

**PENGARUH RAPAT ARUS DAN WAKTU *PICKLING* TERHADAP  
KEKASARAN PERMUKAAN HASIL *NICKEL ELECTROPLATING*  
PADA BAJA AISI 1045**

**SKRIPSI  
Konsentrasi Teknik Produksi**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**Disusun oleh:**

**ANDI SETIAWAN  
NIM. 0610620022-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2010**

## LEMBAR PERSETUJUAN

### PENGARUH RAPAT ARUS DAN WAKTU *PICKLING* TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN HASIL *NICKEL ELECTROPLATING* PADA BAJA AISI 1045

#### SKRIPSI KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**ANDI SETIAWAN**  
**NIM. 0610620022-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Ir. Tjuk Oerbandono, MSc.,CSE**  
**NIP. 19670923 199303 1 002**

**Ir. Agustinus Ariseno, MT**  
**NIP. 19510822 198701 1 001**

## LEMBAR PENGESAHAN

### PENGARUH RAPAT ARUS DAN WAKTU *PICKLING* TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN HASIL *NICKEL ELECTROPLATING* PADA BAJA AISI 1045

#### SKRIPSI KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

**ANDI SETIAWAN**  
**NIM. 0610620022-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
tanggal 15 Desember 2010

Skripsi I

Skripsi II

**Ir. Saifuddin Baedowie**  
**NIP. 19460703 197009 1 001**

**Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng., Ph.D.**  
**NIP. 19590703 198303 1 002**

Komprehensif

**Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT**  
**NIP. 19591128 198710 1 001**

Mengetahui  
Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

## PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas berkat rahmat-Nyalah penyusunan skripsi dengan judul "Pengaruh Rapat Arus dan Waktu *Pickling* terhadap Kekasaran Permukaan Hasil *Nickel Electroplating* Pada Baja AISI 1045" ini dapat terselesaikan dengan baik guna memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik.

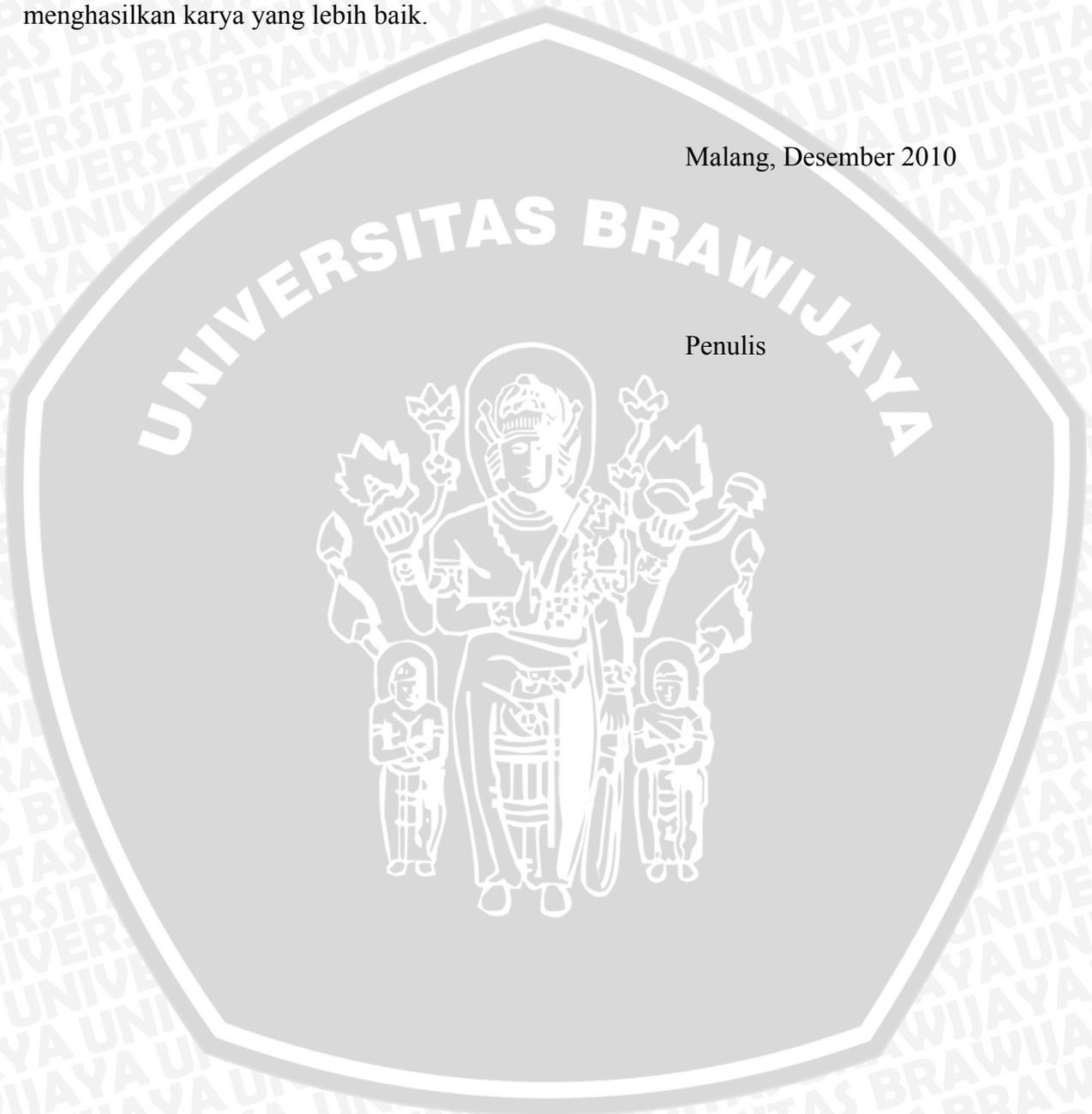
Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan tak lepas dari bantuan, petunjuk dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dalam penyusunan skripsi ini, yaitu:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Dr. Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, MSc.,CSE, selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Teknik Produksi.
4. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, MSc.,CSE, dan Bapak Ir. Agustinus Ariseno, MT,selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, petunjuk dan saran dalam penyusunan skripsi ini.
5. Ayah dan ibu tercinta yang telah memberikan dukungan dan do'a untuk menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
6. Kedua kakakku tercinta Riya Irawati dan Aning Palupi atas dorongan dan semangatnya, serta Afidatun Nadziroh yang telah setia menemaniku dalam penyusunan skripsi ini.
7. Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Universitas Brawijaya khususnya angkatan 2006 yang secara langsung maupun tidak langsung membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Teman seperjuanganku (Rifqi, Dikky, Sri) terima kasih atas pemikirannya yang sedikit banyak telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.
9. Keluarga besar Kertosentono 31 (Febry, Dony, Aridy, Rama, Arifin, Adjie), terimakasih atas dukungannya.
10. Serta semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak memungkinkan penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan skripsi ini masih sangat jauh dari sempurna, maka dari itu penulis sangat mengharapkan masukan, saran dan kritik dari berbagai pihak. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan juga bagi pembaca pada umumnya. Tidak ada yang sempurna dalam setiap karya manusia, tapi justru itulah yang membuat manusia berpikir untuk menghasilkan karya yang lebih baik.

Malang, Desember 2010

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	viii
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	ix
<b>RINGKASAN</b> .....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	3
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	3
2.2 <i>Pickling</i> .....	4
2.2.1. Larutan Asam pada Proses <i>Pickling</i> .....	5
2.2.2. Rapat arus <i>Pickling</i> .....	6
2.2.3. Waktu <i>Pickling</i> .....	7
2.2.4. Cacat Akibat <i>Pickling</i> .....	7
2.3 Pelapisan Logam Secara <i>Electroplating</i> .....	8
2.3.1. Reaksi ionisasi pada proses <i>nickel electroplating</i> .....	9
2.4 Hubungan Hukum Faraday dengan <i>Electroplating</i> .....	11
2.5 Elemen Sel <i>Electrolytic</i> Pada <i>Nickel Electroplating</i> .....	12
2.5.1. <i>Electrolyte</i> .....	12
2.5.2. Pengaliran Arus .....	13
2.5.1. Elektroda .....	13
2.6 Elektrolisis .....	14
2.7 Baja .....	15
2.8 Permukaan dan Profil .....	16

2.9	Kekasaran permukaan logam hasil <i>nickel electroplating</i> .....	17
2.10	Parameter permukaan .....	17
2.11	Uji Kekasaran .....	18
2.12	Hipotesis .....	19

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN** .....

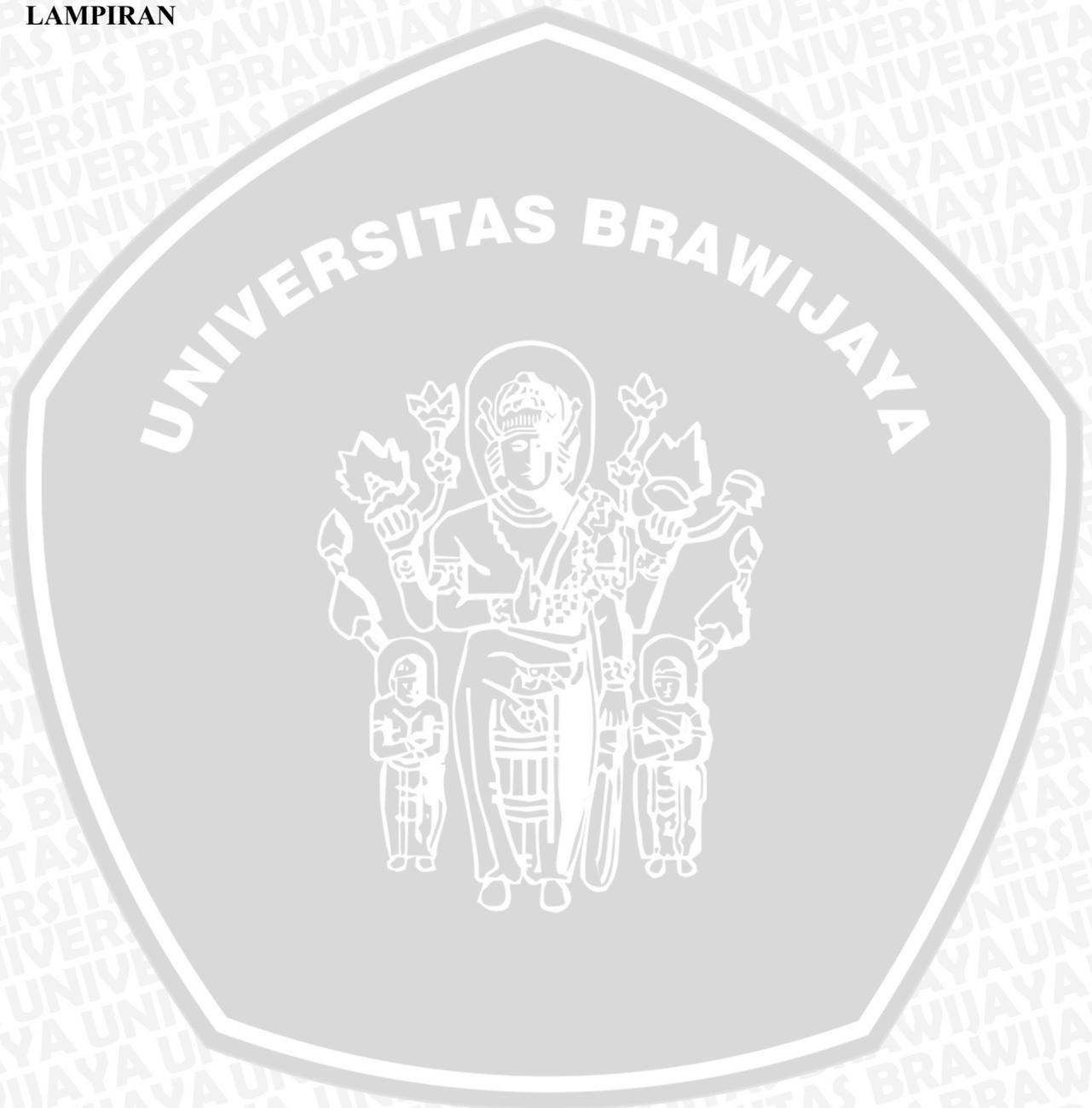
3.1	Metode Penelitian .....	20
3.2	Variabel Penelitian .....	20
3.3	Waktu dan Tempat Penelitian .....	21
3.4	Alat dan Bahan Penelitian .....	21
	3.4.1. Alat Penelitian .....	21
	3.4.2. Bahan Penelitian .....	24
3.5	Prosedur Penelitian .....	26
3.6	Metode Pengukuran Data .....	26
3.7	Rancangan Penelitian .....	27
3.8	Rancangan Pengolahan Data .....	28
	3.8.1. Analisis Varian Dua Arah .....	28
	3.8.2. Uji Kecukupan Data .....	31
3.9	Diagram Alir Penelitian .....	32

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN** .....

4.1	Data Hasil Pengujian .....	33
4.2	Pengolahan Data .....	34
	4.2.1. Analisis Varian Dua Arah .....	34
	4.2.2. Uji Kecukupan Data .....	38
4.3	Grafik dan Pembahasan .....	39
	4.3.1. Analisa Grafik Hubungan Rapat Arus <i>Pickling</i> terhadap Kekasaran Permukaan Baja AISI 1045 Hasil <i>Nickel</i> <i>Electroplating</i> .....	39
	4.3.2. Analisa Grafik Hubungan Waktu <i>Pickling</i> terhadap Kekasaran Permukaan Baja AISI 1045 Hasil <i>Nickel</i> <i>Electroplating</i> .....	41

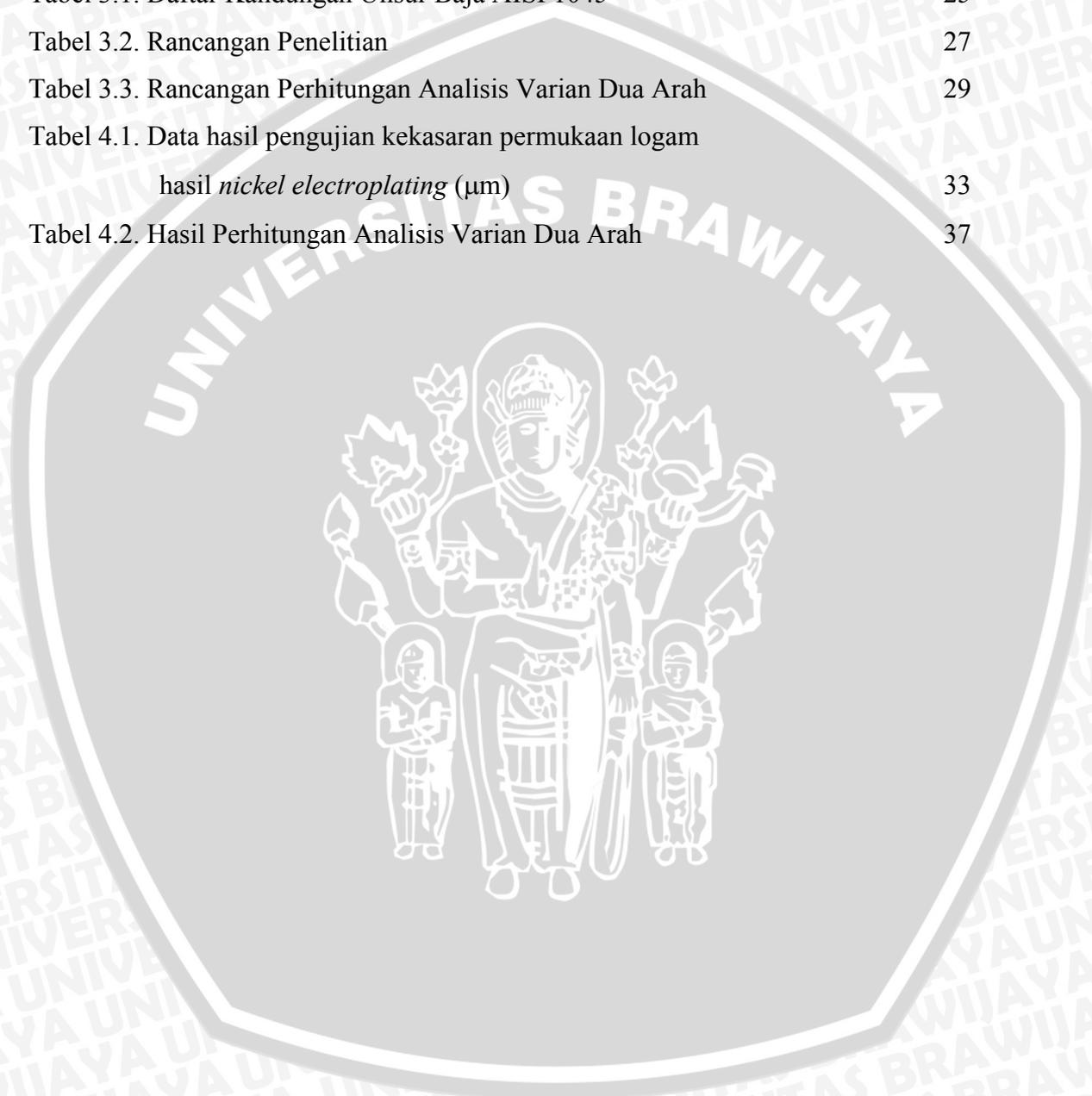
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	43
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran.....	43

**DAFTAR PUSTAKA**  
**LAMPIRAN**



## DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Tingkatan-Tingkatan Lapisan Oksida pada Baja	4
Tabel 2.2.	Komposisi dan Kondisi Operasional Larutan <i>Electroplating</i>	14
Tabel 3.1.	Daftar Kandungan Unsur Baja AISI 1045	25
Tabel 3.2.	Rancangan Penelitian	27
Tabel 3.3.	Rancangan Perhitungan Analisis Varian Dua Arah	29
Tabel 4.1.	Data hasil pengujian kekasaran permukaan logam hasil <i>nickel electroplating</i> ( $\mu\text{m}$ )	33
Tabel 4.2.	Hasil Perhitungan Analisis Varian Dua Arah	37

