

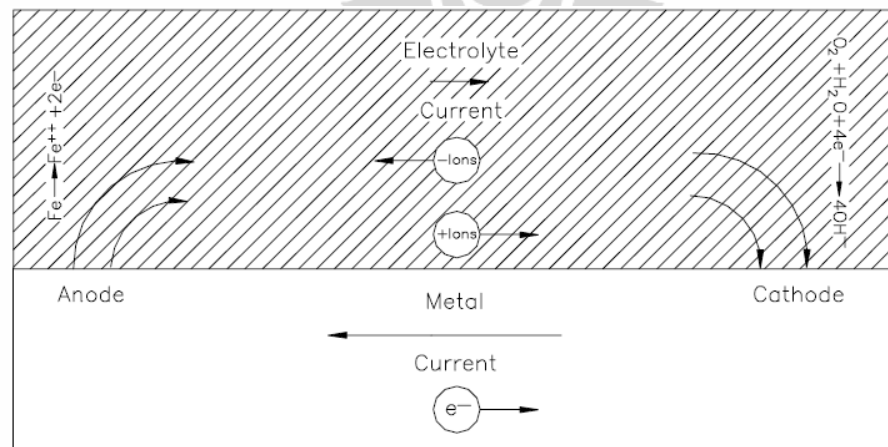
## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Dasar Korosi

Korosi didefinisikan sebagai proses kerusakan material, terutama logam, karena berinteraksi dengan lingkungan. Dalam pembicaraan sehari-hari dikenal istilah karat atau pengkaratan, yang tidak lain adalah proses korosi dari besi atau baja. Seperti kita ketahui logam telah kita peroleh dari alam dengan menghabiskan sejumlah energi. Oleh karena itu logam berada dalam kedudukan energi tinggi, bersifat temporer, dan akan kembali ke lingkungan alam sebagai mineral yang energinya lebih rendah. Proses kembalinya logam ke alam inilah yang kita kenal sebagai proses korosi. Jadi korosi adalah proses alam yang tak dapat dicegah, tetapi dengan teknologi anti korosi kita dapat mengendalikan. Sehingga kerugian-kerugian yang timbul akibat korosi dapat kita kurangi.

Banyak teori korosi logam telah dikemukakan oleh para ahli, tetapi rupanya teori elektrokimia telah diterima, karena teori ini telah dapat menerangkan peristiwa-peristiwa korosi dan dapat digunakan sebagai landasan teknik penanggulangan korosi.



Gambar 2.1. Sel korosi<sup>(10)</sup>

## 2.2. Mekanisme Korosi

Korosi dapat dikatakan sebagai suatu peristiwa elektrokimia antara logam dengan lingkungannya, dengan beberapa komponen sebagai syarat terjadinya, yaitu:

- a. anoda, sebagai tempat terjadinya reaksi oksidasi,
- b. katoda, sebagai tempat terjadinya reaksi reduksi,
- c. media elektrolit, sebagai penghantar arus listrik, dan
- d. adanya hubungan arus listrik antara anoda dengan katoda.

Mekanisme korosi dalam elektrokimia dapat ditinjau dari potensial standar (reduksi), di mana suatu logam yang memiliki potensial reduksi lebih rendah dibandingkan dengan potensial reduksi sistem memiliki kecenderungan spontan untuk beroksidasi<sup>(11)</sup>. Sebagai contoh logam Zn yang dicelupkan dalam larutan asam akan teroksidasi, karena potensial reduksi Zn lebih rendah dibandingkan potensial reduksi H<sub>2</sub>.



Setiap atom Zn akan kehilangan 2 elektron dan melepas ion positif (kation) Zn<sup>2+</sup>, di mana kation terlepas dari logam dan terlarut sedangkan elektron akan tetap berada dalam logam. Lingkungan asam kaya akan H<sup>+</sup> terlarut yang memiliki kecenderungan sebagai akseptor elektron, sehingga membatasi akumulasi elektron dalam logam dengan cara bereaksi pada permukaan logam dengan membentuk gas H<sub>2</sub>.



Jika melihat dalam berbagai sudut pandang dari keseluruhan proses oksidasi dan reduksi, peristiwa korosi dapat digolongkan menjadi beberapa reaksi umum seperti di bawah ini<sup>(11)</sup>:



Katoda :

- a. evolusi hidrogen (asam) :  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$



Tabel 2.1. Potensial standar emf (electromotive force) pada temperatur 25°C<sup>(11)</sup>

Reaksi	Potensial Standar (Volt vs. SHE)	Reaksi	Potensial Standar (Volt vs. SHE)
$\text{Au}^{3+} + 3e^- \rightarrow \text{Au}$	+1,498	$\text{Ni}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Ni}$	-0,250
$\text{Cl}_2 + 2e^- \rightarrow 2\text{Cl}^-$	+1,358	$\text{Co}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Co}$	-0,277
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	+1,229	$\text{Ti}^+ + e^- \rightarrow \text{Ti}$	-0,336
$\text{Pt}^{3+} + 3e^- \rightarrow \text{Pt}$	+1,200	$\text{In}^{3+} + 3e^- \rightarrow \text{In}$	-0,340
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow 4\text{OH}^-$	+0,820	$\text{Cd}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cd}$	-0,403
$\text{Ag}^+ + e^- \rightarrow \text{Ag}$	+0,799	$\text{Fe}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Fe}$	-0,440
$\text{Hg}_2^{2+} + 2e^- \rightarrow 2\text{Hg}$	+0,799	$\text{Cr}^{3+} + 3e^- \rightarrow \text{Cr}$	-0,744
$\text{Fe}^{3+} + e^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$	+0,771	$\text{Zn}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Zn}$	-0,763
$\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cu}$	+0,337	$2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0,828
$\text{Sn}^{4+} + 2e^- \rightarrow \text{Sn}^{2+}$	+0,150	$\text{Al}^{3+} + 3e^- \rightarrow \text{Al}$	-1,662
$2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{H}_2$	<b>0,000</b>	$\text{Mg}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Mg}$	-2,363
$\text{Pb}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Pb}$	-0,126	$\text{Na}^+ + e^- \rightarrow \text{Na}$	-2,714
$\text{Sn}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Sn}$	-0,136	$\text{K}^+ + e^- \rightarrow \text{K}$	-2,925

Reaksi anodik dalam setiap proses korosi adalah oksidasi logam menjadi ionnya, sedangkan reaksi katodik dapat terjadi dalam berbagai bentuk. Evolusi hidrogen terjadi dalam asam atau media asam dan sebagai akibat dari elektrolisis air

<sup>(12)</sup>, reduksi oksigen sangat umum terjadi pada setiap larutan cair yang mengandung banyak oksigen terlarut (*aerated*), sedangkan reduksi ion logam dan deposisi logam hanya terjadi dalam proses kimia <sup>(13)</sup>.

### 2.3. Korosi pada Baja di Lingkungan Air dan Tanah

Teori elektrolisis menjelaskan proses korosi Baja dalam air. Pengujian Laboratorium terhadap baja dalam air yang teraerasi memperlihatkan kenaikan laju korosi dengan meningkatnya kandungan oksigen, dan mencapai nilai maksimum pada sekitar 13 ml oksigen dalam 1 liter air. Selanjutnya peningkatan kandungan Oksigen akan mempasifkan permukaan baja. Dan pada 20 ml oksigen perliter (ppb), laju korosi akan turun menjadi 2 mpy (pada kondisi maksimum, laju korosinya 11 mpy).

Tabel 2.2. Laju Korosi Baja dalam aerated water<sup>(11)</sup>

<b>Corrosion of Steel in Aerated Water (Based on Uhlig and Others)*</b>			
Oxygen Content (ml O <sub>2</sub> /1000 ml H <sub>2</sub> O)	Corrosion Rate (mpy)	Temperature (°F)	pH
0	0.00	77	7.0
2	4.93	77	7.0
6 (Air saturation)	9.86	77	7.0
10	11.87	77	7.0
13	12.42	77	7.0
15	10.59	77	7.0
17	5.48	77	7.0
20	2.19	77	7.0
25	1.46	77	7.0
6	9.86	77	7.0
6 (Closed system)	20.00	132	7.0
6 (Open system)	18.00	132	7.0
6 (Closed system)	30.00	187	7.0
6 (Open system)	10.00	187	7.0
6	9.86	77	7.0
6	9.86	77	4.0
6	15.00	77	3.0
6	+40.00	77	2.6
6	9.86	77	10.0
6	3.00	77	12.0
6	5.00	77	14.0
6	13.00	77	16.0

Seperti reaksi kimia pada umumnya, laju korosi baja pada *aerated water* naik sebesar 2 kali lipat untuk setiap kenaikan temperatur sebesar 55 °F. Efek pH terhadap laju korosi adalah konstan (sekitar 10 mpy) untuk kisaran pH 4 – pH 10. Pada pH 3, laju korosi akan meningkat tajam. Dengan menaikkan pH diatas 10 menyebabkan laju korosi turun menjadi minimum (3 mpy pada pH 12,5), kemudian mulai meningkat lagi pada saat pH meningkat diatas 14, seperti yang diperlihatkan oleh diagram Pourbaix.

Korosi bisa ditemukan dalam berbagai bentuk, namun yang umum terjadi pada lingkungan air dibagi menjadi korosi merata dan lokal (korosi galvanik dan sumuran/*pitting*). Korosi merata merupakan jenis yang paling banyak mengkonsumsi logam, namun jenis korosi lokal lebih berbahaya serta sukar untuk diprediksi dan dikendalikan. Walaupun korosi lokal tidak mengkonsumsi banyak material, penetrasi dan kegagalan yang terjadi lebih cepat dibandingkan dengan yang merata.

Kecepatan korosi dapat dilihat sebagai penipisan ketebalan per satuan waktu dengan rumus berikut :

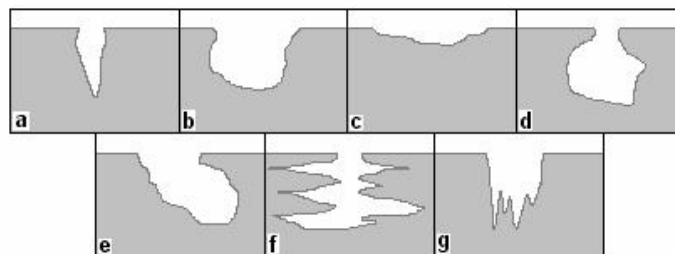
$$mpy = \frac{534W}{DAT} \quad (2.9)$$

di mana :

- D = densitas ( $g/cm^3$ )
- W = massa yang hilang (mg)
- A = luas permukaan ( $in^2$ )
- T = waktu penetrasi (jam)

### 2.3.1. Pitting

Korosi jenis ini hasil dari rusaknya lapisan pasif pada permukaan logam, umumnya berada dalam media yang mengandung klor (Cl). Korosi sumuran sukar untuk diprediksi, khususnya dalam bentuk yang curam dengan penampang inisiasi yang kecil/sempit<sup>(13)</sup>.

