

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan logam sebagai bahan dasar untuk membuat suatu konstruksi seperti rangka body kendaraan, elemen mesin dan sebagainya, akan selalu mengalami perkembangan akibat dari kebutuhan manusia. Untuk mendapatkan konstruksi yang kuat dan tahan lama dari bahan yang berkualitas tinggi dengan produksi yang efektif dan biaya minimum. Salah satu cara peningkatan produktivitas adalah dengan cara pelapisan logam, seperti *electroplating*.

*Electroplating* merupakan salah satu proses pelapisan pada permukaan logam yang memiliki keunggulan, yaitu dapat memperbaiki sifat mekanik bahan tanpa mengubah sifat fisik dan mekanik asli dari bahan yang dilapisi serta dapat dikontrol tingkat ketebalan lapisannya dengan beberapa variasi. Maksud *electroplating* ialah demi tujuan penampilan (bagus, kilap, cemerlang), perlindungan (terhadap korosi), sifat khas permukaan, serta sifat mekanis tertentu (Hartomo, Anton J.,1992:25).

Korosi merupakan proses atau reaksi elektrokimia yang bersifat alamiah dan berlangsung dengan sendirinya, oleh karena itu korosi tidak dapat dicegah atau dihentikan sama sekali. Korosi hanya bisa dikendalikan atau diperlambat lajunya sehingga memperlambat proses perusakannya (Septe.Edi.S, 2008), sehingga korosi dapat diartikan sebagai penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (Chamberlain, J dan K.R. Trethewey. 1991).

Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh Listyono (2000), didapatkan hasil bahwa konsentrasi *pickling* dan lama waktu berpengaruh pada kekerasan permukaan hasil *electroplating* nikel, yang mana konsentrasi *pickling* yang baik yaitu 10% ( $H_2SO_4$ ) selama 5 menit.

Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Alif Lukmanul Hakim (2004), didapatkan hasil bahwa besar rapat arus (*current density*) dan jarak antara anoda dan katoda pada proses pelapisan krom berpengaruh pada kekerasan dan kekasaran lapisan yang dihasilkan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Gajendra Sharma, R. K. Yadava dan V. K. Sharma (2006), menjelaskan bahwa pelapisan komposit Ni-CO-SiC dapat meningkatkan kekerasan permukaan dan ketahanan terhadap korosi yang mana terdapat unsur nikel yang dapat meningkatkan kekerasan dari permukaan hasil pelapisan logam.

Larutan yang dipergunakan dalam proses pelapisan nikel adalah larutan *Watts* yang terdiri dari larutan nikel sulfat, larutan nikel khlorida, dan asam borat. Dalam larutan *Watts*, nikel sulfat memasok ion nikel dan nikel khlorida memasok khloridanya yang berguna untuk mencegah agar anoda tidak pasif, sedangkan asam borat mengontrol PH film katoda (Loar, Gary W.,2006:1). Biasanya proses pelapisan nikel *electroplating* diaplikasikan pada Pad lock, saw blade, baking oven, pipa, ruas dari anealing oven, hydroulik silinder dan pin (ASM, 1964). Larutan *watts* ini memiliki beberapa keunggulan (ASM International).

yaitu :

1. sederhana dan mudah digunakan.
2. harganya Relatif murah.
3. keagresifan terhadap peralatan lebih rendah.
4. kerapuhan dan tegangan dalam dari deposit yang dilapisi.

Dari berbagai penelitian sebelumnya, yang belum dilakukan penelitian adalah pengaruh dari variasi rapat arus terhadap kekerasan permukaan dan laju korosi pada baja AISI 1045 setelah dilakukan proses pelapisan nikel secara *electroplating*. Dengan demikian akan dapat diketahui ada tidaknya perubahan pada sifat tersebut dengan adanya variasi rapat arus yang digunakan dalam proses pelapisan nikel secara *electroplating*

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pentingnya penelitian ini maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

Bagaimanakah pengaruh variasi rapat arus dalam larutan *Watts* terhadap laju korosi dan kekerasan permukaan pada proses pelapisan nikel secara *electroplating*?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menggunakan benda kerja baja AISI 1045 sebagai katoda, karena baja ini memiliki kekuatan tarik, ketahanan aus dan kekerasan yang baik.
2. Waktu pencelupan yang digunakan adalah 30 menit.
3. Pembahasan difokuskan pada laju korosi dan kekerasan permukaan pada baja AISI 1045 hasil proses *nckel plating*.

4. Penelitian ini difokuskan pada pengaruh variasi rapat arus  $3,7 \text{ A/dm}^2$ ;  $5,5 \text{ A/dm}^2$ ;  $7,4 \text{ A/dm}^2$ ;  $9,3 \text{ A/dm}^2$  terhadap larutan *Watts*, karena variasi tersebut mempunyai kualitas yang baik untuk proses pelapisan.
5. Korosi yang diberikan adalah proses korosi paksa menggunakan larutan HCl 15%.
6. Larutan elektrolit yang digunakan pada proses pickling adalah 10%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  selama 5 menit.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi rapat arus pada larutan *watts* terhadap laju korosi dan kekerasan permukaan pada proses pelapisan nikel secara *electroplating*.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberi referensi pada industri tentang pengaruh variasi rapat arus pada larutan *watts* terhadap laju korosi dan kekerasan permukaan pada proses pelapisan nikel secara *electroplating*.
2. Menjadi dasar acuan sehingga dapat dilakukan penelitian selanjutnya.
3. Memberi tambahan pengetahuan untuk masyarakat dan mahasiswa tentang manfaat dari pelapisan logam.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya.

Sharma, G. Yadava, R. K. & Sharma, V, K. (Department Of Metallurgical Engineering, Malaviya National Institute Of Technology, Jaipur, India, 2006) telah melakukan penelitian dengan judul “*Characteristics of Electrocodeposited Ni-Co-SiC Composite Coating*” menjelaskan bahwa pelapisan material yang menggunakan komposit Ni-CO-SiC dapat meningkatkan kekerasan permukaan dan ketahanan terhadap korosi.

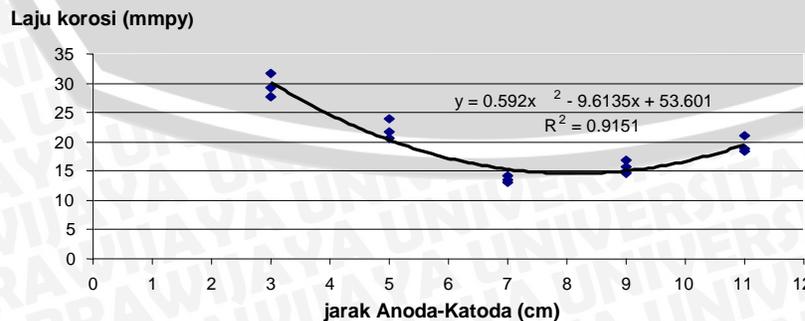
Tabel 2.1 Variasi kekerasan dengan fraksi volume dari partikel SiC pada deposit sebagai fungsi dari ukuran partikel dan konsentrasi rendaman.

Size of SiC particle	Concentration of SiC particles suspended in electroplating bath (g/l)	Average value of coating thickness	SiC content in the deposit (Vol. %)	Average value of Vickers hardness (kg/mm <sup>2</sup> )
6 μm	25	30.2	5.8	410
	50	50.5	11.0	456
	75	62.6	16.2	517
10 μm	25	36.4	6.4	477
	50	58.8	12.6	512
	75	75.7	17.8	573

Sumber: Sharma, G. Yadava, R. K. & Sharma, V, K. 2006.

Dari penjelasan data di atas, nilai rata-rata kekerasan bisa mencapai angka maksimal yaitu sebesar 573 kg/mm<sup>2</sup> dengan rata-rata nilai ketebalan pelapisan 75,7 mikron.

Satriawan, N, B. 2006. telah melakukan penelitian tentang *Pengaruh jarak anoda dan katoda pada proses chromeplating terhadap laju korosi* Skripsi tidak dipublikasikan Malang: Universitas Brawijaya. Kemudian didapatkan hasil seperti pada grafik di bawah ini.



Gambar 2.1 Grafik Pengaruh Jarak Anoda-Katoda terhadap Laju Korosi

Dari grafik diatas menunjukkan kecenderungan laju korosi yang semakin menurun pada jarak anoda-katoda proses *chromeplating* dengan jarak jarak 3 , 5 dan 7 cm yaitu rata-rata sebesar 29,54127 mmpy, 22,02953 mmpy, dan 13,50663 mmpy. Kemudian meningkat lagi pada jarak 9 cm dan 11 cm yaitu rata-rata sebesar 15,7457 mmpy dan 19,4293 mmpy.

## 2.2 Pelapisan dengan Logam.

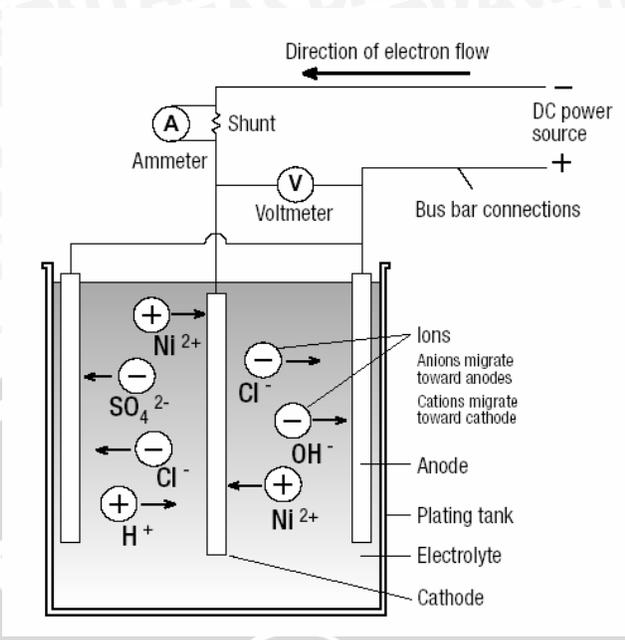
Salah satu cara untuk memperbaiki sifat permukaan logam adalah dengan menggunakan logam sebagai bahan pelapis. Lapisan logam merupakan penghalang yang sinambung antara permukaan logam dan lingkungan sekitarnya (Trethewey, K.R. dan J.Chamberlain, 1991:269).

Sifat – sifat ideal bahan pelapis dari logam ini dapat diringkas.(Adhen bagusa 2007) yaitu :

- a) Logam pelapis harus jauh lebih tahan terhadap serangan lingkungan dibanding logam yang dilindungi.
- b) Logam pelapis tidak boleh memicu korosi pada logam yang dilindungi seandainya mengalami goresan atau pecah di permukaannya.
- c) Sifat – sifat fisik, seperti kelenturan dan kekerasannya, harus cukup memenuhi persyaratan operasional struktur atau komponen bersangkutan.
- d) Tebal lapisan harus merata dan bebas dari pori – pori (persyaratan ini hampir tidak mungkin dipenuhi).

## 2.3 Pelapisan Logam Secara Listrik (*Electroplating*).

Prinsip dasar dari pelapisan logam secara listrik adalah penempatan ion logam yang ditambah elektron pada logam yang dilapisi, yang mana ion – ion tersebut didapat dari anoda dan *electrolyte* yang digunakan. (*Nickel Plating HandBook*, Clive Whittington, 2002:6). Pada Gambar 2.2, menjelaskan bahwa sumber arus listrik searah memompa elektron dari katoda ke 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. Dan melalui anoda, elektron dikembalikan ke sumber arus.



