

repository.ub.ac.id

**PENGARUH WAKTU PELAPISAN DAN KONSENTRASI
LARUTAN *NICKEL SULPHATE* (NiSO_4) PADA LARUTAN WATTS
TERHADAP LAJU KOROSI HASIL PROSES ELEKTROPLATING**

SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh :

ARIFIN
NIM. 0410623013-62

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
MALANG
2010**



LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH WAKTU PELAPISAN DAN KONSENTRASI
LARUTAN NICKEL SULPHATE (NiSO_4) PADA LARUTAN WATTS
TERHADAP LAJU KOROSI HASIL PROSES ELEKTROPLATING**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

ARIFIN
NIM. 0410623013-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr.Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng.
NIP. 19750710 199903 1 004

Putu Hadi Setyarini, ST., MT.
NIP. 19770806 200312 2 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH WAKTU PELAPISAN DAN KONSENTRASI
LARUTAN NICKEL SULPHATE (NiSO_4) PADA LARUTAN WATTS
TERHADAP LAJU KOROSI HASIL PROSES ELEKTROPLATING**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

A R I F I N
NIM. 0410623013-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 6 Januari 2010

DOSEN PENGUJI

Skripsi 1

Ir. Handono Sasmito, M.Eng. Sc
NIP. 19480216 198003 1 001

Skripsi 2

Ir. I Made Gunadiarta, MT.
NIP. 19461001 197702 1 001

Komprehensif

Ir. Endi Sutikno, MT.
NIP. 19590411 198710 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Waktu Pelapisan dan Konsentrasi Larutan *Nickel Sulphate* (NiSO₄) Pada Larutan *Watts* Terhadap Laju Korosi Hasil Proses Elektroplating”**.

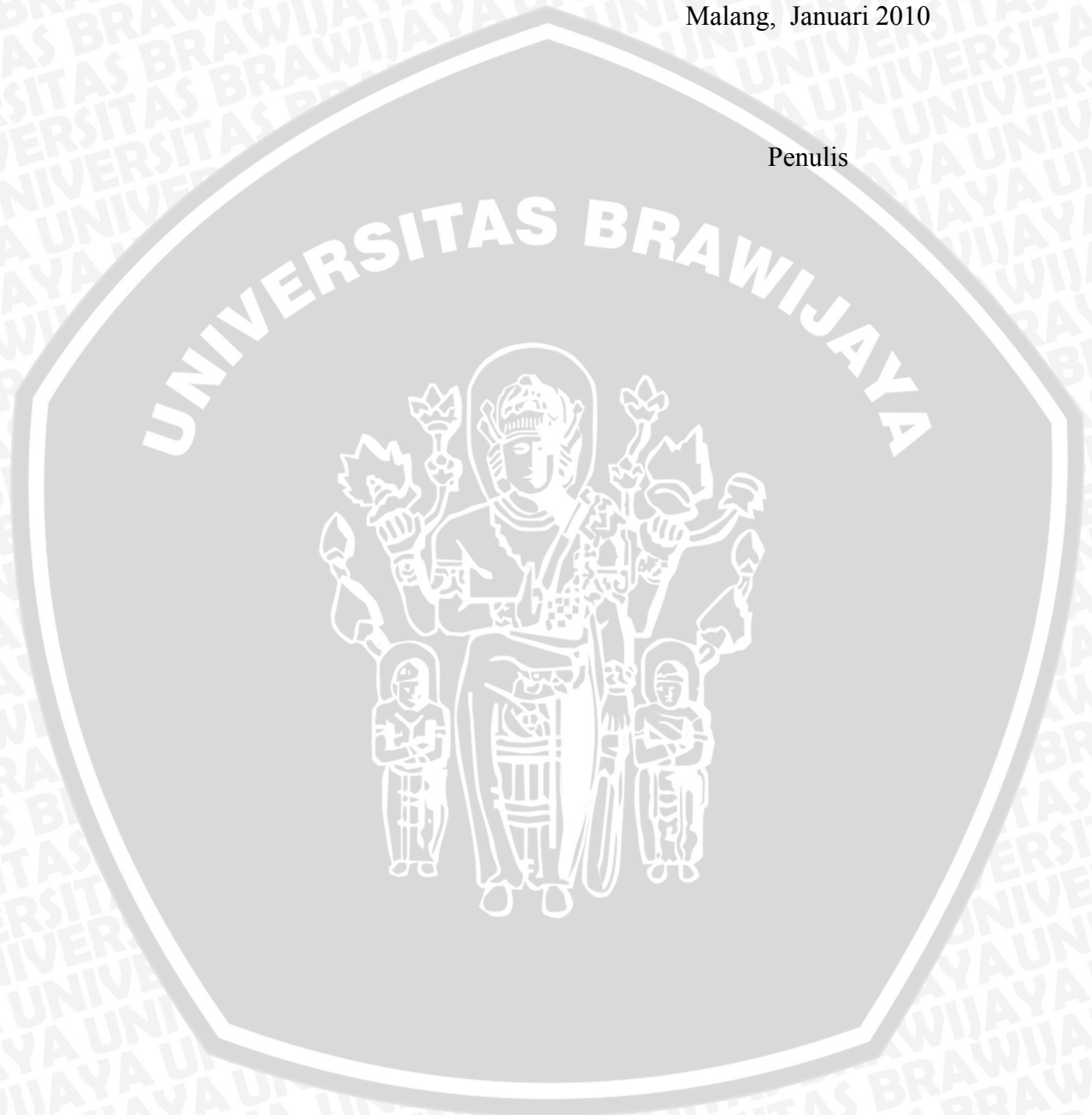
Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Penulis sadar bahwa selama dalam penulisan skripsi ini telah dibantu oleh banyak pihak. Oleh sebab itu penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini, yaitu :

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. Selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Dr.Eng. Anindito purnomo, ST., M.Eng. Selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. Marsoedi Wiroharjo, M.MT. Selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Produksi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Bapak Dr.Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng. Selaku dosen pembimbing I.
5. Ibu Putu Hadi Setyarini, ST., MT. Selaku dosen pembimbing II.
6. Ayahanda H. Adhim dan ibunda Hj. Muntamah tercinta yang telah memberikan kasih sayang tanpa batas dan mendukung dengan do'a serta dorongan untuk segera menyelesaikan skripsi.
7. Kakaku tercinta Abdul Mu'in, Sariati, Agus Wahyudi, Siti Saudah, dan adikku Tas'an, serta keponakanku tersayang Aisyah Ridho yang telah banyak memberikan nasehat dan do'a dalam penyelesaian skripsi.
8. Keluarga besar Kertosentono 105 (Andang, Ridho, joko, Fendi, Rino, dan Deni) kalian adalah bagian dari keluarga baruku.
9. Teman seperjuanganku (Damen, Kusnindar, Gepenk, Tudung) dan sahabatku Bilal terima kasih atas pemikirannya yang sedikit banyak telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.
10. Rekan-rekan angkatan 2004 dan semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung yang ikut membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini.

Penulis sadar bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik penulis harapkan demi sempurnanya skripsi ini. Semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Januari 2010

Penulis



RINGKASAN

Arifin, Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, Desember 2009. **“Pengaruh Waktu Pelapisan dan Konsentrasi Larutan Nickel Sulphate (NiSO_4) Pada Larutan Watts Terhadap Laju Korosi Hasil Proses Elektroplating”**. Dosen Pembimbing 1 : **Yudy Surya Irawan**. Dosen Pembimbing 2 : **Putu Hadi Setyarini**.

Dalam perkembangan industri saat ini, logam masih memegang peranan yang sangat penting. Perkembangan tersebut dapat dilihat pada berbagai macam industri seperti otomotif, kereta api, konstruksi mesin dan sebagainya, yang kesemuanya memanfaatkan logam sebagai komponen utamanya. Oleh sebab itu, dibutuhkan logam yang sifatnya kuat, tahan lama, dan tahan terhadap korosi. Salah satu cara untuk mendapatkan sifat tersebut adalah dengan cara melakukan proses pelapisan logam seperti elektroplating. Korosi adalah kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi dengan lingkungan yang korosif. Korosi dapat juga diartikan sebagai serangan yang merusak logam karena logam bereaksi secara kimia dan elektrokimia dengan lingkungan. Salah satu tujuan plating adalah upaya mencegah korosi. Secara sederhana, peristiwa korosi disebabkan oleh reaksi logam dengan unsur bukan-logam dari lingkungannya.

Pada penelitian ini dilakukan proses elektroplating dengan variasi waktu pelapisan : 10, 20, dan 30 (menit), serta konsentrasi larutan *nickel sulphate* (NiSO_4) : 200, 250, dan 300 (gram/liter). Sedangkan pengujian yang dilakukan yaitu pengujian laju korosi dengan menggunakan larutan HCL 20% selama 1 jam.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu pelapisan dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* (NiSO_4) pada larutan *Watts*, serta interaksi antara keduanya berpengaruh terhadap laju korosi. Semakin tinggi waktu pelapisan dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* menyebabkan laju korosi menurun. Nilai rata-rata laju korosi terendah dihasilkan pada waktu pelapisan 30 menit dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* 300 gram/liter, yaitu sebesar 14,189 mmpy. Sedangkan nilai rata-rata laju korosi tertinggi dihasilkan pada waktu pelapisan 10 menit dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* 200 gram/liter, yaitu sebesar 28,214 mmpy.

Kata kunci : Elektroplating, waktu pelapisan, konsentrasi larutan, ketebalan lapisan, laju korosi

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
RINGKASAN	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	4
2.2 Pelapisan Logam Secara Listrik (<i>Electroplating</i>)	5
2.3 Elemen Sel Elektrolitik.....	7
2.3.1 Elektrolit	7
2.3.2 Elektroda.....	8
2.4 Reaksi Redoks.....	8
2.5 Pengaliran Arus.....	10
2.6 Perencanaan Bentuk Benda Kerja.....	10
2.7 Pembersihan Kotoran (<i>Pickling</i>)	10
2.8 Nikel	11
2.9 Baja	11
2.10 Waktu Pelapisan dalam Hukum Faraday	12
2.11 Konsentrasi Larutan Elektrolit.....	14
2.12 Korosi.....	14
2.12.1 Macam–Macam Bentuk Korosi	15
2.12.2 Pengujian Korosi.....	18
2.12.3 Laju Korosi	18
2.13 Pengujian Ketebalan Lapisan.....	19
2.14 Hipotesa	20

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian 21

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian 21

3.3 Variabel Penelitian 21

 3.3.1 Variabel Bebas 21

 3.3.2 Variabel Terikat 21

 3.3.3 Variabel Terkontrol 22

3.4 Peralatan dan Bahan yang digunakan 22

 3.4.1 Peralatan yang digunakan 22

 3.4.2 Bahan yang digunakan 24

3.5 Prosedur Penelitian 25

3.6 Metode Pengambilan Data 25

 3.6.1 Pengukuran Ketebalan Lapisan 25

 3.6.2 Pengukuran Laju Korosi 26

3.7 Rancangan penelitian dan analisis data 26

 3.7.1 Rancangan Penelitian 26

 3.7.2 Analisis Statistik 27

 3.7.3 Analisa Persamaan Linear 30

3.8 Diagram Alir Penelitian 31

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian 32

 4.1.1 Data Berat Pelapisan 32

 4.1.2 Pengukuran Ketebalan Lapisan 33

 4.1.3 Pengukuran Laju Korosi 35

4.2 Analisis Statistik 36

 4.2.1 Analisis Varian 36

 4.2.2 Analisa Persamaan Linear 40

4.3 Pembahasan 43

 4.3.1 Analisa Grafik Hubungan Antara Waktu Pelapisan Terhadap Laju Korosi Hasil Proses *Nickel Plating* 43

 4.3.2 Analisa Grafik Hubungan Antara Konsentrasi Larutan *Nickel Sulphate* (NiSO_4) pada Larutan *Watts* Terhadap Laju Korosi Hasil Proses *Nickel Plating* 44



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran	48

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Grafik hubungan interaksi temperatur dan waktu pelapisan terhadap laju korosi logam hasil pelapisan <i>hardchrome</i>	4
Gambar 2.2	Grafik hubungan konsentrasi CuCN terhadap <i>corrosion speed</i>	5
Gambar 2.3	Proses elektroplating.....	7
Gambar 2.4	<i>Coating thickness mini Test 600 Type : 12-1605 SN: 9802</i>	20
Gambar 3.1	Instalasi <i>electroplating</i>	22
Gambar 3.2	Bak <i>electrolisis</i>	23
Gambar 3.3	Katoda dari baja AISI 1045	23
Gambar 3.4	Anoda dari nikel.....	23
Gambar 3.5	Timbangan elektrik.....	24
Gambar 3.6	Benda kerja	24
Gambar 3.7	Anoda.....	24
Gambar 3.8	Diagram alir penelitian	31
Gambar 4.1	Grafik hubungan antara waktu pelapisan terhadap laju korosi hasil proses <i>nickel plating</i>	43
Gambar 4.2	Grafik hubungan antara konsentrasi larutan <i>nickel sulphate</i> pada larutan <i>watts</i> terhadap laju korosi hasil proses <i>nickel plating</i>	44
Gambar 4.3	Grafik hubungan antara waktu pelapisan dan konsentrasi larutan <i>nickel sulphate</i> pada larutan <i>watts</i> terhadap ketebalan lapisan hasil proses <i>nickel plating</i>	45

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 3.1	Rancangan Penelitian.....	27
Tabel 3.2	Analisis Varian Dua Arah	28
Tabal 4.1	Berat awal logam sebelum dilapisi nikel (gram)	32
Tabel 4.2	Berat logam setelah dilapisi nikel (gram)	32
Tabel 4.3	Berat logam setelah uji korosi (gram)	33
Tabel 4.4	Berat logam yang terkorosi (gram)	33
Tabel 4.5	Data luas permukaan setelah proses <i>nickel plating</i> (cm ²)	35
Tabal 4.6	Data perhitungan laju korosi (mmpy).....	36
Tabel 4.7	Data perhitungan laju korosi (mmpy).....	37
Tabel 4.8	Hasil Analisis Varian Dua Arah	40
Tabel 4.9	Perhitungan persamaan linear untuk konsentrasi larutan <i>nickel sulphate</i> 200 gram/liter	41
Tabel 4.10	Perhitungan persamaan linear untuk waktu pelapisan 10 menit.....	42
Tabel 4.11	Hasil ketebalan rata-rata lapisan nikel setelah proses <i>nickel plating</i>	45

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam perkembangan industri saat ini, logam masih memegang peranan yang sangat penting. Perkembangan tersebut dapat dilihat pada berbagai macam industri seperti otomotif, kereta api, konstruksi mesin dan sebagainya, yang semuanya memanfaatkan logam sebagai komponen utamanya. Oleh sebab itu, dibutuhkan logam yang sifatnya kuat, tahan lama, dan tahan terhadap korosi. Salah satu cara untuk mendapatkan sifat tersebut adalah dengan cara melakukan proses pelapisan logam.

