PENGARUH VARIASI *CURRENT DENSITY* LARUTAN *WATTS* TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN KETAHANAN AUS HASIL PROSES *NICKEL ELECTROPLATING*

SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

RADEN KUSNINDAR PRIOHUTOMO
NIM. 0410623061-62

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
MALANG
2009

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH VARIASI *CURRENT DENSITY* LARUTAN *WATTS* TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN KETAHANAN AUS HASIL PROSES *NICKEL ELECTROPLATING*

SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

RADEN KUSNINDAR PRIOHUTOMO
NIM. 0410623061-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Ir. Endi Sutikno., MT.	Putu Hadi Setyarini, ST., MT.
NIP: 19590411 198710 1 001	NIP: 19770806 200312 2 001

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI *CURRENT DENSITY* LARUTAN *WATTS* TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN KETAHANAN AUS HASIL PROSES *NICKEL ELECTROPLATING*

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Disusun oleh :

RADEN KUSNINDAR PRIOHUTOMO

NIM.0410623061

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada tanggal 23 Desember 2009

DOSEN PENGUJI

Skripsi 1	**Skripsi 2**
Dr.Slamet Wahyudi,ST., MT. NIP. 19720903 199702 1 001	Ir. Agustinus Ariseno, MT. NIP. 19510822 198701 1 001

Komprehensif

Ir. Imam Zaky, MT.
NIP. 19450918 197702 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

KATA PENGANTAR

Alhamdullilah, Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya yang telah diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul " **Pengaruh Variasi *Current Density* Larutan *Watts* Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketahanan Aus Hasil Proses *Nickel Electroplating*".**

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

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. Selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng, Dr.Eng. selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. Marsoedi Wiroharjo, M.MT. Selaku Ketua Konsentrasi Produksi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Bapak Dr. Eng Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng. atas saran dan masukannya.
5. Bapak Ir. Endi Sutikno, MT. selaku dosen pembimbing pertama
6. Ibu Putu Hadi Setyarini, ST., MT. selaku dosen pembimbing kedua.
7. Ayahanda R. Tonny Koesworo. SH dan Ibunda Chrisna Indrawati tercinta yang telah memberikan rasa sabar dan kasih sayang tanpa batas serta dorongan untuk segera menyelesaikan skripsi.
8. Dina Marisandi, terimakasih buat doa, semangat, dan ketekunanmu untuk selalu mengingatkanku agar segera menyelesaikan kuliah.
9. Deshinta Maharani, terimakasih buat nasehat, semangat dan pemikirannya supaya aku selalu berpikiran kedepan.
10. Sahabat terbaikku (Luqman, Arifin, Tudung, Bilal dan Herman) terima kasih kalian telah memberikan sumbang saran dan pemikiran yang membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Teman-teman Mesin Angkatan 2004 Mesin Brawijaya atas solidaritasnya dan semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung yang ikut membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi melengkapi skripsi ini.

Akhir kata semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua

Malang, Desember 2009

Penulis

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

RINGKASAN

R. Kusnindar.P, Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang**,** Desember 2009**. "Pengaruh Variasi *Current Density* Larutan *Watts* Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketahanan Aus Hasil Proses *Nickel Electroplating*".** Dosen Pembimbing **1: Endi Sutikno.** Dosen Pembimbing 2**: Putu Hadi Setyarini.**

Baja AISI 1045 adalah baja karbon menengah yang digunakan untuk pembuatan poros ataupun roda gigi yang sering tidak bekerja optimal dikarenakan gesekan yang berakibat pada keusan komponen-komponen mesin tersebut. *Electroplating* adalah salah satu cara memberbaiki sifat mekanik dari baja AISI 1045. Pada proses *electroplating*, nikel banyak dipakai karena lapisan nikel mempunyai sifat yang keras, dapat dipergunakan secara luas dalam aplikasi yang membutuhkan ketahanan terhadap gesekan dan temperatur tinggi serta dapat meningkatkan ketahanan terhadap korosi.

Pada penelitian ini, dilakukan proses *nickelplating* dengan variasi *current density* pada larutan *watts* yaitu : 5 A.dm^{-2}, 6,25 A.dm^{-2}, 7,5 A.dm^{-2} dan 8,75 A.dm^{-2}. Sedangkan pengujian yang dilakukan adalah pengujian kekuatan tarik yang menggunakan alat uji MFL Piuf-Und Me Bsyteme GmbH D 6800 Mannheim dan pengujian ketahanan aus mengunakan mesin uji aus standar ASTM G65.

Hasil dari penelitian didapatkan bahwa kekuatan tarik terbesar didapatkan pada *current density* 8,75 A.dm^{-2} yaitu 372,75 MPa. Hal ini dikarenakan semakin besar *current density* maka akan meningkatkan ikatan antar ion logam pelapis. Sedangkan untuk ketahanan aus terbesar didapatkan pada *current density* 8,75 A.dm^{-2} yaitu 1,0946 gram. Hal ini dikarenakan semakin besar *current density* maka akan meningkatkan ikatan antar ion logam pelapis. Sehingga gaya yang diperlukan untuk mengauskannya semakin besar.

Kata kunci: *Nickelplating, current density,* kekuatan tarik , ketahanan aus, ketebalan lapisan, AISI 1045.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR i
RINGKASAN iii
DAFTAR ISI iv
DAFTAR GAMBAR vii
DAFTAR TABEL viii
BAB I PENDAHULUAN
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan 3
1.5 Manfaat 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA
2.1 Penelitian Sebelumnya 4
2.2 Pelapisan Menggunakan Logam 4
2.3 Pelapisan Logam Secara Listrik (*Electroplating*) 5
2.4 Dasar - Dasar *Electroplating* 6
2.4.1 Elektroda 6
2.4.2 Elektrolit 7
2.4.3 Proses Elektrolis Larutan Elektrolit 8
2.4.4 Sumber Arus 8
2.4.5 Rapat Arus (Current Density) 9
2.5 Hukum Faraday Pada Proses *Electroplating* 9
2.6 Energi Aktivasi 11
2.7 Temperatur 11
2.8 Hukum Coulomb 12

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

2.9 Pengadukan 12
2.10 Pickling 13
2.11 Baja 14
2.12 Nikel 15
2.13 Proses Pembentukan Logam Pelapis Pada Proses *Electroplating* 16
2.14 Ketahanan Aus 16
2.14.1 Macam-Macam Keausan 17
2.15 Uji Ketebalan Lapisan 20
2.16 Uji Keausan 21
2.17 Kekuatan Tarik 22
2.18 Uji Tarik 23
2.19 Hipotesa 24

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian 25
3.2 Variabel Penelitian 25
3.3 Bahan Yang Digunakan 26
3.4 Alat Penelitian 28
3.5 Tempat dan Waktu Penelitian 31
3.6 Prosedur Percobaan 31
3.7 Metode Pengukuran Data 32
3.7.1. Pengukuran ketebalan lapisan permukaan 32
3.7.2. Pengukuran laju keausan 32
3.7.3 Pengukuran kekuatan tarik 33
3.8. Diagram Alir Penelitian 34
3.9 Rencana pengolahan dan analisis data 35

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

3.9.1 Rancangan Penelitian 35
3.9.2 Uji Kecukupan Data Observasi 35
3.9.3 Analisa Statistik 36

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian 40
4.1.1. Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik 40
4.1.2. Data Hasil Pengujian Laju Keausan 42
4.2. Pengolahan Data 44
4.2.1. Uji Kecukupan Data Observasi 44
4.2.2. Analisa Statistik 49
4.2.3. Analisa Regresi 53
4.3. Pembahasan 55
4.3.1. Analisa Grafik Hubungan Antara Current Density Terhadap Kekuatan Tarik 55
4.3.2. Analisa Grafik Hubungan Antara Current Density Terhadap Laju Keausan 58

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan 61
5.2 Saran 61

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR GAMBAR

Halaman

GAMBAR BAB I

-

GAMBAR BAB II

Gambar 2.1 Skema Proses *Electroplating*…… 5
Gambar 2.2 Keausan *Abrasive* ……..…… 17
Gambar 2.3 *Contact Wear* …….... 19
Gambar 2.4 *Erosion Wear* …….. 20
Gambar 2.5 Mini Test 600 *Thickness Coating*…… 21
Gambar 2.6 *Abrasive Wear Testing Machine* ASTM G65 ……..... 22
Gambar 2.7 Spesimen Uji Tarik…….. …….. 23
Gambar 2.8 Alat uji Tarik……. …….. 23

GAMBAR BAB III

Gambar 3.1 Ukuran Benda Kerja Uji Tarik……... 27
Gambar 3.2 Ukuran Benda Kerja Uji Aus..... 28
Gambar 3.3 Ukuran Benda Kerja Anoda..... 29
Gambar 3.4 Foto Timbangan Elektrik..... 30
Gambar 3.5 Instalasi *Electroplating*..... 30
Gambar 3.6 Bak *Electroplating*..... 31
Gambar 3.7 Diagram Alir Penelitian..... 35

GAMBAR BAB VI

Gambar 4.1 Grafik Hubungan C*urrent Density* terhadap Kekuatan Tarik 56
Gambar 4.2 Grafik Hubungan C*urrent Density* terhadap Laju Keausan..... …….. 59

GAMBAR BAB V

-

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR TABEL

Halaman

TABEL BAB I

-

TABEL BAB II

Tabel 2.1 Tabel Komposisi Larutan Watts..... 8

TABEL BAB III

Tabel 3.1 Unsur kandungan baja AISI 1045 28

Tabel 3.2 Rancangan penelitian 36

Tabel 3.3 Uji kecukupan observasi 37

Tabel 3.4 Analisis varian satu arah 39

TABEL BAB VI

Tabel 4.1 Tabel data hasil pengujian gaya maksimum..... 41

Tabel 4.2 Tabel data luas penampang spesimen..... 41

Tabel 4.3 Tabel data kekuatan tarik..... 43

Tabel 4.4 Tabel data pengujian massa setelah dilapisi..... 43

Tabel 4.5 Tabel data pengujian massa yang hilang..... 44

Tabel 4.6 Tabel data laju keausan..... 45

Tabel 4.7 Tabel uji kecukupan data observasi pengujian kekuatan tarik..... 45

Tabel 4.8 Tabel uji kecukupan data observasi pengujian laju keausan..... 48

Tabel 4.9 Tabel analisis varian data pengujian kekuatan tarik..... 51

Tabel 4.10 Tabel analisis varian data pengujian laju keausan..... 53

Tabel 4.11 Tabel data regresi kekuatan tarik..... 54

Tabel 4.12 Tabel data regresi laju keausan..... 55

TABEL BAB V

-

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pelapisan logam (*electroplating*) merupakan bidang yang sangat luas, dan menjadi salah satu penerapan teknologi *elektrokimia*. *Electroplating* erat sekali dengan ilmu pengetahuan dan teknologi bahan, kimia permukaan, kimia fisik. Contoh aplikasi *electroplating* yang banyak digunakan adalah pada industri kimia, telekomunikasi dan industri komputer. Karena dengan proses ini diharapkan akan meningkatkan tebal lapisan pelindung (*deposite*) pada permukaan material, sehingga material dapat mempunyai fungsi dan umur pemakaian yang lebih lama (Hartomo.,1992:39).

Keunggulan dari *electroplating* adalah dapat memperbaiki sifat mekanik bahan tanpa merubah sifat fisik dan mekanik asli dari bahan yang dilapisi, dapat dikontrol tingkat ketebalan lapisannya dengan berbagai variasi dan tampilan struktur yang bagus (mengkilap, cemerlang) (ASM Hand Book, Surface Engineering., 1996:201).

Salah satu jenis logam yang banyak dipergunakan sebagai logam pelapis adalah nikel. Karena lapisan nikel mempunyai sifat yang keras, dapat dipergunakan secara luas dalam aplikasi yang membutuhkan ketahanan terhadap gesekan dan temperatur tinggi serta dapat meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Nikel pada proses *electroplating* digunakan sebagai anoda (Luo, J.K., 2005).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Adhen Bagussa Utomo (2007), didapatkan hasil bahwa variasi konsentrasi $NiSO_4$ memberikan pengaruh yang besar terhadap ketahanan aus dan ketahanan terhadap *thermal shock*. Konsentrasi $NiSO_4$ untuk mendapatkan ketahanan aus optimum adalah sebesar 300 gram/liter dan untuk *thermal shock* sebesar 222,5 gram/liter. Hal ini disebabkan pada konsentrasi tersebut *deposite* lapisan yang dihasilkan relatif lebih tebal dan mempunyai kemampuan tahan terhadap keausan dan *thermal shock* yang lebih baik.

ZHU Dong Mei (2007), melakukan penelitian tentang *properties dari borate glass coating on Ti alloy* pada pelapisan secara *electroplating*. Pada penelitian ini untuk mendapatkan kekuatan tarik spesimen yang optimum temperatur yang digunakan sebesar 730^0C dengan waktu 30 menit maka akan didapatkan kekuatan tarik sebesar 28,42 Mpa.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

WEI Tong Bo (2004), melakukan penelitian tentang efek *current density* pada pertumbuhan rata-rata lapisan microarc oxidation ceramic *coating* pada paduan aluminium. Pada penelitian ini meningkatnya *current density* akan meningkatkan ketebalan lapisan. Dimana semakin tebal lapisan yang terbentuk maka akan meningkatkan ikatan antar ion logam pelapis yang akan meningkatkan ketahanan aus spesimen.

Larutan yang dipergunakan dalam proses pelapisan nikel adalah larutan *Watts* yang terdiri dari larutan nikel sulfat, nikel khlorida, dan asam borat. Pada larutan ini , nikel sulfat sebagai larutan utama memasok ion nikel dan nikel khlorida memasok khloridanya yang berguna untuk mencegah agar anoda tidak pasif, juga untuk meningkatkan konduktivitas dan keseragaman lapisan ketebalan *coating*. Sedangkan asam borat mengontrol *PH film* katoda dan menghindari terjadinya gelembung *hydrogen* (ASM Handbook).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana variasi *current density nickel sulphate* ($NiSO_4$) mempengaruhi ketahanan aus dan kekuatan tarik hasil proses *nickel electroplating* Pengujian aus dilakukan untuk mengetahui ketahanan keausan pada material. Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui mengetahui karakteristik material sewaktu mengalami lenturan dan permesinan. Aplikasi yang digunakan pada spesimen, misalnya pelapisan pada roda gigi, mata bor, *connecting rod* dan baut agar tidak cepat mengalami keausan.

Material yang digunakan pada proses ini adalah baja AISI 1045. Sehingga dapat diketahui apakah variasi *current density* larutan *nickel sulphate* (NiSO4) pada proses *nickel electroplating* berpengaruh terhadap laju keausan dan kekuatan tarik material.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang ada maka dapat disusun suatu rumusan masalah sebagai berikut :

"Bagaimana pengaruh variasi *current density* larutan *nickel sulphate* ($NiSO_4$) terhadap kekuatan tarik dan ketahanan aus hasil proses *nickel electroplating*".

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan dari penelitian ini tidak meluas sehingga dapat terfokus, maka ditetapkan batasan masalah adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan adalah baja AISI 1045 sebagai katoda, karena baja ini memiliki kekuatan tarik, ketahanan aus dan kekerasan yang baik (Corus Engineering Steels).
2. Waktu penahanan yang digunakan adalah 60 menit (Adhen Bagussa Utomo, 2007).
3. Pembahasan difokuskan pada ketahanan aus dan kekuatan tarik baja hasil proses *nickelplating.*
4. Penelitian difokuskan pada pengaruh *current density* larutan *nickel sulphate* ($NiSO_4$) dengan : 5 $A.dm^{-2}$, 6,25 $A.dm^{-2}$, 7,5 $A.dm^{-2}$, dan 8,75 $A.dm^{-2}$ .Sedangkan pengaruh yang lain dianggap konstan (ASM Handbook).
5. Larutan elektrolit yang digunakan pada proses *pickling* dengan katalis H_2SO_4 selama 5 menit (Listyono, 2000).

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian yang dilakukan ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh *current density* larutan *watts* terhadap kekuatan tarik dan ketahanan aus pada baja AISI 1045 hasil proses *nickel electroplating.*

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang bisa didapatkan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh pengaruh *current density* larutan *watts* terhadap kekuatan tarik dan ketahanan aus pada baja AISI 1045 hasil proses *nickelplating* sehingga didapatkan hasil yang optimal.
2. Dapat dijadikan referensi untuk pengembangan teknologi pelapisan logam khususnya *electroplating* pada baja dalam penelitian selanjutnya.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Bagussa Aden Utomo (2007), melakukan penelitian tentang konsentrasi NiSO4 terhadap ketahanan aus dan *thermal shock*. Pada penelitian ini konsentrasi NiSO4 untuk mendapatkan ketahanan aus optimum adalah sebesar 300 gram/liter dan untuk *thermal shock* sebesar 222,5 gram/liter. Hal ini disebabkan pada konsentrasi tersebut deposit lapisan yang dihasilkan relatif lebih tebal dan mempunyai kemampuan tahan terhadap keausan dan *thermal shock* yang lebih baik.