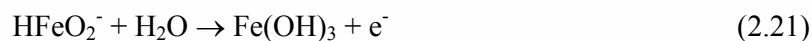
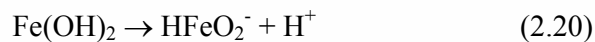


Gambar 2.2. Bentuk-bentuk korosi sumuran : (a) narrow,deep, (b) eliptikal, (c) wide, shallow, (d) subsurface, (e) undercutting, (f) Horizontal, (g) vertical<sup>(11)</sup>

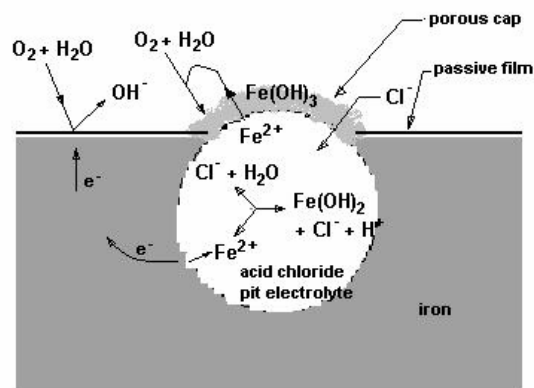
Gambar 2.2 merupakan bentuk-bentuk umum dari korosi sumuran. Mekanisme sumuran terbagi menjadi tahap inisiasi dan propagasi. *Inisiasi* dimulai ketika lapisan pasif pada permukaan logam mengalami kegagalan (*break down*) yang lebih cepat akibat konsentrasi ion  $\text{Cl}^-$  terlarut pada daerah tersebut dalam bentuk endapan garam  $\text{Cl}$  yang terakumulasi, karena adanya gaya elektrostatik antara anion  $\text{Cl}^-$  dengan permukaan logam yang bermuatan positif<sup>(11)</sup>. Reaksi hidrolisis dan hasil oksidasi logam yang terjadi di bawah endapan garam tersebut membentuk lingkungan klorin yang asam :



sehingga dalam kondisi pH yang rendah akan mempercepat reaksi oksidasi logam di bawahnya dan menyebabkan terbentuknya lapisan yang sukar terurai,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , pada permukaan endapan, dari lapisan  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  yang tidak stabil dengan reaksi sebagai berikut :



Pada tahap *propagasi* terjadi mekanisme autokatalitik yang memperdalam daerah tersebut dalam bentuk lubang yang mulutnya tertutup oleh lapisan semipermeabel,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , sehingga  $\text{Fe}^{2+}$  hasil oksidasi akan keluar dari daerah tersebut untuk kemudian membentuk endapan netral dan sebagian teroksidasi menjadi  $\text{Fe}^{3+}$ , sedangkan ion-ion  $\text{Cl}^-$  dapat bebas bermigrasi ke dalam lubang dan menjaga keasaman dan konsentrasi klor di dalamnya.



Gambar 2.3. Skematis proses pertumbuhan *pit* pada besi<sup>(14)</sup>.

### 2.3.2. Korosi Merata

Korosi jenis ini tergantung pada faktor kecepatan reaksi oksidasi pada permukaan logam, di mana kecepatan oksidasi yang terjadi relatif sama pada seluruh permukaan yang terserang sehingga terjadi kehilangan logam secara progresif seperti kondisi *Sheet Jetty Pile* pada gambar 2.4. Produk korosi yang terjadi akan mempengaruhi laju korosi selanjutnya. Lapisan produk korosi yang protektif akan melindungi logam dasar sehingga laju korosi akan menurun.

Korosi jenis ini dapat diamati pada logam Al dalam larutan basa, Zn dalam asam sulfat, atau baja tulangan dalam beton.



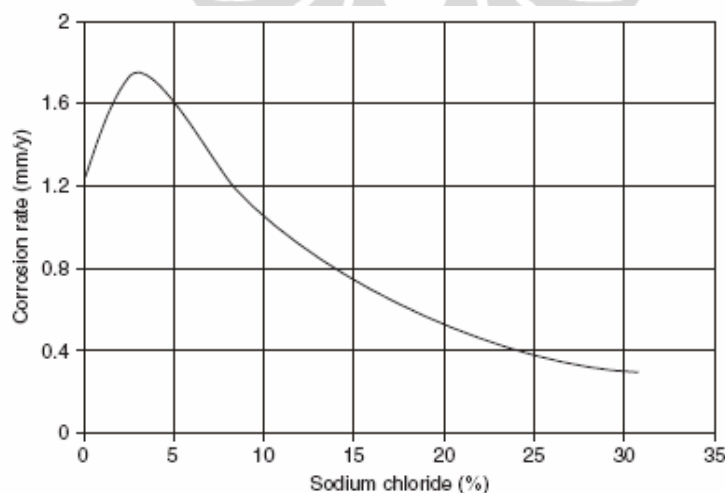
Gambar 2.4. Korosi merata pada Sheet Jetty Pile.

## 2.4. Pengaruh Garam Terhadap Proses Korosi

Garam dalam larutan akan terurai menjadi anion dan kation pembentuknya, sehingga dalam larutan tersebut akan terbentuk ion-ion yang kekurangan dan kelebihan elektron. Ion-ion tersebut yang menjadikan larutan menjadi mudah untuk menghantarkan arus listrik<sup>(12)</sup>. Oleh karena itu, nilai konduktifitas suatu larutan akan berbanding lurus dengan nilai konsentrasi garam yang terlarut.

Proses korosi dalam satu sisi merupakan proses elektrokimia yang bergantung kepada konduktifitas dari elektrolit tempat dia terjadi. Air demineral memiliki konduktifitas larutan yang lebih rendah dibandingkan air laut<sup>(14)</sup>, sehingga pada umumnya laju korosi logam dalam air laut lebih tinggi daripada air demineral.

Sebagaimana disebutkan sebelumnya kelarutan oksigen dalam air mempengaruhi proses korosi logam, namun dengan adanya ion-ion terlarut lainnya dalam air tersebut, kelarutan oksigen akan semakin berkurang. Sebagai contoh, semakin tinggi ion  $\text{Cl}^-$  akan semakin rendah kelarutan oksigen dalam fluida tersebut. Pada beberapa literatur disebutkan bahwa kelarutan optimum oksigen dalam air untuk terjadinya proses korosi berada pada konsentrasi ion  $\text{Cl}^-$  3%. Kondisi tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.5 berikut, di mana suatu percobaan membuktikan bahwa laju korosi optimum baja karbon berada pada konsentrasi  $\text{NaCl}$  sebesar 3 – 3,5% berat.



Gambar 2.5. Pengaruh kadar ion  $\text{Cl}^-$  terhadap laju korosi.<sup>(14)</sup>



Pada beberapa jenis logam yang mengalami pembentukan lapisan pasif oksida, ion Cl<sup>-</sup> dapat menyebabkan proses korosi lokal, seperti korosi sumuran (*pitting*).

## 2.5. Pencegahan dan Perlindungan terhadap Korosi

Ditinjau dari definisi dari teori korosi, prinsip pengendalian korosi sebenarnya sangat sederhana. Faktor-faktor yang mempengaruhi korosi dapat dibagi dalam dua kategori, yaitu faktor logam (faktor dalam) dan faktor lingkungan (faktor luar). Jumlah paduan logam maupun variasi lingkungan sangat banyak, sehingga dapat diperkirakan bahwa persoalan korosi tampaknya sangat kompleks. Tetapi dasar-dasar pengendaliannya dapat kita bagi kedalam kategori sebagai berikut :

- a) Memisahkan logam dari lingkungan.
- b) Membuat logam tahan korosi.
- c) Membuat lingkungan menjadi tidak korosif.
- d) Membalikan arah arus korosi.

Memisahkan logam dari lingkungan adalah cara yang sangat populer dan banyak dilakukan. Cara ini meliputi pelapisan dengan lapis lindung organik atau inorganik (logam dan bukan logam). Teknik perlindungan dapat dengan pengecatan, semprot, lapis listrik, balut, celup dan sebagainya.

Cara kedua, membuat logam menjadi tahan korosi, dimaksudkan untuk memperoleh ketahanan korosi dari logam dalam lingkungan tertentu. Cara penanggulangan seperti ini akan melibatkan ahli-ahli metalurgi. Ketahanan korosi dari logam dapat diperoleh karena pada permukaan logam dapat dihindarkan adanya daerah-daerah anodik dan katodik, atau menjadikan permukaan logam tertutup oleh lapisan yang pasif protektif, seperti baja tahan karat, baja tahan cuaca dan sebagainya. Cara ini tentu akan melibatkan harga logam yang sangat tinggi.

Cara ketiga, yaitu membuat lingkungan menjadi tak korosif biasa menggunakan zat-zat kimia yang ditambahkan ke dalam lingkungan elektrolit. Cara

ini cocok untuk lingkungan-lingkungan yang terbatas dan terkontrol. Zat-zat yang ditambahkan dapat mempengaruhi reaksi-reaksi di anoda, katoda atau keduanya, sehingga proses korosi diperlambat. Zat yang ditambahkan biasa disebut inhibitor.

Cara keempat adalah membalikkan arah arus korosi, sehingga proses korosi logam dikurangi atau bahkan ditiadakan sama sekali. Cara ini biasa kita kenal dengan istilah "proteksi katodik", dimana proses korosi dicegah dengan jalan memperlakukan logam yang dilindungi sebagai katoda.

#### 2.5.1. Perlindungan Katodik

Proteksi Katodik terhadap Baja dalam tanah didasarkan pada 2 prinsip umum, yaitu:

1. Baja terkorosi dikarenakan bagian dari baja yang berada dalam tanah menjadi lebih anodik dibandingkan bagian dari baja yang lain.
2. Korosi tidak akan terjadi apabila semua bagian dari baja bersifat katodik.

Oleh karena itu, tujuan dari proteksi katodik adalah membuat baja bersifat katodik. Hal ini dilakukan dengan menandingkan arus listrik searah pada pipa dan atau menyediakan material lain yang bersifat anodik terhadap baja yang akan menjadi "korban" korosi. Hal tersebut tidak hanya akan mengurangi potensi korosi yang terjadi, tetapi juga menghentikan proses korosi.

