

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Korosi adalah kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya. Korosi bisa disebut perkaratan. Contoh korosi yang paling lazim adalah perkaratan besi. Pada peristiwa korosi, logam mengalami oksidasi. Korosi banyak ditemukan pada berbagai logam. Berbagai cara penelitian yang dilakukan untuk mengurangi atau menghambat laju korosi, misalnya: pengecatan, pembalutan dan penggunaan paduan logam anti karat. Namun ada juga prinsip pencegahan yang dikenal kalangan tertentu misalnya *electroplating*.

Electroplating merupakan proses pelapisan logam, yang menggunakan elektrokimia dengan senyawa kimia tertentu guna memindahkan partikel logam pelapis ke material yang hendak dilapis. Pada proses *electroplating* digunakan dua batang elektroda yang berfungsi sebagai anoda (kutub positif) dan katoda (kutub negatif), dimana anoda merupakan logam pelapis dan katoda adalah logam yang akan dilapisi. Pelapisan logam dapat berupa lapis seng, perak, emas, tembaga, nikel dan krom. Penggunaan lapisan tersebut disesuaikan dengan kebutuhan dan kegunaan masing-masing material. Perbedaan utama dari *electroplating* tersebut selain anoda yang digunakan, adalah larutan elektrolisisnya. *Electroplating* banyak digunakan di dunia industri terutama pada bidang permesinan karena dapat mencegah terjadinya korosi, seperti halnya pada mesin yang menggunakan material baja, sedangkan untuk mendapatkan kualitas logam yang baik, pelapisan juga dapat dilakukan dengan teknik pelapisan bertingkat. Pelapisan logam bertingkat biasanya dilakukan dengan dua atau lebih logam pelapis untuk melapisi logam inti, salah satu logam yang dikenal umum sebagai pelapis dasar adalah tembaga (Cu). Tembaga digunakan untuk pelapisan dasar karena dapat menutup permukaan bahan yang dilapis dengan baik. Pelapisan dasar tembaga diperlukan untuk pelapisan lanjut dengan menggunakan pelapisan akhir *chrome*. Aplikasi yang paling penting dari pelapisan tembaga adalah sebagai suatu lapisan dasar pada pelapisan baja sebelum dilapisi *chrome*. Alasan menggunakan tembaga untuk pelapisan awal karena sifat penutupan lapisan yang bagus dan daya pelekatannya yang bagus. *Chrome* mempunyai sifat kemilau yang baik, anti korosi

tahan gores sehingga cocok digunakan logam pelapis terakhir. Seperti halnya pada pelapisan *chrome* Pelapisan *chrome* menggunakan bahan dasar *asam chromat* (H_2CrO_4) dan asam sulfat sebagai bahan pemicu arus, dengan perbandingan campuran yang tertentu. Jika perbandingannya menyimpang dari ketentuan biasanya akan menghasilkan lapisan yang tidak sesuai dengan yang diharapkan. Kualitas permukaan logam yang sudah dilapisi sangat dipengaruhi oleh perlakuan-perlakuan pada saat pelapisan *chrome* seperti : temperatur cairan dan besar arus listrik yang mengalir sewaktu melakukan pelapisan, suhu, waktu pencelupan, rapat arus dan nilai keasaman (pH).

Proses *electroplating* mempunyai banyak keuntungan, diantaranya mudah dalam proses pengerjaan, waktu yang relatif singkat dan lapisan yang merata pada permukaan logam. Dengan pertimbangan inilah banyak industri-industri logam menggunakan teknik ini untuk meningkatkan hasil kualitas produknya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pentingnya penelitian ini, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut: Bagaimanakah pengaruh konsentrasi larutan *asam chromat* (H_2CrO_4) dalam larutan *chrome* terhadap laju korosi pada proses pelapisan *Chrome electroplating*?

1.3 Batasan Masalah

Untuk lebih memberikan penjelasan terhadap isi pembahasan dan untuk lebih mengarahkan permasalahan, maka dalam penelitian ini perlu adanya beberapa batasan masalah, antara lain:

1. Material yang digunakan adalah baja ST 37 sebagai katoda.
2. Kondisi awal setiap material yang digunakan dianggap sama.
3. Tembaga digunakan sebagai pelapisan dasar, parameter yang digunakan untuk pelapisan dasar masing-masing spesimen adalah konstan.
4. Penelitian yang diamati difokuskan pada konsentrasi larutan *asam chromat* (H_2CrO_4) dengan persentase 19%, 20%, 21%, 22%.
5. Korosi yang diberikan adalah proses korosi paksa dengan menggunakan larutan NaCl 2% selama 1 jam.
6. Pelapisan terakhir menggunakan *chrome* dan parameter pelapisan selain konsentrasi larutan dianggap sama.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi larutan *asam chromat* (H_2CrO_4) pada larutan *chrome* terhadap laju korosi hasil proses *electroplating* setelah dilapisi dasar tembaga.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Untuk mengetahui konsentrasi larutan *asam chromat* (H_2CrO_4) yang sesuai dalam proses *electroplating chrome*, sehingga diperoleh hasil pelapisan yang optimal.
2. Sebagai tambahan pengetahuan untuk mahasiswa dan peneliti mengenai pengaruh konsentrasi larutan *asam chromat* (H_2CrO_4) pada larutan *chrome* terhadap laju korosi hasil proses *electroplating*.
3. Memberi informasi kepada industri dan masyarakat mengenai manfaat *electroplating*.

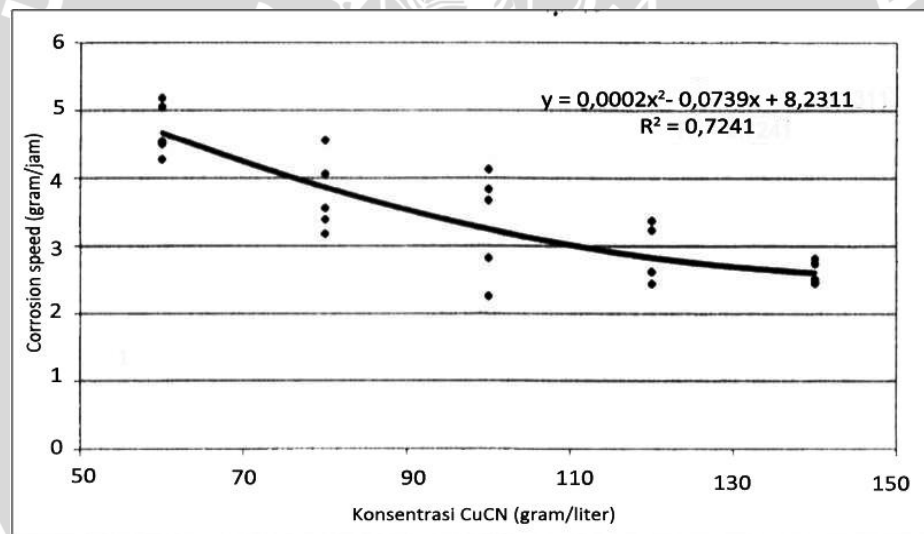


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

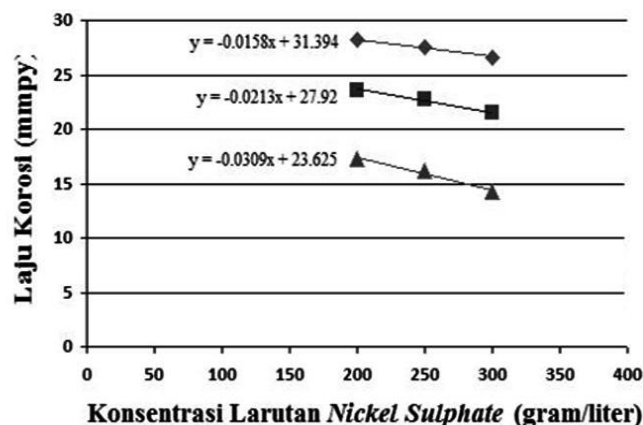
2.1 Penelitian Sebelumnya

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Irwan Kartika Setiadji (2006) yang berjudul "Pengaruh Konsentrasi *Copper Cyanide* (CuCN) Terhadap Ketahanan Korosi dan *Thermal Shock* Hasil *Electroplating*" menyimpulkan bahwa konsentrasi CuCN pada pelapisan tembaga memberikan pengaruh yang besar terhadap *corrosion speed* dan ketahanan terhadap *thermal shock*. Peningkatan konsentrasi CuCN dapat menyebabkan laju korosi menurun seperti terlihat pada Gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Grafik hubungan konsentrasi CuCN terhadap *corrosion speed*.
Sumber: Setiadji, (2006:42)

Pada penelitian yang dilakukan oleh Arif (2010) yang berjudul "Pengaruh Waktu Pelapisan dan Konsentrasi Larutan *Nickel Sulphate* (NiSo₄) Pada Larutan *Watts* terhadap Laju Korosi Hasil Proses *Electroplating*, diketahui bahwa semakin meningkat Konsentrasi Larutan *Nickel Sulphate* (NiSo₄) pada Larutan *Watts* dan semakin meningkatnya waktu pelapisan dapat menyebabkan laju korosi menurun seperti terlihat pada Gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2 Grafik hubungan pengaruh waktu dan konsentrasi larutan *Nickel Sulphate* (NiSO_4) terhadap *laju korosi*
Sumber: Arif, (2010:44)

2.2 Pelapisan Logam

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. 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 disebut tahap penyelesaian dari suatu produksi benda kerja.

Sifat – sifat ideal bahan pelapis dari logam ini adalah sebagai berikut:

1. Logam pelapis harus jauh lebih tahan terhadap serangan lingkungan dibanding logam yang dilindungi.
2. Logam pelapis tidak boleh memicu korosi pada logam yang dilindungi seandainya mengalami goresan atau pecah di permukaannya.
3. Sifat-sifat fisik, seperti kelenturan dan kekerasannya harus cukup memenuhi persyaratan operasional struktur atau komponen bersangkutan.
4. Metode pelapisannya harus bersesuaian dengan proses fabrikasi yang digunakan untuk membuat produk akhir.
5. Tebal lapisan harus merata dan bebas dari pori-pori (persyaratan ini tidak mungkin dipenuhi).

