

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Korosi dan Jenis-Jenis Korosi

2.1.1. Pengetrian korosi

Korosi atau Perkaratan berasal dari bahasa latin "*Corrodere*" yang berarti merusakkan logam. Korosi didefinisikan sebagai peristiwa penurunan mutu atau paduan logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Berdasarkan definisi di atas, maka ada beberapa aspek yang berkaitan dengan korosi (Trethway, K.R., Chamberlain, J., (1991).

- a) Korosi dapat terjadi pada logam, baik logam ferrous maupun logam non ferrous.
- b) Adanya penurunan mutu logam adalah suatu yang tidak diharapkan, dimana korosi adalah suatu yang hal harus dikendalikan, meskipun tidak dapat dihilangkan.
- c) Penurunan mutu logam tidak hanya melibatkan reaksi kimia, tetapi juga reaksi elektrokimia, yaitu bahan-bahan yang bersangkutan terjadi perpindahan elektron. Elektron adalah suatu yang bermuatan negatif, maka proses pengangkutannya memerlukan potensial listrik yang berakibat pada timbulnya arus listrik.
- d) Korosi biasanya terjadi karena ada lingkungan yang mempengaruhinya. Oleh karena itu, pengelolaan lingkungan yang menjadikan kurang agresif terhadap serangan korosi akan bermanfaat untuk membatasi serangan

Atom logam yang mengalami proses korosi, akan berubah menjadi sebuah ion setelah melalui reaksi oleh suatu unsur yang ada dilingkungannya.

Dengan menggunakan simbol M untuk atom logam, maka proses korosinya secara umum dapat ditulis sebagai berikut :



Degan :

M = atom logam

n = valensi atom

Secara sederhana dapat diterangkan bahwa atom logam M yang mengalami reaksi korosi akan melepaskan elektron yang besarnya menyesuaikan diri dengan harga valensi n (dimana n dapat bernilai 1,2 atau 3).

2.1.2 Mekanisme Korosi

Menurut Fontana, M.G (1987), reaksi-reaksi elektrokimia yang terjadi selama berlangsungnya proses korosi terbagi atas 2 (dua) :

- a) Reaksi Anoda (reaksi oksidasi) adalah reaksi yang menghasilkan elektron. Selain itu, reaksi anoda juga menyebabkan terjadinya reaksi oksidasi sekaligus penyebab terjadinya korosi. Reaksi anoda pada korosi merupakan reaksi oksidasi logam menjadi ion logam. Reaksinya adalah :

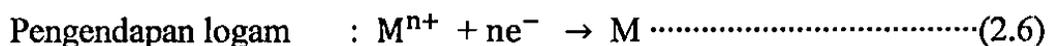


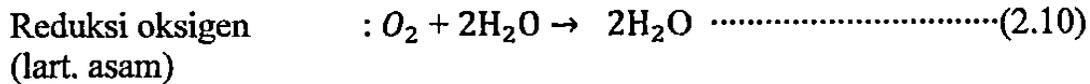
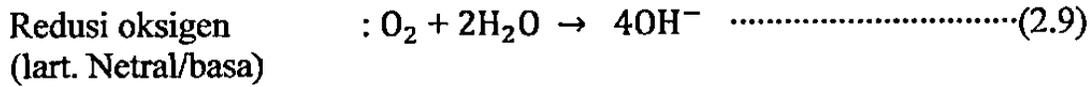
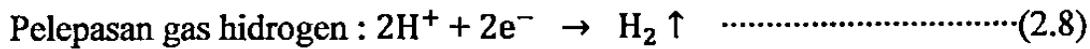
Contohnya :



Pada masing-masing reaksi, jumlah elektron yang diproduksi = muatan elektron.

- b) Reaksi Katoda (reaksi reduksi), adalah reaksi yang mengkonsumsi elektron . reaksi katoda menyebabkan terjadinya reaksi reduksi dan pada umumnya tidak mengalami korosi. Reaksinya adalah :





Pengendapan logam dan reduksi ion logam adalah reaksi yang kurang umum dan ditemukan pada proses kimia yang mengalir. Pelepasan gas hidrogen adalah reaksi katoda umum yang terjadi sejak dilarutkan dalam media elektrolit. Reduksi oksigen adalah sangat umum, terjadi ketika larutan melakukan kontak dengan udara. Semua reaksi diatas adalah sama, yaitu sama-sama mengkonsumsi elektron. dalam proses korosi, dapat terjadi lebih dari satu proses oksidasi dan reduksi.

Peristiwa korosi dapat terjadi jika antara anoda dan katoda terdapat kontak listrik agar arus dalam kontak korosi dapat mengalir. Untuk itu diperlukan media elektrolit yang mampu menghantarkan arus listrik. Di anoda terjadi oksidasi atau pelepasan elektron dan di katoda terjadi reduksi atau pengikatan elektron, proses korosi ini bisa berlangsung jika proses pelepasan dan pengikatan elektron berjalan secara simultan, jadi pada setiap proses korosi terjadi reaksi oksidasi atau pelepasan elektron oleh logam, bagian yang mempunyai potensial lebih rendah akan menjadi anoda sedangkan yang memiliki potensial lebih tinggi akan menjadi katoda (Dexter, S.C, 1995). Proses pelepasan elektron oleh logam akan makin cepat jika permukaan logam ada kontak dengan zat-zat yang mudah tereduksi atau mudah menangkap elektron dari logam tersebut (Yudi, N, 1997).

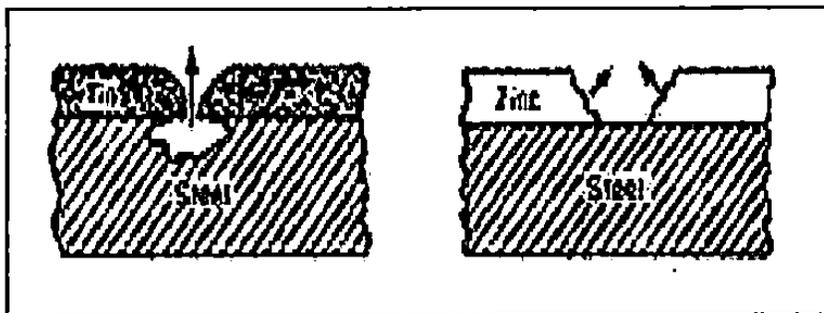
2.1.3. Jenis-Jenis korosi

Adapun beberapa jenis korosi yang umum terjadi pada logam, Ditinjau dari bentuk produk atau prosesnya, secara umum korosi dapat dibedakan jenisnya, antara lain : korosi galvanik (*Bemetal Corrosion*), Korosi sumuran (*Pitting Corrosion*), Korosi Galah (*Creviss Corrosion*), Korosi Seragam/merata (*Uniform*

Corossion), Korosi Erosi (*Erosion Corossion*), dan lain sebagainya (Trethway, K.R., Chamberlain, J., (1991).

1. Korosi Galvanis (*Bemetal Corrosion*)

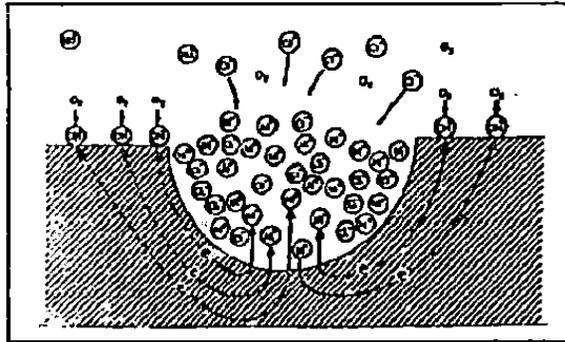
Korosi galvanis ini disebut juga korosi dwilogam yang merupakan perkaratan elektrokimiawi apabila dua macam metal yang berbeda potensial dihubungkan langsung di dalam elektrolit yang sama. Elektron akan mengalir dari metal yang kurang mulia (anodik) menuju ke metal yang lebih mulia (katodik). Akibatnya metal yang kurang mulia berubah menjadi ion-ion positif karena kehilangan elektron. Ion-ion positif metal bereaksi dengan ion-ion negatif yang berada di dalam elektrolit menjadi garam metal. Karena peristiwa ini, permukaan anoda kehilangan metal sehingga terbentuk sumur-sumur karat atau jika merata akan terbentuk karat permukaan. Korosi galvanik pada besi yang dilapisi oleh timah dan seng, anak panah menunjukkan serangan korosi seperti di tunjukkan oleh Gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2.1. Mekanisme korosi galvanik (Fontana, M.G, 1987)