ZHU Dong Mei (2007), melakukan penelitian tentang *properties dari borate glass coating on Ti alloy* pada pelapisan secara *electroplating*. Pada penelitian ini untuk mendapatkan kekuatan tarik spesimen yang optimum temperatur yang digunakan sebesar 730^0C dengan waktu 30 menit maka akan didapatkan kekuatan tarik sebesar 28,42 Mpa.

WEI Tong Bo (2004), melakukan penelitian tentang efek *current density* pada pertumbuhan rata-rata lapisan microarc oxidation ceramic *coating* pada paduan aluminium. Pada penelitian ini meningkatnya *current density* akan meningkatkan ketebalan lapisan. Dimana semakin tebal lapisan yang terbentuk maka akan meningkatkan ikatan antar ion logam pelapis yang akan meningkatkan ketahanan aus spesimen.

2.2 Pelapisan Menggunakan Logam

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

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

a) Logam pelapis harus jauh lebih tahan terhadap serangan lingkungan dibanding logam yang dilindungi.
b) Logam pelapis tidak boleh memicu korosi pada logam yang dilindungi seandainya mengalami goresan atau pecah di permukaannya.
c) Sifat – sifat fisik, seperti kelenturan dan kekerasannya, harus cukup memenuhi persyaratan operasional struktur atau komponen bersangkutan.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

d) Metode pelapisannya harus bersesuaian dengan proses fabrikasi yang digunakan untuk membuat produk akhir.

c) Tebal lapisan harus merata dan bebas dari pori – pori (persyaratan ini hampir tidak mungkin dipenuhi).

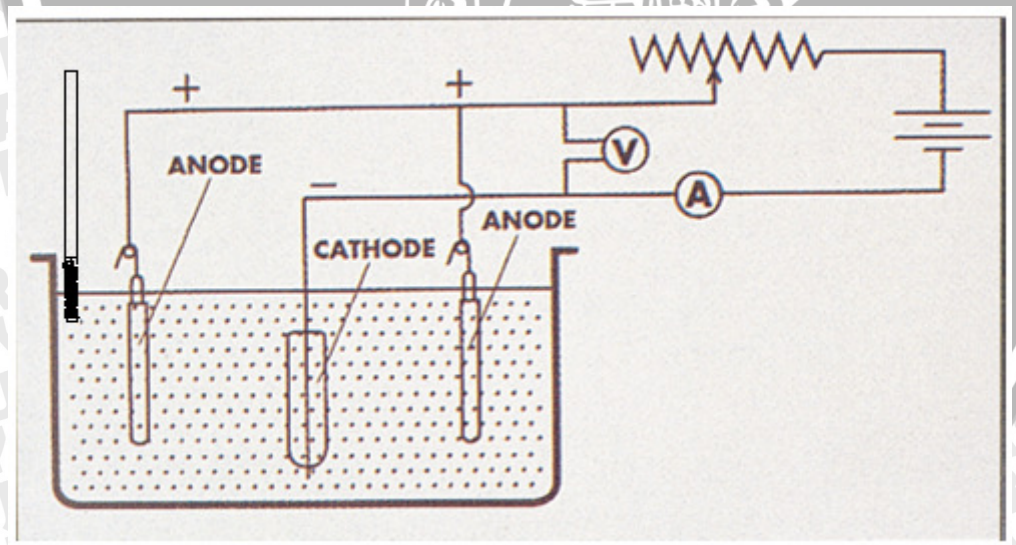
2.3 Pelapisan Logam Secara Listrik (*Electroplating*)

Electroplating adalah proses pelapisan logam yang menggunakan prinsip elektrokimia (perubahan energi dari energi listrik ke energi kimia). Proses yang berlangsung pada metode ini adalah proses elektrolisis, yaitu proses 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 serta katoda dan reaksi dengan larutan *electrolyte* yang digunakan.

Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :

Anoda : $Ni \longrightarrow Ni^{2+} + 2\,e^{-}$

Katoda : $Ni^{2+} + 2\,e^{-} \longrightarrow Ni$



Gambar 2.1. Skema Proses Electroplating
Sumber: Journal Electrochemisty Encyclopedia

Sel elektrolisis merupakan tempat terjadinya peristiwa penguraian ion-ion logam pada larutan elektrolit oleh arus listrik searah (DC). Cara kerja sel elektrolisis adalah sebagai berikut :

- Sumber arus listrik searah memompa elektron dari anoda ke katoda. Elektron ini ditangkap oleh kation (ion positif) pada larutan elektrolit sehingga pada permukaan katoda terjadi reaksi reduksi terhadap kation.
- Pada saat yang sama, anion (ion negatif) pada larutan elektrolit melepaskan elektron. Dengan demikian, pada permukaan anoda terjadi reaksi oksidasi terhadap anion.
- Macam-macam keunggulan *electroplating* :
    1. Perlindungan terhadap korosi
    2. Meningkatkan ketahanan kelistrikan
    3. Meningkatkan toleransi terhadap panas
    4. Mengurangi keausan dan friksi
    5. Kebutuhan dekoratif

2.4 Dasar - Dasar *Electroplating*

2.4.1 Elektroda

Prinsip dasar dari pelapisan logam secara listrik adalah penempatan ion logam yang direduksi pada logam yang dilapisi, yang mana ion-ion logam tersebut bisa didapat dari anoda dan dari elektrolit yang digunakan. Terdapat dua buah elektroda dimana elektroda yang dihubungkan dengan kutub positif disebut anoda. Sedangkan elektroda yang dihubungkan dengan kutub negatif disebut dengan katoda yang dalam hal ini adalah logam yang akan dilapisi. Ciri-ciri dari elektroda tersebut adalah sebagai berikut (Van Vlack LH., 1989:486)

a) Anoda :
- Merupakan kutub positif (+)
- Terjadi reaksi oksidasi
- Terjadi pelepasan elektron
- Merupakan logam pelapis

b) Katoda :
- Merupakan kutub negatif (-)
- Tempat terjadinya reaksi reduksi
- Terjadi proses menerima elektron dari luar

- Merupakan benda kerja yang akan dilapisi

Anoda yang sering digunakan dalam proses *electroplating* ada dua macam yaitu anoda yang dapat larut dan anoda yang tidak dapat larut. Maksud dari anoda yang dapat larut adalah anoda yang selama proses pelapisan memberikan ion-ion logamnya kepada katoda sehingga anoda jenis ini makin lama makin habis terkikis. Contoh anoda jenis ini adalah tembaga (Cu), seng (Zn), nikel (Ni), perak (Ag), dan lain sebagainya. Penggunaan anoda jenis ini memiliki keuntungan yaitu membantu pengoperasian dalam menjaga konsentrasi larutan agar tetap dalam batas yang diinginkan secara otomatis. Akan tetapi anoda jenis ini memiliki kelemahan yaitu dalam jangka waktu yang relatif panjang akan menghasilkan kotoran dan memerlukan pengontrolan kondisi apakah anoda masih berfungsi dengan baik untuk pengoperasian (Parthasarady. 1998 :48).

Sedangkan anoda yang tidak dapat larut adalah anoda yang selama proses tidak terkikis. Contoh anoda jenis ini adalah karbon (C), platina (Pt), timah hitam (Pb), dan lain sebagainya. Penggunaan anoda jenis ini tidak membutuhkan pengontrolan kondisi anoda secara khusus.

2.4.2 Elektrolit

Fungsi dari elektrolit adalah sebagai penghantar arus dan sebagai sumber atau penambah ion logam pelapis. Oleh karena itu larutan elektrolit harus mengandung ion logam pelapis, misalnya untuk pelapisan nikel maka elektrolit yang digunakan harus mengandung ion nikel juga. Macam larutan yang digunakan pada pelapisan nikel ini adalah larutan *sulphate*. Larutan ini digunakan dalam pelapisan untuk tujuan dekoratif, *engineering* maupun *electroforming*.

Larutan *sulphate* ini memiliki beberapa keunggulan, yaitu :

1. Mengurangi tegangan sisa pada spesimen.
2. Pengoperasian larutan nikel *sulphate* bisa dilakukan dengan klorida rendah bahkan tanpa campuran larutan klorida.
3. Kosistensi ketebalan yang sangat baik, kelenturan yang sangat baik, kuat menahan temperatur yang tinggi.

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

1. *Nickel Sulphate* ($NiSO_4$) yaitu sumber utama ion nikel dalam larutan untuk pelapisan.Anionnya bersifat stabil yang tidak tereduksi di katoda, teredoksi di

anoda ataupun menguap nikel sulfat ini bisa di dapat dalam keadaan murni dan relatif murah.

2. *Nickel Chloride* ($NiCl_2$) yaitu diperlukan untuk memasok *chloride* agar anoda tidak pasif juga meningkatkan konduktivitas dari *plating bath* dan keseragaman distribusi serta meningkatkan ketebalan lapisan *coating*.
3. *Boric Acid* (H_3BO_3) yaitu digunakan untuk menjaga konsentrasi hidrogen (PH) pada lapisan katoda. Indikasi dari rendahnya konsentrasi asam borik adalah adanya kekasaran ketika digunakan arus yang tinggi. Asam borik berperan penting dalam menentukan batas atas dari rapat arus yang digunakan.

Contents		Optimum Ranges	Units
pH		3.7 to 4.0	
Nickel Sulphate	$NiSO_4.6H_2O$	150 to 450	g/L
Nickel Chloride	$NiCl_2.6H_2O$	37.5 to 150	g/L
Boric Acid	H_3BO_3	37.5 to 60	g/L

Tabel 2.1. Tabel Komposisi Larutan *Watts*
Sumber : *Nickel Plating*, Metal *Finishing* GuideBook, 2001

2.4.3 Proses Elektrolis Larutan Elektrolit

Dalam bak plating ketika proses berlangsung terjadi berbagai reaksi yang turut mempengaruhi kualitas hasil pelapisan. *Nickel Sulphate* ($NiSO_4$) dalam larutan *Watt* berfungsi sebagai komponen utama pada proses elektrolisis (Dubpernell, 1990:94). Reaksi pada katoda:

$$Ni^{2+} + SO_4^{2-} + 14H^+ + 14e^- + 3O_2 \longrightarrow NiSO_4 + 6H_2O \quad \text{(deposisit } nickel\text{)}$$

$$6H^+ + 6e^- \longrightarrow 3H_2 \quad \text{(pengeluaran hidrogen)}$$

2.4.4 Sumber Arus

Besar arus yang akan digunakan selama proses *electroplating* dan kestabilannya harus diperhatikan karena hal itu berhubungan dengan hasil pelapisan yang akan terbentuk. Kenaikan tegangan antar kedua elektroda akan meningkatkan jumlah atom yang terionisasi. Ditinjau dari kestabilan arus yang dibutuhkan, maka sumber arus yang paling baik adalah DC *power supply* (catu daya searah). Sumber arus yang lain dapat digunakan antara lain batere kering dan *accumulator*.

2.4.5 Rapat Arus (Current Density)

Rapat arus adalah besar arus per jumlah luas permukaan katoda (benda kerja) yang akan dilapisi (Anton Hartomo, 1997:14) yang dapat dirumuskan yaitu:

$$CD = i/A$$

Dengan:

CD = *Current Density* (A/dm^2)

i = kuat arus (Ampere)

A = luas permukaan katoda (dm^2)

Rapat arus mempunyai peranan yang sangat penting, apabila rapat arus yang digunakan terlalu kecil maka proses pengendapan akan berjalan dengan lambat, ini berarti laju pelepasan elektron yang berhubungan dengan pengendapan logam pelapis terjadi secara lambat dengan kata lain terdapat waktu yang cukup bagi inti logam pelapis untuk tumbuh sehingga hanya terdapat sedikit bidang untuk tumbuh inti yang baru, pada akhirnya akan terbentuk butiran butiran yang besar pada permukaan katoda. Sebaliknya apabila rapat arus yang digunakan besar maka akan dihasilkan butiran butiran yang kecil, karena besar arus yang terjadi menyebabkan cepatnya terbentuk inti baru, endapan yang terjadi pada permukaan katoda berbutir halus (N.V. Parthasarady,1988:54).

Tetapi kita tidak dapat menaikan rapat arus sampai limit atau batas tertentu, karena akan menimbulkan pelepasan hidrogen yang pada akhirnya akan terjadi hidroxyde pada logam yang akan dilapisi. Jika ini terjadi maka endapan yang terjadi halus tetapi berpori dan tampak kusam serta lunak, karena adanya hidrogen yang ikut mengendap pada logam yang akan dilapisi besarnya limit rapat arus tidak sama untuk masing masing kondisi, hal itu dipengaruhi oleh konsentrasi larutan, temperatur dan jenis larutan yang digunakan.

2.5 Hukum Faraday Pada Proses *Electroplating*

Dasar dari elektrolisis dijelaskan oleh Michael Faraday dengan 2 prinsip penting (Sanders, 1950:7), yaitu:

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

Pernyataan diatas dapat dirumuskan sebagai berikut:

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

$$w = \frac{I \times t \times A}{z \times F}(gr) \qquad (2.1)$$

dengan :

w = berat logam yang diendapkan (gr)

I = arus yang digunakan (ampere)

A = massa atom

z = valensi

t = waktu (detik)

F = bilangan Faraday = 96500 (Coulomb / mol)

Dari rumus tersebut, ketebalan deposit dapat diperoleh dengan asumsi deposit sepanjang permukaan seragam (Sanders,1950:7). Untuk mengetahui ketebalan deposit (*density*) maka kita harus mengetahui volume dari logam, dan hubungan tersebut sebagai berikut:

$$Density\ Nickel = \frac{berat\ endapan\ \text{logam}}{volume}\left(\frac{gr}{cm^3}\right) \qquad (2.2)$$

$$\text{Volume} = \frac{berat\ \ endapan}{density}\left(cm^3\right) \qquad (2.3)$$

Ketebalan deposit dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\text{Ketebalan} = \frac{volume}{luas}\ (\text{cm}) \qquad (2.4)$$

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

$$\eta\ \text{arus} = \frac{w_{aktual}}{w_{teoritis}} x100\% \qquad (2.5)$$

W_{aktual} = berat yang mengendap di Katoda

$W_{teoritis}$ = berat menurut Hukum Faraday

Walaupun efisiensi arus listrik pada *nickel plating* rendah yaitu sekitar 10 - 25 % laju pelapisan yang tinggi dapat dicapai dengan meningkatkan *current density*. Voltase

yang dibutuhkan pada *nickelplating* lebih besar daripada *electroplating* logam yang lain yaitu sekitar 4 – 10 V (Dubpernell,1990:88).

2.6 Energi Aktivasi

Energi aktivasi merupakan energi yang dibutuhkan dan harus dimiliki oleh molekul-molekul pereaksi agar dapat melangsungkan reaksi. Selama perubahan kimia, molekul-molekul yang bereaksi akan terus bertumbukan ketika molekul-molekul tersebut bergerak secara acak. Tetapi untuk banyak reaksi eksoterm tidak serta merta, pada temperatur kamar kebanyakan molekul sekedar terpental setelah bertabrakan tanpa bereaksi. Misalnya dalam suatu campuran hidrogen dan oksigen pada temperatur kamar, molekul-molekul berulang-ulang bertabrakan satu sama lainnya dan terpental tanpa perubahan, tetapi jika panas ditambahkan ke dalam wadah, molekul-molekul akan memeperoleh cukup energi untuk bereaksi bila mereka bertabrakan.

Besarnya energi aktivasi dapat dicari dengan menggunakan persamaan Arrhenius yang menghubungkan antara temperatur (T), *rate constant* (k) atau biasa disebut laju reaksi dan energi aktivasi (Ea). Untuk memecahkan persamaan ini dibutuhkan nilai rate contant pada lebih dari satu temperatur. Energi aktivasi didapat dengan menggunakan grafik ln k versus 1/T. Kemiringan dari grafik ini sebanding dengan besaran Ea/R, dimana R adalah konstanta gas. Energi aktivasi memiliki satuan Joule.

2.7 Temperatur

Temperatur larutan akan berpengaruh pada laju difusi ion-ion menuju ke katoda. Apabila temperatur meningkat maka akan meningkatkan laju difusi ion ke katoda sehingga dapat mencegah pembentukan deposit dengan struktur yang kasar. Struktur deposit yang kasar akan berpengaruh pada sifat-sifat dari lapisan hasil elektroplating terutama ketahanan terhadap *korosi* dan kekerasan permukaan.

Temperatur juga akan berpengaruh pada konduktivitas larutan elektrolit. Konduktivitas larutan elektrolit ditentukan oleh jumlah dan mobilitas ion menuju ke katoda. Semakin cepat laju perpindahan ion, maka akan semakin besar pula konduktivitas larutan. Ion H^+ dan OH^- merupakan ion dengan laju difusi yang paling cepat. Larutan basa

atau asam kuat merupakan konduktor yang lebih baik daripada larutan garamnya (Parthasarady. 1988 :17).