2.2.1 Macam-Macam Pelapisan Logam

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 aksesoris pada kendaraan bermotor baik yang beroda 2 maupun pada kendaraan beroda 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 *chrome*.

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 terhindar dari proses oksidasi.

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 di atas secara bersama-sama. Misalnya dengan melapisi bantalan dengan logam nikel agar bantalan lebih keras dan tidak mudah aus akibat gesekan pada saat berputar.

4. 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.

5. 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.

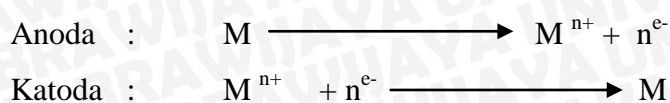
2.2.2 Pelapisan dengan *Electroplating*

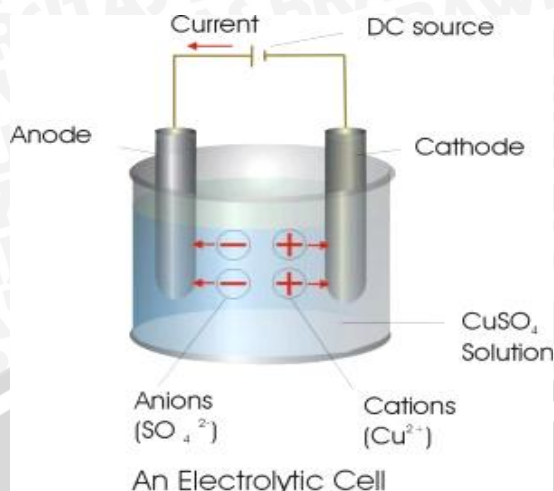
Electroplating adalah proses pelapisan logam yang menggunakan prinsip elektrokimia (perubahan energi dari energi listrik ke energi kimia). Proses yang berlangsung pada metode ini adalah proses elektrolisis, yaitu proses terurainya molekul-molekul penyusun senyawa karena pengaruh arus listrik. Larutan yang dapat menghantarkan listrik disebut larutan elektrolit, sedang proses penguraian ion-ion dari larutan disebut ionisasi. Jadi dalam *electroplating*, elektrolisis yang terjadi adalah ion-ion larutan elektrolit

Prinsip dasar dari pelapisan logam secara *electroplating* adalah penempatan ion logam yang ditambah elektron pada logam yang dilapisi, yang mana ion-ion tersebut didapat dari anoda dan elektrolit yang digunakan.

Sel elektrolisis merupakan tempat terjadinya peristiwa penguraian ion-ion logam pada larutan elektrolit oleh arus listrik searah. Pada sel elektrolisis arus yang mengalir dari sumber (*power supply*) menyebabkan elektron "dipompa" melalui elektroda negatif (katoda) menuju elektroda positif (anoda). Elektron ini ditangkap oleh kation (ion positif) pada larutan elektrolit, sehingga pada permukaan katoda terjadi reaksi reduksi terhadap kation dan pada saat yang sama anion (ion negatif) pada larutan elektrolit melepaskan elektron. Melalui anoda, elektron dikembalikan ke sumber arus. Adanya ion-ion logam yang didapat dari elektrolit akan menghasilkan logam yang melapisi permukaan logam lain. Secara elektrokimia prosesnya dapat digambarkan pada Gambar 2.2.

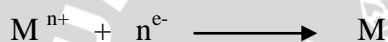
Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:





Gambar 2.3 Proses *electroplating*
 Sumber: <http://www.akademik.unsri.ac.id>

Secara elektrokimia proses reduksi dapat dinyatakan sebagai berikut:



Yaitu proses perubahan ion logam Cu bermuatan sebesar n positif menjadi atom logam netral Cu yang tidak bermuatan. Atom logam netral inilah yang berupa lapisan logam yang terbentuk di katoda dan disebut logam yang dilapisi

2.3 Elemen Sel Elektrolitik

2.3.1 Elektrolit

Elektrolit adalah komposisi kimia yang akan terpisah menjadi ion-ion apabila dilarutkan dalam pelarut, hasil dari pemisahan ini berupa ion-ion yang menjadi penghantar listrik. Fungsi elektrolit adalah sebagai penghantar arus dan penambah ion logam pelapis. Oleh karena itu, larutan elektrolit harus mengandung logam pelapis, misalnya untuk pelapisan *chrome* maka elektrolit yang digunakan juga harus mengandung *chrome*. Larutan yang dipakai dalam proses *electroplating*, yaitu :

1. *asam chromat* (H_2CrO_4) dalam ilmu kimia adalah sebuah senyawa *chromium* (Cr). Senyawa ini memiliki rumus kimia Cr_2O_3 . Larutan *asam chromat* (H_2CrO_4) bersifat oksidator kuat, berwarna merah kecoklatan, jingga atau kuning tergantung konsentrasi *chromium*, *asam chromat* (H_2CrO_4) pada *electroplating* berfungsi untuk memasok ion *chrome* yang akan menempel pada logam yang akan dilapisi.

2. Asam sulfat, H_2SO_4 , merupakan asam mineral (anorganik) yang kuat. Zat ini larut dalam air pada semua perbandingan. Asam sulfat mempunyai banyak kegunaan pada *electroplating* asam sulfat berfungsi sebagai katalis (mempercepat laju reaksi)

2.3.2 Elektroda

Pada proses *electroplating* terdapat dua buah elektroda, dimana elektroda yang dihubungkan dengan kutub positif disebut anoda dan elektroda yang dihubungkan dengan kutub negatif disebut katoda yang dalam hal ini adalah logam yang akan dilapisi.

Ciri-ciri dari elektroda tersebut adalah sebagai berikut:

1. Anoda:

- a. Merupakan kutub positif
- b. Terjadi reaksi oksidasi
(suatu perubahan kimia dimana suatu zat melepaskan elektron)
- c. Terjadi pelepasan elektron
- d. Menghantarkan arus listrik pada elektrolit
- e. Mendistribusikan arus secara seragam pada permukaan katoda

2. Katoda:

- a. Merupakan kutub negatif
- b. Merupakan benda kerja yang akan dilapisi
- c. Terjadi reaksi reduksi
(suatu perubahan kimia dimana suatu zat menangkap elektron)
- d. Menerima elektron dari sirkuit luar

2.4 Reaksi Redoks

Reaksi redoks adalah reaksi kimia yang melibatkan reaksi oksidasi (peningkatan bilangan oksidasi) dan reduksi (penurunan bilangan oksidasi) yang terjadi secara serentak dalam suatu sel elektrokimia (Parthasaradhy, 1989:25).

Reaksi oksidasi adalah suatu perubahan kimia dimana suatu zat melepaskan elektron. Pada sel elektrokimia oksidasi terjadi di anoda. Reaksi reduksi adalah suatu perubahan kimia dimana suatu zat menangkap elektron. Pada sel elektrokimia reduksi terjadi di katoda. Pada reaksi redoks, zat yang mengoksidasi disebut oksidator, sedangkan zat yang mereduksi zat lain disebut reduktor. Suatu reaksi reduksi dapat menimbulkan potensial listrik tertentu, yang disebut potensial elektroda (E) dan

semakin mudah suatu unsur mengalami reduksi, maka makin besar potensial elektrodanya. Harga potensial elektroda yang sebenarnya dalam suatu reaksi reduksi tidak dapat dihitung, sebab tidak ada reaksi reduksi yang berlangsung tanpa diikuti reaksi oksidasi. Oleh karena itu, harga potensial elektroda yang dipakai adalah harga potensial elektroda relatif yang dibandingkan terhadap suatu elektroda standar. Itulah sebabnya harga potensial elektroda lebih tepat disebut potensial reduksi standar atau potensial elektroda standar (E_0). Elektroda yang dipakai sebagai standar dalam menentukan harga potensial elektroda adalah elektroda hidrogen. Cara memperolehnya dengan mengalirkan gas hidrogen murni pada elektroda platina (Pt) yang bersentuhan dengan asam (ion H^+). Sehingga terjadi kesetimbangan:



Harga potensial elektroda dari reaksi ini ditetapkan 0 volt. Kemudian harga potensial elektroda standar dari semua reaksi reduksi adalah harga yang dibandingkan terhadap potensial elektroda standar hidrogen.

Berdasarkan harga E_0 maka dapat disusun suatu deret unsur mulai dari unsur dengan harga E_0 terkecil sampai terbesar yang disebut deret volta yaitu:

K-Ba-Ca-Na-Mg-Al-Mn-Zn-Cr-Fe-Cd-Co-Ni-Sn-Pb-H-Cu-Hg-Ag-Pt-Au

Sifat-sifat dari deret volta adalah:

1. Logam yang terletak di sebelah kanan H memiliki harga E_0 positif, sedangkan di sebelah kiri H mempunyai harga E_0 negatif.
2. Makin ke kanan letak suatu logam pada deret volta, maka harga E_0 logam makin besar. Hal ini berarti bahwa logam-logam di sebelah kanan H mudah mengalami reduksi atau sulit teroksidasi. Logam ini disebut logam yang pasif atau logam mulia.
3. Makin ke kiri, harga E_0 dari logam semakin kecil yang berarti logam tersebut sulit tereduksi dan mudah teroksidasi. Logam ini disebut logam yang aktif.

2.5 Pengaliran Arus

Arus yang digunakan pada proses pelapisan adalah arus searah (*Direct Current/DC*). Arus ini didapat dari sumber arus yang bermacam-macam, yaitu baterai kering, *Acumulator* dan *DC Power Supply* (Utomo, A. B., 2007).

Penggunaan sumber arus tergantung dari besar arus yang akan digunakan selama proses, dan kestabilan besar arus juga harus diperhatikan, karena hal itu berhubungan dengan hasil pelapisan yang terjadi. Ditinjau dari kestabilan arus yang

dibutuhkan maka sumber arus yang paling baik adalah *DC Power Supply* (Utomo, A. B., 2007).

2.6 Perencanaan Bentuk Benda Kerja

Beberapa masalah yang timbul sehubungan dengan bentuk benda kerja (Utomo, 2007) adalah:

1. Penebalan lapisan pada lempengan segi empat.
2. Tipisnya lapisan pada benda berbentuk siku.
3. Bentuk lonjong pada benda kerja berpenampang bulat.
4. Lapisan tipis pada benda berbentuk cekung (*concave*).