Proteksi Katodik didefinisikan sebagai penggunaan arus listrik searah untuk menghentikan proses korosi. Hal ini dilakukan dengan menggunakan beberapa prinsip – prinsip sel elektrolisis:

1. Hanya anoda yang akan terkorosi.
2. Katoda tidak akan terkorosi.
3. Harus ada media elektrolit untuk menghantarkan arus.
4. Harus ada hubungan antara dua elektroda.

Perlindungan katodik dihasilkan dari polarisasi katodik dari sebuah permukaan logam yang terkorosi untuk mereduksi laju korosi<sup>(28)</sup>. Reaksi yang umum terjadi pada logam Fe dalam air laut adalah :

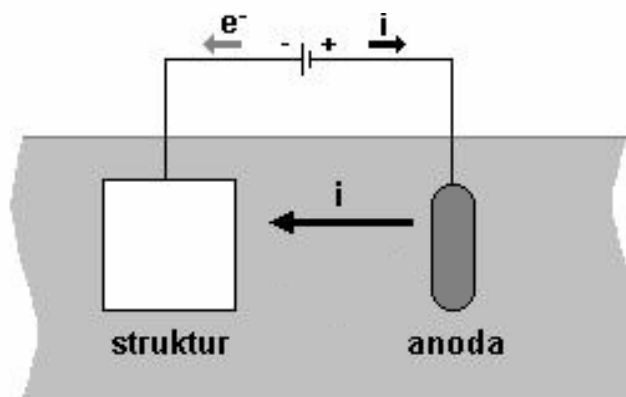


Polarisasi katodik dari potensial korosi ( $E_{corr}$ ) pada sistem di atas mengurangi laju Reaksi 2.23 dengan elektron berlebih, di mana menggeser kesetimbangan dari kanan ke kiri. Kelebihan elektron ini akan meningkatkan laju reduksi oksigen dan produksi  $\text{OH}^-$  oleh Reaksi 2.24 dalam cara yang sama saat polarisasi katodik<sup>(14)</sup>.

Polarisasi katodik ini dapat dilakukan dengan pemberian arus oleh *rectifier*, yang kemudian disebut dengan metode arus tanding, atau dengan menghubungkan logam yang lebih reaktif pada logam yang akan dilindungi, yang dikenal sebagai metode anoda korban.

#### 2.5.1.1. Arus Tanding (*Impressed Current*)

Metode arus tanding menggunakan arus dari suatu sumber daya (*rectifier*) untuk membalikan polaritas elektroda, dalam hal ini struktur yang diproteksi dan lingkungannya, sehingga struktur yang pada awalnya didominasi reaksi oksidasi, akibat adanya pemberian elektron laju reaksi tersebut akan berkurang yang kemudian terjadi peningkatan reaksi reduksi dengan laju yang lebih besar.



Gambar 2.6. Instalasi arus tanding dengan aliran arus dan elektron.

Metode ini menggunakan *consumable*, *semi-consumable*, atau *non-consumable anode*, misalnya scrap besi tuang, grafit, atau platina. Metode arus tanding dikatakan praktis jika dalam penggunaannya tidak membutuhkan rapat arus yang sangat besar, sehingga dalam lingkungan asam yang agresif tidak disarankan, walaupun untuk mengurangi kebutuhan arus biasa digunakan *coating*, namun dalam lingkungan asam *coating* tidak akan tahan.

#### 2.5.1.2. Kriteria Perlindungan Katodik

Kriteria proteksi katodik yang disarankan oleh National Association of Corrosion Engineers (NACE), dalam NACE Standard SP0169-2007 Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping<sup>(15)</sup> adalah :

- a. potensial terukur terhadap Cu/CuSO<sub>4</sub> maksimal -850 mV (untuk baja),
- b. polarisasi katodik lebih dari 300 mV aktif terhadap potensial korosi struktur (dengan faktor IR<sub>Ω</sub>),
- c. polarisasi katodik lebih dari 100 mV aktif terhadap potensial korosi struktur (tanpa faktor IR<sub>Ω</sub>),
- d. besar potensial polarisasi katodik berdasarkan sifat yang diinginkan menurut kurva Tafel (E-log I), dan arus proteksi yang mencapai struktur merupakan nilai bersih

#### 2.5.2. Penanggulangan Korosi dengan Lapisan Cat

Cat meskipun sama-fungsinya dengan lapis lindung lainnya, tetapi beberapa jenis diantaranya memiliki sifat-sifat yang khusus misalnya dapat dilapis ulang dan mudah penerapannya.

Beberapa sifat yang harus dimiliki cat, antara lain:

1. Cat harus mudah dilapiskan sesuai dengan metoda yang dianjurkan oleh produsen, misalnya dengan cara kwas, semprot, roller dan lain-lain.
2. Cat harus mempunyai daya adhesi yang baik terhadap benda kerja, tidak boleh terkelupas karena pengaruh lingkungan.,

3. Kesempurnaan lapisan : lapisan yang kering dari cat harus menutupi permukaan benda kerja secara merata dan sempurna.
4. Kualitas yang tetap : cat harus memiliki kualitas yang tetap dari setiap produk yang dikeluarkan, warna, viskositas, tahan lama dan sebagainya.
5. Sifat-sifat khusus : cat harus mempunyai sifat-sifat yang khusus (misal tahan cuaca, anti korosi, tahan air, tahan suhu tinggi dan sebagainya).

#### 2.5.2.1. Komponen Utama Cat

Cat pada umumnya adalah merupakan suatu campuran antara pigmen dengan media pengikat (binder), digunakan sebagai lapisan pelindung dan penghias permukaan yang mengalami pengeringan karena oksidasi, polimerisasi atau penguapan. Komponen-komponen utama pada cat antara lain:

1. Pigmen
2. Binder
3. Solvent
4. Additive
5. Extender.

##### 2.5.2.1.1. Pigmen

Pigmen digunakan pada cat umumnya berbentuk serbuk ada yang berfungsi sebagai bahan dekoratif, protective, ada juga yang bersifat racun (pada cat anti fouling) dan lain-lain. Pigmen sering dicampur dengan extender hal ini dilakukan antara lain untuk memperbaiki kualitas dan menurunkan harga cat. Secara garis besar pigmen untuk cat anti korosi dapat dibagi menjadi dua bagian

- a. Pigmen yang bersifat aktif.

Jenis pigmen ini selain memiliki kemampuan dekoratif juga berfungsi melindungi logam dari pengaruh lingkungan (bereaksi dengan lingkungan). Beberapa jenis pigmen bersifat aktif antara lain

- Serbuk seng : bersifat sacrificial, serbuk seng ini dikorbankan untuk melindungi benda kerja dari serangan korosi.
- Zn kromat : pigmen ini bersifat inhibitor, akan membentuk senyawa kompleks dengan besi dan merupakan lapisan yang pasif.
- $\text{PbOPbO}_2$  : pigmen ini merupakan campuran dimana banyak digunakan pada cat dengan dasar minyak, PbO akan membentuk sabun yang tidak larut dengan asam lemak yang terdapat didalam minyak. Cat dengan pigmen ini baik untuk lingkungan yang mengandung  $\text{SO}_2$  karena  $\text{Pb}^{2+}$  ini dengan ion  $\text{SO}_4^{2-}$  yang ada didalam elektrolit akan membentuk garam  $\text{PbSO}_4$  yang sukar larut didalam air.
- Cat  $\text{PbO}_4$  : ion  $\text{PbO}_4^{2-}$  dari pigmen ini dengan  $\text{Fe}^{2+}$  akan membentuk lapisan tipis  $\text{Fe}_2 \text{PbO}_4$  yang kemudian kalau dioksidasi akan membentuk lapisan pasif. Sedangkan  $\text{Ca}^{2+}$  akan membentuk garam kalsium yang sukar larut.

b. Pigmen yang bersifat pasif.

Pengertian pasif disini tidak memberikan reaksi dengan lingkungan, beberapa contoh pigmen yang bersifat pasif antara lain :  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  dan lain-lain.

c. Pigmen yang bersifat racun (untuk cat anti fouling). Pigmen ini berfungsi untuk mencegah fouling pada struktur yang dicat di bawah air seperti pada badan kapal, tiang dermaga dan sebagainya.

#### 2.5.2.1.2. Media Pengikat (*Binder*)

Binder merupakan komponen penting yang menentukan sifat-sifat fisik dan kimia dari cat bahkan pembagian jenis cat bisa juga ditentukan oleh jenis bindernya. Komponen ini setelah mengalami pengeringan akan merupakan suatu lapisan yang kompak, bersama pigmen yang tersebar dan terikat pada permukaan benda kerja. Binder dan pigmen ini akan menentukan sifat-sifat daya adhesi, elastisitas, tahan terhadap cuaca, air, senyawa kimia dan lain-lain. Beberapa jenis binder antara lain adalah:

a. Binder jenis minyak (drying oils).

Jenis binder ini mengalami pengeringan karena reaksi oksidasi dengan udara. Cat dengan jenis binder ini mempunyai kelemahan yaitu:

- lama kering
- kurang tahan terhadap perlakuan mekanik
- kurang tahan terhadap senyawa kimia, air dan cuaca
- dapat disabunkan

Meskipun demikian cat jenis ini memiliki kelebihan antara lain :

- relatif lebih murah
- bisa disimpan lama
- mudah diterapkan karena tidak memerlukan persiapan permukaan yang berat

Untuk memperbaiki sifat-sifat jenis binder ini dilakukan modifikasi dengan beberapa jenis resin.

b. Alkyd resin.

Jenis binder ini paling banyak digunakan karena cat dengan jenis ini mempunyai sifat mudah penerapannya dan dapat dilapis ulang. Mengalami pengeringan karena oksidasi dengan udara. Jenis binder ini banyak dimodifikasi dengan binder jenis minyak dan phenolic resin. Karena itu cat jenis ini sebagian besar sifatnya mirip dengan cat jenis minyak. Thiner yang banyak digunakan adalah senyawa hidrokarbon alifatik seperti mineral spirit.

c. Binder jenis bitumen.

Binder jenis ini tahan dilingkungan air dan dapat digunakan dengan lapisan yang tebal. Jenis cat ini tidak cocok dilapis ulang dengan jenis cat lain. Penggunaan pigmen aluminium pada binder ini banyak digunakan sebagai cat di bawah air. Sebagai pelarut dan thiner untuk cat jenis bitumen ini adalah senyawa-senyawa hidrokarbon aromatik.

d. Binder jenis karet terklorinasi (chlorinated rubber).