2.8 Hukum Coulomb

Hukum Coulomb adalah hukum yang menjelaskan hubungan antara gaya yang timbul antara dua titik muatan, yang terpisahkan jarak tertentu. Dengan nilai muatan dan jarak pisah keduanya. Hukum ini menjelaskan apabila terdapat dua buah titik muatan maka akan timbul gaya diantara keduanya, yang besarnya sebanding dengan perkalian nilai kedua muatan dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antar keduanya. Interaksi antar benda-benda bermuatan (tidak hanya titik muatan) terjadi melalui gaya tak kontak yang bekerja melampaui jarak separasi.Gaya yang timbul dapat membuat kedua titik muatan saling tarik menarik atau tolak menolak, tergantung nilai dari masing-masing muatan. Muatan sejenis (bertanda sama) akan saling tolak menolak, sedangkan muatan berbeda jenis akan saling tarik menarik.

Hukukm Coulomb dapat dirumuskan:

$$F = \frac{q_1 . q_2 . e^2}{4\pi \, e_0 \, a^2}$$

Dengan : F = Gaya yang dialami oleh muatan

q_1 = muatan molekul 1

q_2 = muatan molekul 2

e = harga elektron ($1,6 \times 10^{-19}$ C)

e_0 = *permitivity of free space* ($8,85 \times 10^{-12}$ $C^2/(N.m^2)$)

a = jarak radius antar ion

2.9 Pengadukan

Pada saat proses pelapisan logam berlangsung maka akan timbul gelembung-gelembung gas hidrogen (H_2). Gas hidrogen yang timbul dapat menghasilkan proses pelapisan yang buruk. Gas hidrogen yang timbul akan menyebabkan lobang-lobang kecil berupa titik-titik hitam atau buram pada permukaan hasil pelapisan. Hal ini sering disebut pitting yang mengakibatkan benda yang akan dilapisi permukaannya menjadi jelek.

Untuk mengatasi masalah-masalah tersebut maka selama proses dilakukan pengadukan. Dengan adanya pengadukan maka gas hidrogen tidak akan menempel pada permukaan benda yang dilapis sehingga tidak akan terjadi *pitting*. *Pitting* yang disebabkan oleh adanya gas hidrogen tersebut selain menjadikan hasil pelapisan menjadi buruk juga menyebabkan kerapuhan hasil pelapisan. Sifat rapuh ini akan nampak bila benda kerja dibengkokkan maka logam pelapis menjadi mudah retak.

Pengadukan yang dilakukan terhadap elektrolit ada 3 jenis menurut caranya:

1. Pengadukan mekanik

   Yang dimaksud dengan pengadukan mekanik disini adalah pengadukan dengan alat-alat mekanik seperti: kipas, lempengan ayun dan lainnya.

2. Pengadukan dengan udara

   Dengan cara pengadukan udara maka bagian yang masuk kedalam elektrolit untuk melakukan pengadukan adalah hanya sebuah selang-selang plastik. Prosesnya adalah udara dikompresikan kedalam elektrolit dengan menggunakan selang plastik yang tahan bahan kimia. Karena adanya udara bertekanan tadi maka elektrolit akan teraduk. Dengan mengatur tekanan udara yang keluar dari kompresor maka besar atau kuatnya pengadukan juga dapat diatur.

3. Pengadukan katoda

   Berbeda dengan kedua cara pengadukan tadi, maka pengadukan katoda ini adalah tanpa mengaduk elektrolitnya, disini yang bergerak/bergoyang adalah katodanya. Dalam beberapa proses pelapisannya justru ada yang lebih disarankan menggunakan cara ini. Penggunaan cara pengadukan katoda umumnya dilakukan pada proses pelapisan yang tidak banyak menimbulkan gas hidrogen. Proses pelapisan dengan menggunakan cara pengadukan katoda diantaranya adalah pelapisan tembaga.

2.10 Pickling

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

Lapisan oksida pada permukaan logam harus dihilangkan karena akan mempengaruhi kelekatan logam pelapis dengan logam yang akan dilapisi. Fungsi lain dari

pickling adalah untuk membuka pori – pori pada permukaan logam agar lebih mudah menangkap logam pelapis. Lapisan oksida yang ada pada permukaan logam akan terkikis sehingga akan mudah mereduksi logam yang akan dilapiskan pada saat proses pelapisan.

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

Larutan asam yang digunakan dalam proses *pickling* ada bermacam-macam. Asam sulfat (H_2SO_4) adalah asam yang murah dan paling sering digunakan. Asam sulfat adalah cairan kental yang tidak berwarna dan berbau. Asam ini adalah asam kuat yang apabila dilarutkan dalam air akan langsung terlarut untuk membentuk ion hidrogen dan sulfat.

Jika dibandingkan dengan penggunaan asam khlorida (HCL), asam sulfat memiliki beberapa keunggulan antara lain :

a. Biaya yang lebih murah
b. Mengandung ion aktif, yaitu ion hidrogen yang jumlahnya dua kali lebih banyak
c. Dua kali lebih efektif dalam proses pickling sehingga efisiensinya dua kali lebih baik
d. Asap yang dihasilkan lebih sedikit

Reaksi yang terjadi pada proses *pickling* adalah sebagai berikut :

$$Fe + H_2SO_4 \longrightarrow FeSO_4 + H_2$$

2.11 Baja

Baja merupakan paduan, yang terdiri dari besi, karbon dan unsur lainnya. Baja dapat dibentuk melalui pengerolan, pencanaian atau penempaan. Karbon merupakan salah satu unsur terpenting karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Baja merupakan logam yang paling banyak digunakan dalam aplikasi teknik. Berdasarkan kandungan karbonnya, baja karbon dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu :

1. Baja Karbon Rendah (kadar karbon 0,0 – 0,3%)

Karena kadar karbon yang rendah, kekerasan baja konstruksi agak kecil dan kekuatan tarik serta batas regangnya rendah, akan tetapi regangannya agak besar. Baja ini digunakan untuk pekerjaan konstruksi. Karena mempunyai kadar karbon yang rendah maka tidak dapat disepuh keras dan mempunyai sifat mampu las yang baik.

2. Baja Karbon Medium (kadar karbon 0,3 – 0,6)%)

   Kadar karbon yang tinggi membuat baja jenis ini memiliki kekerasan yang lebih besar dan kekuatan tarik serta batas regang yang lebih tinggi, tetapi regangannya kecil. Kadang-kadang dipilih baja mesin dengan kadar karbon rendah. Karbon dapat ditambahkan dengan jalan karbonasi, sehingga kita memperoleh lapisan luar yang dapat disepuh keras. Baja ini banyak digunakan untuk mesin (contohnya alat bagian seperti baut, poros, poros engkol, batang penggerak untuk mesin).

3. Baja Karbon Tinggi (kadar karbon 0,6 – 1,5%)

   Dengan kadar karbon yang lebih tinggi, baja perkakas mempunyai sifat dapat disepuh keras yang lebih besar, kekuatan tarik serta batas regang yang lebih tinggi, akan tetapi regangan yang lebih kecil. Bahan ini digunakan untuk perkakas (misalnya seperti : stempel, pahat dan kaliper). Baja perkakas untuk perkakas tumbuk mempunyai regangan paling besar, untuk perkakas pemotong (misalnya : pahat), kekuatan tarik serta batas regang yang paling tinggi. Karena kadar karbonnya paling tinggi, maka baja perkakas semakin dapat disepuh keras.

2.12 Nikel

Nikel merupakan unsur ke-28 dalam deret kimia. Nikel memiliki kekerasan dan kekuatan sedang, namun keuletan sangat baik. Senyawa nikel digunakan terutama sebagai katalis dalam elektroplating. Pada proses *electroplating*, meskipun nikel sebagai anodanya tetap perlu ditambahkan garamnya ke bak plating. Garam-garam untuk plating tersebut misalkan nikel karbonat, nikel khlorida, nikel sulfat, dan lain sebagainya. Nikel sangat populer dalam proses *plating*, terutama pada sistem *plating* tembaga-nikel-khrom. Berikut ini adalah karakteristik dari logam nikel murni (Van Vlack LH., 1989:623) :

Lambang	: Ni
Nomor Atom	: 28
Massa atom	: 58,71 g/mol
Kondisi standar (pada 298 K)	: Padat
Massa jenis nikel	: 8,908 g/cm^3
Titik lebur	: 1728 K (1455 ^{0}C)
Titik didih	: 3186 K (2913 ^{0}C)
Bentuk kristal	: kubus pusat sisi (f.c.c)
Tensile Strength	: 70000-105000 psi (480-725 MPa)
Elongation	: 5-25%
Hardness	: 130-200 HB

2.13 Proses Pembentukan Logam Pelapis Pada Proses *Electroplating*

Pada proses pengendapan, ion logam bersama inti-inti lainnya melekatkan diri ke beberapa kedudukan (lokasi) tertentu, membentuk ikatan dengan permukaan katoda dan sebagian muatannya ternetralisasi (adion). Adion-adion ini menyebar ke permukaan logam yang dilapisi, dan tumbuh mengisi cacat-cacat, serta tumbuh secara lateral sampai akhirnya kisi-kisi bertetangga saling bertemu membentuk batas butiran dan terus tumbuh sehingga deposit (logam pelapis) semakin tebal (Hartomo, 1992:65).

2.14 Ketahanan Aus

Keausan adalah suatu proses hilangnya material dari satu atau dua permukaan padat yang mengalami kontak antara permukaan akibat gerakan relatif yang berupa geseran *(sliding)* atau gelinding *(rolling).* Hilangnya material tersebut biasanya berlangsung sangat lambat tetapi berlangsung terus menerus.

Faktor – faktor yang berpengaruh dalam sistem keausan yaitu :

a. Variabel Metalurgi, yaitu kekerasan, ketangguhan, komposisi kimia, dan mikrostruktur dari material yang mengalami keausan.
b. Variabel pelayanan, yaitu material yang bersentuhan, tekanan kontak, suhu operasi, kekasaran permukaan, pelumasan, kecepatan sliding (Faraq, Moh. M.,1997).

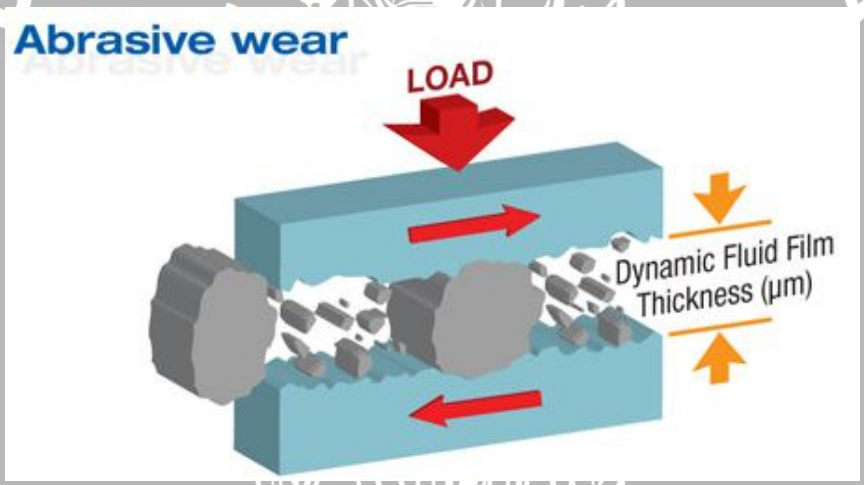
Laju keausan dinyatakan sebagai total massa yang hilang dalam satu satuan waktu, sedangkan ketahanan aus merupakan suatu fungsi terbalik dari laju ketahanan aus (Trans Nonferrous Met. Soc. China 2004).

2.14.1 Macam-Macam Keausan

Keausan dapat terjadi dengan beberapa cara atau mekanisme. Ada 3 macam penggolongan keausan (Dalton WK, 1996: 321):

1. Keausan Abrasi (*Abrasive Wear*)

Keausan abrasi disebabkan oleh partikel yang bergerak seperti elemen yang berada di antara permukaan yang mengikis logam dari permukaan. Partikel-partikel itu terjebak antara dua permukaan atau bisa juga bebas bergerak. Kehadiran partikel-partikel itu bisa karena berdiri sendiri ataupun bersamaan dengan cairan, pelumas, gas dan lain-lain. Keausan yang disebabkan oleh abrasi adalah yang paling membahayakan dari mekanisme keausan.



Gambar 2.2. Keausan *abrasive*
Sumber : Robert Scott, 1999

Dalam keausan abrasif, partikel-partikel dapat dianggap alat potong yang digerakkan oleh gerakan dari dua permukaan yang seperti menggesek. Jumlah dan jenis keausan yang terjadi adalah tergantung dari kekerasan, ukuran, dan bentuk dari partikel-partikel tersebut dan juga apakah partikel tersebut berkumpul atau terjebak dalam ruang antara permukaan.

Macam-macam keausan *abrasive*:

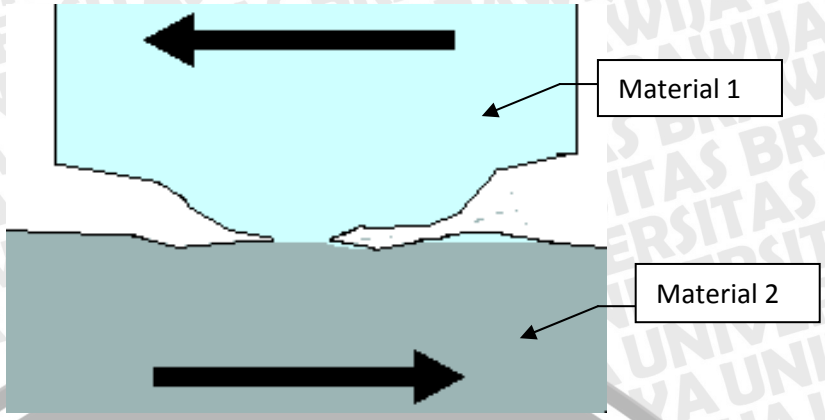
- *High stress abrasion* : jika partikel-partikel itu besar dan berada diantara dua material yang bergesekan, pergerakan material dapat menjebak partikel-partikel itu

diantara dua permukaan dan terjadi *high stress abrasion*. Dalam kondisi ini partikel-partikel mungkin patah dan terjadi sudut tajam yang baru.

- *Low stress abrasion*: jika jarak antara permukaan cukup besar sehingga dapat membuat partikel-partikel berkumpul ke dalam celah, partikel-partikel itu ada dalam *low stress situation* dan lebih terlihat diam ditempat.
- *Grooving abrasion*: partikel-partikel yang terbentuk oleh proses *grooving*, partikel yang bersudut tajam atau partikel yang bersifat melekat akan lebih menimbulkan kerusakan dibanding partikel yang berbentuk bulat yang dapat bergerak bebas sapanjang permukaan.
- *Abrasion by cutting, plowing & chipping* : Tergantung pada bentuk partikel dan kekerasannya terhadap material, partikel akan membuat abrasi seperti *cutting, plowing & chipping*. Dalam *cutting particle*, partikel yang tajam bergerak seperti potongan dan memindahkan chip logam dari permukaan. Dalam *plowing* partikel yang lebih bulat membuat lubang pada permukaandan meninggalkan alur. *Chipping* terjadi jika logam yang cukup *brittle*, sehingga sebuah partikel menyebabkan sebuah perpatahan sepanjang lintasan dan chip dari permukaan logam keluar.

2. Keausan yang disebabkan oleh gesekan dengan permukaan material lain (*Contact wear)*

Contact wear terjadi ketika permukaan dan *counter surface* diberi gaya bersama dan bergerak relatif satu terhadap yang lain, dibawah kondisi tertentu kedua permukaan dapat membentuk oxida dan mengontrol laju dari keausan. Dibawah beban yang besar dan tanpa oxida mungkin kedua permukaan akan melekat, hal itu disebut *galling*, dan dalam kasus yang ekstrim akan menyebabkan pengurangan ukuran (*seizing*) atau pengelasan. Dalam *Contact wear* tegangan yang terbentuk akibat kekasaran (*asperities*) cukup besar untuk membuat dua pemukaan berubah bentuk (*deform*).



Gambar 2.3. *Contact Wear*
Sumber : http//googlead.g.doubleclick.net
Macam-macam *contact wear* :

- *Galling* : jika beban antar permukaan meningkat, *asperities* akan mulai mengunci dan melekat satu sama lain, hal ini disebut *galling* atau *adhesive wear*.
- *Contact fatigue* : ketika beban besar dikonsentrasikan pada permukaan logam, seperti menekan permukaan-permukaan tersebut, perpindahan tegangan geser dimulai dari bawah permukaan. Bila beban dan tegangan ini berlangsung kontinyu maka pemukaan logam akan rusak karena lelah (*fatigue*).
- *Fretting* : adalah fenomena keausan yang terjadi antara dua permukaan yang lebih disebabkan karena adanya getaran dan bukan karena adanya gerakan relatif antar material.

3. Keausan Erosi *(Erosion wear)*

Keausan erosi adalah kehilangan dari material padat yang disebabkan karena gerakan relatif saat kontak dengan fluida yang mengandung partikel padat.