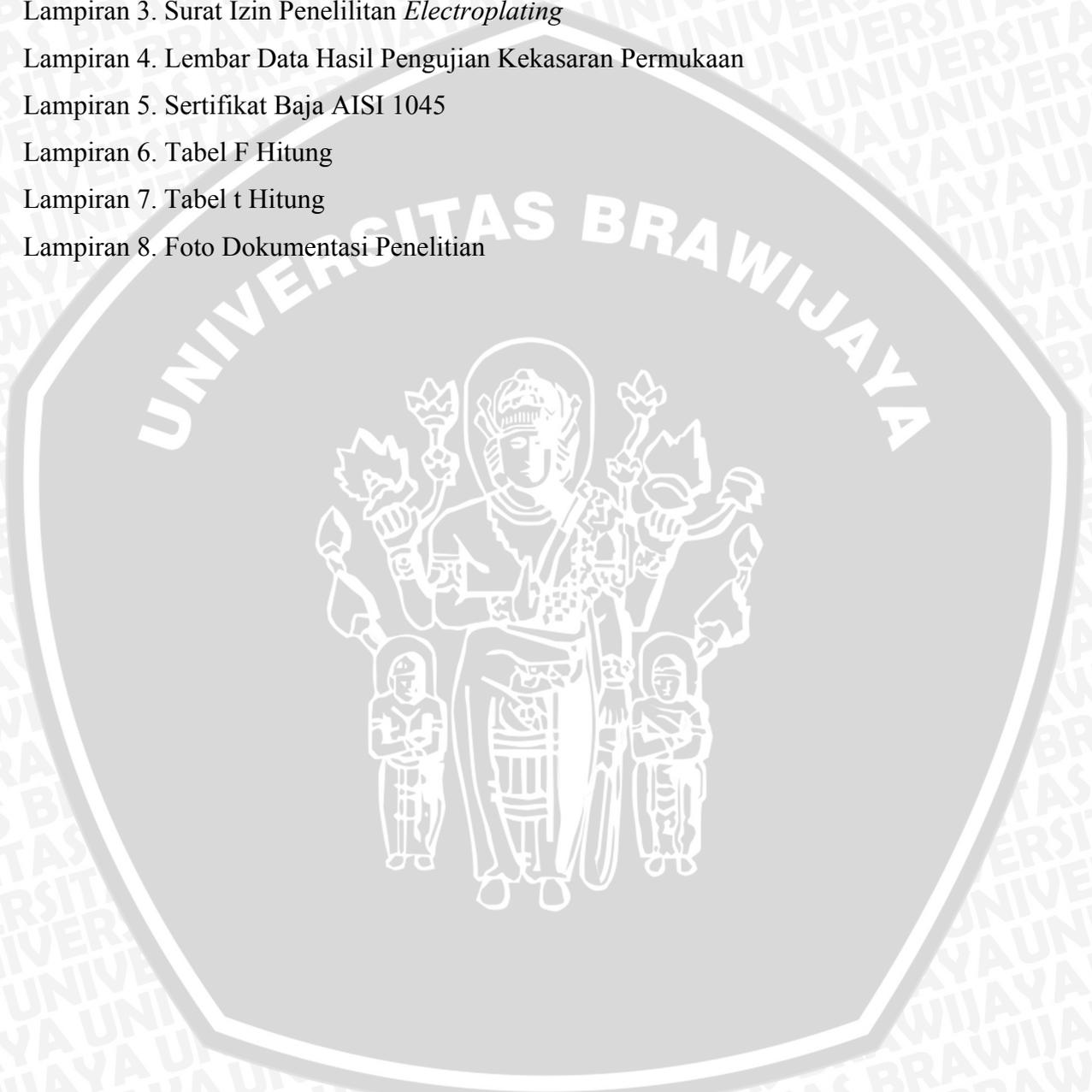


## DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Proses <i>electrolytic pickling</i>	6
Gambar 2.2	Proses <i>electroplating</i>	9
Gambar 2.3	Tingkatan profil permukaan	17
Gambar 2.4	Posisi dan Profil untuk Satu Panjang Sampel	18
Gambar 2.5	Alat Ukur Kekasaran Permukaan	25
Gambar 3.1	Instalasi <i>pickling</i>	21
Gambar 3.2	Instalasi <i>electroplating</i>	22
Gambar 3.3	<i>Sentrifugal sand machine</i>	23
Gambar 3.4	<i>Stopwatch</i>	23
Gambar 3.5	<i>Termocontrol</i>	24
Gambar 3.6	<i>Portable Surface Roughness Tester</i> Mitutoyo Surftest Sj – 301	24
Gambar 3.7	Spesimen Uji	25
Gambar 3.8	Timbal (Pb)	26
Gambar 3.9	Diagram Alir	32
Gambar 4.1	Grafik hubungan rapat arus <i>pickling</i> terhadap kekasaran permukaan baja AISI 1045 hasil <i>nickel electroplating</i>	39
Gambar 4.2	Foto makro spesimen baja AISI 1045 dengan peningkatan rapat arus <i>pickling</i> (perbesaran 60 x)	40
Gambar 4.3	Grafik hubungan waktu <i>pickling</i> terhadap kekasaran permukaan baja AISI 1045 hasil <i>nickel electroplating</i>	41
Gambar 4.2	Foto makro spesimen baja AISI 1045 dengan peningkatan waktu <i>pickling</i> (perbesaran 60 x)	42

## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	Foto Spesimen Baja AISI 1045
Lampiran 2.	Foto Makro Spesimen Baja AISI 1045
Lampiran 3.	Surat Izin Penelilitan <i>Electroplating</i>
Lampiran 4.	Lembar Data Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan
Lampiran 5.	Sertifikat Baja AISI 1045
Lampiran 6.	Tabel F Hitung
Lampiran 7.	Tabel t Hitung
Lampiran 8.	Foto Dokumentasi Penelitian



## DAFTAR SIMBOL

Besaran Dasar	Satuan dan Singkatannya	Simbol
Berat	gram (gr)	w
Arus	Ampere (A)	I
Jumlah elektron valensi	elektron valensi	z
Berat atom	gram per mol (gr/mol)	A
Bilangan Faraday	96500 Coulomb per mol (96500 Coulomb/mol)	F
Waktu	sekon (s)	t
Rapat Arus	Ampere per dm kuadrat ( $A/dm^2$ )	CD
Temperatur	derajat Celcius ( $^{\circ}C$ ) atau Kelvin (K)	T
Panjang	meter (m)	L
Luas	meter kuadrat ( $m^2$ )	A



## RINGKASAN

**Andi Setiawan**, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, Desember 2010, *Pengaruh Rapat Arus dan Waktu Pickling terhadap Kekasaran Permukaan Hasil Nickel Electroplating Pada Baja AISI 1045*, Dosen Pembimbing: Tjuk Oerbandono dan Agustinus Ariseno.

Kekasaran permukaan adalah salah satu permasalahan penting dalam menentukan kualitas hasil *nickel electroplating*. Kekasaran logam hasil *nickel electroplating* dapat dipengaruhi oleh proses *pickling*. Proses *pickling* adalah proses pembersihan atau penghilangan lapisan oksida dari permukaan logam secara kimiawi dengan mencelupkan ke dalam larutan asam.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh rapat arus dan waktu *pickling* terhadap kekasaran permukaan logam hasil *nickel electroplating*. Pada penelitian ini dilakukan proses *pickling* dengan variasi rapat arus 2.94; 5.88; 8.82; 11.76 A/dm<sup>2</sup> dan waktu *pickling* 3; 6; 9 menit. Benda kerja yang digunakan pada penelitian ini adalah baja AISI 1045. Setelah proses *pickling*, dilakukan proses *nickel electroplating* dan dilanjutkan dengan pengambilan data kekasaran permukaan logam hasil *nickel electroplating*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rapat arus dan waktu *pickling* berpengaruh signifikan terhadap terhadap kekasaran permukaan baja AISI 1045 hasil *nickel electroplating*. Pada *pickling* 2.94 A/dm<sup>2</sup>, 3 menit memiliki tingkat rata - rata kekasaran yang paling rendah yaitu 1,006  $\mu$ m dan kekasaran maksimum terjadi pada rapat arus *pickling* 11.76 A/dm<sup>2</sup>, 9 menit yaitu sebesar 2,223  $\mu$ m. Semakin besar rapat arus pada proses *pickling* maka kekasaran permukaan baja AISI 1045 hasil *nickel electroplating* semakin meningkat dan semakin lama waktu *pickling* juga menyebabkan kekasaran permukaan baja AISI 1045 hasil *nickel electroplating* meningkat.

Kata kunci: *nickel electroplating*, *pickling*, rapat arus *pickling*, waktu *pickling*, kekasaran permukaan, baja AISI 1045.

## SUMMARY

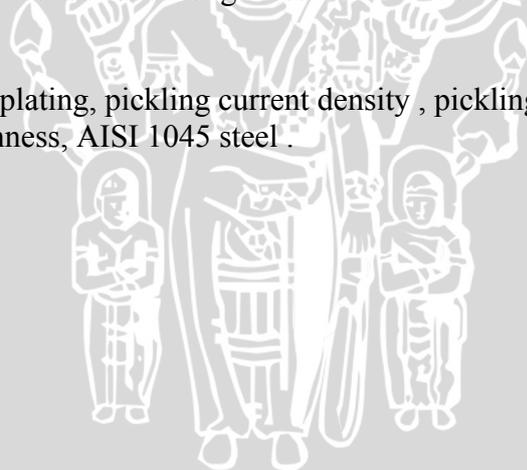
**Andi Setiawan**, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya Malang, December 2010, *Effect of Current Density and Pickling Time on Surface Roughness Product of Nickel Electroplating in AISI 1045 Steel*, Academic Supervisor : Tjuk Oerbandono dan Agustinus Ariseno.

Surface roughness is important problem to determine quality product in nickel electroplating. Surface roughness in electroplating can be influenced by pickling process. Pickling process is the process cleaning or dissolve oxide scale with chemical process to immersed the specimen in acid aqueous.

The purpose of this study is to know the effect of current density and pickling time on surface roughness product of nickel electroplating. On this study, take the process pickling with the variation current density 2.94; 5.88; 8.82; 11.76 A/dm<sup>2</sup> and pickling time 3; 6 ;9 minutes. The specimen that use in this research is AISI 1045 steel. After pickling process, furthermore the next step is nickel electroplating process, and at last step to take value of surface roughness the metal product *nickel electroplating*.

Result of research that current density and pickling time get significant effect on surface roughness in AISI 1045 steel product of nickel electroplating. At pickling process 2.94 A/dm<sup>2</sup>, 3 minutes has minimum roughness value that 1,006 μm, whereas maximum roughness value happened at pickling process 11.76 A/dm<sup>2</sup>, 9 minutes that 2,223μm. The more high current density in pickling process so surface roughness AISI 1045 steel product of nickel electroplating the more increase and too long time in pickling process also cause surface roughness AISI 1045 steel product of nickel electroplating increase.

Key words: nickel electroplating, pickling current density , pickling time, surface roughness, AISI 1045 steel .



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi saat ini terjadi dengan sedemikian pesat. Salah satu teknologi yang sedang berkembang adalah teknologi pelapisan permukaan logam *electroplating*. *Electroplating* merupakan salah satu proses pelapisan pada permukaan logam yang memiliki keunggulan, yaitu dapat memperbaiki sifat mekanik bahan tanpa mengubah sifat fisik dan mekanik asli dari bahan yang dilapisi serta dapat dikontrol tingkat ketebalan lapisannya dengan beberapa variasi. Tujuan dilakukan *electroplating* antara lain untuk penampilan (bagus, kilap, cemerlang), perlindungan terhadap korosi, dan meningkatkan sifat mekanis tertentu (Hartomo, 1992:25).

Kekasaran permukaan logam hasil pelapis merupakan salah satu parameter utama untuk menilai keberhasilan proses *electroplating*. Kekasaran permukaan dalam pengertian praktis adalah ketidakaturan konfigurasi permukaan yang bisa berupa guratan atau kawah kecil pada permukaan.

Salah satu faktor yang menyebabkan hasil *electroplating* yang kasar adalah pada saat proses pembersihan material dengan asam sebelum proses *electroplating* atau disebut dengan proses *pickling*. Tujuan dilakukan proses *pickling* agar material yang akan dilapisi bebas dari lapisan oksida. Namun proses *pickling* yang berlebih menyebabkan material induk ikut teroksidasi oleh larutan asam sehingga menyebabkan permukaannya menjadi kasar. Permukaan benda kerja sebelum proses *electroplating* yang kasar akan menghasilkan permukaan hasil *electroplating* yang kasar pula.

Andriansyah (2004) melakukan penelitian mengenai temperatur dan konsentrasi larutan asam sulfat pada proses *pickling* terhadap kekasaran permukaan logam hasil *nickel electroplating*, menyimpulkan bahwa kekasaran permukaan logam meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur dan konsentrasi larutan asam pada proses *pickling*. Nilai kekasaran permukaan logam hasil *nickel electroplating* terendah pada temperatur 50 °C dan konsentrasi larutan asam pada proses *pickling* dan konsentrasi larutan asam pada proses *pickling* 5% dengan nilai kekasaran rata – rata 0,068 µm.

Berdasarkan penjelasan tersebut maka perlu lebih diteliti mengenai proses *pickling* yang sangat menentukan pada logam hasil *nickel electroplating*. Variabel yang diteliti dalam penelitian ini adalah rapat arus dan waktu *pickling* pada proses *nickel*

*electroplating* pada larutan *watts* untuk mendapatkan pengaruhnya terhadap kekasaran permukaan logam hasil pelapisan.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang ada maka dapat dibuat rumusan permasalahan sebagai berikut :

Bagaimanakah pengaruh rapat arus dan waktu *pickling* terhadap kekasaran permukaan hasil *nickel electroplating* pada baja AISI 1045?

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Pickling* menggunakan larutan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) dengan konsentrasi larutan asam 10 %.
2. Larutan yang digunakan pada proses *electroplating* adalah larutan *watts* yaitu campuran antara *nickel sulfate* ( $NiSO_4$ ), *nickel chloride* ( $NiCl_2$ ) dan *boric acid* ( $H_3BO_3$ ).
3. Baja AISI 1045 digunakan sebagai logam yang akan dilakukan proses *electroplating*, karena baja ini memiliki kekuatan tarik, ketahanan aus dan kekerasan yang baik.
4. Pembahasan difokuskan pada kekasaran permukaan baja hasil proses *nickel electroplating*.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pengaruh rapat arus dan waktu *pickling* terhadap kekasaran permukaan hasil *nickel electroplating*.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai referensi tentang pengaruh variasi rapat arus dan waktu *pickling* terhadap kekasaran permukaan hasil *nickel electroplating*.
2. Menjadi dasar acuan sehingga dapat dilakukan penelitian selanjutnya.
3. Memberi tambahan pengetahuan tentang manfaat dari pelapisan logam.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Penelitian Sebelumnya

- Andriansyah (2004) melakukan penelitian mengenai pengaruh temperatur dan konsentrasi larutan asam pada proses *pickling* terhadap kekasaran permukaan logam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan temperatur dan konsentrasi larutan asam pada proses *pickling* akan mempengaruhi kekasaran permukaan logam hasil *electroplating*, dimana kenaikan temperatur dan konsentrasi larutan asam akan meningkatkan kekasaran permukaan logam hasil *nickel electroplating*. Dalam penelitian tersebut didapatkan nilai rata-rata kekasaran permukaan permukaan logam hasil *nickel electroplating* terendah yaitu 0,068  $\mu\text{m}$  yang dicapai pada temperatur 50 °C dan konsentrasi larutan asam 5%.
- Wiratama (2004), Pengaruh variasi waktu dan konsentrasi *pickling* terhadap laju korosi permukaan hasil *electroplating* nikel pada baja ST37. Dalam penelitian ini digunakan variasi bebas berupa konsentrasi  $\text{H}_2\text{SO}_4$  5%, 10%, 15%, 20% dan waktu *pickling* 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit. Sedangkan variabel terikatnya laju korosi yang diwakili oleh besarnya selisih massa lapisan. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan waktu dan konsentrasi *pickling* akan menurunkan laju korosi.

#### 2.2. *Pickling*

Baja setelah melalui proses pengerjaan panas dan mengalami pendinginan melalui media udara akan mengalami kontak secara langsung dengan oksigen ( $\text{O}_2$ ). Hal ini menyebabkan timbul lapisan oksida pada permukaan baja. Dalam hal ini terdapat tingkatan lapisan oksida yang terbentuk mulai bagian paling dalam sampai lapisan oksida bagian luar. Pada tabel 2.1 menjelaskan tingkatan – tingkatan lapisan oksida pada baja berdasarkan letak lapisan oksida.

Tabel 2.1 Tingkatan – tingkatan lapisan oksida pada baja

Rumus Senyawa	Nama Senyawa	Nama Oksida	Letak lapisan
FeO	Ferrous Oxide	Wustite (Iron Oxide)	Bagian dalam
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Ferrous Ferric Oxide	Magnetite	Bagian tengah
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ferric Oxide	Hematite (Rust)	Bagian luar

Sumber : ASM Handbook Vol 5, 1994;156

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adalah lapisan oksida yang terletak pada bagian paling luar dan sering disebut juga dengan karat. FeO adalah lapisan oksida yang terletak paling dalam dan mengalami kontak langsung dengan logam induk. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> merupakan lapisan oksida yang tipis sedangkan FeO merupakan lapisan oksida yang tebal dan sangat sulit dihilangkan. Lapisan oksida ini dapat menyebabkan terjadinya tegangan dalam dan cacat pada logam induk sendiri. Untuk menghilangkan lapisan oksida ini digunakan beberapa cara, salah satunya adalah dengan proses *pickling*.

Proses *pickling* adalah proses pembersihan atau penghilangan lapisan oksida dari permukaan logam secara kimiawi dengan mencelupkan ke dalam larutan asam. 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.

Pada proses pelapisan, proses *pickling* dilakukan sering dilakukan sebelum suatu logam dilapisi dengan logam pelapis (ASM Handbook Vol 5, 1994:156). Permukaan logam yang akan dilapisi harus bersih dari lapisan oksida karena akan berpengaruh terhadap 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.

### 2.2.1. Larutan Asam pada Proses *Pickling*

Proses *pickling* dapat menggunakan beberapa macam larutan asam diantaranya adalah asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), asam klorida ( $\text{HCl}$ ), dan asam nitrit ( $\text{HNO}_3$ ). Diantara ketiga larutan diatas asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) merupakan larutan yang paling sering dipakai. Asam sulfat berupa cairan kental yang tidak berwarna dan tidak berbau. Asam ini adalah asam kuat yang jika dilarutkan dalam air akan langsung terlarut untuk membentuk ion hidrogen dan sulfat. 100 % asam sulfat memiliki titik cair  $10,4\text{ }^\circ\text{C}$  –  $10,5\text{ }^\circ\text{C}$  dan titik didih  $290\text{ }^\circ\text{C}$ .