Sebagai pedoman dalam merencanakan suatu bentuk benda yang akan dilapisi adalah:

1. Hindarkan lubang pada benda kerja, kalau harus ada diusahakan dibuat lubang yang tembus dan diameternya diperbesar.
2. Berikan toleransi pada benda yang nantinya akan dirakit.
3. Pada pelapisan yang banyak atau bersama – sama (*barrel-plating*), hindarkan bentuk yang mengakibatkan benda – benda tersebut saling terkait.

2.7 Pembersihan Kotoran (*Pickling*)

Proses *pickling* adalah proses pembersihan/penghilangan lapisan oksida dari permukaan logam secara kimiawi dengan mencelupkan ke dalam larutan asam. Proses ini dilakukan sebelum suatu logam mengalami proses pelapisan. Adapun lapisan oksida yang harus dibersihkan antara lain:

- Minyak dan sejenisnya, termasuk lemak, serta jenis bahan organik lainnya.
- Karat, debu, dan kerak.

Lapisan oksida pada permukaan logam harus dihilangkan karena akan mempengaruhi kelekatan logam pelapis dengan logam yang akan dilapisi. Fungsi lain dari *pickling* adalah untuk membuka pori-pori pada permukaan logam agar lebih mudah menangkap logam pelapis. Lapisan oksida yang ada pada permukaan logam akan terkikis sehingga akan mudah mereduksi logam yang akan dilapiskan pada saat proses pelapisan.

Pada saat proses *pickling*, larutan asam akan masuk melalui celah-celah retakan (*crack*) pada lapisan oksida dan kemudian bereaksi dengan logam induknya dan akan menghasilkan gas hidrogen. Dengan meningkatnya jumlah gas hidrogen yang

terbentuk, maka tekanan di bawah lapisan oksida tersebut akan meningkat sehingga lapisan oksida tersebut akan terlepas dari permukaan logam. Lapisan oksida tersebut juga bisa bereaksi dengan larutan asam sehingga akan terkikis dan larut di dalam larutan tersebut.

2.8 Tembaga

Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu dan nomor atom 29. Lambangnya berasal dari bahasa latin *cuprum*. Tembaga merupakan konduktor panas listrik yang sangat baik. Selain itu unsur ini memiliki korosi yang sangat lambat, tembaga bersifat liat, lunak, ulet.



Gambar 2.4 Tembaga
Sumber: id.wikipedia.org

Sifat-sifat Fisika Tembaga:

1. Logam berwarna kemerah-merahan dan berkilauan
2. Fasanya solid
3. Massa jenis (mendekati suhu kamar) 8.94 g.cm^{-3}
4. Massa jenis cairan pada titik didih 8.02 g.cm^{-3}
5. Titik lebur 1357.77 K
6. Titik didih 2835 K
7. Kalor peleburan $13.26 \text{ kJ.mol}^{-1}$
8. Kalor penguapan $300.4 \text{ kJ.mol}^{-1}$
- 9.

2.9 Chrome

Chrome atau dalam istilah asing biasa disebut *chromium* adalah suatu logam keras berwarna abu-abu dan sulit dioksidasi meski dalam suhu tinggi. *Chromium* adalah sebuah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cr dan nomor atom 24. *Chromium* merupakan logam tahan korosi (tahan karat) dan dapat dipoles

menjadi mengkilat. Dengan sifat ini, *chromium* (krom) banyak digunakan sebagai pelapis pada ornamen-ornamen bangunan maupun pada komponen kendaraan, seperti knalpot pada sepeda motor. *Chromium* pertama kali ditemukan pada tahun 1797 oleh Vauquelin, Ia menemukan *chromium* yang berwarna kelabu kebiru-biruan (www.jackpostle.com)

Sifat-sifat umum *chromium* antara lain:

- Berat jenis $7,20 \text{ g/cm}^3$ pada 28°C
- Chromium* tidak larut dalam air dan asam nitrat, larut dalam asam sulfat encer dan asam klorida.
- Chromium* tidak dapat bercampur dengan basa, oksidator, halogen, peroksida dan logam – logam.
- Chromium* dapat menyala atau mudah menyala, dapat terbakar secara spontan apabila terpapar di udara atau bila debu kromium bercampur dengan udara dapat terbakar atau meledak.
- Hindari dari panas, nyala api, percikan api dan sumber – sumber kebakaran yang lain. Hindari terjadinya debu kromium.



Gambar 2.5 Chrome
Sumber: id.wikipedia.org

Ciri-ciri fisik *chromium* antara lain:

- Fase padat
- Massa jenis (sekitar suhu kamar) 7.15 g/cm^3
- Massa jenis cair pada titik lebur 6.3 g/cm^3
- Titik lebur 2180 K
- Titik didih 2944 K
- Kalor peleburan 21.0 kJ/mol
- Kalor penguapan 339.5 kJ/mol

2.10 Baja

Baja paling banyak dipakai sebagai bahan industri yang merupakan sumber yang sangat besar, dimana sebagian ditentukan oleh nilai ekonominya, tetapi yang paling penting karena sifat-sifatnya yang bervariasi. Pada baja unsur paduan utamanya adalah karbon. Kandungan karbon dalam baja merupakan salah satu unsur terpenting karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Selain karbon yang terkandung dalam baja, juga terdapat unsur kira-kira 0,25% silikon (Si), 0,3 – 1,5% mangan (Mn) dan unsur pengotor lain seperti fosfor (P), sulfur (S), dan sebagainya (Surdia, 1999:69). Berdasarkan kandungan karbonnya, baja karbon dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Baja Karbon Rendah (*low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah ini mengandung kadar karbon kurang dari 0,3%. Dimana mempunyai kekuatan yang relatif rendah, lunak, keuletannya tinggi, mudah dibentuk. Penggunaan baja jenis ini biasanya untuk ulir dan roda gigi.

2. Baja karbon sedang (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon sedang ini mengandung kadar karbon antara lebih dari 0,3% sampai 0,7% (Surdia, 1999:69). Baja karbon sedang ini mempunyai sifat lebih kuat dan keras, jika dibandingkan baja karbon rendah. Pada umumnya baja jenis ini sering digunakan untuk konstruksi yang memerlukan kekuatan serta ketangguhan yang lebih baik. Penggunaan baja jenis ini banyak digunakan untuk mesin, misalnya: untuk poros engkol, dan poros penghubung.

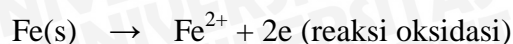
3. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi ini mengandung kadar karbon antara lebih 0,7% sampai 2,00%. Baja karbon ini mempunyai sifat yang lebih keras dan lebih kuat jika dibandingkan dengan baja karbon rendah dan baja karbon sedang, tetapi keuletan dan ketangguhannya sangat rendah sekali. Contoh penggunaan dari baja jenis ini adalah untuk pahat potong (*cutting tools*). ST 37 adalah baja konstruksi (Malcolm Campbell, 2008).

2.11 Korosi

Korosi adalah kerusakan atau penurunan kualitas logam akibat reaksi 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 prosesnya tidak melibatkan air atau di udara

terbuka, zat-zat kimia yang bersifat korosif dan sebagainya. Reaksi yang terjadinya adalah:



2.11.1 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.

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 di tempat 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. Daya hantar elektrolit

Daya hantar yang tinggi memungkinkan anoda dan katoda tetap bekerja meskipun 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 harus dapat 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.

2.11.2 Korosi Atmosfer

Korosi atmosfer merupakan salah satu jenis korosi yang paling dominan di muka bumi ini. Jenis korosi ini terjadi akibat proses elektrokimia 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 molekul 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 ada 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 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 pengantar yang sangat baik, sehingga terjadilah sel karat di dalam titik embun yang menempel pada permukaan logam yang memiliki beda potensial (Widhiarto, 2001 : 3).

2.11.3 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 (Widhiarto, 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 di atas 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.

2.11.4 Pengujian Korosi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui laju korosi atau ketahanan korosi dari suatu material. Pengujian korosi ini dibagi menjadi dua kategori yaitu:

- a. Pengujian Laboratorium

Pengujian ini dilakukan dengan mengkondisikan lingkungan agar spesimen yang diuji dapat terkorosi, dengan kondisi dan bentuk spesimen yang dibuat mendekati keadaan sebenarnya. Pada pengujian di laboratorium biasanya digunakan larutan-larutan asam yang bersifat korosif atau menggunakan larutan yang dialiri arus listrik atau *electrochemical* sehingga waktunya relatif lebih singkat (Agusta, 2008).

Perangkat yang digunakan adalah:

- Larutan NaCl dengan konsentrasi 2%
- Timbangan elektrik
- *Beaker glass*



Gambar 2.6 potensiostat
 Sumber: artisan-scientific.com

b. Pengujian lapangan atau secara alamiah

Pengujian ini dilakukan dengan menempatkan spesimen sebenarnya langsung pada kondisi lingkungan yang dialami langsung oleh material tanpa adanya kondisi yang dibuat-buat untuk mempercepat terjadinya korosi (Agusta, 2008).

Lingkungan-lingkungan alamiah tersebut antara lain:

- lingkungan udara, misalnya: udara pantai dan udara kawasan industri.
- lingkungan air, misalnya: air tawar, air laut, dan air mengalir.
- lingkungan tanah, misalnya: tanah lembab dan tanah berdebu.

2.11.5 Laju Korosi

Besarnya laju korosi merupakan laju pengurangan berat spesimen karena pengaruh dari reaksi media dengan berbagai tingkat keasaman (pH media perendam) yang diukur dengan rumus yang menunjukkan penipisan spesimen setelah direndam dalam larutan atau media. Laju korosi dapat dinyatakan dengan *Corrosion Penetration Rate* (CPR) dengan satuan *inches per year* (ipy), atau *millimeter per year* (mmpy). Satuan mmpy lebih sering digunakan sebagai satuan laju korosi karena dapat menunjukkan laju korosi untuk nilai yang sangat kecil (Fontana, 1987 :172).

Persamaan yang digunakan untuk menghitung laju korosi adalah:

$$CPR = k \frac{ai}{nd} \dots\dots\dots(\text{Fontana, 1987:173})$$

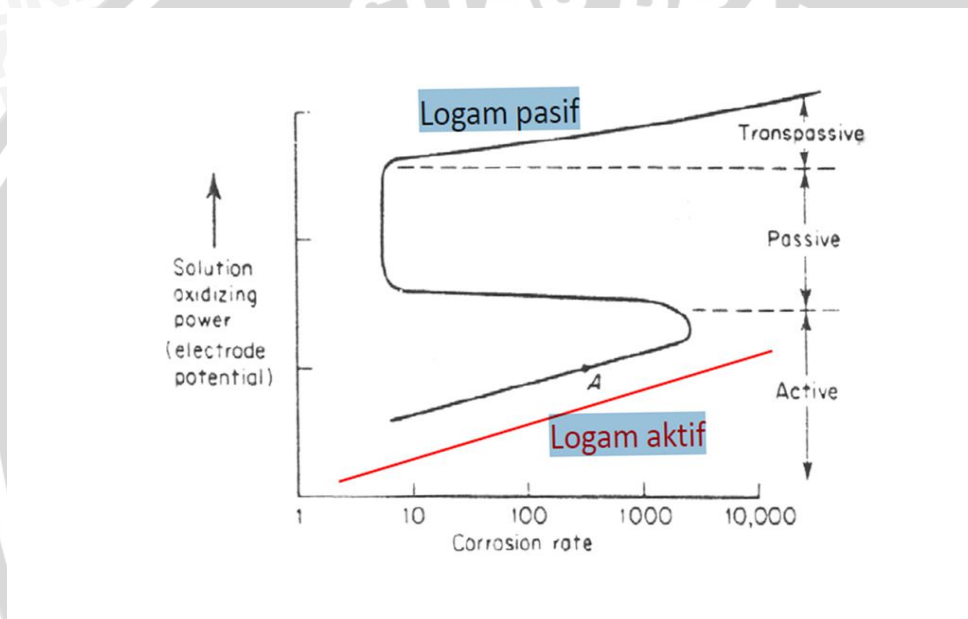
- dengan: a = atomic weight (gr/mol)
 i = current density ($\mu\text{a}/\text{cm}^2$)
 n = number of electrons
 d = density (g/cm^3)
 k = constant depending on the penetration rate(0,00327 mm/year)

$$CPR = \text{laju korosi} \quad (\text{mm/year})$$

Corrosion Penetration Rate (CPR) menunjukkan besarnya penetrasi rata-rata dari korosi terhadap logam dalam tiap satuan waktu. Semakin tinggi nilai laju korosi menunjukkan ketahanan logam yang rendah terhadap serangan korosi. Begitu pula sebaliknya bahwa semakin rendah nilai laju korosi menunjukkan ketahanan logam yang baik terhadap korosi

2.11.6 Pasivasi

Hilangnya reaksi korosi akibat terbentuknya lapisan pasif di permukaan logam. Pasivasi hanya terjadi pada logam tertentu seperti: Cr, Ni, Al,



Gambar 2.7 diagram pasivasi
Sumber: artisan-scientific.com

2.12 Ketebalan Lapisan

Michael Faraday menemukan hubungan antara produk suatu endapan dengan jumlah arus dan waktu yang digunakan, yaitu:

- Berat dari logam yang diendapkan (*W*) pada saat berlangsung proses elektrolisis berbanding lurus dengan jumlah kuat arus (*I*) dan waktu (*t*).

Pernyataan di atas dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$W = \frac{I \times t \times A}{Z \times F} \quad (\text{gr}) \dots\dots\dots(\text{Sanders, 1950:6}) \quad (2-1)$$

dengan: *W* = Berat logam yang diendapkan (gr)

I = Arus yang digunakan (ampere)



- t = Waktu (detik)
 A = Massa atom (gr/mol)
 Z = Valensi atom
 F = Bilangan Faraday = 96500 (Coulomb/mol)

Dari rumus di atas, ketebalan lapisan dapat diperoleh dengan asumsi lapisan sepanjang permukaan seragam (Sanders, 1950:7). Untuk mengetahui ketebalan lapisan maka harus diketahui volume dari logam inti, dan hubungan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Density}(\rho) = \frac{\text{berat endapan}(W)}{\text{volume}(V)} \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right) \dots\dots(\text{Sanders, 1950:7}) \quad (2-2)$$

Atau

$$\text{Volume}(V) = \frac{\text{berat endapan}(W)}{\text{density}(\rho)} \left(\text{cm}^3 \right) \dots\dots\dots(\text{Sanders, 1950:7}) \quad (2-3)$$

Jadi ketebalan endapan dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\text{Ketebalan}(S) = \frac{\text{volume}(V)}{\text{luas permukaan}(L)} \left(\text{cm} \right) \dots\dots(\text{Sanders, 1950:7}) \quad (2-4)$$

Hukum Faraday dapat menjelaskan pengaruh penambahan waktu pada proses pelapisan logam dengan listrik. Semakin lama waktu yang digunakan, maka lapisan logam yang dihasilkan juga semakin besar. Berdasarkan persamaan (2-2), (2-3), dan (2-4) juga dapat dijelaskan bahwa semakin besar jumlah deposit lapisan logam (jumlah berat endapan), maka semakin besar pula ketebalan dari lapisan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa waktu yang digunakan pada proses pelapisan mempengaruhi jumlah deposit lapisan dan juga ketebalan lapisan yang terbentuk.

Pada kondisi sebenarnya berat yang terbentuk akan lebih rendah daripada berat secara teoritis (berat menurut Hukum Faraday). Hal ini disebabkan karena arus listrik yang digunakan pada *electroplating* ini tidak semuanya digunakan untuk pengendapan (deposisi) ion logam, namun juga terjadi reaksi-reaksi sampingan yaitu: evolusi (pelepasan) hidrogen, dan pelepasan kalor pada larutan elektrolit. Perbandingan berat aktual (sebenarnya) dengan berat secara teoritis, menunjukkan efisiensi arus listrik dan dinyatakan dalam persen yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta_{\text{arus}} = \frac{W_{\text{aktual}}}{W_{\text{teoritis}}} \times 100\% \dots\dots\dots(\text{Parthasarady, 1998:51}) \quad (2-5)$$

dengan:

W_{aktual} = berat yang mengendap di Katoda.

$W_{teoritis}$ = berat menurut Hukum Faraday

2.13 Konsentrasi Larutan Elektrolit

Konsentrasi larutan menyatakan secara kuantitatif komposisi zat terlarut dan pelarut di dalam larutan. Konsentrasi umumnya dinyatakan dalam perbandingan jumlah zat terlarut dengan jumlah pelarut. Pada sistem elektrokimia bila diberi beda tegangan, ion-ion bergerak menuju elektroda. Ion yang bergerak ke anoda disebut anion, sedangkan ion yang menuju katoda disebut kation. Masing-masing mempunyai laju khas bila tegangannya satu (satuan), laju tersebut dinamai mobilitas atau konduktivitas ion individu. Konduktivitas total larutan tertentu merupakan jumlah mobilitas segenap ion yang dikandungnya. Ion bergerak dalam larutan sebagai satuan-satuan. Larutan asam/basa merupakan konduktor baik dibandingkan larutan berair lainnya, maka proses elektrolitik asam/basa bebas sering dipergunakan untuk memperbaiki konduktivitas (daya hantar) larutannya (Hartomo, 1992:3).

Pada *asam chromat* (H_2CrO_4) berfungsi sebagai pemasok ion *chrome* (logam pelapis). Dengan konsentrasi *asam chromat* (H_2CrO_4) yang tinggi, maka ion-ion *chrome* yang terkandung dalam bak plating akan semakin besar, sehingga deposit logam yang terbentuk menjadi besar. Tetapi dengan konsentrasi larutan elektrolit yang terlalu tinggi dapat menyebabkan terjadinya produksi gas hidrogen secara berlebihan, sehingga terjebak dalam endapan deposit pada batas butir yang menyebabkan porositas meningkat. Porositas ini dapat menyebabkan lapisan tidak merata.

2.13.1 Difusi

Difusi adalah peristiwa mengalirnya atau berpindahnya suatu zat dalam pelarut dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah. Difusi akan terus terjadi hingga seluruh partikel tersebar luas secara merata atau mencapai keadaan kesetimbangan dimana perpindahan molekul tetap terjadi walaupun tidak ada perbedaan konsentrasi. Contoh yang sederhana adalah pemberian gula pada cairan teh tawar. Lambat laun cairan menjadi manis. Ada beberapa faktor yang memengaruhi kecepatan difusi, yaitu:

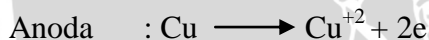
- Ukuran partikel. Semakin kecil ukuran partikel semakin cepat partikel itu akan bergerak sehingga kecepatan difusi semakin tinggi.

- Ketebalan membran. Semakin tebal membran maka semakin lambat kecepatan difusi.
- Luas suatu area. Semakin besar luas area semakin cepat kecepatan difusinya.
- Jarak. Semakin besar jarak antara dua konsentrasi semakin lambat kecepatan difusinya.
- Suhu. Semakin tinggi suhu, partikel mendapatkan energi untuk bergerak dengan lebih cepat, maka semakin cepat pula kecepatan difusinya.

2.14 Mekanisme Reaksi

Dalam bak *plating* ketika proses sedang berlangsung terjadi berbagai reaksi yang akan mempengaruhi kualitas pelapisan. Pada katoda terjadi reaksi yang berlangsung serentak (Hartomo, 1992:56) reaksi-reaksi yang terjadi adalah reaksi tembaga dengan logam, hidrogen dengan timbal dan tembaga dengan *chrome*. Reaksi antara tembaga dengan logam, sesuai dengan deret volta, tembaga mengalami oksidasi, sedangkan Fe mengalami reduksi itu disebabkan karena beda potensial dimana Cu terletak di atas Fe. Reaksinya dapat digambarkan sebagai berikut:

Reaksi tembaga



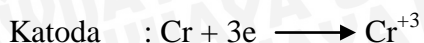
Dimana Cu melepaskan 2 elektron, sedangkan Fe menangkap elektron sebesar 2e untuk dijadikan atom netral.