Gambar 2.2. Proses *elektroplating*.  
 Sumber: Clive Whittington, 2002:6.

Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



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

1. Berat dari logam yang diendapkan ( $w$ ) pada saat berlangsung proses elektrolisis berbanding lurus dengan jumlah kuat arus ( $I$ ) dan waktu ( $t$ ).
2. Untuk jumlah arus yang sama, berat dari logam yang diendapkan berbanding lurus dengan ekivalen kimianya.

Pernyataan diatas dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$w = \frac{I \times t \times A}{z \times F} (gr) \dots\dots\dots (Sanders, 1950:6). \quad (2.1)$$

dengan:

- $w$  = berat logam yang diendapkan (gr).
- $I$  = arus yang digunakan (ampere ).
- $A$  = berat atom.
- $z$  = Jumlah elektron valensi.
- $t$  = waktu (detik).
- $F$  = bilangan Faraday = 96500 ( Coulomb / mol ).

Dari rumus tersebut, ketebalan deposit dapat diperoleh dengan asumsi deposit sepanjang permukaan seragam (Sanders,1950). Untuk mengetahui ketebalan deposit maka kita harus mengetahui volume dari logam, dan hubungan tersebut sebagai berikut:

$$density = \frac{berat\ endapan}{volume} \left( \frac{gr}{cm^3} \right) \dots\dots\dots(Sanders,1950:7). \quad (2.2)$$

$$volume = \frac{berat\ endapan}{density} (cm^3) \dots\dots\dots(Sanders,1950:7). \quad (2.3)$$

Ketebalan endapan dapat ditentukan sebagai berikut:

$$ketebalan = \frac{volume}{luas\ permukaan} (cm) \dots\dots\dots(Sanders,1950:7). \quad (2.4)$$

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 :

$$\eta_{\text{arus}} = \frac{W_{\text{aktual}}}{W_{\text{teoritis}}} \times 100\% \dots\dots\dots(Sanders,1950:8). \quad (2.5)$$

dengan:

- $W_{\text{aktual}}$  = berat yang mengendap di Katoda.
- $W_{\text{teoritis}}$  = berat menurut Hukum Faraday.

**2.4 Elemen Sel Elektrolitik.**

**2.4.1. Electrolyte**

*Electrolyte* adalah komposisi kimia yang akan terpisah menjadi ion – ion apabila hasil pemisahan ini menjadikan larutan tersebut bersifat sebagai penghantar listrik. Fungsi *electrolyte* disini adalah sebagai penghantar arus dan penambah ion logam pelapis. Oleh karena itu larutan *electrolyte* harus mengandung logam pelapis, misalnya untuk pelapisan nikel maka *electrolyte* yang digunakan harus mengandung nikel juga. (Utomo, A. B. 2007). larutan yang digunakan dalam pelapisan *nickel electroplating* adalah larutan watts. Larutan ini digunakan dalam pelapisan untuk tujuan dekoratif, *engineering* maupun *electroforming*.

Larutan *watts* ini memiliki beberapa keunggulan. (ASM International, 1991).

yaitu :

1. sederhana dan mudah digunakan.
2. relatif murah harganya.
3. keagresifan terhadap peralatan lebih rendah.
4. kerapuhan dan tegangan dalam dari deposit yang di lapisi lebih rendah.

Komponen – komponen yang ada dalam Larutan *Watts* ini terdiri dari:

1. *Nickel sulfat*( $NiSO_4$ ) yaitu Sumber utama ion nikel dalam larutan untuk pelapisan. Anionnya bersifat stabil yang tidak tereduksi di katoda.
2. *Nickel chloride* yaitu diperlukan untuk memasok *chloride* agar anoda tidak pasif, meningkatkan konduktivitas dari *plating bath* dan keseragaman distribusi ketebalan lapisan.
3. *Boric Acid* yaitu digunakan untuk menjaga konsentrasi hidrogen pada lapisan katoda. Indikasi dari rendahnya konsentrasi asam borik adalah adanya kekasaran ketika digunakan arus yang tinggi.

#### 2.4.2. 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* (catu daya arus searah). (Utomo, A. B. 2007).

#### 2.4.3. 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.(Utomo, A. B. 2007).

Ciri – ciri dari elektroda tersebut adalah sebagai berikut (Van Vlacker 1989) :

a. Anoda

1. merupakan kutub positif.
2. terjadi reaksi oksidasi.
3. terjadi pelepasan ion.

b. Katoda

1. merupakan kutub negatif.
2. terjadi reaksi reduksi.
3. menerima ion.

Pada penelitian ini digunakan nikel sebagai anoda pada masing – masing pelapisan, sedangkan katoda menggunakan baja AISI 1045 yang merupakan benda kerja yang akan dilapisi.

## 2.5 Perencanaan Bentuk Benda Kerja

Beberapa masalah yang timbul sehubungan dengan bentuk benda kerja. (Utomo, A. B. 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. Berikan toleransi pada benda yang nantinya akan dirakit.
2. Pada pelapisan yang banyak atau bersama – sama (*barrel-plating*), hindarkan bentuk yang mengakibatkan benda – benda tersebut saling terkait.

## 2.6 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. (ASM International, 1991).

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.

### 2.7 Reaksi Redoks

Reaksi redoks adalah reaksi kimia yang melibatkan reaksi oksidasi dan reduksi yang terjadi secara serentak dalam suatu sel *elektrokimia*.

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. (Utomo, A. B. 2007).

### 2.8 Baja

Baja merupakan paduan antara besi dan karbon. Kandungan karbon dalam baja antara 0,008 – 2%. Baja juga mengandung silikon sekitar 0,25%: 0,3 – 1,5% Mn dan unsur yang lain seperti Fosfor dan Sulfur.

Berdasarkan kandungan karbonnya, baja karbon dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu :

1. Baja karbon rendah (*low carbon steel*) dengan kandungan karbon  $\leq 0,25\%$ . Penggunaan : *machine, machinery* dan *mild steel*. Sifatnya mudah ditempa dan mudah di mesin.
2. Baja karbon menengah (*medium carbon steel*) dengan kandungankarbon 0,25% - 0,6%. Mempunyai kekuatan lebih tinggi daripada baja karbon rendah. Sifatnya sulit untuk dibengkokkan, dilas dan dipotong.
3. Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) dengan kandungan karbon 0,6% - 2%. Penggunaan : *tool steel*. Sifatnya sulit dibengkokkan, dilas dan dipotong.

Baja yang digunakan adalah baja AISI 1045 karena baja carbon medium ini memiliki kekuatan tarik, ketahanan aus dan kekerasan yang baik. ( Malcolm Campbell, 2008).

**2.9 Nikel**

Nikel merupakan logam yang sangat keras dan memiliki keuletan yang rendah. Pada suhu biasa, nikel tidak terserang udara basah dan kering dan memiliki ketahanan terhadap korosi dan temperatur tinggi yang cukup baik. Nikel amat populer dalam elektroplating. Berikut ini adalah karakteristik dari logam nikel murni (Van vlack, 1989 "623") :

Lambang	: Ni
Nomor Atom	: 28
Massa atom	: 58,71 g/mol
Kondisi standar (pada 298 K)	: Padat
Massa jenis nikel	: 8,908 g/cm <sup>3</sup>
Titik lebur	: 1728 K (1455 °C)
Titik didih	: 3186 K (2913 °C)
Bentuk kristal	: kubus pusat sisi (f.c.c)
<i>Tensile Strength</i>	: 70000-105000 psi (480-725 MPa)
<i>Elongation</i>	: 5-25%
<i>Hardness</i>	: 130-200 HB

**2.10 Pengaruh rapat arus terhadap hasil elektroplating**

Rapat arus adalah besar arus perjumlah luas permukaan katoda (benda kerja) yang akan dilapisi, yang dapat dirumuskan yaitu:

$$CD = i/A \dots\dots\dots(\text{Anton hartomo, 1997:14}). \quad (2.6)$$

dengan:

- CD* = *Current Density* (A/dm<sup>2</sup>)
- i* = kuat arus (Ampere)
- A* = luas permukaan katoda (dm<sup>2</sup>)

Rapat arus mempunyai peranan yang sangat penting, apabila rapat arus yang digunakan terlalu kecil maka proses pengendapan akan berjalan dengan lambat, ini berarti laju pelepasan elektron yang berhubungan dengan pengendapan logam pelapis terjadi secara lambat dengan kata lain terdapat waktu yang cukup bagi inti logam

pelapis untuk tumbuh sehingga hanya terdapat sedikit bidang untuk tumbuh inti yang baru, pada akhirnya akan terbentuk butiran butiran yang besar pada permukaan katoda. Sebaliknya apabila rapat arus yang digunakan besar maka akan dihasilkan butiran butiran yang kecil, karena besar arus yang terjadi menyebabkan cepatnya terbentuk inti baru, endapan yang terjadi pada permukaan katoda berbutir halus (N.V. parthasarady,1988:54). Dengan ukuran ion yang lebih rapat dan lebih halus, maka kekuatan antar ion logam pelapis yang menempel pada katoda semakin besar. Hal ini sesuai dengan hukum coulomb yang menyatakan bahwa kekuatan ikatan berbanding terbalik dengan jarak antar ion, jadi semakin kecil jarak antar ion maka kekuatan antar ion semakin besar. Besarnya ikatan antar atom, maka gaya yang diperlukan untuk memisahkan juga semakin besar (Smith,F, William. 2001). Bila rapat arus dinaikan dalam batas tertentu maka akan menimbulkan pelepasan hidrogen yang pada akhirnya akan terjadi hidroxyde pada logam yang akan dilapisi. Jika ini terjadi maka endapan yang terjadi halus tetapi berpori dan tampak kusam serta lunak, karena adanya hidrogen yang ikut mengendap pada logam yang akan dilapisi besarnya limit rapat arus tidak sama untuk masing masing kondisi, hal itu dipengaruhi oleh konsentrasi larutan, temperatur dan jenis larutan yang digunakan. Energi aktivasi merupakan energi yang dibutuhkan agar dapat melangsungkan reaksi. Pada temperatur kamar kebanyakan molekul sekedar terpental setelah bertabrakan tanpa bereaksi. tetapi jika panas ditambahkan ke dalam wadah, maka molekul-molekul akan memperoleh cukup energi untuk bereaksi bila mereka bertabrakan.

### 2.11 Korosi dan macam macam korosi

Korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Hilangnya material tersebut biasanya berlangsung sangat lambat tetapi berlangsung terus menerus.( Septe, E. 2008).

Macam macam bentuk korosi antara lain :

#### 1. Korosi permukaan merata (*uniform corrosion*)

Korosi ini merupakan jenis korosi serangan merata pada permukaan logam akibat cairan atau gas korosif yang mengalir pada daerah yang terbuka sehingga logam akan semakin tipis akibat korosi dan dapat membahayakan konstruksi suatu mesin.

