	Seperlu	Seperlu

(Additive)							
Kondisi Operasi:							
pH	3-4	3-4,5	3-4,5	3	3-4,5	3-4,5	1
Rapat Arus (A/dm ²)	25-40	10-40	10-50	4,5	2-10	10-30	5
Temperatur (8c)	50-55	20-50	40-50	2-10	20-30	35-55	4
				0			5
				20-30			1
							0
							60

- material, kontrol larutan dan pengolahan air limbah sangat ekonomis dan efisien.
- Daya hantar listrik dan rapat arus cukup tinggi, sehingga dapat digunakan padapelapisan kecepatan tinggi.
- Dapat menghasilkan lapisan yang lebih putih dan struktur kristal halus.
- Dapat digunakan untuk pelapisan bahan cast iron dan baja tempa.
- Penetrasian pada saat penyulingan dapat dilakukan dengan mudah.
- Komposisi larutan stabil dalam keadaan operasi yang berbeda.

Kelemahannya:

- Kurang mengkilap atau lapisan suram.
- Daya lempar (throwing power) dan daya lapis permukaan

(covering power) rendah, sehingga tidak dapat digunakan pada pelapisan barang yang rumit.

C. Larutan Seng Klorida

Larutan seng klorida cocok untuk pelapisan dengan kecepatan tinggi dan pada baja yang ditempa, tetapi berpengaruh terhadap peralatan pelapisan, karena adanya sifat korosif, apabila terjadi pemutusan arus anoda. Oleh karena itu larutan jenis ini harus ditambah dengan menggunakan bahan imbuah.

Larutan seng klorida sebagian besar terdiri dari seng klorida, ammonium klorida dan bahan imbuah (additive) dengan pH 2,5-7 yang dipengaruhi oleh kuantitas ammonium dan jenis additive yang digunakan. Komposisi dan kondisi operasi larutan seng sulfat dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut ini.

Bahan dan	Konsentrasi (g/L)		
	I	II	III
Bahan:			
- Zinc Chlorid ($ZnCl_2$)	80-120	15-50	-
- Zinc Chlorid (ZNO)	-	-	26-52
- Ammonium chlorid (NH_4Cl)	140-180	160-210	-
- Chlorid (asam atau garam)	-	-	105-165
- Cheleting agent	-	-	45-90

- Brightener	Seperlunya	2,5-5% vol	-
Additive	Seperlunya	0,1-0,25% vol	-
isi Operasi:			
- pH	4,5- 5,5	4,5-6	6,8-7,5
Arus Anoda (A/dm^2)	-	2,5	2,4
Arus Katoda (A/dm^2)	1- 10	0,1-1	9 maks
peratur ($^{\circ}C$)	20- 30	20-30	20-45

Keuntungan:

- Mempunyai efisiensi arus yang cukup tinggi.
- Menghasilkan lapisan yang mengkilap/terang.
- Proses pelapisan kromat (chromating) lebih gampang.
- Menghasilkan lapisan rata dan dapat digunakan untuk
- melapis besi tuang (cast iron).
- Menghasilkan lapisan daya lekat tinggi.
- Pengerjaan penyaringan dapat dilakukan secara sederhana.
- Pengerjaan waste water treatment sangat ekonomis dan efisien.

Kelemahannya:

- Bila terjadi peningkatan throwing power akan didapat tebal lapisan yang tidak merata.
- Sifat kekenyalan lapisan rendah, lapisan akan rapuh, bilakadar besi di dalam larutan bertambah

D. Larutan Seng Pyrophosphate

Oleh karena keunggulannya setelah ditambah bahan imbuhan, maka larutan pyrophosphate banyak digunakan pada sistem pelapisan secara barrel. Larutan ini mempunyai efisiensi arus dan kecepatan yang tinggi, sehingga sangat baik

untuk melapisi benda kerja dengan ukuran kecil dalam jumlah besar. Komposisi dan kondisi operasi larutan dapat dilihat pada **Tabel 5.3** berikut ini.

Tabel 5.6 Komposisi dan kondisi operasi larutan seng pyrophosphate

Bahan dan Kondisi Operasi	Konsentrasi (g/L)	
	I	II
Bahan:		
- Zinc pyrophosphate (ZnPO)	22-30	60-80
- Metal Zinc (ZnO)	22-30	20-30
- Potassium pyrophosphate (K ₂ P ₂ O ₇)	268-340	240-320
- Ammonia (NH ₄ Cl)	-	0-0,5 ml/l
- P ₂ O ₇ : Zn ratio	11-12 ml/l	6,5-7,5 ml/m
- Brightener A	1-3 ml/l	0-3 ml/l
- Brightener B	7,5-12 ml/l	-
Kondisi Operasi:		
- pH	10,8-11,4	10-11,5
- Rapat arus anoda (A/ dm ²)	43-57	40-45

-Rapat arus katoda (A/dm^2)	0,5-3,8	0,5-3,5
- Temperatur ($^{\circ}C$)	0,5-1,5	0,3-1

E. Larutan Seng Sianida

Meskipun belakangan ini ada usaha untuk mengurangi dan mencoba untuk tidak menggunakan larutan sianida, mengingat pengaruh dari racun yang diakibatkan oleh gas sianida, tetapi ternyata larutan seng sianida tidak dapat begitu saja ditinggalkan terutama untuk pelapisan seng. Hal ini dikarenakan sifat-sifat produksi.

Bahan dan Kondisi Operasi	Konsentrasi (g/L)			
	I	II	III	IV
Bahan:				
- Metal Zinc (ZnO)	50	34	18	16,7
- Sodium Cyanid (NaCN)	105	94	45	48,5
- Sodium Hydroksida (NaOH)	120	79	90	65
- M. ratio	1,8-2,2	2,5-2,8	2,2-2,3	2,6-2,9
- Brightener	Seperlunya	Seperlunya	Seperlunya	Seperlunya

Bahan dan Kondisi Operasi	Konsentrasi (g/L)			
	I	II	III	IV
- Additive	0-1	0-0,5	0-0,25	0-0,25
Kondisi Operasi:				
- Rapat arus anoda (A/ dm^2)	-	0-0,4	0,1-1,5	0,1-3
- Rapat arus katoda (A/ dm^2)	5-7,5	0,1-10	2-5	1-5
- Temperatur ($^{\circ}C$)	30-40	20-40	23-32	20-30

Keuntungan:

- Dapat digunakan dalam bermacam-macam eksperimen.
- Daya lapis dan kemampuan mencegah laju korosi tinggi.
- Biaya operasi lebih rendah, throwing dan covering power terjamin.
- Dapat digunakan dengan variasi rapat arus yang berbeda-beda pada kecepatan produksi tinggi..
- Komposisi larutan stabil dalam kondisi operasi yang berbeda-beda.
- Kontrol/pengawasan larutan tidak begitu sulit.
- Pemeliharaan (maintenance) dan peralatan lebih

gampang.

- Mampu menghasilkan lapisan sesuai dengan kualitas yang diminta dalam bermacam-macam pelaksanaan baik penggantian komposisi larutan maupun kondisi operasi tertentu.

Kelemahannya:

- Merusak lingkungan, karena adanya sianida yang beracun.
- Pengolahan limbah (*waste water treatment*) sulit dan mahal.
- Sulit digunakan pada pelapisan besi tuang (*cast iron*).
- Sering terjadi pengendapan hidrogen pada baja karbon tinggi.
- Efisiensi arus (*current efficiency*) rendah.
- Komposisi larutan seng sianida diklasifikasikan dalam tiga jenis yaitu high, medium dan low. Pengklasifikasian konsentrasi ini semuanya ditentukan oleh konsentrasi sianida. Larutan seng sianida konsentrasi rendah sifatnya hampir sama dengan sifat larutan zincate, yaitu tidak perlu menggunakan bahan imbuhan. Brightener yang digunakan adalah polyamine dengan metode penggunaan sama seperti pada larutan seng konsentrasi tinggi dan sedang.

Untuk lebih jelasnya pada Tabel 5.7 dan 5.8 diuraikan komposisi dan kondisi operasi larutan seng sianida konsentrasi tinggi, sedang, dan rendah.

Tabel 5.7 Komposisi dan kondisi operasi larutan seng sianida konsentrasi tinggi dan sedang

Bahan dan Kondisi Operasi	Konsentrasi (g/L)	
	I	II
Bahan:		
- <i>Metal Zinc</i> (ZnO)	7,5 (6-12)	7,4 (6-10)
- <i>Sodium Cyanid</i> (NaCN)	7,5 (6-12)	9,5 (8-12)
- <i>Sodium Hydroksida</i> (NaOH)	83 (75-90)	75 (65-80)
- <i>M. ratio</i>	1-2,5	1,2-1,5
- <i>Brightener</i>	Seperlunya	Seperlunya
- <i>Additive</i>	Seperlunya	Seperlunya
Kondisi Operasi:		
- Rapat arus rack (A/dm^2)	1-5	2-5
- Temperatur ($^{\circ}C$)	23-30	0,1-10
- Agitasi	Udara Kontinu	Udara Kontinu
Filterisasi		

F. Larutan Seng Cate (*Zincate*)

Bila seng oxide dilarutkan dalam larutan encer sodium hidroksida, maka akan menghasilkan larutan baru disebut seng cate ($Na ZnO_2$) atau $Na Zn(OH)$. Dengan ditambahkan bahan imbu, larutan ini akan menjadi larutan elektrolit seng yang

efektif, karena akan menghasilkan lapisan zinc yang mengkilap dan rata, tetapi jika tidak ditambah bahan imbu, maka hasil lapisan menjadi suram. Komposisi dan kondisi operasi larutan seng cate dengan menggunakan bahan imbu organik sintetik dijelaskan pada **Tabel 5.6** berikut ini.

Tabel 5.8 Komposisi dan kondisi operasi larutan seng cate

Bahan dan Kondisi Operasi	Konsentrasi (g/L)		
	I	II	III
Bahan:			
- Metal Zinc (ZnO)	7,5 (4,9)	10-15	15-27
- Sodium Cyanid (NaCN)	7,5 (65-95)	100-150	150-200
- Additive	Seperlunya	Seperlunya	Seperlunya
Kondisi Operasi:			
- Rapat arus rack (A/dm^2)	2-4	0,5-1	0,5-1
- Temperatur ($^{\circ}C$)	0,1-1	0,5-1	0,5-1
- Agitasi	20-25	15-35	15-35

Keuntungan:

- Proses waste water tidak rumit dan pengaruh terhadap lingkungan kecil.
- Hasil lapisan dengan kualitas tinggi.
- Efisiensi dan biaya operasi lebih rendah.
- Tidak membutuhkan peralatan yang khusus.
- Keseimbangan larutan akan selalu terjamin.
- Proses pengerjaan dan kontrol larutan tidak begitu sulit.

Kelemahannya:

- Efisiensi rapat arus rendah.
- Lapisan yang dihasilkan kurang rata.
- Tampak rupa lapisan kurang mengkilap pada bagian-bagian tertentu.
- Throwing dan covering power rendah.