Gambar 2.4. Mekanisme Keausan Erosi
Sumber: Robert Scott, 1999

Keausan erosive dibagi menjadi 4 macam :

- *Solid particle erosion* : partikel-partikel padat dibawa oleh gas akan mengikis permukaan dari metal yang dilewati, laju dari erosi ini tergantung pada kecepatan, ukuran partikel dan sudut yang dilaluinya.
- *Slurry erosion :* terjadi ketika aliran cairan membawa partikel-partikel dan menumbuk permukaaan logam. Aliran partikel-partikel ini sepanjang permukaan logam membuat mekanisme ini lebih mirip *low-stress abrasion*, yang membedakan adalah cairan itu ditambah dengan komponen korosi.
- *Liquid droplet erosion :* contoh dari erosi ini terjadi pada pesawat terbang yang dengan kecepatan tinggi melewati hujan deras. Proses ini melibatkan titik-titik hujan yang dengan gaya yang cukup untuk menimbulkan tekanan plastis (*plastic depresion*) pada permukaan logam.

2.15 Uji Ketebalan Lapisan

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat uji Mini Test 600 *Thickness Coating*. Alat ini dapat digunakan untuk mengukur ketebalan lapisan pada semua lapisan *non magnetic* seperti lapisan cat, krom, seng pada baja. Juga dapat digunakan pada lapisan *insulating coating* seperti *anodizing*, *electroplating*, *paint coating*. Prinsip kerja alat ini adalah dengan membaca ketebalan lapisan melalui gelombang elektromagnet yang ada pada jarum penunjuk. Setelah jarum penunjuk diletakkan atau ditempelkan pada spesimen

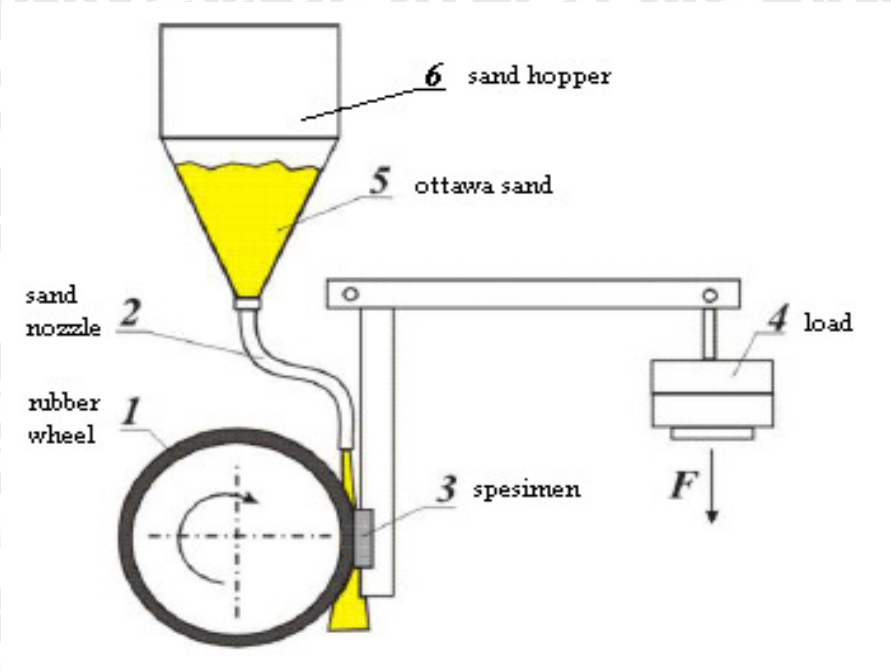
yang akan diukur, maka gelombang elektromagnet tersebut akan secara otomatis menembus lapisan spesimen.

Gelombang elektromagnet dapat membedakan antar logam pelapis dan logam yang dilapisi (logam induk). Setelah infra merah mengenai logam induk maka gelombang elektromagnet akan kembali keatas. Alat ukur akan secara otomatis mengukur kedalaman permukaan lapisan.

Gambar 2.5. Mini Test 600 Thickness Coating
Sumber: www.elektrophysik.com

2.16 Uji Keausan

Pengujian ketahanan aus dilakukan dengan menggunakan mesin uji ketahanan aus *abrasive wear testing machine* (ASTM G65) metode yang digunakan *abrasive wear* yaitu selain *disk*, pasir otawa atau pasir silica sebagai media penggesek yang dialiri di antara spesimen dan *disk* seperti yang dijelaskan sebelumnya pada keausan *abrasive*. *Disk* dengan kecepatan 400 rpm akan berputar dan pasir silica ukuran 600 µm yang mengalir melalui nozzle dengan kecepatan 200 gr/menit akan mengalir diantara *disk* dan benda uji. Proses ini akan berlangsung selama 40 detik dengan beban 5 kg, sehingga spesimen akan mengalami keausan yang ditandai dengan jumlah berat yang hilang pada spesimen.



Gambar 2.6 Abrasive Wear Testing Machine ASTM G65
Sumber : ASTM G 65

- Laju keausan dapat dihitung sesuai dengan rumus berikut :

$$W = \frac{m_a - m_f}{t} = \frac{m}{t}$$

Dengan : W = Laju keausan (gram.detik^{-1})

m_a = Massa logam setelah proses *nickelplating* sebelum diuji (gram)

m_f = Massa logam setelah proses *nickelplating* yang mengalami pengujian (gram)

m = Massa yang hilang (gram)

t = Lama pengausan (detik)

2.17 Kekuatan Tarik

Pada saat dilakukan pelapisan *nickelplating* maka akan meningkatkan ikatan antar ion-ion logam pelapis. Dengan dilakukan proses *nickelplating* diharapkan akan meningkatkan kekuatan tarik suatu material. Hal ini yang akan diamati apakah hasil *nickelplating* berpengaruh terhadap kekuatan tarik suatu material.

Dalam pengujian tarik spesimen uji dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit sampai batang uji patah. Kemudian sifat-sifat tariknya dapat dihitung dengan rumusan berikut :

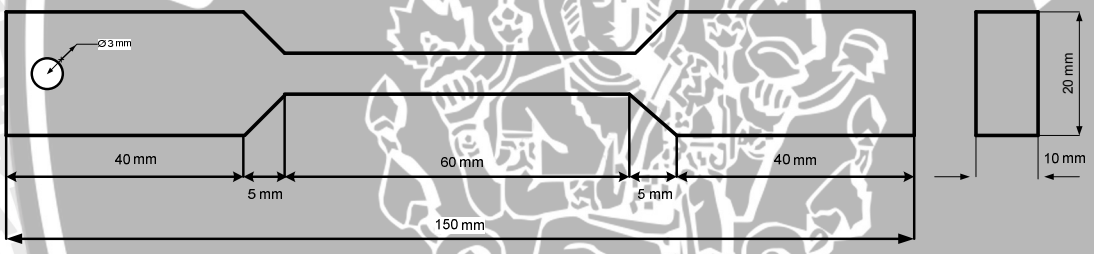
$$\sigma = \frac{P.\max}{A} \ (\text{N. mm}^{-2})$$

Dengan : P max = Beban maksimum (N)

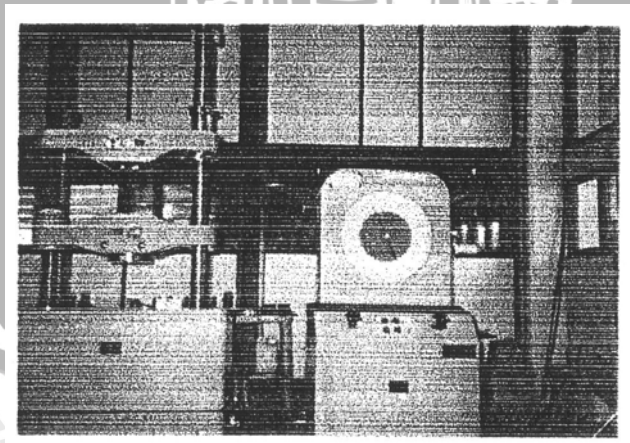
A = Luas penampang spesimen awal (mm^2)

2.18 Uji Tarik

Uji tarik dilakukan terhadap spesimen / batang uji yang standart. Bahan yang diuji tarik mula-mula dibuat menjadi batang uji dengan bentuk sesuai dengan suatu standart. Gambar uji tarik ditunjukkan pada gambar 2.4, sementara itu alat uji tarik ditunjukkan oleh gambar 2.5



Gambar 2.7 : Spesimen Uji Tarik
Sumber : ASTM E 8



Gambar 2.8 : Alat Uji Tarik
Sumber : Van Vlack LH., 1989: 250

Uji tarik dilakukan dengan menggerakkan balok palang mesin uji (Cross Head) dengan kecepatan konstan, sampai batang uji patah. Gaya yang tercatat pada ssat patah itu yang disebut gaya maksimum.

2.19 Hipotesa

Semakin tinggi variasi current density pada larutan nickel sulphate (NiSO4) maka akan meningkatkan laju perpindahan ion-ion aktif dari anoda ke katoda sehingga akan meningkatkan ikatan antar ion logam pelapis pada permukaan spesimen yang nantinya dapat menghambat laju keausan dan meningkatkan kekuatan tarik spesimen hasil proses nickelplating.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *experimental research*, dengan mengkondisikan lingkungan agar spesimen yang diuji dapat mengalami kerusakan akibat keausan dan tarik dengan kondisi dan bentuk spesimen yang dibuat mendekati keadaan sebenarnya atau spesimen tiruan. Diharapkan dari penelitian ini didapatkan data-data yang valid agar dapat menyimpulkan permasalahan yang dibahas. Untuk mendukung penelitian ini maka dilakukan studi literatur untuk mendapatkan sumber-sumber pustaka yang berkaitan dengan penelitian ini yang berasal dari jurnal internet, buku, dan penelitian-penelitian sebelumnya.

3.2 Variabel Penelitian

a) Variabel bebas :

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

- Variasi *Current Density* untuk uji tarik
  - 5 A.dm^{-2} didapat dari besar arus 4 A dibagi luas penampang 0,8 dm^2.
  - 6, 25 A.dm^{-2} didapat dari besar arus 5 A dibagi luas penampang 0,8 dm^2.
  - 7, 5 A.dm^{-2} didapat dari besar arus 6 A dibagi luas penampang 0,8 dm^2.
  - 8, 75 A.dm^{-2} didapat dari besar arus 7 A dibagi luas penampang 0,8 dm^2
- Variasi *Current Density* untuk uji aus
  - 5 A.dm^{-2} didapat dari besar arus 2 A dibagi luas penampang 0,4 dm^2.
  - 6, 25 A.dm^{-2} didapat dari besar arus 2, 5 A dibagi luas penampang 0,4 dm^2.
  - 7, 5 A.dm^{-2} didapat dari besar arus 3 A dibagi luas penampang 0,4 dm^2.
  - 8, 75 A.dm^{-2} didapat dari besar arus 3,5 A dibagi luas penampang 0,4 dm^2.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

b) Variabel terikat:

Adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel terikatnya adalah:

- Kekuatan tarik material.
- Ketahanan terhadap keausan.

c) Variabel yang dikonstankan :

Adalah variabel yang dijaga konstan selama penelitian, variabel kontrol pada penelitian ini adalah :

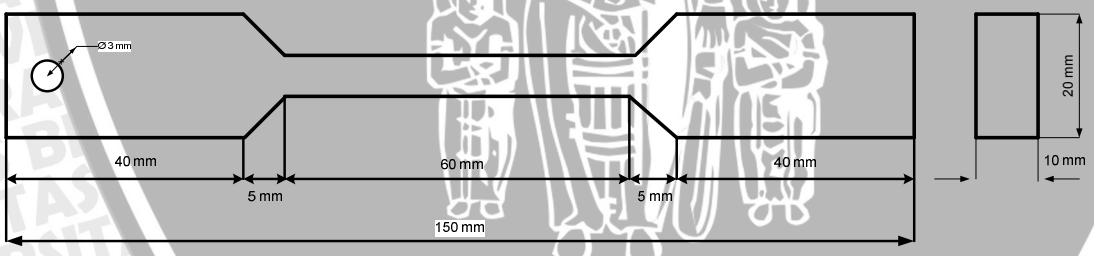
- Konsentrasi $NiSO_4$ sebesar 250 gram/liter.
- Konsentrasi $NiCl_2$ sebesar 40 gram/liter.
- Konsentrassi Asam Boric sebesar 40 gram / liter.
- Waktu pelapisan yang digunakan 60 menit.

3.3 Bahan Yang Digunakan

Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah :

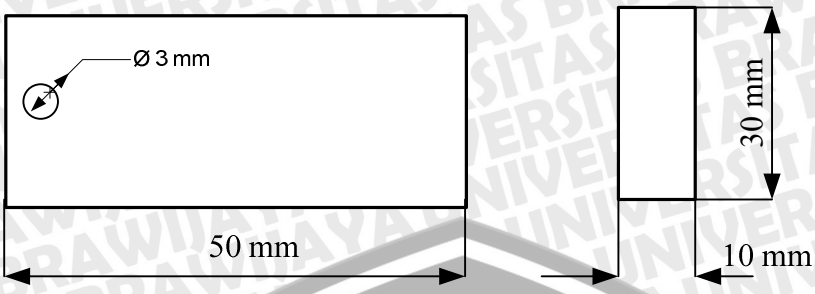
1. Baja AISI 1045 sebagai benda kerja

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



Gambar 3.1 Benda Kerja (Katoda)
Sumber : ASTM E 8

Bentuk dan dimensi benda kerja yang digunakan pada uji aus seperti pada gambar 3.2 berikut :



Gambar 3.2 Benda Kerja (Katoda)
Sumber : ASTM G 65

No	Nama Unsur		% Berat
1.	Mangan-ese	Mn	0,66
2.	Carbon	C	0,49
3.	Silicon	Si	0,22
4.	Chrom-ium	Cr	0,02
5.	Nickel	Ni	0,02
6.	Phos-phorus	P	0,001
7.	Sulfur	S	0,002
8.	Copper	Cu	0,01

Tabel 3.1. Unsur kandungan baja AISI 1045
Sumber : Test Certificate AISI 1045, 2009

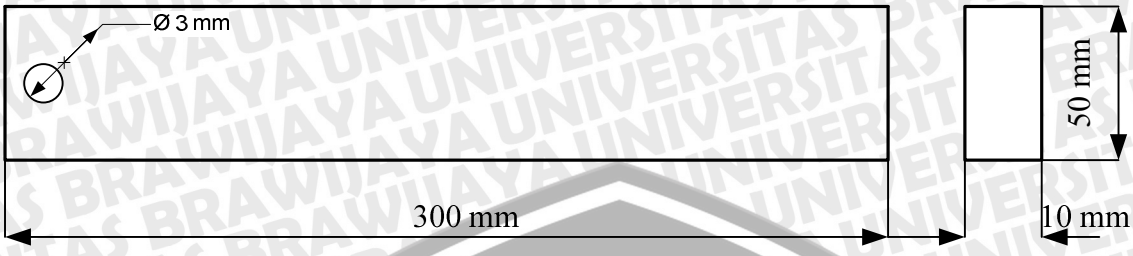
Mechanical Properties:

Tensile Strength : 61×10^3 kN.mm^{-2}

Elongation : 22%

Hardness : 190 HB

2. Lempengan nikel sebagai anoda pada pelapisan nikel



Gambar 3.3 Nikel (Anoda)
Sumber: ASTM Handbook

3. Larutan 10% (H_2SO_4) untuk proses *pickling*.
4. Larutan watts untuk proses pelapisan nikel yang terdiri atas:
   a) *Nickel Sulphate* ($NiSO_4$) sebesar 250 gram/liter.
   b) *Nickel Chloride* ($NiCl_2$) sebesar 40 gram/liter.
   c) Asam Borat *(Boric Acid)* sebesar 40 gram / liter.
5. Air (aquades) sebagai media penambah didalam larutan .

3.4 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Kertas gosok
   - Dengan ukuran tingkat kekasaran 2
   - Digunakan untuk menghaluskan spesimen
2. Gelas kimia
   - Dengan ukuran 1000 ml dan 100 ml
   - Digunakan untuk mencampurkan larutan kimia agar mendapat takaran yang sesuai
3. Timbangan digital
   - Dengan ukuran kepresisian 4 digit dibelakang koma
   - Digunakan untuk mengukur berat awal spesimen

Gambar 3.4 Foto Timbangan elektrik.
Sumber: Lab. Metalurgi Fisik, ITS

4. Termometer
   - Dengan ukuran skala 0 – 100^0 C
   - Digunakan untuk mengukur suhu larutan selama proses pelapisan
5. *StopWatch*
   - Digunakan untuk menghitung waktu selama proses pelapisan
6. Jangka Sorong
   - Digunakan untuk mengukur dimensi spesimen
7. Berbagai alat keselamatan kerja, antara lain :
   - Sarung tangan karet
   - Masker
   - Kaca mata.
8. Instalasi *electroplating*
   - Instalasi *electroplating* terdiri dari :

Gambar 3.5 Instalasi *Electroplating*
Sumber : Lab. Politeknik Negeri Malang.

a) *power supply*

b) bak elektrolisis

Gambar 3.6 Bak elektrolisis
Sumber : Lab. Politeknik Negeri Malang.