Beberapa keunggulan dari asam sulfat dibandingkan larutan lain adalah :

- Biaya lebih murah
- Mengandung ion aktif yaitu hidrogen dua kali lebih banyak sehingga *pickling* nya lebih efektif

Meskipun demikian penggunaan asam sulfat dalam proses *pickling* memiliki kelemahan, antara lain :

- Permukaan logam hasil *pickling* yang lebih gelap, terutama pada baja karbon tinggi

Jenis asam lain yang digunakan dalam proses *pickling* adalah asam klorida ( $\text{HCl}$ ). Asam klorida merupakan asam kuat dan sangat korosif. Asam klorida pekat tidak berwarna atau sedikit berwarna kuning dan asapnya berbau tajam. Penggunaan dalam proses *pickling* akan menghasikan permukaan abu-abu cerah dan mengurangi terjadinya *over pickling*.

Keuntungan dari penggunaan asam klorida ( $\text{HCl}$ ) sebagai larutan pada proses *pickling* antara lain adalah pencuciaannya lebih mudah yang dikarenakan ikatan kloridanya dan dibandingkan asam sulfat, asam ini lebih reaktif. Tetapi harga dari asam klorida di pasaran sangat mahal.

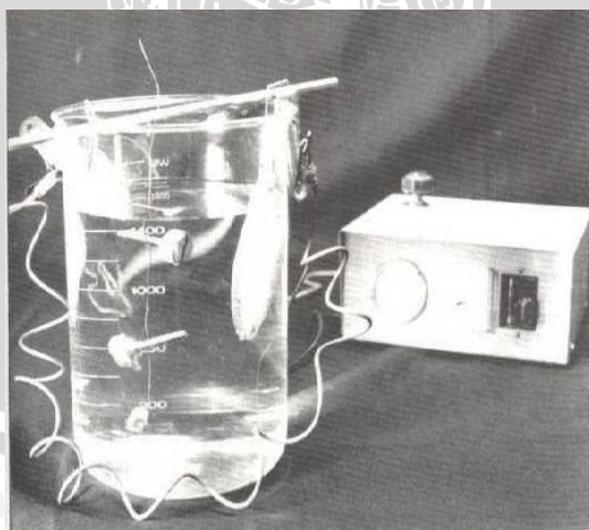
Pada saat *pickling* terjadi pelarutan dari oksida besi dan besinya sendiri. Contoh reaksi yang terjadi pada besi yang direndam dalam larutan asam sulfat adalah sebagai berikut :



### 2.2.2. Rapat arus *Pickling*

Penggunaan rapat arus dalam proses *pickling* dikenal dengan proses *electrolytic pickling*. *Electrolytic pickling* digunakan untuk menghilangkan lapisan oksida dan kerak yang sulit dihilangkan yang terdapat pada permukaan logam. Proses ini mirip dengan proses elektrolisis dimana terdapat kutub positif (anoda), kutub negatif (katoda) dan larutan elektrolit sebagai penghantar arus. Anoda yang sering digunakan pada proses *electrolytic pickling* adalah logam yang tidak larut jika terkena kontak dengan asam, sehingga anoda hanya berfungsi sebagai penghantar arus positif saja. Logam ini dapat berupa platina, timbal, karbon (*graphite*). Sedangkan katoda merupakan benda atau spesimen yang akan *dipickling*

Larutan elektrolit berupa asam kuat, dengan adanya arus listrik menyebabkan asam mengalami proses elektrolisis sehingga menghasilkan gas hidrogen ( $H_2$ ). Gas hidrogen ( $H_2$ ) akan menekan lapisan oksida sehingga lapisan oksida tersebut akan terlepas dari logam induk. Larutan asam yang digunakan pada proses *pickling* antara lain asam sulfat, asam klorid, asam nitrid atau campuran dari larutan tersebut. Proses *electrolytic pickling* adalah dengan mencelupkan logam yang akan dilakukan proses *pickling* dengan larutan asam dan memberikan arus kurang dari  $1075 A/m^2$  (ASM Handbook Vol 5,1994:181). Pada gambar 2.1 menjelaskan rangkaian instalasi proses *electrolytic pickling*.



Gambar 2.1 Proses *electrolytic pickling*  
Sumber : Poyner, 1991: 30

Dengan adanya rapat arus akan mempercepat laju reaksi oksidasi sehingga gas  $H_2$  yang timbul juga semakin banyak sehingga semakin mudah gas  $H_2$  masuk pada celah lapisan oksida. Beberapa keuntungan dari penggunaan rapat arus dalam proses *pickling* adalah mampu menghilangkan lapisan oksida yang kuat dan sulit dihilangkan. Selain itu dapat membersihkan lapisan oksida dan endapan pada permukaan logam lebih cepat dengan waktu yang relatif lebih singkat.

### 2.2.3. Waktu *Pickling*

Waktu *pickling* dapat mempengaruhi proses penghilangan lapisan oksida pada permukaan logam. Semakin lama waktu *pickling*, maka semakin banyak waktu bagi larutan asam untuk bereaksi dengan lapisan oksida, sehingga semakin banyak lapisan oksida yang akan terlepas dari logam induk (Fontana, 1986:30). Akan tetapi proses oksidasi yang berlebihan dapat menimbulkan *over pickling* dan banyak logam induk yang bereaksi dengan larutan asam. Akibatnya permukaan logam menjadi kasar. Pada proses *electroplating*, waktu *pickling* yang digunakan adalah antara 1-10 menit (ASM Handbook Vol 5, 1994:156).

### 2.2.4. Cacat Akibat *Pickling*

Beberapa kesalahan pada proses *pickling* dapat menyebabkan terjadinya cacat pada permukaan logam. Jenis – jenis cacat tersebut adalah sebagai berikut (ASM Handbook Vol 5, 1994:182) :

#### 1. *Under Pickling*

*Under pickling* terjadi jika waktu untuk proses *pickling* terlalu singkat, komposisi dan temperatur larutan tidak terkontrol sehingga masih tersisa lapisan oksida dan kotoran pada permukaan logam.

#### 2. *Over pickling*

Ciri – ciri cacat *over pickling* adalah :

- Menyebabkan porositas yang terjadi sepanjang permukaan logam.
- Menimbulkan permukaan yang logam menjadi kasar.
- Ditandai dengan perubahan warna, berkurangnya ukuran dan berat

Cacat *over pickling* dapat dicegah dengan memindahkan material dari larutan *pickling* secara tepat ketika proses telah selesai.

### 3. *Pitting*

*Pitting* adalah jenis cacat permukaan logam yang sering terjadi akibat inklusi benda non logam dan kotoran pada baja yang diperlakukan panas dan tempa. *Pitting* bisa juga disebabkan oleh *over pickling*.

## 2.3 Pelapisan Logam Secara *Electroplating*

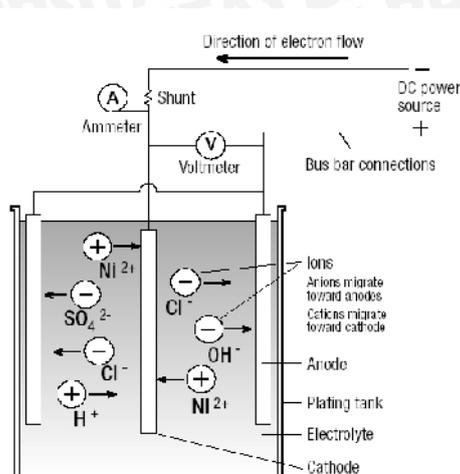
Salah satu cara untuk memperbaiki sifat permukaan logam adalah dengan menggunakan logam sebagai bahan pelapis. Lapisan logam merupakan penghalang yang sinambung antara permukaan logam dan lingkungan sekitarnya (Chamberlain, 1991:269).

Sifat – sifat ideal bahan pelapis dari logam 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.

*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.

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



Gambar 2.2 Proses *electroplating*  
 Sumber : Whittington, 2002: 6

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).

### 2.3.1. Reaksi ionisasi pada proses *nickel electroplating*

Pada proses *nickel electroplating* terjadi penguraian ion – ion larutan elektrolit oleh arus listrik searah dari anode ke katoda. Pada proses *nickel electroplating* terjadi proses ionisasi pada larutan  $\text{NiSO}_4$  dan  $\text{NiCl}_2$ . Sedangkan pada  $\text{H}_3\text{BO}_3$  karena termasuk asam lemah maka tidak terjadi proses ionisasi.  $\text{H}_3\text{BO}_3$  disini hanya berfungsi sebagai penyangga larutan, sehingga ketiga campuran dari larutan tersebut dapat terjaga tingkat keasamannya pada pH 2 – 4,5 . Reaksi ionisasi pada larutan elektrolit  $\text{NiSO}_4$  dan  $\text{NiCl}_2$  adalah :



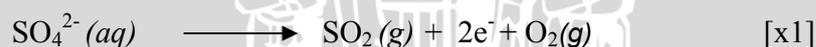


Pada anoda terjadi reaksi oksidasi, yaitu anion (ion negatif) ditarik oleh anoda dan jumlah elektronnya berkurang sehingga bilangan oksidasinya bertambah. Pada anoda reaksi terjadi tergantung dari jenis elektroda yang dipakai, apakah elektroda terlarut atau elektroda tidak terlarut. Sedangkan pada katoda terjadi reaksi reduksi, yaitu kation (ion positif) ditarik oleh katoda dan menerima tambahan elektron, sehingga bilangan oksidasinya berkurang. Akibatnya pada katoda terjadi pengendapan *nickel* oleh kation larutan elektrolit (Ni).

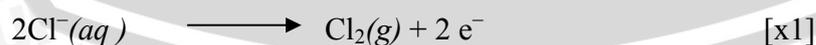
a). Anoda terlarut (non inert)

Anoda terlarut cenderung bertindak memperbaiki larutan. Kekurangan dari anoda terlarut terletak pada sifatnya yang cenderung tidak murni, sehingga dapat mengakibatkan endapan dalam larutan (mengganggu proses plating). Pada anoda yang terlarut (Ni), anoda mengalami reaksi oksidasi yaitu terjadi pelarutan *nickel*. Selain itu anion ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) dari larutan  $\text{NiSO}_4$  akan ikut teroksidasi. Karena  $\text{SO}_4^{2-}$  mengalami kontak dengan panas maka  $\text{SO}_4^{2-}$  akan mengurai menjadi gas  $\text{SO}_2$  dan gas  $\text{O}_2$ .

Pada larutan elektrolit  $\text{NiSO}_4$  :



Pada larutan elektrolit  $\text{NiCl}_2$  :



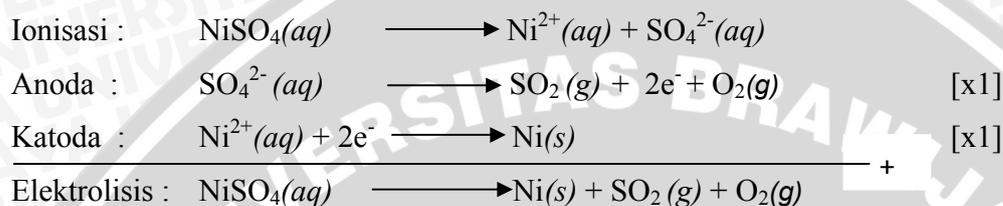
Reaksi elektrolisis total adalah :



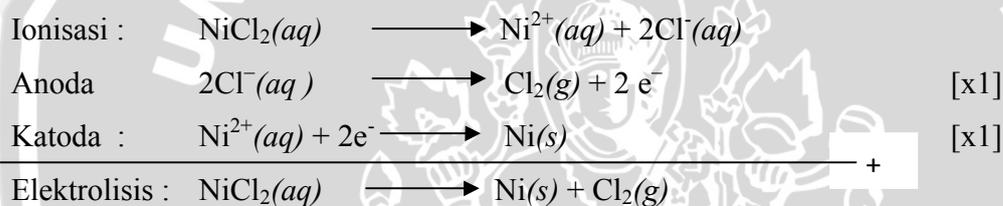
b). Anoda tidak terlarut (inert)

Ada banyak keuntungan dari anoda tidak terlarut, diantaranya tidak ada endapan yang ditimbulkan dari anoda, tidak memerlukan pengontrolan, dan tidak akan berubah baik ukuran maupun bentuknya. Anoda yang tidak terlarut misalkan Timbal (Pb), platina (Pt) reaksi oksidasi dilakukan oleh anion dari elektrolit ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) dan ( $\text{Cl}^-$ ). Karena  $\text{SO}_4^{2-}$  mengalami kontak dengan panas maka  $\text{SO}_4^{2-}$  akan mengurai menjadi  $\text{SO}_2^{2-}$  dan gas  $\text{O}_2$ .

Pada larutan elektrolit  $\text{NiSO}_4$  :



Pada larutan elektrolit  $\text{NiCl}_2$  :



Reaksi elektrolisis total adalah :



#### 2.4 Hubungan Hukum Faraday dengan *Electroplating*

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

1. Berat dari logam yang diendapkan ( $w$ ) pada saat berlangsung proses elektrolisis berbanding lurus dengan jumlah kuat arus ( $I$ ) dan waktu pengaliran arus ( $t$ ) dalam suatu larutan elektrolit.
2. Untuk jumlah arus yang sama, berat dari logam yang diendapkan berbanding lurus dengan ekivalen kimianya (asumsi efisiensi arus 100%).

Pernyataan diatas dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$w = \frac{I \times t \times A}{z \times F} (\text{gr}) \dots\dots\dots (\text{Hartomo, 1992:12}). \quad (2.1)$$

dengan:

$$w = \text{berat logam yang diendapkan (gr)}$$



$I$  = arus yang digunakan (Ampere )

$A$  = berat atom (gr/mol)

$z$  = Jumlah elektron valensi

$t$  = waktu (s)

$F$  = bilangan Faraday = 96500 Coulomb / mol

## 2.5 Elemen Sel *Electrolytic* Pada *Nickel Electroplating*

### 2.5.1. *Electrolyte*

*Electrolyte* adalah komposisi kimia yang akan terpisah menjadi ion – ion apabila hasil pemisahan ini menjadikan larutan tersebut bersifat sebagai penghantar listrik. Fungsi *electrolyte* disini adalah sebagai penghantar arus dan penambah ion logam pelapis. Oleh karena itu larutan *electrolyte* harus mengandung logam pelapis, misalnya untuk *nickel electroplating* maka *electrolyte* yang digunakan juga harus mengandung nikel juga.

Macam macam larutan yang digunakan dalam *nickel electroplating* adalah larutan *watts*, *sulphamate*, *fluoborate* dan *hard nickel* . Larutan ini digunakan dalam pelapisan untuk tujuan dekoratif, *engineering* maupun *electroforming*.

Pada tabel 2.2 menjelaskan komposisi dan kondisi operasional dalam penggunaan beberapa larutan *electroplating*.

Tabel 2.2 Komposisi dan Kondisi Operasional Larutan *Electroplating*

Electrolyte composition (g/l)	Watts nickel	Nickel sulfamate	Typical semibright bath
Nickel sulfate	225 to 400	...	300
Nickel sulfamate	...	300 to 450	...
Nickel chloride	30 to 60	0 to 30	35
Boric acid	30 to 45	30 to 45	45
Operating conditions			
Temperature, °C	44 to 66	32 to 60	54
Agitation	Air or mechanical	Air or mechanical	Air or mechanical
Cathode current density, A/dm <sup>2</sup>	3 to 11	0.5 to 30	3 to 10
pH	2 to 4.5	3.5 to 5.0	3.5 to 4.5

Sumber : ASM Handbook Vol 5, 1994;746

Larutan *watts* merupakan larutan yang paling sering digunakan pada proses *nickel electroplating*. Hal ini dikarenakan larutan *watts* ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan larutan *electroplating* yang lain, antara lain :

1. Membentuk deposit *nickel* yang melekat kuat pada material yang dilapisi.
2. Konduktivitas larutan yang baik.
3. Sederhana dan mudah digunakan.
4. Harganya Relatif murah.

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

1. *Nickel sulfat* ( $\text{NiSO}_4$ ) yaitu sumber utama ion *nickel* dalam larutan untuk pelapisan.
2. *Nickel chloride* ( $\text{NiCl}_2$ ) untuk memasok *chloride* agar konduktivitas dari *plating bath* terjaga dan meningkatkan distribusi keseragaman serta ketebalan lapisan.
3. *Boric acid* ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) yaitu digunakan sebagai buffer yang berguna untuk mengontrol pH larutan.

### 2.5.2. Pengaliran Arus

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

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

### 2.5.3 Elektroda

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

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. Menghantarkan arus listrik pada elektrolit

#### 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)

## 2.6. Elektrolisis

Elektrolisis adalah peristiwa penguraian elektrolit oleh arus listrik searah dengan menggunakan dua macam elektroda. Elektroda tersebut adalah katoda (elektroda yang dihubungkan dengan kutub negatif) dan anoda (elektroda yang dihubungkan dengan kutub positif). Dalam sel elektrolisis energi listrik dapat menghasilkan reaksi kimia. Sel elektrolisis berfungsi sebagai pompa untuk menjalankan perpindahan elektron yang mengalir dari anode ke katode. Elektron dialirkan melalui elektroda yang tidak bereaksi (*inert*). Biasanya digunakan batang karbon atau platina. Dalam elektrolisis, pada anode terjadi oksidasi (melepaskan elektron) sedangkan pada katode terjadi reduksi.

- Reaksi yang terjadi pada anode :

Jika anoda terbuat dari zat inert, seperti Pt, Au, dan C, maka akan terjadi peristiwa-peristiwa seperti berikut ini :

- 1) Jika anion yang menuju anode adalah  $\text{OH}^-$  dari suatu basa, maka  $\text{OH}^-$  akan teroksidasi.



- 2) Jika anionnya  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ , dan  $\text{I}^-$ , maka ion-ion tersebut akan teroksidasi seperti berikut ini.



- 3) Jika anionnya berupa sisa asam oksida seperti  $\text{SO}_4^{2-}$  dan  $\text{NO}_3^-$  maka persamaan reaksinya adalah sebagai berikut.



Jika anoda terbuat dari logam aktif seperti Ni, Cu, maka anodanya juga mengalami oksidasi.



