

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

- **Aslihatin Zuliana, 2003**

Melakukan penelitian dalam skripsinya yang berjudul, **Pengaruh Temperatur Proses Pelapisan Polietilen Pada Baja Karbon Rendah Terhadap Laju Korosi**. Variasi temperatur pemanasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 200⁰ C, 250⁰ C, 300⁰ C, 350⁰ C, 400⁰ C, 450⁰ C, 500⁰C. Dari penelitian tersebut dihasilkan laju korosi terendah pada suhu 500⁰C sebesar 0,044 mm/jam serta ketebalan lapisan terbesar diperoleh pada temperatur pemanasan 200⁰C dengan nilai 0,312 mm.

- **Ramdali Rakhmat, 2005**

Melakukan penelitian dalam skripsinya yang berjudul, **Pengaruh Sudut Dan Panjang Lintasan Penyemprotan Pada Proses Sand Blasting Terhadap Adhesivitas Logam Pelapis Hasil Pelapisan Hardchrome**. Sudut yang digunakan dalam penelitian ini adalah 45⁰, 60⁰, 75⁰, 90⁰ sedang panjang lintasan penyemprotan yang digunakan adalah 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm. Dari penelitian tersebut dihasilkan adhesivitas terbesar diperoleh pada sudut 75⁰ dan panjang lintasan penyemprotan 15 cm dengan nilai sebesar 10,06932 kg/cm².

2.2. Persiapan Permukaan (*Surface Preparation*)

Faktor persiapan permukaan memegang peran penting dalam proses perlindungan. Agar bahan pelapis mampu melindungi permukaan dengan baik diperlukan tingkat perekatan yang tinggi antara permukaan material dan bahan pelindungnya. Perlu diketahui bahwa berhasil atau tidaknya pengecatan sangat tergantung pada tingkat kerekatan antara permukaan dan cat serta tingkat kepadatan dan perataan dari cat itu sendiri.

Persiapan permukaan dapat dilakukan dengan cara membersihkan permukaan dari semua jenis bahan pengotor. Pembersihan permukaan dalam pelaksanaannya dapat dilakukan dengan berbagai cara, yaitu (www.inovatek, 1998) :

1. Pembersihan secara kimia

- a) Penguapan
- b) Pencelupan

2. Pembersihan secara listrik
3. Pembersihan secara mekanis
 - a) Penyikatan (*Brushing*)
 - b) Penggosokan (*Buffing*)
 - c) Pemolesan (*Polishing*)
 - d) Penyemprotan bahan abarasisif (*Abrasive Blasting*)

2.2.1. Pembersihan Secara Kimia

Yang dimaksud pembersihan secara kimia adalah pembersihan kotoran yang melekat erat pada logam dengan menggunakan bahan-bahan kimia. Kotoran pada permukaan benda kerja yang akan dilapisi dapat berbentuk organik maupun anorganik. Kotoran yang berbentuk organik antara lain bahan mineral, minyak dan sejenisnya. Dalam pembersihannya dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu :

1. Penguapan, yaitu dengan menggunakan uap senyawa klorhidrokarbon sebagai pembersih atau pengurai minyak.
2. Pencelupan, yaitu dengan cara mencelupkan ke dalam larutan bahan-bahan alkali.

Kotoran yang berbentuk anorganik berupa karat, debu dan oksida lainnya. Dalam pembersihannya biasanya digunakan cara pencelupan ke dalam larutan asam seperti asam klorida atau asam sulfat sesuai dengan jenis logam yang digunakan.

2.2.2. Pembersihan Secara Listrik

Pembersihan secara listrik (*electropolishing*) dilakukan dengan cara logam yang akan dibersihkan dimasukkan ke dalam larutan asam kemudian dialiri arus listrik searah. Disini logam yang akan dibersihkan bertindak sebagai katoda sedangkan anoda digunakan karbon atau timah hitam.

2.2.3. Pembersihan Secara Mekanis

Yang dimaksud pembersihan secara mekanis adalah pembersihan permukaan benda yang akan dilapisi dengan menggunakan alat-alat mekanis. Selain itu pembersihan secara mekanis ini dapat digunakan untuk membentuk kekasaran permukaan. Pembersihan secara mekanis dapat dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut :

- a. Penyikatan (*Brushing*)

Proses penyikatan dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu :

1. Sikat tangan

Sikat tangan digunakan pada benda-benda kecil dan dilaksanakan dalam pekerjaan kecil-kecilan, amatir, atau hobi.

2. Mesin penyikat permanen

Proses pembersihan dengan cara ini dilakukan dengan cara benda kerja dipegang dengan tangan dan ditekan pada roda sikat pada mesin penyikat.

3. Mesin penyikat portabel

Untuk proses penyikatan dengan mesin penyikat portabel biasanya dilakukan pada benda-benda yang berukuran besar. Hal ini dilakukan karena tidak mungkin dilakukan dengan sikat tangan atau dengan mesin permanen karena terlalu lama dan hasilnya kurang baik.

- b. Pemolesan (*Polishing*)

Pelaksanaan pemolesan dilakukan dengan mesin poles. Disini ada dua macam poles yang sering digunakan, yaitu :

1. Mesin poles horizontal.

2. Mesin poles vertikal.

Baik mesin poles horizontal maupun vertikal keduanya digunakan untuk benda-benda kerja yang sudah halus. Proses pemolesan kadang hanya bertujuan untuk mengkilapkan suatu permukaan logam, jadi tidak perlu dilapisi dengan logam lain.

- c. Penggosokan (*Buffing*)

Berbeda dengan proses pemolesan, dalam penggosokan digunakan kain halus, maka dalam pelaksanaannya penggosokan dilakukan tanpa diberi cairan atau pasta. Proses penghalusan dengan cara ini sering dikenal sebagai *Satin Finishing*. Tingkat kehalusan kain penggosoknya bermacam-macam sesuai dengan tingkat kehalusan yang diinginkan. Mesin yang digunakan dalam penggosokan terdiri dari tiga macam, yaitu :

1. Manual

2. Semi otomatis

3. Otomatis penuh

Untuk mesin jenis manual bentuknya seperti mesin gerinda bangku dan roda penggosoknya berdiri vertikal. Mesin ini digunakan pada pekerjaan yang tidak terlalu banyak jumlahnya. Untuk mesin semi otomatis dan otomatis penuh digunakan pada produksi barang-barang dengan jumlah besar.

d. Penyemprotan bahan abrasif (*Abrasive Blasting*)

Pembersihan dengan cara ini dilakukan dengan mengalirkan material abrasif secara paksa ke permukaan benda.

2.3 *Sand Blasting*

2.3.1. Proses *Sand Blasting*

Sand Blasting adalah proses pembersihan atau persiapan permukaan dengan mengalirkan material abrasif berupa pasir secara paksa ke permukaan benda. *Sand Blasting* banyak digunakan untuk berbagai macam fungsi, yaitu (www.inovatek, 1998) :

- 1) Digunakan untuk menghilangkan karat, debu, cat dan pengotor lainnya.
- 2) Digunakan untuk membentuk kekasaran permukaan pada persiapan untuk proses pelapisan.

Dalam persiapan permukaan dengan metode ini harus dilakukan secara hati-hati dan oleh tenaga yang terampil dan pengalaman. Sebab apabila dilakukan oleh orang awam besar kemungkinan orang tersebut justru memperparah keadaan karena material menjadi rusak (Sri Widharto, 2001:106).