G. Larutan Seng Borofluorid

Larutan jenis ini dikembangkan untuk proses pelapisan seng kecepatan tinggi (high speed plating). Komposisi dan kondisi operasi larutan dapat dilihat pada **Tabel 5.7** berikut ini.

Tabel 5.9 Komposisi dan kondisi operasi larutan seng borofluorid

Bahan dan Kondisi Operasi	Konsentrasi (g/L)	
Bahan:		
- Zinc borofluorid ($ZnBF$)	300	200
- Ammonium chlorid (NH_4Cl)	27	54
- Ammonium borofluorid (NH_4BH)	35	35
- Additive	1	1
Kondisi Operasi:		
- pH	3,5	4
- Rapat arus rack (A/dm^2)	2,5-8,5	2,5-8,5
- Temperatur ($^{\circ}C$)	27-30	27-30
- Anoda Anoda : Katoda	Murni 1 : 1	Murni 1 : 1

H. Larutan Zinc Amine

Meskipun larutan zinc amine dapat menghasilkan lapisan yang cukup mengkilap dan rata, tetapi daya produksinya rendah, begitu pula throwing dan covering power-nya, sehingga dengan adanya hal tersebut, maka larutan jenis ini jarang digunakan di industri-industri. Sebagai pertimbangan, bila ingin menggunakannya di bawah ini pada Tabel 5.8 dijelaskan komposisi dan kondisi operasi larutan seng amine.

Bahan dan Kondisi Operasi	I
Bahan:	
- Zinc oksid (ZnO)	20-30
- Triethanol amine (NaCN)	100-120
- Sodium Hydroksida (NaOH) - Brightener	90-100 Seperlunya
Kondisi Operasi:	
- Rapat arus rack (A/dm^2)	1-2
- Temperatur ($^{\circ}C$)	20-30

5.11 Masalah yang Terjadi pada Lapisan Seng

Dalam proses pelapisan seng kromat banyak masalah-masalah yang sering terjadi terutama untuk cacat-cacat lapisan, tetapi tidak dapat ditangani dengan baik, karena tidak

mengetahui penyebabnya, sehingga sering diabaikan, sedangkan masalah-masalah cacat tersebut menentukan sekali baik kualitas maupun aliran produksi proses. Masalah-masalah cacat yang sering terjadi pada proses pelapisan seng kromat, sebenarnya dapat diatasi. Untuk itu pada **Tabel 5.9** berikut ini dijelaskan penyebab cacat dan cara perbaikannya.

Tabel 5.10 Penyebab cacat pada lapisan seng larutan sianida dan cara perbaikannya

Jenis Cacat	Penyebab Cacat	Cara Perbaikan
1. Daya lekat lapisan kurang baik.	<ul style="list-style-type: none"> - Komposisi larutan tidak benar atau konsentrasi larutan sudah menurun. - Terjadinya penyerapan hidrogen sewaktu proses pencucian. - Masih ada lemak, minyak, dan kotoran yang menempel - Larutan terkontaminasi dengan pengotor. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cek kandungan total (sianida) dan sodium hidroksida serta perbaiki konsentrasinya. - Baja yang dikeraskan sebaiknya dicuci atau dibersihkan secara anodik. - Amati dan periksa proses pencucian dan larutannya. Masih ada lemak, minyak, dan kotoran yang menempel. - Bersihkan permukaan larutan pelapis sebelum memasukkan benda kerja. - Jika kondisi operasi sudah sempurna, tetapi masih tetap mengelupas, tambahkan 0,6 g/L zinc oksid dan diaduk hingga larut.
2. Lapisan bagian bawah kasar, gelap dan granular.	<ul style="list-style-type: none"> - Rapat arus terlalu tinggi. - Kekurangan sianida dan caustic soda. 	<ul style="list-style-type: none"> - Periksa komposisi larutan di mana perbandingan (sianida) dan caustic soda (NaOH) diizinkan. - Tegangan/voltase diturunkan dan lakukan operasi pelapisan pada rapat arus rendah. - Gunakan perbandingan anoda dan katoda yang tepat.
3. Lapisan bagian bawah gelap.	<ul style="list-style-type: none"> - Komposisi larutan sudah tidak seimbang. - Adanya pengotor dalam larutan seperti 	<ul style="list-style-type: none"> - Cek/ periksa komponen larutan. - Bersihkan larutan dengan cara disaring dan kotoran yang berbentuk padatan diambil.

Jenis Cacat	Penyebab Cacat	Cara Perbaikan
	benda kerja yang jatuh.	- Masukkan/tambahkan ke dalam larutan sodiumpolysulfat 0,6g/L.
4. Lapisan mengkilap tapi bernoda hitam.	- Komposisi lauran sudahtidak sempurna lagi. - Pekerjaan pendahuluankurang sempurna. - Kekurangan bahan pemengkilap larutan tercemar oleh kotoran yangterbawa benda kerja/anoda.	- Cek/perikas komposisi larutan. - Lakukan pembilasan atau pembersihan dengan baik jikaperlu dengan dua kali bilas. - Tambahkan <i>brightener</i> dan pemengkilap jenis dua (<i>doctorsolution</i>) secukupnya. - Gunakan anoda yang lebih - murni.
5. Tampak rupa lapisan baik, tetapi kasar.	- - Larutan tercemar oleh pengotor.	- Larutan dilakukan filterisasiatau penyaring - Biarkan/endapkan larutan selama 24 jam lalu tuangkan/pindahkan ke bak - yang lain.
6. Kecepatan pelapisan rendah, sehingga terbentuk gas pada lapisan.	- Meningkatnya kandungsianida dan <i>caustic soda</i> . - perbandingan ratio sianida dan <i>caustic soda</i> terlalutinggi > 6.	- Perbaiki kandungan sianidadan <i>caustic soda</i> . - Turunkan perbandingan sianida dan <i>caustic soda</i> agar < 6.
7. Lapisan yang terbentuk tipis.	- Kondiktivitas larutan rendahkarena konsentrasi bahan larutan menurun. - Temperatur larutan terlalurendah atau tinggi. - Kandungan seng dalamlarutan turun, karena anoda - tidak berfungsi dengan baik.	- Naikkan atau turunkantemperatur lauran hingga 25- 33°C - Tambahkan <i>zink oksid</i> - seperlunya.
8. Rapat arus turun, tegangan naik, dan anoda akan tertutupi kerak putih.	- Terjadinya polarisasi anoda. - Larutan kekurangan sianidadan <i>caustic soda</i> .	- - Periksa konsentrasi <i>causticsoda</i> dan total sianida. - Perbaiki konsentrasi larutandengan cara penambahan <i>caustic soda</i> dan sodium -

Jenis Cacat	Penyebab Cacat	Cara Perbaikan
9. Larutan terlalu pekat dan terjadi pengkristalan	- - Adanya unsur pembentukan karbonat, sehingga merusak perbandingan sianida dan <i>caustic soda</i> .	- Bersihkan kristal-kristal karbonat yang terdapat padapinggir bak dan gantungan. - Tambahkan air ke dalam luran untuk mengembalikan volume larutan.
10. Lapisan kromat pecah	- Temperatur pengeringan terlalu tinggi. - Proses <i>activating</i> lama.	- Turunkan temperatur pengering. - Kurangi waktu proses <i>-activating</i> dan <i>chromating</i> .

5.12 Pelapisan Chromate

Pelapisan konversi dengan Chromate terutama digunakan untuk logam-logam non-ferrous, seperti Zinc, Cadmium, Megnesium, Aluminium, Tembaga dan Perak. Pelapisan Chromate dapat digunakan sebagai lapisan final pada permukaan logam, tetapi dapat juga digunakan sebagai lapisan dasar bagi proses pengecatan. Pelapisan konversi Chromate lebih solid dibandingkan dengan lapisan konversi Phosfat, karenanya lapisan Chromate lebih tahan korosi disbanding lapisan Phosfat, tetapi kurang mampu menyerap Oil atau Wax.

Karena alasan ini pula pelapisan Chromate dapat menjadi pelengkap bagi pelapisan Phosfat, dan tidak sebaliknya. Pelapisan Chromate sangat banyak digunakan pada Aluminium dan Zinc.

Urutan proses pelapisan dengan Chromate adalah sebagai berikut:

- a) *Pickling*, untuk membuang kerak pada permukaan. Dapat jugadengan caralain, yaitu secara mekanik atau secara

kimiawi.

- b) Degreasing dengan cairan atau dengan phasa uap.
- c) Bersihkan dengan pembersih alkaline pada temperatur 170 °F
- d) Bilas dengan air.
- e) Lakukan pelapisan Chromate pada 80 °F selama 30 detik hingga 1menit.
- f) Bilas dengan air
- g) Keringkan pada suhu 150 °F.

5.13 Pelapisan Dengan Tembaga

Tembaga atau Cooper merupakan logam yang bersifat lunak,menarik,liat,tahan korosi,daya hantar panas baik, konduktivitas listrik tinggi dan tahan oksidasi pada larutan non asam, tetapi tidak tahan dalam larutan asam. Bila dibiarkan diudara terbuka akan terjadi reaksi oksidasi dengan oksigen membentuk lapisan oksida tembaga berwarna gelap atau hijau perunggu.

Penggunaan lapisan tembaga sangat luas,karena selain meningkatkan tampak rupa,serta perlindungan korosi, juga dapat meningkatkan sifat-sifat benda yang dilapisimenurut aspek- aspek teknologi yang diinginkan.Dalam dunia industry,pelapisan tembaga dimanfaatkan sebagai lapisan dasar (strike)pada proses pelapisan nikel-krom dekoratif,lapisan finishing pada produk komponen listrik,penghalang(stop off)pada proses penambahan

nitrogen(nitriding) dan penambahan karbon,elektrolisa serta pembentukan benda dengan endapan.

Sebagai lapisan dasar berarti tembaga secara langsung dapat dilapiskan pada logam dasar tanpa didahului oleh lapisan lain,kecuali untuk bahan dasar logam aluminium yang harus didahului oleh lapisan seng cate (zincate).Hal ini yang perlu diperhatikan dalam proses pelapisan tembaga adalah jenis anodanya,karena selain ion-ion tembaga dari larutan elektrolit,ion-ion anoda yang terlarut akan menentukan hasil lapisan,sehingga diperlukan karakteristik anoda yang jelas.

Lapisan tembaga yang digunakan sebagai lapisan dasar pada pelapisan berganda bertujuan untuk mengurangi biaya pemrosesan,menghambat kerusakan,karena adanya pori-pori dan memperbaiki throwing power benda yang dilapisi,biasanya tebal lapisan 1-5 mikron.

5.14 Pelapisan Perak (*Silver*)

Perak adalah logam yang berwarna putih mengkilap, lunak, mudah dibentuk, ulet dan merupakan konduktor listrik yang baik. Perak juga mempunyai sifat daya refleksi yang tinggi, tahan terhadap oksidasi dan korosi, tetapi akan segera berubah warna jika bersentuhan dengan udara yang mengandung sulfur dan ammonia.