- Reaksi yang terjadi pada katoda

Reaksi yang terjadi pada katoda, dapat diketahui dengan memperhatikan jenis kation yang terdapat dalam larutan elektrolitnya yaitu sebagai berikut :

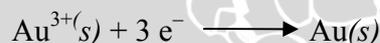
- 1) Jika kationnya  $\text{H}^{+}$  berasal dari suatu asam, maka reaksi yang berlangsung pada katode adalah sebagai berikut.



- 2) Jika kationnya logam alkali (IA) dan alkali tanah (IIA), maka reaksi yang berlangsung pada katode adalah sebagai berikut.



- 3) Jika kationnya logam lain (misalnya  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^{+}$  dan lainnya) terjadi reaksi reduksi (diendapkan pada katode) seperti berikut ini.



## 2.7. Baja

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

- 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*)

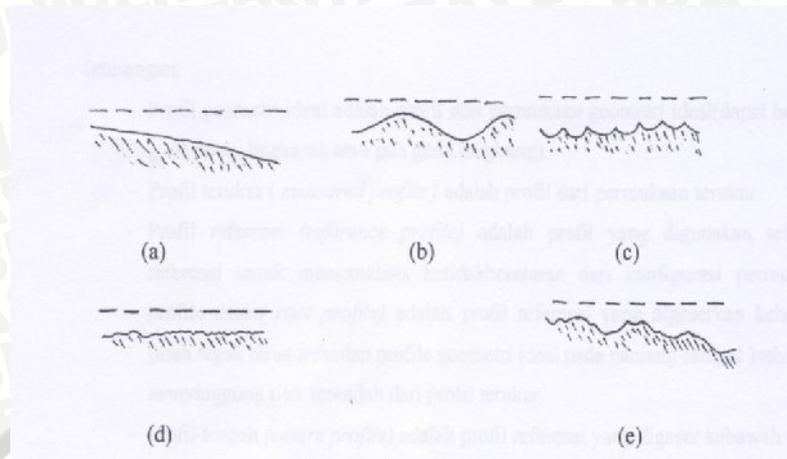
Baja karbon tinggi ini mengandung kadar karbon antara lebih 0,7% sampai 2,00%. Baja karbon ini mempunyai sifat yang lebih keras dan lebih kuat jika dibandingkan dengan baja karbon rendah dan baja karbon sedang, tetapi keuletan dan ketangguhannya sangat rendah sekali. Contoh penggunaan dari baja jenis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

## 2.8. Permukaan dan Profil

Permukaan adalah batas yang memisahkan benda padat dengan sekelilingnya. Jika ditinjau dengan skala yang kecil, maka pada dasarnya konfigurasi permukaan dari suatu produk adalah juga merupakan suatu karakteristik geometris, yang dalam hal ini dapat berupa mikogeometri.

Kekasaran permukaan merupakan ketidakteraturan konfigurasi permukaan yang bisa berupa guratan atau kawah kecil pada permukaan. Ketidakteraturan konfigurasi suatu permukaan bila ditinjau dari profilnya dapat diuraikan menjadi beberapa tingkat, seperti yang dijelaskan pada gambar berikut.

Tingkatan pertama adalah ketidakteraturan makrogeometri atau yang disebut juga bentuk, tingkatan yang kedua disebut dengan gelombang (*waviness*) adalah ketidakteraturan yang periodik dengan panjang gelombang yang jelas lebih besar daripada kedalamannya, tingkatan ketiga disebut alur (*grooves*) serta tingkatan keempat disebut serpihan (*flakes*). Kedua tingkatan yang terakhir inilah yang biasa disebut kekasaran. Tingkatan profil permukaan dapat dijelaskan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 : Tingkatan profil permukaan

- Bentuk
- Gelombang (*waviness*)
- Alur (*grooves*)
- Serpihan (*flakes*)
- Gabungan a, b, c, dan d

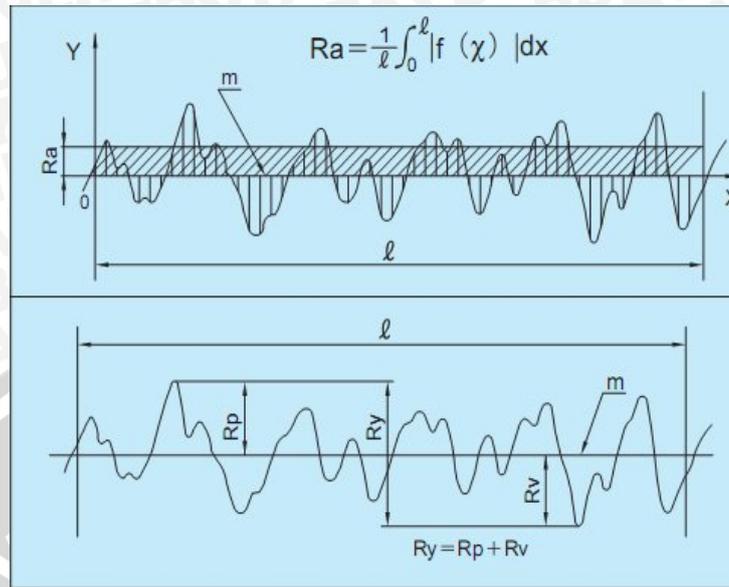
Sumber : Rochim & Wirjosumarto, 1991:57

## 2.9. Kekasaran permukaan logam hasil *nickel electroplating*

Pada proses *electroplating*, kekasaran permukaan dapat terjadi disebabkan oleh proses pembersihannya (*cleaning*), termasuk proses *pickling* (Brenner, 1985: 330). Proses *pickling* dengan waktu, rapat arus, konsentrasi, temperatur larutan asam, pengadukan, konsentrasi zat *inhibitor* dan temperatur benda kerja yang berlebihan akan mempercepat proses penghilangan lapisan oksida. Selain itu banyak logam induk yang turut bereaksi sehingga permukaan benda kerja sesudah proses *pickling* akan menjadi *porous* dan kasar. Permukaan benda kerja sebelum proses *electroplating* yang kasar akan menghasilkan permukaan hasil *electroplating* yang kasar pula (Parthasaradhy, 1989 : 82).

## 2.10. Parameter permukaan

Untuk memproduksi suatu profil permukaan, maka jarum peraba (*stylus*) dari alat ukur harus digerakkan mengikuti lintasan yang berupa garis lurus dengan jarak yang telah ditentukan terlebih dahulu. Bagian dari panjang pengukuran dimana dilakukan analisa dari profil permukaan disebut panjang sampel (*sample length; l*). Profil sesungguhnya dijelaskan dengan gambar berikut . Pada gambar 2.4 memberi penjelasan tentang posisi dan profil untuk satu panjang sampel pada suatu material.



Gambar 2.4 Posisi dan Profil untuk Satu Panjang Sampel  
 Sumber : <http://www.mitutoyo.com> (diakses juli 2010)

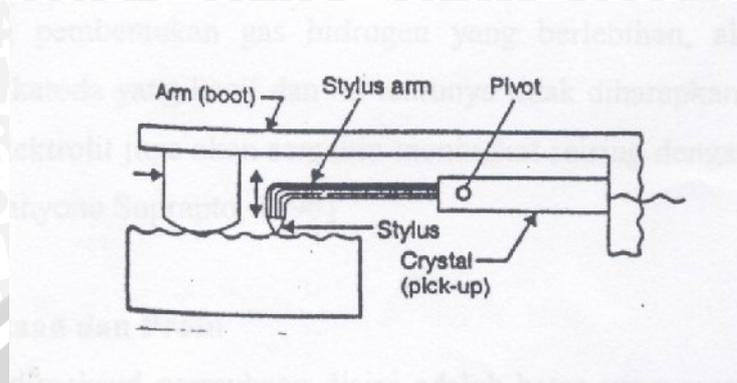
Berdasarkan profil – profil permukaan yang diterangkan diatas, maka dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan, yaitu :

- Rp (*roughness peak*) : adalah jarak antara profil puncak dengan profil tengah
- Rv (*roughness valley*) : adalah jarak antara profil dasar dengan profil tengah
- Ry (*roughness total*) : adalah jarak anatara profil puncak dengan profil dasar  
 Nilai Ry dapat dirumuskan :  $Ry = Rp + Rv$
- Ra (*arithmetical Average Roughness*) : adalah nilai kekasaran rata – rata aritmetis yang diperoleh dari luasan yang dibentuk dari sumbu (x) yaitu panjang sampel dan sumbu (y) yaitu kekasaran permukaan rata-rata. Sehingga nilai Ra dapat dirumuskan :  $Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |f(x)| dx$

### 2.11. Uji Kekasaran

Pengukuran kekasaran menggunakan prinsip tribologi yaitu permukaan benda padat mempunyai profil yang tidak rata (tonjolan, puncak, dan lembah) yang dapat diukur. Profil apabila diukur memberikan amplitudo dan diperoleh harga kekasaran rata – rata aritmetis (Ra). Pengukuran profil ini menggunakan tranduser yang dilengkapi dengan jarum stylus. Sinyal dari tranduser dikuatkan oleh amplifier untuk memudahkan dalam pembacaan nilai Ra. Didalam pengukuran kecepatan *stylus (down speed)* dan jarak lintasan stylus ditentukan

lebih dahulu sebelum alat dioperasikan. Pada gambar 2.5 menjelaskan alat ukur kekasaran permukaan.



Gambar 2.5 Alat Ukur Kekasaran Permukaan  
Sumber : Textbook of Production Engineering, 1996 : 128

## 2.12. Hipotesis

Dari tinjauan pustaka diatas dapat dibuat hipotesis bahwa semakin besar rapat arus pada proses *pickling* maka laju oksidasi larutan terhadap lapisan oksida semakin besar sehingga mengakibatkan permukaan logam induk menjadi kasar. Sedangkan semakin lama waktu *pickling* maka larutan asam tidak hanya mengoksidasi lapisan oksida tetapi juga permukaan logam induk sehingga permukaan logam induk menjadi kasar berakibat logam hasil *electroplating* menjadi kasar pula.

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian sejati (*true experimental research*), dengan melakukan pengamatan secara langsung melalui *eksperiment* atau percobaan untuk mencari hubungan sebab akibat antar variabel yang diteliti. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh 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. Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

##### a) Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan ditentukan sebelum penelitian. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan :

- Rapat arus *pickling* :
  - 2,94 A/dm<sup>2</sup> didapat dari kuat arus 2 A dibagi luas spesimen 0,68 dm<sup>2</sup>
  - 5,88 A/dm<sup>2</sup> didapat dari kuat arus 4 A dibagi luas spesimen 0,68 dm<sup>2</sup>
  - 8,82 A/dm<sup>2</sup> didapat dari kuat arus 6 A dibagi luas spesimen 0,68 dm<sup>2</sup>
  - 11,76 A/dm<sup>2</sup> didapat dari kuat arus 8 A dibagi luas spesimen 0,68 dm<sup>2</sup>
- Waktu *pickling* : 3; 6; dan 9 (menit).

##### b) Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya bergantung dari variabel bebas.

Adapun variabel terikat dalam penelitian ini yaitu :

Kekasaran permukaan logam hasil *nickel electroplating*.

##### c) Variabel Terkontrol

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

- Proses *pickling* menggunakan larutan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) dengan konsentrasi larutan asam 10%.
- Temperatur larutan asam  $30^{\circ}C - 40^{\circ}C$ .
- Proses *nickel electroplating* menggunakan larutan *watts* dengan komposisi larutan yaitu *nickel sulfat* ( $NiSO_4$ ) 250 g/l, *nickel chloride* ( $NiCl_2$ ) 40 g/l, *boric acid* ( $H_3BO_3$ ) 30 g/l.
- Variabel pada proses *nickel electroplating* :
  - Temperatur larutan :  $60^{\circ}C$
  - Rapat arus :  $7,35 A/dm^2$
  - Waktu pencelupan : 15 menit
  - Jarak anode – katode 6 cm

### 3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

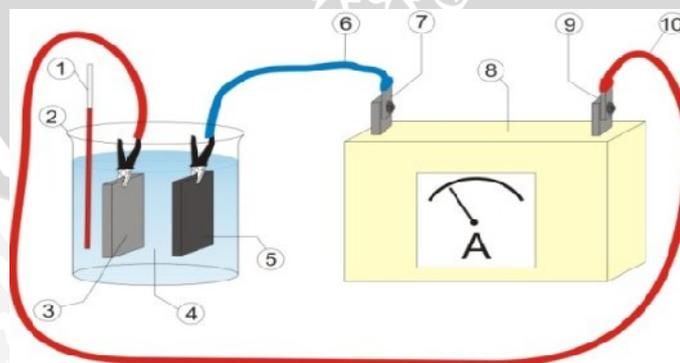
Penelitian dilakukan pada bulan Agustus sampai dengan selesai. Untuk proses *nickel electroplating* dilakukan di laboratorium *Electroplating* Politeknik Malang. Sedangkan pengujian kekasaran permukaan di laboratorium Metalurgi Universitas Brawijaya Malang.

### 3.4 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.4.1 Alat Penelitian

Beberapa alat yang digunakan untuk mendukung jalannya penelitian adalah sebagai berikut :

1. Instalasi *Pickling*

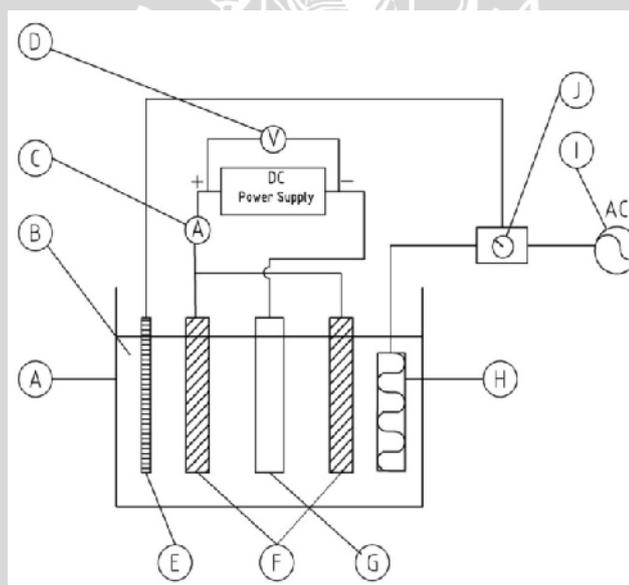


Gambar 3.1 Instalasi *Pickling*

Keterangan :

1. Termometer
2. Gelas kimia 1000 ml
3. Katoda : baja AISI 1045
4. Larutan asam sulfat ( $H_2SO_4$ )
5. Anoda : karbon
6. Kabel positif
7. Kutub positif sumber Arus DC
8. Sumber arus DC
9. Kutub negatif sumber Arus DC
10. Kabel negatif

2. Instalasi *electroplating*



Gambar 3.2 Instalasi *electroplating*

Keterangan :

- a). Bak *electroplating*
- b). Larutan *electroplating*
- c). Ampere meter
- d). Volt meter
- e). *Termocopel*

- f). Anoda : Timbal
  - g). Katoda / benda kerja : baja AISI 1045
  - h). *Heater*
  - i). Sumber arus AC
  - j). *Termocontrol*
2. *Power hack saw*
  3. *Sentrifugal sand machine.*



Gambar 3.3 *Sentrifugal sand machine*

Spesifikasi : Merk : Saphir  
Buatan : Jerman  
Diameter : 15 cm  
Putaran : 1200 rpm

4. *Stopwatch.*



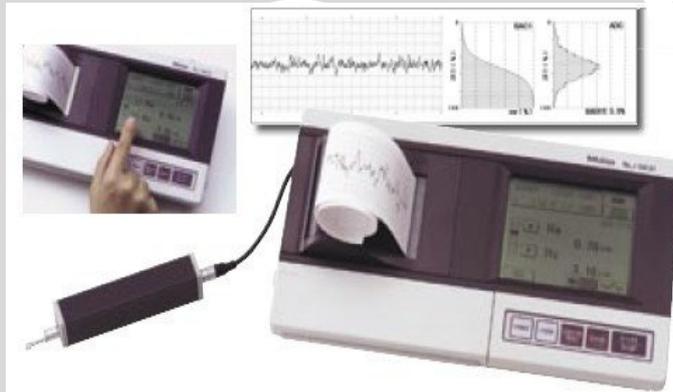
Gambar 3.4 *Stopwatch*

### 5. Thermocontrol



Gambar 3.5 Thermocontrol

### 6. Alat uji kekasaran permukaan : *Portable Surface Roughness Tester* Mitutoyo Surftest Sj – 301



Gambar 3.6 *Portable Surface Roughness Tester* Mitutoyo Surftest Sj – 301

Sumber : <http://www.mitutoyo.com> (diakses April 2010)

Spesifikasi : Merk	: Mitutoyo Surftest Sj - 301
Buatan	: Jepang
Measuring range	: 12.5 mm
Range	: 350 $\mu$ m (-200 $\mu$ m sampai 150 $\mu$ m)

7. Kamera digital.
8. Peralatan penunjang seperti sarung tangan karet, kacamata dan masker.

#### 3.4.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

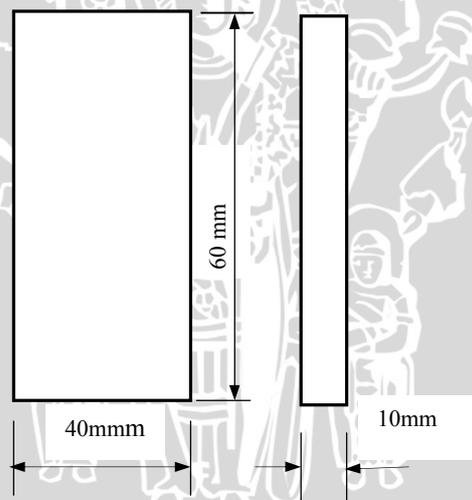
1. Sebagai bahan uji atau spesimen digunakan baja AISI 1045 yang mempunyai komposisi kimia terdapat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Daftar kandungan unsur baja AISI 1045

Unsur	Kandungan (%)
C	0,42 – 0,45
Si	0,28 – 0,40
Mn	0,50 – 0,80
P	0,006 – 0,035
S	0,009 – 0,035
Cr	<0,05
Fe	Balance

Sumber : *Material Certificate*

Baja AISI 1045 sebagai bahan uji dibentuk sesuai pada gambar 3.7, dengan ukuran panjang 40 mm, tinggi 60 mm dan tebal 10 mm.

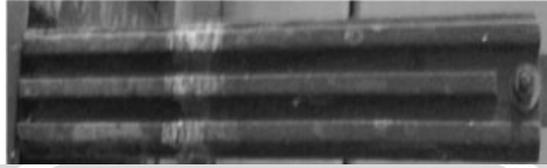


Satuan = mm

Gambar 3.7 Spesimen Uji

2. Larutan  $H_2SO_4$  untuk proses *pickling*
3. Larutan tipe *Watts* untuk proses *nickel electroplating*, yang terdiri atas :
  - *Nickel Sulphat* ( $NiSO_4$ ), *Nickel Chloride* ( $NiCl_2$ ), *Boric Acid* ( $H_3BO_3$ )

4. Anoda untuk proses *electroplating* : Timbal (Pb)



Gambar 3.8 Timbal (Pb)

5. Aquades

### 3.5 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilaksanakan dalam penelitian ini adalah :

1. Menyiapkan spesimen sesuai dengan bentuk dan ukuran yang ditentukan dengan proses pemotongan.
2. Bersihkan permukaan spesimen dengan *Sentrifugal sand machine* kemudian di amplas halus untuk mendapatkan permukaan yang halus dan rata.
3. Bilas benda kerja dengan air bersih untuk membersihkan sisa kotoran yang menempel di permukaan benda kerja lalu dikeringkan.
4. Proses *pickling* benda kerja ke dalam larutan  $H_2SO_4$  10 % dengan variasi rapat arus dan waktu *pickling*.
5. Bilas benda kerja dengan aquades untuk menghilangkan sisa asam yang menempel di permukaan benda kerja lalu dikeringkan.
6. Menyiapkan instalasi *electroplating*.
7. Menyiapkan larutan *nickel electroplating tipe watts*.
8. Dilakukan proses *nickel electroplating*.
9. Benda kerja dikeluarkan, diikuti dengan proses pembilasan dan pengeringan.
10. Dilakukan uji kekasaran permukaan, kemudian dilakukan pengolahan data.
11. Dilakukan pembahasan dan menarik kesimpulan.

### 3.6 Metode Pengukuran Data

Pada pengujian ini dilakukan pengukuran kekasaran lapisan hasil *nickel electroplating*, langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Membersihkan lapisan pada permukaan yang akan diukur dengan kain.
2. Pengukuran kekasaran permukaan dengan alat uji kekasaran permukaan *Surface Roughness Tester* (Mitutoyo Surftest Sj 301).
  - Menentukan panjang sampel yang diukur.
  - Mencatat data nilai kekasaran rata – rata aritmetis (Ra) yang diperoleh dari alat uji kekasaran permukaan .
3. Ulangi pengukuran dengan variasi rapat arus dan waktu *pickling* pada tiap-tiap spesimen.

### 3.7 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini akan mencari pengaruh dua faktor yaitu rapat arus dan waktu pada proses *pickling* terhadap kekasaran permukaan hasil pelapisan nikel. Dimana faktor variasi rapat arus terdiri dari 4 varian dan waktu *pickling* sebanyak 3 varian, maka dalam penelitian ini digunakan model analisa dua arah dengan interaksi. Ulangan sebanyak tiga kali sehingga secara keseluruhan diperlukan 36 sampel untuk dianalisis. Rancangan penelitian ditampilkan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Rancangan penelitian

Variabel		Waktu <i>Pickling</i> (Menit)		
		3	6	9
Rapat Arus <i>Pickling</i> (A/dm <sup>2</sup> )	29,41	Y <sub>111</sub>	Y <sub>211</sub>	Y <sub>311</sub>
		Y <sub>112</sub>	Y <sub>212</sub>	Y <sub>312</sub>
		Y <sub>113</sub>	Y <sub>213</sub>	Y <sub>313</sub>
	58,82	Y <sub>121</sub>	Y <sub>221</sub>	Y <sub>321</sub>
		Y <sub>122</sub>	Y <sub>222</sub>	Y <sub>322</sub>
		Y <sub>123</sub>	Y <sub>223</sub>	Y <sub>323</sub>
	88,23	Y <sub>131</sub>	Y <sub>231</sub>	Y <sub>331</sub>
		Y <sub>132</sub>	Y <sub>232</sub>	Y <sub>332</sub>
		Y <sub>133</sub>	Y <sub>233</sub>	Y <sub>333</sub>
	11,764	Y <sub>141</sub>	Y <sub>241</sub>	Y <sub>341</sub>
		Y <sub>142</sub>	Y <sub>242</sub>	Y <sub>342</sub>
		Y <sub>143</sub>	Y <sub>243</sub>	Y <sub>343</sub>

Keterangan :

$Y_{ijk}$  = adalah data pengamatan yang berupa data kekasaran pada perlakuan variasi rapat arus *pickling* ke-i dan waktu *pickling* ke-j serta ulangan ke-k.

### 3.8 Rancangan Pengolahan Data

#### 3.8.1 Analisis Varian Dua Arah

Di dalam pengolahan data untuk statistik digunakan analisis varian dua arah. Dari analisis varian dua arah ini akan diketahui ada tidaknya pengaruh rapat arus *pickling* (faktor A) dan waktu *pickling* (faktor B) serta pengaruh interaksi antara keduanya (faktor AB) terhadap kekasaran permukaan pada lapisan hasil *electroplating*.

Faktor A dan B masing masing memiliki level  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_r$  dan  $B_1, B_2, B_3, \dots, B_c$ . Jika jumlah pengamatan tiap sel adalah  $t$  kali, dan rancangan dua kategori A dan B dinyatakan dengan  $(\alpha\beta)_{ij}$  dengan  $\alpha_i$  merupakan pengaruh interaksi antara faktor A pada level  $i$  dan  $\beta_j$  merupakan faktor B pada level  $j$ , maka nilai pengamatan dapat ditulis dengan model matematis sebagai berikut :

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (\text{Walpole, 1995:407}) \quad (3.1)$$

dengan :

$\mu$  = nilai rata – rata dari seluruh pengamatan

$\alpha_i$  = pengaruh faktor A ke  $i$

$\beta_j$  = pengaruh faktor B ke  $j$

$(\alpha\beta)_{ij}$  = pengaruh interaksi faktor A ke  $i$  dan B ke  $j$

$\varepsilon_{ijk}$  = simpangan pengamatan dari nilai  $Y_{ijk}$

Untuk hipotesis dalam penelitian ini dapat ditulis sebagai berikut :

- $H_{01} : A_1 = A_2 = \dots = A_i$ , faktor A (rapat arus *pickling*) tidak berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.
- $H_{11} : A_1 \neq A_2 \neq \dots \neq A_i$ , faktor A (rapat arus *pickling*) berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.
- $H_{02} : B_1 = B_2 = \dots = B_i$ , faktor B (waktu *pickling*) tidak berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

- $H_{22} : B_1 \neq B_2 \neq \dots = B_i$ , faktor B (waktu *pickling*) berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.
- $H_{03} : (AB)_{11} = (AB)_{12} = \dots = (AB)_{ij}$ , faktor A dan B (rapat arus *pickling* dan waktu *pickling*) tidak berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.
- $H_{33} : (AB)_{11} \neq (AB)_{12} \neq (AB)_{ij}$ , faktor A dan B (rapat arus *pickling* dan waktu *pickling*) berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

Hasil perhitungan dalam analisis varian dua arah dengan interaksi dapat diringkas seperti tabel 3.3.

Tabel 3.3 Rancangan Perhitungan 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	-	-

Sumber : Walpole, 1995:533

Jumlah-jumlah kuadrat di atas dapat diperoleh melalui rumus hitung sebagai berikut (Walpole, R. E.,1995:533):

- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{T^2 \dots}{r \cdot c \cdot n} \quad (3.2)$$

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

$$JKT = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - FK \quad (3.3)$$



- Jumlah kuadrat faktor A (JKA)

$$JKA = \frac{\sum_{i=1}^r T_{i...}^2}{c \cdot n} - FK \quad (3.4)$$

- Jumlah kuadrat faktor B (JKB)

$$JKB = \frac{\sum_{j=1}^c T_{j...}^2}{r \cdot n} - FK \quad (3.5)$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T_{ij...}^2}{n} - FK \quad (3.6)$$

- Jumlah kuadrat pengaruh interaksi A dan B (JKAB)

$$JKAB = JKP - JKA - JKB \quad (3.7)$$

- Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKA - JKB - JKAB \quad (3.8)$$

dengan :

$r$  = Banyaknya baris (rapat arus *pickling*)

$c$  = Banyaknya kolom (waktu *pickling*)

$n$  = Banyaknya pengulangan tiap sel (variasi)

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

$T_{...}$  = 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 diperoleh dengan cara membandingkan antara  $F_{hitung}$  dengan  $F_{tabel}$ , yaitu:

1. Bila  $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$ , maka  $H_{01}$  ditolak dan  $H_{11}$  diterima. Berarti faktor A (rapat arus *pickling*) berpengaruh terhadap kekasaran permukaan hasil *nickel electroplating*.
2. Bila  $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$ , maka  $H_{02}$  ditolak dan  $H_{12}$  diterima. Berarti faktor B (waktu *pickling*) berpengaruh terhadap kekasaran permukaan hasil *nickel electroplating*.

3. Bila  $F_{AB \text{ hitung}} > F_{AB \text{ tabel}}$ , maka  $H_{03}$  ditolak dan  $H_{13}$  diterima. Berarti interaksi faktor A (rapat arus *pickling*) dan faktor B (waktu *pickling*) berpengaruh terhadap kekasaran permukaan hasil *nickel electroplating*.

### 3.8.2 Uji Kecukupan Data

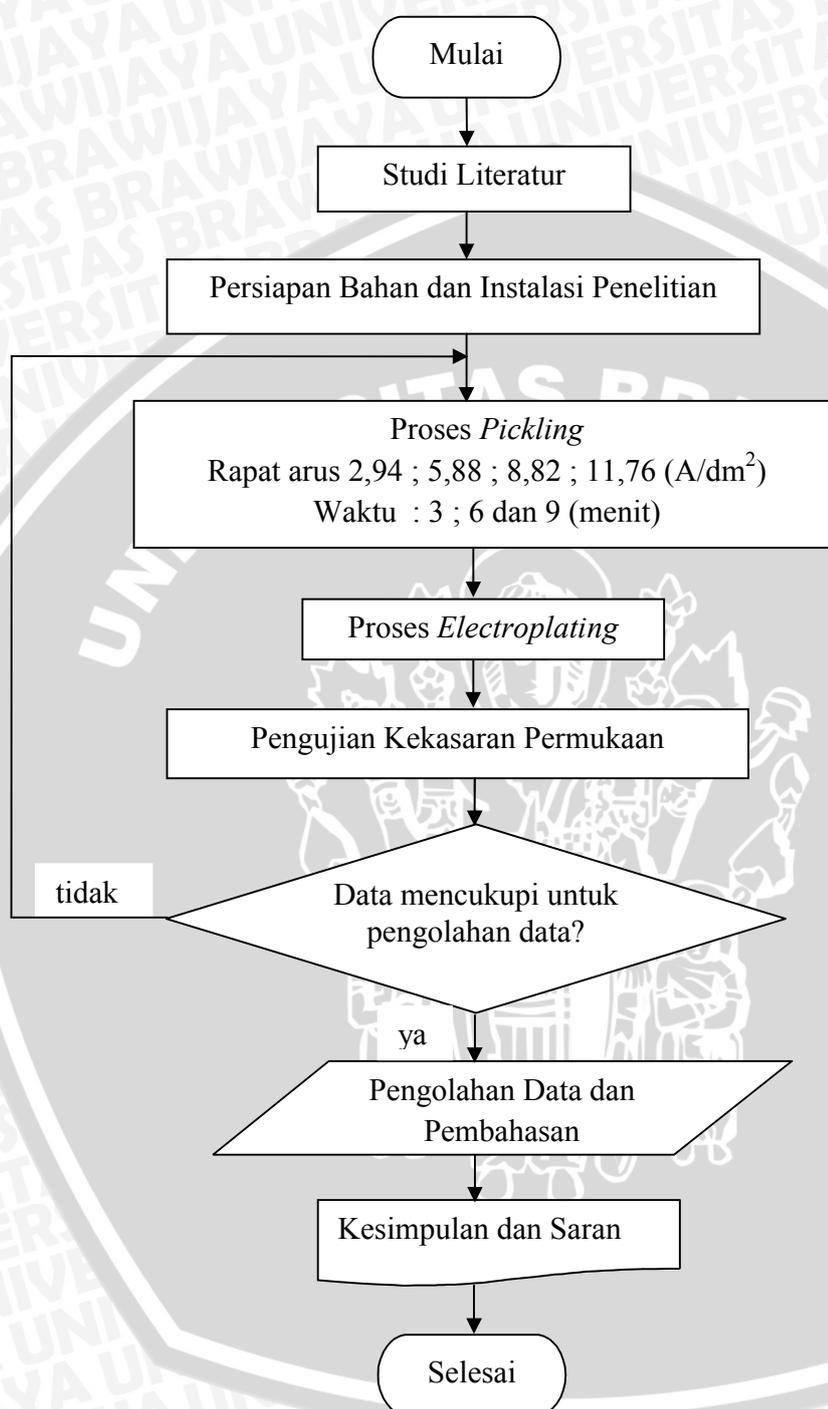
Untuk mengetahui apakah sampel data yang diambil sudah mencukupi atau belum, maka digunakan rumus uji kecukupan data sebagai berikut: (Walpole, 1992:262)

$$n \geq \frac{p}{\alpha} \quad (3.9)$$

Keterangan :

- $n$  = jumlah pengulangan
- $/ 2$  = nilai tingkat kepercayaan [  $t = (\alpha / 2) ; (n - 1)$  ]
- $\alpha$  = derajat ketelitian 5%
- $p$  = jumlah data pengulangan yang dianggap benar
- $q$  = jumlah data pengulangan yang dianggap salah ( $p - 1$ )
- $e$  = nilai tingkat ketelitian [  $F = (k - 1) ; k(n - 1)$  ]
- $k$  = jumlah variabel yang diberikan

### 3.9. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.9 Diagram alir

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Hasil Pengujian

Setelah melakukan proses variasi rapat arus dan waktu *pickling* sebagai variabel bebas dan proses *nickel electroplating* sebagai variabel terkontrol, maka dilakukan pengambilan data dengan pengukuran kekasaran permukaan logam dengan menggunakan alat ukur kekasaran permukaan logam Mitutoyo Surftest Sj - 301, dan diperoleh hasil pengukuran seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data hasil pengujian kekasaran permukaan logam hasil *nickel electroplating* ( $\mu\text{m}$ ).

Variabel		Ulangan	Waktu Pickling (Menit)		
			3	6	9
Rapat Arus Pickling (A/dm <sup>2</sup> )	2,94	1	1,01	1,29	1,5
		2	0,98	1,32	1,67
		3	1,03	1,4	1,63
		Rata - rata	1,001	1,336	1,6
	5,88	1	1,13	1,48	1,76
		2	1,12	1,55	1,72
		3	1,08	1,53	1,74
		Rata - rata	1,11	1,52	1,74
	8,82	1	1,33	1,66	1,85
		2	1,32	1,7	1,82
		3	1,3	1,65	1,83
		Rata - rata	1,316	1,67	1,833
	11.76	1	1,38	1,85	2,21
		2	1,41	1,89	2,26
		3	1,42	2,03	2,2
		Rata - rata	1,403	1,923	2,223

## 4.2 Pengolahan Data

### 4.2.1 Analisis Varian Dua Arah

Dari hasil pengujian di atas dilakukan analisis varian dua arah untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh rapat arus dan waktu *pickling* terhadap kekasaran permukaan baja AISI 1045 hasil proses *nickel electroplating*. Dengan menggunakan perhitungan statistik diperoleh data sebagai berikut :

- Jumlah seluruh perlakuan (JSP)

$$\begin{aligned} \text{JSP} &= \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk} \\ &= 14,51 + 19,35 + 22,19 \\ &= 56,05 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan (JKSP)

$$\begin{aligned} \text{JKSP} &= \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk}^2 \\ &= 17,84 + 31,78 + 41,69 \\ &= 91,32 \end{aligned}$$

- Faktor koreksi (FK)

$$\begin{aligned} \text{FK} &= \frac{\left[ \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk} \right]^2}{rct} \\ &= \frac{(56,05)^2}{4 \times 3 \times 3} \\ &= 87,26 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$\begin{aligned} \text{JKT} &= \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk}^2 - \text{FK} \\ &= 91,32 - 87,26 \\ &= 4,06 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$\begin{aligned}
 JKP &= \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T_{ij}^2}{t} - FK \\
 &= \frac{\{(3,02)^2 + (3,33)^2 + (3,95)^2 + \dots + (6,67)^2\}}{3} - 87,26 \\
 &= 91,27 - 87,26 \\
 &= 4,01
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat pengaruh A (JKA)

$$\begin{aligned}
 JKA &= \frac{\sum_{i=1}^r T_{i\dots}^2}{ct} - FK \\
 &= \frac{\{(11,83)^2 + (13,11)^2 + (14,46)^2 + (16,65)^2\}}{3 \times 3} - 87,26 \\
 &= 88,68 - 87,26 \\
 &= 1,41
 \end{aligned}$$

- Jumlah kudrat pengaruh B (JKB)

$$\begin{aligned}
 JKB &= \frac{\sum_{j=1}^c T_{j\dots}^2}{rt} - FK \\
 &= \frac{\{(14,51)^2 + (19,35)^2 + (22,19)^2\}}{4 \times 3} - 87,26 \\
 &= 89,77 - 87,26 \\
 &= 2,51
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat pengaruh interaksi A dan B (JKAB)

$$\begin{aligned}
 JKAB &= JKP - JKA - JKB \\
 &= 4,01 - 1,41 - 2,51 \\
 &= 0,08
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$\begin{aligned}
 JKG &= JKT - JKA - JKB - JKAB \\
 &= 4,06 - 1,41 - 2,51 - 0,08
 \end{aligned}$$

$$= 0,051$$

- Nilai varian dari masing-masing perlakuan sebagai berikut :

1. Nilai varian pengaruh A

$$S_A^2 = \frac{JKA}{r-1} = \frac{1,41}{4-1} = 0,47$$

2. Nilai varian pengaruh B

$$S_B^2 = \frac{JKB}{c-1} = \frac{2,51}{3-1} = 1,25$$

3. Nilai varian interaksi A dan B

$$S_{AB}^2 = \frac{JKAB}{(r-1)(c-1)} = \frac{0,08}{(4-1)(3-1)} = 0,013$$

4. Nilai varian galat

$$S^2 = \frac{JKG}{rc(t-1)} = \frac{0,0514}{4 \times 3(3-1)} = 0,0021$$

Nilai F hitung dari masing-masing sumber keragaman sebagai berikut:

1. Untuk faktor A :

$$F_{A \text{ hitung}} = \frac{S_A^2}{S^2} = \frac{0,47}{0,0021} = 219,93$$

2. Untuk faktor B :

$$F_{B \text{ hitung}} = \frac{S_B^2}{S^2} = \frac{1,25}{0,0021} = 585,96$$

3. Untuk faktor AB :

$$F_{AB \text{ hitung}} = \frac{S_{AB}^2}{S^2} = \frac{0,013}{0,0021} = 6,35$$

Setelah dilakukan perhitungan statistik maka didapatkan nilai-nilai statistik. Dari nilai-nilai statistik dapat disimpulkan nilai F hitung dan F tabel. Pada tabel 4.2 menjelaskan hasil perhitungan analisis varian dua arah.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Analisis Varian Dua Arah

Sumber Keragaman	Db	JK	Varian (KT)	F hitung	F tabel
Pengaruh A	3	1,41	0,47	219,93	3,01
Pengaruh B	2	2,51	1,25	585,96	3,4
Interaksi A dan B	6	0,081	0,013	6,35	2,5
Galat	24	0,051	0,0021		
Total	35	4,052			

Keterangan :

A : Rapat arus *pickling*

B : Waktu *pickling*

Berdasarkan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel 4.2 dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1.  $F_A \text{ hitung} = 219,93 > F_A \text{ tabel} = 3,01$ , maka  $H_{01}$  ditolak dan  $H_{11}$  diterima. Hal ini menunjukkan bahwa rapat arus *pickling* berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan baja AISI 1045 hasil proses *nickel electroplating* dengan tingkat keyakinan 95 %.
2.  $F_B \text{ hitung} = 585,96 > F_B \text{ tabel} = 3,4$ , maka  $H_{02}$  ditolak dan  $H_{12}$  diterima. Hal ini menunjukkan bahwa waktu *pickling* berpengaruh terhadap kekasaran permukaan baja AISI 1045 hasil proses *nickel electroplating* dengan tingkat keyakinan 95 %.
3.  $F_{AB} \text{ hitung} = 6,35 > F_{AB} \text{ tabel} = 2,5$ , maka  $H_{03}$  ditolak dan  $H_{13}$  diterima. Hal ini menunjukkan bahwa interaksi antara rapat arus dan waktu *pickling* berpengaruh terhadap kekasaran permukaan baja AISI 1045 hasil proses *nickel electroplating* dengan tingkat keyakinan 95 %.