2.3.2. Parameter Yang Mempengaruhi Proses *Sand Blasting*

Ada beberapa parameter yang dapat mempengaruhi produktifitas proses *Sand Blasting*, antara lain (http://www.optaminerals.com/sandblaster/pdf/CG_NIOSH1pdf, 1998 : 39-40) :

1. Ukuran butir.

Ukuran butir berkaitan dengan bentuk profil permukaan yang terbentuk. Pada butiran yang kecil bentuk profil permukaan yang dihasilkan cenderung lebih halus dibandingkan dengan ukuran butir yang lebih besar.

2. Sudut penyemprotan

Sudut penyemprotan adalah besarnya sudut yang digunakan dalam penyemprotan antara *nozzle* dengan benda kerja yang disemprot. Sudut yang

biasa digunakan dalam penyemprotan antara 60° - 120° . Sudut 90° terhadap permukaan menghasilkan tumbukan yang paling besar.

3. Tekanan penyemprotan

Tekanan penyemprotan mempengaruhi daya abrasifnya. Semakin besar tekanan yang di gunakan, maka daya abrasifnya semakin besar. Pada beberapa pekerjaan digunakan tekanan kompresor antara 4,082 bar – 5,442 bar karena pada tekanan tersebut daya abrasifnya tidak sampai menyebabkan kerusakan yang cukup besar pada permukaan benda.

4. Jarak penyemprotan

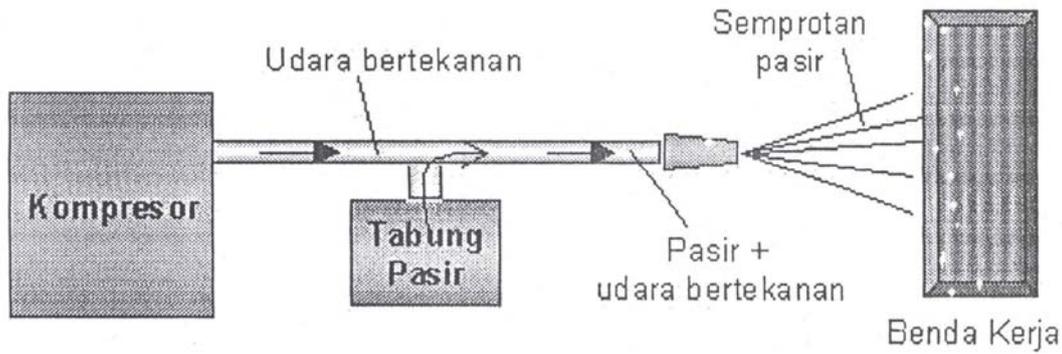
Jarak penyemprotan adalah jarak antara *nozzle* dengan benda kerja yang disemprot. Jarak penyemprotan dapat diatur sesuai dengan hasil yang diinginkan. Berdasarkan penelitian, jarak penyemprotan optimal berada pada jarak 15 cm – 60 cm.

5. Waktu penyemprotan

Waktu penyemprotan mempengaruhi kekasaran permukaan benda kerja. Semakin lama waktu penyemprotan, maka permukaan yang dihasilkan semakin kasar. Rentang waktu yang digunakan ketika proses penyemprotan biasanya didasarkan pengalaman operator. Dalam beberapa kasus waktu yang diperlukan selama 5 -10 detik untuk setiap luasan penyemprotan.

2.3.3. Prinsip Kerja *Sand Blasting*

Berdasarkan pada gambar 2.1, prinsip kerja dari proses penyemprotan ini adalah pembangkitan udara bertekanan oleh suatu kompresor kemudian udara bertekanan tersebut dilewatkan melalui dua pipa. Pipa pertama menuju ke tabung pasir sedangkan pipa kedua dilewatkan langsung menuju ujung *nozzle*. Akhirnya dari ujung *nozzle* dihasilkan udara bertekanan dan pasir yang akan mengikis kotoran yang melekat pada benda kerja.



Gambar 2.1 : Prinsip kerja *Sand Blasting*
 Sumber : Pelapisan logam. www.inovatek.net, 1998

2.4. Konfigurasi Permukaan

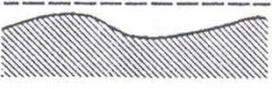
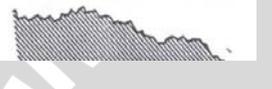
Permukaan adalah batas yang memisahkan benda padat dengan sekelilingnya, sedangkan kekasaran permukaan merupakan ketidakrataan konfigurasi permukaan akibat guratan atau kawah kecil pada permukaan. Akibat dari penyemprotan butiran pasir pada permukaan akan menimbulkan tekstur permukaan. Kekasaran permukaan apabila ditinjau dari profil permukaan yang terbentuk dapat dibedakan menjadi beberapa tingkatan, yaitu (T.Rochim dan Sri Handjoko, 1998 : 57) :

- a. Tingkatan pertama merupakan ketidakrataan mikrojeometri.
- b. Tingkatan kedua ketidakrataan dengan panjang gelombang yang jelas lebih besar dibandingkan kedalamannya yang sering disebut sebagai panjang gelombang (*waviness*).
- c. Tingkatan ketiga disebut alur (*grooves*).
- d. Tingkatan keempat adalah serpihan.

Tabel 2.1 akan memperjelas perbedaan tingkatan dari konfigurasi permukaan.

Tabel 2.1 : Ilustrasi profil permukaan

Tingkat	Profil terukur; bentuk grafik hasil pengukuran	Istilah	Contoh kemungkinan penyebabnya
1		Kesalahan bentuk (<i>form error</i>)	Kesalahan bidang-bidang pembimbing mesin perkakas dan benda kerja, kesalahan posisi pencekaman benda kerja.

2		Gelombang (<i>waviness</i>)	Kesalahan bentuk perkakas, kesalahan penyenteran perkakas, getaran dalam proses permesinan.
3		Alur (<i>grooves</i>)	Jejak/bekas pemotongan (bentuk ujung pahat, gerak makan).
4		Serpihan (<i>flakes</i>)	Proses pembentukan geram, deformasi akibat proses pancar pasir, pembentukan module pada proses <i>electroplating</i> .
5			Kombinasi ketidakrataan dari tingkat 1 sampai dengan 4.

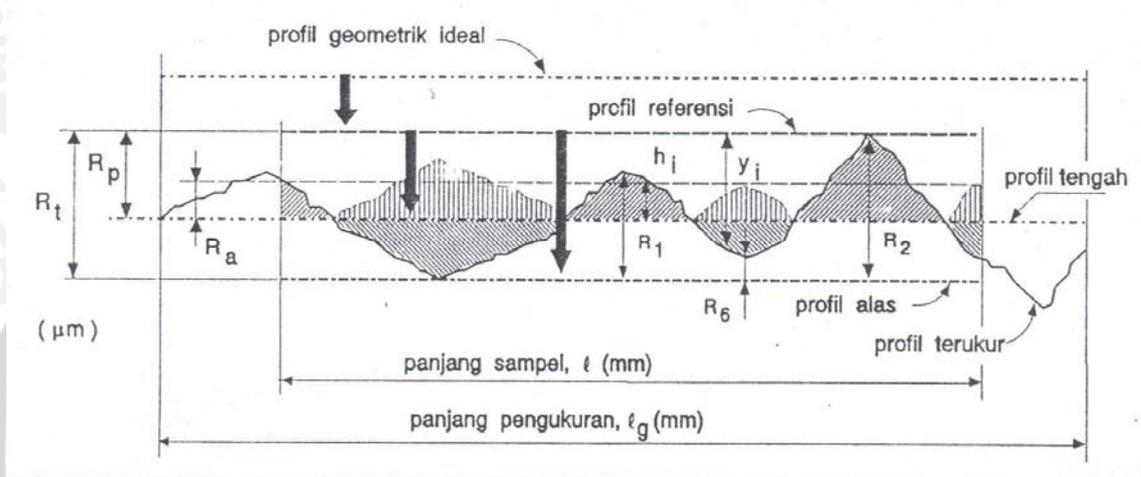
2.4.1. Parameter Permukaan

Untuk memperoleh profil suatu permukaan, maka jarum peraba (*stylus*) dari alat ukur harus digerakkan mengikuti lintasan yang berupa garis lurus dengan ditentukan terlebih dahulu. Panjang lintasan ini disebut panjang pengukuran (*transverig length*). Sesaat setelah jarum bergerak dan sesaat sebelum jarum berhenti maka secara elektronik alat ukur melakukan perhitungan berdasarkan data yang diteliti oleh jarum peraba. Bagian dari panjang pengukuran dilakukan analisa dari profil permukaan disebut dengan panjang sampel (*sampling length*).

Bentuk profil sesungguhnya adalah seperti yang ditunjukkan gambar 2.2 dengan penambahan keterangan mengenai beberapa istilah yang penting, yaitu (T.Rochim dan Sri Handjoko, 1998 : 65) :

- Profil geometrik ideal yaitu profil permukaan sempurna (dapat berupa garis lurus, lengkung atau busur).
- Profil terukur merupakan profil permukaan terukur.
- Profil referensi/acuan/puncak adalah profil yang digunakan sebagai acuan untuk menganalisa ketidakrataan konfigurasi permukaan. Profil ini dapat berupa garis lurus atau garis dengan bentuk sesuai dengan profil geometrik ideal, serta menyinggung puncak tertinggi profil terukur dalam suatu panjang sampel.

- Profil akar/alas adalah profil referensi yang digeserkan ke bawah (arah tegak lurus terhadap profil geometrik ideal pada suatu panjang sampel) sehingga menyinggung titik terendah profil terukur.
- Profil tengah adalah nama yang diberikan kepada profil referensi yang digeserkan ke bawah sedemikian rupa sehingga jumlah luas bagi daerah-daerah di atas profil tengah sampai ke profil referensi adalah sama dengan jumlah luas daerah-daerah di bawah profil tengah sampai ke profil terukur.



Gambar 2.2 : Perbedaan tingkat konfigurasi permukaan
Sumber : T.Rochim dan Sri Handjoko, 1998 : 65

Berdasarkan profil-profil di atas, maka dapat didefinisikan parameter permukaan yang berhubungan dengan dimensi arah tegak, yaitu :

- Kekasaran total (R_t) adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas.
- Kekasaran perataan (R_p) adalah jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur.
- Kekasaran rata-rata aritmetis (R_a) adalah rata-rata aritmetis bagi harga absolutnya jarak antara profil terukur dengan profil tengah.
- Kekasaran rata-rata kwadratis (R_g) adalah akar bagi jarak kwadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.
- Kekasaran total rata-rata (R_z) adalah jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima lembah terendah.

2.4.2. Uji Kekasaran Permukaan

Pengujian kekasaran permukaan menggunakan prinsip tribologi, yaitu bahwa permukaan benda padat mempunyai profil tidak rata yang dapat diukur. Profil ini apabila diukur memberikan amplitudo dan dengan tribologi diperoleh harga aritmetis rata-rata, Ra. Pengukuran ini menggunakan *tranduser* yang dilengkapi dengan jarum *stylus*. Sinyal dari *tranduser* dikuatkan oleh *amplifier* untuk memudahkan pembacaan nilai Ra. Di dalam pengukuran, kecepatan *stylus* (*down speed*) dan jarak lintasan ditentukan terlebih dahulu sebelum alat dioperasikan.

2.5. Korosi

2.5.1. Definisi Korosi

Korosi adalah kerusakan atau penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Reaksi korosi dapat dikelompokkan atas beberapa jenis, akan tetapi secara umum ada dua macam berdasarkan peristiwanya, yaitu korosi basah dan korosi kering. Korosi basah adalah korosi yang terjadi dalam lingkungan berair sedangkan korosi kering adalah korosi yang dalam proses terjadinya tidak melibatkan air atau di udara terbuka.

2.5.2. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Laju Korosi

Komponen-komponen akan menghadapi berbagai macam lingkungan baik selama tahapan-tahapan pembuatan, pemindahan dan penyimpanan maupun ketika kelak harus menjalankan tugas sehari-hari. Kalau komponen atau struktur itu bersifat mobil, perubahan kondisi yang akan dialami akan lebih banyak lagi.

Laju korosi yang terjadi pada logam akan dipengaruhi oleh perubahan-perubahan faktor sebagai berikut (Trethewey, 1991 : 284) :

a. Kelembaban relatif

Kebanyakan logam seperti besi, baja, nikel, seng dan tembaga mengalami korosi apabila kelembaban relatif $> 60\%$. Pada kondisi ini akan terbentuk titik-titik air pada permukaan logam yang mengakibatkan terjadi korosi ditempat yang tidak disangka-sangka.

b. Temperatur

Peningkatan temperatur sekitar cenderung mempercepat serangan. Pada umumnya laju reaksi meningkat hampir dua kali lipat setiap temperatur naik 10°C .

c. pH

Kebanyakan logam mudah terkorosi jika pH elektrolit < 7 .

d. Konsentrasi oksigen

Kandungan oksigen yang tinggi akan meningkatkan laju korosi. Korosi terutama terjadi pada daerah yang kekurangan oksigen.

e. Bahan pengotor padat atau terlarut

Bahan pengotor ini berbeda-beda, dari karbon dioksida di kawasan pedesaan, belerang dioksida, belerang trioksida dan ion-ion amonium di kawasan industri serta ion klorida di lingkungan laut.

f. Kehantaran elektrolit

Kehantaran yang tinggi memungkinkan anoda dan katoda tetap bekerja kendati terpisah jauh. Jadi peluang korosi meningkat dan serangan total mungkin jauh lebih parah dibandingkan dengan struktur yang sama di air tawar.

Variasi-variasi kondisi lingkungan ini sedapat mungkin harus diidentifikasi sejak tahapan perancangan. Memang, upaya pengendalian korosi pasti dilakukan menjelang tahapan pelayanan, tetapi perlindungan khusus juga diperlukan selama menghadapi kondisi-kondisi buruk, meskipun hanya sementara, dalam tahapan-tahapan produksi, pemindahan atau penyimpanan.

2.5.3. Macam-macam Korosi

Korosi ada beberapa macam, yaitu (Trethewey, 1991) :

1. Korosi logam tak sejenis
2. Korosi batas butir dan intergranuler
3. Korosi celah dan sumuran
4. Korosi erosi
5. Korosi tegangan
6. Korosi atmosfer
7. Korosi pada suhu tinggi

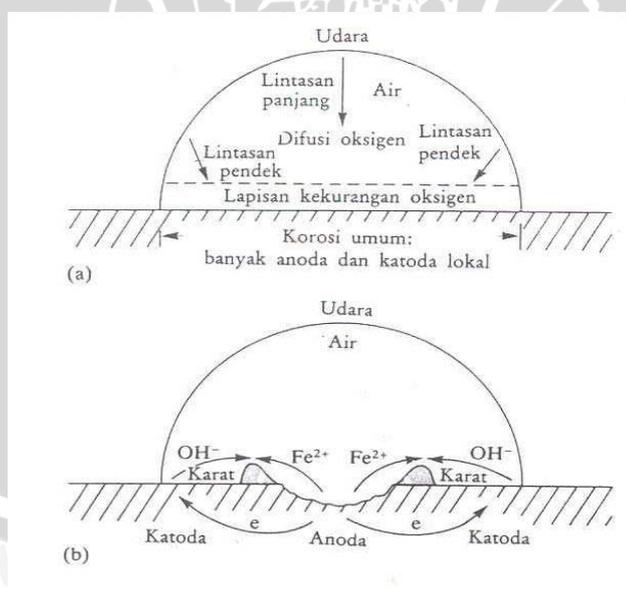
2.5.4. Korosi Atmosfer

Korosi atmosfer merupakan salah satu jenis korosi yang paling dominan di muka bumi ini. Jenis korosi ini terjadi akibat proses elektrokimiawi antara dua bagian benda padat khususnya logam besi yang berbeda potensial dan berhubungan langsung dengan udara terbuka. Fakta menunjukkan bahwa hampir tidak ada benda, khususnya logam

besi yang bebas dari kotoran di dalam materialnya yang berupa oksida dari logam besi, perbedaan struktur molekuler serta perbedaan tegangan di dalam bagian-bagian dari logam besi tersebut. Secara alami hal tersebut menimbulkan perbedaan potensial antara bagian-bagian, perbedaan potensial ini menyebabkan sebagian dari logam bersifat katodis yaitu kotoran, oksida dan struktur molekuler sedangkan bagian anodis adalah bagian logam besi yang murni.

Jika keadaan udara dingin dan basah, maka akan terbentuk bintik-bintik embun di permukaan logam yang dingin. Bintik-bintik embun tersebut akan tetap disitu dan tidak akan mengalir sampai menguap oleh hembusan angin atau meningkatnya temperatur. Hujan pada dasarnya malah membersihkan lapisan polutan yang menempel pada permukaan, kecuali apabila sisa-sisa air hujan tersebut tidak segera mengering karena terperangkap di dalam celah atau di daerah terlindung.

Di dalam udara banyak sekali debu dan polutan terutama di daerah kawasan industri yang terhembus angin dan mendarat ke permukaan logam yang kadang-kadang menimbulkan larutan yang sangat asam yang agresif jika bercampur dengan partikel-partikel air embun. Larutan inilah yang berfungsi sebagai bahan penghantar yang sangat baik, sehingga terjadilah sel karat di dalam titik embun yang menempel pada permukaan logam yang memiliki beda potensial (Sri Widharto, 2001 : 3).



Gambar 2.3 : Korosi atmosfer
Sumber : Trethewey, 1991 : 142

Penjelasan proses terjadinya jenis korosi ini adalah sebagai berikut :

Mudah dipahami bahwa daerah yang bersebelahan dengan udara menerima oksigen dari proses difusi lebih banyak dibandingkan dengan daerah dipusat tetesan air yang terletak jauh dari sumber pasokan oksigen, hal ini terlihat seperti pada gambar 2.3 (a). Keadaan ini menciptakan perbedaan konsentrasi oksigen, dimana daerah dengan kandungan oksigen lebih rendah mengalami polarisasi anodik sehingga terlarut dengan aktif atau mengalami oksidasi. Akibat oksidasi tersebut, logam besi Fe akan diubah menjadi ion Fe yang bermuatan positif dan tidak stabil (Trethewey 1991 : 143).

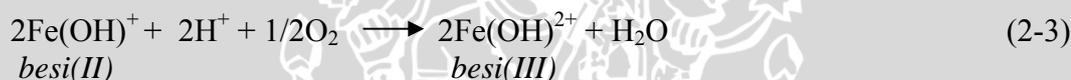
Hal ini dapat dinyatakan dalam persamaan :



Kemudian terjadi suatu reaksi hidrolisis, dimana keasaman meningkat :



Dengan kehadiran oksigen menyebabkan pembentukan ion-ion besi(III) semakin mudah. Bahkan, meskipun sudah tergabung dalam ion $\text{Fe}(\text{OH})^+$, besi masih dapat teroksidasi lagi menjadi besi(III), misalnya :



Reaksi-reaksi hidrolisis selanjutnya dimungkinkan, yang menyebabkan larutan semakin asam :



Di dalam air banyak terdapat ion hidroksil yang bermuatan negatif yang berasal dari :



Kemudian di dalam air terjadi reaksi antara ion besi yang bermuatan positif yang tidak stabil dengan ion hidroksil yang bermuatan negatif sehingga terjadilah pengendapan produk korosi yang tidak dapat larut berupa karat, gambar 2.3 (b). Persamaan reaksinya sebagai berikut :



2.5.5. Pencegahan Korosi

Untuk menghindari berbagai serangan korosi yang sangat merugikan diperlukan langkah-langkah pencegahan yang cukup mahal biayanya. Namun jika dibandingkan

dengan biaya dan pengorbanan lain jika serangan korosi tidak dicegah atau dibatasi, maka kerugian akibat biaya pencegahan tersebut menjadi tidak berarti.

Ada beberapa prinsip pencegahan korosi yang penggunaannya disesuaikan dengan jenis peralatan, tempat serta jenis lingkungannya. Adapun prinsip-prinsip pencegahan korosi tersebut adalah (Sri Widharto, 2001 : 97) :

1. Prinsip perbaikan lingkungan yang korosif
2. Prinsip netralisasi zat koroden sedemikian rupa sehingga tidak berbahaya lagi
3. Prinsip perlindungan permukaan dengan cara :
 - a. Pelapisan dengan cat
 - b. Pelapisan dengan *metal coating*, *lining* dan *cladding*
 - c. Pelapisan anorganik
 - d. Pembalutan
4. Prinsip penggunaan bahan yang tahan terhadap jenis korosi tertentu
5. Penggunaan zat pelambat korosi
6. Perlindungan katodik dan anodik

Pendayagunaan keenam prinsip diatas harus tepat agar mendapatkan hasil yang optimum baik ditinjau dari aspek ekonomi serta efektifitas perlindungannya. Demikian pula cara pendayagunaan prinsip atau pencegahan korosi harus benar-benar tepat sehingga dapat dihasilkan mutu perlindungan yang handal dan tahan lama.

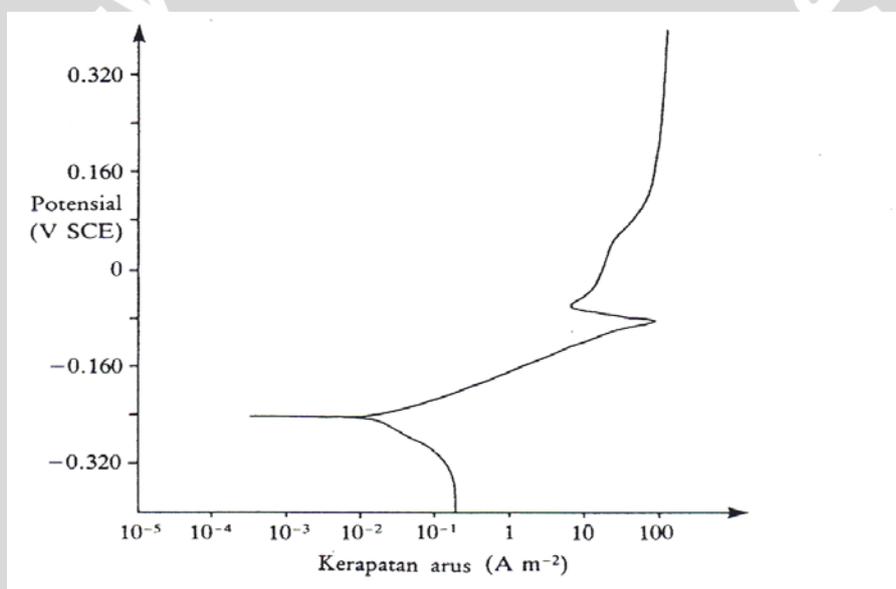
2.5.6. Uji Korosi dan Gragik E/log i

Tes laboratorium merupakan pengujian korosi dengan jalan membuat suatu simulasi terhadap kondisi lingkungan penyebab korosi. Simulasi ini dibuat untuk memperoleh parameter-parameter yang dapat diukur sehingga perilaku korosi yang diamati dapat diperkirakan.

Pengujian korosi di dalam laboratorium umumnya didekati dengan sel korosi basah sederhana. Walaupun mungkin terjadi korosi secara kering, akan tetapi prinsip dasar dari korosinya adalah tetap yaitu pertukaran ion-ion. Dalam sel korosi basah rapat arus yang diberikan melalui sumber arus DC, secara empiris merupakan analogi besarnya korosi yang dari kondisi lingkungan penyebab korosi dan rapat arus yang dihasilkan dari beda potensial menyatakan laju dari korosinya. Sehingga untuk mengetahui perbandingan kekuatan antara suatu bahan dengan bahan yang lain, secara empiris dapat diketahui dengan membandingkan besarnya laju korosi yang timbul, yaitu

merupakan perbandingan kenaikan rapat arus dari beda potensial yang diberikan. Hasil dari uji korosi biasanya ditampilkan dalam bentuk grafik $E/\log i$.

Grafik $E/\log i$ merupakan salah satu metode yang paling umum dalam penelitian korosi. Grafik ini merupakan hasil pengeplotan dari E (volt) yang memuat harga-harga potensial yang diberikan dimana sebagai ordinat dan $\log i$ (amper per meter persegi) sebagai absis yang merupakan harga kerapatan arus. Sebagai contoh sebuah tembaga murni yang luas permukaannya sudah diukur sebagai elektroda kerja yang dicelupkan ke dalam larutan natrium klorida 3,5 % sebagai elektrolit. Kemudian tembaga tersebut diberikan potensial yang dinaikkan setiap 10 mV dan diukur setiap perubahan arus yang terjadi. Pengeplotan dari hasil tersebut akan berupa sebuah grafik seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 : Pengulangan potensiodinamik tembaga terhadap kalomel jenuh dalam larutan NaCl 3,5 %
Sumber : Trethewey, 1991 : 94

2.5.7 Sel Korosi Basah Sederhana

Semua reaksi di lingkungan air dapat dianggap tidak berbeda dengan bentuk sel korosi basah sederhana yang mendasari teori terjadinya korosi di lingkungan air sekaligus hukum dasar pengendalian korosi. Untuk mengawali terjadinya korosi pada sel korosi basah ada empat komponen penting dalam hal ini, yaitu (Trethewey, 1991 : 69) :

a. Anoda

Anoda terkorosi dengan melepaskan elektron-elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan. Reaksi korosi logam M biasa dinyatakan dalam persamaan sederhana :



Dengan banyak elektron yang diambil dari masing-masing atom ditentukan oleh valensi logam yang bersangkutan. Umumnya, $z = 1, 2$ atau 3 .

b. Katoda

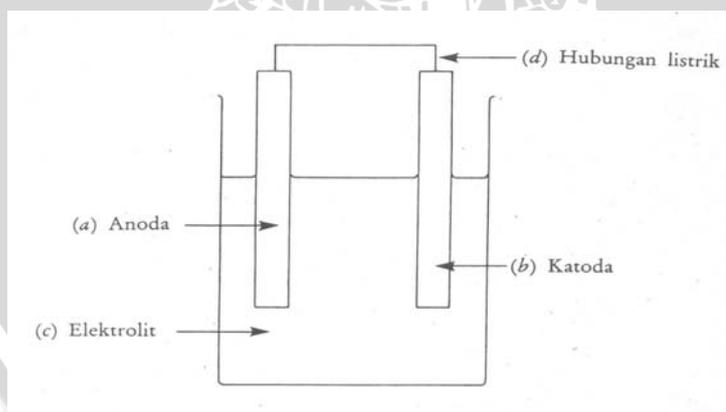
Katoda tidak mengalami korosi, walaupun mungkin menderita kerusakan dalam kondisi-kondisi tertentu. Reaksi katoda harus mengkonsumsi elektron-elektron yang dihasilkan oleh anoda.

c. Elektrolit

Elektrolit merupakan larutan yang dapat menghantarkan arus listrik, air yang sangat murni biasanya dianggap bukan elektrolit, namun demikian dalam kehidupan sehari-hari lingkungan berair akan mempunyai konduktifitas yang cukup untuk berfungsi sebagai elektrolit.

d. Hubungan listrik

Antara anoda dan katoda harus terdapat kontak listrik agar arus dalam sel dapat mengalir. (Tentu saja, hubungan secara fisik tidak diperlukan bila anoda dan katoda merupakan bagian dari logam yang sama).



Gambar 2.5 : Sel korosi basah sederhana

Sumber : Trethewey, 1991 : 70

Ilustrasi pada gambar 2.5 di atas merupakan bagian dari sel korosi basah sederhana yang banyak diterapkan dalam pengujian korosi. Korosi dapat terjadi apabila keempat komponen di atas harus ada, sehingga kita dapat mengatakan bahwa

penghilangan salah satu komponen dari keempat sel korosi basah sederhana akan menghentikan reaksi korosi (Trethewey, 1991 : 70).

Dasar inilah yang nantinya dijadikan sebagai acuan dalam melindungi logam dari serangan korosi, yaitu dengan menghilangkan fungsi logam sebagai anoda, salah satunya adalah mengisolasi anoda dari lingkungannya.

2.6. Pelapisan dengan Cat

Melindungi permukaan logam merupakan cara pencegahan korosi yang tertua dan bisa diterapkan. Lapisan pelindung berfungsi mengisolasi logam yang ada di bawahnya dari lingkungan yang dapat menimbulkan korosi. Batas kemampuan cara ini ditentukan oleh perilaku lapisan pelindung selama pemakaian. Perlindungan melalui lapisan penghalang menyolok sekali bila ditinjau dari tebalnya. Lapisan cat biasa mempunyai tebal antara 25 μm -100 μm .

Banyak cara pelapisan yang digunakan untuk maksud ini termasuk cat, logam, selaput anorganik. Namun sejauh ini yang paling umum adalah cat. Pengecatan dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa cara, antara lain (Berendsen, 1989) :

- *Brushing*

Pengecatan dengan menggunakan metode ini dilakukan dengan kuas. Metode ini umumnya digunakan untuk tempat-tempat yang sulit dijangkau. Cat yang hilang pada metode ini sangat kecil sekali. Pengecatan dengan metode ini mempunyai penetrasi yang baik dalam menutupi pori-pori atau lubang yang terdapat pada permukaan material, dimana alat lain tidak mungkin dipakai.

- *Rolling*

Dalam metode ini, pengecatan dilakukan dengan menggunakan alat *roll*. *Roll* yang digunakan harus tahan terhadap benturan obyek atau permukaan material, larutan dan tiner yang digunakan dalam cat. Pada metode ini pelaksanaannya lebih cepat dibandingkan dengan metode *brushing*. Metode ini sulit diterapkan pada permukaan yang sempit dan bentuknya tidak merata.

- *Spraying*

Alat yang digunakan dalam pengecatan adalah *spray gun*. Pengecatan dengan menggunakan metode *spray* dapat dibedakan menjadi :

- a. *Conventioanal Air Spray*

Dalam metode ini, cat dialirkan melalui suatu alat pengabut yang terdiri dari lubang pemasukan cat dan lubang pemasukan udara bertekanan.

Udara bertekanan yang dialirkan oleh kompresor dialirkan melalui lubang pemasukan. Cat yang ada ditabung akan terdorong keluar bersama udara bertekanan tersebut melalui lubang pengeluaran yang menjadi satu.

b. *Airless Spray*

Cat yang dikabutkan melalui alat penyemprot yang terdiri dari satu lubang dengan tekanan tertentu. Cat yang digunakan dimasukkan dalam tangki, dimana pada tangki tersebut udara bertekanan akan menekan cat. Penyemprotan dengan menggunakan alat ini sangat baik, karena pada waktu cat akan keluar dari ujung pistol tidak bercampur dengan udara.

c. *Airmix Spray*

Tujuan dari pengecatan ini adalah untuk mengkombinasikan antara kualitas hasil pengecatan yang baik pada metode *conventional spray* dan tingkat pengeluaran tingkat tinggi pada metode *airless spray*. Penekanan yang dihasilkan dan kemampuan menyelesaikan pekerjaan yang rumit lebih baik dibandingkan metode *conventioanl air spray* dan hasil akhir sama baiknya dengan metode *airless spray*. Tetapi metode ini membutuhkan waktu yang lama pada saat digunakan dan peralatan yang dibutuhkan lebih kompleks.

d. *Electrostatic Spray*

Metode ini berdasarkan pada prinsip partikel-partikel yang memiliki polaritas berbeda akan tertarik satu sama lain. Material yang akan dicat diberi arus positif dan partikel cat diberikan arus negatif. Metode ini memiliki kelebihan ekonomis yaitu dapat mengurangi jumlah cat yang dibutuhkan pada saat proses pengecatan

2.7. Cat

2.7.1 Komposisi Cat

Cat merupakan suatu produk yang berbentuk cair atau serbuk yang mengandung zat warna dan bahan tambahan serta dapat diaplikasikan untuk membentuk lapisan tipis pada permukaan material.

Cat pada dasarnya terdiri atas (Berendsen, 1989) :

1) Bahan dasar

Merupakan komponen cat yang setelah mengering akan menyatu secara koheren dengan material yang mana partikel bahan pewarna disebarkan pada permukaan untuk membentuk lapisan secara *uniform*. Jenis dan bahan dasar cat akan menentukan sifat-sifat tersebut. Sifat-sifat tergantung dari daya rekat, kekasaran, elastisitas dan kilap.

2) Pigmen

Walaupun pigmen tampaknya hanya memberikan warna kepada lapisan cat, sesungguhnya ada dua peran penting lain yang dimainkannya. Pertama, dalam lapisan primer pigmen mengendalikan proses korosi pada permukaan logam, entah dengan menghalangi reaksi atau menyediakan tumbal bagi logam yang dilindungi. Kedua, pada lapisan atas, pigmen-pigmen yang lembam menambah panjang lintasan difusi yang harus ditempuh oleh oksigen dan butir-butir air yang mencoba menembus selaput.

3) Pelarut

Bahan pelarut adalah cairan encer yang bening, digunakan untuk mengencerkan atau melarutkan bahan dasar dan bahan pewarna.

4) Bahan tambahan

Bahan tambahan mempercepat proses pengeringan.

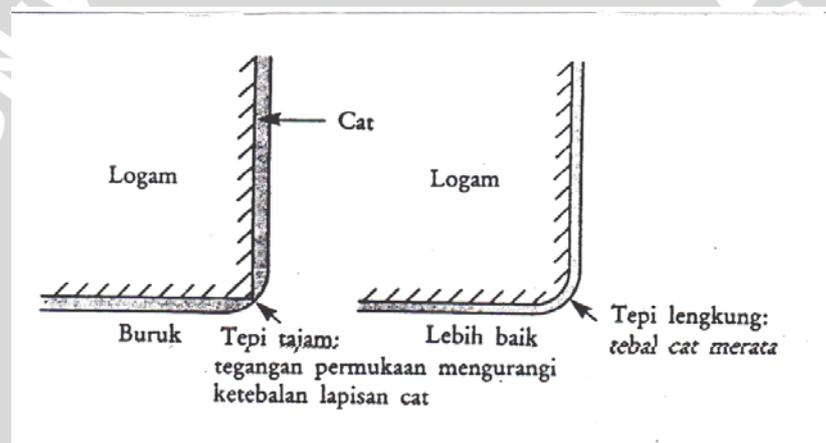
2.7.2. Karakteristik Cat

Lapisan cat kering yang tebalnya sekitar 0,1 mm diharapkan mempunyai umur panjang dan akan membatasi masuknya udara, butir-butir air dan ion-ion agresif ke permukaan logam. Meskipun banyak lapisan cat yang tidak dapat ditembus oleh ion-ion agresif seperti klorida, sulfat dan karbonat, namun belum ada lapisan cat yang sepenuhnya mampu menghalangi oksigen atau air. Bila tiba saatnya, oksigen atau air akan berhasil mencapai permukaan logam dengan demikian lapisan cat tidak mampu menghalangi reaksi katoda.

Lapisan cat bukan saja mengalami tegangan akibat temperatur permukaan yang berubah-ubah tetapi juga pemuai termal pada logam yang dilindungi. Perubahan-perubahan kelembaban relatif akan mendatangkan siklus basah-kering yang dapat menyebabkan cat melepuh atau rusak. Radiasi ultra ungu akan menurunkan mutu cat. Ion-ion agresif di udara yang terpolusi mungkin langsung menyerang cat atau

mengurangi pH air hujan yang jatuh ke permukaan cat. Ini dapat menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan kimia pada pigmen atau bahan pengikat yang berakibat terurainya lapisan cat. Ketika lapisan cat semakin tua, oksidasi yang terus-menerus terhadap bahan pengikat dan hilangnya lapisan mengkilap akan menambah permeabilitas cat dan cat mudah tererosi, akibatnya pigmen semakin banyak yang hilang.

Ketebalan lapisan cat kering harus merata di seluruh permukaan logam, termasuk pada pinggiran-pinggiran dan pojok-pojok, baut-baut, uliran-uliran terbuka, pada paku keling dan sambungan-sambungan. Bagaimanapun, tegangan permukaan selalu cenderung selalu mengurangi tebal cat pada sudut-sudut yang tajam, seperti tampak dalam gambar 2.6. Sejauh mungkin, pinggiran-pinggiran harus dibundarkan agar ketebalan cat disitu sama dengan bagian yang lain.



Gambar 2.6 : Efek tegangan permukaan terhadap ketebalan lapisan cat di sudut atau tepi yang tajam

Sumber : Trethewey, 1991: 252

2.7.3. Macam-macam Cat

Jenis cat dibagi menjadi beberapa kelompok yang masing-masing dinamai berdasarkan penggunaan cat atau bahan kimia pengikatnya. Dalam setiap kelompok tersebut, masih banyak lagi cat yang dapat diturunkan untuk mendapatkan sifat-sifat pelapisan khusus atau untuk menyesuaikan dengan metode penerapan tertentu. Beberapa kelompok tersebut diuraikan di bawah ini (Trethewey, 1991 : 253).

- Cat primer pra-fabrikasi

Cat ini dipakai untuk membersihkan, membebaskan baja dari karat untuk melindungi selama tahapan fabrikasi atau perakitan struktur yang memakan waktu sampai beberapa bulan. Cat primer biasanya terdiri dari bubuk seng atau besi oksida merah dengan resin epoksid sebagai pengikat. Cat ini mengering

dalam 2 hingga 3 menit sesudah diulaskan dan melindungi logam sampai selama 12 bulan.

- Cat primer pra-perlakuan

Cat ini digunakan untuk menyiapkan permukaan logam untuk menjamin diperolehnya adhesi serta unjuk kerja cat akhir yang baik. Perlindungan terhadap korosi yang diberikannya kepada logam terbatas, oleh karena itu harus segera diikuti pelapisan akhir begitu lapisan primer itu mengering. Cat ini mengering dalam waktu yang singkat sekali.

- Cat minyak

Minyak pengering nabati seperti minyak rami (*linseed*) atau minyak kayu (*tung oil*) merupakan bahan dasar cat ini. Pengeringnya yang melalui proses oksidasi berlangsung lama, karena itu cat harus dibiarkan sampai 48 jam sebelum ditimpa lapisan baru dan harus ditunggu selama 7 hari sebelum cat akhir diberikan.

- Cat oleoresin (*vernish*)

Minyak pengering dan resin alam atau sintetik dalam kelompok cat yang anggotanya sangat beragam ini digunakan untuk membentuk wahana. Resin berfungsi memperbaiki sifat-sifat pengeringan dan pengikatan lapisan minyak dan merupakan penyempurnaan dari cat minyak yang sederhana. Cat tipe resin fenolat tahan terhadap abrasi ketika diulaskan, permukaan tidak boleh lembab. Sebaliknya, tipe ter resin batubara masih bisa menerima permukaan agak lembab tetapi tidak tahan terhadap abrasi.

- Alkid

Pelapis ini banyak dipakai dan keragamannya terbatas. Bahan dasarnya adalah poliester, yang disisipkan dengan mereaksikan alkohol polihidrat dengan asam-asam lemak berbasa satu dan asam-asam berbasa dua. Komposisi cat ini biasanya terdiri dari etilena glikol, minyak rami dan anhidrida ftalat.

- Resin epoksid

Ini merupakan kelompok cat yang sangat beragam yang mengering melalui reaksi polimerisasi antara resin epoksid dan agen pengering. Kelompok besar ini dapat dibagi menjadi dua golongan. Golongan pertama mengering dengan cara peniupan (*air-drying*) dan golongan kedua dengan cara pemanggangan (*stoving*), masing-masing menggunakan jenis agen pengering yang berbeda-beda. Cat ini kuat dan memiliki daya tahan yang istimewa terhadap korosi.

- Epoksid ter batubara

Kombinasi ter batubara dan bahan dasar epoksid menghasilkan lapisan cat yang sangat kedap terhadap air serta tahan terhadap kebanyakan bahan kimia. Cat ini digunakan secara luas pada struktur-struktur yang terendam dalam air laut, kapal-kapal, anjungan minyak dan tiang-tiang pancang terutama bila logam dilindungi dengan proteksi katodik arus terpasang. Dalam hal ini, cat tahan terhadap serangan ion-ion hidroksil yang dihasilkan oleh reaksi katoda.

- Poliuretan

Ini merupakan kelompok cat yang mengering dengan cara polimerisasi, dengan reaktan-reaktan yang berupa agen pengering isosianta dan resin alkid poliester dan mungkin juga dengan pigmen-pigmen yang ditambahkan. Cat jenis ini mahal dan tidak dapat bekerja dengan baik apabila kelembaban terlalu tinggi atau permukaan logam basah ketika diulaskan. Bagaimanapun, apabila cat ini sudah mengering lapisannya sangat tahan terhadap air, keras, tahan terhadap abrasi dan tetap mengkilap meskipun sudah lama.

- Vinil

Cat dengan berbagai kopolimer ini juga sangat beragam, karena itu rentang penerapannya pun sangat luas. Jenis yang umum adalah kopolimer polivinil klorida atau polivinil asetat yang dimodifikasi dengan anhidrida maleat. Kopolimer ini dilarutkan dalam sebuah bahan pelarut dan cat mengering melalui pelarut tersebut. Bagaimanapun, sesudah kering cat ini selalu dapat larut dalam pelarutnya sehingga pelapisan ulang terhadap cat lama dapat dilakukan dengan mudah. Waktu yang dibutuhkan untuk mengering tidak lama, hanya 2 hingga 5 menit. Cat ini membentuk lapisan yang sangat efektif untuk struktur baja yang terendam dalam air. Kendati demikian, pengecatannya sulit dikerjakan dengan cara pengulasan, penyemprotan merupakan cara yang lebih umum.

- Karet diklorinasi

Cat ini dibuat dengan cara melarutkan karet terklorinasi ke dalam pelarut-pelarut khusus (aromatik). Adhesinya dengan logam yang dilindungi dan antara lapisan-lapisannya sendiri sangat baik serta kerusakannya pun mudah diperbaiki. Meskipun demikian, cat ini mudah menjadi lunak bila terkena minyak atau lemak.

- Cat berbahan pengikat air
Sebagai bahan pengikat, air memberikan sejumlah keuntungan. Yaitu murah, tidak terbakar, lekas kering dan biasanya menghasilkan adhesi yang baik antara cat dengan logam dan antara lapisan-lapisan. Cat ini juga dapat digunakan sebagai pelapis akhir di atas cat dasar yang banyak mengandung seng. Ventiasi yang memadai harus disediakan selama cat mengering agar kelembaban relatif pada permukaannya tetap rendah. Jika kelembaban relatif terlalu tinggi, akan banyak air yang terperangkap di bawah cat sehingga akan berakibat buruk terhadap hasil yang diperoleh.
- Seng anorganik
Lapisan ini pada dasarnya adalah kombinasi bubuk seng dan senyawa silikat kompleks, sedangkan sebagai pengikatnya adalah sistem air yang dapat larut dalam air atau sistem pelarut yang mengering sendiri. Lapisan yang dihasilkan kuat, tahan terhadap kikisan, melekat erat ke permukaan logam dan agaknya tidak terpengaruh oleh kerusakan cuaca. Pelapisan ulang juga mudah dikerjakan. Tergantung dari formulasi yang dibuat dan kondisi lingkungannya, cat ini mampu melindungi baja dari 10 hingga 40 tahun. Perlindungan dilakukan dengan cara menjadi tumbal, sampai produk korosi seng menyumbat semua pori-mikro pada lapisan itu sendiri.
- Cat anti pengotoran
Cat ini diberikan pada struktur yang terendam dalam air laut sebagai lapisan akhir. Cat anti pengotoran melepaskan racun ke dalam air untuk mencegah organisme hidup menempel pada struktur. Tembaga dan timah adalah dua jenis racun yang belakangan ini digunakan. Dalam cat, racun biasanya disertakan sebagai pigmen-pigmen yang kemudian akan terbasuh oleh bahan pengikatnya. Cat ini dengan demikian harus diformulasikan sedemikian sehingga mempunyai laju pelepasan yang cukup tinggi, tetapi tidak terlalu tinggi yang akan menyebabkan kehabisan racun sebelum saat pengecatan ulang tiba.

2.8. Kegagalan Cat

Penyebab utama kegagalan cat dalam kaitan dengan kondisi lingkungan adalah :

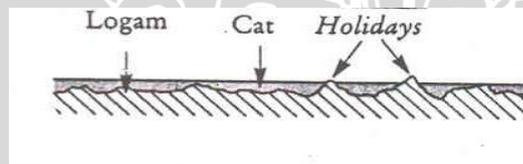
- a. Penyiapan permukaan yang buruk atau kurang memadai.
- b. Pengerjaan pelapisan cat dilakukan dalam kondisi udara yang tidak cocok atau metode yang digunakan tidak tepat.

Kebanyakan cat, terutama yang akan dihadapkan dengan lingkungan agresif, memberikan unjuk kerja lebih baik bila dipakaikan di atas permukaan yang telah dipersiapkan (Trethewey, 1991 : 261).

Untuk pekerjaan di udara terbuka, pembersihan permukaan dengan sikat kawat kurang memuaskan, karena bahan pengotor serta produk korosi yang cenderung aktif masih bisa tertinggal pada logam. Pembersihan yang memuaskan persiapannya untuk pengecatan diperoleh baik melalui perlakuan kimia, seperti pengasaman dengan cara pencelupan ke dalam larutan asam atau dengan *blasting* untuk menghilangkan lemak, debu dan produk korosi. *Blasting* khususnya *sand blasting* dapat dikombinasikan dengan penyemprotan air untuk membasuh semua debu, rontokan produk korosi dan pengotor-pengotor yang dapat larut dalam air sehingga adhesi cat tidak berkurang.

Profil permukaan yang dihasilkan sesudah badai pasir buatan itu penting sekali. Kalau terlalu kasar, puncak-puncak mikro yang ada akan mendapatkan pelapisan yang tipis atau bahkan tidak terlapsi. Akibatnya cat akan mengalami penetrasi dini.

Tebal cat dipengaruhi oleh kekasaran permukaan. Butir-butir pasir yang digunakan untuk mengampelas permukaan harus tepat ukurannya agar menghasilkan kekasaran yang merata sehingga lubang-lubang kecil (*holidays*) tidak terjadi, hal ini dapat dilihat pada gambar 2.7.



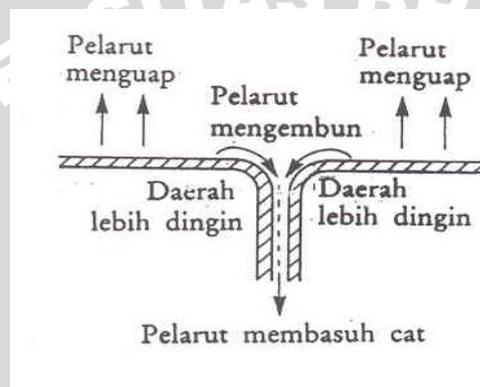
Gambar 2.7 : Lubang-lubang kecil (*holidays*)
Sumber : Trethewey, 1991 : 262

Agar mencapai umur yang memuaskan, cat harus dipakaikan dalam kondisi udara yang tepat. Jika kelembaban relatif terlalu tinggi, selaput tipis air yang tidak kelihatan akan mencegah pelekatan secara baik ke permukaan logam dan akan mempengaruhi keterpaduan lapisan cat kering yang terbentuk. Temperatur lingkungan berpengaruh terhadap lama pengeringan. Penguapan pelarut bisa lambat pada temperatur yang sangat rendah dan ada cat kemasan ganda yang tidak dapat mengering bila temperatur kurang dari suatu harga tertentu

Temperatur yang berbeda pada bagian-bagian tertentu sebuah komponen, terutama bila cat harus dipanaskan atau dipanggang dalam oven untuk mempercepat

atau menuntaskan proses pengeringan, dapat menyebabkan pelarut yang menguap di satu bagian, namun justru mengembun lagi di sebelahnya. Yakni apabila permukaan di situ lebih rendah dan di bawah titik embun pelarut. Cat yang larut dalam pelarut hasil pengembunan tadi akan bergerak menuju tempat yang lebih rendah dan meninggalkan bekas berupa gurat-gurat bila sudah kering. Tentu saja, di situ lapisan pelindung menjadi lebih tipis.

Dalam tungku pemanas, lapisan di bagian sambungan yang dua kali lebih tebal lebih lambat menjadi panas. Apabila temperatur di sambungan lebih rendah dari titik embun pelarut, pelarut yang telah menguap mengembun kembali di situ dan mencuci cat, hal ini dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 : Pencucian oleh pelarut
Sumber : Trethewey, 1991 : 262

2.9. Uji Tebal Lapisan

Uji mutu dilakukan untuk mengetahui kualitas dari hasil pelapisan dan menjamin ketahanan suatu produk selama masa penggunaannya. Mutu produk tidak hanya dipengaruhi oleh mutu bahan bakunya, tetapi proses pelapisan juga mempengaruhi kualitas lapisan. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui mutu *coating* adalah uji tebal lapisan dan uji kualitatif berdasarkan daya adhesifitas ataupun berdasarkan kemampuan lapisan menahan beban benturan, tarikan atau tekukan.

Tebal lapisan merupakan salah satu faktor penting yang berkaitan dengan kemampuan *coating* untuk melindungi logam dari serangan korosi. Tebal yang biasa dikemukakan adalah tebal minimum atau tebal rata-ratanya. Uji tebal lapisan dapat dilakukan dengan cara destruktif, semi destruktif dan non-destruktif. Cara destruktif dilakukan dengan simakan mikroskop sedangkan cara non-destruktif dapat menggunakan mikrometer, memakai mikroskop dan analisa kimia. Tebal rata-rata dihitung dengan rumus (Hartomo, 1992 : 145) :

$$T = \frac{W1 - W2}{A} \times \frac{10000}{\rho} \quad (2-8)$$

dengan :

- T = tebal rata-rata hasil pelapisan, μm
 W1 = berat akhir spesimen yang telah dilapisi, gr
 W2 = berat spesimen sebelum dilapisi, gr
 A = luas total seluruh permukaan yang dilapisi, cm^2
 ρ = berat jenis pelapis, gr.cm^{-3}

2.10 Hipotesa

Dengan jarak penyemprotan yang semakin kecil serta tekanan penyemprotan yang semakin besar dalam proses *Sand Blasting*, akan menyebabkan permukaan yang terbentuk semakin kasar. Permukaan yang lebih kasar menyebabkan peluang lebih besar untuk bereaksi dengan cat, sehingga lapisan yang terbentuk semakin tebal. Dengan lapisan cat yang tebal akan menurunkan laju korosi, hal ini disebabkan karena elektron akan sulit menembus pori-pori lapisan sehingga reaksi korosi sulit terjadi.