Binder ini terbuat dari karet alam yang mengalami klorinasi. Cat dengan jenis binder ini termasuk "heavy duty coating", mengalami pengeringan karena penguapan dari pelarutnya. Tahan terhadap lingkungan asam, basa, air dan cuaca. Tidak dapat disabunkan dan tidak tahan pelarut. Untuk mendapatkan hasil pelapisan yang baik penerapan jenis cat ini memerlukan persiapan permukaan yang sempurna (blast cleaning). Thiner yang cocok untuk jenis cat ini adalah senyawa hidro karbon aromatik seperti xylene atau toluene.

e. Binder jenis vinyl.

Seperti chlorinated rubber, cat yang menggunakan jenis binder ini mengalami pengeringan karena penguapan pelarut dan termasuk heavy duty coating. Sifat-sifat ketahanannya hampir sama dengan cat jenis chlorinated rubber, lebih ulet, tahan lama dan lebih bersifat dekoratif. Pelarut yang cocok untuk cat jenis vinyl adalah senyawa-senyawa ester dan keton, dengan pelarut senyawa hidrokarbon aromatik.

f. Binder jenis epoxy.

Cat dengan jenis binder ini mengalami pengeringan karena reaksi kimia, dimana hardener (senyawa poliamin atau poliamid) ditambahkan sebelum pengecatan dimulai. Cat jenis ini termasuk heavy duty coating, memiliki kekerasan yang baik, tahan terhadap senyawa kimia, air, minyak dan pelarut. Seperti halnya cat heavy duty coating lainnya cat jenis ini memerlukan persiapan permukaan yang sempurna. Cat jenis ini dengan pigmen seng banyak digunakan sebagai cat dasar (primer) anti korosi karena memiliki ketahanan yang cukup tangguh. Binder jenis ini juga banyak dikombinasikan dengan binder jenis lain (drying oil, coal tar) yang tentu saja akan memiliki sifat-sifat yang berbeda.

g. Binder jenis polyurethan.

Binder polyurethan mengalami pengeringan karena reaksi kimia antara senyawa isocyanate dan hardener dengan senyawa polyester atau polyether. Cat dengan jenis binder ini termasuk heavy duty coating yang sifat-sifatnya sebagian besar sama dengan cat jenis epoxy. Ada dua jenis binder polyurethane dengan dasar aromatik isocyanate dan dasar senyawa alifatik isocyanate. Jenis binder ini



kadang-kadang dicampur dengan binder jenis coal tar yang banyak digunakan untuk pengecatan struktur di bawah air.

h. Binder jenis silicate.

Cat dengan binder jenis ini biasanya menggunakan pigmen serbuk seng atau aluminium. Semua cat jenis ini mengalami pengeringan karena reaksi antara binder dengan pigmennya. Pengeringan sempurna memerlukan waktu yang relatif lama, kelembaban yang tinggi membantu mempercepat pengeringan. Untuk mendapatkan hasil pelapisan yang baik cat ini memerlukan persiapan permukaan yang sempurna. Sifat anti korosi dari cat zinc/silicate lebih unggul dari cat zinc epoxy. Cat jenis ini lebih tahan gesekan, panas, dan cuaca tetapi tidak tahan terhadap asam/basa.

2.5.2.1.3. Pigmen Pengisi

Jenis pigmen ini praktis tidak memiliki tutup dan biasanya dicampurkan dengan pigmen lain. Beberapa contoh extender pigment adalah  $\text{CaCO}_3$ , talc, china clay, barite, mica dan lain lain.

2.5.2.1.4. Pelarut

Sifat yang penting yang harus dimiliki pelarut adalah mampu mengurangi kekentalan secukupnya sehingga cat dapat diterapkan dengan cara kuas, roller, celup maupun semprot. Selain itu pelarut juga harus mampu mengatur waktu pengeringan, kilap dan sebagainya. Beberapa jenis pelarut adalah senyawa-senyawa hidrokarbon, aromatik dan alifatik, mineral, spirit, alkohol, ester, keton dan lain-lain.

2.5.2.1.5. Bahan Aditif

Bahan ini biasanya ditambahkan dalam jumlah yang sedikit dengan maksud untuk memperbaiki sifat-sifat cat antara lain seperti

- mencegah pengendapan pigmen/terpisah dari binder (anti setting agents).
- mencegah terbentuknya kulit (anti skinning/anti oxidant).
- mencegah terjadinya pemisahan warna (anti floating agent).

- mencegah timbulnya jamur, fungi pada permukaan benda kerja yang dicat.
- mencegah terjadinya keriput pada lapisan cat (anti sagging agent)

## 2.6. Persiapan Permukaan

Persiapan permukaan merupakan bagian yang paling penting dari sistem pengecatan. Lebih dari 60% keberhasilan sistem penanggulangan korosi dengan lapis lindung cat, ditentukan oleh persiapan permukaannya. Penggunaan cat yang paling mahal sekalipun kalau tidak disertai dengan persiapan permukaan yang memadai hanyalah merupakan pemborosan dan pekerjaan yang sia-sia. Memilih cara pembersihan permukaan merupakan bagian dari serangkaian pengerjaan pengecatan yang erat hubungannya. Memilih cara persiapan permukaan ini selain tergantung dari substrate yang akan dicat juga tergantung dari sistem catnya. Pada umumnya cat-cat jenis heavy duty memerlukan persiapan permukaan yang cukup berat (blasting, pickling) dari pada cat-cat jenis minyak dan alkyd.

Maksud dari persiapan permukaan ini antara lain adalah:

- Memperbesar luas permukaan benda kerja, sehingga daya adhesi lapisan cat dengan benda kerja menjadi semakin kuat.
- Membentuk faktor mekanik dimana dengan permukaan kasar akan bertindak seperti gigi

### 2.6.1. Pembersihan Permukaan Mekanik

#### 2.6.1.1. Pembersihan dengan tangan (*hand tool cleaning*)

Cara ini meliputi pembersihan dengan sikat kawat, sendok, pisau, palu, ampelas dan sebagainya. Pembersihan dengan cara ini hanya mampu melepaskan karat yang mudah lepas, cat dan kontaminan lain yang daya adhesinya rendah. Biasanya cara ini efektif dilakukan pada benda kerja yang tidak terlalu besar.

#### 2.6.1.2. *Power tool cleaning*

Cara ini menggunakan energi listrik atau udara untuk menggerakkan peralatan pembersih. Meskipun laju pembersihan dengan cara ini lebih cepat dengan cara

didasarakan tetapi kemampuannya kira-kira sama, produk korosi dan kontaminan yang terdapat secara kuat sukar dilepaskan.

#### 2.6.1.3. Pembersihan dengan api (*flame cleaning*)

Cara ini dilakukan dengan menggunakan semburan api yang dihasilkan dari oxyacetylene pada permukaan benda kerja. Karena adanya perbedaan koefisien ekspansi panas antara benda kerja dengan kontaminan yang akan dilepaskan dan karena adanya tekanan uap air yang terjebak oleh produk korosi/cat maka karat, cat akan terkelupas. Cara ini tidak baik dilakukan pada benda kerja yang memerlukan ukuran yang presisi dan berbentuk datar dan tipis, karena benda kerja tersebut akan mengalami deformasi. Keuntungan cara ini adalah permukaan benda kerja akan bebas dari uap air, kalau permukaan benda kerja masih hangat daya adhesi akan lebih baik dan cat akan cepat kering.

#### 2.6.1.4. Pembersihan dengan uap air

Cara ini umumnya dilakukan untuk menghilangkan minyak, debu dan lemak pada bagian-bagian yang sukar dijangkau dengan metoda pembersihan dengan pelarut. Biasanya menggunakan boiler kecil dengan konsumsi air yang bersifat basa  $\pm 750$  l/jam dengan tekanan  $\pm 14$  kg/cm<sup>2</sup>.

Keuntungan cara ini adalah

- proses ini bisa dilakukan secara mobile
- harga relatif lebih murah dari blast cleaning
- tidak ada pengaruh debu/akrasive sebagai kontaminan
- tidak merubah ukuran dari benda kerja

Kerugian cara ini adalah

- tidak bisa menghilangkan kontaminan dan lapisan cat yang terikat kuat

biasanya pada bagian yang horison meninggalkan permukaan yang bersifat basa, karena itu pencucian harus benar-benar bersih.

#### 2.6.1.5. Pembersihan dengan *water blast*

Cara ini menggunakan tekanan air untuk menghilangkan kontaminan yang tidak terikat kuat seperti cat yang terkelupas/melepuh, lemak, minyak, debu dan lain-lain, karena itu pencucian berikutnya tidak diperlukan lagi. Kontaminan yang terikat kuat sebelumnya dibantu dengan cara power tool cleaning. Konsumsi air  $\pm 38$  l/min dengan tekanan  $\pm 840$  kg/cm<sup>2</sup>.

Keuntungan cara ini antara lain:

- tidak meninggalkan debu dan kontaminan lain pada permukaan yang sudah bersih.
- tidak memerlukan abrasive
- cara ini sangat efisien untuk permukaan benda kerja yang tidak teratur yang sukar dilakukan power tool cleaning

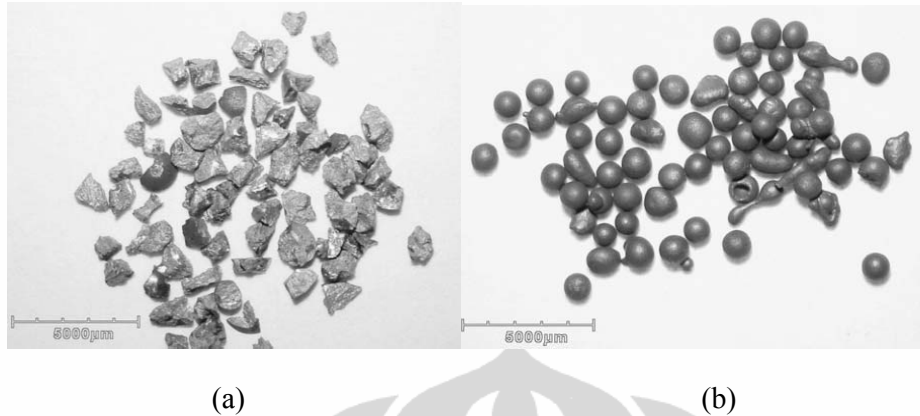
Kerugian :

- cat dan kontaminan yang terikat kuat sukar hilang
- bagian-bagian yang tersembunyi menjadi basah

#### 2.6.1.6. Pembersihan dengan *blasting*

Cara ini paling populer, paling banyak digunakan pada sistem persiapan permukaan dimana diperlukan derajat kebersihan yang tinggi. Partikel abrasive akan menumbuk dan mengikis permukaan logam semua kontaminan dan cat yang terikat kuat akan lepas dari permukaan logam. Berdasarkan abrasive yang digunakan, cara ini dibagi menjadi dua bagian yaitu dengan menggunakan abrasive logam dan abrasive mineral.