9. Perangkat uji ketebalan lapisan
10. Perangkat uji ketahanan keausan
11. Perangkat uji kekuatan tarik

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

3.5 Tempat dan Waktu Penelitian

1. Proses elektroplating dilakukan di Politeknik Negeri Malang Jurusan Mesin selama bulan Juni 2009.
2. Pengujian ketahanan keausan dilakukan di Laboratorium Metrologi Industri Universitas Brawijaya Jurusan Mesin selama bulan Juli 2009.
3. Pengujian kekuatan tarik dilakukan di Laboratorium Metalurgy Fisik Universitas Brawijaya Jurusan Mesin selama bulan Agustus 2009.
4. Pengujian ketebalan lapisan dilakukan di Laboratorium Metalurgy Fisik Institut Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan Mesin selama bulan September 2009.

3.6 Prosedur Percobaan

Langkah – langkah yang dilaksanakan dalam penelitian ini adalah :

1. Persiapan alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian.
2. Dilakukan proses pembersihan benda kerja menggunakan kertas gosok dan *flap disk.*
3. Disiapkan larutan *electrolyte* dan peralatan untuk proses elektroplating nikel.
4. Dipersiapkan instalasi elektroplating.
5. Diukur berat awal benda kerja.
6. Dilakukan proses *pickling* selama 5 menit menggunakan H_2SO_4.
7. Benda kerja dikeluarkan, diikuti dengan pembilasan dan pengeringan.
8. Dilakukan proses *electroplating*.
9. Benda kerja dikeluarkan, diikuti dengan pembilasan dan pengeringan.
10. Pengukuran berat benda kerja setelah pelapisan.
11. Dilakukan uji kekuatan tarik ketahanan keausan, kemudian dilakukan pengolahan data dengan melakukan metode statistik.
12. Dilakukan pengujian ketahanan keausan, kemudian dilakukan pengolahan data dengan melakukan metode statistik.
13. Dilakukan pengujian ketebalan lapisan permukaan
14. Dilakukan pembahasan dan menarik kesimpulan.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

3.7 Metode Pengukuran Data

3.7.1. Pengukuran ketebalan lapisan permukaan

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

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

3.7.2. Pengukuran laju keausan

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

1. Membersihkan spesimen yang telah diproses pelapisan dengan kain halus.
2. Mengukur volume spesimen.
3. Meletakkan spesimen pada chuck untuk benda kerja pada peralatan uji keausan.
4. Menyetel peralatan uji keausan dengan memasang beban sebesar 5kg pada pemberat dan mengatur putaran pada kecepatan konstan 400 RPM.
5. POWER *switch set* ke ''ON''.
6. Memulai menggesekkan spesimen ke roda baja dan diamati selama 40 detik.
7. Spesimen dikeluarkan dan dibersihkan dengan air.

8. Mengukur volume spesimen setelah mengalami keausan selama 40 detik, selisih volume sebelum pengujian dan setelah pengujian menunjukkan besarnya laju keausan.
9. Melakukan pengulangan sebanyak tiga kali.

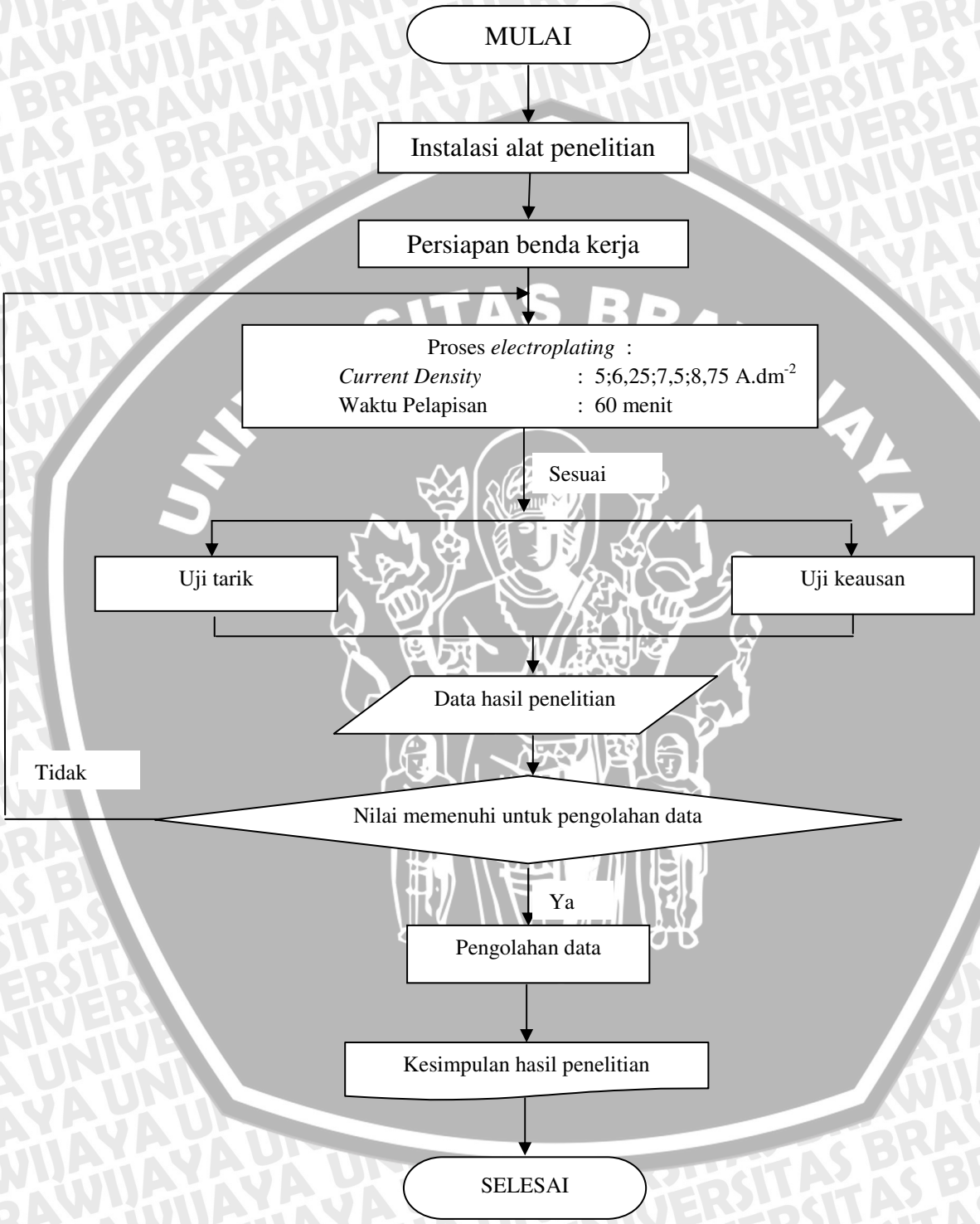
3.7.3 Pengukuran kekuatan tarik

Pengukuran kekuatan tarik dari spesimen yang telah dilapisi nikel dengan langkah sebagai berikut :

1. Membersihkan spesimen yang telah diproses pelapisan dengan kain halus.
2. Mengukur luas penampang spesimen.
3. Meletakkan spesimen pada chuck untuk benda kerja pada peralatan uji kekuatan tarik.
4. Menyetel peralatan uji kekuatan tarik.
5. POWER *switch* set ke ''ON''.
6. Memulai mencatat perubahan tegangan yang terjadi sampai material tersebut patah.
7. Setelah spesimen patah, Power *switch* set ke " OFF ".
8. Melakukan pengulangan sebanyak tiga kali.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

3.8. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.7. Diagram alir penelitian

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

3.9 Rencana pengolahan dan analisis data

3.9.1 Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan model analisa varian satu arah dengan pengulangan 3 kali pada tiap interaksi. Dengan analisa varian satu arah ini akan diketahui apakah *current density* berpengaruh terhadap ketahanan aus dan kekuatan tarik dari baja AISI 1045 yang telah mengalami proses *electroplating*.

Tabel 3.2. Rancangan Penelitian

		Current Density (A/ dm^2)			
		5	6,25	7,5	8,75
Hasil pengujian	Percobaan 1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}
	Percobaan 2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}
	Percobaan 3	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}

3.9.2 Uji Kecukupan Data Observasi

Untuk menganalisis hasil penelitian dimana akan menguji apakah pengulangan percobaan yang dilakukan telah memenuhi

Tabel 3.3. Uji kecukupan data observasi

No sampel (n_i)	Data observasi (x_i)	xi^2	$(xi - \bar{x})$	$(xi - \bar{x})^2$
1	X_{11}	X_{11}^2		
2	X_{21}	X_{21}^2		

.	.	.	.	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
n	X_n	X_n^2	X_n	
Total	$\sum X_n$	$\sum Xn^2$	$\sum Xn$	

3.9.3 Analisa Statistik

1. Median (rata-rata) sampel

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} xi}{n}$$

2. Variasi sampel (σ^2)

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(xi - \bar{x}\right)}{n-1}$$

3. Standart Deviasi

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(xi - \bar{x}\right)^2}{n-1}}$$

4. Tingkat ketelitian (DA) :

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

5. Tingkat keyakinan (CL):

CL = 100 % - DA

6. Batas kontrol:

a. Batas kontrol atas (UCL) :

$$UCL = \bar{x} + k\,\sigma$$

b. Batas kontrol bawah (LCL) :

$$LCL = \bar{x} - k\,\sigma$$

7. Tingkat ketelitian (S)

$$S = \frac{DA}{100}$$

8. Kecukupan data observasi (N')

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

Kesimpulan yang didapat dari uji kecukupan data observasi ini sebagai berikut :

1. Bila N' < N , maka data yang diambil dalam percobaan kali ini telah memenuhi nilai minimum kecukupan data observasi.

3.9.4 Analisa Varian Satu Arah

Untuk menganalisis hasil penelitian digunakan analisis ragam satu arah, dimana akan menguji apakah hasil penelitian disebabkan oleh perbedaan konsentrasi.

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

Ho' : $\alpha_1 = \alpha_2 = ... = \alpha_i = 0$

H_1' : sekurang-kurangnya satu α_i tidak sama dengan nol.

Hasil perhitungan dalam analisis varian satu arah dengan interaksi dapat diringkas seperti tabel 3.4.

Tabel 3.4. Analisis Varian Satu Arah

Sumber Keragaman	Db	JK	Varian (KT)	F_{hitung}	F_{kritis}
Pengaruh A	r-1	JKA	$S^2_A = \frac{JKA}{r-1}$	$\frac{S^2_A}{S^2}$	Dari tabel uji F
Galat	rc(n-1)	JKG	$S^2 = \frac{JKG}{rc(n-1)}$		
Total	rcn-1	JKT			

Jumlah-jumlah kuadrat di atas dapat diperoleh melalui rumus hitung sebagai berikut (Hifni, 1992 : 76) :

Jumlah seluruh perlakuan (JSP)

$$JSP = \sum_{n=1}^{n} \sum_{j=1}^{j} \quad (3.1)$$

Jumlah kuadrat seluruh perlakuan (JKSP)

$$JKSP = \sum_{n=1}^{n} \sum_{j=1}^{j} Y_{ij^2} \quad (3.2)$$

Faktor Koreksi (FK)

$$FK = \frac{\sum_{n=1}^{n} \sum_{j=1}^{j} Y_{ij^2}}{\sum ni} \quad (3.3)$$

Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$JKT = \sum_{n=1}^{n} \sum_{j=1}^{j} Y_{ij^2} - FK \quad (3.4)$$

Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{n=1}^{n} \sum_{j=1}^{j} Y_{ij^2}}{ni} - FK \quad (3.5)$$

Kuadrat Tengah Galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP \quad (3.6)$$

Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{k-1} \quad (3.7)$$

Kuadrat Tengah Galat

$$KTG = \frac{JKG}{\sum ni - k} \quad (3.8)$$

Dari rumus di atas dapat dicari F_{hitung} yang digunakan untuk menentukan ada atau tidaknya pengaruh variabel bebas terhadap variabel terkendali dengan metode uji F.

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG}$$

Kesimpulan yang didapat dari uji F ini sebagai berikut :

Bila $F_{A\ hitung} > F_{A\ tabel}$, maka H_{01} ditolak dan H_{11} diterima. Berarti faktor A (variasi *current density*) berpengaruh terhadap ketahanan aus AISI 1045 yang telah mengalami proses *electroplating*.

Bila $F_{A\ hitung} > F_{A\ tabel}$, maka H_{01} ditolak dan H_{11} diterima. Berarti faktor A (variasi *current density*) berpengaruh terhadap kekuatan tarik baja AISI 1045 yang telah mengalami proses *electroplating*.

BAB IV
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Data pengujian kekuatan tarik adalah gaya maksimum yang diberikan ke spesimen dibagi dengan luas penampang spesimen. Gaya maksimum spesimen tanpa perlakuan adalah 60 x 10^3 kN. Data gaya maksimum karena proses *nickelplating* ditebelkan dalam tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1. Tabel Data Hasil Pengujian Gaya Maksimum

		***Current Density* (A.dm^{-2})**			
		5	**6,25**	**7,5**	**8,75**
Gaya maksimum (kN)	**Percobaan 1**	62,500	66,900	71,700	74,300
	Percobaan 2	63,000	67,500	71,300	75,300
	Percobaan 3	62,200	66,500	70,600	74,700
	Rata - rata	62,567	66,967	71,200	74,767

Dari data pengujian ketebalan lapisan didapatkan luas penampang spesimen setelah proses *nickelplating*. Data luas penampang spesimen sebelum dan sesudah perlakuan ditabelkan dalam tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2. Tabel Data Luas Penampang Spesimen

Luas Penampang Spesimen (mm^2)		***Current Density* (A.dm^{-2})**			
		5	**6,25**	**7,5**	**8,75**
Percobaan 1	**Sebelum Perlakuan**	200	200	200	200
	Setelah Perlakuan	200,57	200,64	200,74	200,80
Percobaan 2	**Sebelum Perlakuan**	200	200	200	200
	Setelah Perlakuan	200,57	200,63	200,73	200,81
Percobaan 3	**Sebelum Perlakuan**	200	200	200	200
	Setelah Perlakuan	200,54	200,64	200,74	200,80
Rata-Rata	**Sebelum Perlakuan**	200	200	200	200
	Setelah Perlakuan	200,56	200,64	200,73	200,80

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Selanjutnya kekuatan tarik diperoleh dengan membagi gaya maksimum dengan luas penampang spesimen. Rata-rata kekuatan tarik spesimen tanpa perlakuan adalah 30 x 10^2 $N.mm^{-2}$ (MPa).

- Kekuatan tarik dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{P.\max}{A} \ (N.\ mm^{-2})$$

Dengan: P max = Gaya maksimum (N)

A = Luas penampang spesimen (mm^2)

- Contoh perhitungan kekuatan tarik :

a. Gaya maksimum = 62,500 kN
= 62500 N

Luas penampang awal = 2, 0021 cm x 1, 0018 cm
= 2, 0057 cm^2
= 2, 0057 x 10^{-4} m^2

Kekuatan tarik = 62500 N / (2, 0057 x 10^{-4} m^2)
= 311.611.140,7 $N.m^2$ (Pa)
= 311,611 MPa

b. Gaya maksimum = 63,000 kN
= 63000 N

Luas penampang awal = 2, 0021 cm x 1, 0018 cm
= 2, 0057 cm^2
= 2, 0057 x 10^{-4} m^2

Kekuatan tarik = 63000 N / (2,0057x 10^{-4} m^2)
= 314.104.801,3 $N.m^2$ (Pa)
= 314,10 MPa

c. Gaya maksimum = 63,500 kN
= 63500 N

Luas penampang awal = 2, 0020 cm x 1, 0017 cm
= 2, 0054034 cm^2
= 2, 0054 x 10^{-4} m^2

Kekuatan tarik = 63500 N / (2, 0054 x 10^{-4} m^2)

= 316.645.058,38 N.m^2 (Pa)

= 316, 64 MPa

Data kekuatan tarik karena proses *nickelplating* ditabelkan dalam tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3. Tabel Data Kekuatan Tarik

		***Current Density* (A.dm^{-2})**			
		5	**6,25**	**7,5**	**8,75**
Kekuatan Tarik (MPa)	**Percobaan 1**	311,61	333,43	357,17	370,02
	Percobaan 2	314,10	336,44	355,20	374,98
	Percobaan 3	310,16	331,43	351,69	372,01
	Rata - rata	311,95	333,77	354,69	372,33

4.1.2. Data Hasil Pengujian Laju Keausan

Data massa logam yang hilang karena keausan adalah selisih massa logam setelah proses *nickelplating* sebelum dilakukan kontak uji dengan massa logam setelah proses *nickelplating* yang mengalami kontak uji. Massa yang hilang dari spesimen tanpa perlakuan adalah 2, 0566 gram. Data massa setelah proses *nickelplating* ditabelkan dalam tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4. Tabel Data Hasil Pengujian Massa Setelah Dilapisi

		***Current Density* (A.dm^{-2})**			
		5	**6,25**	**7,5**	**8,75**
Massa setelah dilapisi (gram)	**Percobaan 1**	145,8434	147,2545	148,7895	149,2525
	Percobaan 2	145,0676	146,7549	147,1241	148,2451
	Percobaan 3	146,5462	146,8565	147,6325	149,3526
	Rata - rata	145,8190	146,9553	147,8487	148,9500

Data massa yang hilang karena keausan ditabelkan dalam tabel 4.5 berikut:

Tabel 4.5. Tabel Data Hasil Pengujian Massa Yang Hilang

		***Current Density* (A.dm^{-2})**			
		5	**6.25**	**7.5**	**8.75**
Massa yang hilang karena keausan (gram)	**Percobaan 1**	1,6734	1,5651	1,3797	1,1278
	Percobaan 2	1,8976	1,4165	1,2477	1,0904
	Percobaan 3	1,7675	1,4400	1,3156	1,0656
	Rata - rata	1,7795	1,4739	1,3124	1,0946

Selanjutnya laju keausan diperoleh dengan membagi berat logam yang hilang dengan waktu kontak uji. Rata – rata laju keausan logam tanpa perlakuan adalah 0,0514 gram.detik^{-1}.