#### 2. Korosi *galvanic*

Korosi galvanic atau korosi dwilogam adalah korosi logam tak sejenis (*dissimilar metals*), yaitu korosi akibat dua logam tak sejenis yang tergendeng (*coupled*)

membentuk sebuah sel korosi basah sederhana. Salah satu logam akan menjadi anoda dan terkorosi oleh sel galvanic. Hal yang dapat menyebabkan terbentuknya anoda dan katoda pada permukaan logam adalah perbedaan harga potensial reduksi ( $E^0$ ) antara dua logam yang sangat besar sehingga memungkinkan terjadinya aliran ion. (Fontana, Mars. 1987 :41)

### 3. Korosi celah (*crevice corrosion*)

Korosi yang terjadi pada celah-celah atau bagian yang tersembunyi, celah dapat menahan kotoran dan air yang menjadi sumber korosi. Konsentrasi oksigen pada permukaan celah lebih banyak dibandingkan pada bagian dalam, sehingga bagian dalam lebih anodik dan bagian celah lebih katodik, dan akan timbul arus dari dalam ke celah. Volume-volume kecil elektrolit yang terperangkap di dalam celah jauh lebih agresif dibandingkan jika dalam volume besar (Chamberlain,1991:136).

### 4. Korosi sumur (*pitting corrosion*)

Korosi sumuran adalah korosi lokal yang secara selektif menyerang bagian permukaan logam yang :

1. selaput pelindungnya tergores atau retak akibat perlakuan mekanik
2. mempunyai tonjolan akibat dislokasi atau slip yang disebabkan oleh tegangan tarik yang dialami

Dilihat dari lubang-lubang atau ceruk-ceruk akibat korosi, maka korosi celah dan sumuran tampak sama. Korosi sumuran dapat dibedakan dari korosi celah dari fase pemicunya, korosi celah dipicu oleh beda konsentrasi oksigen atau ion-ion dalam elektrolit, sedangkan korosi sumuran ( pada permukaan yang datar ) hanya dipicu oleh faktor-faktor metalurgi. Jadi terjadinya korosi jenis ini antara lain karena komposisi logam tidak homogen dan dapat menimbulkan korosi yang dalam pada beberapa tempat. Dapat juga karena ada kontak antara logam yang berlainan, biasanya pada daerah batas butir, timbul korosi berbentuk sumur. (Chamberlain,1991:141).

### 5. Korosi lelah

Lelah mekanik dapat dialami semua logam bila logam mendapat beban siklus yang terus berulang, dan menyebabkan logam gagal pada tingkat tegangan jauh dibawah tingkat tegangan statis yang dapat membuatnya patah atau gagal. Di lingkungan basah, kita sering menjumpai bahwa ketahanan logam terhadap lelah menurun. Ini membuat lelah korosi menjadi bentuk korosi yang lazim dijumpai dan berbahaya (Chamberlain,1991:190).

### 6. Korosi erosi

Korosi erosi adalah bentuk korosi yang timbul ketika logam terserang akibat gerak relatif antara elektrolit dan permukaan logam. Meskipun proses-proses elektrokimia juga berlangsung, banyak contoh bentuk korosi ini yang terutama disebabkan oleh efek-efek mekanik seperti pengausan, abrasi dan gesekan yang dapat menyebabkan penajaman dan pengkasaran, permukaan-permukaan seperti inilah yang mudah terserang korosi. Logam-logam lunak khususnya mudah terkena serangan macam ini, misalnya tembaga, kuningan, aluminium murni, dan timbal, tetapi kebanyakan logam lain juga rentan terhadap korosi erosi, namun dalam kondisi-kondisi aliran yang tertentu (Fontana, Mars. 1987 :91).

#### 7. Korosi tegangan

Korosi tegangan (*stress corrosion cracking*) adalah retakan yang diakibatkan oleh korosi yang bekerja sama dengan tegangan, baik tegangan dalam material dan tegangan aplikasi yang diterima oleh material (Fontana, Mars. 1987 :109). Tegangan dalam pada material didapatkan saat material tersebut mengalami proses pembentukan. Tegangan aplikasi adalah tegangan yang diterima material akibat material tersebut difungsikan untuk aplikasi tertentu seperti, material boiler akan mendapatkan tegangan dari uap air berupa tekanan. Ada beberapa *stress corrosion cracking* (SCC) yang spesifik terjadi pada material tertentu seperti pada kuningan di lingkungan yang mengandung ammonia, biasa disebut dengan *season cracking*. Pada baja dilingkungan alkali kuat SCC biasa disebut dengan *caustic cracking*.

#### 8. Korosi batas butir

Pada prinsipnya, setiap logam yang mengandung logam antara atau senyawa pada batas-batas butirnya akan rentan terhadap korosi. Kebanyakan logam yang diproduksi secara besar-besaran untuk keperluan rekayasa memiliki cacat volume. Bahkan logam murni yang bebas dari semua cacat dari proses produksi masih mengalami serangan korosi selektif pada batas-batas butir, akibat ketidaksesuaian struktur kristalnya, atom-atom secara termodinamik kurang mantap dibanding atom-atom pada kedudukan kisi sempurna, dan mempunyai kecenderungan lebih besar untuk terkorosi. (Chamberlain,1991:123).

#### 10. Korosi pada temperatur tinggi

Korosi dapat terjadi walaupun tidak ada larutan elektrolit, dan sering disebut korosi kering. Korosi kering yang paling nyata adalah reaksi logam dengan oksigen (oksidasi). Oksigen mudah bereaksi dengan kebanyakan logam, walaupun energi thermal untuk logam-logam yang berbeda akan berbeda pula nilainya. Namun pada

temperatur tinggi laju oksidasi logam-logam meningkat. Korosi jenis ini sering terjadi pada temperatur tinggi yang tercemar oleh gas  $\text{SO}_2$  dan  $\text{SO}_3$  hasil pembakaran pada turbin gas. (Chamberlain,1991:346).

### 2.12. Pengujian ketebalan lapisan

Dalam pengujian ketebalan lapisan pada benda kerja, alat yang digunakan adalah *Coating thickness mini test 600 Type* : 12-1605 SN: 9802. Alat ini mampu menguji kekerasan material yang tebalnya sangat tipis dalam ukuran mikron.

Prinsip pengujian ketebalan lapisan yaitu ketika batang detektor ditekan pada permukaan material uji, sinar infra merah yang ada didalam batang tersebut akan masuk ke permukaan material, sinar tersebut bisa membaca nilai ketebalan dengan cara perbedaan jenis material antara material pelapis dan material induk. Setelah infra merah mengenai logam induk infra merah akan kembali keatas, alat ukur akan secara otomatis mengukur kedalaman lapisan.



Gambar 2.3. *Coating thickness mini Test 600 Type* : 12-1605 SN: 9802.  
Sumber : lab. *Metalurgy* bahan, ITS

### 2.13 Pengujian korosi

Pengujian korosi dilakukan dengan tujuan mengetahui laju korosi atau ketahanan korosi dari suatu material logam. Pengujian korosi ini dibagi menjadi dua katagori yaitu:

1. Pengujian laboratorium (*Laboratory Test*)

Pengujian ini dilakukan dengan mengkondisikan lingkungan agar spesimen yang diuji dapat terkorosi, dengan kondisi dan bentuk spesimen yang dibuat mendekati keadaan sebenarnya atau spesimen tiruan. Pada pengujian di laboratorium biasanya digunakan larutan-larutan asam yang bersifat korosif atau menggunakan larutan yang

dialiri arus listrik atau *electrochemical* misal *galvanic cells* atau *electrolytics cells* sehingga waktunya relatif lebih singkat (Satriawan, N, B. 2006).

Alat yang digunakan adalah :

- Specimen.
- Penjepit.
- larutan HCl 15%.
- timbangan elektrik.

2. Pengujian lapangan (*Field Test*)

Pengujian ini dilakukan dengan menempatkan spesimen sebenarnya pada kondisi lingkungan atau kondisi aplikasi yang dialami langsung oleh material tanpa adanya kondisi-kondisi yang dibuat untuk mempercepat terjadinya korosi (Satriawan, N, B. 2006).

Lingkungan-lingkungan alamiah tersebut antara lain :

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

**2.14 Laju korosi**

Laju korosi dinyatakan sebagai *Corrosion Penetration Rate* (CPR) dengan satuan *inches per year* (*ipy*), *mills per year* (*mpy*) atau *millimeter per year* (*mmpy*). Satuan mpy sering digunakan sebagai satuan laju korosi karena dapat menunjukkan laju korosi untuk nilai yang sangat kecil (Fontana,1987 :172). 1 mils = 0,0245 mm. Sebagai perbandingan, mpy dengan satuan yang lain adalah. 1 mpy = 0,0254 mmpy = 25,4 μmpy = 2,90 nmphr = 0,805 pmps. Persamaan yang digunakan untuk menghitung laju korosi adalah :

$$CPR = \frac{87,6 \cdot w}{\rho \cdot A \cdot t} \dots\dots\dots (\text{Fontana, Mars. 1987: 172}). \quad (2.7)$$

dengan :

- w* = berat yang hilang setelah waktu pengkorosian ( mg)
- ρ* = massa jenis bahan (gr/ cm<sup>3</sup>)
- A* = luas permukaan bahan (cm<sup>2</sup>)
- t* = waktu pengkorosian (jam)
- CPR* = laju korosi (mm/yr)

Laju korosi atau *corrosion penetration rate* (CPR) menunjukkan besarnya penetrasi rata-rata dari korosi terhadap logam dalam tiap satuan waktu. Nilai laju korosi yang tinggi menunjukkan ketahanan logam yang rendah terhadap serangan korosi.

Begitu pula sebaliknya bahwa tingkat ketahanan yang tinggi terhadap adanya korosi ditunjukkan dengan rendahnya nilai laju korosi.

### 2.15 Pengujian kekerasan pada permukaan

Kekerasan adalah kemampuan untuk menahan penetrasi (Yuherman, W. 1987). Dalam pengujian kekerasan permukaan pada logam pelapis, alat yang digunakan adalah *Micro vickers Hardness Tester type Mitutoyo MVK-E3 Akashi corporation Japan*. Alat ini mampu menguji kekerasan material yang tebalnya sangat tipis dalam ukuran mikron.

Prinsip pengujian kekerasan yaitu ketika batang getar (*vibration rod*) ditekan pada permukaan material uji dengan beban konstan, maka penetrator akan menusuk permukaan material, semakin lunak material uji maka penetrator akan menusuk lebih dalam.



Gambar 2.4. *Micro Vickers Hardness Tester type Mitutoyo MVK-E3*  
Sumber : Laboratorium Metalurgi Fisik ITN malang

### 2.16 Hipotesa

Dengan meningkatnya rapat arus dalam larutan *watts*, laju korosi menurun dan kekerasan akan meningkat, karena proses pembentukan logam pelapis lebih cepat dari pada proses pertumbuhan butir, maka mempunyai butiran yang kecil dan halus, hal ini menambah kekuatan, sehingga terjadi pelapisan sempurna.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian nyata (*true experimental research*). Diharapkan dari penelitian ini didapatkan data-data yang valid agar dapat menyimpulkan permasalahan yang dibahas. Untuk mendukung penelitian ini maka dilakukan studi literatur untuk mendapatkan sumber-sumber pustaka yang berkaitan dengan penelitian ini yang berasal dari jurnal internet, buku, dan penelitian-penelitian sebelumnya, dengan model analisis varian satu arah.

