



**OPTIMASI KUALITAS KEKASARAN PERMUKAAN MATERIAL SS400  
PADA PROSES *ELECTROPLATING* MENGGUNAKAN METODE  
TAGUCHI**

**SKRIPSI**

Oleh:

**Mohammad Hartono**

**151910101055**

**PROGRAM STUDI STRTA 1 TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**



**OPTIMASI KUALITAS KEKASARAN PERMUKAAN MATERIAL SS400  
PADA PROSES *ELECTROPLATING* MENGGUNAKAN METODE  
TAGUCHI**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh:

**Mohammad Hartono**

**151910101055**

**PROGRAM STUDI STRTA 1 TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2019**

## PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa dengan kerendahan hati, skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua saya Ibu tercinta Hotim Khotijah yang telah memberi segala do'a dukungan dan semangat serta Bapak Handoyo yang telah memberi dukungan semangat dan materi. Terimakasih atas semua cinta, kasih sayang, perhatian, do'a, pengorbanan, motivasi dan bimbingan kalian semua demi terciptanya insan yang beriman dan berakhlak mulia. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya serta membalas semua kebaikan yang telah kalian berikan.
2. Saudara-saudaraku khususnya om, tante, pakde dan bude (Yuniatun Fitriah, Edi Samsudin Lubis, Atfendi, dan Zaikatul Fitria) yang selalu memberikan motivasi, doa dan dukungan, baik moril maupun materil serta dorongan semangat dalam pendidikan.
3. Bapak Ir. Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T. selaku pembimbing utama dan Bapak Ir. Andi Sanata, S.T., M.T. selaku pembimbing anggota yang selalu membimbing saya, baik motivasi, arahan maupun saran yang tiada henti-hentinya selama penelitian.
4. Seluruh guru/dosen dari taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah mendidik dan mengarahkan pada kebaikan.
5. Seluruh tim elektroplating (Hadi, Amin, dan Candra) yang telah banyak membantu selama penelitian.
6. Saudara seperjuanganku Teknik Mesin angkatan 2015.
7. Keluarga besar UKMO ESTER yang telah banyak memberikan pengalaman dalam organisasi.
8. Almamater Universitas Jember tercinta.

**MOTTO**

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai kesanggupannya.”

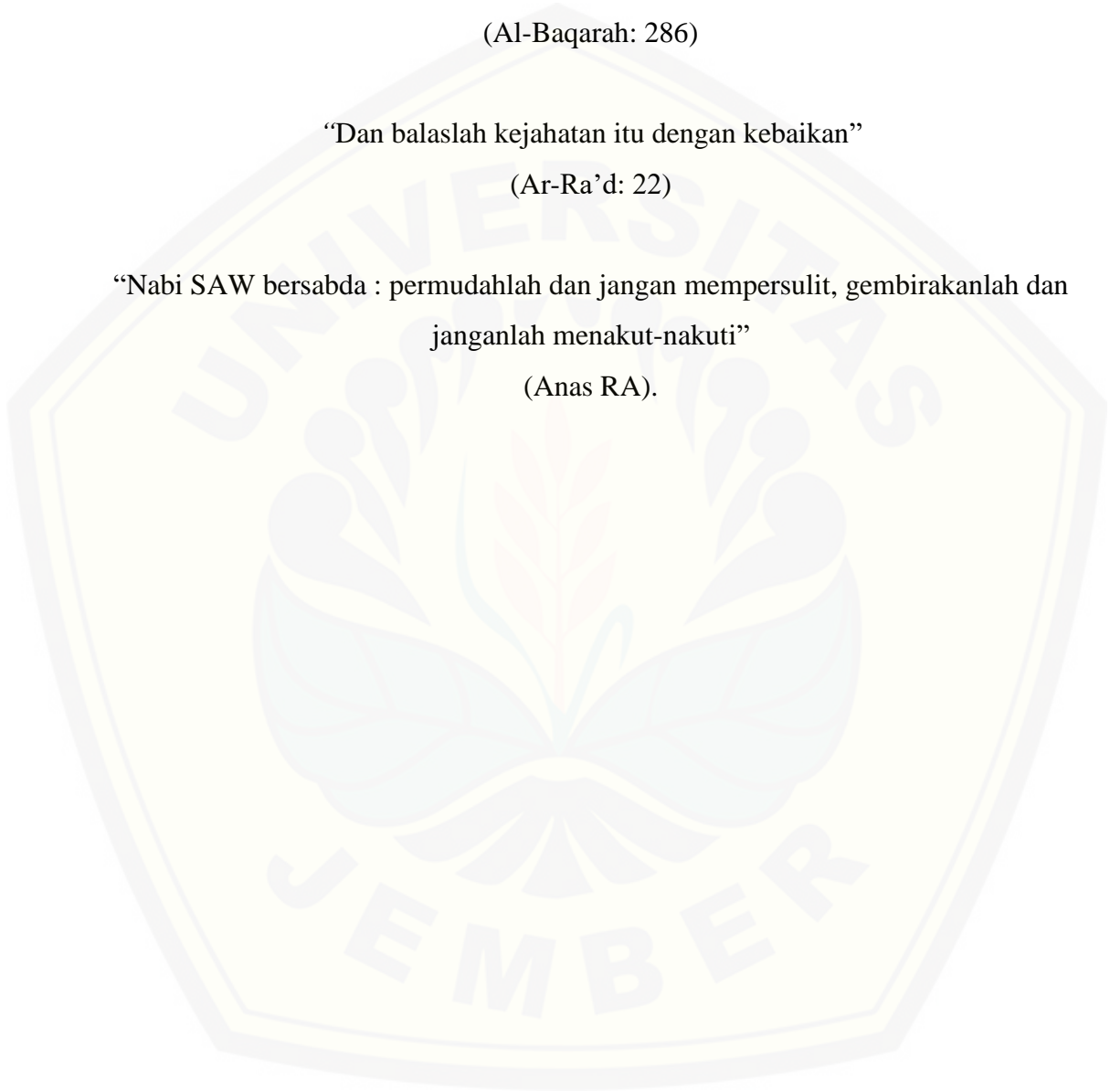
(Al-Baqarah: 286)