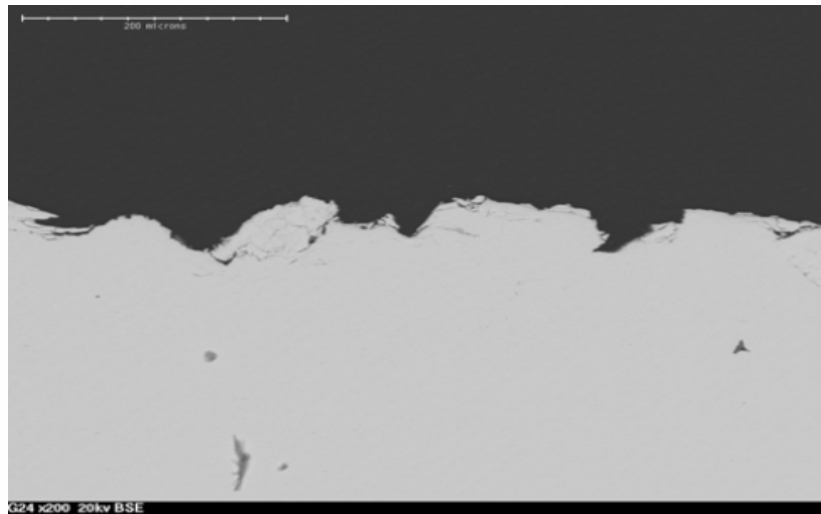
Dengan menggunakan abrasive logam, umur abrasive akan lebih lama, karena abrasive logam dapat digunakan sampai ratusan kali selama ukuran partikel masih cukup memadai. Partikel abrasive ini bisa berbentuk bundar (shot), pipih tajam (grit) dan bentuk silinder (cut wire).



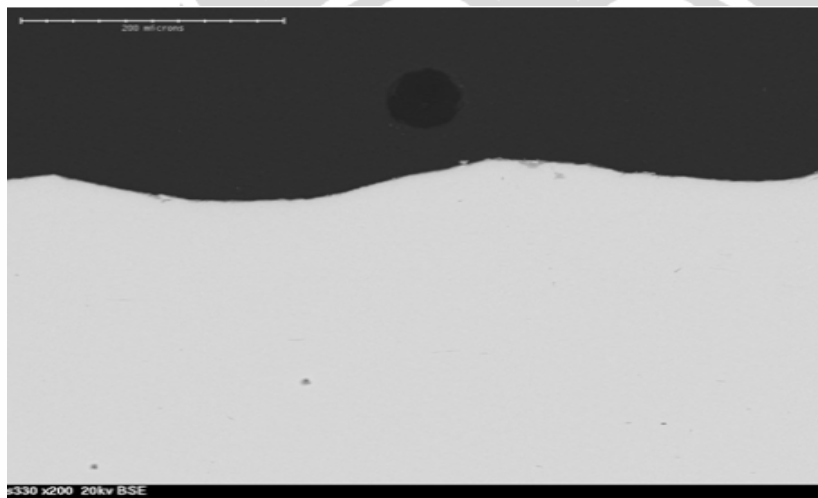
Gambar 2.7. (a) Steel Grit G24 (b) Steel Shot S330 <sup>(16)</sup>

Blasting dengan abrasive grit lebih efektif dibandingkan dengan abrasive shot. Terkadang *abrasive grit* dan *shot* dicampur untuk menutupi kekurangan masing-masing abrasive tersebut. Abrasive mineral lebih murah dari abrasive logam, karena itu abrasive ini (pasir silika) banyak digunakan pada sistem persiapan permukaan. Untuk beberapa negara tertentu dengan alasan kesehatan penggunaan pasir silika sudah tidak diijinkan.

Sekarang ini banyak digunakan partikel aluminium oksida dan copper slag. Untuk mendapatkan tingkat kekerasan permukaan tertentu (*surface profile*) tergantung dari jenis abrasive yang digunakan dan kekuatan tumbukan partikel pada permukaan benda kerja. Pada umumnya *surface profile* untuk pengecatan dengan heavy duty coating berkisar antara 35 - 80  $\mu$  m.



(a)



(b)

Gambar 2.8. (a) Profil permukaan dengan menggunakan Steel Grit G24

(b) Profil permukaan dengan menggunakan Steel Shot S330<sup>(16)</sup>

Cat yang lebih tebal memerlukan tingkat kekasaran yang lebih besar dan lapisan cat yang lebih tipis permukaannya tidak perlu terlalu kasar. Alat untuk menentukan surface profile yang banyak digunakan di lapangan adalah *depth*

*micrometer, surface profile comparator* dan *replica tape*. Tabel 2.3 berikut ini contoh tingkat kekasaran dengan "Anchor pattern" pada berbagai jenis abrasives yang dilakukan dengan cara centrifugal.

Tabel 2.3. Tingkat kekasaran yang diperoleh dari berbagai jenis abrasives dengan cara centrifugal.

Anchor pattern	Jenis abrasives			
	Pasir silika	Garnet	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	steel grit
12,5	80-120 mesh	100 mesh	120 mesh	G – 200
25	30- 60 mesh	80 mesh	100 mesh	G - 80
37,5	16- 40 mesh	36 mesh	50 mesh (grit)	G - 50
50	16- 40 mesh	36 mesh	36 mesh (grit)	G - 40
62,5	8- 40 mesh	36 mesh	24 mesh (grit)	G - 25
75	8- 20 mesh	16 mesh	16 mesh (grit)	G – 16

Pengerjaan blast cleaning ini bisa dilakukan dengan cara antara lain :

- Sistem Kering (Dry Blasting System).

Cara ini banyak digunakan di lingkungan industri dan perkapalan, yang langsung digunakan di lapangan. Partikel abrasives dimasukkan kedalam tanki dan dengan menggunakan kompresor dan nozzle, partikel abrasives ditembakkan pada permukaan benda kerja yang akan dibersihkan.

- Sistem basah (Wet Blasting System).

Cara ini sama dengan sistem tanki dan biasanya menggunakan pasir silika yang dicampur dengan air, untuk mengurangi pengaruh debu. Pencampuran bisa dilakukan langsung didalam tanki atau pencampuran dilakukan dibagian blast nozzle. Air yang

ditambahkan kadang-kadang dibubuhi inhibitor. Untuk setiap ton pasir diperlukan  $\pm$  57 l air atau 200-250 ml air/detik yang keluar dari nozzle.

## 2.7. Tingkat kebersihan

Tingkat kebersihan permukaan yang akan dilapis cat oleh beberapa negara dibuat standar seperti Amerika : ASTM D 2200, SSPC (Steel Structure Painting Council) dan NACE, Inggris British Standard BS 4232 1967, Swedia : SIS 055900. Yang paling populer adalah menggunakan standard Swedia. Tabel 2.4 berikut menerangkan standard tingkat kebersihan yang sering digunakan.

Tabel 2.4. Standard tingkat kebersihan permukaan yang akan dilapis cat.

SSPC	SIS 055900	NACE	BS 4232	Keterangan
SP - 1	-	-	-	Solvent cleaning
SP - 2	st - 2	-	-	Hand tool cleaning
SP - 3	st - 3	-	-	Power tool cleaning
SP - 4	-	-	-	Flame cleaning
SP - 5	Sa 3	No.1	1st quality	White metal blast
SP - 6	Sa 2	No.3	3rd quality	Comercial Cleaning
SP - 7	Sa 1	No.4	-	Brush off Cleaning
SP - 8	-	-	-	Acid pickling
SP - 10	Sa 2,5	No.2	2 <sup>nd</sup> quality	Near white cleaning

## 2.8. Adhesi Cat Pada Metal Substrat

Sifat lapisan cat yang sangat baik dalam hal ketahanan terhadap cuaca, bahan kimia, goresan, atau dampak akan lebih berkualitas jika memiliki sifat adhesi yang cukup. Oleh karena itu diperlukan formulasi yang tepat untuk menghasilkan sifat

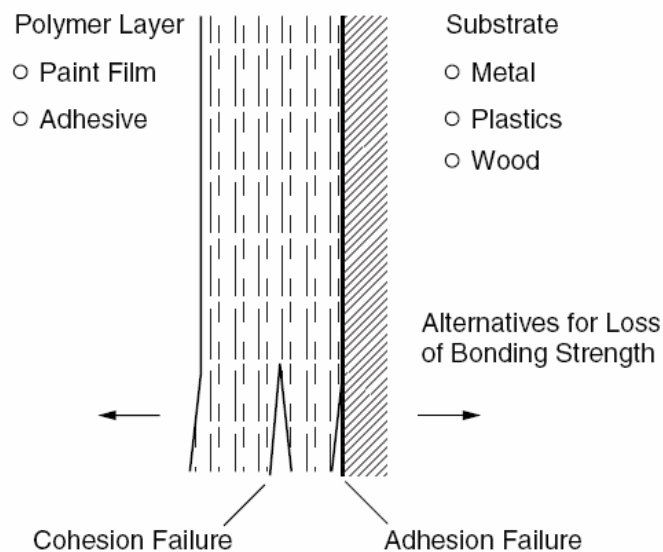


*wetting* agar memiliki adhesi yang baik. Juga harus ada persiapan permukaan yang memadai untuk mengendalikan tingkat kekuatan adhesi setelah aplikasi cat pada substrat metal. Selain itu, harus ada metode yang memungkinkan untuk mendeteksi kegagalan dalam ikatan antara lapisan dan substrat<sup>(17)</sup>.