#### 4.2.2 Uji Kecukupan Data

Untuk mengetahui apakah data yang diambil sudah mencukupi, maka perlu dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$n \geq \frac{\quad}{\quad}$$

jika diketahui :

$$n = 3$$

$$/ 2 = [t : (\alpha / 2) ; (n - 1)] = [t : 0,025 ; 2] = 4,3$$

$$\alpha = 0,05$$

$$p = 3$$

$$q = 2$$

$$k = 7$$

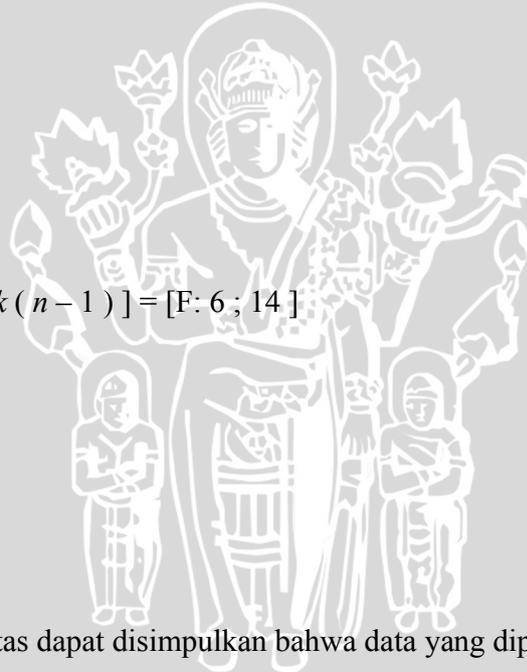
$$e = [F = (k - 1) ; k(n - 1)] = [F : 6 ; 14]$$

$$= 2,96$$

$$3 \geq \frac{\quad \times \quad}{\quad}$$

$$3 \geq 2,94$$

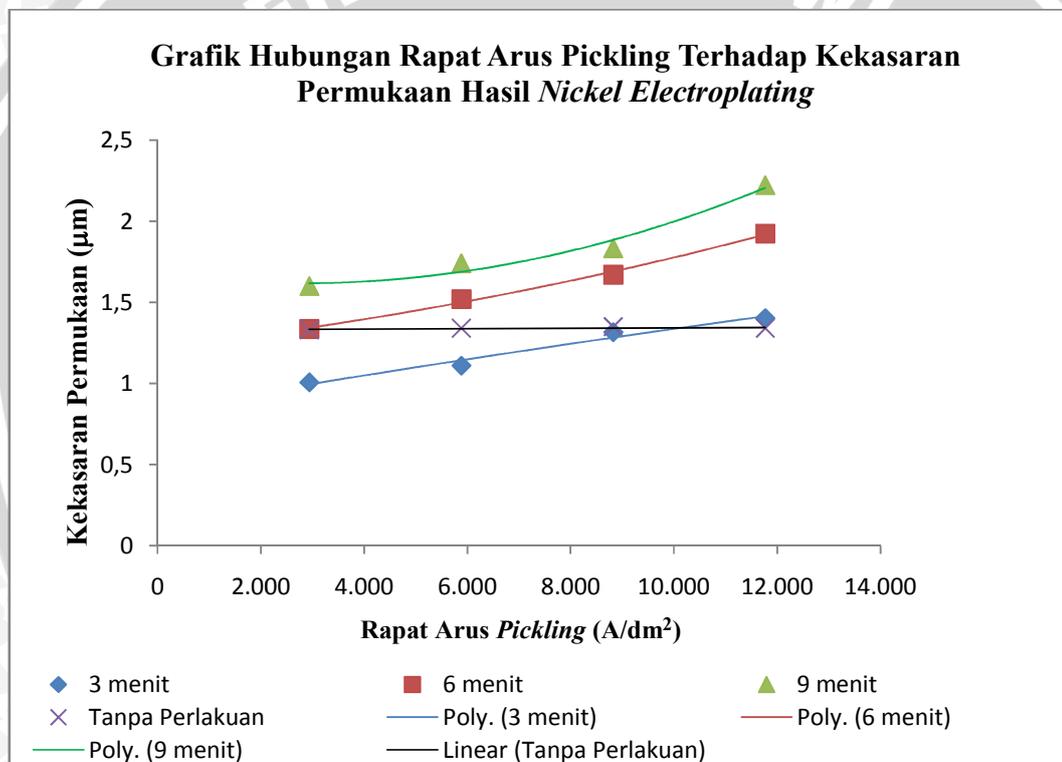
Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa data yang dipergunakan dalam penelitian ini terbukti cukup untuk dilakukan pengolahan data.



### 4.3. Grafik dan Pembahasan

#### 4.3.1. Analisa Grafik Hubungan Rapat Arus *Pickling* terhadap Kekasaran Permukaan Baja AISI 1045 Hasil *Nickel electroplating*

Pada grafik 4.1 terlihat bahwa terdapat hubungan antara rapat arus pada proses *pickling* terhadap kekasaran permukaan baja AISI 1045 hasil *nickel electroplating*. Dari kurva tersebut terlihat bahwa kekasaran permukaan semakin meningkat dari rapat arus *pickling* 2.94; 5.88; 8.82; 11.76 A/dm<sup>2</sup>. Sedangkan perbandingan dari 3 buah kurva dengan peningkatan waktu *pickling* pada rapat arus yang sama, terdapat kecenderungan peningkatan kekasaran permukaan baja AISI 1045 hasil *nickel electroplating*.



Gambar 4.1 Grafik hubungan rapat arus *pickling* terhadap kekasaran permukaan baja AISI 1045 hasil *nickel electroplating*

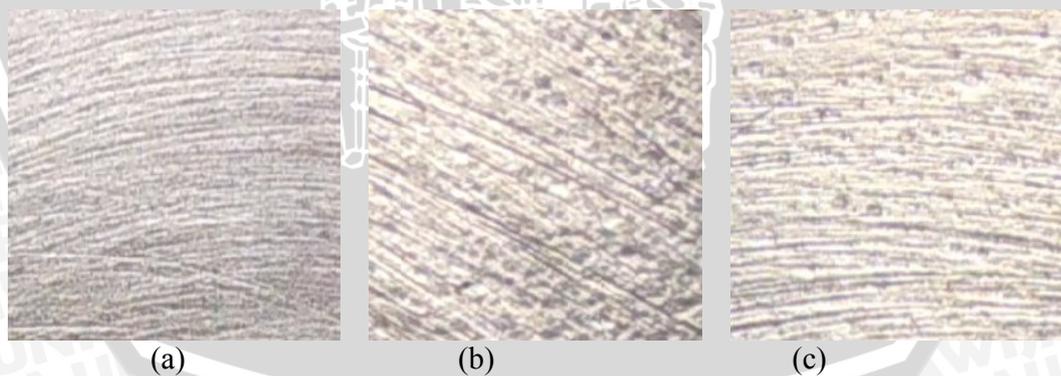
Kekasaran permukaan baja AISI 1045 rapat arus *pickling* sesudah mengalami proses *nickel electroplating* meningkat seiring dengan bertambahnya rapat arus *pickling*. Fungsi dari proses *pickling* yaitu untuk menghilangkan lapisan oksida pada permukaan logam secara kimiawi dengan cara mencelupkan ke dalam larutan asam. Pada saat proses *pickling*, selain melarutkan lapisan oksida, larutan asam juga akan masuk melalui celah –

celah retakan pada lapisan oksida dan bereaksi juga dengan logam induknya dan menghasilkan gas hidrogen ( $H_2$ ). Hal ini dapat diketahui dari reaksi kimia sebagai berikut :



Gas hidrogen ( $H_2$ ) akan terus meningkat sehingga akan menekan lapisan oksida sehingga lapisan oksida tersebut akan terlepas dari logam induk. Dengan adanya penambahan rapat arus maka laju reaksi oksidasi akan meningkat. Semakin tinggi laju oksidasi larutan  $H_2SO_4$  tidak hanya mengoksidasi lapisan oksida tetapi juga mengoksidasi logam induk. Hal ini menyebabkan logam induk menjadi kasar. Semakin tinggi rapat arus maka laju reaksi antara material dengan larutan  $H_2SO_4$  semakin besar, akibatnya permukaan baja AISI 1045 menjadi *porous* atau kasar. Setelah melalui proses *nickel electroplating* permukaan baja AISI juga menjadi kasar karena logam pelapis akan melapisi mengikuti kontur permukaan logam induk.

Dari foto makro pada gambar 4.2 terlihat bahwa dengan semakin meningkatnya rapat arus *pickling* dan pada waktu *pickling* yang sama, maka kekasaran permukaan baja AISI 1045 hasil *nickel electroplating* akan semakin meningkat.

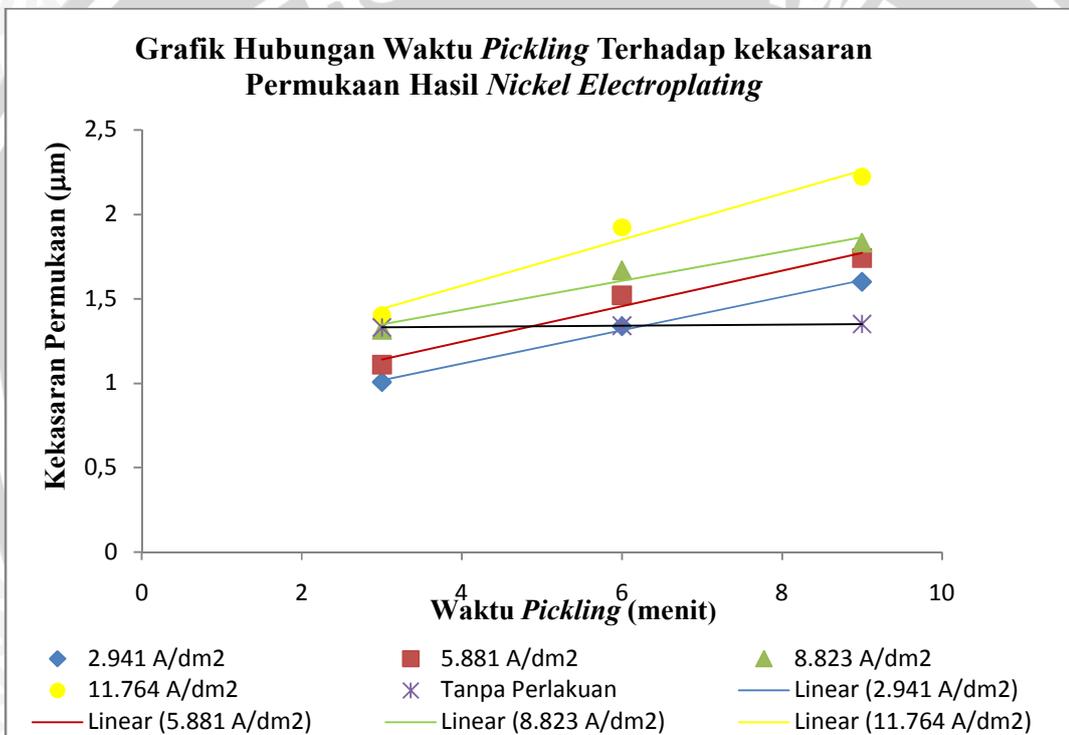


Gambar 4.2 Foto makro spesimen baja AISI 1045 dengan peningkatan rapat arus *pickling* (perbesaran 60 x)

- (a)Rapat arus *pickling*  $2,94 \text{ A/dm}^2$ , waktu *pickling* 6 menit
- (b)Rapat arus *pickling*  $5,88 \text{ A/dm}^2$ , waktu *pickling* 6 menit
- (c)Rapat arus *pickling*  $8,82 \text{ A/dm}^2$ , waktu *pickling* 6 menit

### 4.3.2 Analisa Grafik Hubungan Waktu *Pickling* Terhadap Kekasaran Permukaan Baja AISI 1045 hasil *Nickel Electroplating*

Pada grafik 4.3 terlihat bahwa terhadap hubungan antara waktu *pickling* terhadap kekasaran permukaan logam hasil *nickel electroplating*. Untuk semua variasi waktu *pickling* 3 menit, 6 menit, 9 menit terdapat kesamaan dalam kecenderungan kenaikan kekasaran permukaan baja AISI 1045 hasil *nickel electroplating*. Sedangkan perbandingan dari 3 buah kurva variasi dengan peningkatan rapat arus *pickling* pada waktu *pickling* yang sama, terdapat kecenderungan peningkatan kekasaran permukaan baja AISI 1045 hasil *nickel electroplating*.

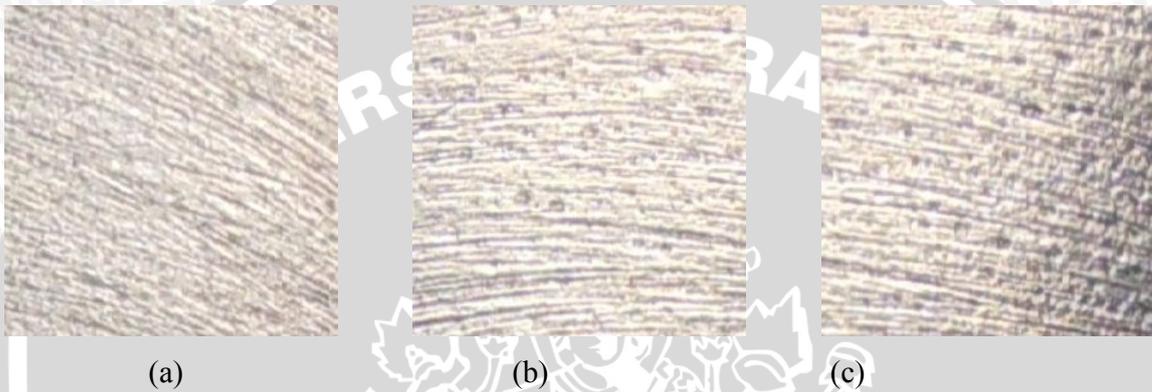


Gambar 4.3 Grafik hubungan waktu *pickling* terhadap kekasaran permukaan baja AISI 1045 hasil *nickel electroplating*

Hal di atas dapat membuktikan bahwa waktu *pickling* mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan baja AISI 1045 hasil *nickel electroplating*. Semakin lama waktu *pickling* maka laju oksidasi yang terjadi antara larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan logam akan semakin tinggi. Hal ini menyebabkan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> mempunyai cukup waktu untuk mengikis lapisan oksida yang terdapat pada permukaan logam induk baja AISI 1045. Namun semakin lama waktu *pickling* maka logam induk juga ikut mengalami proses

oksidasi yang menyebabkan logam induk menjadi porous atau kasar. Kondisi logam induk yang porous atau kasar, setelah mengalami proses *nickel electroplating* maka logam hasil *nickel electroplating* akan menjadi kasar pula karena logam pelapis mengikuti bentuk permukaan dari logam induk pada saat proses pelapisan.

Dari foto makro pada gambar 4.4 terlihat bahwa dengan semakin lama waktu *pickling* dan pada rapat arus *pickling* yang sama, maka kekasaran permukaan baja AISI 1045 hasil *nickel electroplating* akan semakin meningkat.



Gambar 4.4 Foto Makro Spesimen Baja AISI 1045 dengan peningkatan waktu *pickling* (perbesaran 60 x)

- (a) Waktu *pickling* 3 menit, rapat arus *pickling*  $8.82 \text{ A/dm}^2$
- (b) Waktu *pickling* 6 menit, rapat arus *pickling*  $8.82 \text{ A/dm}^2$
- (c) Waktu *pickling* 9 menit, rapat arus *pickling*  $8.82 \text{ A/dm}^2$

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa rapat arus dan waktu *pickling* berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan baja AISI 1045 hasil *nickel electroplating*.