2. Korosi sumuran (*Pitting Corossion*)

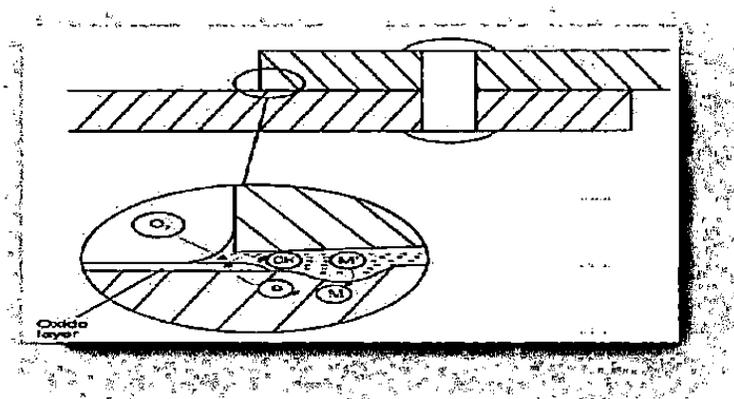
Korosi sumuran bisa juga dikatakan korosi yang membentuk bintik-bintik atau lubang jarum. Proses korosinya terbatas pada satu lokasi dan berusaha menembus ke dalam logam atau material. Penyebab utamanya adalah ion-ion klorida. Bila lapisan pelindung korosi pecah atau gagal maka akan menyebabkan korosi secara lokal dan mekanisme yang dapat mempercepat proses korosi dengan adanya oksigen, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.2 berikut ini



Gambar 2.2. Mekanisme korosi sumuran (Fontana, M.G, 1987)

3. Korosi Celah (*Crevice Corossion*)

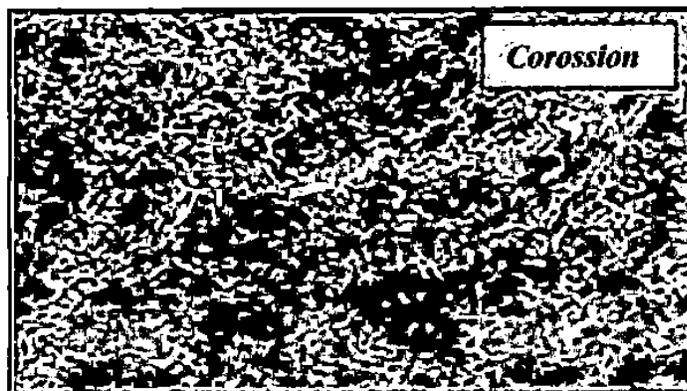
Korosi yang terjadi pada logam yang berdempetan dengan logam lain atau non logam dan diantaranya terdapat celah yang dapat menahan kotoran dan air sebagai sumber terjadinya korosi. Konsentrasi oksigen pada mulut lebih kaya dibandingkan pada bagian dalam, sehingga bagian dalam lebih anodik dan bagian mulut menjadi katodik. Maka terjadi aliran arus dari dalam menuju mulut logam yang menimbulkan korosi. Gambar 2.3 menunjukkan mekanisme terjadinya korosi celah.



Gambar 2.3. Mekanisme korosi celah (Fontana, M.G, 1987)

4. Korosi Sragam/merata (*Uniform Corossion*)

Korosi merata adalah korosi yang menyerang permukaan logam. Prosesnya terjadi secara merata pada permukaan yang akan menimbulkan penipisan material/logam dan laju penipisannya berlangsung secara bertahap seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4 dimana korosi merata terjadi pada permukaan pelat



Gambar 2.4. Mekanisme korosi merata (Trethway, K.R., Chamberlain, J., 1991)

5. Korosi Erosi (*Erosion Corossion*)

Salah satu bentuk korosi yang timbul ketika terserang akibat gerak relatif antara elektrolit dan permukaan logam, meskipun terdapat proses-proses elektrokimia juga berlangsung di dalamnya. banyak contoh bentuk korosi ini yang terutama disebabkan oleh efek-efek mekanik seperti pengausan, abrasi dan gesekan. Logam-logam lunak khususnya mudah terkena serangan macam ini, misalnya, tembaga, kuningan, aluminium murni, dan timbal, tetapi kebanyakan logam lain juga rentan terhadap korosi erosi, namun dalam kondisi-kondisi aliran tertentu. Berikut ini merupakan contoh korosi erosi yang terjadi pada bagian dalam pipa yang disebabkan oleh aliran laminar maupun turbulensi dari fluida yang mengalir di dalamnya.

Kombinasi dari fluida korosif dan kecepatan aliran fluida yang tinggi akan menghasilkan korosi erosi. Aliran fluida yang lambat atau stagnan akan menyebabkan nilai korosi rendah, tetapi gerakan yang cepat dari fluida korosif akan tererosi dan menghilangkan lapisan tipis pelindung korosi dan membuka paduan reaktif dibawahnya dan mempercepat laju korosi, seperti di tunjukkan pada Gambar 2.5 berikut ini



Gambar 2.5. Mekanisme korosi erosi pada diameter dalam pipa (Fontana, M.G., Greene, N.D, 1978)

Kavitasi (*cavitation*) adalah keadaan khusus dari korosi erosi, terjadi ketika kecepatan sangat tinggi dan terjadi penurunan tekanan dalam aliran sehingga menimbulkan gelembung uap dan merusak permukaan. Kavitasi terjadi pada *turbin blade*, *impeler* pompa, *impeller* kapal dan pada tabung atau pipa yang ada perubahan tekanan yang besar.

2.1.4. Faktor penyebab terjadinya korosi

Menurut Ferry, R.D, (1984), dalam proses korosi terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya korosi, yaitu :

1. Pengaruh Lingkungan Terhadap korosi

Dalam pembahasan mengenai aspek lingkungan, sebenarnya bertolak dari media korosif itu sendiri dan perubahan yang mungkin terjadi pada media tersebut. Media korosif di lingkungan logam sangat menentukan laju korosi logam tersebut, media korosif itu bisa digolongkan dalam tiga bentuk yaitu berupa gas, cairan atau padatan.

2. Kelembaban Relatif

Logam dilingkungan udara mengalami korosi karena adanya uap air dipermukaan akibat proses pengembunan dimana pengembunan yang terjadi pada permukaan logam akan membentuk kolam-kolam elektrolit yang akan menyebabkan korosi. Kelembapan relatif yang dianjurkan adalah sekitar 30% - 40%, apabila ada sisa produk korosi yang menempel pada permukaan logam maka, karat tersebut akan menyerap air sehingga pada tempat tersebut akan menjadi lembab yang berakibat laju korosi akan meningkat

3. Temperatur

Secara umum kenaikan temperatur menyebabkan kenaikan laju korosi biasanya kenaikan tiap 10°C laju reaksi akan meningkat hampir dua kali lipat. Oleh sebab itu temperatur harus dikendalikan secara optimum, relatif terhadap kondisi yang ada, dengan sistem pengkondisian perlu dicatat bahwa temperatur dibawah titik embun (*dew poin*) menyebabkan udara menjadi jenuh uap air sehingga memungkinkan terjadinya titik embun pada permukaan logam dan terjadi korosi lokal. Namun pada kenyataannya tidak jarang pemanasan ruangan digunakan untuk mengurangi kelembaban, selama temperatur tidak menjadi penyebab utama laju korosi untuk kondisi yang ada, hal ini diperbolehkan. Karena kelembaban yang tinggi lebih berbahaya bila dibandingkan dengan temperatur dalam hal proses korosi.

4. pH

Pengaruh pH terhadap kondisi laju korosi logam besi akan sangat bergantung pada komposisi logam, tegangan konsentrasi O_2 , dan tipe asam yang mengontrol pH. Dalam larutan basa kuat, reaksi korosi dalam kondisi *anodic-controlled* dan berlangsung dengan laju tinggi.