### 2.8.1. Komponen Interfasa

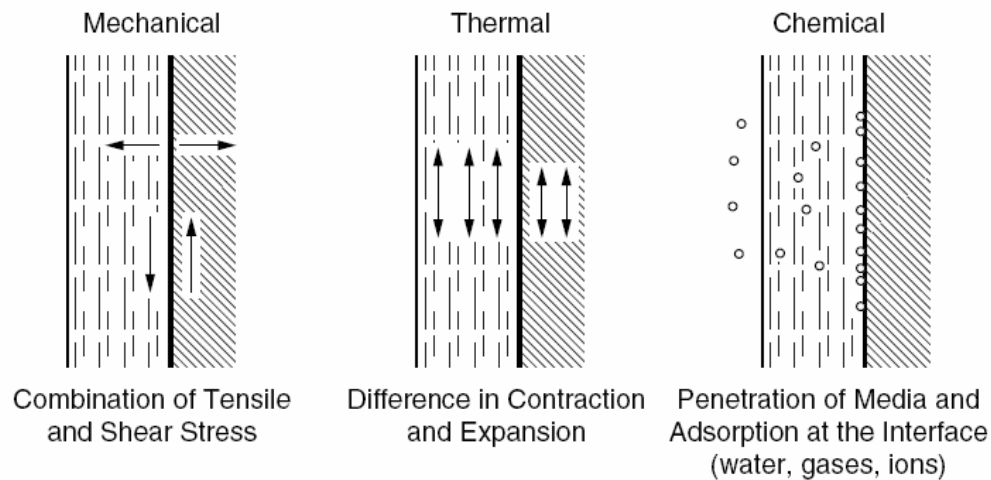
Dalam istilah kimia, ada kesamaan antara cat dan perekat atau lem yaitu sebagai pelapis organik (*organic coating*). Adhesi adalah sifat yang diminta dalam kedua kasus tersebut, meskipun mungkin dengan penekanan yang berbeda terhadap intensitas, menurut tujuan penggunaannya.

Lapisan cat tersebut adalah, pada dasarnya, polimer terdiri dari makro molekul yang cross-linked dengan sejumlah pigmen dan pengisi. Namun perlu diingat bahwa bahan-bahan substrat mempunyai kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan lapis lindung. Dalam kondisi seperti itu, fraktur akan terjadi di dalam lapisan cat, jika ada kekuatan eksternal dengan intensitas yang cukup dengan adanya pemisahan yang jelas antara lapisan dan substrat. Adapun kegagalan kohesif akan terjadi, jika adhesi pada antarmuka melampaui kohesi lapisan cat.



Gambar 2.9. Keadaan ikatan di antarmuka antara lapisan polimer dengan substrat<sup>(18)</sup>

Mekanisme kegagalan adhesi antara lapisan cat dan substrat dapat disebabkan beberapa faktor atau kombinasi faktor-faktor tersebut. Faktor-faktor tersebut seperti pada Gambar 2.10 ,antara lain: Mekanis , Thermal , Kimia.



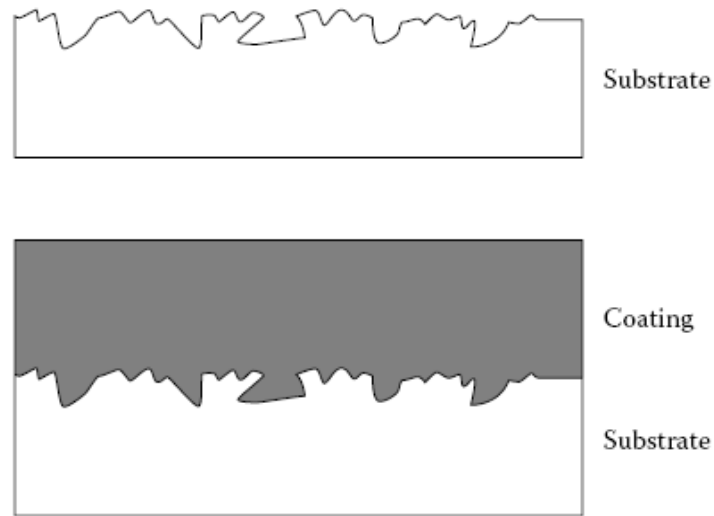
Gambar 2.10. Mekanisme ikatan eksternal di antarmuka antara lapis lindung dan substrat <sup>(18)</sup>

Tegangan mekanis antarmuka pada lapis lindung terbagi dua yaitu tegangan tarik (tensile stress) yang tegak lurus dengan antarmuka dan tegangan geser (shear stress) yang bekerja pada seluruh permukaan kontak antar muka

Perubahan temperatur mempengaruhi koefisien ekspansi termal di antarmuka, sehingga mempercepat proses kehilangan daya lekat lapis lindung terhadap substrat. Selain itu, adanya pengaruh kimia yang menembresi atau terabsorp di antarmuka lapis lindung akan menyebabkan sifat adhesi menurun.

#### 2.8.2. Ikatan Mekanis

Ketika pada permukaan substrat terdapat pori, celah dan lubang kecil ,lapisan cat akan mengisi dan menjadi padat dan ikatan mekanis terbentuk. Jadi lapisan cat seperti memiliki ankur, untuk melepaskan lapisan cat akan lebih sulit jika permukaan substrat memiliki kekasaran tertentu. Instrument analysis menunjukan lapisan cat dapat mengisi permukaan yang kasar, seperti diilustrasikan pada Gambar 2.11, demikianlah ikatan mekanis pada permukaan substrat terjadi.



Gambar 2.11. Mekanisme ikatan mekanis antara lapis lindung dan substrat <sup>(18)</sup>

## 2.9. Korosi dibawah Lapisan Cat Organik

Korosi yang terjadi di bawah lapisan cat organik dikarenakan adanya lingkungan elektrokimia lapis ganda yang disebabkan karena rusaknya sifat adhesi antara lapisan cat dan substrat. Hal ini menjadikan terbentuknya lapisan tipis air yang menembus cat akan memisahkan antara substrat dan lapisan cat. Proses penetrasi air pada lapisan cat organik dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain:

- a. Gradient konsentrasi pada saat kondisi immers atau kondisi atmosfer kelembaban tinggi, sehingga terjadi diffuse melalui lapisan cat.
- b. Energi kapiler pada lapisan cat yang disebabkan oleh tidak kering sempurna atau terjebaknya udara di bawah lapisan cat.
- c. Adanya lapisan osmosis yang disebabkan oleh impurities produk korosi/kontaminan antara lapisan cat dan substrat metal.

Semua proses tersebut diatas menyebabkan molekul air menembus lapisan cat, dan menyebabkan kehilangan adhesi, inisiasi proses korosi, *blistering* bahkan delaminasi <sup>(19)</sup>.



Gambar 2.12. Bentuk Filamen Korosi Filiform <sup>(20)</sup>

Jenis korosi di bawah lapisan cat organik salah satunya adalah Korosi Filiform. Substrat metal dengan lapisan cat organik di atasnya dapat mengalami korosi dengan bentuk filament di bawah lapisan cat, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.12.

Kondisi yang menyebabkan hal ini adalah:

- Kelembaban relative yang tinggi (60-95% pada temperatur kamar)
- Lapisan cat yang permeable terhadap air
- Adanya kontaminan (garam, dll) pada lapisan antarmuka lapisan cat dan substrat metal.
- Lapisan cat memiliki cacat, seperti pori, gelembung udara atau holiday.

Korosi filiform pada cat organik sering terjadi pada substrat Baja, Aluminium, Magnesium atau Baja Galvanis.

## 2.10. Sistem Pengecatan

Tidak ada lapis lindung cat yang tahan untuk segala jenis lingkungan. Biasanya pada sistem pengecatan dipilih jenis cat yang sesuai untuk lingkungannya dengan menggunakan cat dasar (primer), cat intermediate (under coat) dan cat akhir (top coat). Adapun sifat-sifat cat tersebut antara lain:

- Cat dasar.

Harus tersebar pada permukaan benda kerja secara merata dan memiliki sifat-sifat diantaranya

- Daya adhesi yang baik terhadap substrate dengan persyaratan persiapan permukaan yang tertentu.
- Mampu mengikat lapisan berikutnya.
- Mampu mengurangi penyebaran proses koros pada bagian-bagian yang retak atau pecah dari lapisan cat.
- Cukup tahan terhadap cuaca dan bahan kimia untuk jangka waktu tertentu sebelum dilakukan lapisan berikutnya.

- Cat intermediate.

Cat ini diterapkan setelah cat dasar dan harus memiliki sifat-sifat antara lain

- Memberikan lapisan yang cukup memadai pada sistem.
- Mengikat secara merata antara lapisan primer thin top coat.
- Cukup kuat memproteksi pengaruh lingkungan.

- Cat akhir (top coat)

Top coat merupakan lapisan terakhir selain harus cukup kuat terhadap pengaruh lingkungan, juga harus menyajikan penampilan yang baik. Tabel berikut ini adalah contoh ketahanan beberapa jenis cat pada lingkungan yang berbeda.

Tabel 2.5. Ketahanan beberapa jenis cat pada lingkungan yang berbeda

Jenis cat	Nilai ketahanan terhadap							
	Asam	Basa	Garam	Pelarut	Air	Cuaca	Oxidasi	Abrasi
Dasar minyak	1	1	6	2	7	10	1	4
Alkyd	6	6	8	4	8	10	3	6
Chlorinated rubber	10	10	10	4	10	8	6	6
Coaltar epoxy	8	8	10	7	10	4	5	4
Catalyzed epoxy	9	10	10	9	10	8	6	6
Silicone alkyd	4	3	6	2	8	9	4	4
Vinyl	10	10	10	5	10	10	10	7

Urethane	9	10	10	9	10	8	9	10
Zn (inorganic)	1	1	5	10	5	10	10	10

Keterangan : 1 - paling jelek

10 - paling baik

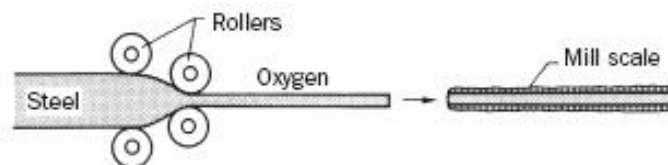
## 2.11. Metode Inspeksi

Persyaratan yang ketat dengan bahan cat yang baik tidak menjamin sepenuhnya keberhasilan sistem perlindungan korosi dengan lapis lindung cat. Untuk menghindarkan kegagalan yang mungkin terjadi maka harus dilakukan inspeksi lapangan. Para inspektur ini harus memiliki pengetahuan yang cukup tentang cat dan permasalahannya supaya tidak mendapat kesulitan di lapangan. Yang termasuk dalam perencanaan inspeksi ada dalam beberapa poin, yaitu

- Inspeksi sebelum pekerjaan dimulai
- Persiapan permukaan
- Aplikasi cat,
- Dokumentasi

### 2.11.1. Inspeksi dan Persiapan Permukaan Benda Kerja

Benda kerja akan di kelompokkan dua jenis, permukaan metal baru (*new steel*) yang belum pernah di cat dan permukaan yang pernah di cat (*painted steel*). Kondisi substrat merupakan hal yang pertama kali dicek, pengecekan tersebut adalah Tingkat Karat (*Rust Grade*) dari *millscale*.