Pada *pickling* 2,94 A/dm<sup>2</sup>; 3 menit memiliki tingkat rata-rata kekasaran yang paling rendah yaitu 1,006  $\mu\text{m}$  dan kekasaran maksimum terjadi pada rapat arus *pickling* 11,76 A/dm<sup>2</sup>; 9 menit yaitu sebesar 2,22 $\mu\text{m}$ .

Semakin besar rapat arus pada proses *pickling* maka kekasaran permukaan baja AISI 1045 hasil *nickel electroplating* semakin meningkat dan semakin lama waktu *pickling* juga menyebabkan kekasaran permukaan baja AISI 1045 hasil *nickel electroplating* meningkat.

#### 5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya, perlu diteliti mengenai penggunaan rapat arus *pickling* yang rendah dan waktu *pickling* yang singkat untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kekasaran permukaan hasil *nickel electroplating*, sehingga dapat diketahui pada rapat arus dan waktu *pickling* yang optimal dengan kekasaran permukaan hasil *nickel electroplating* yang minimum.
2. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai parameter-parameter *pickling* seperti konsentrasi larutan asam, temperatur larutan asam dan pengadukan larutan asam terhadap kualitas hasil *nickel electroplating* yang lain seperti kelekatan logam pelapis dan ketebalan lapisan.
3. Proses pembilasan dengan aquades setelah *pickling* sebaiknya dilakukan dengan waktu yang cukup lama agar permukaan benar-benar bersih dari sisa asam dan kotoran yang menempel pada permukaan spesimen.

## DAFTAR PUSTAKA

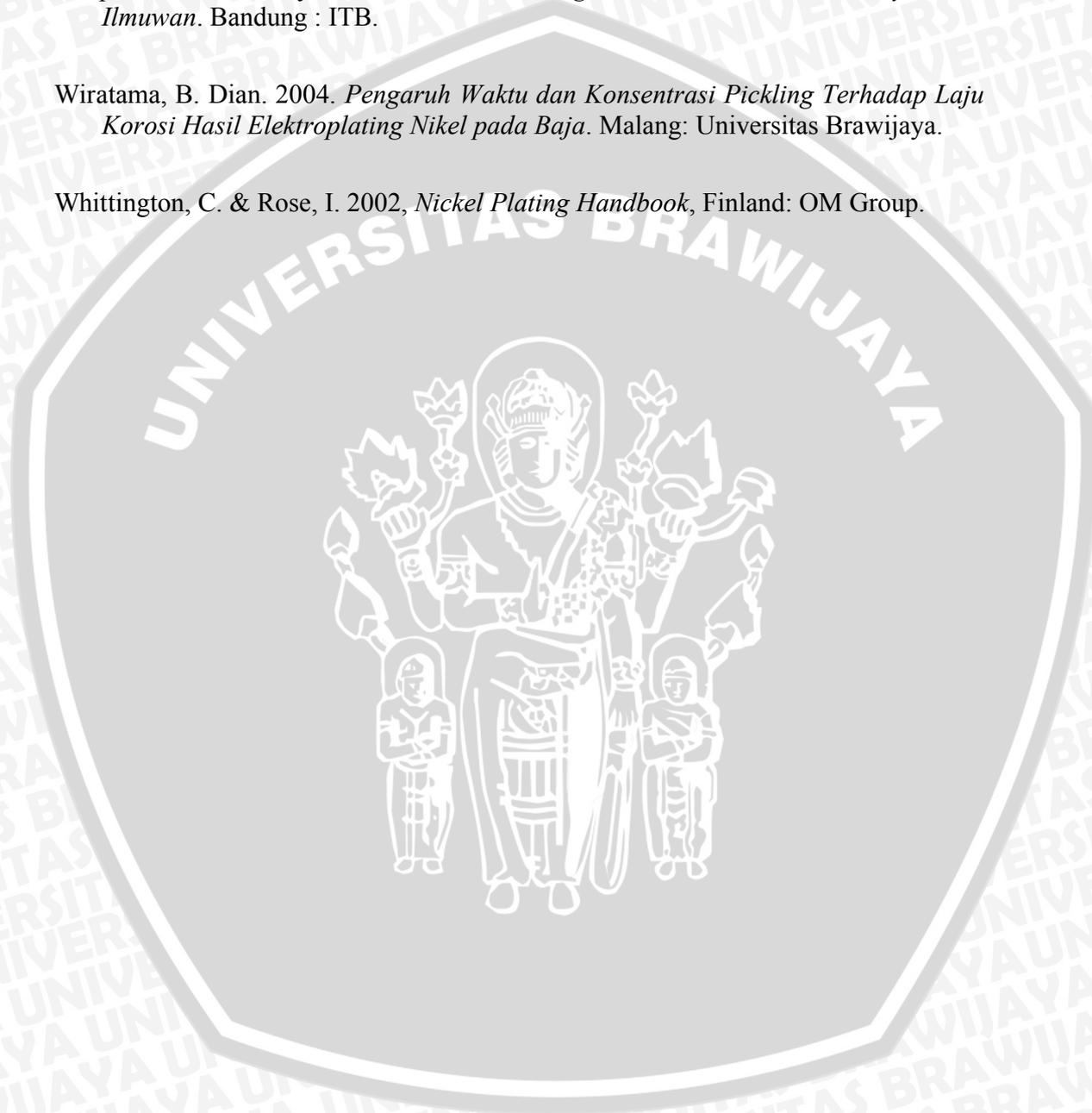
- Andriansyah. 2004. *Pengaruh Temperatur dan Konsentrasi Larutan Asam pada Proses Pickling Terhadap Kekasaran Permukaan Logam Hasil Elektroplating*. Malang: Universitas Brawijaya
- ASM Handbook Committee. 1994. *ASM Handbook Volume 5 : Surface Engineering*. Ohio: American Society for Metals.
- Brenner, A., Beacom, E., & Brown, H. 1985. *Modern Electroplating, 3<sup>rd</sup>ed*. New York: John Willeys & Sons Incorporation.
- Chamberlain, J. & Trethewey, K. R. 1991. *Korosi untuk mahasiswa dan rekayasawan*. Jakarta: Gramedia.
- Hartomo, A. J. & Koneko, T. 1992. *Mengenal Pelapisan Logam (Elektroplating)*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Lowenheim, F. A. 1974. *Modern Electroplating*. New York: John Wiley and Son, Inc.
- Mitutoyo. 2010. *Mitutoyo Surftest Sj – 301*. <http://www.mitutoyo.com> (Diakses April 2010).
- Parthasaradhy, N. V. 1989. *Practical Electroplating Handbook*. New Jersey USA: Prentice-hall, Inc.
- Poyner, J.A. 1991. *Electroplating*. London: Dotesions Ltd, Trowbridge, Wiltshire.
- Rochim, T. & Wirjosumarto, S.R. 1991. *Spesifikasi Metrologi dan Kotrol Kualitas Geometri* : ITB, Bandung.
- Sanders, A. H. 1950. *Electroplating*. New York: International Textbook. Co.
- Surdia, T. & Saito, S. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Cetakan Keempat, Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

Van Vlack, L.H. 1991. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Edisi Kelima, terjemahan Ir. Sriati Djaprie, M.E., M. Met. Jakarta : Universitas Indonesia.

Walpole, E. R. & Myers. 1995. *Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan*. Bandung : ITB.

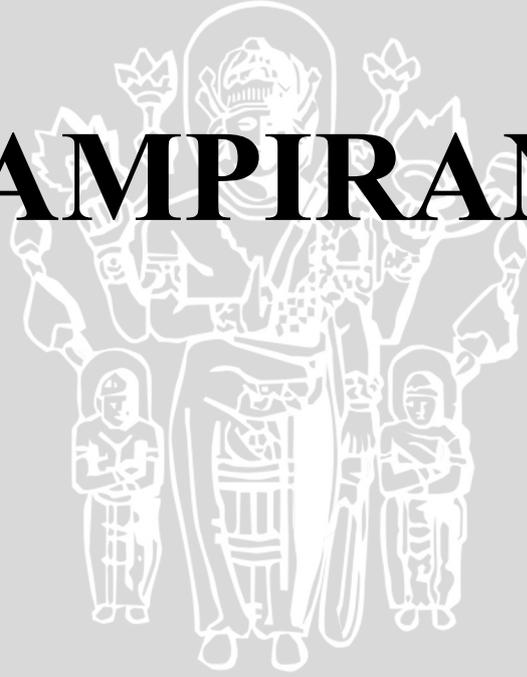
Wiratama, B. Dian. 2004. *Pengaruh Waktu dan Konsentrasi Pickling Terhadap Laju Korosi Hasil Elektroplating Nikel pada Baja*. Malang: Universitas Brawijaya.

Whittington, C. & Rose, I. 2002, *Nickel Plating Handbook*, Finland: OM Group.

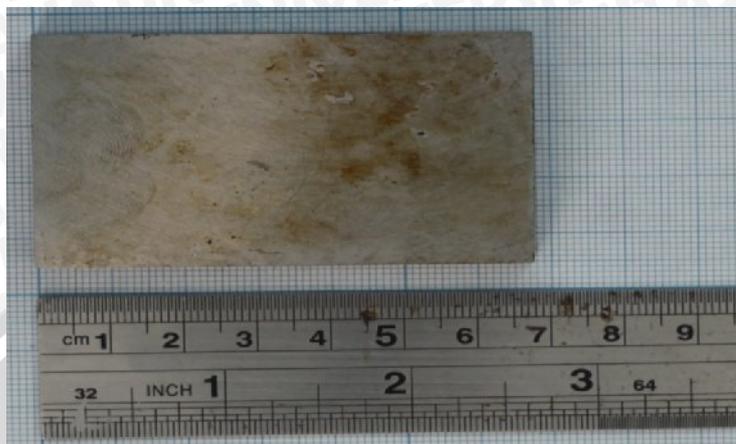


UNIVERSITAS BRAWIJAYA

# LAMPIRAN



Lampiran 1. Foto Spesimen Baja AISI 1045



Gambar A. Spesimen Sebelum Perlakuan



Gambar B. *Pickling* 2,9 A/dm<sup>2</sup> ; 3 menit



Gambar C. *Pickling* 2,9 A/dm<sup>2</sup> ; 6 menit



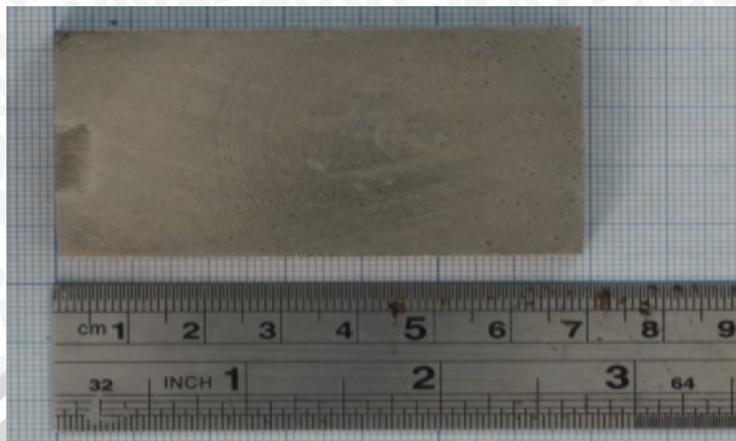
Gambar D. *Pickling* 2,9 A/dm<sup>2</sup> ; 9 menit



Gambar E. *Pickling* 5,88 A/dm<sup>2</sup> ; 3 menit



Gambar F. *Pickling* 5,88 A/dm<sup>2</sup> ; 6 menit



Gambar G. *Pickling* 5,88 A/dm<sup>2</sup> ; 9 menit



Gambar H. *Pickling* 8,82 A/dm<sup>2</sup> ; 3 menit



Gambar I. *Pickling* 8,82 A/dm<sup>2</sup> ; 6 menit



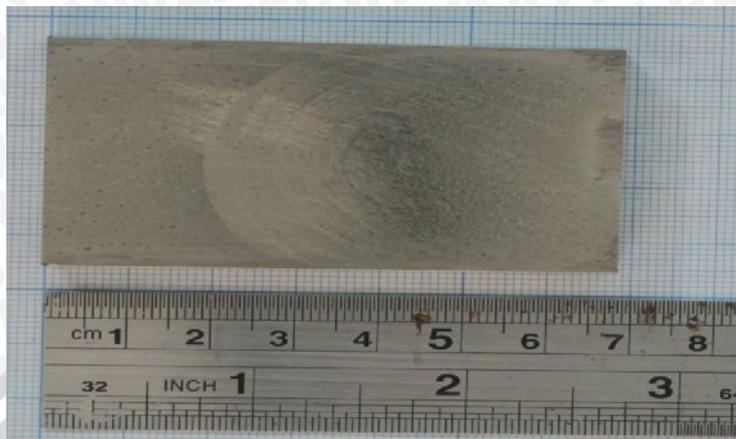
Gambar J. *Pickling* 8,82 A/dm<sup>2</sup> ; 9 menit



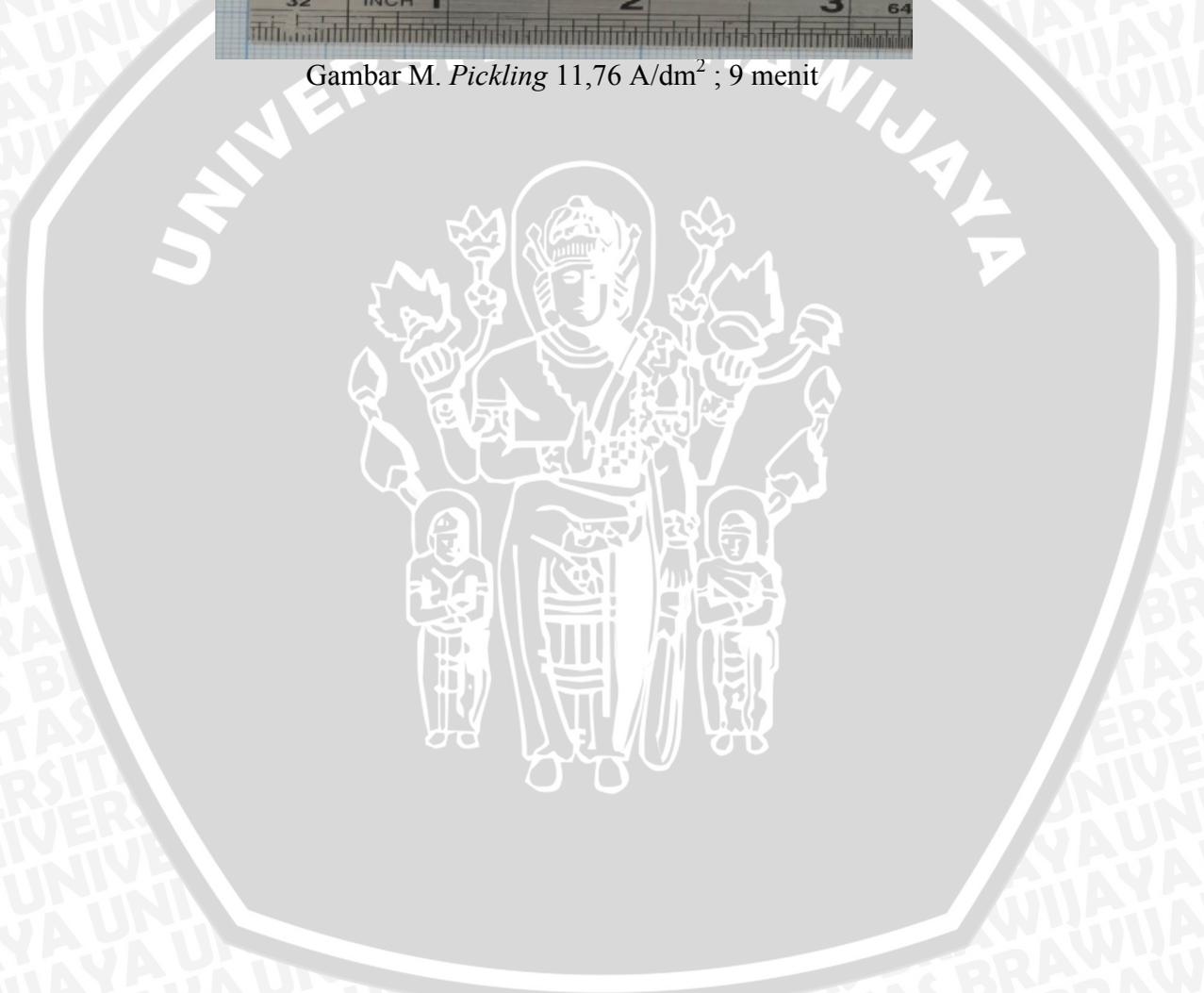
Gambar K. *Pickling* 11,76 A/dm<sup>2</sup> ; 3 menit



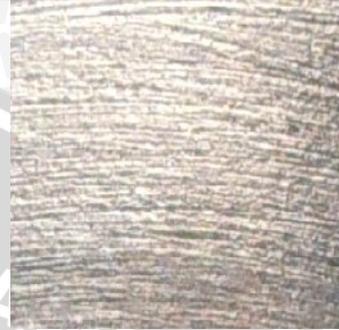
Gambar L. *Pickling* 11,76 A/dm<sup>2</sup> ; 6 menit

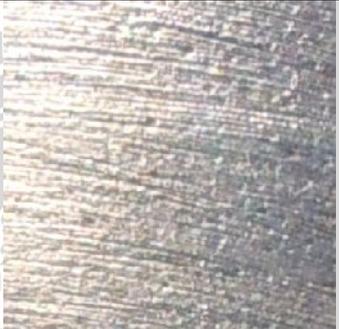


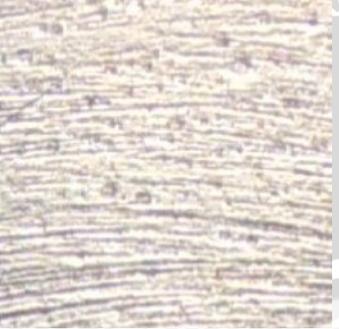
Gambar M. Pickling  $11,76 \text{ A/dm}^2$  ; 9 menit



Lampiran 2. Foto Makro Spesimen Baja AISI 1045

<i>Pickling 2,94 A/dm<sup>2</sup>, 3 menit</i>	<i>Pickling 2,94 A/dm<sup>2</sup>, 6 menit</i>	<i>Pickling 2,94 A/dm<sup>2</sup>, 9 menit</i>
		
Pembesaran 60x	Pembesaran 60x	Pembesaran 60x

<i>Pickling 5,88 A/dm<sup>2</sup>, 3 menit</i>	<i>Pickling 5,88 A/dm<sup>2</sup>, 6 menit</i>	<i>Pickling 5,88 A/dm<sup>2</sup>, 9 menit</i>
		
Pembesaran 60x	Pembesaran 60x	Pembesaran 60x

<i>Pickling 8,82A/dm<sup>2</sup>, 3 menit</i>	<i>Pickling 8,82A/dm<sup>2</sup>, 6 menit</i>	<i>Pickling 8,82A/dm<sup>2</sup>, 9 menit</i>
		
Pembesaran 60x	Pembesaran 60x	Pembesaran 60x

<i>Pickling 11,76 A/dm<sup>2</sup>, 3 menit</i>	<i>Pickling 11,76 A/dm<sup>2</sup>, 6 menit</i>	<i>Pickling 11,76 A/dm<sup>2</sup>, 9 menit</i>
		
Pembesaran 60x	Pembesaran 60x	Pembesaran 60x



Lampiran 3. Surat Izin Penelitian *Electroplating*



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL  
POLITEKNIK NEGERI MALANG  
**JURUSAN TEKNIK MESIN**  
Terakreditasi: A, sesuai Kpts BAN No.: 014/BAN-PT/Ak-VI/Dpl-III/VI/2006  
Jl. Veteran PO. Box 04 Malang 65145 Telp./Fax. (0341)55C180  
<http://www.poltek-malang.ac.id>



Nomor : 321 /K13/TM/X/2010  
Lampiran : -  
Perihal : **Surat Keterangan telah Melakukan Pengambilan Data untuk Penelitian**

28 Oktober 2010

Kepada Yth. Pembantu Dekan Bid. Akademik  
Fakultas Teknik  
Universitas Brawijaya  
Di tempat

Sehubungan dengan adanya permohonan izin Penggunaan Fasilitas Laboratorium dari Pembantu Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Brawijaya No. 2561/ H10.6/AK/2010, dengan ini kami beritahukan bahwa mahasiswa berikut:

No	Nama	NIM	Fasilitas Lab. Yang digunakan
1.	Andi Setiawan	0610620022-62	Fasilitas Elektroplating pada Lab. Perlakuan Bahan

telah melakukan pengambilan data pada laboratorium kami dari tanggal 25 s.d. 27 Oktober 2010 guna penelitian skripsi dengan judul : **"Pengaruh Rapat Arus dan Waktu Pickling terhadap Kekasaran Permukaan Hasil Nickel Elektroplating Pada Baja AISI 1045"**.