Electroplating merupakan suatu proses pelapisan pada permukaan logam yang menggunakan prinsip elektrokimia (perubahan energi dari energi listrik ke energi kimia), dimana dua batang elektrode direndamkan ke dalam larutan elektrolit, kemudian diantara kedua elektrode tersebut diberi beda potensial dari sumber arus searah. Dengan adanya arus yang mengalir dari sumber, maka elektron diserap melalui elektrode negatif (katoda) menuju elektrode positif (anoda). Elektron ini ditangkap oleh kation (ion positif), sehingga pada katoda terjadi reaksi reduksi terhadap kation, dan pada saat yang sama anion (ion negatif) melepaskan elektron. Melalui anoda elektron dikembalikan ke sumber arus, sehingga permukaan katoda terlapisi logam pelapis. Maksud *electroplating* adalah demi tujuan penampilan (bagus, kilap, cemerlang), perlindungan (terhadap korosi), sifat khas permukaan, serta sifat mekanis tertentu (Hartomo, A. J., 1992).

Keunggulan dari *electroplating* adalah dapat memperbaiki sifat mekanik bahan tanpa mengubah sifat fisik dan mekanik asli dari bahan yang dilapisi, serta dapat dikontrol tingkat ketebalan lapisannya dengan berbagai variasi (Fennese, H., 1996). Proses *nickel plating* dipilih karena mudah dikerjakan, biaya yang ekonomis, serta memberikan penampilan yang bagus.

Korosi adalah kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi dengan lingkungan yang korosif. Korosi dapat juga diartikan sebagai serangan yang merusak logam karena logam bereaksi secara kimia dan elektrokimia dengan lingkungan (Wikipedia, 2007). Salah satu tujuan plating adalah upaya mencegah korosi. Secara sederhana, peristiwa korosi disebabkan oleh reaksi logam dengan unsur bukan-logam dari lingkungannya (Hartomo, A. J., 1992).

Larutan yang dipergunakan dalam proses pelapisan nikel adalah larutan *Watts* yang terdiri dari larutan nikel sulfat, larutan nikel klorida, dan asam borat. Pada larutan

Watts, nikel sulfat memasok ion nikel dan nikel khlorida memasok khloridanya yang berguna untuk mencegah agar anoda tidak pasif (mencegah lapisan film). Sedangkan asam borat sebagai buffer yang berguna untuk mengontrol pH film katoda (Hartomo, A. J., 1992). Dengan kata lain bila larutan *nickel sulphate* (NiSO_4) sebagai pemasok ion nikel tersebut divariasikan kadarnya maka akan berpengaruh terhadap sifat-sifat dari permukaan hasil *electroplating*, khususnya ketahanan korosi.

Menurut penelitian yang dilakukan Bersirova (2004), menyatakan bahwa pelapisan *silver* (Ag) dapat meningkatkan kekerasan permukaan dan ketahanan terhadap korosi, yang mana terdapat unsur silver yang dapat meningkatkan kekerasan dari permukaan hasil pelapisan logam. Selanjutnya dari penelitian yang dilakukan Worauaychai, N (2002) mengemukakan bahwa meningkatnya kandungan *nickel* dapat menyebabkan meningkatnya ketahanan korosi yang disebabkan *morphology* dari campuran Zn-Ni.

Dari penelitian yang dilakukan oleh Setiadji (2006), diketahui bahwa konsentrasi larutan *Copper Cyanide* (CuCN) akan mengakibatkan perbedaan deposit lapisan yang dihasilkan. Semakin besar konsentrasi larutan *Copper Cyanide* (CuCN) yang digunakan akan mengakibatkan semakin tebal deposit logam yang dilapisi, sehingga akan berpengaruh terhadap ketahanan korosi dan *thermal shock* pada permukaan hasil elektroplating.

Berdasarkan keuntungan penggunaan proses pelapisan logam secara *electroplating* pada penelitian terdahulu, serta belum adanya penelitian tentang laju korosi hasil *electroplating* dengan variasi waktu pelapisan dan konsentasi larutan *nickel sulphate* (NiSO_4) pada larutan *Watts*, maka perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh waktu pelapisan dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* (NiSO_4) pada larutan *Watts* terhadap laju korosi hasil proses elektroplating. Sehingga dapat diketahui ada tidaknya perubahan pada sifat tersebut dengan adanya variasi waktu pelapisan dan konsentasi larutan *nickel sulphate* (NiSO_4) yang digunakan dalam proses elektroplating.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan pentingnya penelitian ini maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut : Bagaimanakah pengaruh waktu pelapisan dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* (NiSO_4) pada larutan *Watts* terhadap laju korosi hasil proses elektroplating ?

1.3. Batasan Masalah

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

1. Material yang digunakan adalah baja AISI 1045 sebagai katoda.
2. Kondisi awal setiap material yang digunakan dianggap sama.
3. Penelitian yang diamati difokuskan pada pengaruh waktu pelapisan 10, 20, dan 30 (menit), sedangkan konsentrasi larutan *nickel sulphate* (NiSO_4) 200, 250 dan 300 (gram/liter), sedangkan pengaruh yang lainnya dianggap konstan.
4. Pembahasan difokuskan pada laju korosi baja hasil proses *nickel plating*.
5. Korosi yang diberikan adalah proses korosi paksa dengan menggunakan larutan HCL 20% selama 1 jam.
6. Larutan elektrolit yang digunakan pada proses *pickling* adalah dengan katalis H_2SO_4 10% selama 10 menit.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh waktu pelapisan dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* (NiSO_4) pada larutan *Watts* terhadap laju korosi hasil proses elektroplating.

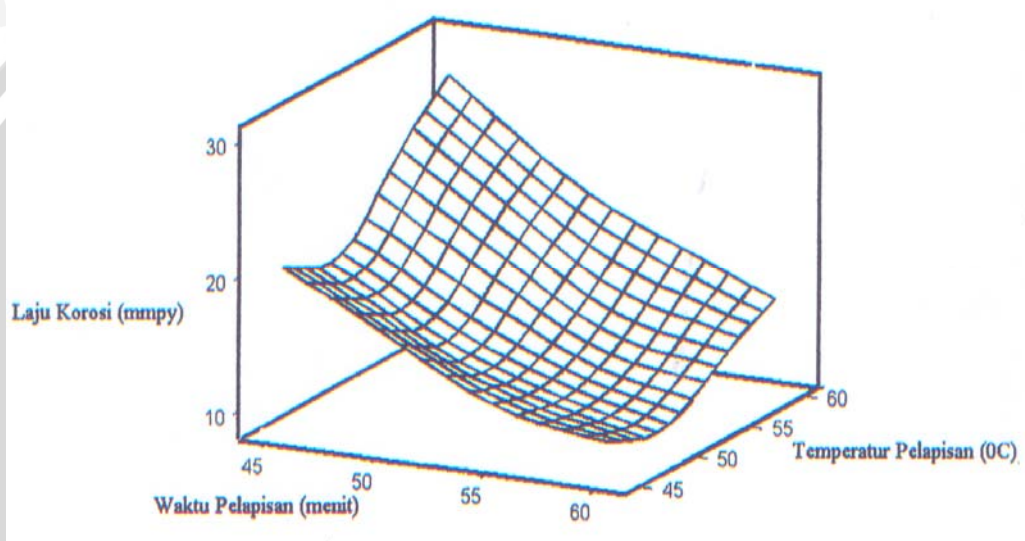
1.5. Manfaat Penelitian

1. Untuk mengetahui waktu pelapisan dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* (NiSO_4) yang sesuai dalam proses *nickel plating*, sehingga diperoleh hasil pelapisan yang optimal.
2. Sebagai tambahan pengetahuan untuk mahasiswa dan peneliti mengenai pengaruh waktu pelapisan dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* (NiSO_4) pada larutan *Watts* terhadap laju korosi hasil proses elektroplating.
3. Memberi informasi kepada industri dan masyarakat mengenai manfaat elektroplating.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

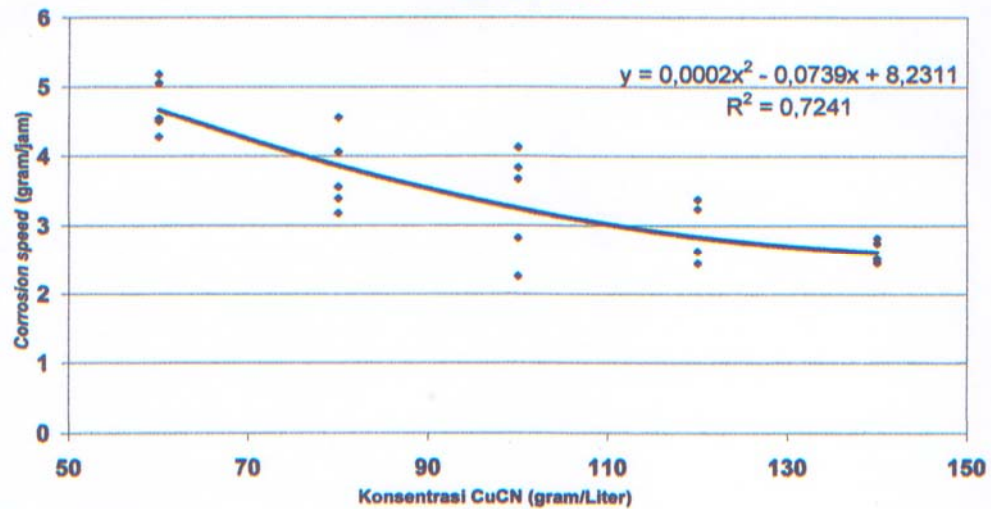
2.1. Penelitian Sebelumnya

- Pada penelitian yang dilakukan oleh Salman Al Farish (2005) yang berjudul “Pengaruh Temperatur dan Waktu Pelapisan Terhadap Laju Korosi Logam Hasil Pelapisan *Hardchrome*” diketahui bahwa temperatur dan waktu pelapisan berpengaruh nyata terhadap perubahan laju korosi. Dimana kenaikan temperatur akan meningkatkan laju korosi, sedangkan semakin lama waktu pelapisan akan menurunkan laju korosi, seperti terlihat pada Gambar 2.1 berikut ini :



Gambar 2.1 Grafik hubungan interaksi temperatur dan waktu pelapisan terhadap laju korosi logam hasil pelapisan *hardchrome*.
Sumber: Farish, S. A. (2005:37)

- Dalam penelitian yang dilakukan oleh Irwan Kartika Setiadji (2006) yang berjudul “Pengaruh Konsentrasi *Copper Cyanide* (CuCN) Terhadap Ketahanan Korosi dan *Thermal Shock* Hasil Elektroplating” menyimpulkan bahwa konsentrasi CuCN pada pelapisan tembaga memberikan pengaruh yang besar terhadap *corrosion speed* dan ketahanan terhadap *thermal shock*. Peningkatan konsentrasi CuCN dapat menyebabkan laju korosi menurun seperti terlihat pada Gambar 2.2 berikut :



Gambar 2.2 Grafik hubungan konsentrasi CuCN terhadap *corrosion speed*.
Sumber: Setiadji, I. K. (2006:42)

2.2. Pelapisan Logam Secara Listrik (*Electroplating*).

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 (Chamberlain, J., 1991:269).

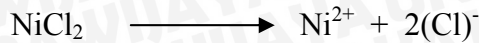
Sifat – sifat ideal bahan pelapis dari logam ini adalah sebagai berikut :

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

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

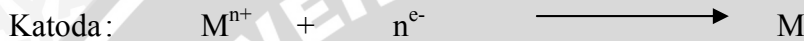
larutan disebut ionisasi. Jadi dalam *electroplating*, elektrolisis yang terjadi adalah ion-ion larutan elektrolit.

Contoh reaksi ionisasi :

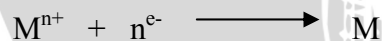


Prinsip dasar dari pelapisan logam secara *electroplating* adalah penempatan ion logam yang ditambah elektron pada logam yang dilapisi, yang mana ion-ion tersebut didapat dari anoda dan elektrolit yang digunakan.

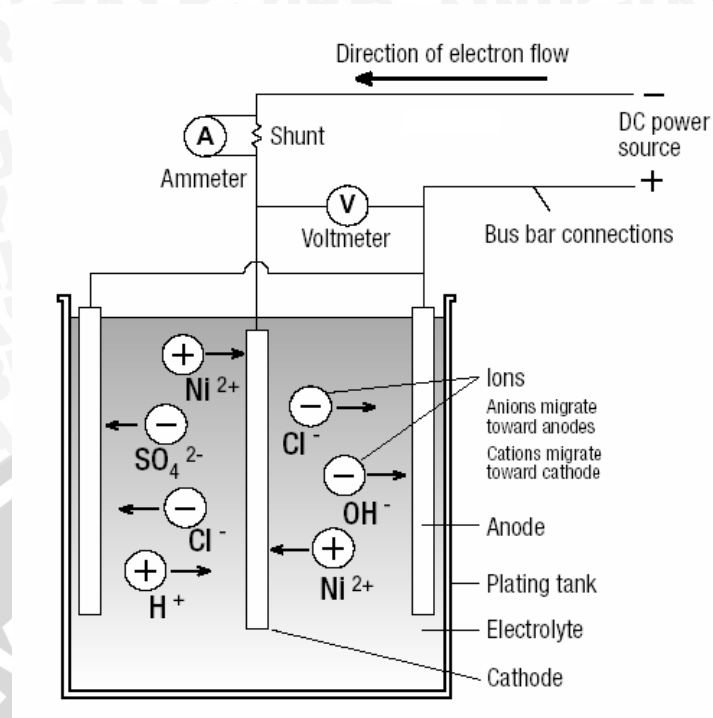
Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



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



Yaitu proses perubahan ion logam M bermuatan sebesar n positif menjadi atom logam netral M yang tidak bermuatan. Atom logam netral inilah yang berupa lapisan logam yang terbentuk di katoda dan disebut logam pelapis. Secara elektrokimia prosesnya dapat digambarkan pada Gambar 2.1 berikut :



Gambar 2.3 Proses elektroplating
Sumber : Clive Whittington (2002:6)

2.3. Elemen Sel Elektrolitik

2.3.1. Elektrolit

Elektrolit adalah komposisi kimia yang akan terpisah menjadi ion-ion apabila dilarutkan dalam pelarut, hasil dari pemisahan ini berupa ion-ion yang menjadi penghantar listrik.

Fungsi elektrolit adalah sebagai penghantar arus dan penambah ion logam pelapis. Oleh karena itu, larutan elektrolit harus mengandung logam pelapis, misalnya untuk pelapisan nikel maka elektrolit yang digunakan juga harus mengandung nikel.

Ada beberapa macam larutan yang dipakai dalam proses *electroplating*, yaitu :

1. *Watts bath* yang terdiri dari nikel sulfat (NiSO_4), nikel klorida (NiCl_2), dan asam borat (H_3BO_3). Larutan ini digunakan dalam pelapisan untuk tujuan dekoratif, *engineering* maupun *electroforming*. Pada larutan *Watts*, nikel sulfat memasok ion nikel dan nikel klorida memasok kloridanya yang berguna untuk mencegah agar anoda tidak pasif (mencegah lapisan film). Sedangkan asam borat sebagai buffer yang berguna untuk mengontrol pH film katoda (Hartomo, A. J., 1992:52).

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

yaitu :

- a. Sederhana dan mudah digunakan
 - b. Relatif murah harganya
 - c. Keagresifan terhadap peralatan lebih rendah
 - d. Kerapuhan dan tegangan dalam dari deposit yang di lapisi lebih rendah
2. *Sulfamate bath* yang terdiri dari nikel sulfamat ($\text{Ni}(\text{SO}_3\text{NH}_2)_2$), nikel klorida (NiCl_2), dan asam borat (H_3BO_3).
 3. *Fluoborate bath* yang terdiri dari nikel fluborat ($\text{Ni}(\text{BF}_4)_2$), nikel klorida (NiCl_2), dan asam borat (H_3BO_3).

2.3.2. Elektroda

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

Ciri-ciri dari elektroda tersebut adalah sebagai berikut :

a. Anoda :

1. Merupakan kutub positif
2. Terjadi reaksi oksidasi
(suatu perubahan kimia dimana suatu zat melepaskan elektron)
3. Terjadi pelepasan elektron
4. Menghantarkan arus listrik pada elektrolit
5. Mendistribusikan arus secara seragam pada permukaan katoda

b. Katoda :

1. Merupakan kutub negatif
2. Merupakan benda kerja yang akan dilapisi
3. Terjadi reaksi reduksi
(suatu perubahan kimia dimana suatu zat menangkap elektron)
4. Menerima elektron dari sirkuit luar

2.4. Reaksi Redoks

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

Reaksi oksidasi adalah suatu perubahan kimia dimana suatu zat melepaskan elektron. Pada sel elektrokimia oksidasi terjadi di anoda. Reaksi reduksi adalah suatu perubahan kimia dimana suatu zat menangkap elektron. Pada sel elektrokimia reduksi terjadi di katoda. Pada reaksi redoks, zat yang mengoksidasi disebut oksidator, sedangkan zat yang mereduksi zat lain disebut reduktor.

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



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

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

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

Sifat-sifat dari deret volta adalah :

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

2.5. Pengaliran Arus

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

Penggunaan sumber arus tergantung dari besar arus yang akan digunakan selama proses, dan kestabilan besar arus juga harus diperhatikan, karena hal itu berhubungan dengan hasil pelapisan yang terjadi. Ditinjau dari kestabilan arus yang dibutuhkan maka sumber arus yang paling baik adalah *DC Power Supply*. (Utomo, A. B., 2007).

2.6. Perencanaan Bentuk Benda Kerja

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

2.7. Pembersihan Kotoran (*Pickling*)

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

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

Lapisan oksida pada permukaan logam harus dihilangkan karena akan mempengaruhi kelekatan logam pelapis dengan logam yang akan dilapisi. Fungsi lain dari *pickling* adalah untuk membuka pori–pori pada permukaan logam agar lebih mudah menangkap logam pelapis. Lapisan oksida yang ada pada permukaan logam akan

terkikis sehingga akan mudah mereduksi logam yang akan dilapiskan pada saat proses pelapisan.

Pada saat proses *pickling*, larutan asam akan masuk melalui celah-celah retakan (*crack*) pada lapisan oksida dan kemudian bereaksi dengan logam induknya dan akan menghasilkan gas hidrogen. Dengan meningkatnya jumlah gas hidrogen yang terbentuk, maka tekanan di bawah lapisan oksida tersebut akan meningkat sehingga lapisan oksida tersebut akan terlepas dari permukaan logam. Lapisan oksida tersebut juga bisa bereaksi dengan larutan asam sehingga akan terkikis dan larut di dalam larutan tersebut.

2.8. Nikel

Pada tabel periodik nikel merupakan unsur ke-24 terbanyak dalam batuan bumi. Nikel bersifat ferromagnetik tetapi diatas 353°C bersifat paramagnetik. Nikel merupakan logam yang sangat keras dan memiliki keuletan yang rendah. Pada suhu biasa, nikel tidak terserang udara basah dan kering. Nikel amat populer dalam elektroplating terutama dalam sistem pelapisan tembaga nikel khrom (*decorative-protective*) (Hartomo, A. J., 1992:51). Berikut ini adalah karakteristik dari logam nikel murni (Van Flack, L. H. 1989:623) :

Lambang	: Ni
Nomor Atom	: 28
Massa atom	: 58,71 (gr/mol)
Kondisi standar (pada 298 K)	: Padat
Massa jenis nikel	: $8,908 \text{ (g/cm}^3\text{)}$
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

2.9. Baja

Baja paling banyak dipakai sebagai bahan industri yang merupakan sumber yang sangat besar, dimana sebagian ditentukan oleh nilai ekonominya, tetapi yang paling penting karena sifat-sifatnya yang bervariasi. Pada baja unsur paduan utamanya adalah karbon. Kandungan karbon dalam baja merupakan salah satu unsur terpenting karena

dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Selain karbon yang terkandung dalam baja, juga terdapat unsur kira-kira 0,25% silikon (Si), 0,3 – 1,5% mangan (Mn) dan unsur pengotor lain seperti fosfor (P), sulfur (S), dan sebagainya (Surdia, T., 1999:69). Berdasarkan kandungan karbonnya, baja karbon dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

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

Baja karbon rendah ini mengandung kadar karbon kurang dari 0,30%. Dimana mempunyai kekuatan yang relatif rendah, lunak, keuletannya tinggi, mudah dibentuk, dan memiliki sifat mampu mesin yang baik. Penggunaan baja jenis ini biasanya untuk ulir dan roda gigi.

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

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

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

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

AISI 1045 adalah baja karbon sedang (*Medium Carbon Steel*) yang memiliki kekuatan tarik, ketahanan aus dan kekerasan yang baik (Malcolm Campbell, 2008).

2.10. Waktu Pelapisan dalam Hukum Faraday

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 elektrolisa 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 di atas dapat dirumuskan sebagai berikut :

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

dengan : W = berat logam yang diendapkan (gr)

I = arus yang digunakan (ampere)

t = waktu (detik)

A = massa atom (gr/mol)

Z = valensi atom

F = bilangan Faraday = 96500 (Coulomb/mol)

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

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

Atau

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

Ketebalan endapan dapat ditentukan sebagai berikut :

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

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

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

aktual (sebenarnya) dengan berat secara teoritis, menunjukkan efisiensi arus listrik dan dinyatakan dalam persen yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\eta_{\text{arus}} = \frac{W_{\text{aktual}}}{W_{\text{teoritis}}} \times 100\% \dots\dots\dots(\text{Parthasarady, 1998:51}) \quad (2.5)$$

dengan:

W_{aktual} = berat yang mengendap di Katoda.

W_{teoritis} = berat menurut Hukum Faraday

2.11. Konsentrasi Larutan Elektrolit

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

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

2.12. Korosi

korosi adalah kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi dengan lingkungan yang korosif. Korosi dapat juga diartikan sebagai serangan yang merusak logam karena logam bereaksi secara kimia atau elektrokimia dengan lingkungan (Wikipedia, 2007).

Faktor yang berpengaruh terhadap korosi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu yang berasal dari bahan itu sendiri dan dari lingkungan. Faktor dari bahan meliputi kemurnian bahan, struktur bahan, bentuk kristal, unsur-unsur kimia yang ada dalam bahan, teknik pencampuran bahan dan sebagainya. Faktor dari lingkungan meliputi tingkat pencemaran udara, suhu, kelembaban, keberadaan zat-zat kimia yang bersifat korosif dan sebagainya.

Cara mengatasi terjadinya korosi yaitu :

- Dengan cara pengendalian lingkungan, yaitu antara lain :
 1. Menjaga kelembaban udara.
 2. Pengendalian keasaman lingkungan.
 3. Menghilangkan komponen-komponen mudah menguap yang dihasilkan oleh bahan-bahan sekitar.
 4. Menghilangkan semua kotoran, endapan-endapan yang membentuk katoda dan ion-ion negatif.
- Memberi lapisan penghalang untuk komponen-komponen yang telah terakit secara permanen.

2.12.1. Macam–Macam Bentuk Korosi

Macam-macam bentuk korosi yang terjadi pada logam 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 diatas daerah yang terbuka sehingga logam akan menjadi 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, M., 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, M., 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, M., 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 di lingkungan 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).

9. Korosi intergranular

Korosi *intergranular* terjadi bila daerah batas butir terserang akibat adanya endapan di dalamnya. Batas butir sering menjadi tempat yang lebih disukai untuk proses pengendapan (*precipitation*) dan pemisahan (*segregation*) yang teramati pada banyak paduan. Pisahan dan endapan berbeda hanya dari cara pembentukannya, dalam kaitan dengan korosi keduanya secara fisik dianggap berbeda dari bahan selebihnya, dengan energi termodinamik masing-masing yang berbeda (Chamberlain, 1991:124).

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 SO_2 dan SO_3 hasil pembakaran pada turbin gas. (Chamberlain, 1991:346).

2.12.2. Pengujian Korosi

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

1. Pengujian Laboratorium

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

Perangkat yang digunakan adalah :

- larutan HCl dengan konsentrasi 20%
- timbangan elektrik
- *Beaker glass*

2. Pengujian lapangan atau secara alamiah

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

Lingkungan-lingkungan alamiah tersebut antara lain :

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

2.12.3. Laju Korosi

Besarnya laju korosi merupakan laju pengurangan berat spesimen karena pengaruh dari reaksi media dengan berbagai tingkat keasaman (pH media perendam)

yang diukur dengan rumus yang menunjukkan penipisan spesimen setelah direndam dalam larutan atau media.

Laju korosi dapat dinyatakan dengan *Corrosion Penetration Rate* (CPR) dengan satuan *inches per year* (ipy), *mills per year* (mpy) atau *millimeter per year* (mmpy). Satuan mpy lebih sering digunakan sebagai satuan laju korosi karena dapat menunjukkan laju korosi untuk nilai yang sangat kecil (Fontana, M., 1987 :172). 1 mils = 0,0245 mm.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung laju korosi adalah :

$$CPR = \frac{87,6 \cdot w}{\rho \cdot A \cdot t} \text{ (mmpy)} \dots\dots\dots \text{(Fontana, M., 1987:173)} \quad (2-5)$$

dengan : w = massa yang hilang setelah waktu ekspos (mgr)
 ρ = massa jenis bahan (g/cm³)
 A = luas permukaan bahan (cm²)
 t = waktu ekspos (jam)
 CPR = laju korosi (mm/year)

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

2.13. Pengujian Ketebalan Lapisan

Dalam pengujian ketebalan lapisan hasil proses *nickel plating*, alat yang digunakan adalah *Coating Thickness Mini Test 600 Type : 12-1605 SN: 9802*. Alat ini mampu menguji ketebalan material yang tebalnya sangat tipis dalam ukuran mikron.

Prinsip pengujian ketebalan lapisan pada *Coating Thickness Mini Test 600 Type:12-1605 SN:9802* yaitu ketika batang detektor ditekan pada permukaan material uji, sinar infra merah yang ada di dalam batang tersebut akan masuk ke permukaan material, sinar tersebut bisa membaca nilai ketebalan dengan cara perbedaan jenis material antara material pelapis dan material induk.



Gambar 2.4 *Coating thickness mini Test 600 Type : 12-1605 SN: 9802*
Sumber : Lab. Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

2.14. Hipotesa

Semakin lama waktu pelapisan dan tingginya konsentrasi larutan *nickel sulphate* (NiSO_4) pada larutan *Watts* mengakibatkan jumlah deposit logam pelapis yang terbentuk akan meningkat dan ion nikel yang bergerak ke permukaan katoda menjadi besar, sehingga menyebabkan laju korosi menurun.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *true experimental research*, dengan mengkondisikan lingkungan agar spesimen yang diuji dapat terkorosi, dengan kondisi dan bentuk spesimen yang dibuat mendekati keadaan sebenarnya atau spesimen tiruan. 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.

3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Proses elektroplating dan pengujian korosi dilaksanakan di Lab. Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang, sedangkan pengujian ketebalan lapisan dilaksanakan di Lab. Metalurgi Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Adapun waktu penelitian dan pengambilan data dimulai pada bulan Juli 2009 s/d selesai.

3.3. Variabel Penelitian

3.3.1. Variabel Bebas

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

- Waktu pelapisan : 10, 20, dan 30 (menit).
- Konsentrasi larutan *nickel sulphate* (NiSO_4) : 200, 250 dan 300 (gram/liter).

3.3.2. Variabel Terikat

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

- Laju korosi

3.3.3. Variabel Terkontrol

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

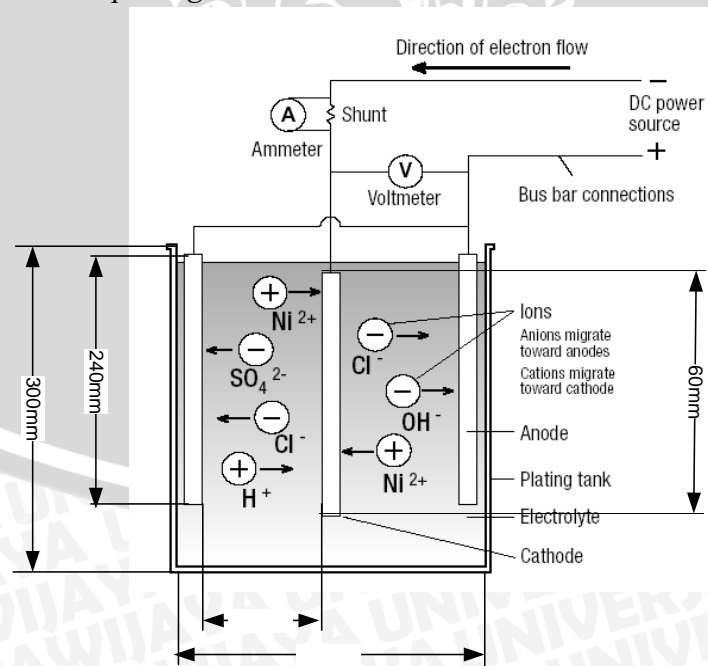
- Konsentrasi nikel klorida (NiCl_2) sebesar 30 gram/liter.
- Konsentrasi asam borat (H_3BO_3) sebesar 40 gram/liter.
- Menggunakan *power supply* dengan arus sebesar 3 ampere.
- Variabel-variabel yang lain dianggap konstan.

3.4. Peralatan dan Bahan yang digunakan

3.4.1. Peralatan yang digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Kertas gosok.
2. Gelas kimia 1000 ml dan 100 ml.
3. Timbangan digital.
4. Termometer.
5. *StopWatch*.
6. Jangka Sorong.
7. Penjepit
8. Berbagai alat keselamatan kerja, terdiri atas sarung tangan karet, dan masker
9. Instalasi *electroplating*.



Gambar 3.1 Instalasi *electroplating*

Sumber: Lab. Pengujian Bahan Politeknik Negeri Malang

Instalasi *electroplating* terdiri dari :

- a). *Power supply*
- b). Bak *electrolisis*



40mm

Gambar 3.2 Bak *electrolisis*

Sumber: Lab. Pengujian Bahan Politeknik Negeri Malang

- c). Katoda / benda kerja



20mm

Gambar 3.3 Katoda dari baja AISI 1045.

- d). Anoda



20mm

Gambar 3.4 Anoda dari nikel

Sumber: Lab. Pengujian Bahan Politeknik Negeri Malang

10. Perangkat uji laju korosi.

Alat dan bahan yang digunakan adalah :

1. *Beaker glass* untuk tempat uji korosi
2. *Spesimen*
3. Larutan HCl 20%
4. Penjepit
5. Timbangan elektrik



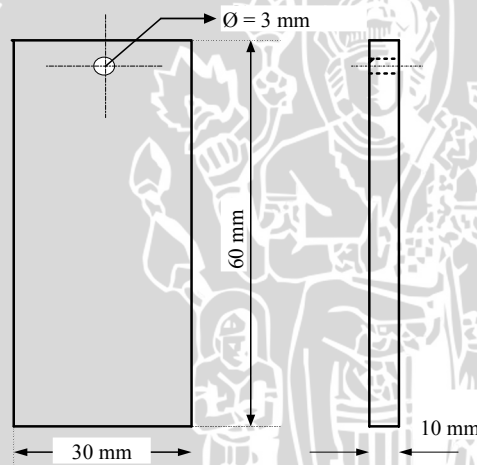
Gambar 3.5 Timbangan elektrik
Sumber: Lab. Metalurgi ITS Surabaya

3.4.2. Bahan yang digunakan

Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah :

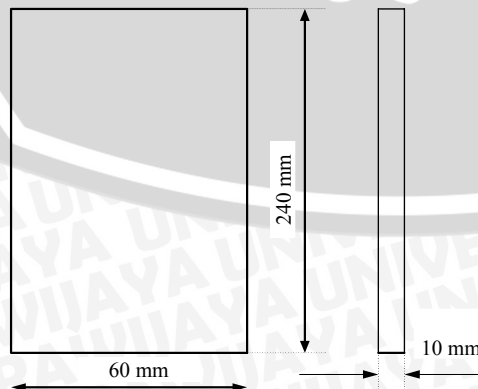
1. Baja AISI 1045 sebagai benda kerja.

Bentuk dan dimensi benda kerja yang digunakan adalah sebagai berikut :



Gambar 3.6 Benda Kerja

2. Lempengan nikel sebagai anoda pada proses *nickel plating*.



Gambar 3.7 Anoda

3. Larutan H_2SO_4 10% untuk proses *pickling*.

4. Larutan tipe *Watts* untuk proses *Nickel Plating*, yang terdiri atas *Nickel Sulphat* (NiSO_4) dengan konsentrasi 200, 250 dan 300 (g/L), *Nickel Chloride* (NiCl_2) 30 (g/L), dan Asam Borat (*Boric Acid*) 40 (g/L), yang dilarutkan dalam air.
5. Air (aquades).
6. Larutan HCl 20% untuk proses pengujian korosi.

3.5. Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilaksanakan dalam penelitian ini adalah :

1. Persiapan alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian.
2. proses pembersihan benda kerja menggunakan kertas gosok dan *flap disk*.
3. Disiapkan larutan *electrolyte* dan peralatan untuk proses elektroplating nikel.
4. Dipersiapkan instalasi elektroplating.
5. Pengukuran berat awal benda kerja dengan menggunakan timbangan elektik.
6. Dilakukan proses *pickling* selama 10 menit menggunakan H_2SO_4 .
7. Benda kerja dikeluarkan, diikuti dengan pembilasan dan pengeringan.
8. Dilakukan proses elektroplating.
9. Benda kerja dikeluarkan, diikuti dengan pembilasan dan pengeringan.
10. Pengukuran berat benda kerja setelah pelapisan.
11. Dilakukan uji laju korosi, kemudian dilakukan pengolahan data dengan menggunakan metode statistik analisis varian dua arah.
12. Dilakukan pembahasan dan menarik kesimpulan.

3.6. Metode Pengambilan Data

3.6.1. Pengukuran Ketebalan Lapisan

Pengukuran ketebalan lapisan dapat dilakukan secara analitis (persamaan 2.4) dengan asumsi deposit sepanjang permukaan adalah seragam (Sanders,1950:7). Untuk mengetahui ketebalan deposit maka kita harus mengetahui volume dari logam. Sehingga untuk mengetahui ketebalan lapisan, maka dilakukan penimbangan berat logam sebelum dilapisi dan berat logam setelah dilapisi. Selisih berat tersebut adalah berat deposit yang menempel pada permukaan logam. Selisih berat tersebut kemudian digunakan untuk menghitung ketebalan lapisan. Selain itu, pengukuran ketebalan lapisan dapat dilakukan dengan suatu alat yaitu *Coating Thickness Mini Test 600 Type : 12-1605 SN: 9802*. Langkah-langkah mengukur ketebalan dengan menggunakan *Coating Thickness Mini Test 600 Type : 12-1605 SN: 9802* 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 tickness* ke permukaan spesimen
7. Catat nilai ketebalan lapisan.

3.6.2. 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 20% .
4. Selama 1 jam spesimen dicelupkan dalam instalasi laju korosi.
5. Spesimen dikeluarkan dan dibersihkan dengan air.
6. Mengukur berat spesimen setelah pencelupan, selisih berat sebelum pengujian dan setelah pengujian menunjukkan besarnya laju korosi.
7. Pengukuran untuk spesimen dengan variasi waktu pelapisan dan konsentrasi larutan berbeda.

3.7. Rancangan penelitian dan analisis data

3.7.1. Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan rancangan acak kelompok dengan model analisa varian dua arah dengan pengulangan 3 kali pada tiap interaksi dengan variasi waktu pelapisan terdiri dari 3 tingkat dan konsentrasi larutan 3 tingkat, sehingga dibutuhkan 27 spesimen untuk dianalisa yang akan menghasilkan 24 data laju korosi. Dengan analisa varian dua arah ini akan diketahui apakah waktu pelapisan dan konsentrasi larutan elektrolit berpengaruh terhadap laju korosi dari permukaan yang dihasilkan pada proses pelapisan nikel secara elektroplating. Berikut ini adalah rancangan penelitian seperti yang tertera pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

Konsentrasi larutan (gram/liter)	Pengulangan ke-	Waktu pelapisan (menit)		
		10	20	30
200	1	X111	X121	X131
	2	X112	X122	X132
	3	X113	X123	X133
250	1	X211	X221	X231
	2	X212	X222	X232
	3	X213	X223	X233
300	1	X311	X321	X331
	2	X312	X322	X332
	3	X313	X323	X333

3.7.2. Analisis Statistik

Untuk menganalisis hasil penelitian digunakan analisis ragam dua arah dengan interaksi, dimana akan menguji apakah keragaman hasil penelitian disebabkan oleh perbedaan waktu pelapisan, perbedaan konsentrasi larutan *nickel sulphate*, atau interaksi antara keduanya.

1. Untuk menentukan apakah sebagian keragaman hasil penelitian disebabkan oleh perbedaan waktu pelapisan, dilakukan uji hipotesis :

$$H_0^1 : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i = 0$$

$$H_1^1 : \text{sekurang-kurangnya satu } \alpha_i \text{ tidak sama dengan nol.}$$

2. Untuk menentukan apakah sebagian keragaman hasil penelitian disebabkan oleh perbedaan konsentrasi larutan *nickel sulphate*, dilakukan uji hipotesis :

$$H_0^2 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_c = 0$$

$$H_1^2 : \text{sekurang-kurangnya satu } \beta_j \text{ tidak sama dengan nol.}$$

3. Untuk menentukan apakah sebagian keragaman hasil penelitian disebabkan oleh interaksi antara waktu pelapisan dengan konsentrasi larutan *nickel sulphate*, dilakukan uji hipotesis :

$$H_0^3 : (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots = (\alpha\beta)_{ij} = 0$$

$$H_1^3 : \text{sekurang-kurangnya satu } (\alpha\beta)_{ij} \text{ tidak sama dengan nol.}$$

Dimana α_i adalah pengaruh waktu pelapisan ke- i , β_j adalah pengaruh konsentrasi larutan *nickel sulphate* ke- j , dan $(\alpha\beta)_{ij}$ adalah pengaruh interaksi waktu pelapisan ke- i dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* ke- j .

Untuk menguji ketiga hipotesis diatas kita hitung harga F_{hitung} dari masing-masing sumber keragaman (faktor A, B dan interaksinya) kemudian diperbandingkan dengan F_{tabel} dengan derajat bebas yang sesuai dengan nilai α tertentu. Nilai F_{hitung} dari masing-masing sumber keragaman adalah sebagai berikut (Hifni, M., 1992) :

$$1. \text{ Untuk faktor A : } F_{A \text{ hitung}} = \frac{S^2_A}{S^2}$$

$$2. \text{ Untuk faktor B : } F_{B \text{ hitung}} = \frac{S^2_B}{S^2}$$

$$3. \text{ Untuk faktor interaksi A dan B : } F_{AB \text{ hitung}} = \frac{S^2_{AB}}{S^2}$$

Hasil perhitungan dalam analisis varian dua arah dengan interaksi dapat diringkas seperti tabel 3.2.

Tabel 3.2 Analisis Varian Dua Arah

Sumber Keragaman	Db	Jumlah Kuadrat	Varian (KT)	F_{hitung}
Pengaruh A	$r - 1$	JKA	$S^2_A = \frac{JKA}{r - 1}$	$F_A = \frac{S^2_A}{S^2}$
Pengaruh B	$c - 1$	JKB	$S^2_B = \frac{JKB}{c - 1}$	$F_B = \frac{S^2_B}{S^2}$
Interaksi A dan B	$(r - 1)(c - 1)$	JKAB	$S^2_{AB} = \frac{JKAB}{(r - 1)(c - 1)}$	$F_{AB} = \frac{S^2_{AB}}{S^2}$
Galat	$rc(n - 1)$	JKG	$S^2 = \frac{JKG}{rc(n - 1)}$	-
Total	$rcn - 1$	JKT	-	-

Jumlah-jumlah kuadrat di atas dapat diperoleh melalui rumus hitung sebagai berikut (Hifni, M., 1992) :

- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{T^2}{r \cdot c \cdot n} \quad (3.1)$$

Bila $\frac{T^2}{r \cdot c \cdot n} = \text{FK}$ (Faktor koreksi)

$$JKT = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \text{FK} \quad (3.2)$$

- Jumlah kuadrat faktor A (JKA)

$$JKA = \frac{\sum_{i=1}^r T_{i\dots}^2}{c \cdot n} - FK \quad (3.3)$$

- Jumlah kuadrat faktor B (JKB)

$$JKB = \frac{\sum_{j=1}^c T_{j\dots}^2}{r \cdot n} - FK \quad (3.4)$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T_{ij\dots}^2}{n} - FK \quad (3.5)$$

- Jumlah kuadrat pengaruh interaksi A dan B (JKAB)

$$JKAB = JKP - JKA - JKB \quad (3.6)$$

- Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKA - JKB - JKAB \quad (3.7)$$

dengan :

c = Banyaknya kolom (variasi waktu pelapisan)

r = Banyaknya baris (variasi konsentrasi larutan *nickel sulphate*)

n = Banyaknya pengulangan tiap sel (variasi)

Y_{ijk} = Pengamatan ke- k dalam kolom ke- i dan baris ke- j

T_{\dots} = Jumlah semua $r c n$ pengamatan

T_i = Jumlah pengamatan dalam kolom ke- i

T_j = Jumlah pengamatan dalam baris ke- j

T_{ij} = Jumlah pengamatan dalam kolom dan baris ke- ij

Kesimpulan yang didapat dari uji F ini sebagai berikut :

1. Bila F_A hitung $>$ F_A tabel, maka H_{01} ditolak dan H_{11} diterima. Berarti faktor A (waktu pelapisan) berpengaruh terhadap laju korosi permukaan hasil elektroplating.
2. Bila F_B hitung $>$ F_B tabel, maka H_{02} ditolak dan H_{12} diterima. Berarti faktor B (konsentrasi larutan elektrolit) berpengaruh terhadap laju korosi permukaan hasil elektroplating.

3. Bila $F_{AB \text{ hitung}} > F_{AB \text{ tabel}}$, maka H_{03} ditolak dan H_{13} diterima. Berarti interaksi faktor A (waktu pelapisan) dan faktor B (konsentrasi larutan elektrolit) berpengaruh terhadap laju korosi permukaan hasil elektroplating.

3.7.3. Analisa Persamaan Linear

Analisa persamaan linear digunakan untuk mengetahui hubungan antara variasi waktu pelapisan dan konsentrasi larutan *nickel sulphate*, serta interaksi antara keduanya terhadap laju korosi hasil proses elektroplating. Analisa ini dilakukan dengan menggunakan bantuan program *Microsoft Excel*, dengan persamaan umum sebagai berikut :

$$\text{Persamaan linear : } y = a + bx$$

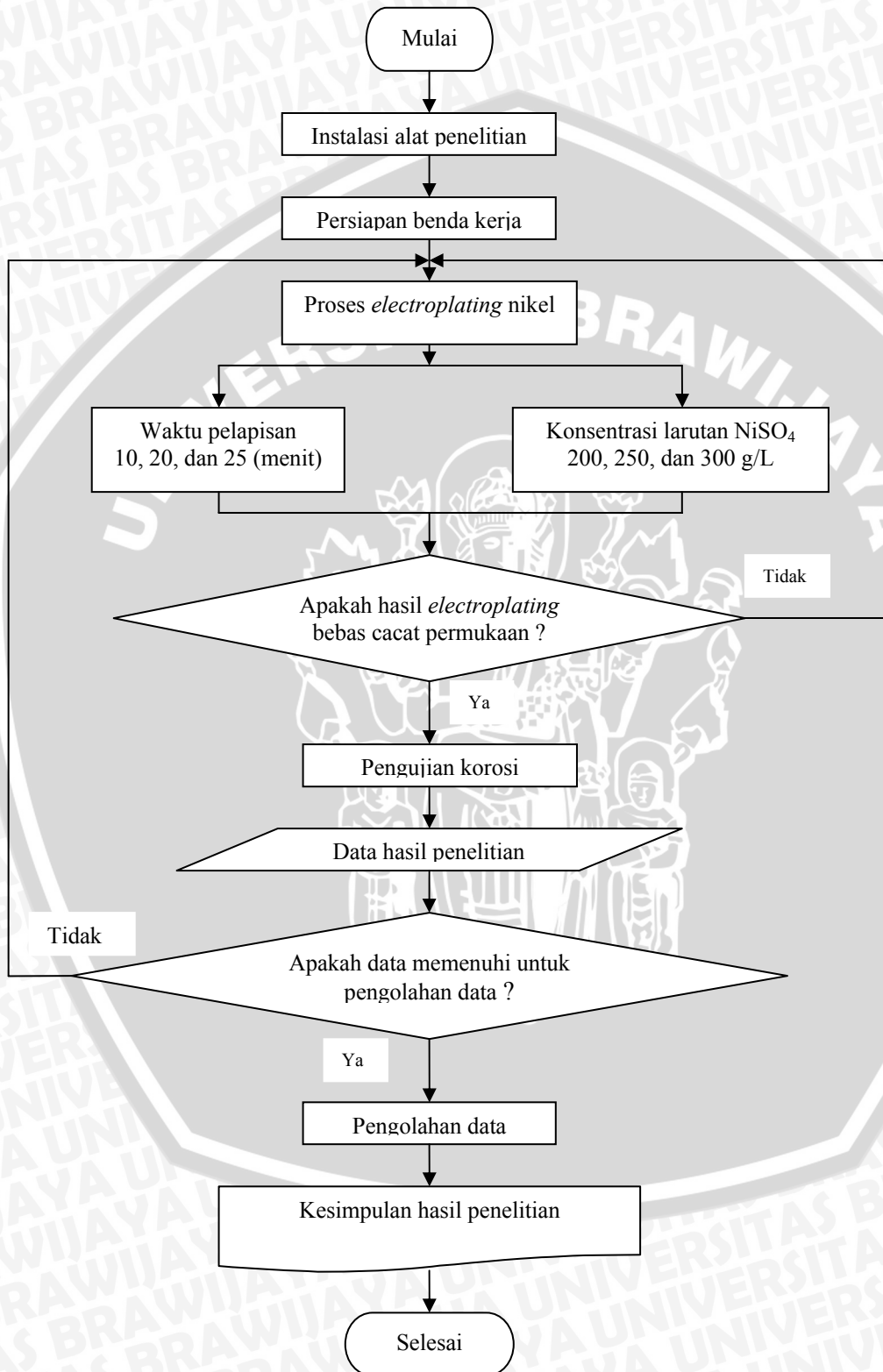
dengan : y = variabel terikat (laju korosi)

x = variabel bebas (waktu pelapisan dan konsentrasi larutan *nickel sulphate*)



3.8. Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini sesuai dengan diagram alir pada gambar 3.7 berikut :



Gambar 3.8 Diagram alir penelitian

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Hasil Penelitian

4.1.1. Data Berat Pelapisan

Dengan menggunakan timbangan elektrik didapatkan data sebagai berikut :

Tabel 4.1 Berat awal logam sebelum dilapisi nikel (gram)

Konsentrasi larutan (gram/liter)	Pengulangan ke-	Waktu pelapisan (menit)		
		10	20	30
200	1	136,514	135,454	135,410
	2	136,199	137,546	135,419
	3	135,898	137,340	136,078
250	1	136,475	136,627	135,544
	2	136,647	136,846	136,556
	3	134,639	137,103	137,425
300	1	137,094	137,962	137,186
	2	134,114	137,189	136,445
	3	135,208	136,327	135,736

Tabel 4.2 Berat logam setelah dilapisi nikel (gram)

Konsentrasi larutan (gram/liter)	Pengulangan ke-	Waktu pelapisan (menit)		
		10	20	30
200	1	136,826	135,905	136,064
	2	136,504	138,005	136,070
	3	136,207	137,789	136,727
250	1	136,801	137,150	136,213
	2	136,970	137,375	137,229
	3	134,966	137,630	138,095
300	1	137,425	138,495	137,932
	2	134,443	137,718	137,155
	3	135,541	136,858	136,451



Tabel 4.3 Berat logam setelah uji korosi (gram)

Konsentrasi larutan (gram/liter)	Pengulangan ke-	Waktu pelapisan (menit)		
		10	20	30
200	1	136,673	135,775	135,968
	2	136,347	137,877	135,976
	3	136,052	137,658	136,632
250	1	136,653	137,025	136,124
	2	136,818	137,248	137,139
	3	134,813	137,507	138,007
300	1	137,279	138,380	137,856
	2	134,299	137,598	137,075
	3	135,392	136,739	136,373

Tabel 4.4 Berat logam yang terkorosi (gram)

Konsentrasi larutan (gram/liter)	Pengulangan ke-	Waktu pelapisan (menit)		
		10	20	30
200	1	0,153	0,130	0,096
	2	0,157	0,128	0,094
	3	0,155	0,131	0,095
250	1	0,148	0,125	0,089
	2	0,152	0,127	0,090
	3	0,153	0,123	0,088
300	1	0,146	0,115	0,076
	2	0,144	0,120	0,080
	3	0,149	0,119	0,078

4.1.2. Pengukuran Ketebalan Lapisan

Pengukuran ketebalan lapisan dilakukan untuk mengetahui seberapa besar lapisan yang terbentuk pada proses elektroplating. Pengukuran ketebalan ini dapat dilakukan secara analitis menggunakan persamaan 2-3 dengan asumsi deposit sepanjang permukaan adalah seragam (Sanders,1950:7).

- ρ = Density of Nickel = 8,908 (gr/cm³)
- I = Arus listrik = 3 A
- t = Waktu pelapisan = 600 detik
- A = Massa atom = 58,71 (g/mol) (Van Flack, 1989:623)
- Z = Valensi = 2

$$\begin{aligned}
 \text{- Luas permukaan spesimen} &= 2(3 \times 6) + 2(3 \times 1) + 2(1 \times 6) \text{ cm}^2 \\
 &= 36 + 6 + 12 \text{ cm}^2 \\
 &= 54 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{- Rapat arus (Current density)} &= \frac{\text{Arus}}{\text{Luas permukaan}} \\
 &= \frac{3 \text{ Ampere}}{54 \text{ cm}^2} \\
 &= 0,0555 \text{ A/cm}^2 \\
 &= 5,555 \text{ A/dm}^2
 \end{aligned}$$

Secara Teoritis berdasarkan Hukum Faraday endapan yang didapatkan:

$$\text{Berat} = W = \frac{I \times t \times A}{z \times 96500} \text{ (gram)} \dots\dots\dots(\text{Sanders, 1950:6}) \quad (2-1)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{3 \times 600 \times 58,71}{2 \times 96500} \text{ (gram)} \\
 &= 0,5474 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\text{Volume} = V = \frac{\text{Berat}}{\text{Massa jenis}} \text{ (cm}^3\text{)} \dots\dots\dots(\text{Sanders, 1950:7}) \quad (2-2)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,5474}{8,908} \text{ cm}^3 \\
 &= 0,0614 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\text{Tebal} = t = \frac{\text{Volume}}{\text{Luas permukaan}} \text{ (cm)} \dots\dots\dots(\text{Sanders, 1950:7}) \quad (2-3)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,0614}{54} \text{ (cm)} \\
 &= 0,001137 \text{ cm} \\
 &= 11,37 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

Dari data pengujian ketebalan lapisan didapatkan luas permukaan spesimen setelah proses *nickel plating*. Data luas permukaan spesimen setelah proses *nickel plating* di tabelkan dalam tabel 4.5 berikut :

Tabel 4.5 Data luas permukaan setelah proses *nickel plating* (cm²)

Konsentrasi larutan (gram/liter)	Pengulangan ke-	Waktu pelapisan (menit)		
		10	20	30
200	1	54,028	54,036	54,052
	2	54,024	54,040	54,052
	3	54,024	54,036	54,052
	Rata-rata	54,025	54,037	54,052
250	1	54,032	54,040	54,056
	2	54,028	54,040	54,052
	3	54,028	54,044	54,056
	Rata-rata	54,029	54,041	54,055
300	1	54,032	54,048	54,060
	2	54,032	54,044	54,056
	3	54,028	54,044	54,060
	Rata-rata	54,031	54,045	54,059

4.1.3. Pengukuran Laju Korosi

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

Persamaan yang digunakan untuk menghitung laju korosi adalah :

$$CPR = \frac{87,6 \cdot w}{\rho \cdot A \cdot t} \text{ (mmpy)} \dots\dots\dots \text{(Fontana, M., 1987:173)} \quad (2.7)$$

Contoh dari data no. 1 akan didapat :

Massa hilang setelah pengujian korosi (mg)

$$\begin{aligned} W_1 &= W_1 - W_2 \\ &= 136,826 - 136,673 \\ &= 0,153 \text{ gram} \\ &= 153 \text{ mg} \end{aligned}$$

Luas permukaan yang terkorosi (cm²)

$$\begin{aligned} A &= 2 (3,0007 \times 6,0007) + 2 (3,0007 \times 1,0007) + 2 (1,0007 \times 6,0007) \text{ cm}^2 \\ &= 36,0126 + 6,0056 + 12,0098 \text{ cm}^2 \\ &= 54,028 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Waktu pengkorosian (jam)

$$t = 1 \text{ jam}$$

Massa jenis nikel = $8,908 \text{ g/cm}^3$

Laju korosi (mmpy)

$$\begin{aligned} CPR &= \frac{87,6 \cdot w}{\rho \cdot A \cdot t} \\ &= \frac{87,6 \times 153 \text{ mgram}}{8,908 \text{ g/cm}^3 \times 54,028 \text{ cm}^2 \times 1 \text{ jam}} \\ &= 27,848 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus yang sama pada data yang lain, maka akan didapatkan nilai yang tercantum pada tabel 4.6 berikut ini :

Tabel 4.6 Data perhitungan laju korosi (mmpy)

Konsentrasi larutan (gram/liter)	Pengulangan ke-	Waktu pelapisan (menit)		
		10	20	30
200	1	27,848	23,658	17,466
	2	28,578	23,293	17,102
	3	28,214	23,840	17,284
	Rata-rata	28,214	23,597	17,284
250	1	26,936	22,747	16,191
	2	27,666	23,111	16,374
	3	27,848	22,381	16,009
	Rata-rata	27,483	22,746	16,191
300	1	26,572	20,924	13,825
	2	26,208	21,835	14,554
	3	27,120	21,653	14,189
	Rata-rata	26,633	21,471	14,189

4.2. Analisis Statistik

4.2.1. Analisis Varian

Dari hasil pengujian di atas dilakukan analisis varian dua arah untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh waktu pelapisan dan konsentrasi larutan *nickel sulphate*, serta interaksi dari keduanya terhadap laju korosi hasil *nickel plating*. Dengan menjumlahkan data pada tiap sel pengujian, maka tabel pengujian dapat dirubah seperti tabel 4.7 berikut ini :

Tabel 4.7 Data perhitungan laju korosi (mmpy)

Konsentrasi larutan (gram/liter)	Pengulangan ke-	Waktu pelapisan (menit)			Σ
		10	20	30	
200	1	27,848	23,658	17,466	207,283
	2	28,578	23,293	17,102	
	3	28,214	23,840	17,284	
250	1	26,936	22,747	16,191	199,263
	2	27,666	23,111	16,374	
	3	27,848	22,381	16,009	
300	1	26,572	20,924	13,825	186,880
	2	26,208	21,835	14,554	
	3	27,120	21,653	14,189	
Σ		246,991	203,442	142,992	593,425

Dengan menggunakan perhitungan statistik diperoleh data sebagai berikut :

- Faktor koreksi (FK) :

$$\begin{aligned}
 \text{FK} &= \frac{\left[\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^n Y_{ijk} \right]^2}{rcn} \\
 &= \frac{593,425^2}{3 \times 3 \times 3} \\
 &= 13042,7301
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat total (JKT) :

$$\begin{aligned}
 \text{JKT} &= \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \text{FK} \\
 &= [(27,848)^2 + (28,578)^2 + (28,214)^2 + \dots + (14,189)^2] - 13042,7301 \\
 &= 13676,7453 - 13042,7301 \\
 &= 634,0152
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat pengaruh A (JKA) :

$$\text{JKA} = \frac{\sum_{i=1}^r T_i^2}{cn} - \text{FK}$$

$$= \frac{\{(246,991)^2 + (203,442)^2 + (142,992)^2\}}{3 \times 3} - 13042,7301$$

$$= 606,1726$$

- Jumlah kuadrat pengaruh B (JKB) :

$$JKB = \frac{\sum_{j=1}^c T_{j\dots}^2}{rn} - FK$$

$$= \frac{\{(207,283)^2 + (199,263)^2 + (186,880)^2\}}{3 \times 3} - 13042,7301$$

$$= 23,4797$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JKP) :

$$JKP = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T_{ij\dots}^2}{n} - FK$$

$$= \frac{\{(246,991)^2 + (203,442)^2 + (142,992)^2 + \dots + (186,880)^2\}}{3} - 13042,7301$$

$$= 631,5758$$

- Jumlah kuadrat pengaruh interaksi A dan B (JKAB) :

$$JKAB = JKP - JKA - JKB$$

$$= 631,5758 - 606,1726 - 23,4797$$

$$= 1,9234$$

- Jumlah kuadrat galat (JKG) :

$$JKG = JKT - JKA - JKB - JKAB$$

$$= 634,0152 - 606,1726 - 23,4797 - 1,9234$$

$$= 2,4394$$

- Nilai varian dari masing-masing perlakuan sebagai berikut :

1. Nilai varian pengaruh A

$$S_A^2 = \frac{JKA}{r-1} = \frac{606,1726}{3-1} = 303,0863$$

2. Nilai varian pengaruh B

$$S_B^2 = \frac{JKB}{r-1} = \frac{23,4797}{3-1} = 11,7399$$

3. Nilai varian interaksi A dan B

$$S_{AB}^2 = \frac{JKAB}{(r-1) \cdot (c-1)} = \frac{1,9234}{(3-1) \cdot (3-1)} = 0,4809$$

4. Nilai varian galat

$$S^2 = \frac{JKG}{r \cdot c \cdot (n-1)} = \frac{2,4394}{3 \cdot 3 \cdot (3-1)} = 0,1355$$

Dari rumus diatas dapat dicari nilai F_{hitung} yang digunakan untuk menentukan ada atau tidaknya pengaruh waktu pelapisan dan konsentrasi larutan *nickel sulphate*, seras interaksi antara keduanya terhadap laju korosi hasil proses *nickel plating* menggunakan metode uji F .

- Nilai F_{hitung} dari masing-masing sumber keragaman sebagai berikut :

1. Untuk faktor A :

$$F_{A \text{ hitung}} = \frac{S_A^2}{S^2} = \frac{303,0863}{0,1355} = 2236,45$$

2. Untuk faktor B :

$$F_{B \text{ hitung}} = \frac{S_B^2}{S^2} = \frac{11,7399}{0,1355} = 86,63$$

3. Untuk faktor AB :

$$F_{AB \text{ hitung}} = \frac{S_{AB}^2}{S^2} = \frac{0,4809}{0,1355} = 3,55$$

- Nilai F_{tabel} dari masing-masing sumber keragaman sebagai berikut :

1. Untuk faktor A :

F_{tabel} Untuk $V_1 = r - 1 = 3 - 1 = 2$, dan $V_2 = r \cdot c \cdot (n-1) = 3 \cdot 3 \cdot (3-1) = 18$ adalah 3,55

2. Untuk faktor B

F_{tabel} Untuk $V_1 = r - 1 = 3 - 1 = 2$, dan $V_2 = r \cdot c \cdot (n-1) = 3 \cdot 3 \cdot (3-1) = 18$ adalah 3,55

3. Untuk faktor AB

F_{tabel} Untuk $V_1 = (r-1) \cdot (c-1) = (3-1) \cdot (3-1) = 4$, dan

$V_2 = r \cdot c \cdot (n-1) = 3 \cdot 3 \cdot (3-1) = 18$ adalah 2,93

Tabel 4.8 Hasil Analisis Varian Dua Arah

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Varian (KT)	F_{hitung}	F_{tabel}
Pengaruh A	2	606,0149	303,0863	2236,45	3,55
Pengaruh B	2	23,4650	11,7399	86,63	3,55
Interaksi A dan B	4	1,9309	0,4809	3,55	2,93
Galat	18	2,4320	0,1355	-	-
Total	26	34,6751	-	-	-

Keterangan :

A = Waktu pelapisan

B = konsentarsi larutan *nickel sulphate*

Berdasarkan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel 4.8 dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$, maka H_0^1 ditolak dan H_1^1 diterima. Hal ini menunjukkan bahwa waktu pelapisan berpengaruh terhadap laju korosi hasil proses *nickel plating*.
2. $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$, maka H_0^2 ditolak dan H_1^2 diterima. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi larutan *nickel sulphate* berpengaruh terhadap laju korosi hasil proses *nickel plating*.
3. $F_{AB} \text{ hitung} > F_{AB} \text{ tabel}$, maka H_0^3 ditolak dan H_1^3 diterima. Hal ini menunjukkan bahwa interaksi antara waktu pelapisan dan konsentarsi larutan *nickel sulphate* berpengaruh terhadap laju korosi hasil proses *nickel plating*.

Dari kesimpulan diatas terlihat bahwa waktu pelapisan dan konsentrasi larutan *nickel sulphate*, serat interaksi antara keduanya berpengaruh yang nyata terhadap laju korosi hasil proses *nickel plating* dengan tingkat keyakinan 95%.

4.2.2. Analisa Persamaan Linear

Analisa persamaan linear digunakan untuk mengetahui hubungan antara variasi waktu pelapisan dan konsentrasi larutan *nickel sulphate*, serta interaksi antara keduanya terhadap laju korosi hasil proses elektroplating. Analisa ini dilakukan dengan menggunakan bantuan program *Microsoft Excel*, dengan persamaan umum sebagai berikut :

$$\text{Persamaan linear : } y = a + bx$$

dengan : y = variabel terikat (laju korosi)

x = variabel bebas (waktu pelapisan dan konsentrasi larutan *nickel sulphate*)

$$b = \frac{n \sum xi.yi - \sum xi \sum yi}{n \sum xi^2 - (\sum xi)^2}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum xi}{n}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum yi}{n}$$

Sebagai contoh persamaan linear untuk konsentrasi larutan *nickel sulphate* 200 gram/liter pada tabel 4.9 sebagai berikut :

Tabel 4.9 Perhitungan persamaan linear untuk konsentrasi larutan *nickel sulphate* 200 gram/liter

No	X_i	Y_i	X_i^2	$X_i.Y_i$
1	10	28,214	100	282,1358
2	20	23,597	400	471,9418
3	30	17,284	900	518,5097
Σ	60	69,094	1400	1272,5873

$$\bar{x} = \frac{\sum xi}{n} = \frac{60}{3} = 20$$

$$\bar{y} = \frac{\sum yi}{n} = \frac{69,0943}{3} = 23,0314$$

$$b = \frac{n \sum xi.yi - \sum xi \sum yi}{n \sum xi^2 - (\sum xi)^2} = \frac{(3 \times 1272,5873) - (60 \times 69,0943)}{(3 \times 1400) - (60)^2} = -0,5465$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 23,0314 - (-0,5465 \times 20) = 33,9614$$

Sehingga diperoleh persamaan persamaan linear sebagai berikut :

$$y = 33,9614 - 0,5465 x$$

Dengan cara yang sama, maka akan didapatkan persamaan linear sebagai berikut :

- Untuk konsentrasi *nickel sulphate* 250 gram/liter

$$y = -0,5646 x + 33,432$$

- Untuk konsentrasi *nickel sulphate* 300 gram/liter

$$y = -0,6222 x + 33,209$$

Sedangkan contoh persamaan linear untuk waktu pelapisan 10 menit pada tabel 4.10 sebagai berikut :

Tabel 4.10 Perhitungan persamaan linear untuk waktu pelapisan 10 menit

No	X_i	Y_i	X_i^2	$X_i \cdot Y_i$
1	200	28,214	40000	5642,8
2	250	27,483	62500	6870,75
3	300	26,633	90000	7989,9
Σ	750	82,33	192500	20503,45

$$\bar{x} = \frac{\sum xi}{n} = \frac{750}{3} = 250$$

$$\bar{y} = \frac{\sum yi}{n} = \frac{82,33}{3} = 27,4433$$

$$b = \frac{n \sum xi \cdot yi - \sum xi \sum yi}{n \sum xi^2 - (\sum xi)^2} = \frac{(3 \times 20503,45) - (750 \times 82,33)}{(3 \times 192500) - (750)^2} = -0,0158$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 27,4433 - (-0,0158 \times 250) = 31,394$$

Sehingga diperoleh persamaan persamaan linear sebagai berikut :

$$y = 31,394 - 0,0158 x$$

Dengan cara yang sama, maka akan didapatkan persamaan linear sebagai berikut :

- Untuk waktu pelapisan 20 menit

$$y = -0,0213 x + 27,92$$

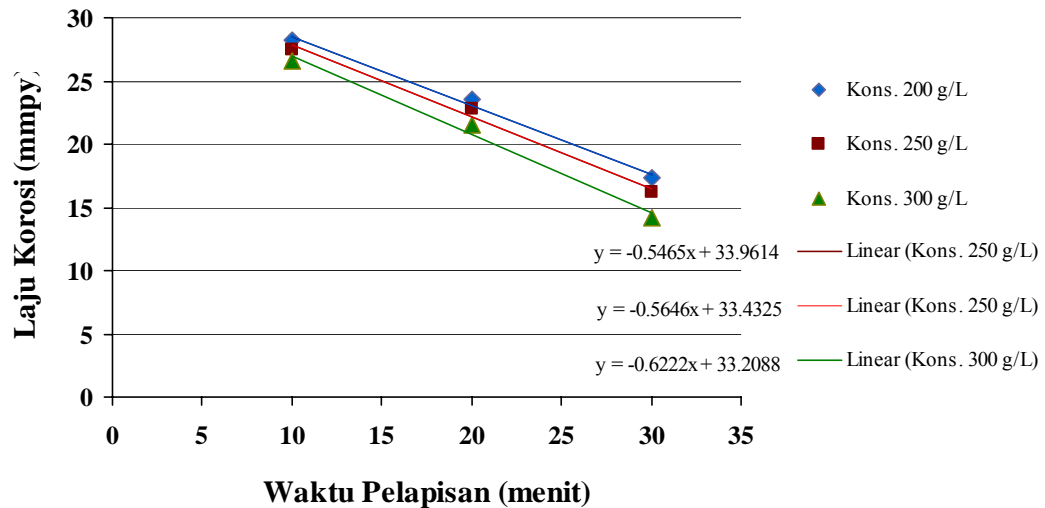
- Untuk waktu pelapisan 30 menit

$$y = -0,0309 x + 23,625$$

4.3. Pembahasan

4.3.1. Analisa Grafik Hubungan Antara Waktu Pelapisan Terhadap Laju Korosi Hasil Proses *Nickel Plating*

Grafik hubungan antara waktu pelapisan terhadap laju korosi hasil proses *nickel plating* dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut :



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara waktu pelapisan dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* pada larutan *watts* terhadap laju korosi hasil proses *nickel plating*.

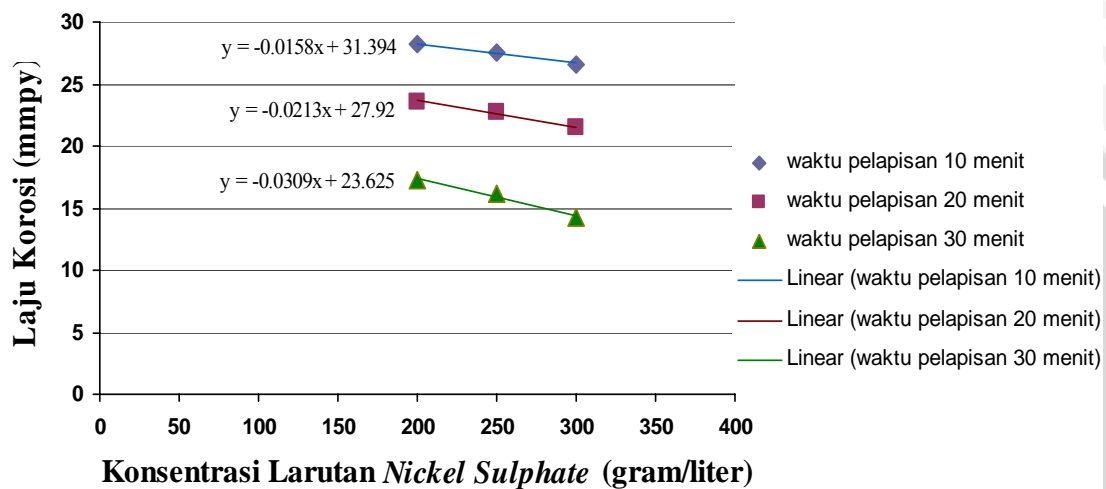
Pada grafik terlihat bahwa terdapat hubungan antara waktu pelapisan terhadap laju korosi hasil proses *nickel plating*. Grafik pada Gambar 4.1 menunjukkan trend data perubahan persentase pengurangan berat akibat korosi dengan semakin meningkatnya waktu pelapisan pada proses *nickel plating*. Untuk semua variasi waktu pelapisan 10 menit, 20 menit, dan 30 menit terdapat kecenderungan penurunan nilai persentase pengurangan berat akibat korosi. Dimana laju korosi menurun dengan semakin naiknya waktu pelapisan. Pada waktu pelapisan 10 menit dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* 200 gram/liter diperoleh laju korosi rata-rata 28,214 mmpy, sedangkan pada waktu pelapisan 30 menit dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* 200 gram/liter diperoleh laju korosi rata-rata 17,284 mmpy.

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

pelapisan mempengaruhi jumlah deposit lapisan dan juga ketebalan lapisan yang terbentuk.

4.3.2. Analisa Grafik Hubungan Antara Konsentrasi Larutan *Nickel Sulphate* (NiSO_4) pada Larutan *Watts* Terhadap Laju Korosi Hasil Proses *Nickel Plating*

Grafik hubungan antara konsentrasi larutan *nickel sulphate* (NiSO_4) pada larutan *watts* terhadap laju korosi hasil proses *nickel plating* dapat dilihat pada Gambar 4.2 sebagai berikut :



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara konsentrasi larutan *nickel sulphate* pada larutan *watts* terhadap laju korosi hasil proses *nickel plating*.

Grafik pada Gambar 4.2 menunjukkan trend data perubahan persentase pengurangan berat akibat korosi dengan semakin meningkatnya konsentrasi larutan *nickel sulphate* pada proses *nickel plating*. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara konsentrasi larutan *nickel sulphate* terhadap laju korosi hasil proses *nickel plating*. Untuk semua variasi konsentrasi larutan *nickel sulphate* 200, 250, dan 300 gram/liter terdapat kecenderungan penurunan nilai persentase pengurangan berat akibat korosi. Dimana semakin tinggi konsentrasi larutan *nickel sulphate* laju korosi yang terjadi semakin menurun. Pada waktu pelapisan 10 menit dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* 200 gram/liter diperoleh laju korosi rata-rata 28,214 mppy, sedangkan pada waktu pelapisan 10 menit dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* 300 gram/liter diperoleh laju korosi rata-rata 26,633 mppy. Hal ini disebabkan karena ion-ion nikel yang terkandung dalam bak plating semakin besar, sehingga deposit logam yang

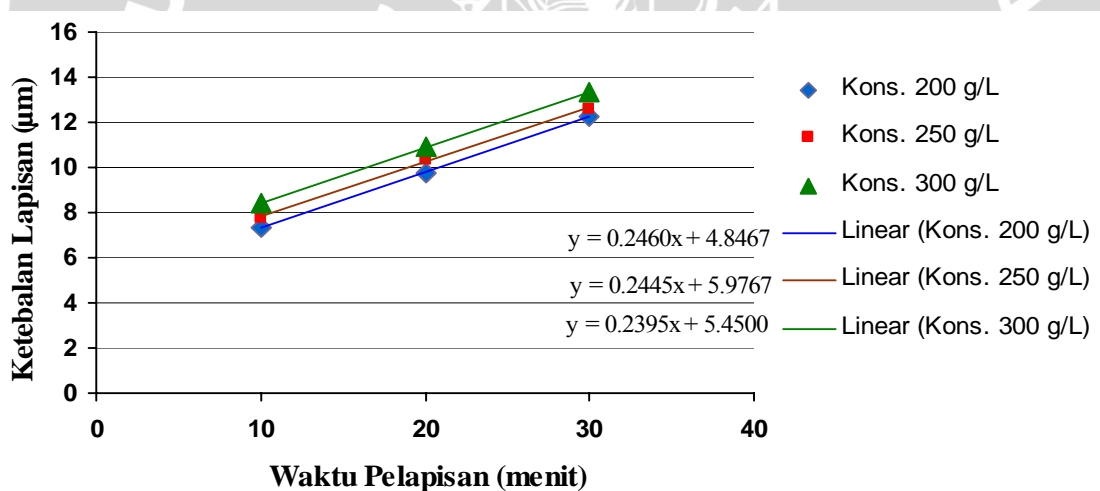
terbentuk menjadi besar. Pembentukan jumlah deposit yang besar akan mempengaruhi ketebalan pada lapisan sehingga laju korosi akan menurun.

Dengan menggunakan *coating thickness mini Test 600 Type : 12-1605 SN: 9802* didapat nilai ketebalan lapisan nikel rata-rata yang terbentuk pada logam setelah proses *nickel plating* ditabelkan dalam tabel 4.9 sebagai berikut :

Tabel 4.9. Hasil ketebalan rata-rata lapisan nikel setelah proses *nickel plating*

Variabel		Waktu pelapisan (menit)		
		10	20	30
Konsentrasi karutan (gram/liter)	200	7,3	9,78	12,22
	250	7,78	10,37	12,56
	300	8,41	10,89	13,3

Sehingga dapat dilihat pada Gambar 4.3 yang menunjukkan *trend* data perubahan ketebalan lapisan hasil proses *nickel plating* akibat variasi waktu pelapisan dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* (NiSO_4) berikut ini :



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara waktu pelapisan dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* pada larutan *watts* terhadap ketebalan lapisan hasil proses *nickel plating*.

Berdasarkan perhitungan terlihat bahwa pada kondisi sebenarnya berat yang terbentuk lebih rendah dari pada 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 pada proses *nickel plating* dengan

waktu pelapisan 10 menit dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* 200 gram/liter adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\eta_{\text{arus}} &= \frac{0,312}{0,5474} \times 100\% \\ &= 56,997\%\end{aligned}$$

Pada perhitungan secara teoritis nilai ketebalan yang didapat pada waktu pelapisan 10 menit dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* 200 gram/liter, nilai ketebalannya sebesar 11,37 μm . Sedangkan pada perhitungan secara aktual nilai ketebalan yang didapat pada waktu pelapisan 10 menit dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* 200 gram/liter, didapat nilai ketebalan sebesar 7,3 μm . Ini disebabkan karena efisiensi arus listrik yang digunakan hanya sebesar 56,997%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju korosi yang terjadi pada permukaan logam yang sudah dilapisi nikel yang divariasikan dengan waktu pelapisan dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* selama proses *nickel plating* hasilnya berbeda-beda. Besarnya laju korosi yang terjadi pada logam dipengaruhi oleh banyak faktor, dan salah satunya adalah faktor fisik dan metalurgi (Fontana, Mars.1987:12). Dalam hal ini faktor fisik yang mempengaruhi adalah ketebalan lapisan 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).

Dari hasil analisis varian dua arah pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 dapat diketahui bahwa interaksi antara waktu pelapisan dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* pada proses *nickel plating* menghasilkan trend data perubahan persentase pengurangan berat yang diakibatkan oleh korosi. Hal tersebut dapat diketahui bahwa interaksi antara waktu pelapisan dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* berpengaruh nyata terhadap laju korosi hasil proses *nickel plating*. Hal ini dapat dilihat dari hasil analisis varian dua arah, dimana $F_{\text{hitung}} = 3,55 > F_{\text{tabel}} = 2,93$ (tabel 4.8).

Penambahan waktu pelapisan dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* akan menghasilkan penurunan terhadap laju korosi. Nilai laju korosi hasil proses elektroplating yang terendah pada penelitian ini dicapai pada waktu pelapisan 30 menit dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* 300 gram/liter dengan nilai persentase laju korosi rata-rata 14,189 mmpy. Hal ini terjadi karena pada waktu pelapisan 30 menit dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* 300 gram/liter jumlah deposit logam yang dihasilkan lebih besar sehingga lapisan akan menjadi tebal.

Apabila terjadi penurunan waktu pelapisan dan konsentrasi larutan *nickel sulphate*, maka nilai persentase laju korosi akan semakin meningkat. Nilai laju korosi hasil proses *nickel plating* yang tertinggi pada penelitian ini dicapai pada waktu pelapisan 10 menit dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* 200 gram/liter dengan nilai persentase laju korosi rata-rata 28,214 mmpy. Hal ini disebabkan karena jumlah deposit lapisan logam yang dihasilkan semakin kecil, sehingga menyebabkan lapisan menjadi lebih tipis. Deposit logam yang tipis akan mengakibatkan laju korosi akan meningkat, sehingga ketahanan korosi menurun.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa data dan pembahasan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, didapatkan kesimpulan bahwa waktu pelapisan dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* (NiSO_4) pada larutan *Watts* berpengaruh terhadap laju korosi hasil proses *nickel plating*. Bertambahnya waktu pelapisan dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* memberikan efek positif terhadap nilai laju korosi. Hal tersebut ditunjukkan dengan :

- Nilai rata-rata laju korosi terendah dihasilkan pada waktu pelapisan 30 menit dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* 300 gram/liter, yaitu sebesar 14,189 mmpy.
- Nilai rata-rata laju korosi tertinggi dihasilkan pada waktu pelapisan 10 menit dan konsentrasi larutan *nickel sulphate* 200 gram/liter, yaitu sebesar 28,214 mmpy.

5.2. Saran

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

DAFTAR PUSTAKA

- Agusta, E. W; 2008: *Pengaruh Penambahan Seng (Zn) Terhadap Kekuatan Impact dan Ketahanan Korosi pada Paduan Coran Aluminium-Magnesium (Al-Mg)*; Skripsi tidak dipublikasikan; Universitas Brawijaya, Malang.
- ASM International; 1991: *Heating As Volume 4 of the ASM Hand Book*; ASM International.
- ASM Hand Book Committee; 1964: *Metals Handbook*; American Society for Metals, Ohio.
- Bersivora, O; 2004: *Corrosion Behavior of Electroplated Silver Coatings Materials Scince (Medziagotyra)*; Vol. 10, Ukraine.
- Campbell, M; 2008: *Medium Tensile Steel to AISI 1045*; Corus Engineering Steels.
- Chamberlain, J. & Trethewey, K. R; 1991: *Korosi untuk mahasiswa dan rekayasawan*; Gramedia, Jakarta.
- Farish, S. A; 2005: *Pengaruh Temperatur dan Waktu Pelapisan Terhadap Laju Korosi Logam Hasil Pelapisan Hardchrome*; Skripsi tidak dipublikasikan; Universitas Brawijaya, Malang.
- Fennese, Heather; 1996: *Metallurgical Industri Hand Book*, Amerika.
- Fontana, Mars G; 1987: *Corrosion Engineering*; Mc Graw Hill Book Co, Singapore.
- Hartomo, A. J. & Koneko, T; 1992: *Mengenal Pelapisan Logam (Elektroplating)*; Edisi Pertama; Andi Offset, Yogyakarta.
- Hifni, M; 1992: *Analisis Varian dan Penerapannya*; Kopma Press; Universitas Brawijaya, Malang.
- Parthasaradhy, N. V; 1989: *Practical electroplating handbook*; Prentice-Hall Inc, New Jersey USA.
- Sanders, A.H; 1950: *Electroplating*; International Textbook Co, New York.
- Setiadji, I. K; 2006: *Pengaruh Konsentrasi Copper Cyanide (CuCn) Terhadap Ketahanan Korosi dan Thermal Shock Hasil Elektroplating*; Skripsi tidak dipublikasikan; Universitas Brawijaya, Malang..
- Surdia, T. & Saito. S; 1999: *Pengetahuan Bahan Teknik*; Cetakan Keempat; PT. Pradnya Paramita, Jakarta.










- Utomo, A. B; 2007: *Pengaruh konsentrasi nickel sulphate pada larutan watts terhadap ketahanan aus dan thermal shock hasil elektroplating*; Skripsi tidak dipublikasikan; Universitas Brawijaya, Malang.
- Van Vlack, L. H; 1989: *Ilmu dan teknologi bahan*; Edisi Kelima; Alih bahasa : Ir. Sriati Djaprie, M.E., M.Met; Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Walpole, R. E; 1995: *Pengantar Statistika*; PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Whittington, Clive; 2002: *Nickel Plating Hand Book*; ASM International.
- Wikipedia Indonesia; 2007: *Korosi*; Ensiklopedia bebas berbahasa Indonesia. 2007; Wikimedia Foundation, Inc.
- Worauaychai, N; 2002: *Zinc-Nickel Alloy Electroplating in Alkaline Electrolyte for Corrosion Resistance Improvement*; King Mongkut's University of Technology Thonburi 91 Pracha U-thit Rd, Bangkok – Thailand.














LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar Spesimen Setelah Proses Elektroplating.

Waktu pelapisan 10 menit Konsentrasi NiSO ₄ 200 g/L  Skala 1 : 2	Waktu pelapisan 20 menit Konsentrasi NiSO ₄ 200 g/L  Skala 1 : 2	Waktu pelapisan 30 menit Konsentrasi NiSO ₄ 200 g/L  Skala 1 : 2
Waktu pelapisan 10 menit Konsentrasi NiSO ₄ 250 g/L  Skala 1 : 2	Waktu pelapisan 20 menit Konsentrasi NiSO ₄ 250 g/L  Skala 1 : 2	Waktu pelapisan 30 menit Konsentrasi NiSO ₄ 250 g/L  Skala 1 : 2
Waktu pelapisan 10 menit Konsentrasi NiSO ₄ 300 g/L  Skala 1 : 2	Waktu pelapisan 20 menit Konsentrasi NiSO ₄ 300 g/L  Skala 1 : 2	Waktu pelapisan 30 menit Konsentrasi NiSO ₄ 300 g/L  Skala 1 : 2

Lampiran 2. Gambar Spesimen Setelah Uji Korosi.

Waktu pelapisan 10 menit Konsentrasi NiSO ₄ 200 g/L  Skala 1 : 2	Waktu pelapisan 20 menit Konsentrasi NiSO ₄ 200 g/L  Skala 1 : 2	Waktu pelapisan 30 menit Konsentrasi NiSO ₄ 200 g/L  Skala 1 : 2
Waktu pelapisan 10 menit Konsentrasi NiSO ₄ 250 g/L  Skala 1 : 2	Waktu pelapisan 20 menit Konsentrasi NiSO ₄ 250 g/L  Skala 1 : 2	Waktu pelapisan 30 menit Konsentrasi NiSO ₄ 250 g/L  Skala 1 : 2
Waktu pelapisan 10 menit Konsentrasi NiSO ₄ 300 g/L  Skala 1 : 2	Waktu pelapisan 20 menit Konsentrasi NiSO ₄ 300 g/L  Skala 1 : 2	Waktu pelapisan 30 menit Konsentrasi NiSO ₄ 300 g/L  Skala 1 : 2

Lampiran 3. Surat Keterangan Penelitian Elektroplating dan Uji Korosi.



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
POLITEKNIK NEGERI MALANG
JURUSAN TEKNIK MESIN
Jl. Veteran PO Box 04 Malang 65145
Telepon (0341)551340-551341 Fax. (0341)551793

SURAT KETERANGAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Imam Mashudi, B.Eng (HONS), MT.
NIP : 131953225
Jabatan : Ketua Jurusan T. Mesin
Politeknik Negeri Malang

Menerangkan dengan sesungguhnya bahwa mahasiswa :

Nama : Arifin
NIM : 0410623013
Jurusan : Teknik Mesin (S-1)
Fakultas : Teknik
Universitas Brawijaya Malang

Benar-benar telah melaksanakan penelitian Elektro Plating dan Uji Korosi di Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang pada tanggal 10 juni sampai dengan 10 juli 2009, guna keperluan penyusunan skripsi.

Demikian surat ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.



Malang, 23 Nopember 2009

Mengetahui,
Ketua Jurusan T. Mesin,

Imam Mashudi, B.Eng (HONS), MT.
NIP 131953225



Lampiran 4. Data Hasil Uji Ketebalan Lapisan Setelah Elektroplating.



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
LABORATORIUM METALURGI
 JURUSAN TEKNIK MESIN FTI-ITS
 Kampus ITS Keputih Sukolilo Surabaya 60111
 Telp/fax: 031 591 5060 email: metalmesin@me.its.ac.id

DATA HASIL UJI KETEBALAN LAPISAN SETELAH ELEKTROPLATING

No. : 138/METAL/LL/XI/09
 Nama Pengirim : **ARIFIN**
 Kode : Penelitian
 Test : Uji Ketebalan Lapisan
 Alat : Coating Thickness Mini Test 600 Type : 121-1605 SN: 9802
 Merk : Elektro Physik
 Tanggal Pengukuran : 01 September 2009

Kode Spesimen	Waktu Pelapisan (menit)	Konsentrasi Larutan (gram/liter)	Pengulangan	Ketebalan Lapisan. (µm)	Ketebalan Rata-rata (µm)
AISI 1045	10	200	1	9; 8; 8; 7; 8; 7; 6; 7; 6	7.33
			2	9; 9; 8; 7; 6; 8; 6; 7; 7	7.44
			3	7; 9; 9; 6; 7; 7; 6; 7; 5	7
AISI 1045	10	250	1	8; 9; 8; 7; 8; 7; 7; 7; 8	7.67
			2	9; 9; 8; 8; 7; 8; 8; 6; 7	7.78
			3	9; 9; 9; 8; 7; 7; 7; 8; 7	7.89
AISI 1045	10	300	1	10; 10; 9; 8; 7; 8; 7; 7; 8	8.22
			2	9; 10; 9; 8; 8; 8; 8; 7; 8	8.33
			3	11; 10; 10; 8; 8; 9; 7; 8; 7	8.67
AISI 1045	20	200	1	11; 12; 12; 9; 9; 10; 7; 8; 9	9.67
			2	13; 10; 12; 9; 10; 9; 8; 9; 9	9.89
			3	12; 12; 10; 9; 10; 9; 9; 8	9.78
AISI 1045	20	250	1	12; 13; 12; 11; 10; 9; 9; 8; 9	10.33
			2	13; 13; 12; 10; 10; 9; 10; 9; 9	10.56
			3	11; 12; 14; 10; 9; 10; 9; 9; 8	10.22
AISI 1045	20	300	1	13; 12; 13; 10; 10; 11; 10; 9; 9	10.33
			2	12; 13; 14; 9; 10; 11; 9; 10; 10	10.56
			3	14; 13; 13; 11; 10; 10; 10; 10; 9	10.22
AISI 1045	30	200	1	15; 14; 14; 13; 11; 12; 11; 12; 10	12.44
			2	14; 13; 14; 12; 11; 13; 10; 11; 9	11.89
			3	14; 15; 13; 12; 13; 12; 11; 11; 10	12.33
AISI 1045	30	250	1	15; 14; 15; 13; 10; 12; 11; 10; 12	12.44
			2	15; 15; 13; 12; 11; 13; 12; 12; 11	12.67
			3	14; 16; 15; 12; 13; 11; 11; 11; 10	12.56
AISI 1045	30	300	1	15; 16; 16; 14; 12; 13; 13; 11; 12	13.56
			2	15; 14; 16; 13; 13; 11; 12; 11; 11	12.89
			3	16; 15; 15; 14; 13; 13; 11; 12; 12	13.44

Surabaya, 01 September 2009
 LABORANT

BAMBANG SUMANTRI, ST
 NIP. 130 911 593

Lampiran 5. Data Hasil Uji Ketebalan Lapisan Setelah Korosi.



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
LABORATORIUM METALURGI
 JURUSAN TEKNIK MESIN FT-ITS
 Kampus ITS Keputih Sukolilo Surabaya 60111
 Telp/fax: 031 591 5060 email: metalmesin@me.its.ac.id

DATA HASIL UJI KETEBALAN LAPISAN SETELAH KOROSI

No. : 139/METAL/LL/XI/09
 Nama Pengirim : **ARIFIN**
 Kode : Penelitian
 Test : Uji Ketebalan Lapisan
 Alat : Coating Thickness Mini Test 600 Type : 121-1605 SN: 9802
 Merk : Elektro Physik
 Tanggal Pengukuran : 16 Nopember 2009

Kode Spesimen	Waktu Pelapisan (menit)	Konsentrasi Larutan (gram/liter)	Pengulangan	Ketebalan Lapisan. (µm)	Ketebalan Rata-rata (µm)
AISI 1045	10	200	1	6 ; 4 ; 5 ; 4 ; 4 ; 3 ; 3 ; 4 ; 3	4
			2	6 ; 6 ; 4 ; 4 ; 5 ; 4 ; 3 ; 3 ; 4	4.33
			3	7 ; 6 ; 4 ; 5 ; 3 ; 4 ; 3 ; 3 ; 2	4.11
AISI 1045	10	250	1	5 ; 6 ; 4 ; 4 ; 4 ; 3 ; 4 ; 3 ; 4	4.11
			2	5 ; 6 ; 5 ; 4 ; 5 ; 4 ; 4 ; 3 ; 4	4.44
			3	6 ; 7 ; 6 ; 5 ; 4 ; 5 ; 4 ; 3 ; 5	5
AISI 1045	10	300	1	7 ; 6 ; 6 ; 5 ; 4 ; 5 ; 5 ; 4 ; 5	5.22
			2	6 ; 7 ; 7 ; 5 ; 6 ; 5 ; 5 ; 4 ; 5	5.56
			3	7 ; 7 ; 6 ; 4 ; 5 ; 6 ; 4 ; 3 ; 4	5.11
AISI 1045	20	200	1	7 ; 8 ; 8 ; 6 ; 5 ; 6 ; 4 ; 4 ; 5	5.89
			2	10 ; 7 ; 8 ; 5 ; 7 ; 6 ; 5 ; 6 ; 5	6.56
			3	9 ; 8 ; 7 ; 6 ; 6 ; 5 ; 5 ; 6 ; 6	6.44
AISI 1045	20	250	1	8 ; 9 ; 8 ; 7 ; 6 ; 6 ; 5 ; 5 ; 6	6.67
			2	9 ; 10 ; 9 ; 6 ; 7 ; 6 ; 5 ; 5 ; 4	6.78
			3	8 ; 9 ; 10 ; 7 ; 5 ; 6 ; 6 ; 6 ; 5	6.89
AISI 1045	20	300	1	9 ; 9 ; 10 ; 7 ; 6 ; 7 ; 6 ; 6 ; 5	7.22
			2	8 ; 9 ; 12 ; 6 ; 7 ; 8 ; 5 ; 5 ; 6	7.33
			3	11 ; 9 ; 10 ; 7 ; 6 ; 7 ; 6 ; 7 ; 5	7.56
AISI 1045	30	200	1	12 ; 10 ; 12 ; 10 ; 7 ; 8 ; 8 ; 9 ; 6	9.11
			2	10 ; 10 ; 11 ; 10 ; 8 ; 10 ; 7 ; 8 ; 6	8.89
			3	11 ; 12 ; 10 ; 8 ; 9 ; 10 ; 7 ; 9 ; 7	9.22
AISI 1045	30	250	1	13 ; 12 ; 11 ; 10 ; 6 ; 9 ; 8 ; 7 ; 9	9.44
			2	12 ; 11 ; 10 ; 9 ; 9 ; 10 ; 8 ; 9 ; 7	9.44
			3	11 ; 12 ; 13 ; 9 ; 10 ; 7 ; 7 ; 8 ; 9	9.56
AISI 1045	30	300	1	13 ; 12 ; 13 ; 11 ; 9 ; 10 ; 10 ; 7 ; 8	10.33
			2	12 ; 11 ; 14 ; 10 ; 9 ; 8 ; 9 ; 7 ; 8	9.78
			3	12 ; 12 ; 13 ; 10 ; 9 ; 11 ; 8 ; 9 ; 8	10.22

Surabaya, 16 Nopember 2009

LABORANT

BAMBANG SUMANTRI, ST
 NIP. 130 911 593



Lampiran 6. Sertifikat Baja AISI 1045

1019L P.101



PT. BHINNEKA BAJANAS

S.I.U.P. No. 1296/97/09 - 02/PB/XII/2000



Jl. Karang Bolong Raya No.5, Ancol Barat, Jakarta - Indonesia P.O. Box.4103/JKT
Phone: 02-21-8912118, 8912201, 8922122, 8925431, 8925591, 8909303 (hunting) Fax: 0011569, 8924291

TEST CERTIFICATE

Nr./No./No.: 194.851/08.03.12
Seite/Page/Page: 01

Bestell Nr./Purchase Order No./No. de commande

BB/6594/08

Umsatz Auftrags Nr./Sales Order No./No. commande usines

936.008/RI

Lieferchein/Dispatch note/Avis d'expédition

52/135.043/SH

Produktname/Prod. of test/Objet de l'essai

STEEL BARS/K45/AISI 1045
K 645/EMS 45

Abmessung der Lieferung/Volume of delivery/Liste descriptive

Ø 10 x 1500 x 6000 MM

Gewicht/kg	Schmelz	Bohr-Nr
Weight/lb	Melt No.	Core No.
Poids/kg	No. de coulée	Caractéristique
3530.00	37C23022	

**SERTIFIKAT INI HANYA BERLAKU
UNTUK DO NO : 001 - 2/2/09**

PT. BHINNEKA BAJANAS

Chemische Zusammensetzung/Chemical Composition/Composition chimique (%)

Schmelz	C	Si	Mn	P	S	CR	Ni	Mo	V	Al	Cu
Lot No.	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
37C23022	49	22	66	001	002	02	02	02			01

Chemische Zusammensetzung/Chemical Composition/Composition chimique (%)

Produkt-Nr	Hersteller	Tensile Strength	Yield Strength	Elongation	Reduktion
Lot No.	Brand	(Rm) N/mm ²	(Rp 0,2) N/mm ²	%	%

TRUE COPY

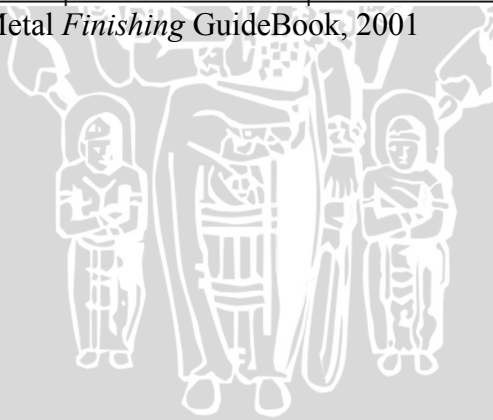
Lampiran 7. Hasil ketebalan rata-rata lapisan nikel setelah proses *nickel plating*

Variabel		Waktu pelapisan (menit)		
		10	20	30
Konsentrasi karutan (gram/liter)	200	7,3	9,78	12,22
	250	7,78	10,37	12,56
	300	8,41	10,89	13,3

Lampiran 8. Komposisi Larutan Watts

Contents		Optimum Ranges	Units
pH		3.7 to 4.0	
Nickel Sulphate	$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	150 to 450	g/L
Nickel Chloride	$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	37.5 to 150	g/L
Boric Acid	H_3BO_3	37.5 to 60	g/L

Sumber : *Nickel Plating, Metal Finishing GuideBook*, 2001



Lampiran 9. Gambar Larutan Watts untuk Proses *Nickel Plating*, yang terdiri atas :

- *Nickel Sulphate* (NiSO_4)



- *Nickel Chloride* (NiCl_2)



- *Boric Acid* (H_3BO_3)



Lampiran 10. Gambar Instalasi Elektroplating



Lampiran 11. Gambar Instalasi Uji Korosi



Lampiran 12. Gambar alat uji ketebalan lapisan



Lampiran 13. Gambar Timbangan Elektrik



Lampiran 14. Rumus dan penurunannya

Rumus mencari CPR dalam satuan $\frac{mm}{year}$

$$CPR = \frac{w}{\rho \cdot A \cdot t} = \frac{mgr}{\frac{gr}{cm^3} \times cm^2 \times jam}$$

$$= \frac{1}{1000} \frac{gr}{\frac{gr}{cm} \times 8760}$$

$$= \frac{1 cm}{1 year} \frac{8760}{8760}$$

$$= \frac{1 cm}{1000} \times \frac{8760}{1 year}$$

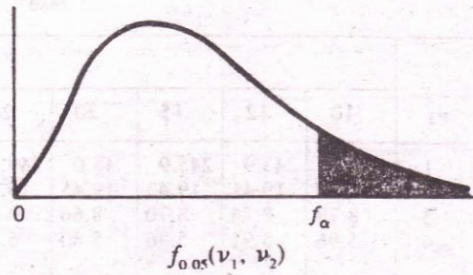
$$= \frac{8,760 cm}{year}$$

$$= 87,6 \frac{mm}{year}$$

Maka $CPR = \frac{87,6 \cdot w}{\rho \cdot A \cdot t}$ (mmpy)

Lampiran 15. Tabel Nilai Kritik Sebaran F

TABEL A.7
Nilai Kritik Sebaran F



ν_2	ν_1								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88

*Direproduksi dari Tabel 18 *Biometrika Tables for Statisticians*, Vol. I, dengan izin dari E. S. Pearson dan Biometrika Trustees.

Sumber: Wapole, 1992: 473

Lampiran 16. Sifat-sifat Nikel

Tabel 2.1³

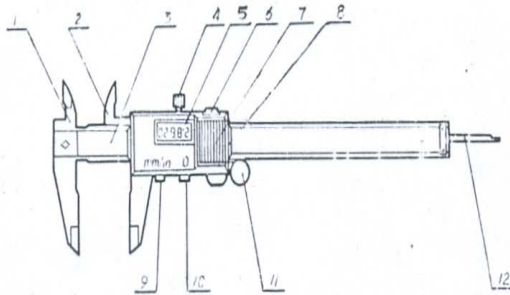
Sifat-sifat nikel

Sifat	Nilai
Berat atom	58,71
Struktur kristal	fcc
Konstanta lattice pada 25°C	0,35238 nm
Titik lebur	1453 °C
Titik didih (dengan ekstrapolasi)	2732 °C
Kerapatan pada 20°C	8 908 g/cm ³
Panas spesifik pada 20°C	0,44 kJ/(kg.K)
Koefisien pemuaian rata-rata (dalam $\mu\text{m}/^\circ\text{C}$)	
pada 20-100°C	13,3
pada 20-300°C	14,4
pada 20-500°C	15,2
Konduktivitas panas (dalam W/(m.K))	
pada 100°C	82,8
pada 300°C	63,6
pada 500°C	61,9
Hambatan listrik pada 20°C	6,97 $\mu\Omega$.cm
Koefisien hambatan panas pada 0-100°C	0,0071 $\mu\Omega$.cm/°C
Suhu Curie	353°C
Magnetisasi saturasi	0,617 T
Magnetisasi residual	0,300 T
Gaya koersif	239 A/m ²
Permeabilitas awal	0,251 mH/m
Permeabilitas maksimal	2,51-3,77
Modulus elastisitas	
Rapatan	206 x 10 ³ MPa
Regangan	73,6 x 10 ³ MPa
Rasio Poisson	0,3
Reflektivitas (dalam %)	
pada 0,3 μm	41
pada 0,55 μm	64
pada 3,00 μm	87
emisifitas total (dalam $\mu\text{W}/\text{m}^2$)	
pada 20°C	45
pada 100°C	60
pada 500°C	120
pada 1000°C	190

³ Kirk-Othmer. *Encyclopedia of Chemical Technology*. (John Wiley & Sons, 1978)

Lampiran 17. Spesifikasi Jangka Sorong

INSTRUCTURE SKETCH



- | | |
|-----------------------|-----------------------------------|
| 1. Beam | 7. Battery Lid |
| 2. Slider | 8. Dust Wiper |
| 3. Scale | 9. Metric / Inch Selection Button |
| 4. Locking Screw | 10. Zero Setting Button |
| 5. LCD Display | 11. Fine Adjusting Thumb Wheel |
| 6. Data Interface Lid | 12. Depth Measuring Rod |

SPECIFICATIONS AND FUNCTIONS

* Measuring Range & Accuracy		* Resolution	* Measuring System
Measuring Range	Accuracy	0.01mm; 0.0005in	Linear Capacitive Measuring System
0-150mm	0-200mm 0.03mm	* Repeatability	* Base Measuring Function
0-6"	0-8" 0.001"	0.01mm; 0.0005in	Inside, Outside, Depth and Step Measurements;
0-200mm	>200-300mm 0.04mm	* Maximum Measuring Speed	* Display
0-8"		1.5m / sec; 60in / sec	LCD Display, minus sign "-" and 5 digits. Small digit "5" and "IN" sign for inch measuring unit.
0-300mm	>8"-12" 0.0015"	* Operating Temperature	* Power
0-12"		0-+40°C	One battery, 1.55v silver oxide (SR44w), for 12 months of continuous use.
		* Storage Temperature	* Data Output
		-20 -- +70°C	Serial output for interface with host computer or printer.
			* Humidity Limits
			Within 0 to 80% of relative humidity