Reaksi *chrome*



Pb menerima elektron sebesar 2e untuk dijadikan atom netral, sedangkan H melepas 2 elektron untuk menempel ke logam pelapis. Dimana H mengalami oksidasi, sedangkan Pb mengalami reduksi itu disebabkan karena dalam deret volta letak H di atas Pb.

Reaksi antara *chrome* dengan tembaga



Cu mengalami oksidasi sehingga melepas 2 elektron, sedangkan Cr menangkap 3 elektron untuk dijadikan.

Pada saat proses berlangsung akan timbul gelembung-gelembung gas hidrogen (H₂) akibat adanya reaksi pelepasan hidrogen pada katoda. Gas hidrogen

yang timbul akan menyebabkan lubang-lubang kecil berupa titik hitam atau buram pada permukaan hasil pelapisan. Hal ini sering disebut *pitting*. *Pitting* yang disebabkan oleh adanya gas hidrogen tersebut selain menjadikan hasil pelapisan tampak buruk, juga menyebabkan kerapuhan pada hasil pelapisan. Sifat rapuh ini akan nampak bila benda kerja dibengkokkan, maka logam pelapis menjadi patah atau retak. *Pitting* yang berupa lubang-lubang kecil tersebut menjadi jalan bagi berlangsungnya reaksi secara mikro.

2.15 Entalpi

Entalpi (H) adalah jumlah energi yang dimiliki sistem pada tekanan tetap. Entalpi (H) dirumuskan sebagai jumlah energi yang terkandung dalam sistem (E) dan kerja (W).

$$H = E + W$$

dengan:

$$W = P \times V$$

$$E = \text{energi (joule)}$$

$$W = \text{kerja sistem (joule)}$$

$$V = \text{volume (liter)}$$

$$P = \text{tekanan (atm)}$$

Hukum kekekalan energi menjelaskan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, tetapi hanya dapat diubah dari bentuk energi yang satu menjadi bentuk energi yang lain. Nilai energi suatu materi tidak dapat diukur, yang dapat diukur hanyalah perubahan energi (ΔE).

2.16 Hipotesa

Dengan meningkatnya konsentrasi *asam cromat*, maka ion-ion *chrome* yang terkandung dalam bak *plating* akan semakin besar, sehingga deposit logam yang terbentuk semakin meningkat. Dengan besarnya deposit logam yang terbentuk pada permukaan katoda maka laju korosi akan semakin menurun.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*) yaitu dengan melakukan pengujian secara langsung pada objek yang diteliti untuk memperoleh data sebab akibat melalui proses eksperimen. Dalam hal ini objek yang akan dilakukan penelitian adalah pengaruh variasi konsentrasi larutan *asam chromat* (H_2CrO_4) terhadap laju korosi hasil proses *electroplating*.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di beberapa tempat pada bulan Nopember 2011 sampai selesai yaitu:

1. Pembuatan spesimen dan proses *electroplating* dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang.
2. Pengujian laju korosi dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan ditentukan sebelum penelitian. Besar variabel bebas divariasikan untuk mendapatkan hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat sehingga tujuan penelitian dapat tercapai. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah:

- Konsentrasi larutan *asam chromat* (H_2CrO_4) dengan presentase: 19%, 20%, 21%, 22%.

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya bergantung dari variabel bebas. Adapun variabel terikat dalam penelitian ini yaitu :

- Laju korosi

3.3.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang besarnya selalu dijaga untuk mendukung penelitian. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terkontrol adalah:

- Pada pelapisan dasar (tembaga)
 - Konsentrasi Tembaga sianida (CuCN) sebesar 120 gram/liter
 - Konsentrasi Potasium sianida (KCN) sebesar 5 gram/liter
 - Temperatur sebesar 45 °C
 - Arus listrik sebesar 1,5 A/dm²
 - Waktu pelapisan 40 menit
 - Jarak Elektroda 100 mm
- Pelapisan akhir (*chrome*)
 - Konsentrasi Asam sulfat (H₂SO₄) sebesar 10%
 - Temperatur sebesar 45 °C
 - Arus listrik sebesar 2,5 A/dm²
 - Jarak Elektroda 100 mm
 - Waktu pelapisan 60 menit
- Proses *pickling*
 - Larutan NaCl sebesar 2%
 - Waktu *pickling* 10 menit

3.4 Peralatan dan Bahan yang digunakan

Dalam penelitian ini menggunakan peralatan dan bahan yang menunjang diantaranya untuk peralatan seperti pada sub bab 3.4.1 dan bahan pada sub bab 3.4.2 sebagai berikut:

3.4.1 Peralatan yang digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Kertas gosok

Digunakan untuk membersihkan benda kerja dari kotoran-kotoran.



Gambar 3.1 kertas gosok
Sumber : yulibean.multiply.com

2. Gelas kimia 1000 ml dan 100 ml

Digunakan untuk mengukur volumen larutan elektrolit



Gambar 3.2 gelas ukur

Sumber : berani.co.id

3. Timbangan digital

Digunakan untuk mengukur berat benda kerja dan komposisi larutan elektrolit



Gambar 3.3 timbangan digital

Sumber : indonetwork.co.id

4. Termometer

Digunakan untuk mengukur suhu



Gambar 3.4 termometer

Sumber: baihaqi-viking.blogspot.com

5. Stopwatch

Digunakan untuk menghitung waktu pelapisan



Gambar 3.5 stopwatch

Sumber: mentarikomunikasi.indonetwork.co.id

6. Jangka Sorong

Digunakan untuk mengukur ketebalan benda kerja sebelum di lapisi dan sesudah di lapisi



Gambar 3.6 jangka sorong

Sumber: indorobotika.com

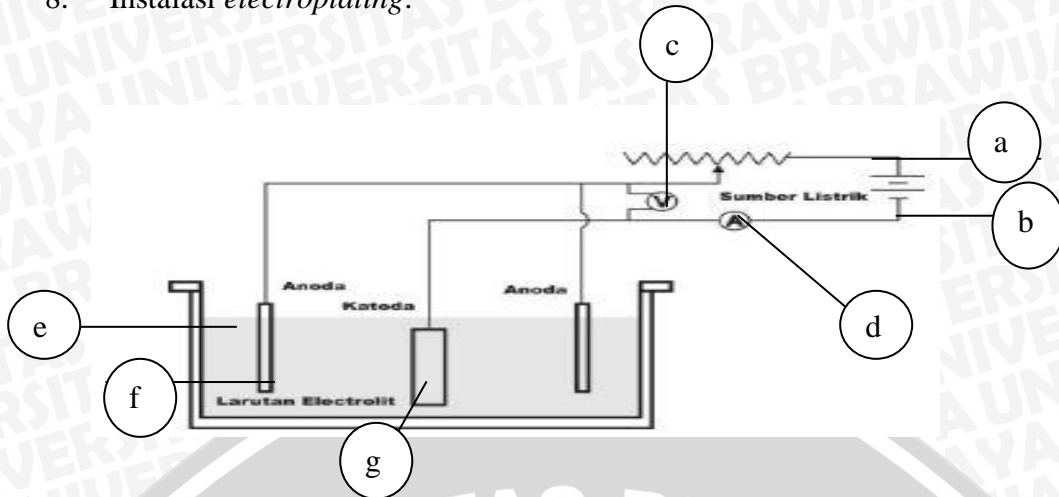
7. Berbagai alat keselamatan kerja, terdiri atas sarung tangan karet, dan masker



Gambar 3.7 sarung tangan dan masker

Sumber: http://www.asian-accessory.com/userfiles_aa/image/masker

8. Instalasi *electroplating*.



Gambar 3.8 Instalasi *electroplating*
 Sumber: artisan-scientific.com

Keterangan :

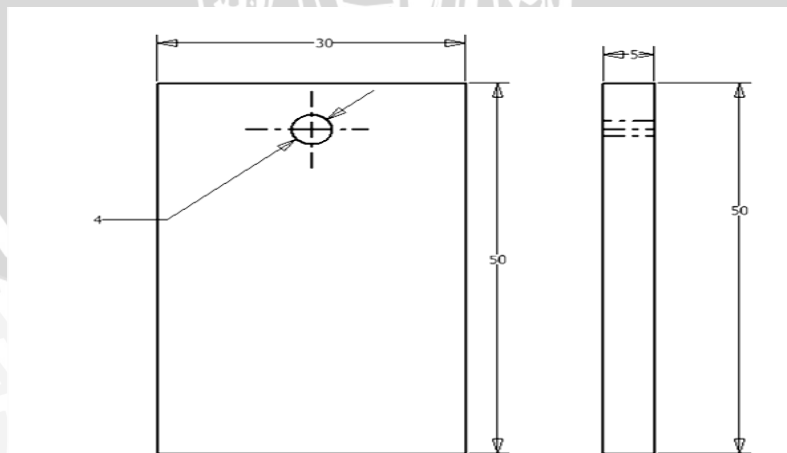
- a = Arus positif
- b = Arus negatif
- c = Volt meter
- d = Ampere meter
- e = Bak *plating*
- f = Anoda
- g = Katoda

3.4.2 Bahan yang digunakan

Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah:

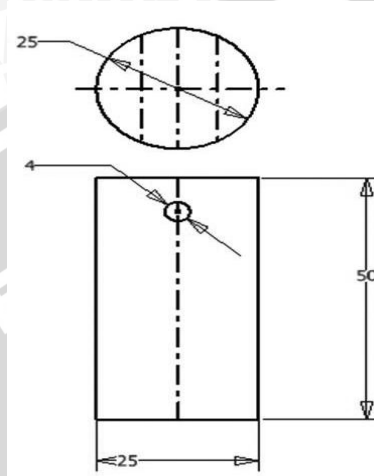
1. Baja ST 37 sebagai benda kerja.

Bentuk dan dimensi benda kerja yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.9 Benda Kerja

2. Larutan H_2SO_4 10% untuk proses *pickling*.
3. Larutan *Chrome* untuk proses *Chrome Plating*, yang terdiri atas asam *chromat* (H_2CrO_4) dengan konsentrasi 19%, 20%, 21%, 22%. Asam sulfat (H_2SO_4) sebesar 10%.
4. Larutan NaCl 2% untuk proses pengujian korosi.
5. Anoda tembaga (Cu) dan timbal (Pb)



Skala 1 : 1

Gambar 3.10 Anoda

3.5 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilaksanakan dalam penelitian ini adalah:

1. Persiapan alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian.
2. Proses pembersihan benda kerja menggunakan kertas gosok dan *flap disk*.
3. Disiapkan larutan *electrolyte* dan peralatan untuk proses *chrome plating*
4. Dipersiapkan instalasi *electroplating*.
5. Pengukuran berat awal benda kerja dengan menggunakan timbangan elektrik.
6. Dilakukan proses *pickling* selama 10 menit menggunakan H_2SO_4 .
7. Benda kerja dikeluarkan, diikuti dengan pembilasan dan pengeringan.
8. Dilakukan proses *electroplating*.
9. Benda kerja dikeluarkan, diikuti dengan pembilasan dan pengeringan.
10. Pengukuran berat benda kerja setelah pelapisan.
11. Dilakukan uji laju korosi, kemudian dilakukan pengolahan data dengan menggunakan metode eksperimental.

12. Dilakukan pembahasan dan menarik kesimpulan.

3.6 Metode Pengambilan Data

Metode pengambilan data yang akan dilakukan pada pengukuran laju korosi dengan langkah-langkah seperti pada sub bab 3.6.1.

3.6.1 Pengukuran Laju Korosi

Pengukuran laju korosi dari lapisan *chrome* yang telah dilapiskan secara *electroplating* pada spesimen, dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Membersihkan lapisan dengan kain halus.
2. Mengukur berat spesimen dengan timbangan elektrik.
3. Memasukkan spesimen dalam larutan asam kuat NaCl 2% .
4. Selama 1 jam spesimen dicelupkan dalam instalasi laju korosi.
5. Spesimen dikeluarkan dan dibersihkan dengan air.
6. Mengukur berat spesimen setelah pencelupan, selisih berat sebelum pengujian dan setelah pengujian menunjukkan besarnya laju korosi.
7. Pengukuran untuk spesimen dengan variasi waktu pelapisan dan konsentrasi larutan berbeda.

3.7 Rancangan Penelitian dan Analisis Data

3.7.1 Rancangan Penelitian

Penelitian akan memberikan hasil atau jawaban yang sesuai dengan sasaran penelitian jika didukung oleh data yang mewakili populasi yang diteliti. Untuk itu diperlukan rancangan penelitian yang sesuai. Pada penelitian ini menggunakan rancangan kelompok dengan variasi konsentrasi larutan yang terdiri dari 4 tingkat sehingga membutuhkan 12 spesimen yang akan menghasilkan 12 data laju korosi. Dengan analisa ini akan diketahui apakah konsentrasi larutan elektrolit berpengaruh terhadap laju korosi pada permukaan yang dihasilkan pada proses elektroplating.

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

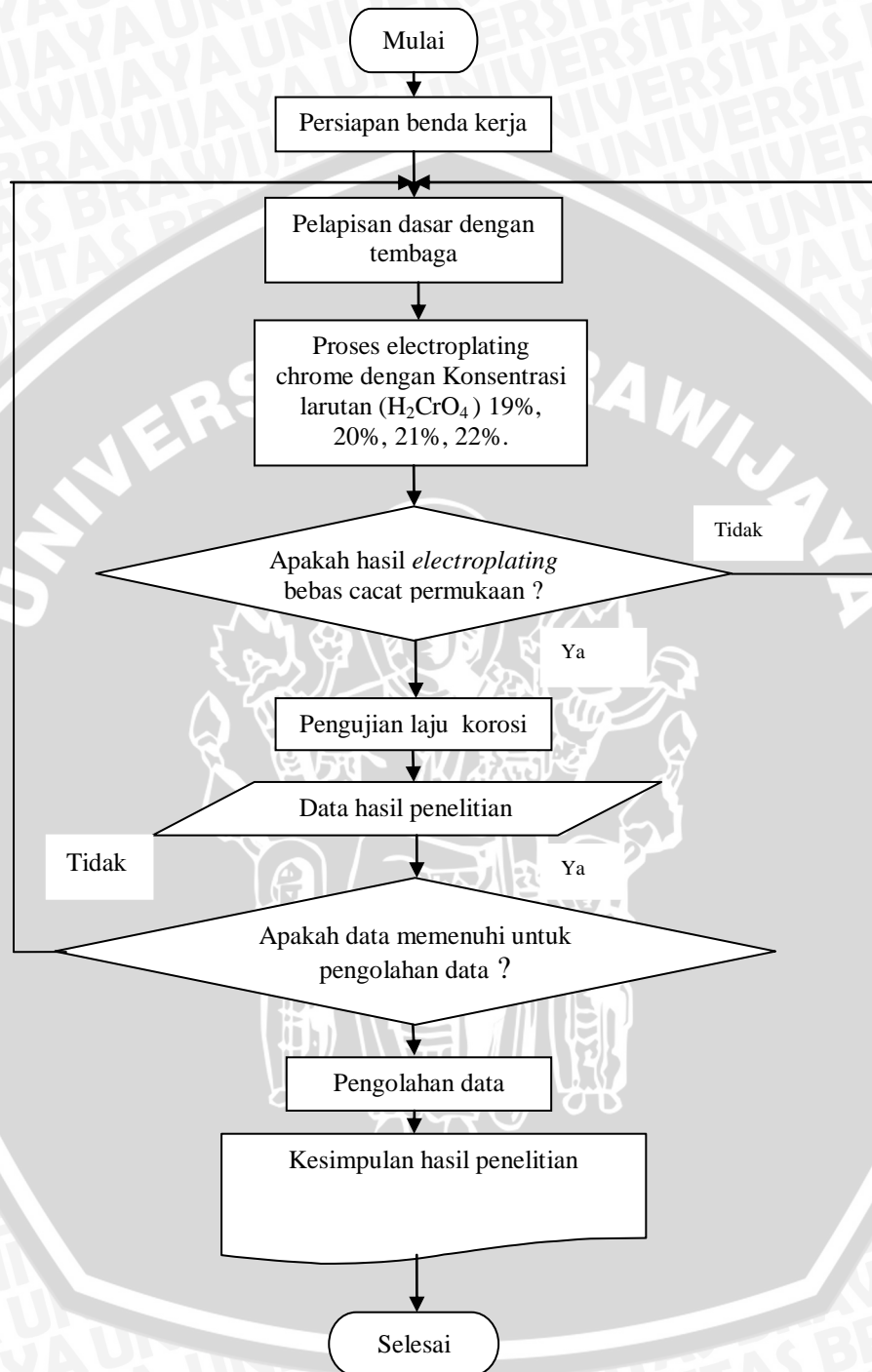
Konsentrasi larutan	Pengulangan ke-	Rapat Arus (<i>icoor</i>) (nA/cm ²)	CPR (Perhitungan) (mm/year)	CPR (<i>Potensiostat</i>) (mm/year)
%				
19	1			
	2			
	3			
	Rata-Rata			
20	1			
	2			
	3			
	Rata-Rata			
21	1			
	2			
	3			
	Rata-Rata			
22	1			
	2			
	3			
	Rata-Rata			

Tabel 3.2 Rancangan Penelitian

KLP	Pengulangan	Berat (gr)
I	1	
	2	
	3	
II	1	
	2	
	3	
III	1	
	2	
	3	
IV	1	
	2	
	3	
Rata-rata		

3.8 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini sesuai dengan diagram alir pada gambar 3.11 berikut:



Gambar 3.11 diagram alir penelitian

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Sebelum memulai proses *electroplating* benda kerja dibentuk berdasarkan dimensi yang telah ditentukan, untuk seluruh benda kerja pada proses pembuatan diperlakukan sama dan dilakukan proses pengukuran berat masing masing spesimen. Di bawah ini merupakan data spesimen sebelum dilakukan proses *electroplating* dalam tabel 4.1

Tabel 4.1 Data berat spesimen awal

KLP	Pengulangan	Berat (gr)
I	1	77.00
	2	79.21
	3	78.13
II	1	78.92
	2	79.16
	3	78.19
III	1	78.90
	2	79.20
	3	78.00
IV	1	78.21
	2	79.18
	3	77.78
Rata-rata		78.49

Setelah proses *electroplating* dasar menggunakan tembaga dengan waktu 40 menit dan kuat arus sebesar 1,5 *ampere*, di dapat hasil berat benda kerja seperti pada tabel 4.2

Tabel 4.2 berat benda kerja setelah di lakukan proses *electroplating* tembaga

KLP	Pengulangan	Berat (gr)
I	1	78.10
	2	80.35
	3	79.34
II	1	80.15
	2	80.33
	3	79.35
III	1	80.14
	2	80.36
	3	79.25
IV	1	79.47
	2	80.38
	3	79.03
Rata-rata		79.68

Dengan mengurangi berat total benda kerja setelah pelapisan dasar tembaga dengan berat awal maka kita akan dapat mengetahui berat endapan lapisan tembaga.

Tabel 4.3 berat endapan lapisan dasar (tembaga) pada benda kerja

KLP	Pengulangan	Berat awal (gr)	Berat setelah di lapisi tembaga (gr)	Berat endapan tembaga (gr)
I	1	77.00	78.10	1.10
	2	79.21	80.35	1.14
	3	78.13	79.34	1.21
II	1	78.92	80.15	1.23
	2	79.16	80.33	1.17
	3	78.19	79.35	1.16
III	1	78.90	80.14	1.24
	2	79.20	80.36	1.16
	3	78.00	79.25	1.25
IV	1	78.21	79.47	1.26
	2	79.18	80.38	1.20
	3	77.78	79.03	1.25
Rata-rata				1.20

Setelah melakukan proses *electroplating* akhir *chrome* di dapat berat spesimen akhir pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Berat benda kerja setelah dilapisi *chrome*

Konsentrasi larutan (%)	Pengulangan	Berat krom (gr)	Berat rata2 (gr)
19	1	78.40	79.51
	2	80.56	
	3	79.59	
20	1	80.47	80.22
	2	80.60	
	3	79.61	
21	1	80.53	79.30
	2	80.74	
	3	79.64	
22	1	80.02	80.10
	2	80.87	
	3	79.43	

Pada tabel 4.5 di bawah ini, menunjukkan berat endapan lapisan akhir (*chrome*) melalui berat akhir dengan berat awal benda kerja setelah dilapisi dasar dan dengan variasi konsentrasi dan lama waktu pelapisan 60 menit

Tabel 4.5 Berat endapan pelapisan akhir (krom) dengan konsentrasi 19%, 20%, 21%, 22%.

Konsentrasi larutan (%)	Pengulangan	Berat setelah dilapisi dasar (gr)	Berat setelah lapisan akhir (gr)	Berat endapan <i>chrome</i> (gr)	Berat rata-rata endapan <i>chrome</i> (gr)
19	1	78.10	78.40	0.30	0.25
	2	80.35	80.56	0.21	
	3	79.34	79.59	0.25	
20	1	80.15	80.47	0.32	0.28
	2	80.33	80.6	0.27	
	3	79.35	79.61	0.26	
21	1	80.14	80.53	0.39	0.38
	2	80.36	80.74	0.38	
	3	79.25	79.64	0.39	
22	1	79.47	80.02	0.55	0.48
	2	80.38	80.87	0.49	
	3	79.03	79.43	0.40	

Tabel 4.6 Data tebal lapisan tembaga berdasarkan data perhitungan

KLP	Pengulangan	Berat lapisan tembaga (gr)	Tebal lapisan tembaga (μ)	Rata-rata
I	1	1.10	32.45	33.93
	2	1.14	33.63	
	3	1.21	35.70	
II	1	1.23	36.29	35.01
	2	1.17	34.52	
	3	1.16	34.22	
III	1	1.24	36.58	35.89
	2	1.16	34.22	
	3	1.25	36.88	
IV	1	1.26	37.17	36.48
	2	1.20	35.40	
	3	1.25	36.88	

Tabel 4.7 Data lapisan *chrome* berdasarkan data perhitungan

Konsentrasi larutan (%)	pengulangan	Berat lapisan chrome (gr)	Tebal lapisan chrome (μ)	Rata-rata
19	1	0.30	11.04	9.32
	2	0.21	7.73	
	3	0.25	9.20	
20	1	0.32	11.78	10.43
	2	0.27	9.94	
	3	0.26	9.57	
21	1	0.39	14.35	14.23
	2	0.38	13.99	
	3	0.39	14.35	
22	1	0.55	20.24	17.67
	2	0.49	18.03	
	3	0.40	14.72	

Tabel 4.8 Perhitungan tebal lapisan total

Konsentrasi larutan (%)	Pengulangan	Tebal lapisan tembaga (μ)	Tebal lapisan chrome (μ)	Tebal total (μ)	Rata-rata
19	1	32.45	11.04	43.49	43.25
	2	33.63	7.73	41.36	
	3	35.7	9.20	44.90	
20	1	36.29	11.78	48.07	45.44
	2	34.52	9.94	44.46	
	3	34.22	9.57	43.79	
21	1	36.58	14.35	50.93	50.12
	2	34.22	13.99	48.21	
	3	36.88	14.35	51.23	
22	1	37.17	20.24	57.41	54.15
	2	35.4	18.03	53.43	
	3	36.88	14.72	51.60	

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Contoh Perhitungan Ketebalan Lapisan Berdasarkan Data Pengujian.

Contoh perhitungan lapisan tembaga.

Pada perhitungan ini nilai (W) yang digunakan merupakan pengurangan dari berat total setelah benda kerja mengalami pelapisan tembaga dengan berat awal benda kerja sebelum mengalami perlakuan (Sanders, 1950:7).

- Berat endapan = $\text{Berat akhir} - \text{Berat awal (gr)}$
 $= 78,10 - 77,00 \text{ (gr)}$
 $= 1,10 \text{ (gr)}$

- Dengan menggunakan berat endapan maka volume (V) didapatkan:

$$V = \frac{W \text{ (gr)}}{\rho \text{ (gr/cm}^3\text{)}} \text{ (cm}^3\text{)} \dots\dots\dots \text{(Sanders,1950: 7).} \quad (2.3)$$

$$= \frac{1,10 \text{ (gr)}}{8,92 \text{ (gr/cm}^3\text{)}} \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$V = 0,12 \text{ cm}^3$$

- Ketebalan lapisan (S)

$$S = \frac{V \text{ (cm}^3\text{)}}{L \text{ (cm}^2\text{)}} \text{ (cm)} \dots\dots\dots \text{(Sanders,1950: 7).} \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,12(cm^3)}{38(cm^2)} \text{ cm} \\
 &= 0,003156 \text{ cm} \\
 S &= 31,56 \mu
 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan lapisan *Chrome*

Pada perhitungan ini nilai (*W*) yang digunakan merupakan pengurangan dari berat total setelah benda kerja mengalami proses pelapisan *chrome* dengan berat benda kerja setelah mengalami proses pelapisan tembaga.

- Berat endapan = *Berat akhir – Berat awal (gr)*
 $= 78,40 - 78,10 \text{ (gr)}$
 $= 0,30 \text{ (gr)}$
- Dengan didapatkannya nilai (*W*) berdasarkan data pengujian maka volume (*V*) dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{W(gr)}{\rho(gr/cm^3)} (cm^3) \dots\dots\dots (\text{Sanders,1950: 7}). \quad (2.3) \\
 &= \frac{0,30(gr)}{7,15 (gr/cm^3)} (cm^3) \\
 V &= 0,042 (cm^3)
 \end{aligned}$$

- Dengan volume aktual maka tebal lapisan (*S*) akan didapatkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{V(cm^3)}{L(cm^2)} (cm) \dots\dots\dots (\text{Sanders,1950: 7}). \quad (2.4) \\
 &= \frac{0,042(cm^3)}{38(cm^2)} \text{ cm} \\
 &= 0,0011 \text{ cm} \\
 S &= 11,04 \mu
 \end{aligned}$$

4.2.2 Data Hasil Laju Korosi

Dari hasil penelitian mengenai proses *electroplating* pada baja ST 37 dengan variasi konsentrasi larutan di peroleh data laju korosi yang ditampilkan dalam bentuk tabel yaitu pada tabel 4.9



Tabel 4.9 Pengaruh konsentrasi larutan terhadap laju korosi

Konsentrasi larutan (%)	Pengulangan ke-	Rapat Arus (<i>icoor</i>) (nA/cm ²)	CPR (Perhitungan) (mm/year)	CPR (<i>Potensiostat</i>) (mm/year)
19	1	62,6140	0,00074125	0.00072758
	2	57,5040	0,00067997	0.00066820
	3	60,1650	0,00071144	0.00069911
	Rata-Rata	60,1183	0,00071088	0.000698297
20	1	39,1250	0,00046264	0.00045463
	2	32,5810	0,00038526	0.00037859
	3	36,9260	0,00043665	0.00042908
	Rata-Rata	36,2108	0,00042818	0.000420767
21	1	22,0420	0,00026064	0.00025613
	2	15,5970	0,00018443	0.00018123
	3	19,3490	0,00022879	0.00022483
	Rata-Rata	18,9958	0,00022462	0.00022073
22	1	12,6860	0,00015001	0.00014741
	2	7,09360	0,00008388	0.000082427
	3	10,5960	0,00012529	0.00012312
Rata-Rata	10,1250	0,00011973	0.000117652	

4.2.3 Contoh Perhitungan Laju Korosi

Laju korosi atau *Corrosion Penetration Rate* (CPR) dinyatakan dalam mmpy.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung laju korosi adalah:

$$CPR = k \frac{ai}{nd} \dots\dots\dots(\text{Fontana, 1987:173})$$

$$CPR = 0,00327 \frac{52.62,6140}{2.7,19}$$

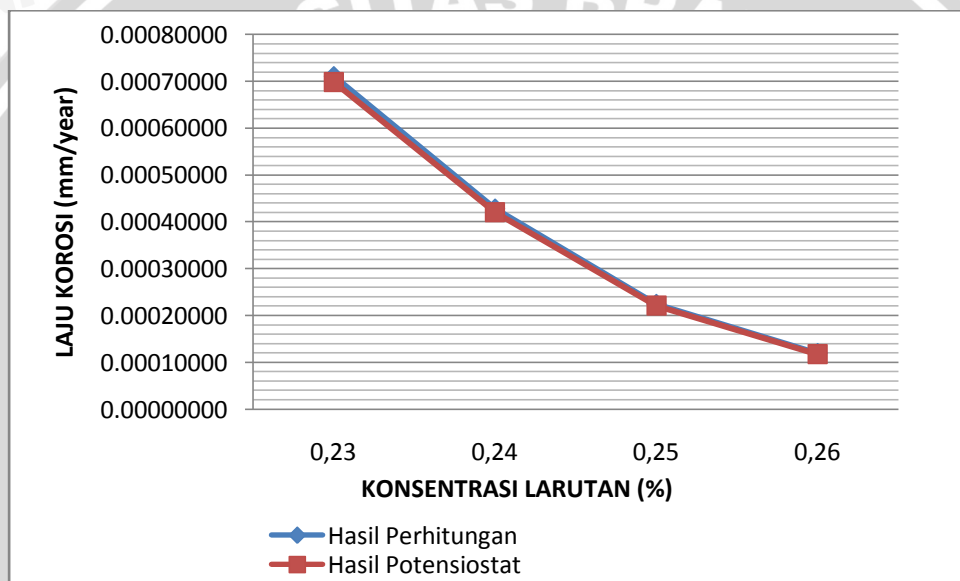
$$CPR = 0,00074125 \text{ mmpy}$$

4.3 Pembahasan

Pembahasan yang akan dilakukan mengenai pengaruh variasi konsentrasi larutan *asam chromat* (H_2CrO_4) terhadap laju korosi dan ketebalan lapisan *chrome* dari hasil proses *electroplating*.

4.3.1 Analisa Grafik Hubungan Antara Konsentrasi Larutan Asam Chromat (H_2CrO_4) pada Larutan *chrome* Terhadap Laju Korosi Hasil Proses *Electroplating*

Grafik hubungan antara konsentrasi larutan *asam chromat* (H_2CrO_4) pada larutan *chrome* terhadap laju korosi hasil proses *electroplating* dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara variasi konsentrasi larutan *asam chromat* (H_2CrO_4) pada larutan *chrome* terhadap laju korosi dari hasil proses *electroplating*.

Faktor-faktor terjadinya korosi secara elektrokimia disebabkan adanya anoda, katoda, elektrolit dan hubungan listrik. Dalam proses tersebut terjadi perpindahan elektron antara anoda dan katoda, karena elektron bermuatan negatif sehingga pengangkutan elektron menimbulkan arus listrik. Hal ini menyebabkan reaksi elektrokimia di pengaruhi oleh potensial listrik. Anoda akan mengalirkan elektron melalui konduktor menuju katoda, dan selanjutnya elektron akan bereaksi dengan ion positif pada permukaan logam. Sedangkan anoda yang mengalami kehilangan elektron, akan menyebabkan kelebihan muatan positif sehingga ion positif logam pada anoda akan bereaksi dengan ion negatif pada larutan elektrolit biasanya membentuk produk korosi berupa padatan, cairan atau gas.

Dari pengertian anoda dan katoda di atas, yang menentukan kapan terjadinya korosi pada logam adalah potensial listrik dan arus korosi, sehingga menjadi acuan dalam perhitungan laju korosi.

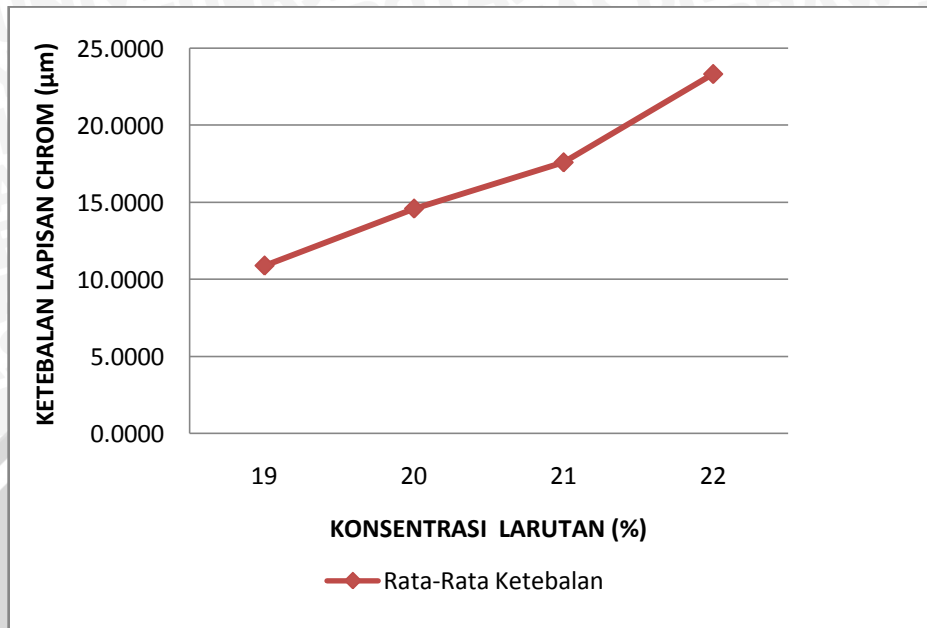
Hal ini ditunjukkan pada gambar 4.1 mengenai hubungan antara variasi konsentrasi larutan *asam chromat* (H_2CrO_4) terhadap laju korosi hasil proses *electroplating*. Variasi konsentrasi larutan *asam chromat* (H_2CrO_4) yang digunakan yaitu: 19%, 20%, 21%, 22%. Dengan waktu pelapisan yang sama (60 menit) serta konsentrasi larutan *asam chromat* (H_2CrO_4) yang semakin tinggi, akan menyebabkan nilai rapat arus semakin kecil sehingga laju korosi yang terjadi semakin menurun. Sebagai contoh pada konsentrasi larutan *asam chromat* (H_2CrO_4) 19% diperoleh laju korosi rata-rata perhitungan 0,00071088 mmpy sedangkan nilai laju korosi rata-rata potensiostat sebesar 0,000698297 mmpy, dengan rapat arus yang sama yaitu 62,6140 (nA/cm^2). Nilai laju korosi rata-rata terendah pada konsentrasi larutan *asam chromat* (H_2CrO_4) 22% diperoleh laju korosi rata-rata perhitungan 0,00011973 mmpy, sedangkan nilai laju korosi rata-rata potensiostat sebesar 0,000117652 mmpy, dengan rapat arus yang sama yaitu 10,1250 (nA/cm^2). Hal ini disebabkan ion-ion *chrome* yang terkandung dalam bak plating meningkat, maka deposit logam yang terbentuk menjadi banyak, sehingga laju korosi akan menurun.

Terdapat sedikit perbedaan antara laju korosi rata-rata hasil perhitungan dengan laju korosi rata-rata hasil potensiostat, hal ini disebabkan adanya perubahan densitas pada saat melakukan pengujian menggunakan potensiostat. Sesuai dengan rumus CPR berikut:

$$CPR = k \frac{ai}{nd} \dots\dots\dots(\text{Fontana, 1987:173})$$

Dapat dilihat bahwa densitas dapat mempengaruhi CPR, yaitu semakin besar densitas maka akan berpengaruh pada menurunnya laju korosi. Densitas yang terbaca pada potensiostat berbeda dengan densitas logam krom sebenarnya.

4.3.2 Analisa Grafik Hubungan Antara Konsentrasi Larutan *asam chromat* (H_2CrO_4) Dengan Ketebalan Lapisan *Chrome*



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara variasi konsentrasi larutan *asam chromat* pada larutan *chrome* terhadap ketebalan lapisan dari hasil proses *electroplating*.

Dari gambar 4.2 menunjukkan bahwa variasi konsentrasi larutan *asam chromat* (H_2CrO_4) mempengaruhi ketebalan lapisan *chrome*. Dengan semakin meningkatnya konsentrasi larutan *asam chromat* (H_2CrO_4) maka lapisan chrom semakin tebal, hal ini disebabkan jumlah deposit logam yang dihasilkan semakin besar. Sebagai contoh pada konsentrasi larutan *asam chromat* (H_2CrO_4) 19% didapatkan nilai rata-rata ketebalan lapisan *chrome* sebesar 11,04 µm, sedangkan nilai ketebalan lapisan *chrome* tertinggi sebesar 17,67 µm pada konsentrasi larutan 22% dengan menggunakan waktu pelapisan yang sama (60 menit).

Hal ini sesuai dengan (Chamberlain, 1991:274) yang menyatakan bahwa umur efektif sebuah lapisan selain bergantung pada lingkungan operasional terutama juga bergantung pada ketebalan lapisan. Serta ketebalan lapisan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi dalam hal laju korosi yaitu dalam hal faktor fisik (Fontana, Mars.1987:12).

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa data dan pembahasan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, didapatkan kesimpulan konsentrasi larutan *asam chromat* (H_2CrO_4) pada larutan *chrome* berpengaruh terhadap laju korosi hasil proses *chromeplating*. Bertambahnya konsentrasi larutan *asam chromat* (H_2CrO_4) memberikan efek positif terhadap nilai laju korosi. Hal tersebut ditunjukkan dengan:

1. Nilai rata-rata laju korosi terendah dihasilkan pada konsentrasi larutan *asam chromat* (H_2CrO_4) 22%, yaitu sebesar 0.000117652 mmpy, dengan ketebalan rata-rata lapisan *chrome* sebesar: 17,67 μm .
2. Nilai rata-rata laju korosi tertinggi dihasilkan pada konsentrasi larutan *asam chromat* (H_2CrO_4) 19%, yaitu sebesar 0.000698297 mmpy, dengan ketebalan rata-rata lapisan *chrome* sebesar: 11,04 μm .

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang struktur mikro hasil lapisan setelah proses *electroplating*.
2. Sebelum dilakukan proses *electroplating* sebaiknya spesimen dalam keadaan bebas dari minyak dan kerak, karena akan mempengaruhi hasil lapisan.
3. Variabel yang dikonstankan hendaknya benar-benar dikontrol karena dapat mempengaruhi hasil lapisan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agusta, E. W; 2008: *Pengaruh Penambahan Seng (Zn) Terhadap Kekuatan Impact dan Ketahanan Korosi pada Paduan Coran Aluminium-Magnesium (Al-Mg)*; Skripsi tidak dipublikasikan; Universitas Brawijaya, Malang.
- Anonymous; 2011: *Dampak Chromium*, <http://jackapostle.blogspot.com>
- Arif; 2010: *Pengaruh Waktu dan Konsentrasi Larutan Nickel Sulphate (NiSO₄) terhadap Laju Korosi*; Skripsi tidak dipublikasikan; Universitas Brawijaya, Malang.
- Campbell, M; 2008: *Medium Tensile Steel to AISI 1045*; Corus Engineering Steels.
- Chamberlain, J. & Trethewey, K. R; 1991: *Korosi untuk mahasiswa dan rekayasawan*; Gramedia, Jakarta.
- Fontana, Mars G; 1987: *Corrosion Engineering*; Mc Graw Hill Book Co, Singapore.
- Hartomo, A. J. & Koneko, T; 1992: *Mengenal Pelapisan Logam (Electroplating)*; Edisi Pertama; Andi Offset, Yogyakarta.
- Parthasaradhy, N. V; 1989: *Practical electroplating handbook*; Prentice-Hall Inc, New Jersey USA.
- Sanders, A.H; 1950: *Electroplating*; International Textbook Co, New York.
- Setiadji, I. K; 2006: *Pengaruh Konsentrasi Copper Cyanide (CuCN) Terhadap Ketahanan Korosi dan Thermal Shock Hasil Electroplating*; Skripsi tidak dipublikasikan; Universitas Brawijaya, Malang.
- Surdia, T. & Saito. S; 1999: *Pengetahuan Bahan Teknik*; Cetakan Keempat; PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Utomo, A. B; 2007: *Pengaruh konsentrasi nickel sulphate pada larutan watts terhadap ketahanan aus dan thermal shock hasil elektroplating*; Skripsi tidak dipublikasikan; Universitas Brawijaya, Malang.
- Whidhiarto, Sri; 2001: *Karat dan Pencegahannya*. Cetakan 2. Jakarta: Pradnya Paraamita