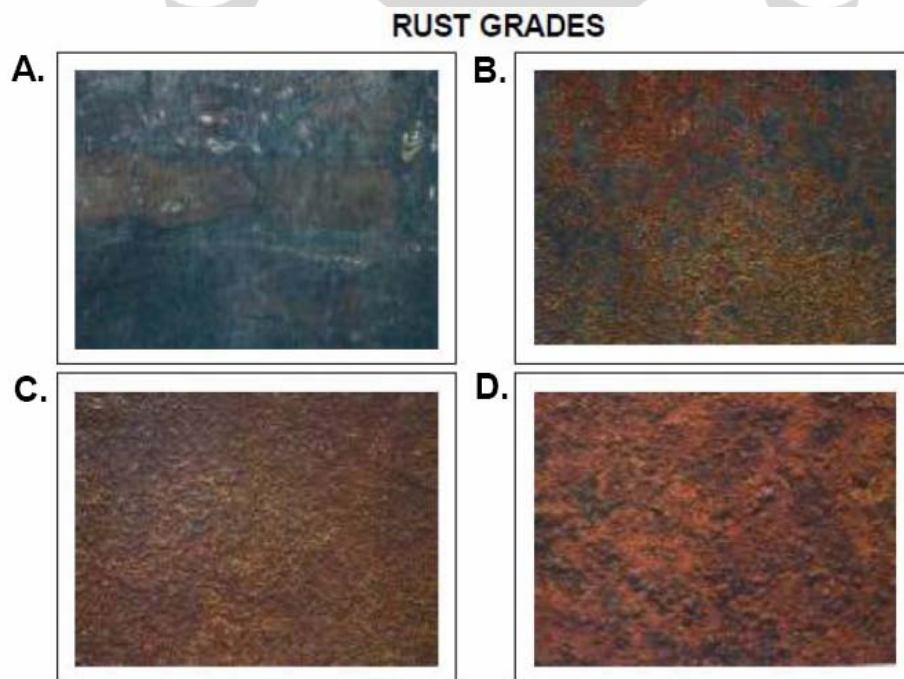


Gambar 2.13. *Millscale* pada permukaan metal

*Millscale* terbentuk ketika baja panas dilakukan pengerolan dengan proses *Steel Rolling Mill*, permukaan baja panas tersebut akan bereaksi dengan udara yang akan membentuk sebuah lapisan di atas permukaan baja yang disebut *Mill Scale*. Apabila baja tersebut diletakkan diudara terbuka, *Mill Scale* tersebut akan berubah menjadi karat.

Standard acuan yang digunakan yaitu Standard Internasional *ISO 8501-1* “*Visual Assesment of Surface Cleanliness*”. Ada 4 (empat) tingkat karat yang diberikan oleh standard ini yang ditunjukkan dalam bentuk gambar 2.14, antara lain:

- *Rust Grade A* : Permukaan baja tertutupi *Mill Scale* dan sedikit karat.
- *Rust Grade B* : Permukaan baja sudah mulai berkarat dan beberapa bagian *Mill Scale* sudah mulai mengelupas.
- *Rust Grade C* : *Mill Scale* sudah berkarat dan terdapat beberapa bagian sedikit titik-titik karat pada permukaan dasar dari baja.
- *Rust Grade D* : *Mill Scale* sudah berkarat dan terdapat karat di atas permukaan dasar baja yang dapat dilihat dengan penglihatan normal.



Gambar 2.14. Tingkat Karat pada metal berdasarkan ISO 8501-2003

Hal-hal yang harus diperiksa/diperhatikan oleh inspektor pada langkah persiapan permukaan antara lain ialah :

- Permukaan benda kerja harus bebas lemak, minyak dan kontaminan lain (periksa dengan lap putih bersih).
- Permukaan bekas lasan/sambungan dihaluskan demikian juga pada bagian lain yang tajam seperti daerah sudut, siku dan lain-lain.

Pemeriksaan pada pelaksanaan blasting meliputi

- Kualitas abrasive (jenis, bentuk, ukuran).
- Kualitas udara yang keluar dari nozzle harus bebas minyak.
- Tekanan udara pada nozzle paling sedikit  $6 - 7 \text{ kg/cm}^2$ .
- Profile permukaan benda kerja (periksa dengan depth micrometer, surface profile comparator), biasanya 20 - 30% dari tebal lapisan cat keseluruhan.
- Tingkat kebersihan permukaan.

Standard ISO 8501 juga memuat referensi gambar yang menunjukkan tingkat kebersihan besi setelah dilakukan perlakuan (*preparation*) seperti gambar 2.15.



### PREPARATION GRADES BLAST-CLEANING – Sa2.5



Gambar 2.15. Tingkat Kebersihan Blast Cleaning Sa 2.5 berdasarkan ISO 8501-2003. Setelah kondisi permukaan memadai, paling lama 6 jam kemudian harus segera dilakukan pengecatan (primer).

#### 2.11.2. Inspeksi Pelaksanaan Pengecatan

Pengecatan di udara terbuka tidak dilakukan pada saat cuaca buruk (hujan, berkabut, berdebu dan sebagainya), suhu permukaan benda kerja kurang dari 20C diatas titik embun pada saat kelembaban relatif udara 800.

Setiap lapisan cat harus merupakan lapisan yang kontinu dengan ketebalan yang merata dan harus kering sebelum dilakukan pengecatan berikutnya. Hal-hal yang harus menjadi perhatian khusus antara lain:

- Apabila terjadi cacat harus dicat ulang.
- Periksa tebal lapisan cat basah dan kering.
- Pemeriksaan ketebalan cat kira-kira 5 titik/m<sup>2</sup>

### 2.12. Cacat Yang Biasa Terjadi Pada Lapisan Cat

Kerusakan/cacat yang sering terjadi pada lapisan cat setelah diekspose atau pada waktu dilapiskan. Hal ini bisa terjadi karena cara aplikasi yang kurang benar atau jenis cat yang dilapiskan kurang mampu menahan serangan korosi dari lingkungan yang agresif.

Beberapa jenis kerusakan yang sering terjadi pada lapisan cat antara lain:

- Melepuh (blistering).

Cacat pada lapisan cat karena adanya gas (air) yang terjebak atau terjadi proses korosi di bawah lapisan cat dan lain-lain.

- Retak (cracking).

Cacat ini bisa berbentuk seperti kulit buaya (alligatoring) yang disebabkan pelapisan top coat di atas permukaan yang belum kering, undercoat dan top coat tidak kompak.

- Terkelupas

Cacat ini bisa terjadi pengelupasan antara lapisan cat (delamination) dan terjadi antara lapisan cat dengan benda kerja (peeling).

- Lapisan cat berlubang (pinholing)

Lubang yang terjadi pada lapisan cat hampir tidak tampak hal ini bias terjadi karena penguapan solvent yang terlalu cepat, dan sebagainya.

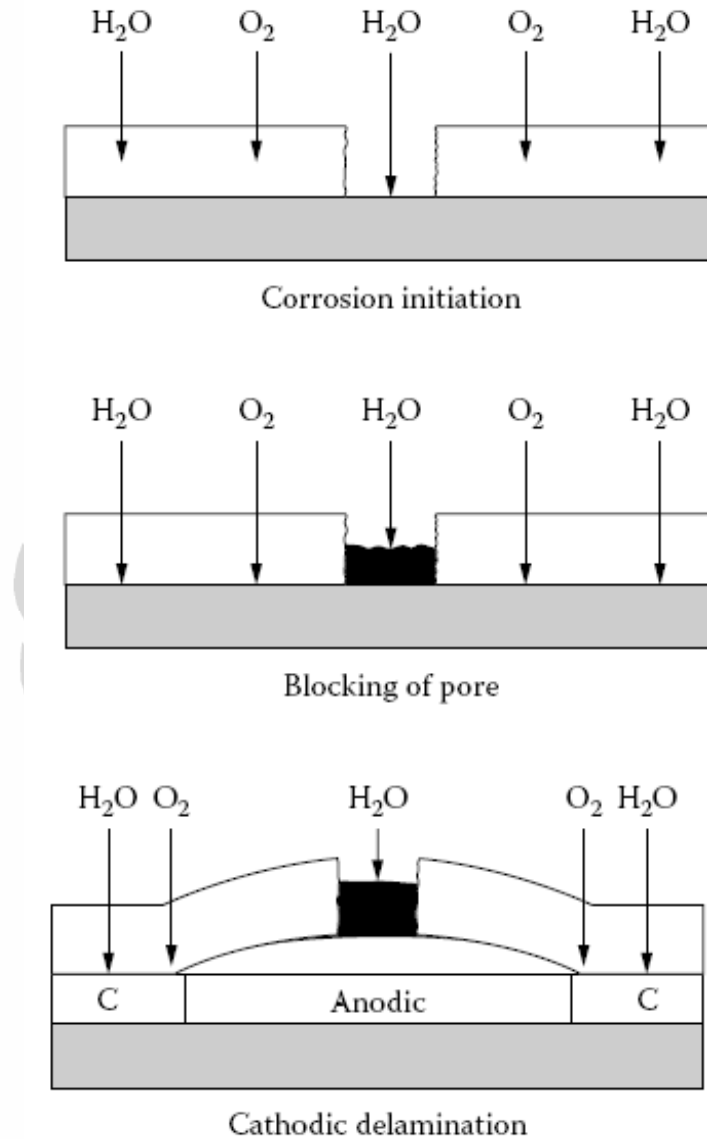
- Keriput

Keriput pada lapisan cat bisa disebabkan karena penggunaan cat yang terlalu banyak (lapisan atas kering, lapisan bawah masih basah).