Oleh karena itu, sebaiknya perak tidak boleh dibiarkan begitu saja di udara terbuka tanpa perlindungan, karena lama kelamaan

akan terjadi perubahan warna kekuning-kuningan akibat pengaruh udara di sekelilingnya. Perak termasuk salah satu logam yang pertama kali digunakan sebagai bahan pelapis, karena penampilannya yang sangat menarik dan sampai saat ini masih memegang peranan yang dapat dibanggakan untuk melapisi barang-barang ornamen.

Sejalan dengan terus berkembangnya industri pelapisan logam, maka teknologi pelapisan perak juga ikut berkembang dan menuju kebutuhan yang tidak lagi bersifat dekoratif. Teknologi pelapisan perak telah menuju ke sifat teknis dengan memanfaatkan sifat listrik (electrical), mekanik (mechanical), dan kimia (chemical) dari perak tersebut.

Pada mulanya pelapisan perak dilakukan dalam larutan alkali sianida tanpa disertai unsur-unsur lain. Akan tetapi akhir-akhir ini telah dilakukan perkembangan dengan bermacam-macam variasi waktu, temperatur, rapat arus dan unsur-unsur seperti nitrat, fluoborate, fluosilicate, perchlorate, methyl sulfot, lactate, sulfonate, thiosulfate thiourea, thiocyanida, iodida dan citrate.

Pada industri elektronik, lapisan perak berfungsi sebagai lapisan pengganti lapis emas pada bagian-bagian elektronik, karena fungsi dan sifatnya hampir sama, tetapi harga perak lebih rendah dari emas, sehingga industri elektronik cenderung menggunakan lapis perak. Kekerasan lapisan perak 70-90 HV tetapi dapat ditingkatkan menjadi 110-130 HV dengan menambah bahan imbuah luster (luster agent) dan akan meningkatkan lagi menjadi

150-160 HV dengan menambah garam logam anorganik dalam larutan.

Kecepatan pelapisan didapat dengan cara meningkatkan proses agitasi, temperatur, memperbaiki simetri antara anoda katoda, mengatur komposisi kimia terutama unsur logam brightener, pH, dan menjaga larutan agar tetap bersih dari pengotor. Ketebalan lapisan perak akan memengaruhi kilapan lapisan, makin tebal, makin suram, tampak rupa lapisan. Untuk itu dianjurkan untuk ditambah dengan karbon sulfida dan bahan imbuhan organik dan bahan imbuhan anorganik.

A. Jenis Solusi Perak

Seperti pada larutan pelapisan emas, larutan pelapisan perak juga mengandung unsur-unsur dasar antara lain perak cyanida, potassium sianida, potassium karbonat, potassium perak sianida, dan potassium hidroksida.

Unsur-unsur tambahan sebagai bahan pemengkilap dari bahan organik biasanya dalam bentuk ikatan kimia seperti thioureine, ammonium thiosulfate, allyiso thiocyanate, sedangkan bahan imbuhan kilapan anorganik terdiri dari antimony selenium, silicon, tin, nikel, cobalt, palladium, dan lain-lain.

Kehalusan dan kilapan lapisan perak dapat dikontrol dengan cara penambahan sejumlah kecil unsur sulfur seperti ammonium thiosulfat dan karbon disulfat. Bahan imbuhan jenis ini membantu pencegahan terbentuknya noda-noda hitam dan kebakaran pada

operasi rapat arus tinggi.

Dengan pengawasan komposisi kimia larutan secara kontinu dan prosedur pelapisan dijalankan dengan baik, sehingga kehalusan lapisan akan lebih baik pada ketebalan 1 mm - 0,24 in terhadap beberapa jenis bahan dasar. Untuk meningkatkan daya lapis agar tidak terlalu lambat pada bahan logam yang kurang mulia dibandingkan perak, bahan dasar tersebut terlebih dahulu harus dilakukan pelapisan dasar (strike) dengan larutan yang mengandung perak konsentrasi rendah dan sianida bebas tinggi. Komposisi kimia dan kondisi operasi larutan lapis dasar (strike) perak untuk bahan dasar baja, nikel dan logam-logam non ferro dijelaskan pada **Tabel 5.11** untuk unsur dasar natrium dan **Tabel 5.12** untuk unsur dasar potassium.

Tabel 5.11 *Komposisi dan kondisi operasi larutan strike perul uniuur dator natrium*

Bahan dan kondisi operasi	Konsentrasi larutan (g/L)	
	Baja / nikel	Non ferru
Bahan :	0,75 – 1,50	3,75- 5,25
- Silver cyanida (AgCN)	37,5 – 60	60 – 90
- Sodium cyanida (NaCN)	-	9
- <i>Sodium carbonat</i> (Na_2CO_3)	-	-
Kondisi operasi :	T.K	T.K
- Temperature ($^{\circ}C$)	2,70 – 8,10	1,62 – 2,70
- Rapat arus (A/dm^2)	-	-

- Waktu (menit)	1 – 1,5	1 – 2
- Anoda	Perak/SUS	Perak/ SUS

Tabel 5.12 Komposisi dan kondisi operasi larutan strike perak unsur dasar potassium

Bahan dan kondisi operasi	Konsentrasi larutan (g/L)	
	Baja / nikel	Non ferru
Bahan :		1,5- 5
- Silver cyanida (AgCN)	1,50 – 2,5	75 – 90
- potassium cyanide (NaCN)	75 – 90	-
- cupper cyanide (CuCN)	10 - 15	
Kondisi operasi :		
- Temperature (°C)		25 – 33
- Rapat arus (A/dm ²)	22 – 30	1,5 – 3
- Voltage (volt)	1,5 – 3	Tidak ditentukan
	4– 6	

B. Larutan Perak Konvensional

Larutan jenis ini beroperasi pada kecepatan tinggi dan menghasilkan lapisan yang lebih baik dibandingkan larutan bahan dasar sodium sianida. Kehalusan lapisan dapat dihasilkan. bila dioperasikan pada rapat arus hingga 1,62 A/dm², walaupun tanpa menggunakan bahan imbuah pemengkilap, tetapi harus menggunakan agitasi bergerak dengan kecepatan 5 m/min.

Komposisi kimia dan kondisi operasi larutan perak

konvensional dapat dilihat pada **Tabel 5.13** berikut ini.

Tabel 5.13 *Komposisi dan kondisi operasi larutan perak konvensional*

Bahan dan kondisi operasi	Konsentrasi larutan (g/L)		
	A	B	C
Bahan :	-	-	7,50 – 30
Potassium silver	24,75 – 33	33,50	-
- Silver cyanida (AgCN)	30 – 45	60	15 – 30
- Potassium cyanida (KCN)	22,50 – 90	15	22,5 – 78
- Potassium carbonat (K_2CO_3)	-	-	7,5 – 30
- Potassium hydroksida (KOH)	-	-	0 – 15
- Potassium nitrat (KNO_3)	-	-	0 – 15
- Addetive	Seperlunya	Seperlunya	Seperlunya
Kondisioperasi :			
- Temperature ($^{\circ}C$)			
- Rapat arus (A/dm^2)			
- Agitasi			
- Analisis larutan	20 – 25	21 – 28	20 – 35
- Logam perak (Ag metalik)	0,54 – 1,62	0,5 – 1,5	0,11 – 4,32
- Sianida bebas	Katoda bergerak	Katoda bergerak	Katoda bergerak
	-	28 – 30	-
	-	28 – 42	-

Jumlah optimum addetive sebagai bahan pemengkilap ditentukan secara empiris sesuai spesifikasi tipe pelapisan. Jika menggunakan karbon disulfida, setelah larutan tercampur

dibiarkan selama 15 jam sebelum digunakan.

Kelebihan karbon disulfida dalam larutan dapat menyebabkan lapisan kasar. Amonium tiosulfat juga dapat digunakan sebagai bahan imbuhan (additive) pemengkilap, karena mempunyai keuntungan :

- Penambahan dapat dilakukan secara langsung.
- Tidak mempengaruhi hasil lapisan jika terlalu banyak.
- Untuk mendapatkan lapisan yang merata dapat ditambah hingga 60%.

C. Larutan Perak Kecepatan Tinggi

Dibandingkan dengan larutan konvensional, larutan perak kecepatan tinggi mempunyai karakteristik yaitu kandungan perak sianida bebas lebih tinggi dan diikuti peningkatan sistem agitasi, sehingga akan memengaruhi permukaan anoda dan katoda

Penurunan throwing power dengan diikuti peningkatan rapat arus, biasanya harus ditentukan dengan mengatur jarak anoda dan katoda serta melindungi pinggir yang tajam, supaya terbentuk lapisan yang seragam.

Karena temperatur operasi tinggi dan kecepatan ion-ion perak mengendap juga tinggi, maka penambahan karbonat akan bermasalah yaitu menyebabkan terjadinya penyerapan karbon dioksida. Untuk itu agar karbonat tetap stabil perlu ditambahkan potassium hidroksida pada batas tertentu tanpa mengurangi manfaatnya sebagai pengikis anoda.

Sedangkan untuk mengendapkan karbonat yang berlebih dapat dilakukan dengan cara penambahan potassium nitrat, bahan ini berfungsi juga untuk mengurangi kebakaran pada ujung sudut-sudut yang tajam.

Untuk lebih jelasnya komposisi kimia dan kondisi operasi larutan perak kecepatan tinggi dapat dilihat pada **Tabel 5.14** berikut.

Tabel 5.14 *Komposisi dan kondisi operasi larutan perak kecepatan tinggi*

Bahan dan kondisi operasi	Konsentrasi larutan (g/L)			
	I	II	III	IV
	-	-	-	-
	45 – 54,75	30 – 45	36	105
Bahan :	45 – 54,75	85 – 115	60	112,5
	22,5 – 80,25	20 – 90	45	112,5
- Potassium silver cyanide (KAg(CN) ₂)	3 – 12	-	-	30
- Silver cyanida (AgCN)	22,5 – 90	100	-	-
- Potassium cyanida (KCN)				
- Potassium (K ₂ CO ₃)	0,003/4jam	-	-	-
- Potassium				

Bahan dan kondisi operasi	Konsentrasi larutan (g/L)			
	I	II	III	IV
hyndroksida (KOH)				
- Potassium nitrat (KNO_3)				
- Brightener (ammonium thiosulfate)	-	-	0,075	-
- Carbon disulfide (CS_2)				-
Kondisiopera : - Temperature ($^{\circ}C$)	40 – 45	21 – 35	24 – 35	43 – 55
- Rapat arus (A/dm^2)	2,70 – 10,80	5	42,5	6,4 – 16,2
- Agitasi				
- Efisiensi (%)				
- Voltage (volt)	-	Kontinu	-	-
- Anoda : katoda	-	-	100	100
Analisis larutan - Logam perak (Ag metalik)	-	-	Kurang dari 6	-
- Sianida bebas	-	-	1 : 1	2 : 1
- Karbonat				
- Pemengkilap $\{(NH_4)_2S_2O_3\}$				
	-	-	28,50	84
	-	-	42,5	-
	-	-	-	62
	-	-	-	1,5/1jam

Dari semua jenis larutan dalam Tabel 5.46, karbonat (potassium/sodium karbonat) tidak boleh melebihi dari 120. g/L, bila melebihi harus dibersihkan dan membersihkannya tidak dapat hanya dengan mengeluarkan dari larutan, tetapi harus diendapkan dengan menambahkan kalsium nitrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$).