- Laju keausan dapat dihitung sesuai dengan rumus berikut :

$$W = \frac{m_a - m_f}{t} = \frac{m}{t}$$

Dengan : W = Laju keausan (gram.detik^{-1})

m_a = Massa logam setelah proses *nickelplating* sebelum diuji (gram)

m_f = Massa logam setelah proses *nickelplating* yang mengalami pengujian (gram)

m = Massa yang hilang (gram)

t = Lama pengausan (detik)

- Contoh perhitungan laju keausan :

a. Massa yang hilang = 1,6734 gram

Lama waktu pengausan = 40 detik

Laju keausan = 1,6734 gram / 40 detik

= 0,0418 gram.detik^{-1}

b. Massa yang hilang = 1,8976 gram

Lama waktu pengausan = 40 detik

Laju keausan = 1,8976 gram / 40 detik

= 0,0474 gram.detik^{-1}

c. Massa yang hilang = 1,7675 gram

Lama waktu pengausan = 40 detik

Laju keausan = 1,7675 gram / 40 detik

= 0,0442 gram.detik^{-1}

Data laju keausan logam setelah mengalami proses *nickelplating* ditabelkan pada tabel 4.6. berikut :

Tabel 4.6. Tabel Data Laju Keausan

		***Current Density* (A.dm^{-2})**			
		5	**6,25**	**7,5**	**8,75**
Laju Keausan (gram. detik^{-1})	**Percobaan 1**	0,0418	0,0391	0,0345	0,0282
	Percobaan 2	0,0474	0,0354	0,0312	0,0273
	Percobaan 3	0,0442	0,0360	0,0329	0,0266
	Rata - rata	0,0444	0,0368	0,0328	0,0273

4.2. Pengolahan Data

4.2.1. Uji Kecukupan Data Observasi

Untuk mempermudah uji kecukupan data observasi, maka data hasil pengujian kekuatan tarik ditabelkan pada tabel 4.7 berikut:

Tabel 4.7. Tabel uji kecukupan data observasi pengujian kekuatan tarik

No sampel (n_i)	Data observasi (x_i)	xi^2	$(xi - \bar{x})$	$(xi - \bar{x})^2$
1	311,61	97100,792	-31,577	997,086
2	314,10	98658,810	-29,087	846,034
3	310,16	96199,226	-33,027	1090,761
4	333,43	111175,565	-9,757	95,193
5	336,44	113191,874	-6,747	45,518

6	331,43	109845,845	-11,757	138,219
7	357,17	127570,409	13,983	195,534
8	355,20	126167,040	12,013	144,320
9	351,69	123685,856	8,503	72,307
10	370,02	136914,800	26,833	720,028
11	374,98	140610,000	31,793	1010,816
12	372,01	138391,440	28,823	830,785
Total	4118,240	1479511,66	5,68434E-14	6186,599

1. Mean (rata-rata) sampel

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{n} xi}{n} = \frac{4118,240}{12} = 343,187$$

2. Variasi sampel (σ 2)

$$\sigma 2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(xi - \bar{x}\right)^2}{n-1} = \frac{6186,599}{12-1} = 562,418$$

3. Standar deviasi (σ)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(xi - \bar{x}\right)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{6186,599}{12-1}} = 23,715$$

4. Tingkat ketelitian (DA) :

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

$$= \frac{23,715}{343,187} \times 100\%$$

$$= 6,910\%$$

5. Tingkat keyakinan (CL) :

CL = 100 % - DA

= 100 % - 6,910%

= 93,090%

6. Batas kontrol :

a. Batas kontrol atas (UCL) :

UCL = $\bar{x}$ + k σ

= 343,187 + 1,8 . 23,715

= 386,874

b. Batas kontrol bawah (LCL) :

LCL = $\bar{x}$ - k σ

= 343, 187 - 1,8 . 23, 715

= 300,849901

7. Tingkat ketelitian (S)

$$S = \frac{DA}{100} = \frac{6,910}{100} = 0,069$$

8. Kecukupan data observasi (N')

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

$$= \left[\frac{\frac{1,8}{0,069}\cdot\sqrt{(12\times 141951,166) - (4118,240)^2}}{4118,240}\right]^2$$

= 2,970

N' ≈ 3

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Untuk mempermudah uji kecukupan data observasi, data hasil pengujian laju keausan ditabelkan pada tabel 4.8 berikut :

Tabel 4.8. Tabel uji kecukupan data observasi pengujian laju keausan

No sampel (n_i)	Data observasi (x_i)	xi^2	$(xi-\bar{x})$	$(xi-\bar{x})^2$
1	1,6734	2,8003	0,2578	0,0665
2	1,8976	3,6009	0,4820	0,2323
3	1,7676	3,1241	0,3519	0,1239
4	1,5651	2,4495	0,1495	0,0224
5	1,4165	2,0065	0,0009	0,0000
6	1,4400	2,0736	0,0244	0,0006
7	1,3797	1,9036	-0,0359	0,0013
8	1,2477	1,5568	-0,1679	0,0282
9	1,3156	1,7308	-0,1000	0,0100
10	1,1278	1,2719	-0,2878	0,0828
11	1,0904	1,1890	-0,3252	0,1057
12	1,0656	1,1355	-0,3500	0,1225
Total	16,9869	24,8424	-2,887E-15	0,7961

1. Mean (rata-rata) sampel

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{n} xi}{n} = \frac{16,9869}{12} = 1,4156$$

2. Variasi sampel (σ 2)

$$\sigma 2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(xi - \bar{x}\right)^2}{n-1} = \frac{0,7961}{12-1} = 0,0724$$

3. Standar deviasi (σ)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(xi - \bar{x}\right)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{0,7961}{12-1}} = 0,2690$$

4. Tingkat ketelitian (DA) :

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

$$= \frac{0,2690}{1,4156} \times 100\%$$

$$= 19,0056 \%$$

5. Tingkat keyakinan (CL) :

$$CL = 100 \% - DA$$

$$= 100 \% - 19,0056 \%$$

$$= 80,9944$$

6. Batas kontrol :

a. Batas kontrol atas (UCL) :

$$UCL = \bar{x} + k\,\sigma$$

$$= 1,4156 + 1,28 \,.\, 0,2690$$

$$= 1,7599$$

b. Batas kontrol bawah (LCL) :

$$LCL = \bar{x} - k\,\sigma$$

$$= 1,4156 - 1,28 \,.\, 0,2690$$

$$= 1,0712$$

7. Tingkat ketelitian (S)

$$S = \frac{DA}{100} = \frac{19,0048}{100} = 0,1900$$

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

8. Kecukupan data observasi (N')

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

$$= \left[\frac{\frac{1,28}{0,1900}\cdot\sqrt{(12\times 24,8424)-(16,9869)^2}}{16,9869}\right]^2$$

$$= 1,549$$

$$N' \approx 2$$

4.2.2. Analisa Statistik

Berikut analisa varian berdasarkan tabel data hasil pengujian kekuatan tarik:

1. Faktor koreksi (FK) :

$$FK = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{k} y_{ij}\right]^2}{n.k} = \frac{(4118,240)^2}{3x4} = 1413325,058$$

2. Jumlah kuadrat perlakuan (JKP) :

$$JKP = \frac{\sum_{j=1}^{k}\left[\sum_{i=1}^{n} yij\right]^2}{n} - FK$$

$$= \frac{4258389,371}{3} - 1413325,058$$

$$= 6138,065$$

3. Jumlah kuadrat total (JKT) :

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

$= 1419511,66 - 1413325,058$

$= 6186,599$

4. Jumlah kuadrat galat (JKG) :

JKG = JKT – JKP

$= 6186,599 - 6138,065$

$= 48,533$

5. Kuadrat tengah perlakuan (KTP) :

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

$$= \frac{6138,065}{4-1}$$

$= 2046,022$

6. Kuadrat tengah galat (KTG) :

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

$$= \frac{48,533}{12-4}$$

$= 6,067$

7. F hitung = $\frac{KTP}{KTG} = \frac{2046,022}{6,067} = 337,255$

Hasil perhitungan di atas kemudian ditabelkan dalam tabel 4.9 berikut :

Tabel 4.9. Analisa varian data pengujian kekuatan tarik

Jumlah Varian	dB	Jumlah kuadrat	Kuadrat rata-rata	Fhitung	Ftabel
Perlakuan	3	6138,065	2046,022	337,255	4,0661
Galat	8	48,533	6,067	-	-
Total	11	6186,599	-	-	-

F hitung > F tabel artinya terdapat perbedaan yang berarti antar perlakuan

Berikut analisa varian berdasarkan tabel data hasil pengujian laju keausan:

1. Faktor koreksi (FK) :

$$FK = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{k} y_{ij}\right]^2}{n.k} = \frac{(16{,}9869)^2}{3x4} = 24{,}0462$$

2. Jumlah kuadrat perlakuan (JKP) :

$$JKP = \frac{\sum_{j=1}^{k}\left[\sum_{i=1}^{n} yij\right]^2}{n} - FK$$

$$= \frac{74{,}3350}{3} - 24{,}0462$$

$$= 0{,}7321$$

3. Jumlah kuadrat total (JKT) :

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

$$= 24{,}8424 - 24{,}0462$$

$$= 0{,}7961$$

4. Jumlah kuadrat galat (JKG) :

$$JKG = JKT - JKP$$

$$= 0{,}7961 - 0{,}7321$$

$$= 0{,}0640$$

5. Kuadrat tengah perlakuan (KTP) :

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

$$= \frac{0{,}7321}{4-1}$$

$$= 0{,}2440$$

6. Kuadrat tengah galat (KTG) :

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

$$= \frac{0{,}0640}{12-4}$$

$$= 0{,}0080$$

7. F hitung = $\frac{KTP}{KTG} = \frac{0{,}2440}{0{,}0080} = 30{,}4947$

Hasil perhitungan di atas kemudian ditabelkan dalam tabel 4.10 berikut :

Tabel 4.10. Analisa varian data pengujian laju keausan

Jumlah Varian	dB	Jumlah kuadrat	Kuadrat rata-rata	Fhitung	Ftabel
Perlakuan	3	0,7485	0,2495	30,4967	4,0661
Galat	8	0,0480	0,0060	-	-
Total	11	0,7965	-	-	-

F hitung > F tabel artinya terdapat perbedaan yang berarti antar perlakuan

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

4.2.3. Analisa Regresi

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

$$Y = b0 + b1X + b2X2$$

Untuk memudahkan dalam mencari persamaan regresi *polynomial* data hasil pengujian kekuatan tarik dapat ditabelkan pada tabel 4.11 berikut :

Tabel 4.11 Data regresi kekuatan tarik

NO	X	Y	X^2	X^3	X^4	XY	X^2Y
1	5	311,61	25	125	625	1558,050	7790,250
2	5	314,10	25	125	625	1570,500	7852,500
3	5	310,16	25	125	625	1550,800	7754,000
4	6,25	333,43	39,063	244,141	1525,879	2083,938	13024,609
5	6,25	336,44	39,063	244,141	1525,879	2102,750	13142,188
6	6,25	331,43	39,063	244,141	1525,879	2071,438	12946,484
7	7,5	357,17	56,250	421,875	3164,063	2678,775	20090,813
8	7,5	355,20	56,250	421,875	3164,063	2664,675	19980,000
9	7,5	351,69	56,250	421,875	3164,063	2637,675	19782,563
10	8,75	370,02	76,563	669,922	5861,816	3237,675	28329,656
11	8,75	374,98	76,563	669,922	5861,816	3281,075	28709,406
12	8,75	372,01	76,563	669,922	5861,816	3255,088	28482,016
Jumlah	82,5	4118,240	590,625	4382,813	33530,273	28691,763	207884,484

Untuk memperoleh persamaan regresi dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$\sum Y = n.b_0 + b_1.\sum X + b_2.\sum X^2$

$\sum XY = b_0.\sum X + b_1.\sum X^2 + b_2.\sum X^3$

$\sum X^2Y = b_0.\sum X^2 + b_1.\sum X^3 + b_2.\sum X^4$

$4118{,}240 = 12\ b_0 + 82{,}5\ b_1 + 590{,}625\ b_2$

$28691{,}763 = 82{,}5\ b_0 + 590{,}625\ b_1 + 4382{,}813\ b_2$

$207884{,}484 = 590{,}625\ b_0 + 4382{,}813\ b_1 + 33530{,}273\ b_2$

Dengan menyelesaikan persamaan – persamaan diatas, maka bisa diperoleh harga koefisien regresi yaitu : $b_0 = 201{,}89$; $b_1 = 25{,}317$; $b_2 = -0{,}6656$ sehingga diperoleh harga koefisien regresi $y = -0{,}6656\ x^2 + 25{,}317\ x + 201{,}89$

Keterangan:

y = Kekuatan Tarik

x = *Current Density*

Sedangkan untuk memudahkan dalam mencari persamaan regresi *polynomial* data hasil pengujian laju keausan dapat ditabelkan pada tabel 4.12 berikut :

Tabel 4.12 Data regresi laju keausan

NO	X	Y	X^2	X^3	X^4	XY	X^2Y
1	5	1,6734	25	125	625	8,3670	41,8350
2	5	1,8976	25	125	625	9,4880	47,4400
3	5	1,7676	25	125	625	8,8380	44,1900
4	6,25	1,5651	39,063	244,141	1525,879	9,7819	61,1367
5	6,25	1,4165	39,063	244,141	1525,879	8,8531	55,332
6	6,25	1,4400	39,063	244,141	1525,879	9,0000	56,2500
7	7,5	1,3797	56,250	421,875	3164,063	10,3478	77,6081
8	7,5	1,2477	56,250	421,875	3164,063	9,3578	70,1831
9	7,5	1,3156	56,250	421,875	3164,063	9,8670	74,0025
10	8,75	1,1278	76,563	669,922	5861,816	9,8683	86,3472
11	8,75	1,0904	76,563	669,922	5861,816	9,5410	83,4838
12	8,75	1,0656	76,563	669,922	5861,816	9,3240	81,5850
Jumlah	82,5	16,9870	590,625	4382,813	33530,273	112,6338	779,3934

Untuk memperoleh persamaan regresi dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$\sum Y = n.b_0 + b_1.\sum X + b_2.\sum X^2$

$\sum XY = b_0.\sum X + b_1.\sum X^2 + b_2.\sum X^3$

$\sum X^2Y = b_0.\sum X^2 + b_1.\sum X^3 + b_2.\sum X^4$

$16{,}9870 = 12\ b_0 + 82{,}5\ b_1 + 590{,}625\ b_2$

$112{,}6338 = 82{,}5\ b_0 + 590{,}625\ b_1 + 4382{,}813\ b_2$

$779{,}3934 = 590{,}625\ b_0 + 4382{,}813\ b_1 + 33530{,}273\ b_2$

Dengan menyelesaikan persamaan – persamaan diatas, maka bisa diperoleh harga koefisien regresi yaitu : $b_0 = 3{,}2565$; $b_1 = -0{,}366$; $b_2 = 0{,}0137$ sehingga diperoleh harga koefisien regresi $y = 0{,}0137x^2 - 0{,}3662x + 3{,}2565$