### 2.13. *Cathodic Disbondment*

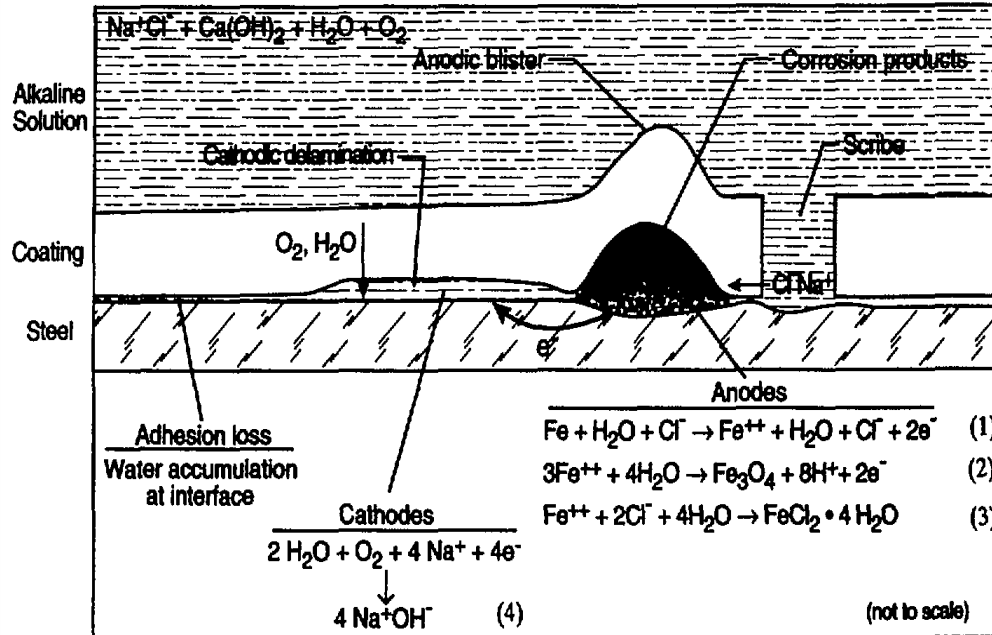
*Cathodic disbondment* adalah keadaan dimana lapisan cat kehilangan daya lekat pada substrat dikarenakan kehadiran tegangan proteksi katodik<sup>(14)</sup>. Oleh karena itu kadang disebut juga sebagai *cathodic delamination*. Separasi anoda dan katoda

pada lokasi holiday yang mendorong terjadinya blistering dapat diilustrasikan pada gambar 2.16.



Gambar 2.16. Inisiasi blistering dan propagasi pada daerah holiday<sup>(21)</sup>

Mekanisme *disbondment* dimulai dengan pembentukan lingkungan alkalin oleh reaksi katodik, yaitu reduksi oksigen di dalam air. Reaksi ini meningkatkan pH di wilayah katodik sehingga menimbulkan efek *saponifikasi*, sehingga menyebabkan lapisan cat kehilangan daya lekat dari substrat.



Gambar 2.17. Mekanisme *Cathodic disbondment* lapisan cat pada baja dalam larutan jenuh Ca(OH)<sub>2</sub> dengan NaCl. <sup>(5)</sup>

Pada tahap awal, separasi daerah anodik dan katodik tidak begitu jelas, tetapi hal ini dapat di ketahui sejalan berlanjutnya proses korosi dimana aliran konveksi oksigen terbatas karena permeabilitas produk korosi yang rendah terhadap oksigen. Akibatnya reaksi (4) pada gambar 2.17 berhenti, hal ini menjadi pemisah antara wilayah katodik dan anodik.

Bagaimanapun reaksi anodic (reaksi 1-3) masih berlanjut pada permukaan baja, karena ion Cl<sup>-</sup> dapat menembus melalui anion hidrat ferrous oksida dan hidroksida untuk mencapai permukaan baja. Setelah karat mengisi lapisan terkorosi, wilayah katodik bergeser ke area di bawah lapisan cat dimana O<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O mencukupi. Pada lapisan ini, kekuatan daya lekat hilang, alkalinitas telah dipercaya sebagai penyebab *cathodic disbondment*. Adapun penampakan fisik *cathodic disbondment* seperti pada gambar 2.18.



Gambar 2.18. Lapisan FBE yang mengalami *Cathodic disbondment*, (a) dengan holiday (b) area yang sama setelah blister di lepaskan<sup>(22)</sup>

#### 2.13.1. Parameter Pengujian *Cathodic disbondment*

Pengujian *Cathodic disbondment* dilakukan untuk mengetahui kondisi coating dalam keadaan terpolarisasi proteksi katodik. Pengujian ini sangat berguna dalam mengkualifikasi lapis lindung yang diaplikasi pada struktur yang diberi perlindungan proteksi katodik. Ada banyak standard yang digunakan pada pengujian CD, seperti ASTM G 8, ASTM G95, ASTM G42, CSAZ245.20 and NF A 49-711. Jenis standar pengujian tersebut bertujuan sama, hanya metodenya saja yang berbeda. Hal-hal yang mempengaruhi pengujian ini antara lain:

a. Specimen Pengujian dan Konfigurasi Alat.

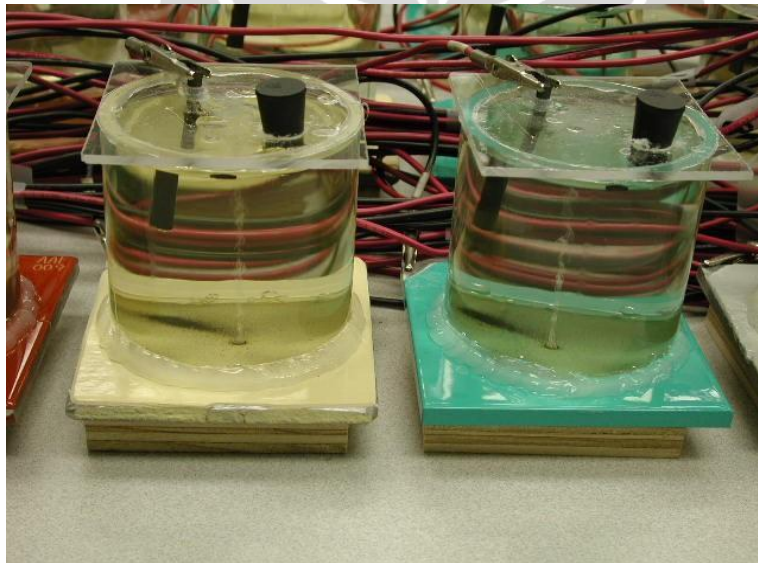
Secara umum, akan tidak praktis jika sebuah sampel pipa ukuran satu lingkaran penuh diuji dalam sebuah alat/vessel. Maka dari itu, metode “attached cell” sangat praktis dan berguna dalam mengontrol semua parameter pengujian dan lebih stabil karena ukuran specimen yang kecil mempermudah dalam hal analisa. Oleh karena itu atas alasan inilah metode “attached cell” digunakan pada penelitian ini seperti pada gambar 2.19.

b. Konfigurasi Anoda

Platina, magnesium, timbale dan graphite adalah material yang sering digunakan sebagai anode untuk pengujian CD. Penggunaan grafit

sebagai anode karena harganya cukup murah, akan tetapi akan menyebabkan cepat terbentuknya *scale* pada permukaan anoda, oleh karena itu perlu pembersihan yang rutin. Pengaruh diameter anoda tidak banyak dihiraukan peneliti, tapi diasumsikan bahwa besar kecilnya diameter anoda mempengaruhi luas area tempat terjadinya reduksi. Dan posisi anoda terhadap holiday juga mempengaruhi pengujian, oleh karena itu harus selalu dicek konsistensinya.

Konfigurasi anoda pada kedua standard pengujian AS3862 and ASTM G95, dimana posisi satu anoda untuk satu cell sangat baik pengaruhnya, karena mengurangi sensitivitas terhadap fluktuasi tegangan.



Gambar 2.19. Pengujian *Cathodic disbondment* (attached cell method)

c. Efek Temperatur

Sejalan dengan meningkatnya teknologi lapis lindung, banyak lapis lindung yang memiliki ketahanan terhadap temperature tinggi. beberapa pengujian yang mengakomodasi pengujian pada temperature tinggi antara lain: ASTM G42, CSAZ245.20 and NF A 49-711 dengan range temperature 65°C sampai 110°C. Semakin tinggi temperature maka semakin besar radius *disbondment* yang terjadi.

d. Durasi Pengujian

Pada saat ini pengujian CD yang banyak dilakukan oleh fabrikasi lapis pelindung adalah dengan jangka waktu 28 hari. Dari sudut pandang formulasi akan sulit menghasilkan produk komersial jika test dilakukan dalam jangka waktu 90 hari. Oleh karena itu pada pengujian ini dilakukan dalam waktu 28 hari, dengan test checkpoint setiap 7 hari. Selain itu, trend pengujian dengan radius *disbondment* berbanding lurus, semakin lama durasi pengujian, semakin besar radius *disbondment*.

e. Komposisi Elektrolit

Ada tiga jenis larutan yang sering digunakan dalam pengujian CDT, yaitu : artificial seawater, air tanah (1%w/w NaCl, 1%w/w NaSO<sub>4</sub> and 1%w/w NaCO<sub>3</sub>) dan 3.5 %w/w NaCl. Artificial seawater mengandung Magnesium dan calcium, jadi jika dilakukan pengujian lebih dari -1 V, dapat menyebabkan pengendapan Calcareous dan terjadi blistering di bagian tersebut. Sedangkan alasan tidak menggunakan air tanah, karena tidak praktis dan menyebabkan ketidakseragaman, sehingga menghasilkan hasil data yang tidak valid. Oleh karena itu, digunakan larutan 3.5% w/w, selain memiliki konduktivitas yang baik juga adanya ion Cl<sup>-</sup> mempercepat proses pengujian.

f. Efek Oksigen terlarut

Oksigen terlarut dapat mempengaruhi kinetika reaksi, terutama pada jenis-jenis lapis pelindung yang permeable terhadap oksigen. Penggunaan larutan 3.5% NaCl sangat menguntungkan, karena memiliki konsentrasi oksigen terlarut tertinggi pada suhu kamar. Jadi semakin meningkat oksigen terlarut, maka semakin besar radius *disbondment*.

g. Efek Tegangan

Pemberian potensial mempengaruhi terbentuknya ion hidroksida dan gas hidrogen. Terbentuknya gas hidrogen pada -1.1 Volt, sedangkan pada kondisi potensial dibawah angka tersebut terbentuk reaksi reduksi oksigen yang lebih dominan. Dengan memberikan potensial lebih besar, maka reaksi dominan adalah evolusi hydrogen, sehingga kerusakan lapis pelindung tidak disebabkan oleh ion hidroksida saja, tetapi juga oleh pembentukan gas hydrogen

h. Efek Persiapan permukaan

Persiapan permukaan substrat sampel uji sangat berpengaruh pada hasil radius *disbondment*, karena dengan persiapan permukaan yang baik tercipta permukaan yang bebas kontaminan, oksida maupun unsur-unsur yang dapat mempengaruhi adhesi lapis lindung terhadap substrat logam. Persiapan permukaan dapat dilakukan secara kimiawi atau mekanis, tujuan akhirnya adalah meningkatkan sifat adhesi lapis lindung terhadap substrat logam, karena semakin baik sifat adhesi maka radius *disbondment* akan kecil dan begitu pun sebaliknya