“Dan balaslah kejahatan itu dengan kebaikan”

(Ar-Ra’d: 22)

“Nabi SAW bersabda : permudahlah dan jangan mempersulit, gembirakanlah dan janganlah menakut-nakuti”

(Anas RA).



**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mohammad Hartono

NIM : 151910101055

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Optimasi Kualitas Kekasaran Permukaan Material SS400 Pada Proses *Electroplating* Menggunakan Metode Taguchi” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 16 Desember 2019  
yang menyatakan,

Mohammad Hartono  
NIM 151910101055

**SKRIPSI**

**OPTIMASI KUALITAS KEKASARAN PERMUKAAN MATERIAL SS400  
PADA PROSES *ELECTROPLATING* MENGGUNAKAN METODE  
TAGUCHI**

Oleh

**Mohammad Hartono**

**NIM 151910101055**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Andi Sanata, S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Optimasi Kualitas Kekasaran Permukaan Material SS400 Pada Proses *Electroplating* Menggunakan Metode Taguchi” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : 16 Desember 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Ir. Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T.  
NIP. 196709241994121001

Ir. Andi Sanata, S.T., M.T.  
NIP. 197505022001121001

Anggota I,

Anggota II,

Dr. Ir. Agus Triono, S.T., M.T.  
NIP. 197008072002121002

Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T.  
NIP. 196008121998021001

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM  
NIP. 196612151995032001

## RINGKASAN

**Optimasi Kualitas Kekasaran Permukaan Material SS400 Pada Proses *Electroplating* Menggunakan Metode Taguchi;** Mohammad Hartono, 151910101055; 2019; 72 halaman; Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Pelapisan material adalah salah satu cara meningkatkan kualitas suatu produk khususnya material logam. Pelapis yang digunakan dalam teknik *electroplating* baja dapat berupa lapis perak, emas, brass, tembaga, nikel dan krom. Penggunaan lapisan tersebut disesuaikan dengan kebutuhan dan kegunaan masing-masing material. Tujuan pelapisan logam terdiri dari tiga hal yaitu untuk mengubah sifat mekanis dari suatu logam, melindungi logam dari korosi, dan memperindah tampilan atau disebut *decorative*. Kelebihan nikel dalam pelapisan ini adalah karena memiliki kelebihan pada sifat fisiknya yaitu, seperti tahan terhadap aus, tahan terhadap korosi dan biasa dipakai dalam proses *electroplating*.