Dalam larutan basa lemah atau netral, laju korosi dalam kondisi *cathodic-controlled* dan dapat memproduksi korosi. Besi hidroksida memberikan lapisan protektif pada permukaan logam. Laju korosi aktual bergantung pada difusi oksigen pada permukaan logam. Laju korosi akan semakin meningkat seiring dengan kenaikan laju konsentrasi oksigen, partikel abrasiv dan aliran turbulen, aliran kecepatan tinggi.

5. Bahan Pengotor dan Komposisi Media

Bahan pengotor pada media korosif bisa berupa Karbondioksida (CO_2), Silfurdiodoksida (SO_2), sulfurtriodoksida (SO_3), senyawa nitrat, asam belerang, ion-ion sulfur, ion-ion klorida. Bahan pengotor mempunyai sifat mempercepat laju korosi karena dapat menurunkan pH (menaikkan derajat keasaman) media korosif.

6. Kecepatan Elektrolit

Secara umum laju korosi meningkat seiring dengan kenaikan kecepatan media korosif kecuali untuk beberapa kondisi media korosif yang dikontrol oleh polarisasi aktivasi (media korosi yang spesies aktifnya tinggi).

7. Metalurgi

- Permukaan logam

Permukaan logam yang lebih kasar akan menimbulkan beda potensial dan memiliki kecenderungan untuk menjadi anode yang terkorosi (permukaan logam yang kasar cenderung mengalami korosi).

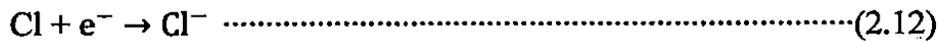
- Efek *Galvanic Coupling*

Kemurnian logam yang rendah mengindikasikan banyaknya atom-atom unsur lain yang terdapat pada logam tersebut sehingga memicu terjadinya efek *Galvanic Coupling* , yakni timbulnya perbedaan potensial pada permukaan logam akibat perbedaan E° antara atom-atom unsur logam yang berbeda dan terdapat pada permukaan logam dengan kemurnian rendah. Efek ini memicu korosi pada permukaan logam melalui peningkatan reaksi oksidasi pada daerah anoda.

2.1.5. Reaksi elektrokimia yang terjadi pada proses korosi

Reaksi elektrokimia yang terjadi pada proses korosi melibatkan banyak molekul, tiap molekul mengandung atom-atom, dan tiap-tiap atom mengandung ion-ion. Sebagai contoh adalah bentuk dasar dari oksigen, molekul oksigen terbentuk dari dua atom unsur oksigen (O_2), angka dua menunjukkan jumlah atom dari oksigen. Atom terdiri atas awan elektron, yaitu partikel-partikel yang sangat kecil dengan massa yang dapat diabaikan dan masing-masing bermuatan negatif satu, elektron mengitari sebuah inti yang bermuatan positif. Inti inilah yang memiliki massa dan terdiri dari *neutron* dan *proton*. Jika atom-atom berubah menjadi ion-ion yang bermuatan listrik, maka ion-ion ini akan memiliki sifat yang berbeda dari dari masing-masing atom.

Hal tersebut dapat dijelaskan dengan menggunakan molekul natrium klorida, yaitu reaksi-reaksi yang menggambarkan pembentukan garam dapur seperti di tunjukkan pada persamaan 2.11 dan 2.12 sebagai berikut:



Persamaan 2.11 menyatakan bahwa sebuah atom natrium menyerahkan sebuah elektron untuk membentuk ion natrium bermuatan positif, persamaan 2.12 menyatakan bahwa sebuah atom klorin akan menerima sebuah elektron untuk membentuk atom klorida bermuatan negatif. Reaksi-reaksi seperti persamaan 2.11 disebut reaksi oksidasi, sedangkan pada persamaan 2.12 disebut reaksi reduksi, (Dexter, S.C, 1993).

2.1.6. Pengendalian korosi

Korosi telah didefinisikan sebagai penurunan mutu logam oleh reaksi elektro kimia dengan lingkungannya. Dikebanyakan situasi praktis serangan korosi ini tidak dapat dicegah secara sempurna, akan tetapi kita hanya dapat berupaya mengendalikannya sehingga struktur atau komponen dari suatu bahan mempunyai masa pakai (*life time*) yang lebih panjang.

Setiap komponen atau suatu produk pasti akan mengalami tiga tahapan utama yaitu perancangan, pembuatan dan pemakaian (yang termasuk didalamnya adalah usia pakai). Ketidak berhasilan salah satu dari aspek-aspek pengendalian korosi akan mengakibatkan kegagalan prematur.

Trethway, K.R., Chamberlain, J., (1991), mengungkapkan beberapa cara yang penting dalam pengendalian korosi antara lain :

1. Modifikasi Rancangan

Cara ini dapat dilakukan dengan menghindari semua sel korosi dwi logam yang tidak perlu, dan menghindari sel-sel aerasi differensial. Sebagian daerah elektrolit yang rendah kandungan oksigennya akan membuat permukaan logam didekatnya bersifat anoda, sementara yang kandungan oksigennya lebih tinggi membentuk katoda. Rancangan konstruksi yang

kurang baik akan menyebabkan terperangkapnya air, debu atau kotoran lainnya yang dapat mengarah ke kegagalan dini. Oleh karena itu disarankan pada saat merancang suatu produk akan sangat perlu mempertimbangkan faktor kemungkinan kegagalan yang akan disebabkan oleh korosi.

2. Modifikasi Lingkungan

Usaha-usaha yang akan dilakukan dalam modifikasi lingkungan ini biasanya dilakukan dengan beberapa cara antara lain :

a. Mengatur suhu, mengurangi banyaknya unsur-unsur yang menyebabkan korosif, mengurangi kandungan oksigen, serta mengatur pH.

b. Memberikan suatu inhibitor

Inhibitor merupakan suatu zat yang ditambahkan kedalam lingkungan yang korosif dalam jumlah kecil, akan mengurangi laju korosi (Fontana, 1986). Penurunan laju korosi oleh inhibitor dapat diakibatkan oleh terbentuknya lapisan pasif atau dengan cara menghilangkan zat-zat yang agresif dari lingkungan.

3. Pemberian Lapisan Pelindung

Pelindungan terhadap logam dengan cara menerapkan pelapisan yang pada hakekatnya adalah melindungi logam dari sekelilingnya sehingga pertukaran ion antara permukaan logam dengan sekelilingnya dapat dikendalikan.

4. Pemilihan Bahan

Pemilihan material yang tidak tepat dapat menimbulkan kegagalan dini dari suatu peralatan/instalasi berikut akibatnya terhadap aspek keselamatan dan pembiayaan. Pemilihan material yang tepat, bila dikaitkan dengan konsep di atas adalah pemilihan logam atau paduan yang sedemikian rupa sehingga pertukaran ion dengan lingkungannya tidak berlangsung dengan cepat, atau dengan memilih logam/paduan yang perbedaan potensialnya dengan lingkungan tidak terlalu besar

5. Proteksi Katodik dan Anodik

Proteksi katodik menjadikan logam tersebut katodik agar terjadi reaksi reduksi (tidak terjadi korosi), sedangkan proteksi anodik dapat dilakukan dengan menaikkan potensial logam menjadi lebih baik.

2.1.7. Proteksi Katodik dan Anodik

a) Proteksi Katodik

Proteksi katodik merupakan salah satu cara untuk mengendalikan laju korosi. Korosi secara umum tidak dapat dihilangkan, tetapi dapat dikurangi ataupun diperlambat proses laju korosinya. Proteksi katodik sangat luas penerapannya khususnya untuk baja karbon. Dengan adanya proses katodik ini sangat membantu berbagai industri, seperti pada industri perkapalan dan penyaluran minyak yang menggunakan pipa yang terendam dalam tanah maupun struktur yang berada di lingkungan air laut.

Proteksi katodik dapat dicapai dengan mengalirkan arus listrik, sehingga akan menahan arus listrik yang akan mengalir dari daerah anoda (korosi). Arus proteksi dapat dihasilkan dari metal yang bersifat lebih elektronegatif seperti magnesium, seng dan aluminium atau dari pasokan arus searah (DC) dari luar. Apabila arus yang dihasilkan dari metal yang bersifat lebih elektro negatif disebut dengan metoda anoda korban (*sacrificial anoda*), sedangkan arus yang dialirkan dari pasokan arus listrik searah (DC) dari luar disebut dengan metode arus terpasang (*impressed current*).