### 3.2 Variabel Penelitian

**Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah:**

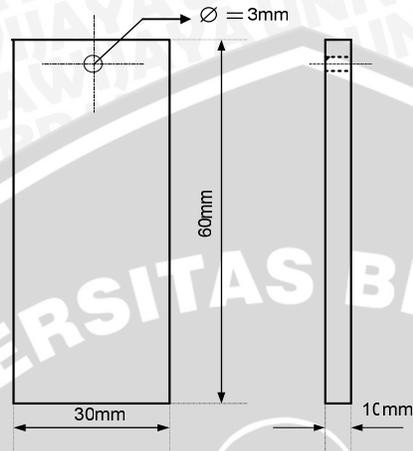
- a) Variabel bebas :
  - Variasi rapat arus  $3,7 \text{ A/dm}^2$ ;  $5,5 \text{ A/dm}^2$ ;  $7,4 \text{ A/dm}^2$ ;  $9,3 \text{ A/dm}^2$ .
- b) Variabel terikat :
  - kekerasan pada permukaan.
  - laju korosi.
- c) Variabel yang dikontrol :
  - Konsentrasi  $\text{NiCl}_2$  sebesar 30 gram/liter.
  - Konsentrasi  $\text{NiSO}_4$  sebesar 250 gram/liter.
  - Konsentrasi asam borat sebesar 40 gram/liter.
  - Waktu pelapisan yang digunakan 30 menit.
  - Menggunakan *power supply* dengan arus DC.
  - Variabel – variabel yang lain dianggap konstan.

### 3.3 Bahan Yang Digunakan

Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah :

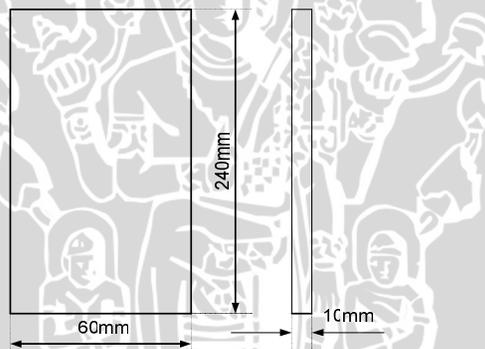
1. Baja AISI 1045 sebagai benda kerja

Bentuk dan dimensi benda kerja yang digunakan seperti pada gambar 3.1 berikut :



Gambar 3.1 Benda Kerja *katoda*.

2. Lempengan nikel sebagai anoda pada pelapisan nikel.



Gambar 3.2 Benda Kerja *anoda*.

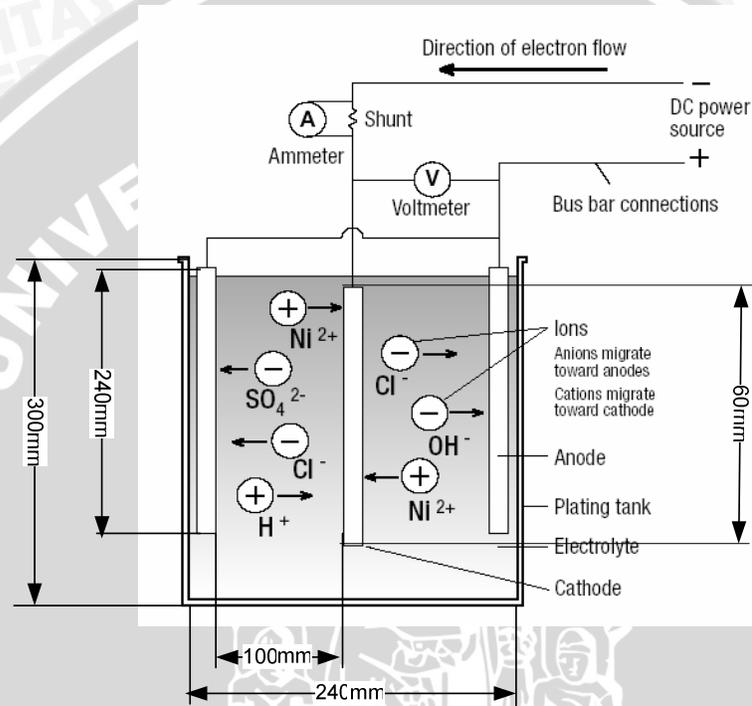
3. Larutan 10% ( $H_2SO_4$ ) untuk proses *pickling*.
4. Larutan watts untuk proses pelapisan nikel, yang terdiri atas :
  - a) *Nickel sulphate* ( $NiSO_4$ ) = 250 g/l
  - b) *Nickel Chloride* ( $NiCl_2$ ) = 30 g/l
  - c) Asam Borat (*Boric Acid*) = 40 g/l
  - d) Air (aquades)

### 3.4 Peralatan dan Spesimen Uji yang Digunakan

Peralatan dan Spesimen Uji yang Digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Gelas kimia 1000 ml dan 100 ml.

2. Termometer.
3. *StopWatch*.
4. Jangka Sorong.
5. Penjepit.
6. Berbagai alat keselamatan kerja, terdiri atas sarung tangan karet, masker dan kaca mata.
7. Instalasi *electroplating*.



Gambar 3.3 Instalasi *electroplating*  
 Sumber: Lab. Politeknik negeri Malang.

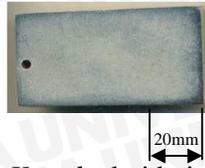
Instalasi *electroplating* terdiri dari :

- a) *power supply*.
- b) bak *electrolisis*.



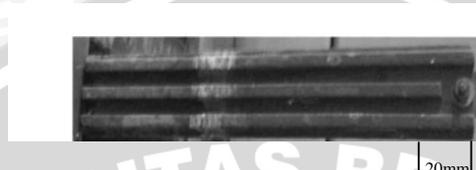
Gambar 3.4 Bak *electrolisis*.  
 Sumber: Lab. Politeknik negeri Malang.

c) *katoda* / benda kerja



Gambar 3.5 *Katoda* dari baja AISI 1045.

d) *anoda*



Gambar 3.6 *Anoda* dari nikel.

Sumber: Lab. Politeknik negeri Malang.

8. Perangkat uji laju korosi.

Alat yang digunakan adalah :

1. *Beaker glass* untuk uji korosi.
2. *Spesimen*.
3. Larutan HCl 15%.
4. penjepit.
5. Timbangan elektrik.



Gambar 3.7 Foto Timbangan elektrik.

Sumber: lab. Metalurgi bahan, ITS

9. Perangkat uji kekerasan permukaan

Alat yang digunakan adalah:

- *Spesimen*.
- Alat ukur *Micro vickers Hardness Tester type Mitutoyo MVK-E3*

### 3.5 Tempat dan Waktu Penelitian

1. Laboratorium *electroplating* dan korosi di politeknik malang.
2. Laboratorium Metalurgi Fisik Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
3. Laboratorium Metalurgi Fisik ITN malang.

### 3.6 Prosedur Penelitian

Langkah – langkah yang dilaksanakan dalam penelitian ini adalah :

1. Di persiapkan alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian.
2. Dilakukan proses pembersihan benda kerja menggunakan kertas gosok dan *flap disk*.
3. Disiapkan larutan *electrolyte* dan peralatan untuk proses *electroplating* nikel.
4. Dipersiapkan instalasi *electroplating*.
5. Dilakukan pengukuran berat awal benda kerja.
6. Dilakukan proses *pickling* selama 5 menit menggunakan  $H_2SO_4$ .
7. Benda kerja dikeluarkan, diikuti dengan pembilasan dan pengeringan.
8. Dilakukan proses elektroplating selama 30 menit.
9. Benda kerja dikeluarkan, diikuti dengan pembilasan dan pengeringan.
10. Dilakukan pengukuran berat benda kerja setelah pelapisan.
11. Dilakukan pengujian kekerasan permukaan, kemudian dilakukan pengolahan data dengan melakukan metode statistik.
12. Dilakukan uji laju korosi, kemudian dilakukan pengolahan data dengan melakukan metode statistik.
13. Dilakukan pembahasan dan menarik kesimpulan.

### 3.7 Metode Pengukuran Data

#### 3.7.1. Pengukuran ketebalan lapisan

Pengukuran ketebalan ini dapat dilakukan secara analitis (persamaan 2.4) dengan asumsi deposit sepanjang permukaan adalah seragam (Sanders,1950:7). Untuk mengetahui ketebalan deposit nikel maka kita harus mengetahui berat deposit nikel. Maka untuk mengetahui berat deposit nikel, dilakukan penimbangan berat logam sebelum dilapisi dan berat logam setelah dilapisi dengan timbangan elektrik. Selisih berat tersebut adalah berat deposit nikel yang menempel pada logam. Selisih berat tersebut kemudian digunakan untuk menghitung ketebalan lapisan. Tetapi ketebalan lapisan juga dapat di hitung dengan suatu alat yaitu menggunakan *Coating Thickness Mini Test 600 Type : 12-1605 SN: 9802*.

Dengan langkah- langkah sebagai berikut:

1. Spesimen dibersihkan dengan kain halus.
2. Siapkan alat ukur *Coating Thickness Mini Test 600 Type : 12-1605 SN: 9802*.
3. Benda kerja diletakkan di atas landasan.
4. Pastikan *Power Switch Set* ke "ON".
5. Sebelum melakukan pengukuran ketebalan lapisan dengan *Coating Thickness*, maka perlu dilakukan kalibrasi terlebih dahulu dengan cara mengukur ketebalan lapisan sample standart yang telah diketahui ketebalannya.
6. Pengukuran Dilakukan dengan cara menekan ujung detektor *Coating Thickness* ke spesimen
7. Catat nilai ketebalan lapisan.

#### 3.7.2. Pengukuran laju korosi

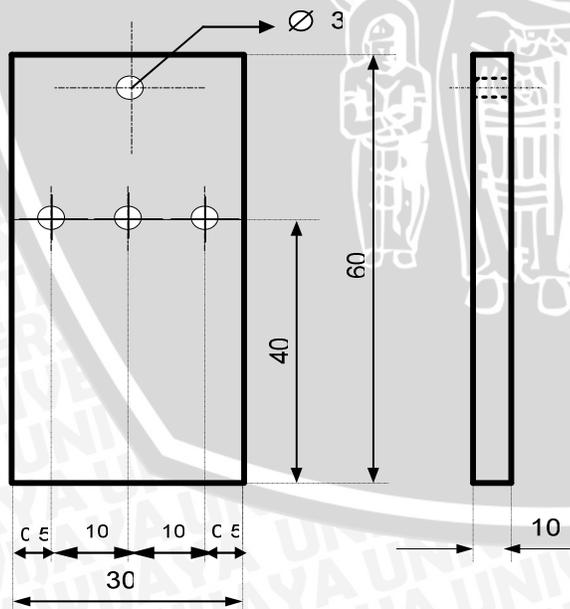
Pengukuran laju korosi dari lapisan nikel yang telah dilapiskan secara *electroplating* pada spesimen, dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Membersihkan lapisan dengan kain halus.
2. Mengukur berat spesimen dengan timbangan elektrik.
3. Memasukkan spesimen dalam larutan asam kuat HCl 15% .
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 rapat arus yang berbeda.

### 3.7.3. Pengukuran kekerasan permukaan

Pengukuran kekerasan permukaan dari lapisan nikel yang telah dilapiskan secara *electroplating* pada spesimen, dapat dilakukan dengan alat *Micro vickers Hardness Tester type Mitutoyo MVK-E3 Akashi corporation Japan*, dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Siapkan alat ukur *Micro vickers Hardness Tester type Mitutoyo MVK-E3 Akashi corporation Japan*.
2. Alat tersebut di *setting* dengan beban penetrasi 100 gram dan dalam waktu 10 detik.
3. Benda kerja yang akan di ukur dibersihkan terlebih dahulu dengan kain putih.
4. Letakkan benda kerja diatas landasan.
5. Cekam probe pada pencekam.
6. Pastikan AC adapter terhubung pada alat ukur dan *POWER switch* set ke "ON".
7. Sebelum melakukan pengukuran kekerasan dengan *Micro vickers Hardness*, maka perlu dilakukan kalibrasi terlebih dahulu dengan cara mengukur kekerasan sample standart yang telah diketahui kekerasannya.
8. Untuk memulai pengukuran kekerasan tekan tombol "Auto Start".
9. Catat nilai kekerasan.
10. Ulangi pengukuran tiga kali tiap spesimen.