Demikian surat keterangan ini kami buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.



Ketua Jurusan,

Imam Mashudi, BEng.(Hons), M.T.  
NIP. 196311101991031003

FRM.RME.02.01.00



Lampiran 4. Lembar Data Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL  
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN

Jl. Mayjen Haryono 167 Telp. 553286 Pes. 214 Malang 65145

Nomor :120/PT.13.FT.6.M/X/2010

LEMBAR DATA PENGUJIAN

Variabel		Rapat Arus Pickling (A/dm <sup>2</sup> )			
		2.94 A/dm <sup>2</sup>	5.88 A/dm <sup>2</sup>	8.82 A/dm <sup>2</sup>	11,76 A/dm <sup>2</sup>
Waktu Pickling (Menit)	3 Menit	1.01	1.13	1.33	1.38
		0.98	1.12	1.32	1.41
		1.03	1.08	1.30	1.42
	6 Menit	1.29	1.48	1.66	1.85
		1.32	1.55	1.70	1.89
		1.40	1.53	1.65	2.03
	9 Menit	1.50	1.76	1.85	2.21
		1.67	1.72	1.82	2.26
		1.63	1.74	1.83	2.20

Malang 19 Oktober 2010

Ka. Lab. Pengujian Bahan



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



Lampiran 5. Sertifikat Baja AISI 1045

		Werkzeug-Nr. <b>CF 103577</b>		<b>QUALITÄTSKONTROLLE</b>			
		<b>EN 10 204 - 2.2</b>		<b>QC - DEPT</b>			
		Werkstoff-Nr. 1.1030.1					
		Kunden Bestell-Nr. 84/WLS/2002					
		Rechnung-Nr. 369998107					
		Rechnung-Datum 11.10.2002					
Anzahl	Materialbezeichnung	<b>Carbon steels</b>			Gesamgewicht Kgs		
605	Chargen-Nr.	<b>siehe unten Elektrostahl</b>			25324		
	Werkstoff-Nr.	<b>1.1730 (C45W3) / 1.1191 (CK 45)</b>					
	Werkstoff-Bez.	<b>1730 - annealed</b>					
		<b>Flat bars</b>					
<del>100</del>	<del>Abmessung Flat</del>	<del>x</del>	<del>mm</del>	<del>x</del>	<del>mm</del>	<del>2512 Kgs</del>	
	Heat-Nr. E20880						
<del>15</del>	<del>Abmessung Flat</del>	<del>x</del>	<del>mm</del>	<del>x</del>	<del>mm</del>	<del>565 Kgs</del>	
	Heat-Nr. E20880						
<del>50</del>	<del>Abmessung Flat</del>	<del>x</del>	<del>mm</del>	<del>x</del>	<del>mm</del>	<del>2041 Kgs</del>	
	Heat-Nr. E20880						
<del>10</del>	<del>Abmessung Flat</del>	<del>x</del>	<del>mm</del>	<del>x</del>	<del>mm</del>	<del>565 Kgs</del>	
	Heat-Nr. E20880						
<del>55</del>	<del>Abmessung Flat</del>	<del>12</del>	<del>x</del>	<del>100</del>	<del>mm</del>	<del>x</del>	<del>2072 Kgs</del>
	Heat-Nr. E20880						
<del>25</del>	<del>Abmessung Flat</del>	<del>12</del>	<del>x</del>	<del>130</del>	<del>mm</del>	<del>x</del>	<del>1225 Kgs</del>
	Heat-Nr. E20880						
<del>40</del>	<del>Abmessung Flat</del>	<del>12</del>	<del>x</del>	<del>140</del>	<del>mm</del>	<del>x</del>	<del>2110 Kgs</del>
	Heat-Nr. E20880						
<del>30</del>	<del>Abmessung Flat</del>	<del>12</del>	<del>x</del>	<del>180</del>	<del>mm</del>	<del>x</del>	<del>2035 Kgs</del>
	Heat-Nr. E20880						
<del>10</del>	<del>Abmessung Flat</del>	<del>12</del>	<del>x</del>	<del>200</del>	<del>mm</del>	<del>x</del>	<del>754 Kgs</del>
	Heat-Nr. E20880						
<del>10</del>	<del>Abmessung Flat</del>	<del>15</del>	<del>x</del>	<del>80</del>	<del>mm</del>	<del>x</del>	<del>377 Kgs</del>
	Heat-Nr. E20880						
<del>250</del>	<del>Abmessung Flat</del>	<del>15</del>	<del>x</del>	<del>90</del>	<del>mm</del>	<del>x</del>	<del>10598 Kgs</del>
	Heat-Nr. E20880						
<del>10</del>	<del>Abmessung Flat</del>	<del>15</del>	<del>x</del>	<del>100</del>	<del>mm</del>	<del>x</del>	<del>471 Kgs</del>
	Heat-Nr. E20880						
<b>Chemische Analyse in Gew. % ( Average values )</b>							
Element	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Mo</b>	<b>V</b>
ist	0,42-0,50	0,28-0,40	0,50-0,80	< 0,05	< 0,05	< 0,05	
Element	<b>W</b>	<b>P</b>	<b>S</b>				
ist		0,006-0,035	0,009-0,035				
<b>Bemerkungen :</b>				<b>Edelstahlwerke Buderus AG</b>			
Certificate is prepared by EDP-system and has validity without signature acc to EN 10204				Qualitätskontrolle / Q.C. dept.			
				Wetzlar, 10.10.2002			
				Hr. P. Biemer			

Lampiran 6. Tabel F Hitung

**NILAI-NILAI UNTUK DISTRIBUSI F**

Baris atas untuk 5%  
Baris bawah untuk 1%

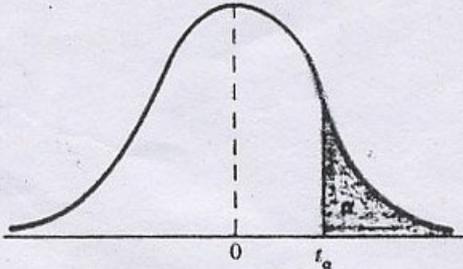
V <sub>2</sub> = dk Penyebar	V <sub>1</sub> = dk pembilang																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	∞	
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	246	248	249	250	251	252	253	254	254	254	254	254
2	4,052	4,999	5,403	5,625	5,754	5,859	5,928	5,981	6,022	6,056	6,082	6,106	6,142	6,169	6,208	6,234	6,258	6,286	6,302	6,323	6,334	6,352	6,361	6,366	
3	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,36	19,37	19,38	19,39	19,4	19,41	19,42	19,43	19,44	19,45	19,46	19,47	19,47	19,48	19,49	19,49	19,50	19,50	
4	96,49	99,00	99,17	99,25	99,30	99,33	99,34	99,36	99,38	99,40	99,41	99,42	99,43	99,44	99,45	99,46	99,47	99,48	99,48	99,49	99,49	99,49	99,50	99,50	
5	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,88	8,84	8,81	8,78	8,76	8,74	8,71	8,68	8,66	8,64	8,62	8,60	8,58	8,57	8,56	8,54	8,54	8,53	
6	34,12	30,81	29,46	28,71	28,24	27,91	27,57	27,49	27,34	27,23	27,13	27,05	26,92	26,83	26,68	26,50	26,50	26,41	26,35	26,27	26,23	26,18	26,14	26,12	
7	7,71	6,84	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,93	5,91	5,87	5,84	5,80	5,77	5,74	5,71	5,70	5,68	5,66	5,65	5,64	5,63	
8	21,20	18,00	16,69	15,98	15,52	15,21	14,98	14,80	14,65	14,54	14,45	14,37	14,24	14,15	14,02	13,93	13,83	13,74	13,69	13,61	13,57	13,52	13,48	13,46	
9	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,79	4,74	4,70	4,68	4,64	4,60	4,56	4,53	4,50	4,46	4,44	4,42	4,40	4,38	4,37	4,36	
10	16,26	13,27	12,06	11,36	10,97	10,67	10,45	10,27	10,15	10,05	9,96	9,89	9,77	9,68	9,55	9,47	9,38	9,29	9,24	9,17	9,13	9,07	9,04	9,02	
11	5,59	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,05	4,03	4,00	3,96	3,92	3,87	3,84	3,81	3,77	3,75	3,72	3,71	3,69	3,68	3,67	
12	13,74	10,82	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10	7,98	7,87	7,79	7,72	7,60	7,52	7,39	7,31	7,23	7,14	7,09	7,02	6,99	6,94	6,90	6,88	
13	5,59	4,74	4,35	4,14	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,63	3,60	3,57	3,51	3,49	3,44	3,41	3,38	3,34	3,32	3,29	3,28	3,25	3,24	3,23	
14	12,25	9,55	8,45	7,85	7,46	7,19	7,00	6,84	6,71	6,62	6,54	6,47	6,35	6,27	6,15	6,07	5,96	5,90	5,85	5,78	5,75	5,70	5,67	5,65	
15	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,34	3,31	3,28	3,23	3,20	3,15	3,12	3,08	3,05	3,03	3,00	2,98	2,96	2,94	2,93	
16	11,26	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,19	6,03	5,91	5,82	5,74	5,67	5,56	5,48	5,36	5,28	5,20	5,11	5,06	5,00	4,96	4,91	4,88	4,86	
17	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,13	3,10	3,07	3,02	2,98	2,93	2,90	2,86	2,82	2,80	2,77	2,76	2,73	2,72	2,71	
18	10,56	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,62	5,47	5,35	5,26	5,18	5,11	5,00	4,92	4,80	4,73	4,64	4,56	4,51	4,45	4,41	4,36	4,33	4,31	
19	4,95	4,10	3,71	3,49	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,97	2,94	2,91	2,86	2,82	2,77	2,74	2,70	2,67	2,64	2,61	2,59	2,58	2,55	2,54	
20	10,04	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,21	5,06	4,95	4,85	4,78	4,71	4,60	4,52	4,41	4,33	4,25	4,17	4,12	4,05	4,01	3,96	3,93	3,91	
21	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,86	2,82	2,79	2,74	2,70	2,65	2,61	2,57	2,53	2,50	2,47	2,45	2,42	2,41	2,40	
22	9,55	7,20	6,22	5,67	5,32	5,07	4,88	4,74	4,63	4,54	4,46	4,40	4,29	4,21	4,10	4,02	3,94	3,86	3,80	3,74	3,70	3,66	3,62	3,60	

$V_1 = \text{dk pembiasan}$

$V_2 = \text{dk}$ Penyebar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	0
12	4.75	3.88	3.49	3.26	3.11	3.00	2.92	2.85	2.80	2.76	2.72	2.69	2.64	2.60	2.54	2.50	2.46	2.42	2.40	2.36	2.35	2.32	2.31	2.30
13	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.65	4.50	4.39	4.30	4.22	4.16	4.05	3.98	3.86	3.78	3.70	3.61	3.56	3.49	3.46	3.41	3.38	3.36
14	4.67	3.80	3.41	3.18	3.02	2.92	2.84	2.77	2.72	2.67	2.63	2.60	2.56	2.51	2.46	2.42	2.38	2.34	2.32	2.28	2.26	2.24	2.22	2.21
15	9.07	6.71	5.74	5.20	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	4.02	3.96	3.85	3.78	3.67	3.59	3.51	3.42	3.37	3.30	3.27	3.21	3.18	3.16
16	4.60	3.74	3.34	3.11	3.06	2.96	2.81	2.70	2.65	2.60	2.56	2.53	2.48	2.44	2.38	2.35	2.31	2.27	2.24	2.21	2.19	2.16	2.14	2.13
17	8.86	6.51	5.58	5.03	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.88	3.80	3.70	3.62	3.51	3.43	3.34	3.26	3.21	3.14	3.11	3.06	3.02	3.00
18	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.70	2.64	2.59	2.55	2.51	2.48	2.43	2.39	2.33	2.29	2.25	2.21	2.18	2.15	2.12	2.10	2.08	2.07
19	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.73	3.67	3.56	3.48	3.36	3.29	3.20	3.12	3.07	3.00	2.97	2.92	2.89	2.87
20	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.45	2.42	2.37	2.33	2.28	2.24	2.20	2.16	2.13	2.09	2.07	2.04	2.02	2.01
21	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.61	3.55	3.45	3.37	3.25	3.18	3.10	3.01	2.96	2.89	2.86	2.80	2.77	2.75
22	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.62	2.55	2.50	2.45	2.41	2.38	2.33	2.29	2.23	2.19	2.15	2.11	2.08	2.04	2.02	1.99	1.97	1.96
23	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59	3.52	3.45	3.36	3.27	3.16	3.08	3.00	2.92	2.86	2.79	2.76	2.70	2.67	2.65
24	4.41	3.55	3.15	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.29	2.25	2.19	2.15	2.11	2.07	2.04	2.00	1.98	1.95	1.93	1.92
25	8.28	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.85	3.71	3.60	3.51	3.44	3.37	3.27	3.19	3.07	3.00	2.91	2.83	2.78	2.71	2.68	2.62	2.59	2.57
26	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.55	2.48	2.43	2.38	2.34	2.31	2.26	2.21	2.15	2.11	2.07	2.02	2.00	1.96	1.94	1.91	1.90	1.88
27	8.16	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.36	3.30	3.19	3.12	3.00	2.92	2.84	2.76	2.70	2.63	2.60	2.54	2.51	2.46
28	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.52	2.45	2.40	2.35	2.31	2.28	2.23	2.18	2.12	2.08	2.04	1.99	1.96	1.92	1.90	1.87	1.85	1.84
29	8.10	5.85	4.94	4.43	4.1	3.87	3.71	3.56	3.45	3.37	3.30	3.23	3.13	3.05	2.94	2.86	2.77	2.69	2.63	2.56	2.53	2.47	2.44	2.42
30	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.20	2.15	2.09	2.05	2.00	1.95	1.93	1.89	1.87	1.84	1.82	1.81
31	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.65	3.51	3.40	3.31	3.24	3.17	3.07	2.99	2.88	2.80	2.72	2.63	2.56	2.51	2.47	2.42	2.38	2.36
32	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.47	2.40	2.35	2.30	2.26	2.23	2.18	2.13	2.07	2.03	1.98	1.93	1.91	1.87	1.84	1.81	1.80	1.78
33	7.94	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26	3.18	3.12	3.02	2.94	2.83	2.75	2.67	2.58	2.53	2.46	2.42	2.37	2.33	2.31
34	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.45	2.38	2.32	2.28	2.24	2.20	2.14	2.10	2.04	2.00	1.96	1.91	1.89	1.84	1.81	1.77	1.76	1.74
35	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21	3.14	3.07	2.97	2.89	2.78	2.70	2.62	2.53	2.48	2.41	2.37	2.32	2.28	2.26
36	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.43	2.36	2.30	2.26	2.22	2.18	2.13	2.09	2.02	1.98	1.94	1.89	1.86	1.82	1.80	1.76	1.74	1.73
37	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.25	3.17	3.09	3.03	2.93	2.85	2.74	2.66	2.58	2.49	2.44	2.36	2.33	2.27	2.23	2.21
38	4.24	3.38	2.99	2.76	2.60	2.49	2.41	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.11	2.06	2.00	1.96	1.92	1.87	1.84	1.80	1.77	1.74	1.72	1.71
39	7.77	5.57	4.68	4.18	3.86	3.63	3.46	3.32	3.21	3.13	3.05	2.99	2.89	2.81	2.70	2.62	2.54	2.45	2.40	2.32	2.29	2.23	2.19	2.17
40	4.22	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.10	2.05	1.99	1.95	1.90	1.85	1.82	1.78	1.76	1.72	1.70	1.69
41	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.29	3.17	3.09	3.02	2.96	2.86	2.77	2.66	2.58	2.50	2.41	2.36	2.28	2.25	2.19	2.15	2.13

Lampiran 7. Tabel t Hitung

Nilai Kritis Sebaran  $t$



$\nu$	$\alpha$				
	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
inf.	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

Lampiran 8. Foto Dokumentasi Penelitian



Gambar A. Instalasi *Pickling*



Gambar B. Instalasi *Electroplating*



Gambar C. Mesin *Electroplating*