Unsur yang paling penting dalam dalam pemakaian sistem proteksi katodik adalah kemampuan untuk mencapai tingkat suatu proteksi. Tingkat proteksi dapat diketahui dengan mengukur potensial permukaan logam tersebut.

Dengan mengubah potensial permukaan menjadi lebih negatif menggunakan system proteksi katodik, korosi akan terhindar secara efektif, karena arus proteksi katodik menuju kesemua tempat pada permukaan logam dan akan menahan semua arus listrik (arus korosi) yang akan keluar menuju elektrolit.

1. Metode Anoda Korban (*sacrificial anode method*)

Metode katodik dengan sistem anoda tumbal dapat dijelaskan dengan prinsip sel galvanik. Dalam suatu sel galvanik anoda yang terkorosi, sedangkan katoda tidak terkorosi. Dalam proteksi katodik dengan metode anoda tumbal logam yang diproteksi diatur agar berperan sebagai katoda dalam suatu sel korosi dan pasangan yang ditempelkan adalah logam lain yang memiliki potensial potensial elektroda yang lebih negatif sehingga berperan sebagai anoda.

Derajat metode ini tergantung dari perbedaan potensial antara logam yang diproteksi (katoda) dan logam yang memproteksi (anoda), mengikat prinsip perlindungannya berdasarkan pemberian elektron dari anoda korban kepada logam yang diproteksi, dimana arus elektron ekuivalen dengan arus proteksi.

Prinsip perhitungan proteksi anoda tumbal berdasarkan pada luasan permukaan dan jenis logam yang diproteksi serta jenis logam anoda sebagai tumbalnya. Beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja anoda adalah : komposisi paduan, *impurities*, penambahan paduan, faktor metalurgi, dan faktor lingkungan (Fontana, M.G, 1987).

Impurities juga dapat mempengaruhi kinerja katoda. Misalnya *impurities* yang terdapat pada hampir semua anoda yakni Fe. Unsur Fe akan menjadi pengganggu dikarenakan terbentuknya senyawa intermetalik antara Fe dan logam yang akan diproteksi. Kehadiran senyawa ini menurunkan kapasitas dari anoda dan juga menaikkan dan juga menaikkan operasi dari anoda sehingga mempercepat terbentuknya lapisan *passivasi*.

Faktor metalurgi yang dapat mempengaruhi kinerja anoda disebabkan oleh pembuatan atau proses produksi. Pada saat produksi banyak sekali faktor yang sulit dikontrol yang menyebabkan terjadinya kegagalan. Kegagalan yang paling sering terjadi adalah pada saat pending terjadi tegangan sisa sehingga menyebabkan anoda terjadi *cracking*.

Faktor lingkungan yang mempengaruhi kinerja anoda adalah lingkungan dimana anoda bekerja. Misalnya anoda aluminium mengalami penurunan kapasitas di laut lepas pada temperatur diatas 70°C.

Beberapa persyaratan yang perlu diperhatikan dalam pemilihan anoda korban antara lain :

1. Beda potensial antara anoda korban dan struktur yang dilindungi harus besar
2. Anoda korban harus mempunyai kandungan arus energi yang cukup, agar anoda mempunyai umur yang panjang dalam melindungi suatu struktur
3. Anoda korban mempunyai efisiensi yang baik, artinya anoda tersebut akan mampu menghasilkan arus yang besar untuk melindungi struktur, sedangkan massa yang dikonsumsi akibat reaksi korosi relatif lebih kecil bila dibandingkan dengan reaksi yang disebabkan oleh lingkungan.

Ada tiga jenis anoda korban yang umum digunakan dalam praktiknya yaitu paduan magnesium (Mg), paduan seng (Zn), dan paduan aluminium (Al). Penggunaan anoda besi sangat jarang dipakai untuk memproteksi baja tahan karat.

Keuntungan dari metode anoda korban adalah dapat bekerja (digunakan) walaupun tidak ada sumber arus listrik dari luar, tidak mengeluarkan tambahan biaya khususnya untuk komponen penyuplai arus listrik, pemakaiannya sangat mudah dan murah, dan pengawasannya juga cukup mudah karena arus yang terpakai juga tidak begitu besar. Sedangkan kerugiannya yaitu arus yang tersedia sangat bergantung pada luasan anoda, bersifat lebih konsumtif bila struktur yang diproteksi cukup besar, dan apabila ada sumber arus DC maka energi yang dibutuhkan dapat tersedia dengan biaya lebih murah.

2. Proteksi Katodik dengan Arus Terpasang (*Imperessed current*)

Seperti pada proteksi dengan metode anoda tumbal, proteksi katodik dengan dengan metode *Imperessed current* dicapai dengan menyuplai elektron ke struktur logam yang diproteksi. Dengan suplai elektron ke struktur yang diproteksi, maka akan cenderung menekan dissolusi logam dan meningkatkan laju evolusi hidrogen.

Tetapi yang membedakan proteksi katodik dengan anoda tumbal (korban) dengan proteksi arus terpasang adalah pada proteksi katodik dengan anoda tumbal elektron untuk katoda dipasok dari anoda korban sedangkan pada proteksi

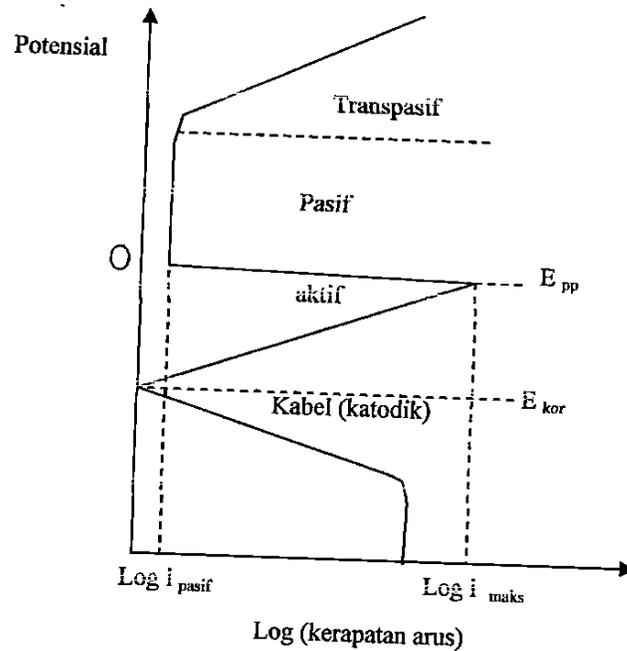
katodik dengan arus terpasang (*Impressed current*), elektron dipompakan oleh tegangan DC (*rectifier*) sebagai sumber elektronnya.

Penerapan system proteksi ini sama dengan proteksi dengan anoda korban yaitu dengan parameter, dihitung luas permukaan struktur yang akan diproteksi, kemudian ditentukan arus proteksi yang diperlukan. Anoda untuk proteksi ini disebut *Ground bed*, yang pemilihannya tergantung dari penggunaan dan jenis media pengkorosi.

Keuntungan dari sistem proteksi dengan arus terpasang adalah kapasitas arus yang dibutuhkan tidak teragantung faktor internal (karena arus diberikan dari luar), ringan, mudah dan murah. Akan tetapi kerugiannya meliputi distribusi arus yang kurang merata karena anodanya sedikit sehingga akan timbul resiko proteksi berlebih, penggantian anoda sulit, peralatan kurang sederhana karena ada kabel-kabel terpasang dan resiko kerusakan dari komponen peralatan cukup besar, karena berada pada lingkungan yang korosif dan juga kemungkinan akan timbul pemasangan kutup yang terbalik.

b) Proteksi Anodik

Prinsip proteksi anodik adalah pemberian potensial pada baja sehingga logam terpolarisasi secara anodik dari potensial korosi bebasnya yang dapat menyebabkan timbulnya selaput pasif sehingga dapat melindungi logam dari serangan korosi, dan tentu saja agar dapat memberikan perlindungan selaput itu harus sekali dan tahan terhadap kerusakan mekanik. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 yaitu prinsip proteksi anodik pada baja, skema pengulasan potensiodinamik untuk bahan yang memperlihatkan sifat pasif



Gambar 2.6. Prinsip proteksi anodik pada baja, skema pengulasan p otensiodinamik untuk bahan yang memperlihatkan sifat pasif (Trethway, K.R., Chamberlain, J., 1991)

Dari gambar 2.6 yaitu pengeplotan terhadap $\log i_{maks}$ yang mendapatkan perlakuan, dimana pada titik O menyatakan kondisi korosi secara bebas, kurva pada potensial yang lebih negatif daripada E_{kor} menggambarkan logam dalam kondisi katodik. Apabila potensial dibuat semakin positif dibanding E_{kor} , kerapatan arus meningkat sampai suatu harga maksimum, i_{maks} , tetapi secara tiba-tiba turun keharga sangat rendah, i_{pas} .

Dalam pengertian praktis, pada titik i_{pas} logam mencapai kondisi pasif karena terlindung dengan baik sekali oleh selaput produk korosi. Penambahan potensial lebih lanjut hamper tak menimbulkan pengaruh, sampai pada potensial yang cukup tinggi energi bebas yang tersedia untuk korosi melebihi kemampuan proteksi, dimana selaput pecah dan korosi mengalami percepatan lagi, daerah ini disebut daerah transpasif.

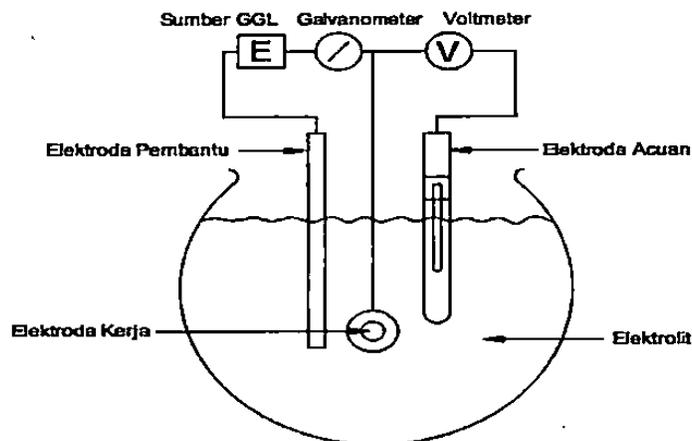
2.1.8. Laju Korosi

Menurut Jones, D.A., (1991), laju korosi diukur dengan 2 cara yaitu hilangnya berat per satuan waktu atau hilangnya ketebalan persatuan waktu. Baik tidak ada suatu bahan terhadap korosi (berlaku untuk korosi merata = *uniform attack*) dapat digolongkan menjadi 3 kelas :

- a. Kurang dari 5 mpy (1 mils per year = 0,001 inch), logam-logam yang termasuk didalam kelompok ini memiliki daya tahan yang tinggi terhadap korosi, sehingga logam-logam tersebut baik digunakan untuk bagian-bagian dari komponen mesin, misalnya poros pompa, baling-baling, pegas dan lain-lain.
- b. 5–50 mpy, logam dari kelompok ini dianggap memadai bila bagian-bagian peralatan dibuat dari logam ini diperbolehkan menanggung laju korosi yang lebih tinggi. Bagian-bagian tersebut, misalnya : pipa, tangi, dan lain-lain.
- c. Lebih dari 50 mpy, logam-logam dalam kelompok ini sebaiknya tidak digunakan karena sangat rentan terhadap korosi.

Korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (Trethway, K.R., Chamberlain, J, 1991), dan berlangsung secara perlahan-lahan tapi pasti. Tidak ada bahan atau peralatan yang dapat terhindar dari proses korosi, semuanya dalam jangka waktu tertentu akan rusak karena korosi. Manusia hanya berupaya mengendalikan sehingga bahan yang terbuat dari logam tersebut mempunyai masa pakai lebih panjang.

Laju krosi diuji menggunakan alat Galvanostat PGS-201T (Alat uji korosi potensial dengan metode tiga elektroda) dan didasarkan dengan pendekatan ekstrapolasi tafel. Sel tiga elaektroda adalah perangkat laboratorium baku untuk penelitian kuantitatif terhadap sifat-sifat korosi bahan. Sel tiga elektroda pada Gambar 2.7 ini merupakan penyempurnaan dari sel korosi basah dan dapat digunakan dalam berbagai macam percobaan korosi (Trethway, K R



Gambar 2.7. Skema alat uji korosi tipe sel tiga elektroda (Trethway, K.R., Chamberlain, J., 1991)

Komponen-komponen metode sel tiga elektroda yaitu :

1. Elektroda kerja (*working electrode*)

Elektroda kerja adalah elektroda yang akan diteliti, digunakan istilah elektroda kerja sebagai ganti dari anoda karena penelitiannya tidak terbatas hanya pada perilaku yang bersangkutan dengan anoda, juga tentang perilaku katoda. Elektroda dapat disiapkan dalam bentuk spesimen dengan diameter 10 mm sampai dengan 14 mm dalam resin pendingin.

2. Elektroda pembantu (*counter/auxiliary electrode*)

Elektroda pembantu adalah elektroda kedua yang khusus untuk mengangkut arus dalam rangkaian yang terbentuk dalam penelitian. Adapun bahan yang biasa digunakan sebagai elektroda pembantu adalah : Karbon atau bahan lain asal tidak menimbulkan kontaminasi ion-ion ke dalam elektrolit (platina, emas dan titanium).

3. Elektroda acuan (*reference electrode*)

Elektroda acuan adalah elektroda yang digunakan sebagai titik dasar yang sangat mantap untuk mengacu pada pengukuran-pengukuran potensial elektroda kerja. Arus yang mengalir melalui elektroda ini sangat kecil, sehingga dapat diabaikan. Elektroda acuan yang sering digunakan adalah kalomel jenuh. Ketiga elektroda tersebut dicelupkan didalam larutan elektrolit pada tabung elektrokimia dan terhubung dengan

4. Elektrolit

Elektrolit adalah suatu zat yang larut atau terurai ke dalam bentuk ion-ion dan selanjutnya larutan menjadi konduktor elektrik, ion-ion merupakan atom-atom bermuatan elektrik. Elektrolit bisa berupa air, asam, basa atau berupa senyawa kimia lainnya. Elektrolit umumnya berbentuk asam, basa atau garam.

5. Voltmeter (V)

Voltmeter merupakan komponen sel tiga elektroda yang berfungsi untuk menentukan besarnya potensial sel.

6. Galvanometer (G)

Galvanometer suatu komponen yang berfungsi sebagai alat pengukur arus listrik DC.

Sebagian besar logam terdapat di alam dalam bentuk kombinasi seperti misalnya oksida, hidroksida, karbonat, sulfida, sulfat, dan silikat. Ekstraksi logam dari bijih-bijih logam memerlukan jumlah energi yang besar. Oleh karena itu, logam-logam yang terisolasi dapat dipandang berada di dalam tingkatan (*state*) energi yang jauh lebih tinggi dibandingkan bijih-bijihnya, dan logam-logam terisolasi itu menunjukkan kecenderungan alamiah untuk kembali ke tingkat energi yang lebih rendah atau *combined state*. Oleh karena itu, korosi logam dapat dipandang sebagai proses kebalikan dari proses pereduksian logam dari bijihnya (Jasterzebski, Z. D., 1987).

Ada beberapa cara pengujian laju korosi yang dapat ditemui di lapangan. Salah satu uji korosi logam yang sering digunakan adalah cara polarisasi dengan menggunakan tiga sel elektroda tafel. Rumus untuk mencari laju korosi dengan menggunakan tiga sel elektroda Tafel ditunjukkan pada persamaan 2.13 berikut ini (Jones, D.A., 1991).

$$r = 0,129 \frac{ai}{nD} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan :

r = laju korosi (mpy)

a = berat atom

i = rapat arus korosi ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

n = valensi atom

D = berat jenis sampel (gr/cm^3)

Perhitungan laju korosi untuk paduan, perlu dihitung terlebih dahulu berat ekuivalennya (*equivalent weight* = EW) dengan persamaan:

$$EW = N_{EQ}^{-1} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$N_{EQ} = \sum \left(\frac{\omega_i}{a_i/n_i} \right) = \sum \left(\frac{\omega_i n_i}{a_i} \right) \dots\dots\dots(2.15)$$

Dengan:

EW = berat ekuivalen

N_{EQ} = nilai ekuivalen total

ω_i = fraksi berat

a_i = nomor massa atom

n_i = elektron valensi

Dengan demikian persamaan 2.13 berubah menjadi:

$$\dots\dots\dots i(EW)$$

2.2. Macam-Macam Pelapisan Logam

2.2.1. Pelapisan ditinjau dari segi manfaat yang dihasilkan

1) Pelapisan Dekoratif

Pelapisan Dekoratif bertujuan untuk menambah keindahan tampak luar suatu benda atau produk. Sekarang ini pelapisan dengan bahan krom sedang digemari karena warnanya yang cemerlang, tidak mudah terkorosi dan tahan lama. Produk yang dihasilkan banyak digunakan sebagai asesoris pada kendaraan bermotor baik yang roda 2 maupun pada kendaraan roda 4. Dengan kata lain pelapisan ini hanya untuk mendapatkan bentuk luar yang baik saja. Logam-logam yang umum digunakan untuk pelapisan dekoratif adalah emas, perak, nikel dan krom.

2) Pelapisan Protektif

Pelapisan protektif adalah pelapisan yang bertujuan untuk melindungi logam yang dilapisi dari serangan korosi karena logam pelapis tersebut akan memutus interaksi dengan lingkungan, sehingga akan memperlambat proses laju korosi.

3) Pelapisan untuk sifat khusus permukaan

Pelapisan ini bertujuan untuk mendapatkan sifat khusus permukaan seperti sifat keras, sifat tahan aus dan sifat tahan suhu tinggi atau gabungan dari beberapa tujuan diatas secara bersama-sama. Misalnya dengan melapisi bantalan dengan logam nikel agar bantalan lebih kers dan tidak mudah aus akibat gesekan pada saat berputar.

2.2.2. Pelapisan Logam Ditinjau Dari Sifat Elektrokimia Bahan Pelapis

1) Pelapisan Anodik

Pelapisan anodik merupakan pelapisan dimana potensial listrik logam pelapis lebih anodik terhadap substrat. Contohnya pelapisan pada baja yang memiliki potensial listrik $-0,04$ volt yang dilapisi dengan logam Seng yang memiliki potensial listrik $-0,0762$ volt. Logam seng bersifat lebih anodik terhadap baja sehingga logam Seng akan mengorbankan dirinya dalam bentuk korosi

sehingga logam yang lebih katodik terhindar dari reaksi korosi. Pelapisan ini termasuk dalam jenis pelapisan protektif.

Keunggulan dari pelapisan ini adalah sifat logam pelapis yang bersifat melindungi logam yang dilapisi sehingga walaupun terjadi cacat pada permukaan pelapis karena sebab seperti tergores, retak, terkelupas dan lain-lain sehingga terjadi "eksposure" terhadap lingkungan sekitarnya, sampai batas tertentu tetap terproteksi oleh logam pelapis.

2) Pelapisan Katodik

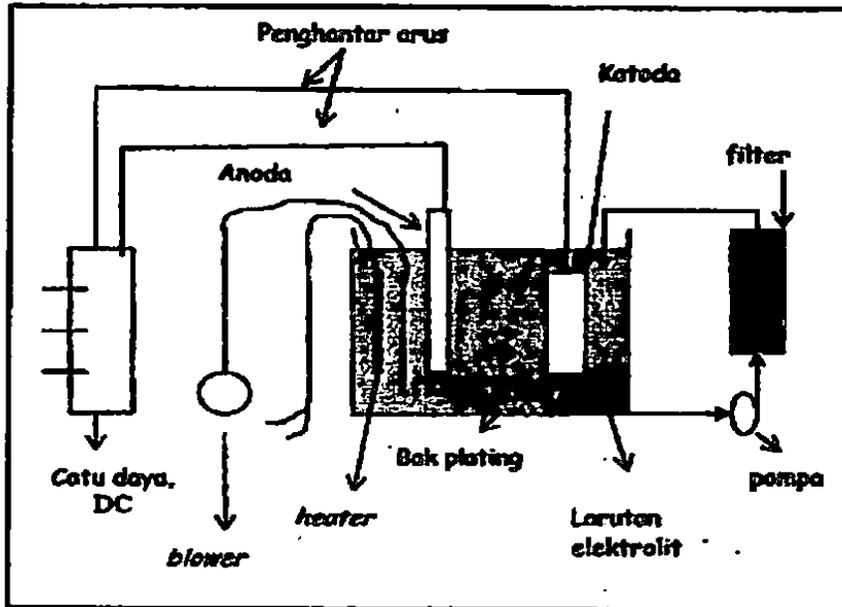
Pelapisan katodik merupakan pelapisan dimana potensial listrik logam pelapis lebih katodik terhadap substrat. Contohnya pelapisan pada tembaga yang memiliki potensial listrik +0,34 volt yang dilapisi dengan logam Emas yang memiliki potensial listrik +1,5 volt. Logam Emas bersifat lebih mulia dibandingkan dengan logam tembaga, maka apabila logam pelapis mengalami cacat, logam yang dilapisi akan terekspose ke lingkungan dan bersifat anodik sehingga akan terjadi korosi lokal yang intensif terhadap substrat. Pelapisan katodik sangat cocok digunakan pada pelapisan dekoratif karena umumnya aksesoris dan perhiasan dari bahan-bahan imitasi tidak dikenai gaya-gaya dari luar sehingga kecil kemungkinan untuk mengalami cacat local pada permukaan.

2.3. *Elektroplating* (Pelapisan Listrik)

Pelapisan logam adalah suatu cara yang dilakukan untuk memberikan sifat tertentu pada suatu permukaan benda kerja, dimana diharapkan benda tersebut akan mengalami perbaikan baik dalam hal struktur mikro maupun ketahanannya, dan tidak menutup kemungkinan pula terjadi perbaikan terhadap sifat fisiknya, (Trethway, K.R., Chamberlain, J., 1991).

Pelapisan logam merupakan bagian akhir dari proses produksi dari suatu produk, Proses tersebut dilakukan setelah benda kerja mencapai bentuk akhir atau setelah proses pengerjaan mesin serta penghalusan terhadap permukaan benda kerja yang dilakukan. Dengan demikian, proses pelapisan termasuk dalam kategori pekerjaan *finishing* atau sering juga di sebut tahap penyelesaian dari

Elektroplating adalah suatu proses pelapisan dimana terjadi pengendapan suatu lapisan logam tipis pada permukaan yang dilapisi dengan menggunakan arus listrik. Biasanya proses *elektroplating* dilakukan dalam suatu bejana atau cawan yang terdiri dari elektroda yang dihubungkan dengan arus listrik searah (DC) dimana rangkaian ini disebut sel elektrolisa. Pada bejana atau cawan ini, paling tidak terdapat dua elektroda, dimana masing-masing elektroda dihubungkan dengan arus listrik yang terbagi menjadi kutub positif (anoda) dan kutub negatif (katoda) seperti terlihat pada Gambar 2.8 berikut ini.



Gambar 2.8. Skema proses *elektroplating* (Purwanto., Huda, S., 2005)

Prinsip *elektroplating* didasarkan pada hukum Faraday yang menyebutkan bahwa :

- 1) Massa yang dilepaskan ke dalam larutan elektrolit proporsional terhadap besar arus lewat larutan elektrolit.
- 2) Massa yang dilepaskan proporsional terhadap electrochemical equivalen (*ratio of atomic weight to valence*).

Proses lapis listrik sendiri dalam aplikasi lebih luas merupakan salah satu proses lapis logam (*metal coating*), seperti :

1) *Electrodiposition electroplating*

Benda kerja yang akan dilapisi dipasang sebagai katoda dalam susunan sel elektrolit. Larutan elektrolit yang digunakan biasanya berupa garam dari

logam pelapis dengan bahan tambahan tertentu. Dibagian anoda ditempatkan bahan yang digunakan sebagai pelapis, dimana logam ini larut dalam *elektrolit*, kemudian ketika arus dialirkan melewati katoda, dalam sebagian kasus antara lain proses *chromium plating* yang digunakan anoda yang tidak larut (Pb) dan logam pelapis berasal dari larutan elektrolit.

2) *Hot Dipping*

Hot dipping merupakan proses pelapisan dengan cara mencelupkan substrat kedalam larutan cair. Cara ini berfungsi sebagai bahan pelapis terhadap substrat dikeluarkan dari larutan, akan tetapi cara ini dapat ditempuh apabila substrat mempunyai titik lebur lebih tinggi dari pada titik lebur bahan pelapis. Logam-logam umum yang digunakan sebagai substrat adalah baja dan besi.

3) *Cladding*

Logam yang akan dilapisi disisipkan antara dua permukaan logam pelapis dan kemudian di rol dalam keadaan dingin atau panas sampai ketebalan kira-kira 10 mm – 5 mm dari ketebalan semula, logam induk dan logam pelapis harus memiliki karakteristik deformasi yang mirip dengan logam campuran.

4) *Spraying*

Logam pelapis dipanaskan dengan listrik maupun oxsi-asetelin sampai mencair. Logam tersebut disemprotkan ke logam dasar (logam yang akan dilapisi), dalam hal ini kompresor akan digunakan sebagai sumber udara tekan untuk menyemprotkan lapisan pelapis.

5) *Comentation*

Merupakan proses pelapisan logam melingkungi atau membenamkan substrat dengan *elektrolit* (logam pelapis) yang berbentuk bubuk atau serbuk halus, lalu dipanaskan dengan suhu tertentu sehingga akan terjadi

2.3.1. Metode dan Aplikasi *Elektroplating*

Proses *elektroplating* dapat dilakukan dengan beberapa metode, akan tetapi tergantung pada ukuran dan bentuk substrat, adapun metode umum yang sering dilakukan adalah :

1) *Barrel plating*

Pelapisan yang dilakukan dalam *barrel plating* yakni berputar pada posisi horizontal atau dengan kemiringan tertentu, dimana cara ini digunakan pada substrat (spesimen) yang kecil.

2) *Rack plating*

Rack plating pelapisan yang dilakukan terhadap substrat-substrat yang relatif besar, berat dan bentuknya rumit yang sulit dilakukan dengan cara barrel plating.

3) *Strip plating*

Strip plating merupakan salah satu cara produksi tinggi dimana substrat berupa lembaran (*strip*), kontinu yang ditarik dan dilewatkan larutan elektrolit dengan bantuan rol penggulung.

4) *Zinc plating*

Zinc plating dilakukan pada produk baja seperti mur-baut, kawat baja, kontak saklar listrik, peralatan lainnya.

5) *Nicel plating*

Nicel plating digunakan untuk menurunkan laju korosi dan sebagai lapisan dekoratif pada baja, kuningan cetakan Zn dan logam-logam lainnya.

6) *Tin plating*

Tin plating banyak ditemukan dalam praktek untuk proteksi korosi pada kaleng bahan makanan dan minuman.

7) *Copper plating*

Cara ini memiliki peranan penting dalam proses *electroplating*, cara ini banyak digunakan sebagai lapisan dekoratif pada logam dan plastik.

8) *Chromium plating*

Chrome plate digunakan sebagai lapisan dekoratif, baik dalam industri otomotif, peralatan kantor dan perabotan rumah tangga selain

menghasilkan warna yang indah (mengkilat), krom ini juga menghasilkan lapisan yang paling keras dari semua proses *elektroplating* yang ada.

2.3.2. Unsur-unsur Pokok Proses *Elektroplating*

1) Sirkuit Luar

Sirkuit luar terdiri dari sumber arus DC dan peralatan terkait seperti amperemeter, voltmeter (alat pengatur arus dan tegangan).

2) Katoda

Katoda ialah elektroda negatif yang merupakan benda kerja yang akan dilapisi. Katoda atau benda kerja dapat memiliki bentuk dan dapat terbuat dari beraneka logam, yang terpenting katoda harus memiliki kumpulan atom-atom yang terikat dimana elektron-elektronnya dapat bergerak bebas sehingga proses lapis listrik dapat berlangsung dengan baik dan logam dapat menempel dengan kuat pada katoda. Agar mendapatkan hasil pelapisan yang baik, maka diperlukan proses preparasi atau penyiapan sebelum dilakukan pelapisan. Logam-logam yang biasa digunakan sebagai logam dasar, yaitu baja, perak dan tembaga.

3) Larutan Pelapis

Didalam larutan pelapis terdapat ion-ion logam pelapis yang sering disebut "Bath".

4) Anoda

Anoda adalah elektroda positif yang merupakan logam pelapis, Michael Faraday menemukan hubungan antara produk suatu endapan ion logam dengan jumlah arus yang dipakai untuk mengendapkannya.

Hubungan ini diungkapkan dalam hukum Faraday sebagai berikut :

a) Jumlah bahan yang terdekomposisi pada saat berlangsungnya proses elektrolisa berbanding lurus dengan kuat arus (*ampere*) dan waktu pengaliran arus (detik) dalam suatu elektrolit.

b) Jumlah arus yang sama akan membebaskan jumlah ekuivalen yang

Berat endapan atau deposit diperoleh dari perhitungan :

$$W = \frac{I \cdot A \cdot t}{Z \cdot F} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana :

- W = berat yang diendapkan (gram)
- I = Arus yang dibutuhkan (Ampere)
- t = Waktu (detik)
- A = Berat atom logam pelapis
- Z = Valensi logam pelapis
- F = Bilangan Faraday (96.500 Coulomb)

Dengan mengukur langsung permukaan benda kerja (katoda) dengan asumsi endapan serba sama, ketebalan lapisan dapat ditentukan dengan cara pada persamaan 2.18 berikut ini.

$$T = \frac{W}{\rho \cdot A} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dengan :

- T = Tebal lapisan (mm)
- W = Berat logam yang diendapkan (gr)
- P = Massa jenis larutan (gr/cm^3)
- A = Luas permukaan (cm^2)

Dalam proses *elektroplating*, umumnya untuk proses *elektroplating* tidak semua energi listrik yang terbentuk digunakan untuk proses pelapisan substrat, tetapi sebagian energi tersebut digunakan untuk membebaskan hidrogen (H_2) dari substrat (katoda). Jumlah perubahan kimia yang terjadi akan sebanding dengan jumlah listrik yang mengalir. Namun dari sekian banyak perubahan kimia yang terjadi hanya satu yang diperlukan, yaitu jumlah endapan logam pada permukaan katoda sehingga arus yang diperlukan untuk perubahan kimia dianggap sebagai

2.3.3. Kondisi Operasi *Elektroplating*

Dalam pelaksanaan *elektroplating*, ada beberapa kondisi operasi yang perlu diperhatikan yaitu :

- Arus yang dibutuhkan untuk proses *elektroplating*
- Temperatur
- Waktu alir listrik
- Konsetrasi larutan elektrolit

Distribusi pada pemindahan ion-ion logam selama proses *elektroplating* berlangsung dipengaruhi oleh :

- Besarnya arus yang dibutuhkan untuk proses *elektroplating*
- Temperatur larutan
- Derajat keasaman (pH)
- Konsetrasi larutan

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

1. Rapat Arus

Rapat arus adalah bilangan yang menyatakan besarnya arus yang mengalir perluas unit elektroda. Rapat arus dibagi menjadi dua macam yaitu anoda dan katoda. Rapat arus yang diperhitungkan adalah arus katoda yaitu banyaknya arus yang diperlukan untuk mendapatkan ion-ion logam pada setiap lapisan luas yang dilpisi.

Rapat arus dapat diatur, dimana semakin tinggi rapat arus makin meningkat kecepatan pelapisan dan dapat memperkecil ukuran atau bentuk Kristal. Akan tetapi apabila rapat arus terlalu tinggi akan mengakibatkan lapisan kasar dan bahkan terbakar.

Dalam proses *elektroplating*, arus listrik selalu digunakan untuk menguraikan ion-ion dari anoda dan juga digunakan untuk pembebasan ion hidrogen berupa gelembung-gelembung udara yang akan menyebabkan turunnya

efisiensi endapan, disamping itu pula akan menimbulkan cacat lapisan seperti cacat sumuran, lepuh dan lain-lain.

2. pH Larutan

pH dipakai untuk menentukan derajat keasaman suatu larutan elektrolit dalam operasi lapis listrik. Tujuan diukurnya pH larutan adalah untuk melihat atau mengecek kemampuan larutan dalam menghasilkan lapisan yang baik. Dalam operasi pelapisan khrom, pH dari larutan akan cenderung naik, hal ini dikarenakan dalam larutan elektrolit nikel terjadi perpindahan ion-ion hidrogen kedalam katoda dalam jumlah yang kecil akan terurai atau terserap kedalam logam khrom, maka konsentrasi ion hidrogen dalam larutan akan berkurang mengakibatkan pH dari larutan terus naik. Untuk menghindari naiknya pH atau mengembalikan pH pada kondisi semula, maka biasanya ditambah asam sulfat (H_2SO_4) atau asam klorida (HCl).

3. Konsentrasi larutan

Konsentrasi atau kadar larutan elektrolit pada proses pelapisan listrik (*elektroplating*) merupakan hal yang perlu diperhatikan, karena hal tersebut akan berpengaruh terhadap permukaan hasil lapisan benda kerja yang dilapisi, jika konsentrasi larutan terlalu pekat, maka lapisan akan sangat tipis dan tidak merata. Perubahan konsentrasi larutan elektrolit berbanding terbalik dengan besarnya tahanan listrik, semakin berkurang konsentrasi larutan elektrolit, harga tahanan akan semakin besar. (Kun, Penelitian larutan elektrolit dalam proses pelapisan logam). Oleh karena itu, untuk mendapatkan hasil lapisan yang baik diperlukan konsentrasi larutan yang tepat.

4. Tegangan

Tegangan yang dipakai harus konstan akan tetapi yang divariasikan hanya amperennya saja. Maksudnya adalah bila luas permukaan benda kerja bervariasi maka rapat arus yang divariasikan sesuai dengan ketentuan, sedangkan voltasenya tetap.

5. Temperatur Larutan

Temperatur larutan dapat mempengaruhi hasil pelapisan, kenaikan temperatur larutan akan menyebabkan bertambahnya ukuran kristal larutan. Pada

temperatur yang tinggi, daya larut akan menjadi bertambah besar dan terjadi penguraian garam logam yang menyebabkan tingginya konduktivitas ion logam, tetapi viskositasnya akan semakin berkurang sehingga endapan logam-logam pada katoda akan mudah tersirkulasi.

2.4. Pelapisan Khrom

Rumus kimia khrom adalah Cr, merupakan salah satu logam berat dengan massa jenis 7,19 gr/ml mempunyai nomor atom 24, berwarna putih bersifat keras, dapat digunakan sebagai bahan pelapis logam (Moore, J.W., Ranamoorthy, S., 1980). Khrom memiliki beberapa bilangan oksidasi yaitu 0 sampai 6, yang sering digunakan sebagai senyawa-senyawa kimia Cr (III) dan Cr (VI). Perubahan bilangan khrom sering terjadi, misalnya khrom valensi III menjadi khrom valensi IV karena adanya oksidator MnO_2 dan $Ca(OH)_2$ membentuk senyawa bikromat.

Larutan untuk pelapisan Chromium terutama terdiri dari Asam *Chromic* (CrO_3) ditambahkan sejumlah kecil anion dari senyawa sulfat atau *Fluoride kompleks*, dimana senyawa utama didalam larutan adalah Asam Chromic (CrO_3) yang diencerkan dalam larutan kental (H_2CrO_4) dan beberapa asam lain. Namun untuk dapat diendapkan dari air, di dalam larutan tersebut harus ada zat tambahan yang berfungsi sebagai katalis yang memungkinkan terjadinya pengendapan logam *chromium* pada katoda, zat tambahan tersebut umumnya adalah Sulfat dan Flourida dalam bentuk Fluosilikat atau Silicofluorida (SiF_6).

Perbandingan antara CrO_3 terhadap katalis yang umumnya Sulfat memiliki arti penting bagi hasil yang didapatkan, oleh karena itu perbandingan antara CrO_3 terhadap sulfat harus dibuat optimal dalam rangka mendapatkan cakupan arus yang merata dan menyeluruh (*good coverage*). Kedua larutan memiliki kelemahan dan kelebihan masing-masing dimana larutan encer lebih rendah biaya, efisiensi katoda lebih baik. Sedangkan untuk larutan yang pekat memerlukan tegangan maupun arus yang lebih rendah, tidak sensitif terhadap kontaminasi dan cakupan arus lebih baik. Adapun temperatur operasi keduanya antara 32°C hingga 50°C dengan rapat arus sebesar 1430 A/m^2 pada tegangan arus 4 volt sampai 12 volt

2.5. Spesifikasi Baja Karbon

2.5.1 Klasifikasi Baja Karbon

Baja didefinisikan sebagai suatu campuran dari besi dan karbon, dimana unsur C (karbon) menjadi dasar pencampurannya. Disamping itu, mengandung unsur campuran lainnya seperti S (sulfur), F (Fospor), Si (silicon), dan Mn (mangan) yang jumlahnya dibatasi. (Amanto,H., Daryanto., 1999 : 22).

Dalam *ASM Handbook* Vol 1, Ninth Edition., (1993), dijelaskan bahwa sifat-sifat mekanik baja karbon pada dasarnya tergantung dari kadar C yang dikandungnya. Sifat baja karbon selain ditentukan oleh kadar karbonnya, ditentukan pula oleh adanya unsur-unsur lain yang terkandung dalam baja tersebut. Setiap baja merupakan paduan multikomponen, artinya disamping mengandung unsur Fe juga mengandung unsur-unsur: Mn (mangan), Si (silium), S (sulfur), dan P (pospor), sedangkan kandungan unsur karbon sendiri dalam baja berkisar 0,1-1,7 %. Untuk baja karbon, semakin tinggi kadar C akan meningkatkan sifat-sifat mekanik dari baja tersebut.

Berdasarkan jumlah kandungan kadar karbonnya, baja karbon digolongkan mejadi tiga tingkatan, yaitu :

1) Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah adalah baja yang mengandung karbon di bawah 0,3 %.

Baja karbon rendah dalam perdagangan dibuat dalam bentuk plat, profil, batangan untuk keperluan tempa, pekerjaan mesin dan lain-lain.

2) Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang adalah baja yang mengandung karbon antara 0,3 – 0,8 %. Di dalam perdagangan biasanya digunakan sebagai alat-alat perkakas, baut, poros engkol, roda gigi, ragum, pegas dan lain-lain.

3) Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi adalah baja yang mengandung karbon di atas 0,8 %.

Baja karbon ini banyak digunakan untuk keperluan pembuatan alat-alat konstruksi yang berhubungan dengan panas yang tinggi atau dalam penggunaannya akan menerima dan mengalami panas, misalnya landasan,

2.5.2 Karakteristik Baja HQ 760

Menurut *ASM handbook* vol.1:329 (1993), baja ini termasuk dalam kategori baja karbon menengah (*Medium Carbon Steel*), karena baja ini memiliki kandungan karbon 0.42 % - 0.50 %, baja karbon menengah memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan baja karbon rendah yaitu kekuatan tarik dan batas regang yang tinggi dan dapat dikeraskan (*quenching*) dengan baik, akan tetapi memiliki daya tahan terhadap korosi yang cukup rendah. Baja ini banyak dijadikan untuk komponen-komponen mesin seperti, poros, baut, roda gigi, peralatan perkantoran dan lain-lain.

Berdasarkan DIN C45 dan AISI/SAE/ASTM 1045, baja ini mempunyai spesifikasi seperti yang di tunjukkan pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1. Analisis kimia baja HQ 760 (High Quality Machinery Steel, PT Tira Andalan Steel)

No	CHEMICAL ANALYSIS MATERIAL	
1	Karbon (C)	0,42 % - 0,50 %
2	Mangan (Mn)	0,5 % - 0.80 %
3	Silium max (Si)	0,4 %
4	Sulfur	0,02 % - 0,04 %
5	Cr + Mo + Ni (max)	0,63 %
6	Temperatur soft annealing	700°C
7	Temperatur annealing	700°C
8	Temperatur normalizing	840°C - 870°C
9	Temperatur hardenig	820°C - 870°C

Dengan waktu tahan hardening 30 menit dan didinginkan dengan menggunakan media pendingin air, didapatkan harga kekerasan setelah dikeraskan 57 + 3 HRC (Tabel Produk High Quality Machinery Steel PT Tira