D. Fungsi Bahan Kimia

Fungsi unsur-unsur kimia yang sengaja dicampurkan di dalam larutan elektrolit perak dapat dijelaskan seperti berikut.

a. Perak Sianida

Bahan ini berfungsi sebagai sumber ion perak dan memperbaiki throwing power larutan. Konsentrasi kandungan perak perlu dikurangi, karena bila terlalu tinggi, maka kondisi operasinya harus pada rapat arus tinggi.

b. Alkali Sianida

Biasanya berbentuk garam seperti potassium atau sodium sianida, berfungsi sebagai pembentuk sianida kompleks, mencegah korosi yang berlebihan pada anoda dan mereduksi tahanan. Penggunaan potassium sianida lebih menguntungkan bila dibandingkan dengan sodium sianida, karena lebih aktif, konduktivitas tinggi, dan hasil lapisan lebih mengkilap.

c. Alkali Karbonat

Berbentuk garam potassium atau sodium karbonat, berfungsi meningkatkan konduktivitas larutan, polarisasi anoda dan katoda, serta memperbaiki sifat-sifat fisik lapisan yang terbentuk.

d. Potassium atau Sodium Hidroksida

Berfungsi sebagai bahan penyangga (*buffer*) yaitu untuk mengatur pH dan meningkatkan konduktivitas larutan serta menjaga keteraturan lajunya pengikisan anoda dengan baik.

e. Potassium atau Sodium Nitrat

Fungsi *potassium nitrat* untuk penyuplai atau penambah ion potassium, sodium agar dapat membantu meningkatkan kilap lapisan, mengurangi korosi anoda, sehingga memungkinkan beroperasi pada konsentrasi sianida rendah.

f. Unsur-unsur Lainnya

Unsur-unsur kimia lainnya digunakan antara lain untuk meningkatkan sifat-sifat lapisan seperti kekerasan, kilapan, kekenyalan, kekasaran, dan lain-lainnya. Bahan pemengkilap (*brightener*) seperti karbon disulfida tidak boleh terlalu banyak, karena akan menimbulkan masalah yaitu turunnya *throwing*. Power, distribusi pengendapan rendah, timbul bintik-bintik hitam pada lapisan, dan lapisan kasar.

Untuk mengurangi kelebihan bahan *brightener* dalam larutan tersebut dapat dilaksanakan dengan cara perlakuan karbon aktif

yaitu memasukkan karbon aktif ke dalam larutan, lalu diaduk, kemudian diendapkan selama lebih kurang 10 jam

E. Kondisi Operasi

a. pengaturan kandungan perak

Penguraian ion-ion perak dari permukaan anoda yang permukaannya lebih luas dan jumlah sianida bebas normal akan terjadi kecenderungan pemakaian ion-ion perak meningkat, sebaliknya jika larutan dioperasikan dengan ukuran leas anoda lebih kecil dan sianida bebas tidak normal, maka pemakaian ion-ion perak akan menurun.

Untuk itu diperlukan pengaturan kandungan perak dalam larutan agar tetap seimbang, caranya dengan penambahan unsur kimia yang cocok dan khusus seperti garam perak sianida kompleks (potassium perak sianida) atau perak sianida tunggal (perak sianida). Nilai dari unsur-unsur kimia tersebut harus sebanding dengan jumlah perak yang terkandung dalam larutan, sehingga operator tinggal mempertimbangkan unsur yang mana yang digunakan untuk memperbaiki kestabilan larutan.

Perak sianida tunggal sulit larut dalam larutan, sehingga untuk membuatnya larutkan terlebih dahulu dalam air dengan konsentrasi sebagai berikut 1 gram perak sianida tunggal dan 0,5 gram potassium/sodium sianida, kemudian setelah larut masukkan ke dalam larutan dan disesuaikan dengan jumlah larutan yang ada.

b. Anoda Pelapisan Perak

Ada dua jenis anoda yang digunakan pada proses pelapisan perak yaitu anoda larut dan anoda tidak larut. Anoda larut menggunakan perak murni yang high purity 99,99 %, sedangkan anoda tidak larut menggunakan stainless steel, Penggunaan anoda larut sangat menguntungkan, karena kemungkinan terbentuknya pengotor sangat kecil, kondisi operasi tidak terlalu disyaratkan, kondisi ion-ion perak terjamin, tetapi biayanya sangat tinggi dan kurang aman. Sedangkan bila menggunakan anoda tidak larut (unsoluble anode), kemungkinan terbentuknya pengotor sangat besar, kontrol larutan harus kontinu, ion-ion perak berkurang, sehingga perlu penambahan perak sianida agar ion-ion perak tetap stabil, tetapi biaya lebih murah dan aman.

Jika menggunakan anoda larut harus diperhatikan penguraian ion perak, karena kandungan ion perak akan terus bertambah akibat dari dua sumber ion perak yaitu yang berasal dari larutan dan anoda sehingga bisa melampaui batas ketentuan yang diizinkan, bila efisiensi arus tidak mencapai seratus persen. Kandungan perak dalam larutan yang melebihi ketentuan dapat dikurangi dengan cara proses elektrolisa dengan menggunakan anoda tidak larut dan dioperasikan pada rapat arus, temperatur rendah dan waktu disesuaikan kondisi yang akan dicapai.

Penggunaan anoda tidak larut tetap dapat mencapai efisiensi arus seratus persen, tetapi ion perak yang digunakan adalah ion perak yang berasal dari unsur kimia dalam larutan seperti potassium

perak sianida, perak sianida dan lain-lainnya, sehingga akan lebih cepat berkurang.

Pemberian pembungkus sarung anoda sangat bermanfaat dalam usaha pencegahan terbentuknya lapisan yang kasar dan ketidakrataan lapisan, karena pengotor yang berasal dari anoda terutama anoda tidak larut akan tersaring pada pembungkus anoda.

c. Pergerakan Katoda (*Cathode Movement*)

Pada umumnya proses pelapisan perak dilengkapi dengan sistem agitasi, baik berupa katoda bergerak, sistem propeler atau dengan sistem agitasi udara, sehingga lajunya aliran ionperak dari anoda ke katoda berjalan stabil. Agitasi pada proses pelapisan perak sangat menentukan hasil dari lapisan, karena kecepatan proses pelapisan akan didapat dengan cara meningkatkan sistem agitasi. Agitasi yang paling baik dilakukan dengan cara sistem pergerakan katoda.

Beberapa gerakan katoda akan menghalangi terbentuknya polarisasi larutan, sehingga dengan adanya pergerakan katoda yang teratur dapat mengaktifkan ion-ion perak dan menurunkan terbentuknya sianida bebas, karena terbawa oleh gerakan-gerakan katoda. Dengan dilakukannya sistem agitasi terutama sistem agitasi pergerakan katoda (*cathode movement*). maka akan didapatkan lapisan yang rata, lebih halus mengkilap dengan pinhole yang dihasilkan lebih sedikit.

Bila dalam waktu tertentu tidak dilakukan proses agitasi terutama

agitasi pergerakan katoda, maka lapisan akan cenderung kasar, hal ini terjadi akibat adanya penurunan ion perak dan meningkatnya ion sianida bebas pada permukaan benda kerja. Agitasi pergerakan katoda bermanfaat sekali untuk pelapisan benda kerja yang berbentuk hollow dan ukuran besar, karena dapat mendistribusikan arus, sehingga meningkatkan efisiensi arus dalam usaha pengendapan ion perak yang cukup dan memadai.

Agitasi pergerakan katoda, baik menggunakan batang man keranjang katoda dianjurkan kecepatan normal pergerakannya 10 rpm dengan gerak maju mundur 1-3 m/ menit, sedangkan untuk mendapatkan lapisan yang mengkilap dan rata kecepatan pergerakan katoda bisa mencapai 25 rpm dengan gerak maju mundur 3-6 m/menit

d. Penyebab Cacat dan Cara Perbaikannya

Seperti halnya pada proses pelapisan logam, maka pada proses pelapisan perak, sering juga terjadi cacat-cacat yang diakibatkan oleh beberapa faktor seperti, konsentrasi larutan yang tidak stabil, kontaminasi oleh pengotor, kondisi operasi yang tidak konstan, dan sebagainya. Selain itu, cacat juga terjadi karena kesalahan proses yang dilakukan oleh operator yang kadang-kadang melalaikan salah satu proses yang mereka anggap tidak terlalu penting, tetapi mengakibatkan kecacatan, maka untuk menghindari hal tersebut dan mempermudah dalam penyelesaian masalah atau cacat yang terjadi. Berikut ini pada **tabel 5.15** dijelaskan penyebab cacat dan cara perbaikannya.

Tabel 5.15 penyebab cacat pada lapisan perak dan cara perbaikannya

Jenis cacat	Penyebab cacat	Cara perbaikan
1. Daya rekat lapisan kurang sempurna	<ul style="list-style-type: none"> • Pembilasan tidak sempurna sehinggalemak • Proses pelapisan tidaksesuai /cocok prosedur yang telahditentukan. • Pekerjaan pembersihan/ pencucian (<i>preminent</i>) tidak dilakukan dengan perak sempurna. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bilas benda kerja dengan baik. • Cek larutan pembersihan dan air pembilas • Atur rapat arus sebelumproses pelapisan dilakukan. • Lakukan lapisan perakdasar (strike) sebelum lapisan perak. • Bersihkan lapisan nikel dengan larutan alkalin sebelum dilapis
2. Lapisan poros atau berpori-pori	<ul style="list-style-type: none"> • Rapat arus terlalu tinggi. 	<ul style="list-style-type: none"> • Turunkan tegangan atau rapat arus sesuai kondisi operasi yang ditentukan. • Celup lapisan dasar dalam larutan sodiumhidroksida rendahkemudian bilas sebelum melakukan proses pelapisan selanjutnya.
3. Lapisan kasar/rough	<ul style="list-style-type: none"> • Adanyapengotor padat dalam larutan. 	<ul style="list-style-type: none"> • Biarkan larutan selama satu hari hingga pengotor padatmengendap.