Keterangan:

y = Laju Keausan

x = *Current Density*

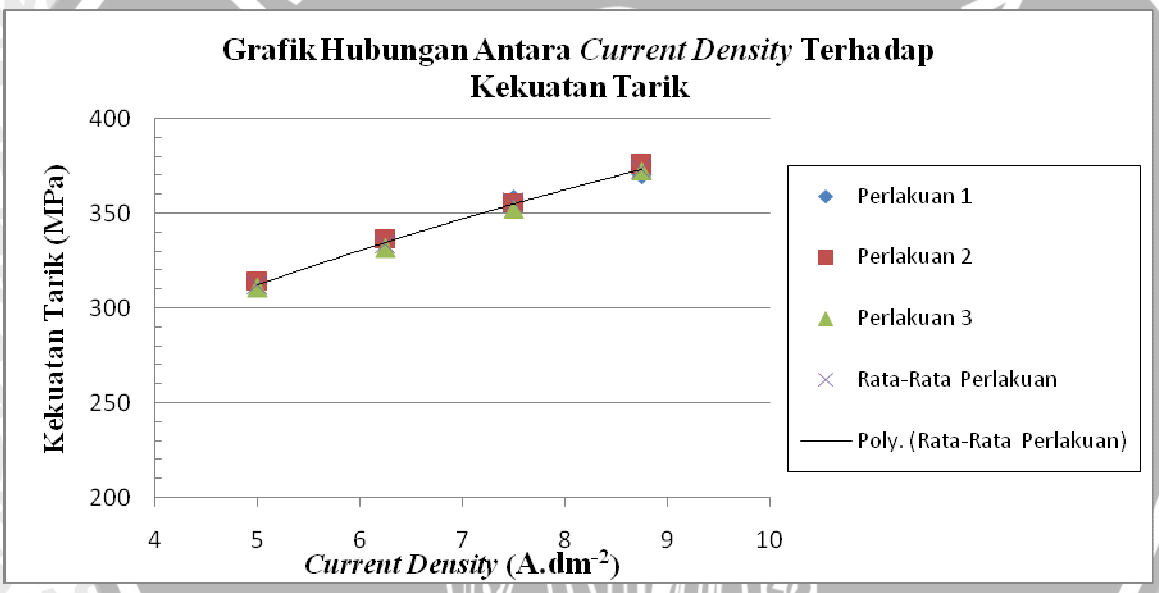
4.3. Pembahasan

4.3.1. Analisa Grafik Hubungan Antara Current Density Terhadap Kekuatan Tarik

Berdasarkan analisa varian data kekuatan tarik menghasilkan F_{hitung}= 337,255 sedangkan F_{tabel}= 4, 0661. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$ yang artinya *current density* pada proses *nickelplating* berpengaruh terhadap kekuatan tarik baja AISI 1045. Berdasarkan analisa regresi data hasil pengujian kekuatan tarik didapatkan persamaan regresi yang menyatakan fungsi simpangan *current density* terhadap kekuatan tarik yakni :

$$y = -0{,}6656x2 + 25{,}317x + 201{,}89$$

Grafik hubungan antara *current density* terhadap kekuatan tarik dapat dilihat pada gambar 4.1.sebagai berikut :



Gambar 4.1 Grafik hubungan current density terhadap kekuatan tarik

Grafik pada gambar 4.1 diatas menunjukkan kecenderungan kenaikan data perubahan kekuatan tarik baja AISI 1045 dengan variasi *current density* hasil proses *nickelplating*. Sumbu datar adalah besar *current density* sedangkan sumbu tegak adalah kekuatan tarik.

Pada grafik terlihat bahwa pada *current density* 5 sampai 8,75 $A.dm^{-2}$ pada perlakuan pertama diperoleh kenaikan rata – rata kekuatan tarik dari 311,61 MPa sampai dengan 370,02 MPa. Pada *current density* 5 $A.dm^{-2}$ didapatkan kekuatan tarik 311,61 MPa, pada *current density* 6,25 $A.dm^{-2}$ didapatkan kekuatan tarik 333,43 MPa, dimana laju peningkatan kekuatan tarik terhadap *current density* sebesar 21,82 MPa. Pada *current*

density 7,5 A.dm^{-2} didapatkan kekuatan tarik 357,17 MPa, dimana laju peningkatan kekuatan tarik terhadap *current density* sebesar 23,74 MPa. Dan pada *current density* 8,75A.dm^{-2} didapatkan kekuatan tarik 370,02 MPa, dimana laju peningkatan kekuatan tarik terhadap *current density* sebesar 12,85 MPa.

Pada perlakuan kedua diperoleh kenaikan rata – rata kekuatan tarik dari 314,10 MPa sampai dengan 374,98 MPa. Pada *current density* 5 A.dm^{-2} didapatkan kekuatan tarik 314,10 MPa, pada *current density* 6,25 A.dm^{-2} didapatkan kekuatan tarik 336,44 MPa, dimana laju peningkatan kekuatan tarik terhadap *current density* sebesar 22,34 MPa. Pada *current density* 7,5 A.dm^{-2} didapatkan kekuatan tarik 355,20 MPa, dimana laju peningkatan kekuatan tarik terhadap *current density* sebesar 18,76 MPa. Dan pada *current density* 8,75 A.dm^{-2} didapatkan kekuatan tarik 374,98 MPa, dimana laju peningkatan kekuatan tarik terhadap *current density* sebesar 17,81 MPa.

Pada perlakuan ketiga diperoleh kenaikan rata – rata kekuatan tarik dari 310,16 MPa sampai dengan 372,01 MPa. Pada *current density* 5 A.dm^{-2} didapatkan kekuatan tarik 310,16 MPa, pada *current density* 6,25 A.dm^{-2} didapatkan kekuatan tarik 331,43 MPa, dimana laju peningkatan kekuatan tarik terhadap *current density* sebesar 21,27 MPa. Pada *current density* 7,5 A.dm^{-2} didapatkan kekuatan tarik 351,69 MPa, dimana laju peningkatan kekuatan tarik terhadap *current density* sebesar 20,26 MPa. Dan pada *current density* 8,75 A.dm^{-2} didapatkan kekuatan tarik 372,01 MPa, dimana laju peningkatan kekuatan tarik terhadap *current density* sebesar 20,32 MPa.

Hal ini menandakan bahwa proses *nickelplating* yang diberikan pada material uji baja AISI 1045 berhasil meningkatkan kekuatan tarik dari material uji tersebut. Ini bisa dilihat dari meningkatnya gaya maksimum yang diperlukan untuk mematahkan material menandakan bahwa material uji baja AISI 1045 yang diberikan proses *nickelplating* mengalami peningkatan kekuatan tarik.

Peningkatan kekuatan tarik disebabkan semakin tingginya *current density* larutan elektrolit. Karena *current density* adalah faktor yang sangat penting dalam proses *nickelplating*. Apabila *current density* yang digunakan kecil maka *throwing power* yang dihasilkan juga kecil. Dengan *throwing power* yang digunakan kecil maka energi aktivasi juga kecil. Karena energi aktivasi yang terjadi kecil maka laju pelepasan elektron dari anoda ke katoda berlangsung dengan lambat sehingga inti butiran logam pelapis yang telah terbentuk di katoda mempunyai waktu untuk mengembangkan diri dan dihasilkan butiran-

butiran yang besar (N.V. Parthasarady, 1988:54). Sesuai dengan hukum Coulomb yang menjelaskan hubungan antara gaya yang timbul antara dua titik muatan, butiran-butiran inti yang besar akan menghasilkan ikatan antar atom yang tidak terlalu besar. Hal tersebut mengakibatkan ikatan antar ion dalam logam pelapis menjadi kurang kuat dan gaya yang diperlukan untuk mematahkan material tersebut juga tidak terlalu besar (William. F. Smith, 1995:39).

Demikian pula sebaliknya, bila *current density* yang digunakan semakin besar maka *throwing power* yang dihasilkan juga semakin besar. Dengan meningkatnya *throwing power* yang digunakan maka energi aktivasi juga semakin besar. Dengan meningkatnya energi aktivasi maka laju pelepasan elektron dari anoda ke katoda berlangsung dengan cepat sehingga inti butiran logam pelapis yang telah terbentuk di katoda tidak mempunyai waktu untuk mengembangkan diri dan dihasilkan butiran-butiran yang kecil (N.V. Parthasarady, 1988:54). Sesuai dengan hukum Coulomb yang menjelaskan hubungan antara gaya yang timbul antara dua titik muatan, butiran-butiran inti yang kecil dan halus akan menghasilkan ikatan antar atom yang lebih besar. Hal tersebut mengakibatkan ikatan antar ion dalam logam pelapis kuat dan gaya yang diperlukan untuk mematahkan material tersebut juga meningkat besar (William. F. Smith, 1995:39).

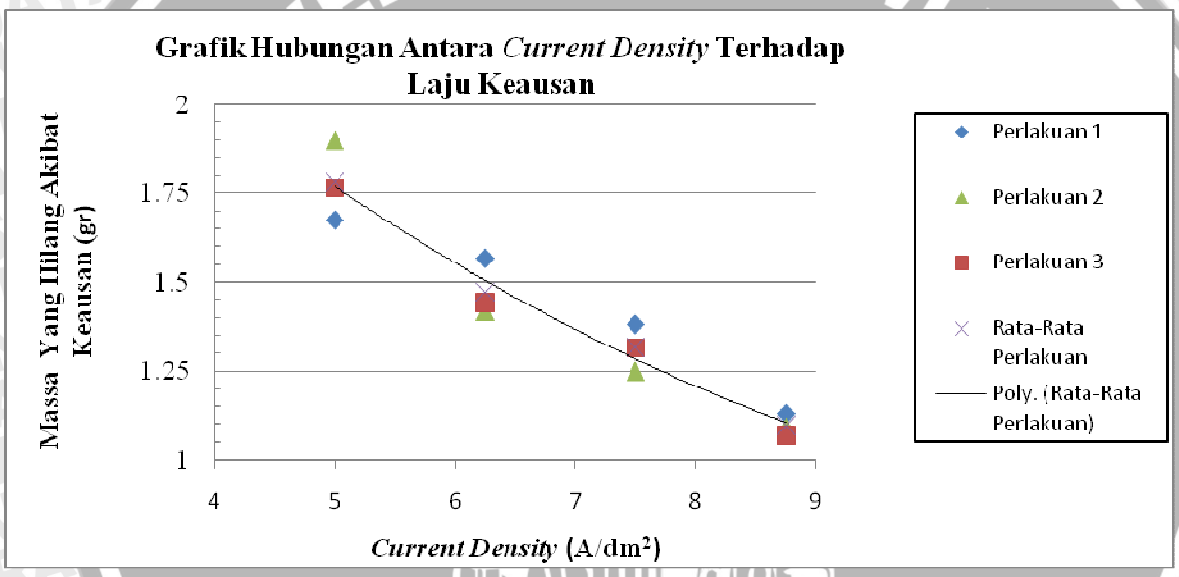
Hal ini juga didasari karena kekuatan tarik dari material pelapis juga lebih besar dari logam induk. Kekuatan tarik dari logam nikel adalah 500 MPa sedangkan kekuatan tarik baja AISI 1045 adalah 300 MPa.

4.3.2. Analisa Grafik Hubungan Antara Current Density Terhadap Laju Keausan

Berdasarkan analisa varian data laju keausan didapatkan bahwa F_{hitung}= 30, 4947 sedangkan F_{tabel}= 4, 0661. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$ yang artinya *current density* pada proses *nickelplating* berpengaruh terhadap laju keausan baja AISI 1045. Berdasarkan analisa regresi data hasil pengujian laju keausan didapatkan persamaan regresi yang menyatakan fungsi simpangan *current density* terhadap laju keausan yakni:

$$y = 0{,}0137x^2 - 0{,}3662x + 3{,}2565$$

Grafik hubungan antara *current density* terhadap laju keausan dapat dilihat pada gambar 4.2.sebagai berikut :



Gambar 4.2 Grafik hubungan current density terhadap laju keausan

Grafik pada gambar 4.2 diatas menunjukkan kecenderungan penurunan data perubahan laju keausan baja AISI 1045 dengan variasi *current density* hasil proses *nickelplating*. Sumbu datar adalah besar *current density* sedangkan sumbu tegak adalah massa yang hilang karena aus.

Pada perlakuan pertama terlihat bahwa pada *current density* 5 sampai 8,75 $A.dm^{-2}$ diperoleh penurunan rata – rata massa yang hilang dari 1,6734 gram sampai dengan 1,1278 gram. Pada *current density* 5 $A.dm^{-2}$ didapatkan massa yang hilang sebesar 1,6734 gram, pada *current density* 6,25 $A.dm^{-2}$ didapatkan massa yang hilang sebesar 1,5651 gram, dimana laju penurunan massa yang hilang terhadap *current density* sebesar 0,1083 gram. Pada *current density* 7,5 $A.dm^{-2}$ didapatkan massa yang hilang sebesar 1,3797 gram,

dimana laju penurunan massa yang hilang terhadap *current density* sebesar 0,1854.Dan pada *current density* 8,75 A.dm^{-2} didapatkan massa yang hilang sebesar 1,1278 gram, dengan laju penurunan massa yang hilang terhadap *current density* sebesar 0,2519 gram.

Pada perlakuan kedua terlihat bahwa pada *current density* 5 sampai 8,75 A.dm^{-2} diperoleh penurunan rata – rata massa yang hilang dari 1,8976 gram sampai dengan 1,0904 gram. Pada *current density* 5 A.dm^{-2} didapatkan massa yang hilang sebesar 1,8976 gram, pada *current density* 6,25 A.dm^{-2} didapatkan massa yang hilang sebesar 1,4165 gram, dimana laju penurunan massa yang hilang terhadap *current density* sebesar 0,4811 gram. Pada *current density* 7,5 A.dm^{-2} didapatkan massa yang hilang sebesar 1,2477 gram, dimana laju penurunan massa yang hilang terhadap *current density* sebesar 0,1688. Dan pada *current density* 8,75 A.dm^{-2} didapatkan massa yang hilang sebesar 1,0904 gram, dengan laju penurunan massa yang hilang terhadap *current density* sebesar 0,1573 gram.

Pada perlakuan ketiga terlihat bahwa pada *current density* 5 sampai 8,75 A.dm^{-2} diperoleh penurunan rata – rata massa yang hilang dari 1,7675 gram sampai dengan 1,0656 gram. Pada *current density* 5 A.dm^{-2} didapatkan massa yang hilang sebesar 1,7675 gram, pada *current density* 6,25 A.dm^{-2} didapatkan massa yang hilang sebesar 1,4400 gram, dimana laju penurunan massa yang hilang terhadap *current density* sebesar 0,3275 gram. Pada *current density* 7,5 A.dm^{-2} didapatkan massa yang hilang sebesar 1,3156 gram, dimana laju penurunan massa yang hilang terhadap *current density* sebesar 0,1235. Dan pada *current density* 8,75 A.dm^{-2} didapatkan massa yang hilang sebesar 1,0656 gram, dengan laju penurunan massa yang hilang terhadap *current density* sebesar 0,2509 gram.

Hal ini menandakan bahwa proses *nickelplating* yang diberikan pada material uji baja AISI 1045 berhasil meningkatkan ketahanan aus dari material uji tersebut. Ini bisa dilihat dari menurunnya massa material yang hilang akibat keausan, menandakan bahwa material uji baja AISI 1045 yang diberikan proses *nickelplating* mengalami peningkatan ketahanan aus.

Peningkatan ketahanan aus disebabkan semakin tingginya *current density* larutan elektrolit. Karena *current density* adalah faktor yang sangat penting dalam proses *nickelplating*. Apabila *current density* yang digunakan kecil maka *throwing power* yang dihasilkan juga kecil. Dengan *throwing power* yang digunakan kecil maka energi aktivasi juga kecil. Karena energi aktivasi yang terjadi kecil maka laju pelepasan elektron dari anoda ke katoda berlangsung dengan lambat sehingga inti butiran logam pelapis yang telah

terbentuk di katoda mempunyai waktu untuk mengembangkan diri dan dihasilkan butiran-butiran yang besar (N.V. Parthasarady, 1988:54). Sesuai dengan hukum Coulomb yang menjelaskan hubungan antara gaya yang timbul antara dua titik muatan, butiran-butiran inti yang besar akan menghasilkan ikatan antar atom yang tidak terlalu besar. Hal tersebut mengakibatkan ikatan antar ion dalam logam pelapis menjadi kurang kuat dan gaya yang diperlukan untuk memutuskan ikatan antar atom tersebut kecil (William. F. Smith, 1995:39). Dengan gaya yang diberikan sama kesemua spesimen, maka massa yang hilang akibat keausan besar sehingga ketahanan aus spesimen menjadi kurang baik.