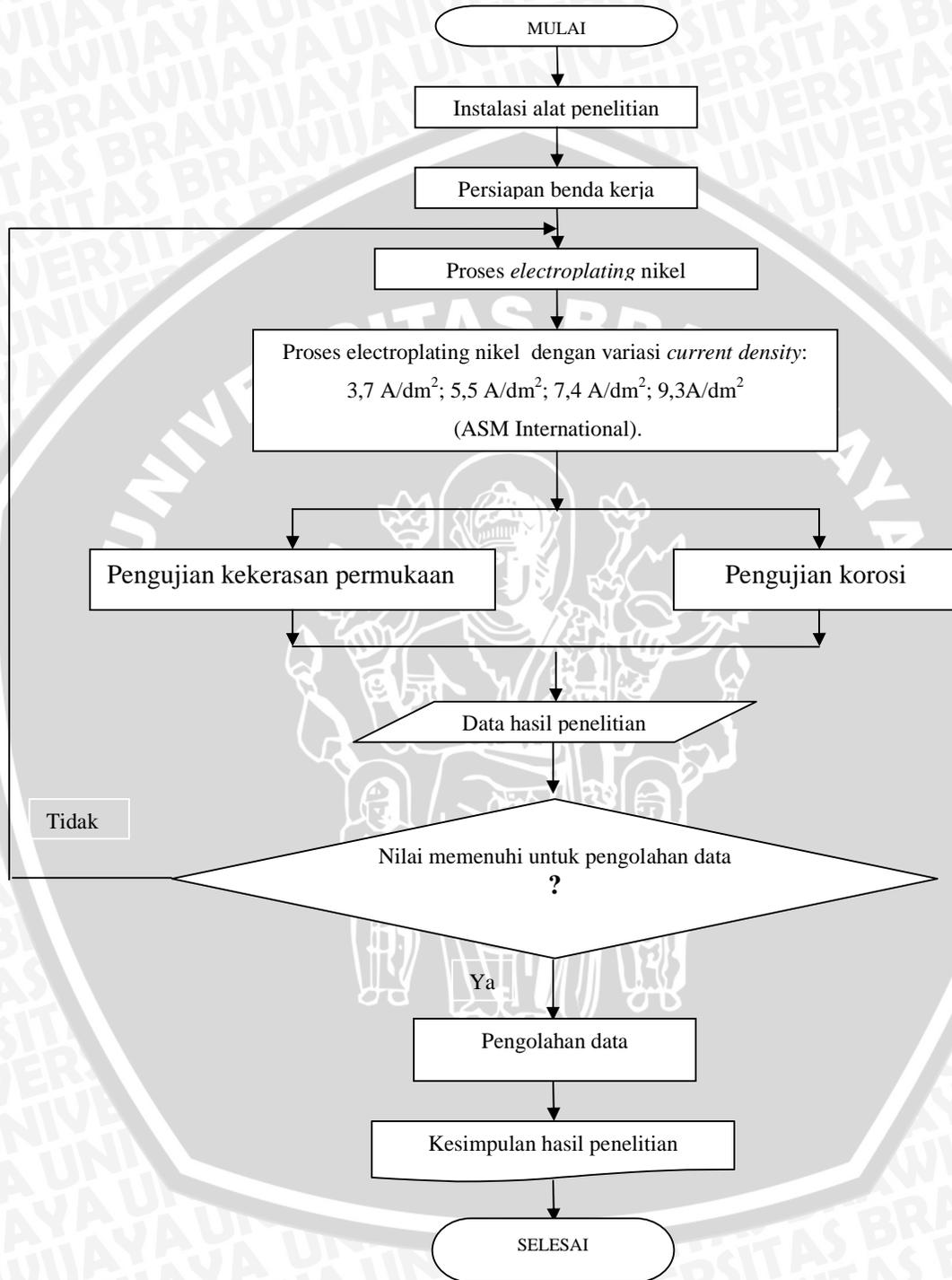


Satuan: mm

Gambar 3.8 Titik pada pengukuran kekerasan permukaan

### 3.8 Diagram Alir Penelitian

Langkah – langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah :



Gambar 3.9 Diagram alir penelitian.

### 3.9 Metode Pengolahan Data

#### 3.9.1. 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.

Dalam percobaan ini akan diteliti pengaruh dari variasi rapat arus pada proses *nickel plating* ( $3,7 \text{ A/dm}^2$ ;  $5,5 \text{ A/dm}^2$ ;  $7,4 \text{ A/dm}^2$ ;  $9,3 \text{ A/dm}^2$ ) terhadap laju korosi dan kekerasan permukaan pada *specimen*.

Metode rancangan percobaan yang sesuai dengan keadaan ini adalah Metode Analisis Varian Satu Arah, karena hanya ada 1 variabel bebas yang diamati (variasi rapat arus) dan 2 variabel terikat (laju korosi dan kekerasan permukaan). Dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali. Dengan Analisa Varian satu arah ini akan diketahui apakah rapat arus proses *nickel plating* berpengaruh terhadap laju korosi dan kekerasan permukaan.

Pengamatan data dimasukkan dalam tabel berikut :

Tabel 3.1. Rancangan Penelitian hasil uji Kekerasan permukaan.

Variasi rapat arus ( $\text{A/dm}^2$ )	Sampel			Jumlah Total	Nilai Rata-rata
	1	2	3		
3,7	$Y_{1,1}$	$Y_{1,2}$	$Y_{1,3}$	$\Sigma Y_{1,i}$	$\bar{Y}_1$
5,5	$Y_{2,1}$	$Y_{2,2}$	$Y_{2,3}$	$\Sigma Y_{2,i}$	$\bar{Y}_2$
7,4	$Y_{3,1}$	$Y_{3,2}$	$Y_{3,3}$	$\Sigma Y_{3,i}$	$\bar{Y}_3$
9,3	$Y_{4,1}$	$Y_{4,2}$	$Y_{4,3}$	$\Sigma Y_{4,i}$	$\bar{Y}_4$

Tabel 3.2. Rancangan Penelitian hasil uji Korosi

Variasi rapat arus ( $\text{A/dm}^2$ )	Sampel			Jumlah Total	Nilai Rata-rata
	1	2	3		
3,7	$Y_{1,1}$	$Y_{1,2}$	$Y_{1,3}$	$\Sigma Y_{1,i}$	$\bar{Y}_1$
5,5	$Y_{2,1}$	$Y_{2,2}$	$Y_{2,3}$	$\Sigma Y_{2,i}$	$\bar{Y}_2$
7,4	$Y_{3,1}$	$Y_{3,2}$	$Y_{3,3}$	$\Sigma Y_{3,i}$	$\bar{Y}_3$
9,3	$Y_{4,1}$	$Y_{4,2}$	$Y_{4,3}$	$\Sigma Y_{4,i}$	$\bar{Y}_4$

### 3.9.2. Analisis Statistik

Untuk menganalisis varian dapat dibuat tabel variasi ragam satu arah. Analisis ini berdasarkan pada jumlah pengulangan,  $n$ , dan jumlah perlakuan,  $p$ . Tabel analisis dapat dilihat dibawah ini.

Tabel 3.3. Rancangan analisis varian satu arah

Sumber	Derajat Bebas	Jumlah	Kuadrat	F hitung
Keseragaman	(Db)	Kuadrat (JK)	Tengah (KT)	
Perlakuan	(p-1)	$JK_P$	$KT_P$	$KT_P / KT_G$
G.Perlakuan	$p(n-1)$	$JK_G$	$KT_G$	
Total	$(pn-1)$	$JK_T$		

Langkah-langkah dalam analisis statistik dari tabel di atas dapat dilakukan dengan penghitungan rumusan berikut :

1. Menghitung Faktor Korelasi (FK)

$$FK = \frac{\left( \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n Y_{ij} \right)^2}{pn}$$

2. Menghitung Jumlah Kuadrat Total ( $JK_T$ )

$$FK_T = \left( \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n Y^2_{ij} - FK \right)$$

3. Menghitung Jumlah Kuadrat Perlakuan ( $JK_P$ )

$$JK_P = \frac{\sum_{i=1}^p \left( \sum_{j=1}^n Y_{ij} \right)^2}{(n - FK)}$$

4. Menghitung Jumlah Kuadrat Galat Percobaan ( $JK_G$ )

$$JK_G = JK_T - JK_P$$

5. Menghitung Kuadrat Tengah (KT)

$$KT_P = \frac{JK_P}{Db_P}$$

$$KT_G = \frac{JK_G}{Db_G}$$

Ada tidaknya pengaruh rapat arus terhadap kekerasan permukaan dan laju korosi dapat diuji melalui metode uji F dengan jalan mencari besarnya  $F_{hitung}$ , yaitu :

$$F_{hitung} = \frac{KT_p}{KT_G}$$

Dengan membandingkan  $F_{hitung}$  dengan  $F_{tabel}$ , akan diketahui ada tidaknya pengaruh tersebut. Sehingga dapat disimpulkan bahwa :

Jika  $F_{hitung} > F_{tabel}$ , berarti  $H_0$  ditolak dan menunjukkan bahwa ada perbedaan nyata antara spesimen dengan variasi rapat arus.

Jika  $F_{hitung} < F_{tabel}$ , berarti  $H_0$  diterima dan menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan nyata antara spesimen dengan variasi rapat arus.



## BAB IV

### ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Data Hasil Pengujian

##### 4.1.1 Data kekerasan baja AISI 1045 hasil *nickel plating*.

Berikut adalah data kekerasan baja AISI 1045 hasil *nickel plating* yang dibuat dalam Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1. Data hasil pengujian kekerasan permukaan (HV).

Pengulangan Ke -	Rapat Arus (A/dm <sup>2</sup> )			
	3,7	5,5	7,4	9,3
1	360,33	371,33	386,7	394
2	364	380,67	385,79	393
3	369	380	392	393
<b>Rata rata</b>	364,44	377,33	388,16	393,33

Tabel 4.2. Berat awal logam sebelum dilapisi nikel (gram)

Pengulangan Ke -	Rapat Arus(A/dm <sup>2</sup> )			
	3,7	5,5	7,4	9,3
1	146,179	144,021	150,922	147,977
2	140,626	143,488	140,129	142,827
3	144,326	148,241	146,58	140,245

Tabel 4.3. Berat logam setelah dilapisi nikel (gram)

Pengulangan Ke -	Rapat Arus(A/dm <sup>2</sup> )			
	3,7	5,5	7,4	9,3
1	146,399	144,391	151,382	148,467
2	140,876	143,818	140,499	143,207
3	144,516	148,531	146,929	140,605

Tabel 4.4. luas permukaan setelah dilapisi nikel ( $\text{cm}^2$ )

Pengulangan Ke -	Rapat Arus( $\text{A}/\text{dm}^2$ )			
	3,7	5,5	7,4	9,3
1	54,032	54,036	54,039	54,043
2	54,034	54,037	54,040	54,041
3	54,033	54,038	54,040	54,042
<b>Rata-rata</b>	54,033	54,037	54,040	54,042

Tabel 4.5. Berat lapisan nikel (gram)

Pengulangan Ke -	Rapat Arus( $\text{A}/\text{dm}^2$ )			
	3,7	5,5	7,4	9,3
1	0,22	0,37	0,46	0,49
2	0,25	0,33	0,37	0,38
3	0,19	0,29	0,34	0,36

#### 4.1.2 Data Laju Korosi Baja AISI 1045 hasil *nickel plating*

Tabel 4.6. Berat logam setelah uji korosi (gram)

Pengulangan Ke -	Rapat Arus( $\text{A}/\text{dm}^2$ )			
	3,7	5,5	7,4	9,3
1	146,354	144,353	151,349	148,440
2	140,834	143,782	140,468	143,182
3	144,474	148,496	146,895	140,578

Tabel 4.7. Berat yang terkorosi (gram)

Pengulangan Ke -	Rapat arus( $\text{A}/\text{dm}^2$ )			
	3,7	5,5	7,4	9,3
1	0,044	0,038	0,032	0,027
2	0,042	0,036	0,030	0,025
3	0,042	0,035	0,033	0,026

#### 4.1.3. Pengukuran ketebalan lapisan

Pengukuran ketebalan lapisan dilakukan untuk mengetahui seberapa besar ketebalan lapisan yang terbentuk dengan pelapisan *nickel plating*. Pengukuran ketebalan

ini dapat dilakukan secara analitis menggunakan persamaan 2.4 dengan asumsi deposit sepanjang permukaan adalah seragam (Sanders,1950:7).

- Arus listrik sebesar: 2 Ampere maka nilai rapat arusnya sebesar 3,7 A/dm<sup>2</sup>
- 3 Ampere maka nilai rapat arusnya sebesar 5,5 A/dm<sup>2</sup>
- 4 Ampere maka nilai rapat arusnya sebesar 7,4 A/dm<sup>2</sup>
- 5 Ampere maka nilai rapat arusnya sebesar 9,3 A/dm<sup>2</sup>

Jika menggunakan arus listrik sebesar 2 Ampere maka:

- $\rho = \text{Density of nickel} = 8,908 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$
- $i = \text{Arus listrik} = 2 \text{ A}$
- $t = \text{Waktu Pelapisan } 30 \text{ menit} = 1800 \text{ detik}$
- Massa atom nikel = 58,6943 gr/mol (*Van vlack, 1989 "623"*).
- Valensi = 2

Berikut adalah contoh perhitungan luas permukaan yang telah mendapatkan penambahan nilai ketebalan 8,1  $\mu\text{m}$ .

$$\begin{aligned} \text{-Luas permukaan spesimen} &= (2 (3,00081 \times 6,00081) + 2 (1,00081 \times 6,00081) + 2 \\ &\quad (1,00081 \times 3,00081))\text{cm}^2 \\ &= 54,032 \text{ cm}^2 \\ &= 0,54032 \text{ dm}^2 \end{aligned}$$

- Secara Teoritis berdasarkan Hukum Faraday endapan yang didapatkan:

$$\begin{aligned} W &= \frac{I \times t \times A}{z \times 96500} \text{ gram} \dots\dots\dots (\text{Sanders,1950: 6}). \quad (2.1) \\ &= \frac{2 \times 1800 \times 58,6943}{2 \times 96500} \text{ gram} \\ &= 1,094816 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v &= \frac{\text{Berat}}{\text{Density}} \text{ cm}^3 \dots\dots\dots (\text{Sanders,1950: 7}). \quad (2.3) \\ &= \frac{1,094816}{8,908} \text{ cm}^3 \\ &= 0,12290 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$t = \frac{\text{Volume}}{\text{Luas Permukaan}} \text{ cm} \dots\dots\dots (\text{Sanders,1950: 7}). \quad (2.4)$$

$$t = \frac{0,12290}{54,032} \text{ cm}$$

$$t = 0,002276 \text{ cm}$$

$$t = 22,76 \mu\text{m}$$

Jadi nilai ketebalan yang didapat dengan perhitungan secara teoritis yaitu pada arus listrik 2 Ampere dan rapat arus 3,7A/dm<sup>2</sup>, maka ketebalannya sebesar 22,76 μm.

**4.1.4. Pengukuran laju korosi**

Laju korosi atau *corrosion penetration rate* (CPR) dinyatakan dalam mmpy.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung laju korosi adalah :

$$CPR = \frac{87,6 \cdot w}{\rho \cdot A \cdot t} \dots\dots\dots (\text{Fontana, Mars. 1987: 172}) \quad (2.7)$$

Contoh dari tabel 4.6 pada no 1 akan didapat :

- selisih berat yang terkorosi dari hasil penimbangan : w = 44 mg
- t = waktu pengkorosian = 1 jam
- ρ = *Density of nickel* = 8,908 (gr/cm<sup>3</sup>)

Berikut adalah contoh perhitungan laju korosi yang telah mendapatkan penambahan nilai ketebalan 8,1 μm.

- Luas permukaan spesimen = (2 (3,00081 × 6,00081) + 2 (1,00081 × 6,00081) + (1,00081 × 3,00081))cm<sup>2</sup>

= 54,032 cm<sup>2</sup>

= 0,54032 dm<sup>2</sup>

$$CPR = \frac{87,6 \cdot w}{\rho \cdot A \cdot t}$$

$$= \frac{87,6 \cdot 44}{8,908 \cdot 54,032 \cdot 1} \text{ mmpy}$$

$$= 8,008 \text{ mmpy}$$

Tabel 4.8. Data Perhitungan laju korosi (mmpy)

Pengulangan Ke -	Rapat arus(A/dm <sup>2</sup> )			
	3,7	5,5	7,4	9,3
1	8,008	6,915	5,823	4,913
2	7,644	6,551	5,459	4,549
3	7,643	6,369	5,459	4,731

## 4.2 Pengolahan Data

### 4.2.1 Uji Kecukupan Data Observasi

Untuk mempermudah uji kecukupan data observasi, maka data hasil pengujian kekerasan ditabelkan pada tabel 4.9 berikut :

Tabel 4.9 Data Pengujian Kecukupan Data Observasi Kekerasan Permukaan.

No sampel ( $n_i$ )	Data observasi ( $x_i$ )	$x_i^2$	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	360,33	129837,709	-20,488	419,772
2	358,67	128644,169	-16,818	282,856
3	369	136161	-11,818	139,673
4	371,33	137885,969	-9,488	90,0285
5	380,67	144909,649	-0,148	0,022
6	380	144400	-0,818	0,670
7	386,7	149536,89	5,882	34,594
8	385,79	148833,924	4,972	24,717
9	392	153664	11,182	125,030
10	394	155236	13,181	173,756
11	393	154449	12,181	148,393
12	393	154449	12,182	148,393
Total	4569,82	1741859,141	5,684E-14	1587,905

Mean (rata-rata) sampel ( $\bar{x}$ )

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{4569,82}{12} = 380,82$$

Variasi sampel ( $\sigma^2$ )

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} = \frac{1587,905}{12-1} = 144,36$$

Standard deviasi ( $\sigma$ )

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{1587,905}{12-1}} = 12,01$$

Tingkat ketelitian (DA) :

$$DA = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\%$$

$$= \frac{12,01}{4569,82} \times 100\%$$

$$= 3,16\%$$

Tingkat keyakinan (CL) :

$$CL = 100\% - DA$$

$$= 100\% - 3,16\%$$

$$= 96,84\%$$

Batas kontrol :

a. Batas kontrol atas (UCL) :

$$UCL = \bar{x} + (k \times \sigma)$$

$$= 4569,82 + (2,16 \times 12,01)$$

$$= 4595,76$$

Batas kontrol bawah (LCL) :

$$LCL = \bar{x} - (k \times \sigma)$$

$$= 4569,82 - 2,16 \times 12,01$$

$$= 4543,88$$

Tingkat ketelitian (S)

$$S = \frac{DA}{100} = \frac{3,16}{100} = 0,032$$

Kecukupan data observasi (N')

$$N' = \left[ \frac{\frac{k}{s} \sqrt{n \sum_{i=1}^n xi^2 - \left( \sum_{i=1}^n xi \right)^2}}{\sum_{i=1}^n xi} \right]^2$$

$$= \left[ \frac{\frac{2,16}{0,032} \cdot \sqrt{12 \times 1741859,141 - 4569,82^2}}{4569,82} \right]^2$$

$$= 3,43$$

$$N' \approx 3$$

Kesimpulan yang didapat dari uji kecukupan data observasi ini sebagai berikut:  
 $N' \leq n$ ,  $3 \leq 3$ , maka data yang diambil dalam percobaan kali ini telah memenuhi nilai minimum kecukupan data observasi dan sudah mencukupi untuk analisis.

Untuk mempermudah uji kecukupan data observasi, maka data hasil pengujian laju korosi ditabelkan pada tabel 4.10 berikut :

Tabel 4.10 Data Pengujian Kecukupan Data Observasi laju korosi.

No sampel (n <sub>i</sub> )	Data observasi (x <sub>i</sub> )	x <sub>i</sub> <sup>2</sup>	(x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ )	(x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup>
1	8,008	64,138	1,789	3,200
2	7,644	58,423	1,424	2,027
3	7,643	58,779	1,447	2,094
4	6,915	47,817	0,695	0,4 83
5	6,551	42,923	0,332	0,110
6	6,369	40,571	0,149	0,022
7	5,823	33,909	-0,396	0,157
8	5,459	29,807	-0,760	0,577
9	5,459	36,062	-0,215	0,046
10	4,913	24,140	-1,306	1,706
11	4,549	20,699	-1,670	2,789
12	4,731	22,375	-1,489	2,218
Total	74,636	479,644	-1,243E-14	15,432

Mean (rata-rata) sampel

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{74,636}{12} = 6,220$$

Variasi sampel ( $\sigma^2$ )

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} = \frac{15,432}{12-1} = 1,403$$

Standard Deviasi ( $\sigma$ )

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{15,432}{12-1}} = 1,184$$

Tingkat ketelitian (DA) :

$$DA = \frac{\sigma}{x} \times 100 \%$$

$$= \frac{1,184}{6,220} \times 100\%$$

$$= 19,044 \%$$

Tingkat keyakinan (CL) :

$$CL = 100 \% - DA$$

$$= 100 \% - 19,044 \%$$

$$= 80,956 \%$$

Batas kontrol :

a. Batas kontrol atas (UCL) :

$$UCL = \bar{x} + (k \times \sigma)$$

$$= 6,220 + (1,316 \times 1,184)$$

$$= 9,928$$

Batas kontrol bawah (LCL) :

$$LCL = \bar{x} - (k \times \sigma)$$

$$= 6,220 - (1,316 \times 1,184)$$

$$= 5,808$$

Tingkat ketelitian (S):

$$S = \frac{DA}{100} = \frac{19,044}{100} = 0,190$$

Kecukupan data observasi (N'):

$$N' = \left[ \frac{k \sqrt{n \sum_{i=1}^n xi^2 - \left( \sum_{i=1}^n xi \right)^2}}{\sum_{i=1}^n xi} \right]^2$$

$$= \left[ \frac{1,316 \cdot \sqrt{12 \times 479,644 - 74,636^2}}{74,636} \right]^2$$

$$= 1,688$$

$$N' \approx 2$$

Kesimpulan yang didapat dari uji kecukupan data observasi ini sebagai berikut:  
 $N' \leq n$ ,  $2 \leq 3$ , maka data yang diambil dalam percobaan kali ini telah memenuhi nilai minimum kecukupan data observasi dan sudah mencukupi untuk analisis.

#### 4.2.2 Analisa Statistik

Berikut analisa varian berdasarkan tabel data hasil pengujian kekerasan permukaan :

Faktor koreksi (FK) :

$$FK = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k y_{ij} \right]^2}{n.k} = \frac{(4569,82^2)}{(3 \times 4)} = 1740271,236$$

Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP) :

$$\begin{aligned} JKP &= \frac{\sum_{j=1}^k \left[ \sum_{i=1}^n y_{ij} \right]^2}{n} - FK \\ &= \frac{5225231,449}{3} - 1740271,236 \\ &= 1472,580 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Total (JKT) :

$$\begin{aligned} JKT &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k y_{ij}^2 - FK \\ &= 1741859,141 - 1740271,236 \\ &= 1587,905 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Galat (JKG) :

$$\begin{aligned} JKG &= JKT - JKP \\ &= 1587,905 - 1472,580 \\ &= 115,324 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP) :

$$\begin{aligned} KTP &= \frac{JKP}{k-1} \\ &= \frac{1472,580}{4-1} \end{aligned}$$

$$= 490,860$$

Kuadrat Tengah Galat (KTG) :

$$\begin{aligned} KTG &= \frac{JKG}{N-k} \\ &= \frac{115,324}{12-4} \\ &= 14,415 \end{aligned}$$

$$F_{\text{hitung}} = \frac{KTP}{KTG} = \frac{490,860}{14,415} = 34,050$$

Hasil perhitungan di atas kemudian ditabelkan dalam tabel 4.11 berikut :

Tabel 4.11 Analisa Varian Data Pengujian Kekerasan Permukaan.

Jumlah Varian	dB	Jumlah kuadrat	Kuadrat rata-rata	F <sub>hitung</sub>	F <sub>tabel</sub>
Perlakuan	3	1472,580	490,860	34,050	4,066
Galat	8	115,324	14,415	-	-
Total	11	1587,905	-	-	-

$F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$  berarti  $H_0$  ditolak dan menunjukkan bahwa ada perbedaan nyata antara spesimen dengan rapat arus yang berbeda.

Berikut analisa varian berdasarkan tabel data hasil pengujian laju korosi :

Faktor koreksi (FK) :

$$FK = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k y_{ij} \right]^2}{n.k} = \frac{(74,636)^2}{(3 \times 4)} = 464,212$$

Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP) :

$$\begin{aligned} JKP &= \frac{\sum_{j=1}^k \left[ \sum_{i=1}^n y_{ij} \right]^2}{n} - FK \\ &= \frac{1437,558}{3} - 464,212 \\ &= 14,974 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Total (JKT) :

$$JKT = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k y_{ij}^2 - FK$$

$$= 479,644 - 464,212$$

$$= 15,432$$

Jumlah Kuadrat Galat (JKG) :

$$JKG = JKT - JKP$$

$$= 15,432 - 14,974$$

$$= 0,458$$

Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP) :

$$KTP = \frac{JKP}{k - 1}$$

$$= \frac{14,974}{4 - 1}$$

$$= 4,991$$

Kuadrat Tengah Galat (KTG) :

$$KTG = \frac{JKG}{N - k}$$

$$= \frac{0,458}{12 - 4}$$

$$= 0,057$$

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG} = \frac{4,991}{0,057} = 87,145$$

Hasil perhitungan di atas kemudian ditabelkan dalam tabel 4.12 berikut :

Tabel 4.12 Analisa Varian data pengujian laju korosi.

Jumlah Varian	dB	Jumlah kuadrat	Kuadrat rata-rata	F <sub>hitung</sub>	F <sub>tabel</sub>
Perlakuan	3	14,974	4,991	87,145	4,066
Galat	8	0,458	0,057	-	-
Total	11	15,432	-	-	-

$F_{hitung} > F_{tabel}$  berarti  $H_0$  ditolak dan menunjukkan bahwa ada perbedaan nyata antara spesimen dengan rapat arus yang berbeda.

#### 4.2.3 Analisa Regresi

Berdasarkan data variabel bebas dan variabel terikatnya dapat dilakukan perhitungan secara matematik yaitu dengan persamaan regresi *polynomial* dengan persamaan umum sebagai berikut :

$$Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$$

Berdasarkan data hasil pengujian kekerasan permukaan, maka diperoleh harga koefisien regresi :

$$y = -0,595 x^2 + 12,95 x + 324,5$$

Keterangan :

y = nilai kekerasan permukaan

x = nilai rapat arus

$$R^2 = 0,9347$$

Berdasarkan data hasil pengujian laju korosi, maka diperoleh harga koefisien regresi:

$$y = 0,0128 x^2 - 0,7001 x + 10,1581$$

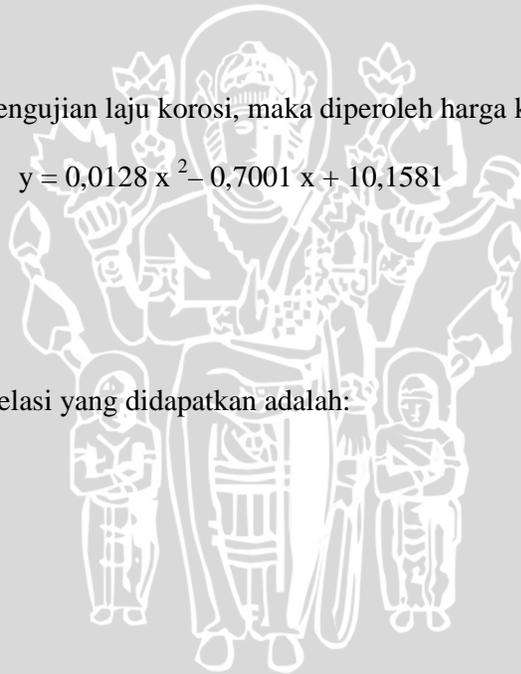
Keterangan :

y = nilai laju korosi

x = nilai rapat arus

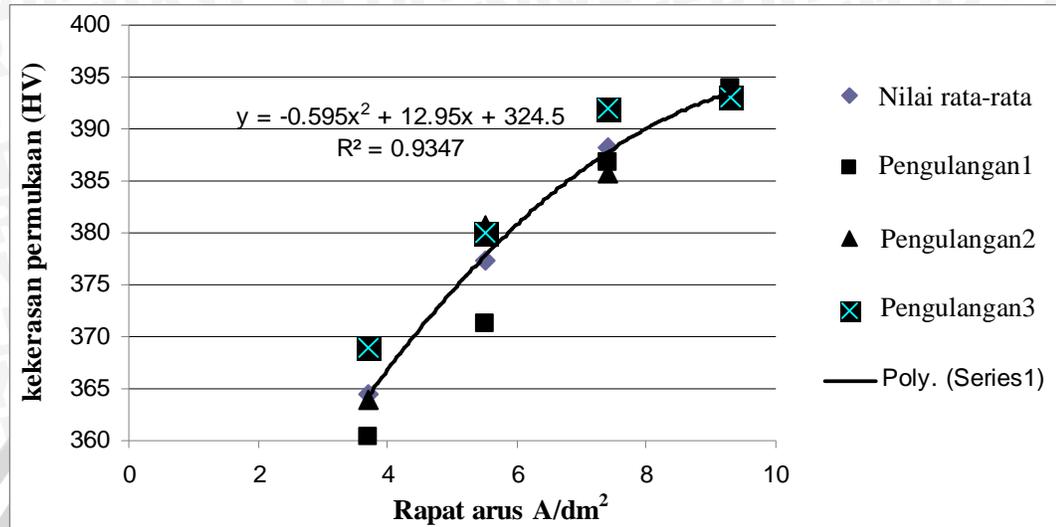
Sedangkan koefisien korelasi yang didapatkan adalah:

$$R^2 = 0,996$$



### 4.3. Pembahasan

#### 4.3.1. Analisa Grafik Hubungan antara Rapat Arus terhadap kekerasan permukaan Baja AISI 1045 hasil *nickel plating*.

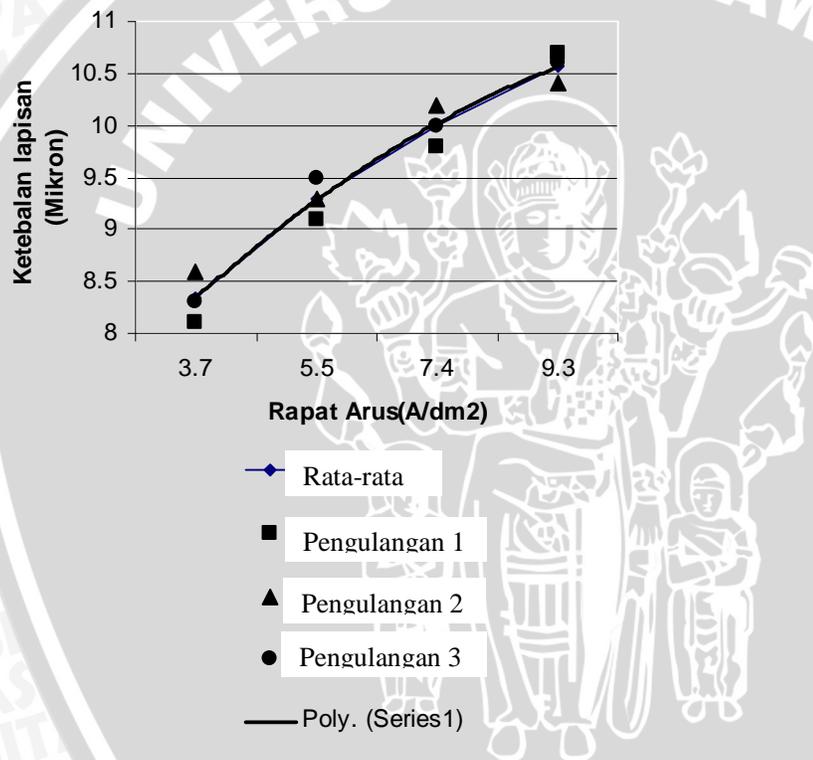


Gambar 4.1 Grafik hubungan Rapat arus terhadap Kekerasan Permukaan

Grafik pada gambar 4.1 di atas menunjukkan trend perubahan data kekerasan permukaan Baja AISI 1045 hasil *nickel plating* akibat variasi rapat arus. Dari analisa varian data kekerasan permukaan didapatkan bahwa F hitung = 34,050 sedangkan F tabelnya sebesar = 4,066. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa F hitung > F table, yang artinya variasi rapat arus berpengaruh terhadap kekerasan permukaan Baja AISI 1045 hasil *nickel plating*. Dari analisa regresi pada data hasil pengujian kekerasan permukaan didapatkan persamaan regresi yang menyatakan fungsi variasi rapat arus terhadap kekerasan permukaan yaitu =  $-0,595X^2 + 12,95X + 324,5$ . Dari analisa data hasil pengujian kekerasan permukaan baja AISI 1045 didapatkan bahwa:

- Pada Rapat arus sebesar 3,7A/dm<sup>2</sup> maka nilai rata-rata kekerasan permukaan sebesar 364,443 HV.
- Pada Rapat arus sebesar 5,5A/dm<sup>2</sup> maka nilai rata-rata kekerasan permukaan sebesar 377,333 HV.
- Pada Rapat arus sebesar 7,4A/dm<sup>2</sup> maka nilai rata-rata kekerasan permukaan sebesar 388,163 HV.
- Pada Rapat arus sebesar 9,3A/dm<sup>2</sup> maka nilai rata-rata kekerasan permukaan sebesar 393,333 HV.

Pada gambar 4.1 diatas terlihat bahwa semakin besar rapat arus, maka nilai kekerasan yang didapatkan juga semakin besar. Karena besar arus yang terjadi menyebabkan cepatnya terbentuk inti baru, endapan yang terjadi pada permukaan katoda berbutir halus (N.V. parthasarady,1988:54), sesuai Hukum coulomb yang menjelaskan hubungan antara gaya yang timbul antara dua titik muatan, butiran-butiran inti yang kecil dan halus akan menghasilkan ikatan antar atom yang lebih besar. Hal tersebut mengakibatkan ikatan antar ion dalam logam pelapis kuat dan gaya yang diperlukan untuk mematahkan material tersebut juga meningkat besar sehingga kekuatan ikatan yang tinggi menyebabkan butiran sulit terbelah, maka nilai kekerasannya tinggi (Smith,F, William. 2001).



Gambar 4.2 Grafik hubungan Rapat arus terhadap ketebalan lapisan ( $\mu\text{m}$ ).

Dengan menggunakan *Coating thickness mini Test 600 Type : 12-1605 SN: 9802* didapat nilai ketebalan lapisan pada *nickel plating* dengan rapat arus 3,7, 5,5, 7,4 dan 9,3 A/dm<sup>2</sup>, semakin meningkat yaitu sebesar 8,33  $\mu\text{m}$ , 9,3  $\mu\text{m}$ , 10  $\mu\text{m}$  dan 10,6  $\mu\text{m}$ . Makin tebal lapisan menyebabkan kekerasan permukaan lapisan meningkat, karena semakin banyak butiran logam nikel yang melapisi spesimen, maka butiran menjadi lebih rapat. Karena nilai kekerasan nikel lebih tinggi yaitu 200 HB dan nilai kekerasan AISI 1045 sebesar 190 HB, maka mempengaruhi nilai kekerasan hasil nikel

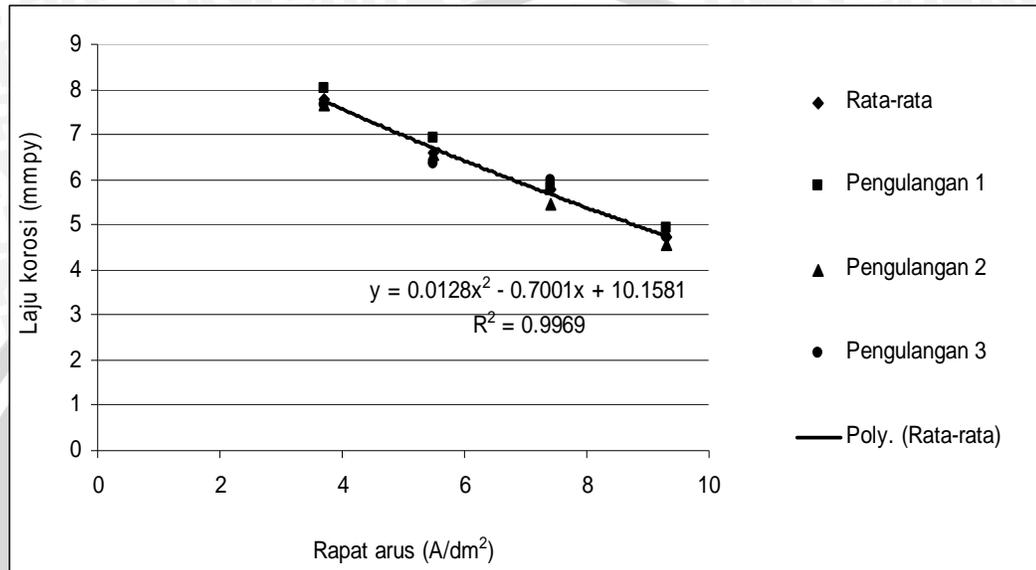
*electroplating*. Dan nilai kekerasan juga dipengaruhi oleh variasi rapat arus yang digunakan, bila rapat arus tinggi maka ketebalan lapisan juga meningkat, dan kekerasan pun meningkat. Sehingga pelapisan dengan menggunakan nikel sebagai logam pelapis sangat membantu untuk meningkatkan kekerasan permukaan hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Sharma (2006) yang menjelaskan bahwa pelapisan dengan menggunakan nikel dapat meningkatkan nilai kekerasan permukaan hasil pelapisan logam, selain itu karena keterikatan antar butiran semakin kuat dan padat, maka nilai kekerasannya menjadi tinggi. Persentase berat endapan secara aktual (sebenarnya) dibandingkan berat teoritis (sesuai perhitungan hukum Faraday), 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 yang digunakan untuk proses elektroplating, seperti yang sudah dijelaskan pada persamaan 2.5. Pada rapat arus  $3,7 \text{ A/dm}^2$  adalah:

$$\eta \text{ listrik} = \frac{0,22}{1,0948} \times 100\% \\ = 20,094\%.$$

Jadi nilai ketebalan yang didapat dengan perhitungan secara teoritis yaitu pada rapat arus  $3,7 \text{ A/dm}^2$ , nilai ketebalannya sebesar  $22,76 \mu\text{m}$ . Tetapi dengan perhitungan secara aktual maka nilai ketebalan pada arus  $3,7 \text{ A/dm}^2$ , sebesar  $8,1 \mu\text{m}$ . Karena efisiensi listrik yang digunakan hanya sebesar 20,094%.

#### 4.3.2. Analisa Grafik Hubungan antara Rapat Arus terhadap Laju Korosi Baja AISI 1045 hasil *nickel plating*

Hubungan antara rapat arus terhadap laju korosi pada proses *nickel plating* dapat ditunjukkan dengan membuat grafik regresi polinomial dari data-data yang telah diambil seperti pada gambar 4.3 berikut



Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Rapat Arus terhadap Laju Korosi

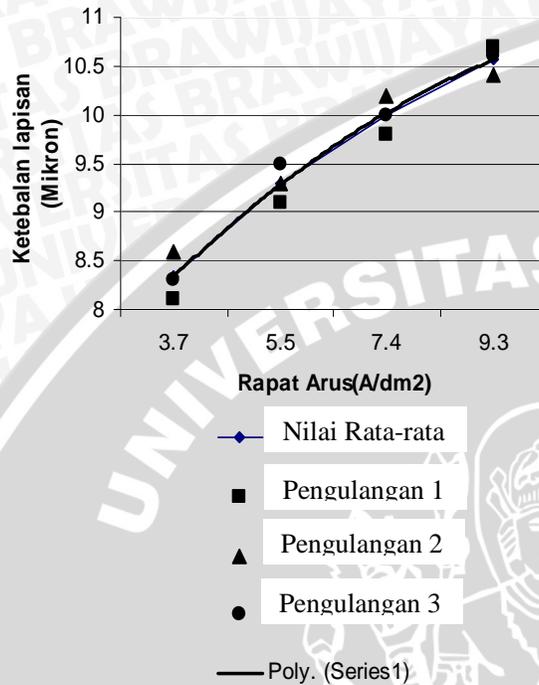
Data laju korosi AISI 1045 yang telah dilapisi nikel pada variasi rapat arus sebesar 3,7, 5,5, 7,4 dan 9,3 A/dm<sup>2</sup> dalam satuan mmpy (*mm per year*). Selanjutnya dengan analisa data, nilai laju korosi pada variasi rapat arus (tabel 4.10) sebagai berikut:

- Rapat arus 3,7 A/dm<sup>2</sup> maka laju korosi sebesar 8,008, 7,644 dan 7,643mmpy
- Pada jarak 5,5 A/dm<sup>2</sup> maka laju korosi sebesar 6,915, 6,551 dan 6,369mmpy
- Pada jarak 7,4 A/dm<sup>2</sup> maka laju korosi sebesar 5,823, 5,459 dan 5,459mmpy
- Pada jarak 9,3 A/dm<sup>2</sup> maka laju korosi sebesar 4,913, 4,549 dan 4,731mmpy

Berdasarkan Analisis Varian Satu Arah, diperoleh nilai  $F_{hitung} = 87,145 < \text{nilai } F_{tabel} = 4,066$  (tabel 4.12) yang artinya Hipotesis yang menyatakan bahwa ada pengaruh secara nyata perubahan rapat arus terhadap laju korosi dapat diterima

Laju korosi atau *corrosion penetration rate* (CPR) menunjukkan besarnya penetrasi rata-rata dari korosi terhadap logam dalam tiap satuan waktu (Fontana, Mars. 1987 : 172). Nilai laju korosi yang tinggi menunjukkan ketahanan logam yang rendah terhadap korosi, begitu pula sebaliknya. Besarnya laju korosi yang terjadi pada logam dipengaruhi oleh banyak faktor dan salah satunya adalah faktor fisik dan metalurgi (Fontana, Mars. 1987 : 12). faktor fisik yang mempengaruhi adalah ketebalan lapisan

nikel, dan faktor metal yang mempengaruhi adalah kualitas butiran logam nikel yang terbentuk. Laju korosi juga dapat menentukan umur efektif suatu lapisan. Umur efektif sebuah lapisan selain bergantung pada lingkungan operasional terutama juga bergantung pada ketebalan lapisan (Chamberlain, 1991:274).



Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Rapat Arus terhadap ketebalan lapisan

Dengan menggunakan coating thickness mini Test 600 Type : 12-1605 SN: 9802 didapat nilai ketebalan lapisan pada *nickel plating* dengan rapat arus 3,7, 5,5, 7,4 dan 9,3A/dm<sup>2</sup>, semakin meningkat yaitu sebesar 8,33 μm, 9,3 μm, 10 μm dan 10,6 μm. Makin tebal lapisan akan menyebabkan laju korosi menurun, atau dengan kata lain ketahanan korosinya meningkat karena lapisan nikel yang terbentuk akan dapat menahan korosi dengan membentuk lapisan yang tahan korosi.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari data dan pembahasan pengaruh variasi rapat arus dalam larutan *watts* terhadap kekerasan permukaan dan laju korosi hasil proses *nickel plating* yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- a) Variasi rapat arus dalam larutan *watts* dapat mempengaruhi nilai kekerasan permukaan dan laju korosi pada Baja AISI 1045 yang telah dilakukan proses pelapisan nikel *electroplating*.
- b) Semakin besar variasi rapat arus, maka nilai kekerasan permukaan pada Baja AISI 1045 yang telah dilakukan proses pelapisan nikel *electroplating* akan semakin meningkat.
- c) Semakin besar variasi rapat arus, maka nilai laju korosi pada Baja AISI 1045 yang telah dilakukan proses pelapisan nikel *electroplating* akan semakin menurun.

#### 5.2 Saran

Proses *nickel plating* hendaknya dilakukan dengan memperhatikan hal – hal berikut :

1. Air yang digunakan sebagai pelarut dalam elektrolit hendaknya digunakan *destilated water* agar tidak terjadi reaksi kimia yang tidak diinginkan.
2. Proses *pickling* hendaknya dilakukan tidak terlalu lama karena dapat mengakibatkan permukaan logam menjadi berlubang – lubang.
3. Variabel yang dikonstankan hendaknya benar – benar dikontrol untuk mendapatkan hasil yang optimal.