Jenis cacat	Penyebab cacat	Cara perbaikan
un		<ul style="list-style-type: none"> • Lakukan penyaringan hingga pengotor bersih • Keluarkan benda yang terjatuh dalam bak larutan.
4. Lapisan kusam dan keras	<ul style="list-style-type: none"> • Rapat arus terlalu rendah. 	<ul style="list-style-type: none"> • Usahakan agar tidak melakukan pengerjaan dengan rapat arus di bawah 0.2 A/dm
5. Lapisan sebagian putih kebiru-biruan dan sebagian mengkilap .	<ul style="list-style-type: none"> • Anoda tidak normal atau tidak murni. • Temperatur terlalu rendah. • Kandungan sianida bebas dalam larutan rendah, 	<ul style="list-style-type: none"> • Jangan dilakukan pengerjaan dengan temperature di bawah temperatur 15°C. • Cek kandungan logam dalam larutan • Tambahkan garam perak ke dalam larutan hingga larutan stabil
6. Terbentuk warna hitam pada permukaan anoda	<ul style="list-style-type: none"> • Kekurangan potassium sianida bebas 	<ul style="list-style-type: none"> • Cek kandungan sianida bebas • Tambahkan potassium sianida 2 g/L hingga anoda bersih
7. permukaan anoda mengkilap tetapi berkristal	<ul style="list-style-type: none"> • Rapat arus terlalu tinggi. • Potassium sianida bebas terlalu tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> • Analisis dan pastikan kandungan sianida bebas. • Jika berlebihan tambahkan perak sianida 5 g/l

Jenis cacat	Penyebab cacat	Cara perbaikan
8. rapat arus rendah pada tegangan normal	<ul style="list-style-type: none"> • Temperature operasi rendah. • Konsentrasi larutaturun. • Kekurangan sianida bebas. • Gantungan/rak kotor sehingga tidak kontak dengan baik. • Daya tahan larutan turun, akibat adanya penumpukan karbonat. 	<ul style="list-style-type: none"> • Jangan dioperasi dibawah temperature 15°C. • Tambahkan garam perak. • Cek larutan dan kurang tembaga dalam larutan. • Bersihkan gantungan/rak/jig sampai kontak listrik menjadi sempurna • Tentukan kandungan karbonat dengan cara analisis dan bersihkan dengan menggunakan larutan garam decarbonator.
9. Lapisan sebagian bernoda/ berbintik bintik coklat	<ul style="list-style-type: none"> • Menurunnya kandungan perak dalam larutan • Permukaan benda kerja kurang bersih. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bilas dengan air dingin dan panas beberapa saat sebelum pengeringan. • Bersihkan dengan sabun atau dalam larutan potassium hidrogen tartrate 6 g/L • Netralisir dalam larutan standa sebelum dibilas dan dikeringkan
10. lapisan sebagian	<ul style="list-style-type: none"> • Adanya pengotor organik dari 	<ul style="list-style-type: none"> • Cek pengerjaan permukaan dan

Jenis cacat	Penyebab cacat	Cara perbaikan
tipis dan sebagian mengkilap	<p>pengerjaan poles yang masuk ke dalam larutan</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adanya resin pada saat pengerjaan permukaan yang menempel 	<p>proses pencucian lemak</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lakukan permukaan pengerjaan tanpa menggunakan resin • Perbaiki larutan dengan • menggunakan metode karbon aktif. • Tambahkan garam perak sampai larutan stabil.
11. lapisan kekuning-kuningan atau berwarna pink	<ul style="list-style-type: none"> • Adanya pengaruh tembaga yang terlalu tinggi. • Kandungan perak dalam larutan rendah. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cek larutan dan kurang tembaga dalam larutan. • Lakukan penambahan garam perak atas perak sianida • Lakukan pemisahan atau pembersihan larutan dengan cara penyaringan. • Bersihkan apabila ada benda kerja yang terjatuh ke dalam bak larutan
12. tidak terbentuk lapisan perak di atas lapisan dasar	<ul style="list-style-type: none"> • Terjadinya pemasifan pada lapisan nikel • sebelum proses pelapisan perak 	<ul style="list-style-type: none"> • Aktifkan permukaan lapisan nikel dengan cara celup ke dalam larutan asam lemah.

Jenis cacat	Penyebab cacat	Cara perbaikan
nikel.		
13. lapisan suram	<ul style="list-style-type: none"> • Kekurangan bahan pemengkilap (<i>brightener</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> • Cek bahan pemengkilap dalam larutan • Tambahkan bahan pemengkilap hingga lapisan mengkilap.

5.15 Lapisan Kuningan (Brass)

Kuningan merupakan salah satu logam paduan yaitu paduan antara tembaga dan seng dengan persentase kandungan tergantung dengan sifat fisik dan tampak rupa yang diinginkan, semakin tinggi kandungan tembaganya semakin merah tampak rupa kuningannya dan semakin tinggi kandungan sengnya semakin pucat atau mudah tanpa rupa kuningannya. Walaupun sebagai logam paduan, tetapi karena sifat tersebut terutama sifat tanpa rupanya seperti emas, maka banyak digunakan sebagai logam pelapis, baik untuk barang-barang dekoratif (hiasan) maupun produk-produk teknis.

Lapisan kuningan juga digunakan untuk menaikkan daya ikat pada permukaan bahan dasar baja (*enchance adhesion of rubber to steely*) sebagai bantalan, tetapi harus diperhatikan karena lapisan kuningan mempunyai kelemahan yaitu cepat ternoda membentuk warna hijau. Oleh sebab itu setelah proses pelapisan harus dilakukan lapisan vernis transparan dengan laquar atau bahan kimia lainnya, sedangkan untuk lapisan kuningan

antik diakhiri dengan lapisan pewarnaan.

Proses pelapisan kuningan sama seperti proses pelapisan logam-logam mulia, tetapi penggunaan anoda dan komposisi larutannya yang berbeda. Pada proses pelapisan kuningan anoda yang digunakan harus berupa paduan tembaga dan seng atau kuningan, sedangkan larutan yang digunakan harus mengandung logam tembaga dan seng seperti tembaga sianida dan seng sianida. Warna lapisan kuningan dapat diatur sesuai dengan komposisi bahan kimia dan anoda yang digunakan, serta memvariasi kondisi operasi seperti rapat arus, temperatur, tegangan, dan pH larutan. Misalnya untuk warna kuning muda, maka unsur seng sianida ditingkatkan, sebaliknya jika diinginkan warna kuning tua atau kemerah-merahan, maka unsur tembaga sianida dinaikkan. Pada proses pelapisan kuningan terutama untuk barang-barang dekoratif, dikerjakan dengan sistem flash plating yaitu diawali terlebih dahulu dengan lapis dasar nikel mengkilap, karena lapis nikel ini akan menentukan kemengkilapan lapisan kuningan dan diakhiri lapisan vernis.

a. Larutan Pelapisan Kuningan

Seperti pada larutan pelapisan krom, larutan pelapisan kuningan juga tidak mengandung bahan pemengkilap (*brightener*), kemengkilapan lapisan tergantung pada kemengkilapan lapisan dasar nikel. Semakin mengkilap lapisan nikel, semakin mengkilap pula lapisan kuningan yang dihasilkan.

Hingga saat ini larutan pelapisan kuningan yang digunakan secara komersial bersifat alkali, belum ada yang bersifat asam, sehingga bahan dasar sianida merupakan unsur utama dalam larutan pelapisan kuningan. Larutan kuningan yang sering digunakan sebagai bahan pelapis yaitu larutan kuningan yang mengandung 70-80% tembaga dan sisanya seng dengan kondisi konsentrasi berimbang sesuai dengan warna lapisan kuningan yang diinginkan. Komposisi dan kondisi operasi larutan kuningan dapat dilihat pada **Tabel 5.16** berikut ini.

Tabel 5.16 Komposisi dan kondisi operasi larutan kuningan

Bahan dan kondisi operasi	Konsentrasi larutan (g/L)			
	I	II	III	IV
Bahan :				
- Copper cyanide (CuCN)	30 – 60	30 – 60	45	75
- Zinc cyanide (ZnCN)	7,5 – 15	10	7,5	5
- Sodium cyanida (NaCN)				
- Sodium carbonat (Na_2CO_3)	15 – 30	50	75	125
- Sodium bicarbonate ($NaHCO_2$)				
- ammonium (NH_4OH)	22,5 – 105	7,5	7,5	-
- Sodium hidroksida ($NaOH$)	-	10	10	-
Kondisi operasi :	-	2,5 – 5	0,6 – 1,2	-

Bahan dan kondisi operasi	Konsentrasi larutan (g/L)			
	I	II	III	IV
- Temperature (°C)	-	ml/L -	ml/L -	45
- Rapat arus (A/dm ²)	50 – 60	25 – 35	33 – 52	65 – 70
- Ph	0,54 – 1,62	2 – 2,2	1,6 – 6,2	1,08 – 8,06
	10 – 11,5	10 – 10,2	10 – 11	10 – 11,7

a. Fungsi Bahan-bahan Larutan

Untuk memberikan wawasan sehingga dalam penerapan pelapisan kuningan tidak terjadi keragu-raguan, berikut ini dijelaskan fungsi dari bahan-bahan yang digunakan dalam larutan pelapisan kuningan seperti berikut.

Tembaga sianida adalah pembentuk sianida kompleks, konsentrasinya dapat berubah- ubah dalam interval produksi tertentu sedangkan logam tembaga sebagai unsur utama dalam menentukan efisiensi pelapisan. Konsentrasi tembaga lebih rendah akan menyebabkan menurunnya efisiensi, tetapi akan meningkatkan daya lempar (throwing power) dan menaikkan rapat arus Dalam pelaksanaan pelapisan, batas atas tembaga yang

diangkut dan dibutuhkan untuk membentuk lapisan kurang lebih 45 g/L sedangkan batas bawah yang masih dapat dioperasikan untuk proses pelapisan adalah kurang lebih 10 g/L. Seng sianida adalah sebagai bahan dasar untuk menghindari operasi yang tidak stabil, konsentrasi seng sianida yang paling baik mengandung kira-kira sepertiga dari konsentrasi tembaga stanida. Perbandingan ini tidak memengaruhi paduan maupun warna lapisan, tetapi paduan maupun warna lapisan terkontrol dari perbandingan seng sianida tersebut.

Bila perbandingan sianida dengan seng terlalu tinggi dan) dioperasikan pada rapat arus rendah, maka akan menghasilkan lapisan kuningan lebih merah dan bila lapisan yang dihasilkan berwarna belang yaitu kuning muda dan kuning kemerah-meralan, menunjukkan bahwa kandungan sianida bebas menurun. Sodium sianida adalah suatu unsur serbaguna, dimana kandungan s sodium sianida terawasi dari lajunya kelarutan anoda Perbandingan sodium sianida terhadap seng terlihat dari paduan lapisan yang dihasilkan, makin tinggi sianida akan menyebabkan turunnya efisiensi lapisan dan akan memberikan cakupan lapisan yang rendah. Dalam proses pelapisan kuningan yang terpenting adalah perbandingan antara sodium sianida dengan seng sianida, karena seng akan memberikan pengaruh terhadap sianida bebas Rendahnya perbandingan sodium sianida dengan seng sianida akan menyebabkan peningkatan kandungan seng pada lapisan, sebaliknya tingginya perbandingan sodium sianida dengan seng

sianida akan menyebabkan peningkatan kandungan tembaga pada lapisan kuningan yang dihasilkan.

Untuk larutan yang perbandingan antara sodium sianida dengan seng sianida sangat tinggi, dapat diterapkan pada larutan kuningan konsentrasi rendah, sehingga akan menghasilkan lapisan kuningan dengan komposisi 85% tembaga dan 15% seng atau sama dengan lapisan perunggu dengan komposisi 90% tembaga dan 10% seng. Ammonia adalah unsur yang penting dalam proses pelapisan kuningan, karena berfungsi untuk meningkatkan kandungan seng pada lapisan, memperluas daerah kerataan lapisan dan meningkatkan kilapan lapisan.

Jumlah yang normal dan terbaik untuk penambahan ammonia berkisar antara 2,5-10 g/L. Dari jumlah tersebut yang diperlukan, untuk penambahan tergantung pada temperatur operasi.

Temperatur operasi di atas 38°C memerlukan penambahan ammonia lebih kecil. Penambahan ammonium dilakukan dengan cara yang sangat teliti, karena bila penambahan terlalu besar akan menghasilkan lapisan kuningan tampak pucat.

Perlu diingat bahwa penambahan ammonia tidak akan mengubah nilai pH, tetapi bila dioperasikan dengan memvariasikan rapat arus, maka akan menghasilkan bermacam-macam warna lapisan mulai kuning pucat, ungu hingga oranye.

Karbonat, dalam jumlah kecil 15 g/l. dibutuhkan sebagai periyangga pH larutan dan dalam keadaan seimbang antara karbonat dan bikarbonat akan memberikan kemampuan

penyangga yang lebih kuat untuk pH dalam interval waktu operasi tertentu. Karbonat dapat memberikan larutan pada tingkat operasi yang lebih tinggi tanpa mengubah hasil lapisan dan akan dicapai keseimbangan antara yang terendah dengan yang keluar dalam setiap kali operasi.

Anoda yang digunakan pada pelapisan kuningan disesuaikan dengan paduan lapisan yang akan dihasilkan. Umumnya pada pelapisan kuningan, anoda yang digunakan adalah anoda yang mengandung 70% tembaga dan 30% seng

Anoda hasil coran dan roll paling banyak digunakan dan biasanya berbentuk bulat, slug, pelat kecil dengan menggunakan keranjang. Anoda batangan atau lempengan dapat juga digunakan, tetapi sebaiknya dibungkus dengan pembungkus anoda.

b. Kondisi Operasi

pH larutan tidak bersifat kritis dan biasanya nilai pH 10-12, tetapi larutan harus selalu mengandung bahan-bahan penyangga. Nilai pH di bawah 9,8 akan menimbulkan masalah yaitu daya laju kelarutan seng memurun dan dapat menyebabkan efek terhadap tempat keranjang anoda.

Nilai pH tinggi di atas 11.7 dan dioperasikan pada rapat arus rendah akan menghasilkan lapisan kemerah-merahan. Nilai pH larutan dapat dinaikkan dengan penambahan sodium hidroksida (caustic soda), sedangkan untuk menurunkan dapat dilakukan dengan penambahan bikarbonat.

Temperatur operasi dapat dilakukan dengan bervariasi tetapi dalam interval yang telah diuraikan dalam Tabel 5.48 dan harus dikontrol agar selalu dalam rentang yang telah ditetapkan tersebut. Proses operasi pelapisan yang lebih efisien, bila dilakukan pada temperatur rendah, masih dapat juga dilakukan pada temperatur tinggi, sesuai dengan lapisan yang diinginkan.

Bila dioperasikan sesuai dengan kondisi yang telah ditentukan, maka warna lapisan yang dihasilkan akan konstan dengan paduan kuningan yang stabil. Jika warna lapisan tidak merata, biasanya diakibatkan oleh keseimbangan larutan sudah tidak sempurna lagi. karena adanya pengaruh pengotor

Rapat arus, seperti halnya temperatur rapat arus dapat juga dioperasikan dengan bervariasi, tetapi masih tetap dalam ketentuan yang telah dijelaskan pada Tabel 5.48. Bila diinginkan lapisan tipe dekoratif, dapat dilakukan dengan cara memvariasikan tegangan dan rapat arus

Proses operasi dikerjakan pada tegangan rendah umumnya akan menghasilkan lapisankuningan menyerupai tembaga yang tampaknya kemerah-merahan, sebaliknya bila dioperasikan pada tegangan tinggi lapisan yang dihasilkan akan lebih lunak, kandungan seng lebih tinggi dan warna lapisan akan lebih mudah (kuning muda). Pelapisan kuningan dengan sistem barvel lazimnya dikerjakan pada tegangan 6-14 volt, sedangkan untuk sistem gantung biasanya dilakukan pada tegangan berkisar 3-6 volt.

Dalam kondisi operasi sering menemui masalah yaitu korosi dari peralatan yang menyebabkan terbentuknya pengotor, sehingga akan memengaruhi kondisi larutan. Untuk itu perlu dilakukan pembersihan pengotor tersebut yaitu dengan cara memasukkan ke dalam larutan seperti ferro sianida, ferro sianida akan mengendap bersama seng membentuk endapan warna abu-abu dan kemudian dikeluarkan dengan metode filterisasi.

Pengotor yang berasal dari bahan organik seperti sabun (soap), wetting agent, emulsi dan lain-lainnya akan mengakibatkan lapisan berwarna coklat dan tidak mengkilap. Untuk membersihkan atau menghilangkannya dilakukan dengan sistem penyaringan karbon aktif, sedangkan pengotor logam dapat dihilangkan dengan proses pelapisan rapat arus rendah atau metode dummy dan untuk menghindari terbentuknya pengotor yang berlebihan, gunakanlah anoda kuningan semurni mungkin sesuai lapisan yang akan dihasilkan.

c. Pelapisan Kuningan Kecepatan Tinggi

Untuk mendapatkan lapisan kuningan yang konstan terhadap barang-barang tertentu seperti kawat senar, benang kuningan, uts piano, dan lain-lainnya, diperlukan kecepatan pelapisan yang tinggi. sehingga akan didapat ketebalan lapisan dan warna konstan dalam beberapa detik saja. Ada dua jenis larutan kuningan kecepatan tinggi yang sering digunakan,

Pertama, larutan kuningan biasa (konvensional) yang komposisi

dan konsentrasinya sama seperti pada tabel 59 tipe I-III. tetapi dioperasikan pada temperatur 45-65°C dan rapat arus rata-rata 6.48 A/dm, sehingga membuat efisiensi lapisan meningkat lebih tinggi

Untuk menjaga keseragaman waga lapisan, dianjurkan agar temperatur operasi tidak boleh kurang dari 45°C dan interval penambahan ammonia harus rutin sesuai waktu yang telah ditentukan misalnya setiap hari atau setiap kali produksi sama seperti penambahan bahan imbuhan lainnya, tetapi tidak diperbolehkan pada temperatur tinggi. Bahan imbuhan yang banyak digunakan adalah monoethanol amine dan ditambahkan tidak lebih dari 0,50% dari volume larutan.

Kedua larutan kuning kecepatan tinggi dimana komposisi larutannya mendekati komposisi larutan tembaga sianida tinggi, tetapi mengandung alkalin sangat tinggi dengan konsentrat dan efisiensi sangat baik. Komposisi dan kondisi operasi sama seperti pada Tabel 5.48 konsentrasi IV.

Bahan imbuhan (*addition agent*) diperlukan untuk mendapatkan lapisan dengan warna yang merata dan lebih menyebar Larutan jenis ini sangat baik untuk sistem barrel maupun gantung dan peralatan yang digunakan tidak harus khusus, kecuali untuk sistem barrel harus mampu bertahan dalam temperatur tinggi, tetapi masih di bawah sistem gantung.

Larutan kuning kecepatan tinggi dengan konsentrasi alkalin

tinggi ini, dapat juga digunakan untuk pelapisan tembaga paduan tinggi dengan warna keemasan, tetapi harus ada penambahan secukupnya potassium sianida atau sodium sianida serta dioperasikan pada temperatur rendah.

RANGKUMAN

Untuk memberikan wawasan tentang lingkup pekerjaan pelapisan dalam proses produksi dapat dijelaskan, bahwa pelapisan pada umumnya merupakan bagian ahir dari proses produksi suatu produk. Dengan demikian, proses pelapisan termasuk dalam kategori pekerjaan finishing dari suatu benda kerja. Pengerjaan ahir suatu benda kerja dewasa ini menjadi penting karena sangat berperan dalam menembus pasar.

Proses pelapisan logam dengan berbagai tujuannya menjadi semakin penting dan diperkirakan akan menjadi topik yang makin aktual karena sangat membantu dalam menekan biaya produksi dengan capaian mutu yang prima. Proses pelapisan bertujuan untuk memberikan sifat tertentu pada suatu permukaan benda kerja. Pelapisan Metalik merupakan suatu proses pelapisan logam terhadap logam lain yang dilakukan secara sengaja untuk suatu tujuan. Keberhasilan pengerjaan pendahuluan baik secara kimia dan mekanik akan menentukan kualitas lapisan seperti ketahanan korosi, tampak rupa, kekuatan daya lekat, ketangguhan, dan sebagainya.

Pengotor dalam hal ini adalah pengotor yang terdapat pada benda yang akan dilapis, baik akibat pengerjaan pemesinan, poles, buffing, pengotor lemak (greas) karat, dan lain-lain. Pengotor jenis ini terjadi karena bekas pasta pengerjaan buffing, pelumas pada perkakas pemesinan, matres, dan sebagainya. Pengotor dari minyak pelumas, minyak mineral sulfide, lebih sulit dibersihkan

dibandingkan dengan minyak pelumas tersebut diatas. Membersihkan pengotor organik banyak digunakan larutan asam seperti larutan asam fosfat dan ether ethylene, sedangkan untuk bahan dasar aluminium menggunakan reaksi etsa dan memerlukan pembilasan dengan air yang betul betul bersih.

Pengotor anorganik terjadi akibat pengerjaan cuci asam (pickling), etsa, dan sulit dibersihkan. Contohnya seperti geram-geram atau partikel-partikel yang terdapat bersamaan pelumas saat pengerjaan pemesinan, gerinda, poles, dan bor. Endapan-endapan pengotor yang terjadi akibat dari proses etsa dapat dibersihkan dengan larutan nitrat. Pengotor jenis ini biasanya berbentuk oksida silikat, fosfat, inhibitor, pasivator, karena pengerjaan cleaning dan pickling.

Pengotor yang terjadi akibat bereaksinya logam dengan oksigen dan adanya pengaruh dari lingkungan tertentu. Dari beberapa cara tersebut, metode yang digunakan tergantung dari tebal oksida/karat dan jenis bahan dasar. Bila diinginkan dapat digunakan lebih dari satu cara diatas dengan kondisi yang berbeda-beda. Selain dengan larutan asam (acid) dan basa (alkali) dengan larutan garam juga sangat efektif, karena pada temperature tinggi larutan tersebut dapat teroksidasi atau mereduksi oksida/karat.

Pengotor fluida geram terbentuk, karena adanya penggunaan fluida pada proses pemesinan seperti bubut, bor, frais dan gergaji, jenis fluida yang banyak digunakan adalah sebagai berikut.

Pembersihan pengotor jenis ini dilakukan dengan cara emulsi, celup, dan larutan elektrolit (electrolytic) dalam larutan asam atau basa. Pengotor jenis ini adalah pengotor yang berasal dari pengerjaan buffing dan poles, minyak yang mengandung pigmen dan pengotor karbon, karena proses pembakaran pada pengerjaan paskan (heat treatment). Bahan kimia yang digunakan pada pengerjaan poles dan buffing dapat digolongkan ke dalam tiga kelas, yaitu: Pengotor yang mengandung minyak mineral sulit dibersihkan dengan larutan basa, kecuali basa yang mengandung pengaktif permukaan.

Pengotor minyak yang mengandung pigmen agak sulit dibersihkan, karena pigmen terbuat dari oksida seng, graphite, lead, molybdenum sulfide. Unsur-unsur yang menyusun pigmen berfungsi untuk meningkatkan daya lekat minyak pada permukaan logam. Setelah itu baru dilakukan dengan cara emulsi, celup dalam larutan kimia pada temperatur tinggi, selanjutnya langsung dibilas dengan air mengalir baik secara semprot atau getaran. Pekerjaan ini bertujuan untuk menghaluskan permukaan dan menghilangkan goresan-goresan serta geram-geram yang masih melekat pada benda kerja.

Biasanya untuk menghilangkan goresan-goresan dan geram-geram tersebut dilakukan dengan cara poles, buffing, penyikatan, barreling, dan penyemprotan abrasive. Pengerjaan poles dilakukan sebelum pengerjaan buffing dengan tujuan untuk menghaluskan permukaan dan menghilangkan goresan-goresan

yang terjadi akibat pengerjaan sebelumnya dan cacat-cacat yang akan memengaruhi kualitas lapisan.

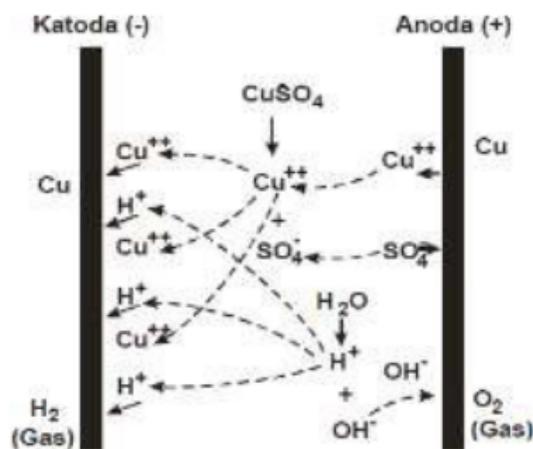
MODUL 6

PROTEKSI KATODIK DAN ANODIK

9

6.1 Larutan Elektrolit Pelapisan

Larutan elektrolit dapat dibuat dari larutan asam, basa, dan garam logam yang dapat membentuk ion-ion positif. Tiap jenis pelapisan, larutan elektrolitnya berbeda-beda tergantung pada sifat-sifat elektrolit yang diinginkan. Sebagai contoh pelapisan tembaga. Larutan elektrolit yang dipakai dibuat dari garam logam tembaga sulfat (CuSO_4) dan H_2O sehingga akan terurai seperti reaksi kimia berikut.



Gambar

13

Larutan elektrolit selalu mengandung garam dari logam yang akan dilapis. Oleh karena itu, garam-garam tersebut sebaiknya dipilih yang mudah larut, tetapi anionnya tidak mudah tereduksi.

6

Walaupun anion tidak ikut langsung dalam proses

terbentuknya lapisan, tapi jika menempel pada permukaan katoda (benda kerja) akan menimbulkan gangguan berupa terbentuknya mikro struktur lapisan. Kemampuan atau aktivitas dari ion-ion logam ditentukan oleh konsentrasi dari garam logamnya, derajat desosiasi, dan konsentrasi unsur-unsur lain yang ada di dalam larutan. Bila konsentrasi logamnya tidak mencukupi untuk diendapkan, akan terjadi endapan/lapisan yang terbakar pada rapat arus yang relatif rendah. Selain itu, larutan elektrolit harus mempunyai sifat-sifat seperti covering power, throwing power, dan levelling yang baik. Adanya ion klorida dalam larutan asam berfungsi untuk:

- mempercepat terkorosi/terkikisnya anoda atau mencegah pasivasi anoda.
- ⁶ menaikkan koefisien difusi dari ion logamnya atau ⁶ menaikkan batas rapat arus (*limiting current density*).

⁹ Larutan yang bersifat basa (alkali) yang banyak digunakan pada proses lapis listrik adalah garam kompleks sianida, karena siano kompleks terdekomposisi oleh asam.

Fungsi natrium hidroksida dan kalsium hidroksida pada larutan yang bersifat basa adalah untuk ⁶ memperbaiki konduktivitas dan mencegah leberasi dari asam hydrocyanad oleh karbon dioksida (CO₂) yang termasuk ke dalam larutan dari udara.

Beberapa bahan/zat kimia sengaja dimasukkan/ditambahkan ke dalam larutan elektrolit bertujuan untuk mendapatkan sifat-sifat lapisan tertentu. Sifat-sifat tersebut antara lain, tampak rupa (*appearance*), kegetasan lapisan (*brittleness*),

6.2 Anoda (Elektroda Positif)

Pada proses pelapisan dengan cara listrik, peranan anoda sangat penting dalam menghasilkan kualitas lapisan. Pengaruh kemurnian kebersihan anoda terhadap elektrolit dan penentuan optimalisasi ukuran serta bentuk anoda perlu dipikirkan/diperhatikan.

Adanya arus listrik yang mengalir melalui larutan elektrolit di antara kedua elektroda, maka pada anoda akan terjadi pelepasan ion logam dan oksigen (reduksi), selanjutnya ion logam dan gas hidrogen diendapkan pada elektroda katoda. peristiwa ini dikenal sebagai proses pelapisan dengan anoda terlarut (*solute anode*). Tetapi bila anoda tersebut hanya dipakai sebagai penghantar arus saja (*conductor of current*), anoda ini disebut anoda tak larut (*insoluble anode*).

Dari anoda terlarut akan terbentuk ion logam, sewaktu atom logam dioksidasi dan melepaskan elektron-elektron yang sebanding dengan elektron-elektron dari katoda. Ion logam direduksi kembaliseksi secara kontinu dalam atom logam, selanjutnya diendapkan pada katoda. Anoda tidak larut adalah paduan dari bahan-bahan seperti baja nikel, paduan timbal-timah, karbon,

platina-titanium.

Anoda ini diutamakan selain sebagai penghantar yang baik juga tidak mudah terkikis oleh larutan dengan atau tanpa aliran listrik. Tujuan dipakainya anoda tidak larut adalah untuk:

- 1) mencegah terbentuknya logam yang berlebihan dalam larutan.
- 2) mengurangi nilai investasi peralatan.
- 3) menghindari kehilangan.
- 4) memelihara keseragaman jarak anoda dan katoda

kerugian penggunaan anoda tidak larut adalah cenderung teroksidasi unsur-unsur tertentu dari anoda tersebut ke dalam larutan. Oleh karena itu, anoda jenis ini tidak bisa digunakan dalam larutan yang mengandung bahan-bahan organik (*organic agent*) atau sianida.

Terdapat beberapa kriteria yang perlu diperhatikan dalam memilih anoda terlarut antara lain adalah:

1. efisiensi anoda yang akan dipakai
2. jenis larutan elektrolit
3. kemurnian bahan anoda
4. bentuk dan cara pembuatan anoda
5. rapat dan kapasitas arus yang dipakai

Efisiensi anoda akan turun atau berkurang akibat adanya logam pengotor (*metallic impurities*) dan kekasaran butiran yang terdapat dalam larutan. Pengotor dalam anoda juga dapat menyebabkan terjadi passivasi dan mengurangi efisiensi anoda

secara drastis. kemurnian anoda terlarut dapat meningkatkan efisiensi anoda, tetapi rapat arus yang tinggi pada saat pelapisan berlangsung akan menyebabkan passivasi pada anoda sehingga perlu diperhitungkan besarnya rapat arus terhadap luas permukaan anoda. pada proses lapis listrik yang umum dipakai perbandingan anoda dengan katoda adalah 2:1, karena terkontaminasi anoda adalah penyebab/sumber utama pengotor, maka usahakan menggunakan anoda semurni mungkin. Spesifikasi kemurnian anoda yang disarankan dapat terlihat pada **Tabel 1.** berikut ini.

Tabel 2. Spesifikasi anoda larut

No	Anoda	Kemurnian(%)	Unsur-Unsur Pengotor
1	Kadmium (<i>Cadnium</i>)	99,95	Ag,- AS,- Cu,- Fe,- Pb,- Sb,- Ti,- Zn
2	Tembaga (<i>Copper</i>)	99,97	Ag,- Cd
3	Paduan Timah Hitam	99,92	Ag,- Cu, - Cd,- Zn
4	Nikel (<i>Nickel</i>)	99,98	Ag,- Cd,- Cu,- Fe,- Pb,- Sn,- Zn
5	Timah Putih (Tin)	99,92	Ag,- As,- Bi,- C,- Cu,- Fe,- Pb,- S,- Sb,- Ni
6	Timah Putih-Timah Hitam (Tin-Lead)	99,93	Ag,- As,- Bi,- Cu,- Fe,- S,- Sb,- Ni,- Zn
7	Perak	99,95	Bi,- Fe,- Mn,- Si,- S,- Sn,- Fe,- Zn
8	Seng	99,98	Cu,- Cd,- Pb,- Sn

Rapat arus anoda usahakan dalam range yang dikehendaki agar udah dikenalkan. Anoda dan gantungannya dapat menyuplai arus dengan sempurna tanpa menimbulkan panas yang berlebihan.

6.3 Menggunakan perlindungan katode

Menggunakan logam lain yang lebih reaktif sebagai anode korban. Logam lain yang lebih reaktif dari besi, seperti Zn, Cr, Al, dan Mg, akan berfungsi sebagai anode korban yang menyuplai elektron yang digunakan untuk mereduksi oksigen pada katode besi. Metode perlindungan katode ini dapat dilakukan dengan pelapisan seperti pada galvanisasi dan chrome plating ataupun dengan hanya menghubungkan logam anode korban dengan besi. Sebagai contoh, pipa besi yang ditanam di bawah tanah dan badan kapal laut umumnya dihubungkan dengan batang magnesium. Magnesium akan berfungsi sebagai anode korban dan besi menjadi katode yang terlindungi dari korosi ($E^\circ \text{Fe} = -0,44 \text{ V}$; $E^\circ \text{Cr} = -2,37 \text{ V}$). Batang magnesium tersebut harus diganti secara berkala.

Menyuplai listrik dari luar. Untuk melindungi tangki besi bawah tanah juga dapat digunakan anode inert seperti grafit yang dihubungkan dengan sumber listrik. Elektron dari sumber listrik akan mengalir ke anode, lalu oksidasi yang terjadi di anode akan melepas elektron yang akan mengalir menuju katode tangki besi melalui elektrolit tanah.

RANGKUMAN

Pelapisan dengan cara listrik adalah suatu proses pengendapan zat atau ion ion logam pada elektroda katoda (negatif) dengan cara elektrolisis hasil dari elektrolisis tersebut akan mengendap pada elektroda negatif/katoda endapan terjadi bersifat adhesif terhadap logam. Prinsip dasar dari proses listrik berdasarkan pada hukum faraday yang menyatakan:

1. Jumlah zat-zat (unsur-unsur) yang terbentuk dan terbebas pada elektroda selama elektrolisis sebanding dengan jumlah arus listrik yang mengalir dalam elektrolit.
2. Jumlah zat-zat (unsur-unsur) yang dihasilkan oleh arus listrik yang sama selama elektrolisis adalah sebanding dengan berat ekivalen masing masing zat tersebut

Beberapa pelapisan logam dengan cara listrik yaitu, proses pelapisan suatu logam pada material logam dan non logam dengan cara elektrolisa, beberapa logam sebagai pelapis adalah, nikel, chrome, perak, tembaga.

LATIHAN

1. Jelaskan apakah dapat menambah bahan lain untuk mengubah sifat sifat cat?
2. Jelaskan kekurangan dan kelebihan bahan lain untuk pengecatan?

3. Jelaskan fungsi daripada pernis?
4. Jelaskan berapa jenis pelapisan logam?
5. Jelaskan proses pelapisan pada metode celup panas

Tingkat penguasaan anda berdasarkan pada ketentuan berikut:

$$\text{Tingkat Penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100 \%$$

Arti tingkat penguasaan : 90-100% = Baik sekali

80-89% = Baik

70-79% = Cukup

<70 % = Kurang

Soal latihan:

1. Korosi adalah kerugian akibat adanya kerusakan pada ?
 - a. Kondisi cacat pada logam
 - b. Penurunan kualitas logam akibat reaksi kimia
 - c. Terjadinya reaksi antara H₂O dengan logam

Jawaban: b

2. Korosi yang terjadi secara bersamaan dan menyeluruh pada permukaan logam disebut dengan ?
 - a. Korosi sumuran (pitting corrosion)
 - b. Korosi galvanik
 - c. Korosi merata
 - d. Korosi erosi
 - e. Korosi celah

Jawaban: c

3. Korosi yang terjadi pada lubang lubang pada permukaan yang tidak merata atau tak terlapisi disebut dengan ?
 - a. Korosi celah
 - b. Korosi merata
 - c. Korosi sumuran (pitting corrosion)
 - d. Korosi erosi

Jawaban: c

4. Korosi yang terjadi antara dua logam yang tidak sejenis tentunya disebut dengan ?

- a. Korosi celah
- b. Korosi sumuran
- c. Korosi galvanic

Jawaban: c

5. Bentuk korosi yang timbul ketika logam tersersng akibat gerak relatif antara elektrolit dengan permukaan logam disebut dengan ?
- a. Korosi erosi
 - b. Korosi galvanic
 - c. Korosi sumuran

Jawaban: a

6. Pengendalian korosi dapat dilakukan, *kecuali* ?
- a. Menetapkan pekerja yang ahli kororsi
 - b. Modifikasi rancangan
 - c. Modifikasi lingkungan
 - d. Pemberian lapisan pelindung

Jawaban: a

7. Upaya pengendalian korosi melalui pengolahan lingkungan, *kecuali* ?
- a. Lingkungan udara
 - b. Pengondisian lingkungan
 - c. Lingkungan gas

- d. Menghilangkan kumaran kumaran yang mudah menguap

Jawaban: d

8. Pada proses pelapisan dengan listrik alat yang digunakan sebagai penyearah listrik adalah ?
- a. Akumulator
 - b. Rectifier
 - c. Trafo
 - d. Generator DC

Jawaban: b

9. Pelapisan yang bertujuan untuk menambah keindahan suatu benda (logam) disebut dengan?
- a. Pelapisan protektif
 - b. Pelapisan dekoratif
 - c. Pelapisan untuk sifat khusus
 - d. Pelapisan organik

Jawaban: b

10. Pelapisan yang bertuan unuk melindugi logam substrate agar terhindar dari intruksinya dengan lingkungan disebut dengan?
- a. Pelapisan protektif
 - b. Pelapisan dekoratif
 - c. Pelapisan organik

d. Pelapisan untuk sifat khusus

Jawaban: a

11. Pelapisan, dimana logam pelapis sifat elektrokimianya lebih katodik, disebut dengan?

- a. Pelapisan anodic
- b. Pelapisan katodik
- c. Pelapisan gulvanik
- d. Pelapisan organik

Jawaban: b

12. Pelapisan, dimana potensial listrik logam pelapis lebih anodik terhadap substrate, disebut dengan?

- a. Pelapisan katodik
- b. Pelapisan organik
- c. Pelapisan anodick

Jawaban: c

13. Reaksi kimia antara wahana dan agen agen pengeringan dalam pelapisan dengan cat, diesebut dengan?

- a. Proses katodik
- b. Proses anodic
- c. Polimerisasi
- d. Proses adiktif

Jawaban: c

14. Campuran pada proses pelapisan dengan cat untuk mempercepat pengeringan, yang dipakai adalah?
- Larutan yang mengandung asam
 - Vernis
 - Larutan yang mengandung basa

Jawaban: b

15. Suatu proses pengendapan zat atau ion ion pada elektroda katoda (negatif dengan cara elektrolisis disebut dengan
- Pengendalian korosi dengan lapisan penghalang
 - Elektroplating
 - Pelapisan dengan cat
 - Pelapisan dengan plastik

Jawaban: b

16. Salah satu prinsip dasar pelapisan dengan listrik adalah
- Mengupayakan laju faktor lingkungan dapat di kendalikan
 - Jumlah zat (unsur unsur) yang di hasilkan arus listrik oleh arus listrik sama selama proses elektrolisis
 - Mengupayakan modifikasi bahan yang akan dilapisi

Jawaban: b

17. Pelapisan dengan dua cara yaitu pelapisan dengan listrik pelapisan dengan pelapisan tanpa listrik biasanya dilakukan pelapisan listrik dengan bahan dari

- a. Chrome
- b. Perak
- c. Nikel

Jawaban : C

18. Prinsip dasar dari pelapisan dengan listrik adalah berdasarkan hukum
- a. Archimedes
 - b. Faraday
 - c. Hooche
 - d. Kircoff

Jawaban: b

19. Penyebab utama kegagalan dalam pada pelapisan dengan cat adalah
- a. Penguapan unsur pelarut
 - b. Larutan aditifnya
 - c. Kondisi udara yang tidak cocok

Jawaban: c

20. Tujuan utama lapisan penghalang pada proses pelapisan adalah logam
- a. Memisahkan logam dari lingkungannya
 - b. Meningkatkan masa pakai atau umur logam itu sendiri
 - c. Memberikan sidat sifat tertentu pada permukaan benda kerja

Jawaban: a

21. Fungsi dari minyak pengering (vernisi) dalam fungsi cat adalah
- Mengikat sifat sifat oksigen
 - Memperbaiki sifat sifat pengeringan
 - Menjaga kontak langsung logam dengan udara

Jawaban: b

22. Perbandingan antara anoda dengan katoda pada pelapisan elektrolit adalah
- 2:1
 - 1:1
 - 1:3
 - 1:4

Jawaban: A

23. Rangkaian dari arus listrik(anoda dan katoda) merupakan prinsip dari pelapisan dengan listrik disebut dengan
- Celup
 - Plastik
 - Elektroplating
 - Dikleminasi

Jawaban: c

24. Pelapisan logam plastik dengan cara kecuali
- Penyemprotan

- b. Pencelupan
- c. Pengelasan
- d. Modifikasi rancangan

Jawaban: d

25. Pelapisan yang tujuannya ⁴ untuk menambah keindahan tampak luar suatu benda/produk adalah

- a. Pelapisan perak
- b. Pelapisan dekoratif
- c. Pelapisan nikel
- d. Pelapisan tembaga

Jawaban: b

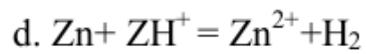
26. Apabila tidak ada gaya luar yang bekerja pada sistem, sistem tersebut akan cenderung

- a. menunjukkan bahwa terjadi kehilangan dalam energi bebas
- b. menunjukkan kelembapan udara
- c. menunjukkan pertambahan energi
- d. berubah menuju keadaan energi rendah

Jawaban: d

27. Yang manakah reaksi pergantian antara tembaga dan seng yang terjadi saat kesetimbangan

- a. $Zn + 2H^+ = Zn^{2+} + H_2$
- b. $Cu + 2Ag^+ = Cu^{2+} + 2Ag$
- c. $Cu + Zn^{2+} = Cu^{2+} + Zn$



Jawaban :C

28.Kinetika reaksi pada permukaan elektroda tergantung pada....

- a.Paduan logam
- b.Potensial Elektroda
- c.Laju Korosi
- d.Lingkungannya

Jawaban : B

29.Dibawah ini kinetika korosi berhubungan dengan....

- a.Laju Korosi
- b.Paduan Logam
- c. A dan B Benar
- d. kinetika elektrokimia

Jawaban : C

30.Berdasarkan hukum Termodinamika ,maka nilai ΔG sangat dipengaruhi oleh

- a.Air
- b.Gas
- c.Udara
- d.Suhu

Jawaban : D

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Z, 2006. Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control. Amsterdam: Elsevier Science and Technology Books.
- A, saleh, azhar(2014). Elektroplating Teknik Pelapisan Logam Dengan Cara Listrik. Bandung: Yrama widya.
- Chamberlain ,J ,K R , Trethewey (1991) Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan.Jakarta: PT.Gramedia pustaka utama.
- Gapsari Femiana(2017). Pengantar korosi. Malang: VB.Media.
- P.A. Perdana (2022). Jakarta. Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur UNJ. Vol 7 No.1.

Buku (Editor)

ORIGINALITY REPORT

10%

SIMILARITY INDEX

10%

INTERNET SOURCES

1%

PUBLICATIONS

%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	jazirahkomputer.blogspot.com Internet Source	1%
2	wiwitblog130494.blogspot.com Internet Source	1%
3	www.darta.co.id Internet Source	1%
4	www.akademik.unsri.ac.id Internet Source	1%
5	repository.unugiri.ac.id Internet Source	1%
6	smkn1cikutra.blogspot.com Internet Source	1%
7	ardra.biz Internet Source	1%
8	blog.hesa.co.id Internet Source	1%
9	jurnal.poltekstpaul.ac.id Internet Source	1%
10	sinta.unud.ac.id Internet Source	1%
11	www.staff.u-szeged.hu Internet Source	1%
12	solarsunhot.blogspot.com Internet Source	1%
13	openjournal.unpam.ac.id Internet Source	1%

Exclude quotes On

Exclude bibliography On

Exclude matches < 1%