Demikian pula sebaliknya, bila *current density* yang digunakan semakin besar maka *throwing power* yang dihasilkan juga semakin besar. Dengan meningkatnya *throwing power* yang digunakan maka energi aktivasi juga semakin besar. Dengan meningkatnya energi aktivasi maka laju pelepasan elektron dari anoda ke katoda berlangsung dengan cepat sehingga inti butiran logam pelapis yang telah terbentuk di katoda tidak mempunyai waktu untuk mengembangkan diri dan dihasilkan butiran-butiran yang kecil dan halus (N.V. Parthasarady, 1988:54). Sesuai dengan hukum Coulomb yang menjelaskan hubungan antara gaya yang timbul antara dua titik muatan, butiran-butiran inti yang kecil dan halus akan menghasilkan ikatan antar atom yang lebih besar. Hal tersebut mengakibatkan ikatan antar ion dalam logam pelapis kuat dan gaya yang diperlukan untuk memutuskan ikatan antar atom tersebut juga besar (William. F. Smith, 1995:39). Dengan gaya yang diberikan sama kesemua spesimen, maka massa yang hilang akibat keausan menjadi kecil sehingga ketahanan aus spesimen menjadi lebih baik.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil setelah melakukan penelitian ini adalah

- *Current density* memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap kekuatan tarik dan ketahanan aus hasil proses *electroplating*. C*urrent density* untuk mendapatkan kekutan tarik yang terendah adalah 5 $A.dm^{-2}$, sedangkan tertinggi adalah 8,75 $A.dm^{-2}$. Hal ini disebabkan karena semakin besar *current density* maka ikatan antar ion-ion logam pelapis menjadi lebih kuat. Karena butir-butir ion yang terbentuk kecil dan berstruktur halus. Sehingga gaya maksimum yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen menjadi lebih besar. Sehingga baja AISI 1045 hasil proses *nickelplating* akan memiliki kekuatan tarik yang lebih besar.
- *Current density* untuk mendapatkan ketahanan aus terendah adalah 5 $A.dm^{-2}$, sedangkan *current density* tertinggi adalah 8,75 $A.dm^{-2}$. Hal ini disebabkan karena semakin besar *current density* maka ikatan antar ion-ion logam pelapis menjadi lebih kuat dan lebih tebal. Karena butir-butir ion yang terbentuk kecil, berstruktur halus dan tebal. Sehingga massa yang hilang akibat keausan semakin kecil. Maka baja AISI 1045 hasil proses *nickelplating* akan menjadi lebih tahan aus.

5.2 Saran

Proses *electroplating* hendaknya dilakukan dengan memperhatikan hal – hal berikut:

1. Air yang digunakan sebagai pelarut dalam elektrolit hendaknya digunakan *destilated water* agar tidak terjadi reaksi kimia yang tidak diinginkan, karena pada saat peneliti melakukan percobaan *electroplating* menggunakan air sumur maka permukaan logam hasil *electroplating* terdapat bercak hitam dan agak kasar.
2. Pada pengujian tarik sebaiknya yang diamati adalah keretakan pelapisan bila diberi beban secara axial.
3. Pada pengujian aus hendaknya diamati juga pada standart pengujian yang lain, seperti keausan, erosif, dan adhesive.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

4. Proses *pickling* hendaknya dilakukan tidak terlalu lama karena dapat mengakibatkan permukaan logam menjadi berlubang – lubang.
5. Variabel yang dikonstankan hendaknya benar – benar dikontrol untuk mendapatkan hasil yang optimal.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR PUSTAKA

ASM Handbook. 1991. Heat *Heating as Volume 4 of The ASM Hand Book*. ASM Internasional.

Chang, L. 2007, *Electrodeposition of Ni-P Alloys From a Sulfamate Electrolyt.* Tainan City, Taiwan.

Fennese, Heather. 1996, *Metallurgycal Industri Hand Book.* Amerika.

J. Hartomo, T.Koneko. 1992, *Mengenal Pelapisan Logam (Elektroplating),* Edisi Pertama , Yogyakarta, Andi Offset.

Kim, J.Y. 2004, *The Effect of Electroplating Parameter on the Composition and Morphology of Sn-Ag Solder*. Hanbat National University, Daejon, Korea.

Law, S.B. 2001, *Impact of the additives and the Current Density of Copper Electroplating Pocess On The Backend Of Line Metalization of ULSI*. Nanyang Technological University, School of Electrical and Electronics Engineering Singapore.

Listyono. 2000, "*Pengaruh Konsntrasi Larutan dan Waktu Pickling Terhadap Kekerasan Pada Proses Electroplating*. Sripsi Tidak Diterbitkan. Malang. Jurusan Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya. 2000.

Luo, J.K. 2004, *Uniformity Control of Ni Thin-Film Microstruktures Deposited by Through-Mask Plating.* Deparment of Engineering. University of Cambridge. United Kingdom.

Phartasaradhy, NV. 1989. *Practical Electroplating Handbook*. New Jersey, USA. Prentice-Hall, Inc.

Richard, N, Wurzbach & DeFelice, William. 2002. *Improving component wear performance through cryogenic treatment*. *Journal of wearing reseach.*

Smith,F, William. 2001. *Principles of Material Science and Engineering* Third Edition. Singapore: John Wiley and Sons (SEA).

Thomas, R, T. 1999. *Rough Surface*, 2nd ed London : Imperial College Press.

Utomo, A. B. 2007. *Pengaruh Konsentrasi Nickel Sulphate Pada Larutan Waats Terhadap Ketahanan Aus dan Thermal shock Hasil Electroplating*. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang : Universitas Brawijaya.

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

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

ZHU Dong-mei.2007, *Preparation and Properties of borate glass coating on Ti-based alloy substrates*. State Key Laboratory of Solidification Processing,Northwestern Polytechnical University, Xi'an China

WEI Tong-bo.2004, *Structure and tensile wear properties of microarc oxidation ceramic coating on aluminium alloy*. State Key Laboratory of Solid Lubrication, Lanzhou Institute of Chemical Physics, China

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

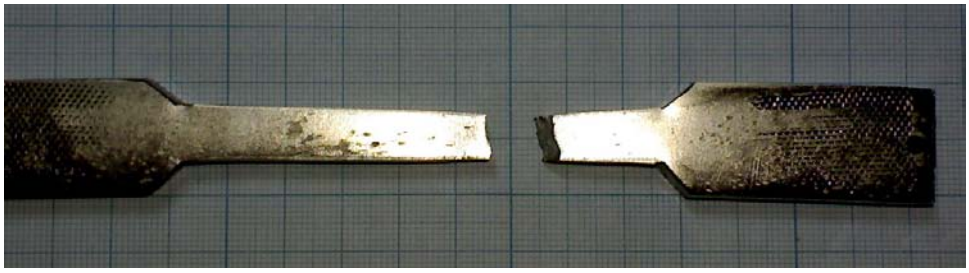
LAMPIRAN

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

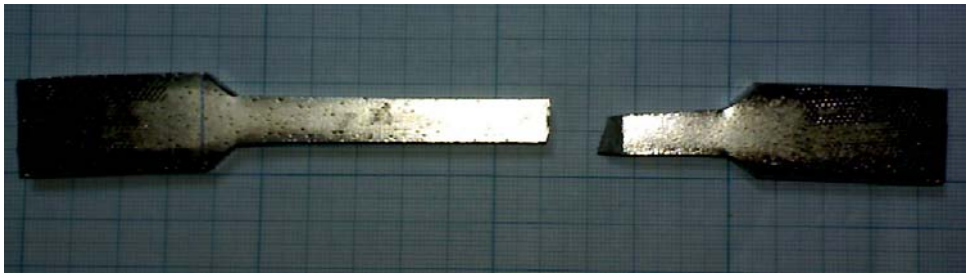
Lampiran 1. Gambar Spesimen Setelah Pengujian Kekuatan Tarik

Current Density 5 $A.dm^{-2}$

Current Density 6,25 $A.dm^{-2}$



Current Density 7,5 $A.dm^{-2}$

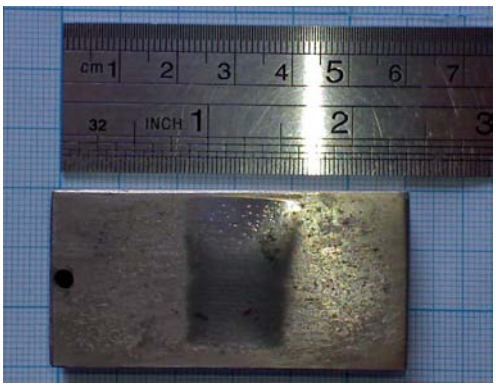


Current Density 8,75 $A.dm^{-2}$

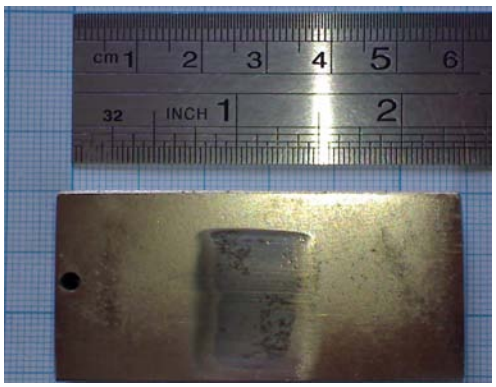
repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 2. Gambar Spesimen Setelah Pengujian Aus

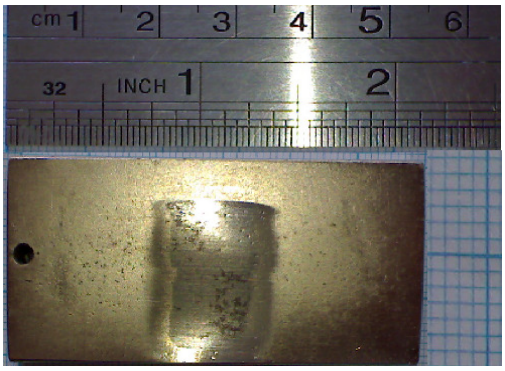
Current Density 5 A.dm^{-2}



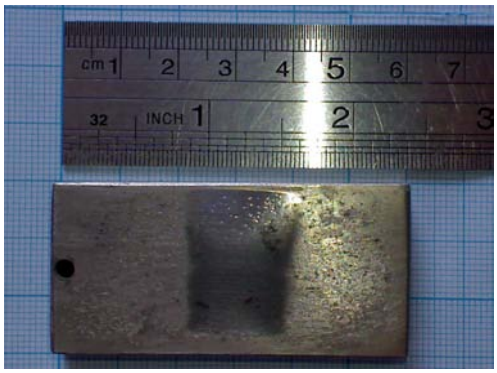
Current Density 6,25 A.dm^{-2}



Current Density 7,5 A.dm^{-2}



Current Density 8,75 A.dm^{-2}



repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 3. Surat Keterangan Penelitian *Electroplating*

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

SURAT KETERANGAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Imam Mashudi, B.Eng (HONS), MT.

NIP : 131953225

Jabatan : Ketua Jurusan T. Mesin

Politeknik Negeri Malang

Menerangkan dengan sesungguhnya bahwa mahasiswa :

Nama : Raden Kusnindar P

NIM : 0410623061

Jurusan : Teknik Mesin (S-1)

Fakultas : Teknik

Universitas Brawijaya Malang

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

Demikian surat ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Malang, 23 November 2009
Mengetahui,
Ketua Jurusan T. Mesin,

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

Lampiran 4. Surat Keterangan Penelitian Uji Tarik dan Uji Keausan

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LABORATORIUM METALURGI FISIK

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

SURAT KETERANGAN
Nomor :80/PT.13.FT.6.M/XII/2009

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan dengan sesungguhnya bahwa mahasiswa:

Nama : **R Kusnindar P.**

Nim. : 0410623061-62

Instansi : Universitas Brawijaya

Program Studi : Teknik Mesin

Benar-benar telah melaksanakan penelitian dan pengambilan data Pengujian Tarik dan Pengujian Keausan di Laboratorium Metalurgi Fisik Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Brawijaya Malang pada tanggal 03 Agustus 2009, guna keperluan penyusunan skripsi dengan judul " Pengaruh Rapat Arus Larutan Nickle Sulphate (NiSO4) Terhadap Ketahanan Aus dan Kekuatan Tarik Hasil Proses Nickle Elektroplating."

Demikian agar surat keterangan ini dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Malang 07 Desember 2009
Ka. Lab. Metalurgi Fisik

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

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 5. Surat Keterangan Penelitian Ketebalan Lapisan Setelah *Electroplating*

ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember

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

DATA HASIL UJI KETEBALAN LAPISAN SETELAH ELEKTROPLATING

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

Kode Spesimen	Current Density (Adm^2)	Waktu (menit)	Ketebalan Lapisan (µm)	Ketebalan rata - rata (µm)
AISI 1045	5	60	21,20,22 ; 18,17,18;17,16,17	18,4
			21,21,22 ;16,17,18 ;16,17,17,	18,3
			20,20,19 ;17,17,18 ;17,16,17	17,9
AISI 1045	6.25	60	24,23,25 ; 21,20,19,19,20,21	21,3
			25,23,23;20,21,19;19,20,21	21,3
			24,25,24;19,19,20;19,20,21	21,2
AISI 1045	7.5	60	27,26,27;24,25,25;24,25,25	25,3
			26,27,27;25,24,25;24,23,25	25,2
			27,27,26;23,23,24;23,23,25	24,6
AISI 1045	8.75	60	30,31,29;26,26,25;25,26,26	27,1
			31,30,30;25,25,26;25,24,25	26,7
			30,31,30;25,25,26;25,24,23	26,5

Surabaya, 01 September 2009
LABORANT

BAMBANG SUMANTRI, ST
NIP. 130 911 593

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 6. Surat Keterangan Penelitian Ketebalan Lapisan Setelah Uji Keausan

ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember

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

DATA HASIL UJI KETEBALAN LAPISAN SETELAH UJI KEAUSAN

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

Kode Spesimen	Current Density (Adm^2)	Waktu (menit)	Ketebalan Lapisan (µm)	Ketebalan rata - rata (µm)
AISI 1045	5	60	12,11,12 ; 18,17,18;17,16,17	15.3
			11,12,11 ;16,17,18 ;16,17,17,	15
			11,12,12 ;17,17,18 ;17,16,17	15.2
AISI 1045	6.25	60	14,15,14 ; 21,20,19,19,20,21	18.1
			15,14,15;20,21,19;19,20,21	18.2
			14,14,15;19,19,20;19,20,21	17.8
AISI 1045	7.5	60	19,18,18;24,25,25;24,25,25	22.9
			18,18,19;25,24,25;24,23,25	22.3
			17,17,19;23,23,24;23,23,25	21.6
AISI 1045	8.75	60	20,21,20;26,26,25;25,26,26	23.8
			20,21,21;25,25,26;25,24,25	23.4
			21,20,20;25,25,26;25,24,23	23.2

Surabaya, 16 Nopember 2009
LABORANT

BAMBANG SUMANTRI, ST
NIP. 130 911 593

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 7. Sertifikat Baja AISI 1045

P.T. BHINNEKA BAJANAS

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

Jl. Karang Bolong Raya No.5, Ancol Barat, Jakarta – Indonesia P.O.Box.4103/JKT

Phone: 62-21-6912116, 6912201, 6922122, 6925431,6925591, 6909308 (hunting) Fax.: 6911569, 6921201

TEST CERTIFICATE

Nr./No./No.: 194.861 08.03.12

Seite/Page/Page: 01

Bestellung/Purchase Order No./Numéro de commande

BB/6394/08

Lieferschein/Dispatch note/Avis d'expédition

52/ 135.043/ SH

938.008(R)

STEEL BARS K945 (AISI 1045)

K945/E MS 45

Umfang der Lieferung/Volume of delivery/Liste descriptive

	Gewicht kg	Schmelze	Prüfer-Nr.
10 x 1500 x 6000 MM	3520.00	37C23022	

SERTIFIKAT INI HANYA BERLAKU

UNTUK DO NO : 001- 12/2/09

PT. BHINNEKA BAJANAS

PT. BHINNEKA BAJANAS

TRUE COPY

Chemische Zusammensetzung/Chemical Composition/Composition chimique (%)

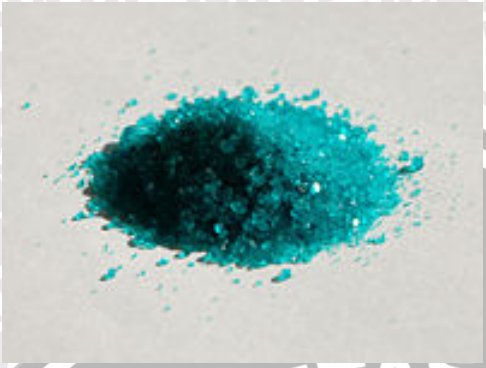
Schmelze	C	Si	MN	P	S	CR	Ni	Mo	V	Al	Cu
37C23022	.49	.22	.66	.001	.082	.02	.02				.01

Chemische Zusammensetzung/Chemical Composition/Composition chimique (%)

Prüf-Nr.	Härte/ Brinell	Tensile Strength (Rm) N/mm2	Yield Strength (Rp 0,2) N/mm2	Elongation %	Reduction %

Lampiran 8. Gambar Larutan *Watts* untuk Proses *Nickel Plating*, yang terdiri atas :

- *Nickel Sulphate* ($NiSO_4$)



- *Nickel Chloride* ($NiCl_2$)

- *Boric Acid* (H_3BO_3)

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 9. Tabel Kekuatan Tarik

Spesimen	F (N)	A (mm^2)	σ ($N.mm^{-2}$)
1	62500	200,57	311,61
2	63000	200,57	314,10
3	62200	200,54	310,16
4	66900	200,64	333,43
5	67500	200,63	336,44
6	66500	200,64	331,43
7	71700	200,74	357,17
8	71300	200,73	355,20
9	70600	200,74	351,69
10	74300	200,80	370,02
11	75300	200,81	374,98
12	74700	200,80	372,01

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 10. Foto Alat Uji Keausan

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA