

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 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 maupun ketahanannya serta tidak menutup kemungkinan pula terjadi perbaikan terhadap sifat fisiknya. Adapun macam-macam pelapisan logam menurut tujuannya antara lain untuk dekoratif, protektif dan untuk mendapatkan sifat khusus pada permukaan.

Adapun pelapisan logam ditinjau dari sifat elektrokimia bahan pelapisnya, dapat di katagorikan sebagai pelapisan anodik dan pelapisan katodik. Pelapisan anodik dimana potensial listrik logam pelapis lebih anodik terhadap logam dasar/subtrat, sedangkan pelapisan katodik merupakan pelapisan dimana potensial listrik logam pelapis lebih katodik terhadap subtratnya. Keunggulan dari pelapisan anodik adalah sifat logam pelapis melindungi logam yang dilapisi, sementara itu pada pelapisan katodik lebih cocok digunakan pada pelapisan untuk tujuan dekoratif. Dalam perlindungan katodik, obyek yang dilindungi adalah katoda, tetapi dalam perlindungan anodik, obyek yang dilindungi adalah anoda. (ASM Metal Handbook,1994).

Pada proses pelapisan logam, beberapa segi penting yang perlu diperhatikan dalam hal pembentukan deposit pelapisan logam ialah tentang potensial elektroda dan anoda terpolarisasi. Hal ini dapat disimak dalam daftar deret daya gerak listrik pada Tabel 2.1. Pada tabel tersebut, nilai potensial elektroda didapatkan berdasarkan hukum Nernst (Lowenheim,1978), yang dirumuskan sebagai berikut ;

$$E = E^0 + (0.059/n) \log a \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

- E^0 = Potensial elektroda standar bahan elektroda ($\text{kg.m}^2.\text{detik}^{-3}.\text{A}^{-1}$)
- n = Perubahan valensi
- a = Aktivitas (ox=bentuk teroksidasi, red=bentuk tereduksi, log=logam)

Tabel 2.1 Deret Daya Gerak Listrik (Callister,2007)

	Reaksi elektroda	Standard potensial elektroda, E^0 (V)
↑ Katodik (Oksidasi)	$Au^{3+} + 3e^- \rightarrow Au_{(s)}$	+1.420
	$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$	+0.340
	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_{2(g)}$	0.000
	$Ni^{2+} + 2e^- \rightarrow Ni_{(s)}$	-0.250
	$Co^{2+} + 2e^- \rightarrow Co_{(s)}$	-0.277
↓ Anodik (Reduksi)	$Fe^{2+} + 2e^- \rightarrow Fe_{(s)}$	-0.440
	$Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn_{(s)}$	-0.763
	$Mn^{2+} + 2e^- \rightarrow Mn_{(s)}$	-1.182
	$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al_{(s)}$	-1.662
	$Na^+ + e^- \rightarrow Na_{(s)}$	-2.714
	$K^+ + e^- \rightarrow K_{(s)}$	-2.924

Sebagai contoh pelapisan anodik yaitu pelapisan pada baja (potensial listrik -0,44 V) yang dilapisi dengan seng (potensial listrik -0,763 V), maka seng bersifat lebih anodik terhadap baja. Logam seng akan mengorbankan dirinya dalam bentuk korosi sehingga logam yang lebih katodik terhindar dari korosi. Sedangkan contoh pelapisan katodik yaitu pelapisan pada tembaga (potensial listrik +0,340 V) yang dilapisi dengan emas (potensial listrik +1,420V), karena logam emas bersifat lebih mulia dibandingkan dengan logam tembaga, maka apabila logam pelapis mengalami cacat, logam yang dilapisi akan terepose ke lingkungan dan bersifat anodik sehingga akan terjadi korosi lokal terhadap substrat.

Jika logam besi dilapisi tembaga, besi akan terlindungi dari korosi, sebab Cu ($E^0_{Cu^{2+}|Cu} = +0.34V$) memiliki potensi reduksi yang lebih positif dari besi Fe ($E^0_{Fe^{2+}|Fe} = -0.44V$). Namun bila lapisan tembaga ini bocor/terbuka maka besi akan mengalami korosi yang lebih cepat. Selain dengan tembaga, besi juga dapat dilapisi dengan logam lain yang sulit teroksidasi. Logam lain yang dapat digunakan adalah yang memiliki potensial reduksi lebih positif dibandingkan dengan besi, seperti perak, emas, nikel, timah dan platina.

Untuk menghasilkan suatu produk pelapisan yang baik, hendaklah mempertimbangkan pemilihan logam pelapis yang memenuhi beberapa persyaratan sebagai berikut :

- a. Logam pelapis mempunyai ketahanan yang lebih terhadap pengaruh lingkungan dibanding logam dasar.

- b. Logam pelapis bukan sebagai pemicu korosi terhadap logam yang dilindungi seandainya mengalami goresan atau pecah di permukaannya.
- c. Sifat-sifat fisik seperti kelenturan dan kekerasannya cukup memenuhi persyaratan operasional struktur atau komponen bersangkutan.
- d. Metode pelapisannya dapat bersesuaian dengan proses fabrikasi yang untuk hasil dari produk akhir.
- e. ketebalan lapisan diusahakan semaksimal mungkin pada kondisi merata dan bebas dari pori-pori.

2.2 Elektroplating

Elektroplating (lapis listrik) adalah suatu proses pengendapan/deposisi ion-ion logam pelindung (anoda) yang dikehendaki di atas logam lain (katoda) secara elektrolisa. Selama proses pengendapan berlangsung terjadi reaksi kimia pada elektroda (anoda-katoda) dan elektrolit menuju arah tertentu secara tetap. Untuk hal tersebut dibutuhkan arus listrik searah (DC) dan tegangan yang konstan. Dapat disimpulkan bahwa terjadinya suatu endapan pada proses elektroplating ini disebabkan adanya ion-ion bermuatan listrik berpindah dari suatu elektroda (anoda) melalui elektrolit dan akan mengendap pada elektroda lain (katoda).

Elektroplating merupakan salah satu cara pelapisan yang banyak digunakan untuk meningkatkan penampilan, perlindungan terhadap korosi, sifat khas permukaan serta sifat teknis/mekanis tertentu (Hartomo,1992). Sebagai contoh perubahan fisik yaitu ketika material/subtrat dilapis dengan nikel maka bertambahnya daya tahan material tersebut terhadap korosi serta bertambahnya kapasitas konduktifitasnya. Adapun dalam sifat mekaniknya akan terjadi perubahan kekuatan tarik maupun tekan dari suatu material sesudah mengalami pelapisan dibandingkan sebelumnya.

Proses elektroplating merupakan kebalikan dari proses korosi. Dikatakan kebalikan dari proses korosi karena pada proses elektroplating yang mengalami penyusutan yaitu pada anoda (bahan pelapis) yang akan mengendap pada permukaan katoda. Reaksinya dapat ditulis sebagai berikut :

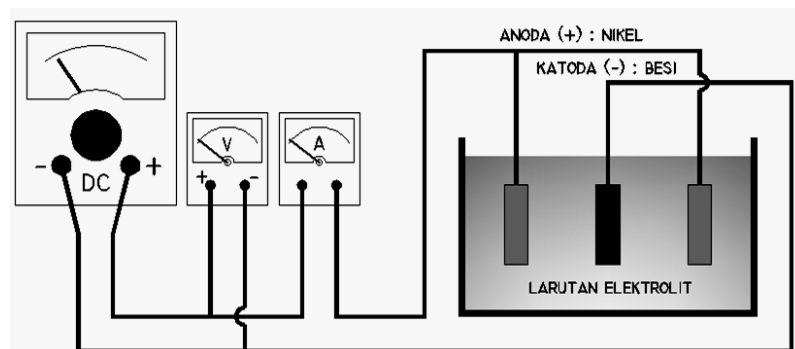


Sedangkan pada korosi yang mengalami penyusutan adalah pada katodanya. Reaksinya ini dapat ditulis sebagai berikut :

$M \rightarrow M^{n+} + ne^{-}$, dimana M adalah ion logam yang bereaksi (Callister,2007).

Proses elektroplating biasanya dilakukan dalam suatu bejana yang disebut sel elektrolisa yang berisi cairan elektrolit/rendaman (bath). Pada rendaman ini tercelup paling tidak dua elektroda yang masing-masing dihubungkan dengan arus listrik, terbagi menjadi kutub positif (+) dan negatif (-) dikenal sebagai anoda (+) dan katoda (-). Anoda dalam larutan elektrolit ada yang larut dan ada yang tidak larut. Anoda yang tidak larut berfungsi sebagai penghantar arus listrik saja sedangkan anoda yang larut berfungsi selain penghantar arus listrik juga sebagai bahan baku pelapis. Katoda dapat diartikan sebagai benda kerja yang akan dilapisi, dihubungkan dengan kutub negatif dari sumber arus listrik. Elektrolit berupa larutan yang molekulnya dapat larut dalam air dan terurai menjadi partikel-partikel yang bermuatan positif atau negatif.

Dapat dijelaskan pula bahwasanya pada anoda terjadi oksidasi, sedangkan pada katoda terjadi reduksi. Ion yang bergerak (migrasi) ke anoda disebut anion, sedangkan yang menuju ke katoda disebut kation. Bila arus listrik dialirkan di antara kedua elektroda (anoda dan katoda) di dalam larutan elektrolit, maka muatan ion positif akan ditarik oleh katoda, sedangkan ion bermuatan negatif berpindah ke arah elektroda bermuatan positif (anoda). Ion-ion tersebut dinetralsir oleh kedua elektroda dan larutan elektrolit yang hasilnya diendapkan pada katoda (benda kerja). Hasil yang terbentuk adalah lapisan logam dan gas hidrogen. Karena elektroplating adalah suatu proses yang menghasilkan lapisan tipis logam di atas permukaan logam lainnya dengan cara elektrolisis, maka perlu diketahui rangkaian dasar sistem elektroplating seperti yang tunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Rangkaian dasar elektroplating.

Hubungan antara voltase dalam elektrolit dan kekuatan arus listrik yang mengalir ditunjukkan oleh hukum Ohm yaitu :

$$I = \frac{V}{R} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana

I = arus listrik (ampere)

V = tegangan listrik (volt)

R = Hambatan (ohm)

Besarnya listrik yang mengalir yang dinyatakan dengan Coulomb adalah sama dengan arus listrik dikalikan dengan waktu. Dalam pemakaian secara umum atau dalam pemakaian elektroplating satuannya adalah ampere-jam yang besarnya 3600 Coulomb, yaitu sama dengan listrik yang mengalir ketika arus listrik sebesar 1 ampere mengalir selama 1 jam.

Michael Faraday menetapkan hubungan antara kelistrikan dan ilmu kimia pada semua reaksi elektrokimia. Menurut Faraday, arus 1 Ampere mengalir selama 96.496 detik (26,8 jam) membebaskan 1,008 gram hidrogen dan 35,437 gram klor dari larutan asam klorida encer. Seperti hasil yang ditunjukkan bahwa 96.496 Coulomb arus listrik membebaskan satu satuan berat ekuivalen ion positif dan negatif. Oleh sebab itu 96.496 Coulomb atau kira-kira 96.500 Coulomb yang disebut 1 Faraday sebanding dengan berat 1 elektrokimia. Untuk menentukan logam yang terdepositasi dengan arus dan waktu dapat ditentukan bahwa 1 Faraday = ampere detik/ 96500

Hukum elektrolis Faraday merupakan basis utama pada pemahaman proses elektroplating sampai saat ini, berbunyi :

- (1) Jumlah perubahan kimia oleh satuan arus listrik sebanding dengan banyaknya arus yang mengalir.
- (2) Jumlah aneka bahan berbeda yang dibebaskan oleh sejumlah tertentu listrik sebanding dengan berat ekuivalen kimianya.

Jumlah total perubahan kimia pada elektroda sebanding jumlah arus yang lewat, tetapi sering yang diperlukan hanya perubahan kimia tertentu saja dan yang lainnya ditiadakan. Pada elektroplating yang dilihat adalah jumlah logam terdepositasi pada katoda atau yang hilang dari anoda. Reaksi terjadinya gas lain

dan sebagainya dianggap terbuang. Dari hukum Faraday di atas dapat diringkas bahwa pada elektrolit zat yang diendapkan berbanding lurus dengan waktu dan arus listrik. Berat logam yang diendapkan, dapat ditulis sebagai berikut :

$$W = \frac{Ma \cdot I \cdot t}{nF} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

- W = Berat logam yang diendapkan (gr)
- Ma = Massa atom (gr/mol)
- I = Arus listrik (Amp)
- t = Waktu (detik)
- n = Elektron valensi
- F = Bilangan Faraday (96.500 A.dt/mol)

Sementara itu secara matematis ketebalan lapisan yang terbentuk, menurut lowenheim dirumuskan sebagai berikut :

$$\delta = \frac{W}{\rho \cdot A} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

- δ = Tebal lapisan terbentuk (cm)
- W = Berat lapisan yang terbentuk (gr)
- ρ = Massa jenis pelapis (gr/cm³)
- A = Luas permukaan setelah dilapis (cm²)

Ketebalan teoritis dapat dihitung pula dari substitusi persamaan (2.3) dan (2.4) yang dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\delta = \frac{Ma \cdot I \cdot t}{\rho \cdot A \cdot n \cdot F} \dots\dots\dots (2.5)$$

2.3 Logam pelapis proses elektroplating

Beberapa jenis logam banyak digunakan di bidang pelapisan namun tembaga, nikel dan khrom lebih terkenal. Walaupun sifat fisik dan kimianya berbeda ketiganya merupakan finishing elektroplating standar. Di masyarakat umum sering dikenal istilah vernikel dan verkrom. Logam pelapis kebanyakan

digunakan dalam keadaan murni (tembaga, nikel, krom, timah, perak, seng, cadmium), tetapi adapula yang dalam bentuk paduan (perunggu, kuningan).

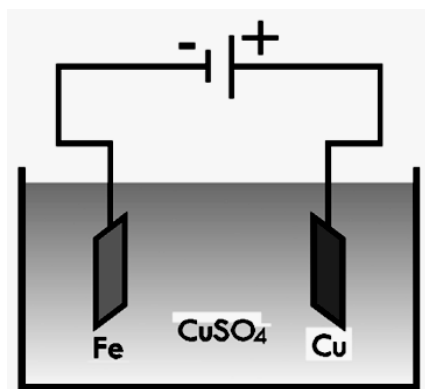
Logam pelapis (anoda) pada proses elektroplating sangat penting berkaitan dengan kualitas hasil pelapisan. Pengaruh kebersihan anoda terhadap elektrolit dan penentuan dimensi ukuran dan bentuk anoda perlu diperhatikan. Perhitungan ukuran dan peletakan anoda yang cermat dapat meningkatkan distribusi endapan, mengurangi kontaminasi, menurunkan biaya bahan, meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi timbulnya masalah-masalah pada proses elektroplating.

Arus listrik yang mengalir melalui elektrolit diantara elektroda, maka pada anoda terjadi pelepasan ion logam dan oksigen (reduksi), selanjutnya ion logam tersebut dan gas hydrogen diendapkan pada katoda.

2.3.1 Pelapisan tembaga

Tembaga mempunyai sifat lunak dan ulet, tidak terlalu teroksidasi oleh udara. Karena sifatnya pula yang elektropositif (mulia), tembaga mudah diendapkan oleh logam yang deret daya gerak listriknya lebih tinggi semisal besi.

Misalnya sebuah plat baja karbon rendah akan dilapisi dengan tembaga dengan proses elektrolating. Elektrolit yang digunakan sebagai perantara adalah elektrolit tembaga (CuSO_4) dengan anoda tembaga (Cu). Saat proses elektroplating, pada anoda dan katoda terjadi perubahan potensial akibat adanya aliran arus listrik searah, sehingga anoda tembaga akan terurai ke dalam media larutan elektrolit yang mengandung ion-ion tembaga, yang akhirnya bergerak ke katoda dan akhirnya menempel kuat. Secara sederhana rangkaian pelapisan baja karbon rendah dengan tembaga ini ditunjukkan pada Gambar 2.2 pada halaman berikut ini.



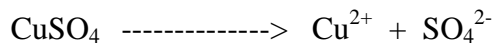
Gambar 2.2. Pelapisan Fe dengan Cu.

Pelapisan tembaga mudah dilakukan demikian pula dengan larutannya yang mudah dikontrol. Tembaga bagus sebagai lapisan dasar sebelum plating berikutnya. Tembaga relative inert terhadap berbagai larutan plating, maka logam dasar/substrat yang dapat diserang larutan tersebut dapat terlindungi bila di lapisi dengan tembaga terlebih dahulu. Secara elektrokimia berat terplat tiap satuan listriknya pada tembaga cukup baik dan besar, jadi lebih irit arusnya.

Beberapa reaksi atau proses yang terjadi adalah :

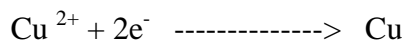
- 1). Reaksi pada larutan elektrolit :

Larutan elektrolit CuSO_4 terurai menjadi ion Cu dan SO_4 . kation elektrolit (SO_4^{2-}) menempel pada anoda. Reaksi ini dapat ditulis sebagai berikut :



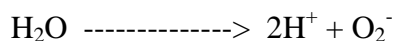
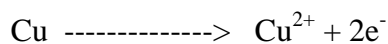
- 2). Reaksi pada katoda :

Pada plat baja karbon rendah mengalami pelepasan oksigen terhadap larutan tembaga (CuSO_4) akibat adanya arus listrik searah dengan tegangan konstan sehingga ion tembaga (Cu) akan menempel pada permukaan plat dengan perantara elektrolit tembaga sehingga plat terlapisi tembaga. Reaksi yang terjadi pada katoda ini dapat ditulis :



- 3). Reaksi pada anoda :

Reaksi yang terjadi pada anoda adalah bahan pelapis tembaga (Cu) mengikat oksigen yang dilepaskan oleh plat baja karbon rendah. Bahan pelapis tembaga akan mengalami pengikatan yang kemudian akan terlarut pada elektrolit tembaga (CuSO_4) yang telah melapisi plat tersebut. Sehingga elektrolit tembaga (CuSO_4) tetap stabil, akibatnya bahan pelapis tembaga (Cu) lama kelamaan akan berkurang/habis. Kondisi pada anoda ini, dapat ditulis sebagai reaksi kimia berikut ini :



Sebagai penjelasannya adalah bahwa reaksi pada katoda bahwa ion Cu^{2+} bergerak ke katoda menjadi Cu , logam ini menempel pada katoda. Sedangkan reaksi pada anoda yaitu ion SO_4^{2-} bergerak ke anoda menjadi SO_4 dan melepaskan

elektronnya. Karena Cu reaktif maka bereaksi dengan SO_4 membentuk CuSO_4 kembali. Jadi berat anoda berkurang dan pengurangan beratnya sama dengan berat Cu yang mengendap pada katoda. Dapat disimpulkan, konsentrasi Cu^{2+} dan SO_4^{2-} dalam larutan tetap selama masih ada anoda. Jadi seolah-olah Cu pada anoda pindah ke katoda. Prinsip ini digunakan pada proses elektroplating.

2.3.2 Pelapisan nikel

Nikel merupakan unsur ke-24 terbanyak dalam batuan bumi. Biasanya nikel terdapat bersama besi dan kobalt. Pada saat ini, pelapisan nikel pada besi banyak sekali dilaksanakan baik untuk tujuan pencegahan karat ataupun untuk menambah keindahan. Dengan hasil lapisannya yang mengkilap maka dari segi ini nikel adalah paling banyak diinginkan untuk melapis permukaan. Jenis lain dari pelapisan nikel adalah pelapisan yang berwarna hitam. Warna hitam ini pun tampak menarik dan biasanya digunakan untuk melapis laras senapan dan lainnya.

Nikel bersifat tahan karat. Dalam keadaan murni, nikel bersifat lembek, tetapi jika dipadukan dengan besi, krom, dan logam lainnya, dapat membentuk baja tahan karat yang keras. Sifat-sifat lainnya dari nikel tercantum pada Tabel 2.2 di bawah.

Tabel 2.2 Data spesifikasi nikel (ASM Handbook, 1994. Vol.5)

Kriteria	Spesifikasi
Titik lebur	1453 °C
Titik didih	2913 °C
Massa atom	58,6934 gr/mol
Massa jenis	8,908 gr/cm ³
Struktur Kristal	FCC
Kalor Peleburan	17,48 kJ/mol
Kalor Penguapan	377,5 kJ/mol

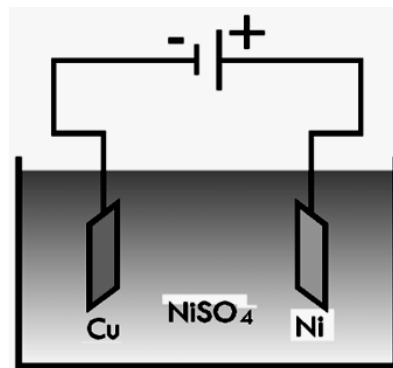
Nikel juga memiliki kekerasan dan kekuatan yang sedang, keuletannya baik, daya hantar listrik dan termal juga baik. Senyawa nikel digunakan terutama sebagai katalis dalam elektroplating. Pada proses plating, walau kebanyakan nikel sebagai anodanya, tetap perlu terus ditambahkan garam ke bak plating. Garam-garam yang digunakan untuk plating misalnya nikel karbonat, nikel khlorida, nikel fluoborat, nikel sulfamat, dan nikel sulfat.

Nikel pada paduannya terutama dibuat secara elektrolisa, nikel adalah logam yang berwarna keabu-abuan mempunyai sel satuan kubus berpusat muka (fcc). Setelah penganilan kekuatan tariknya 45-55 kgf/mm², perpanjangannya 40-50% dan kekerasannya 80-90 Brinell. Nikel baik sekali dalam ketahanan panas dan ketahanan

korosinya, tidak rusak oleh air kali atau air laut dan alkali, akan tetapi nikel bisa rusak oleh asam nitrat dan sedikit terkorosi oleh asam khlor dan asam sulfat.

Seperti telah dikemukakan di atas nikel dipergunakan sebagai unsur paduan untuk baja, dan paduan nikel tahan panas. Nikel sendiri dibuat dalam bentuk pelat tipis batangan pendek, pipa dan kawat, yang dipakai untuk pembuatan tabung electron dan penggunaan dalam industri makanan.

Pada proses pelapisan dengan nikel digunakan elektrolit nikel (NiSO_4) dan anoda nikel (Ni). Pada saat anoda dan katoda terjadi perubahan potensial akibat aliran arus listrik searah maka anoda nikel terurai ke dalam elektrolit. Sebagai contoh plat baja karbon rendah yang telah dilapisi tembaga, akan dilapisi dengan nikel. Rangkaian sederhana pelapisan ini ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pelapisan Cu dengan Ni.

Reaksi yang terjadi saat proses pelapisan adalah :

1). Reaksi pada elektrolit :

Elektrolit Nikel (NiSO_4) terurai menjadi ion Ni dan SO_4 . Kation elektrolit (SO_4^{2+}) menempel pada anoda. Reaksi tersebut dapat dituliskan :



2). Reaksi pada katoda :

Plat baja mengalami pelepasan oksigen ke elektrolit nikel (NiSO_4) sehingga ion nikel (Ni) akan menempel di permukaan plat baja sehingga plat terlapisi nikel. Reaksi yang terjadi pada katoda dapat dituliskan sebagai berikut :

- Pembentukan lapisan Nikel : $\text{Ni}^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow \text{Ni}_{(s)}$
- Pembentukan gas Hidrogen : $2\text{H}^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow \text{H}_{2(g)}$
- Reduksi oksigen terlarut : $\frac{1}{2} \text{O}_{2(g)} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{(l)}$

3). Reaksi pada anoda

Reaksi yang terjadi adalah pada anoda nikel (Ni) mengikat oksigen yang dilepaskan oleh plat baja, kemudian akan terlarut pada elektrolit nikel (NiSO₄) yang telah melapisi plat tersebut. Sehingga larutan elektrolit nikel (NiSO₄) tetap stabil, akibatnya bahan pelapis nikel (Ni) lama kelamaan akan berkurang atau habis. Reaksi yang terjadi pada anoda dapat ditulis :

- a. Pereduksian anoda nikel : $\text{Ni} \rightarrow \text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^-$
- b. Pembentukan gas oksigen : $\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow 4\text{H}^+_{(aq)} + \text{O}_2_{(g)} + 4\text{e}^-$
- c. Oksidasi gas Hidrogen : $\text{H}_2_{(g)} \rightarrow 2\text{H}^+_{(aq)} + 2\text{e}^-$

Beberapa indikator yang dapat digunakan untuk menggolongkan dan mengklasifikasikan hasil dari proses pelapisan nikel antara lain sebagai berikut :

- 1). Hasil pelapisan tidak baik, apabila terdapat noda hitam akibat dari ion yang terbakar, meskipun logam pelapis sulit terlepas, tahan terhadap goresan, mampu solder dan tahan korosi.
- 2). Hasil pelapisan kurang baik, apabila tidak terdapat noda hitam akan tetapi mempunyai permukaan kasar, logam pelapis mudah terlepas, tidak tahan gores, tidak mampu solder dan tidak tahan terhadap korosi.
- 3). Hasil pelapisan baik, apabila tidak terdapat noda hitam, mempunyai permukaan halus, logam pelapis tidak mudah terlepas, tahan gores, mampu solder dan tahan terhadap korosi.
- 4). Hasil pelapisan terbaik, apabila tidak terdapat noda hitam, permukaan halus, hasil pelapisan tebal dan logam pelapis tidak mudah terlepas, tahan gores, dan tahan korosi

2.4 Logam yang dilapis

Baja merupakan salah satu bahan yang mudah disesuaikan bentuknya oleh karena itu baja banyak digunakan. Baja diproduksi dengan mutu yang terjamin sehingga untuk tuntutan dan maksud penggunaannya senantiasa tersedia jenis baja yang sesuai.

Baja karbon adalah paduan besi dan karbon dimana unsur karbonnya menentukan sifat mekanik dan fisik sedangkan unsur paduan yang lainnya bersifat sebagai pendukung. Karbon merupakan unsur penguat besi yang efektif dan

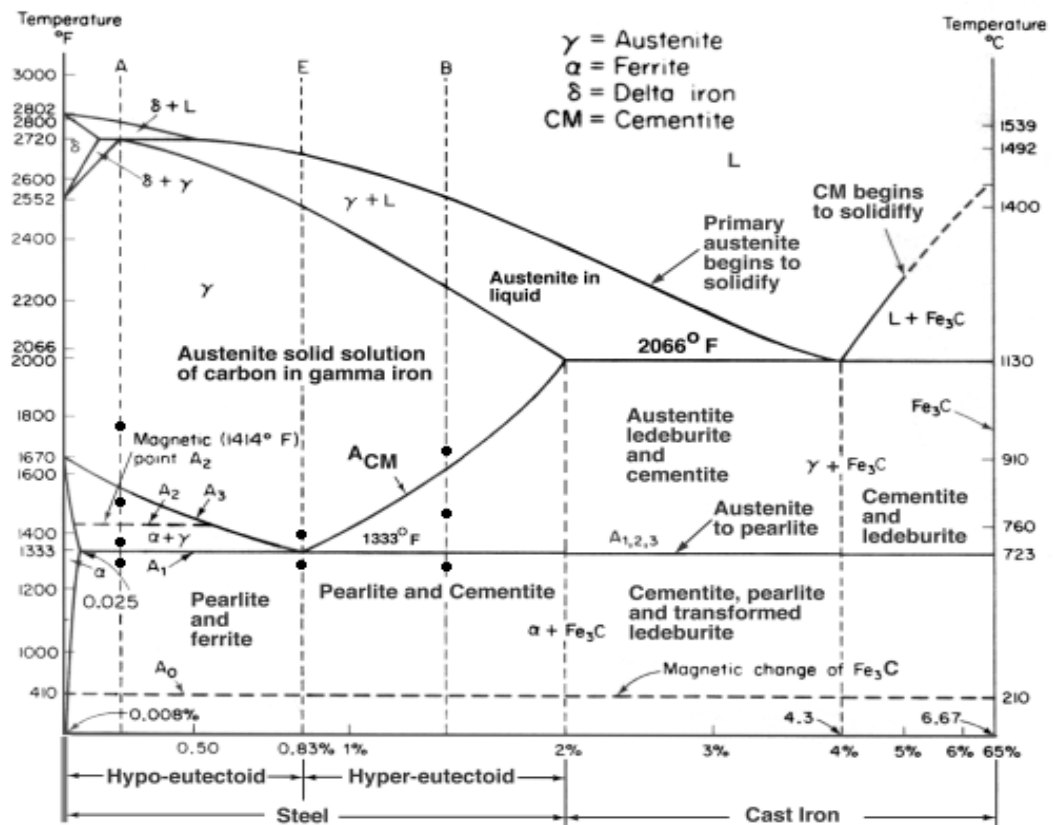
murah, oleh karena itu umumnya sebagian besar baja komersial hanya mengandung karbon dengan sedikit unsur paduan lain. Unsur Mn lebih dominan sebagai unsur paduan digunakan untuk menambah kekuatan. Sebagian besar baja komersial umumnya terdiri dari bahan jenis hipoeutectoid, yaitu dengan kadar karbon < 0.8 persen, bahkan jarang sekali dijumpai baja komersial jenis eutectoid yaitu dengan kadar karbon = 0.8 persen. (Smallman,1991).

Baja karbon merupakan bahan teknik yang paling banyak digunakan untuk berbagai keperluan. Meskipun baja karbon relatif terbatas ketahanan korosinya namun baja karbon digunakan dalam tonase besar dalam aplikasi laut, pembangkit listrik, bidang transportasi, pengolahan kimia, minyak bumi produksi dan penyulingan, jaringan pipa, pertambangan, konstruksi, dan beberapa jenis peralatan. Korosi dapat menurunkan mutu dan daya guna akibat adanya reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungannya. Langkah-langkah spesifik telah banyak diambil dalam industri untuk mengurangi korosi pada baja karbon.

Di pasaran produksi baja, terdapat tiga kelompok baja karbon berdasarkan kadar karbonnya yaitu:

- 1). Baja karbon rendah (*low carbon steel*) yaitu baja dengan kandungan karbon $< 0,3\%$, memiliki kekuatan sedang dengan keuletan yang baik dan sesuai tujuan fabrikasi, konstruksi atau struktural seperti; jembatan, bangunan gedung, kendaraan bermotor dan kapal laut.
- 2). Baja karbon sedang (*medium carbon steel*), yaitu baja dengan kandungan karbonnya berkisar $0,3\% - 0,7\%$. Baja ini dapat ditingkatkan kekuatannya melalui proses *heat treatment* atau dengan *case hardening*. Baja jenis ini banyak digunakan untuk pegas. Baja dengan kandungan karbon $0,4\% - 0,6\%$ digunakan juga untuk rel.
- 3). Baja karbon tinggi (*high carbon steel*), yaitu baja yang mengandung $0,7\% - 1,7\%$ karbon dan juga mangan antara $0,3\% - 0,90\%$. Baja jenis ini banyak digunakan sebagai bahan pegas yang memerlukan kekuatan besar.

Posisi dan kondisi pada masing-masing kelompok baja karbon di atas pada suhu dan kadar karbonnya dapat dilihat pada gambar diagram fasa Fe-Fe₃C. Demikian pula pada baja karbon rendah yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Diagram fasa Fe-Fe₃C (Callister,2007).

Pada penelitian ini akan digunakan plat baja karbon rendah (AISI 1020) sebagai bahan dasar/subtract yang akan dilapis dengan tembaga dan nikel, maka untuk mengetahui beberapa kriteria yang ada pada baja tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4 untuk komposisinya.

Tabel 2.3. Karakteristik mekanis dan aplikasi pemakaian dari beberapa jenis baja (Callister,2007).

AISI/SAE or ASTM Number	Tensile Strength [MPa(ksi)]	Yield Strength [MPa(ksi)]	Ductility [%EL in 50 mm(2 in.)]	Typical Applications
Plain low-Carbon Steels				
1010	325 (47)	180 (26)	28	Automobile panels, nail, and wire
1020	380 (55)	205 (30)	25	Pipe, structural and sheet steel
A36	400 (58)	220 (32)	23	Structural (bridge and building)
A516 Grade 70	485 (70)	260 (38)	21	Low-temperature pressure vessels

Tabel 2.4. Komposisi berbagai jenis baja karbon (Callister,2007).

Designation		Compositions (wt%)		
AISI/SAE or ASTMNumber	UNS Number	C	Mn	Other
Plain Low-Carbon Steels				
1010	G10100	0.10	0.45	
1020	G10200	0.20	0.45	
A36	K02600	0.29	1.00	0.20 Cu (min)
A516 Grade 70	K02700	0.31	1.00	0.25 Si

2.5 Parameter peubah elektroplating

Beberapa parameter peubah yang berpengaruh terhadap kualitas pelapisan secara elektroplating antara lain suhu, waktu, pH, kuat arus dan tegangan. Beberapa penelitian telah mengangkat sebagian parameter peubah tersebut yang dikombinasikan satu dengan yang lainnya sebagai variabel penelitian. Pada penelitian ini akan mengambil 2 parameter peubah yaitu suhu dan waktu pelapisan yang akan digunakan sebagai variabel terikat, dimana kedua variable peubah tersebut diberikan nilai yang bervariasi untuk mendapatkan suatu kesimpulan perubahan terhadap variable bebasnya.

2.5.1 Suhu larutan elektrolit

Pengaturan suhu pada proses elektroplating tergantung pada jenis larutan yang digunakan. Terdapat interval suhu larutan elektrolit yang bisa digunakan. Pada penelitian ini jenis larutan elektrolit yang digunakan adalah jenis sianida. Kondisi-kondisi operasional pelapisan yang perlu diperhatikan dapat menggunakan data pada Tabel 2.5 sebagai pertimbangan.

Tabel 2.5. Larutan untuk pelapisan tembaga (ASM Metals Handbook,1994)

Kondisi operasional	Larutan sianida
Suhu, ⁰ C	30 - 50
Voltase, V	6
pH	12.0 - 12.6
Anoda	tembaga, baja

Tabel 2.6. Larutan untuk pelapisan nikel (ASM Metals Handbook,1994)

Kondisi operasional	Watt nikel	Nikel Sulfamate
Suhu, ⁰ C	44 - 66	32 - 60
pH	2 - 4.5	3.5 - 5.0
Anoda	Nikel	Nikel

Tabel 2.5 digunakan sebagai acuan pada proses elektroplating tembaga bahwa suhu larutan elektrolit berkisar antara 30⁰-50⁰C dengan tegangan sumber diposisikan konstan pada 6 volt serta pH larutan dijaga pada posisi 12.0-12.6. Dari keterangan ini maka pengambilan suhu penelitian yang variatif harus tetap dalam kisaran/range 30⁰-50⁰C, misalnya 30⁰,35⁰,45⁰ atau 30⁰,40⁰,50⁰ dan seterusnya. Sementara itu voltage dan PH dijaga dalam kondisi tetap/konstan. Sedangkan pada Tabel 2.6 menjelaskan perlunya menjaga suhu larutan elektrolit pada pelapisan nikel pada suhu 44⁰-66⁰C dengan pH larutan elektrolit 2.0-4.5.

Perlu diperhatikan bahwa suhu pelapisan yang terlalu rendah dan rapat arus yang cukup optimum akan mengakibatkan hasil pelapisan menjadi kasar dan kusam, tetapi jika suhu pelapisan terlalu tinggi dengan rapat arus yang optimum maka hasil pelapisan menjadi tidak merata.

2.5.2 Waktu pelapisan

Pengaturan waktu pada proses elektroplating sangat variatif tergantung pada rapat arus yang yang digunakan ataupun ketebalan lapisan yang diinginkan. Pada proses pelapisan tembaga acuan pemilihan waktu dapat untuk memprediksi ketebalan larutan yang terbentuk. Pengaturan waktu pelapisan tersebut dapat didasarkan pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Data pelapisan tembaga (ASM Metals Handbook, 1994).

Ketebalan (μm)	Waktu pelapisan, menit pada rapat arus, A/dm ²							
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
2	4	3	2	2	2	1	1	1
5	11	8	6	5	4	3	3	2
10	23	15	11	9	8	6	6	5
20	45	30	23	18	15	13	11	9
30	68	45	34	27	23	19	17	14
40	90	60	45	36	30	26	23	18
50	113	75	57	45	38	32	28	23
60	136	90	68	54	45	39	34	27
70	158	106	79	63	53	45	40	32
80	181	120	90	72	60	52	45	36

Demikian pula pengaturan waktu pada proses pelapisan nikel juga didasarkan pada rapat arus yang yang digunakan ataupun ketebalan lapisan yang diinginkan. Pengaturan waktu pelapisan nikel didasarkan pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Data pelapisan nikel (ASM Metals Handbook,1994).

Ketebalan (μm)	Waktu (menit) pelapisan pada rapat arus (A/dm^2)									
	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6	8	10
2	20	10	6.8	5.1	3.4	2.6	2.0	1.7	1.3	1
4	41	20	14	10	6.8	5.1	4.1	3.4	2.6	2
6	61	31	20	15	10	7.7	6.1	5.1	3.8	3.1
8	82	41	27	20	13	10	8.2	6.8	5.1	4.1
10	10	51	34	26	17	13	10	8.5	6.4	5.1
12	120	61	41	31	20	15	12	10	7.7	6.1
14	140	71	48	36	24	18	14	12	8.9	7.1
16	160	82	54	41	27	20	16	14	10	8.2
18	180	92	61	46	31	23	18	15	11	9.2
20	200	100	68	51	34	26	20	17	13	10
40	410	200	140	100	68	51	41	34	26	20

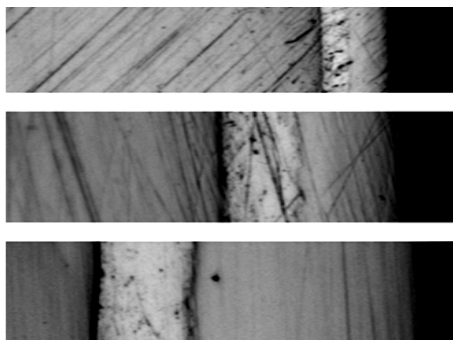
Waktu pelapisan akan mempengaruhi terhadap kuantitas dari hasil pelapisan pada permukaan produk yang dilapis.

2.6 Parameter hasil elektroplating

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa maksud dilakukan elektroplating ialah untuk tujuan penampilan, perlindungan korosi serta sifat teknis/mekanis tertentu. Namun demikian yang menjadi indikatornya antara lain adalah nilai ketebalan, kekerasan, kekasaran, dan nilai kecerahan. Pada penelitian ini nilai ketebalan dan kekasaran permukaan hasil dari proses elektroplating menjadi variabel dalam penelitian.

2.6.1 Ketebalan lapisan

Ketebalan lapisan dicari dengan membaca hasil fotomikro yang dihasilkan mikroskop. Contoh hasil foto ketebalan lapisan tembaga-nikel pada plat baja karbon rendah ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Lapisan tembaga-nikel pada plat baja karbon rendah.

Ketebalan lapisan tembaga dan nikel pada proses elektroplating mempunyai interval ketebalan minimal dan maksimal seperti ditunjukkan pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Interval ketebalan dan tingkat kekerasan pada rekayasa permukaan secara elektroplating (Davis,2001)

Pengerjaan	Subtrat	Ketebalan	Kekerasan, HV
Pelapisan tembaga	Bebas	10-250 μm	70-90
Pelapisan nikel	Bebas	10 μm to 1 mm	250-650

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan didapat nilai ketebalan lapisan nikel yaitu 10.9 μm (penelitian Husna Al Hasa,2007) dan 14.1 – 55.77 μm pada variasi suhu dan waktu (penelitian Ketut S,2008).

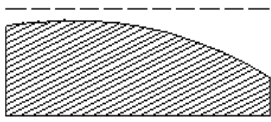
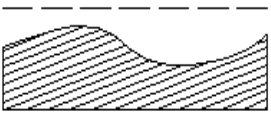
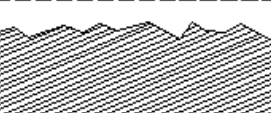
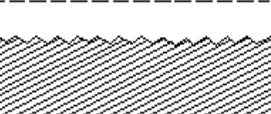

2.6.2. Kekasaran permukaan (*surface roughness*)

Permukaan adalah batas yang memisahkan antara benda padat dengan sekelilingnya. Nilai kekasaran permukaan berpengaruh terhadap kualitas suatu komponen atau produk, sehingga kekasaran permukaan menjadi tuntutan yang harus dipenuhi oleh benda hasil produksi. Karakteristik suatu kekasaran permukaan menjadi pertimbangan dalam perancangan komponen mesin atau peralatan. Pada skala kecil konfigurasi permukaan merupakan karakteristik *mikrogeometri*. Sementara itu *makrogeometri* adalah permukaan yang membuat bentuk atau rupa yang spesifik misalnya poros, lubang, sisi dan lain-lain yang tercakup pada elemen geometri ukuran, bentuk, dan posisi.

Nilai kekasaran permukaan berpengaruh terhadap kualitas dari komponen atau produk yang dihasilkan, diantaranya: umur lelah, pemantulan cahaya, pengecatan, pelapisan dan perlakuan panas. Sehingga kekasaran permukaan menjadi tuntutan yang harus terpenuhi.

Ketidakteraturan konfigurasi suatu permukaan bila ditinjau dari profilnya dapat diuraikan menjadi beberapa tingkat ditunjukkan pada Tabel 2.10. Tingkat pertama merupakan ketidakteraturan makrogeometri yaitu keseluruhan permukaan yang membuat bentuk. Tingkat kedua yaitu yang disebut dengan gelombang (*waviness*), merupakan ketidakteraturan periodik dengan panjang gelombang yang jelas lebih besar dari kedalamannya (*amplitude*). Tingkat ketiga yaitu alur (*groove*) dan tingkat keempat adalah serpihan (*flaw*). Alur dan serpihan keduanya lebih dikenal dengan istilah kekasaran (*roughness*).

Tabel 2.10 Ketidakteraturan Suatu Profil-Konfigurasi Penampang Permukaan (Chang–Xue,2002).

Tingkat	Profil terukur, bentuk grafik hasil pengukuran	Istilah	Contoh kemungkinan penyebabnya
1.		Kesalahan bentuk (<i>form error</i>)	Kesalahan bidang-bidang pembimbing mesin perkakas dan benda kerja, kesalahan posisi pencekaman benda kerja
2.		Gelombang (<i>waviness</i>)	Kesalahan bentuk perkakas, kesalahan penyenteran perkakas, getaran dalam proses pemesinan
3.		Alur (<i>grooves</i>)	Jejak/bekas pemotongan (bentuk ujung pahat, gerak makan)
4.		Serpihan (<i>flakes</i>)	Proses pembentukan geram, deformasi akibat proses pancar pasir, pembentukan module pada proses elektroplating.
			Kombinasi ketidakteraturan dari tingkat 1 sampai 4.

Kekasaran permukaan (*surface roughness*) dibedakan menjadi dua, yaitu:

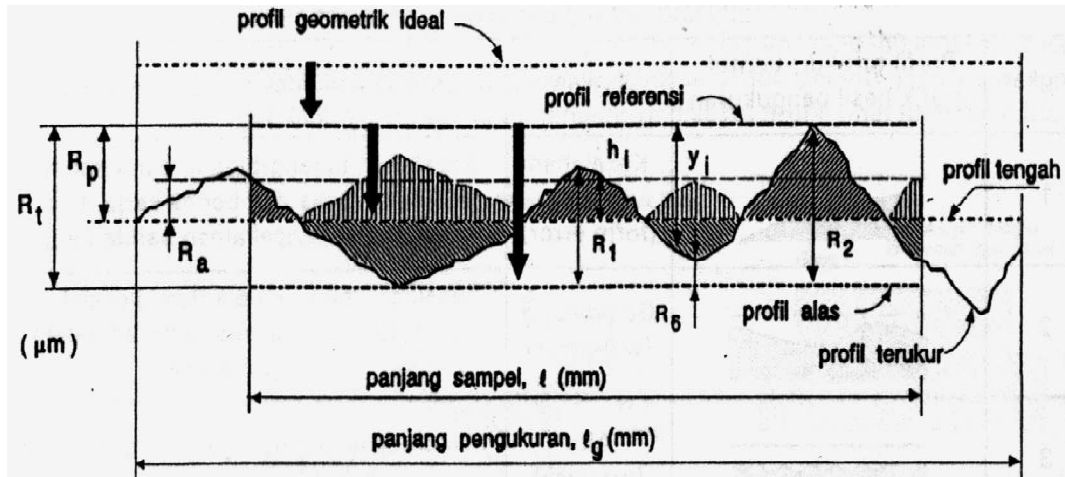
1) *Ideal surface roughness*

Ideal surface roughness adalah kekasaran ideal (terbaik) yang bisa dicapai dalam suatu proses permesinan dengan kondisi ideal.

2) *Natural surface roughness*

Natural surface roughness adalah kekasaran alamiah yang terbentuk dalam proses permesinan karena adanya berbagai faktor yang mempengaruhi proses permesinan tersebut.

Pada proses pengukuran dan pembacaan kriteria kekasaran hal-hal yang dapat dijelaskan ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Posisi profil referensi, tengah dan alas terhadap profil terukur untuk satu panjang sampel (Taufiq Rachim,2001).

Berdasarkan profil-profil yang diterangkan pada Gambar II.7 dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan, yaitu yang berhubungan dengan dimensi pada arah tegak dan arah memanjang. Untuk dimensi arah tegak dikenal beberapa parameter yaitu:

- 1) Kekasaran total (*peak to valley height/total height*), R_t (μm) adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas.
- 2) Kekasaran perataan (*depth of surface smoothness/peak to mean line*), R_p (μm) adalah jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur.
- 3) Kekasaran rata-rata aritmetik (*mean roughness index/center line average, CLA*), R_a (μm) adalah harga rata-rata aritmetik dibagi harga absolutnya jarak antara profil terukur dengan profil tengah.

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |h_i| dx \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

- 4) Kekasaran rata-rata kuadratik (*root mean square height*), R_q (μm) adalah akar bagi jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L h_i^2 dx} \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

- 5) Kekasaran total rata-rata, R_z (μm) merupakan jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima lembah terendah.

$$R_z = \sum [R_1 + R_2 + \dots + R_5 - R_6 \dots - R_{10}] / 5 \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

Dibandingkan dengan parameter lain, harga R_a lebih sensitif terhadap perubahan atau penyimpangan yang terjadi.

Angka kekasaran ini telah diklasifikasikan menjadi 12 angka kelas kekasaran. Angka kekasaran (*ISO number*) ini dimaksudkan untuk menghindari kemungkinan terjadinya kesalahan interpretasi atas satuan harga kekasaran. Jadi spesifikasi mengenai kekasaran dapat dituliskan langsung dengan menyatakan harga *Ra*-nya seperti tercantum pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Angka Kekasaran - *ISO Roughness Number* (Taufiq Rachim,2001).

Harga Kekasaran, Ra (µm)	Angka kelas kekasaran	Panjang sampel (mm)
50	N12	8
25	N11	
12.5	N10	2.5
6.3	N9	
3.2	N8	0.8
1.6	N7	
0.8	N6	
0.4	N5	
0.2	N4	0.25
0.1	N3	
0.05	N2	0.08
0.025	N1	

Sebuah persamaan yang sering digunakan untuk mengukur Ra yaitu :

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

- Ra = kekasaran rata-rata
- l = panjang sampel
- y = koordinat dari profil kurva

Kekasaran pada deposit tembaga sering disebabkan oleh partikel asing yang ada bak, karena pembersihan yang salah, atau dengan migrasi ke katoda dari logam tembaga atau partikel oksida tembaga yang terbentuk di anoda. Kekasaran semacam ini terutama terjadi karena sodium sianida konsentrasi elektrolit tinggi. Sering kali, logam substrat tidak memiliki tingkat kehalusan yang diinginkan dari permukaan berlapis. Logam permukaan substrat dapat secara mekanis atau kimia bekerja untuk mengurangi kekasaran permukaan sebelum elektroplating, namun, beberapa elektrolit tembaga dapat menghasilkan meratakan substansial dalam

lapisan diendapkan, sehingga mengurangi biaya yang berkaitan dengan menguraikan prepolishing atau cara lain menghaluskan permukaan.

2.7 Dasar penelitian

Beberapa penelitian mengenai elektroplating untuk mendukung penelitian ini telah dilakukan antara lain tentang ; pengaruh pelapisan nikel pada suhu pelapisan 60⁰C dan 70⁰C serta waktu pelapisan 2, 3, 4 dan 5 menit pada baja karbon rendah terhadap nilai ketebalan lapisan. Diperoleh hasil bahwa semakin lama waktu semakin tebal lapisan nikel yang terbentuk ; penelitian pengaruh rapat arus dan waktu pelapisan nikel terhadap nilai ketebalan dengan waktu 30, 60 dan 90 menit. Hasil yang diperoleh bahwa rapat arus dan waktu elektroplating yang semakin tinggi akan semakin meningkatkan seiring dengan naiknya ketebalan lapisan ; penelitian tentang pengaruh waktu pelapisan 5, 10 dan 15 menit dengan suhu 40⁰C, 50⁰C dan 60⁰C diperoleh hasil bahwa nilai suhu dan waktu yang semakin besar maka semakin tebal pula lapisan nikel ; penelitian tentang pengaruh waktu pelapisan nikel pada tembaga dalam pelapisan krom dengan suhu larutan nikel 60⁰C dengan waktu 5, 10, 15, 20 dan 25 menit diperoleh hasil ketebalan lapisan nikel meningkat linier dengan waktu dan meningkatkan tingkat kecerahan lapisan.

Dari ulasan di atas beberapa hal yang masih perlu dilakukan penelitian yaitu penelitian mengenai pengaruh suhu dan waktu pelapisan secara elektroplating yang berpengaruh terhadap nilai ketebalan dan nilai kekasaran lapisan tembaga-nikel yang terbentuk. Nilai ketebalan lapisan akan berpengaruh terhadap ketahanan korosi, sedangkan nilai kekasaran permukaan akan berpengaruh pada proses pelapisan selanjutnya atau pada proses finishingnya. Parameter suhu dan waktu divariasikan pada pelapisan tembaga dan nikel ini yang disesuaikan dengan spesifikasi pelapisannya.

2.8 Hipotesa

Dari landasan teori yang dikemukakan dan dari beberapa jurnal penelitian yang telah membahas mengenai elektroplating, maka dapatlah disusun suatu hipotesa sebagai berikut :

- 1) Ketebalan lapisan logam pelapis yang terbentuk akan dipengaruhi oleh suhu dan waktu pelapisan secara linier, artinya semakin tinggi nilai suhu dan waktu yang diperlakukan, maka ketebalan lapisan akan meningkat secara linier pula.
- 2) Kekasaran permukaan logam pelapis yang terbentuk akan dipengaruhi oleh suhu dan waktu pelapisan secara linier, artinya semakin tinggi nilai suhu dan waktu yang diperlakukan, maka kekasaran permukaan akan meningkat secara linier pula.