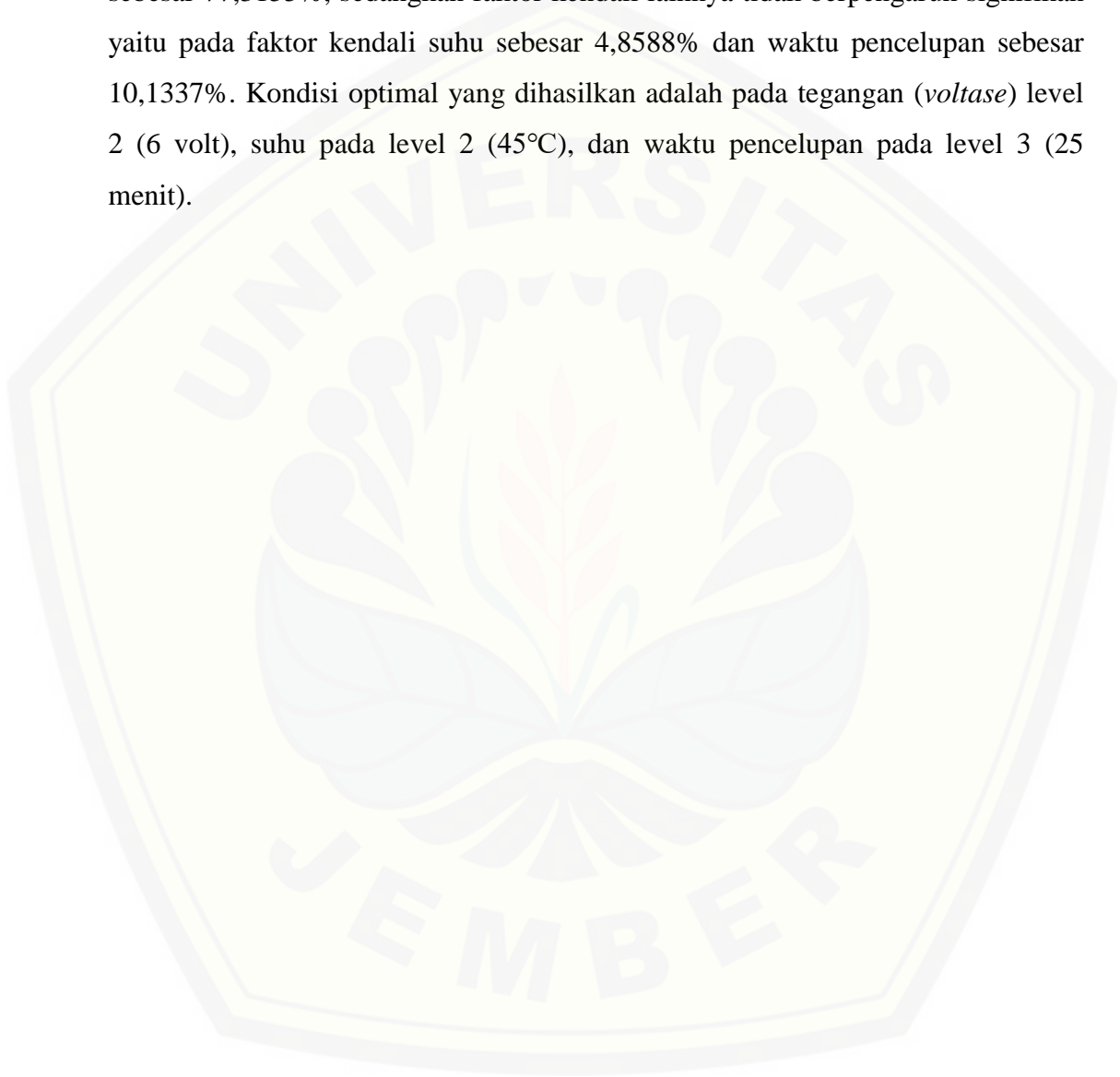
Kualitas produk di berbagai industri khususnya pada industri logam merupakan hal yang paling diperhatikan agar produk tersebut dapat bersaing dan memikat konsumen. Kekasaran permukaan merupakan salah satu tuntutan yang harus terpenuhi karena dapat menjadi inisiasi retakan terutama ketika material tersebut menerima pembebanan berulang dan berfluktuasi. Oleh karena itu, kekasaran permukaan yang rendah dapat menghasilkan produk dengan umur lelah material yang lebih lama.. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan kombinasi yang paling optimal dari proses *electroplating* dengan variasi faktor kendali tegangan (volt), suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ), dan waktu pencelupan (menit) untuk menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang paling baik.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Terapan, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember. Pada bulan september hingga november 2019. Penelitian ini mengambil data nilai kekasaran permukaan yang



dihasilkan dengan metode taguchi berdasarkan matriks orthogonal L9 ( $3^3$ ) dengan replikasi 3 kali untuk setiap kombinasinya.

Kontribusi faktor kendali yang menghasilkan nilai kekasaran permukaan paling yang signifikan dipengaruhi oleh faktor kendali yaitu tegangan (*voltase*) sebesar 77,3155%, sedangkan faktor kendali lainnya tidak berpengaruh signifikan yaitu pada faktor kendali suhu sebesar 4,8588% dan waktu pencelupan sebesar 10,1337%. Kondisi optimal yang dihasilkan adalah pada tegangan (*voltase*) level 2 (6 volt), suhu pada level 2 (45°C), dan waktu pencelupan pada level 3 (25 menit).



## SUMMARY

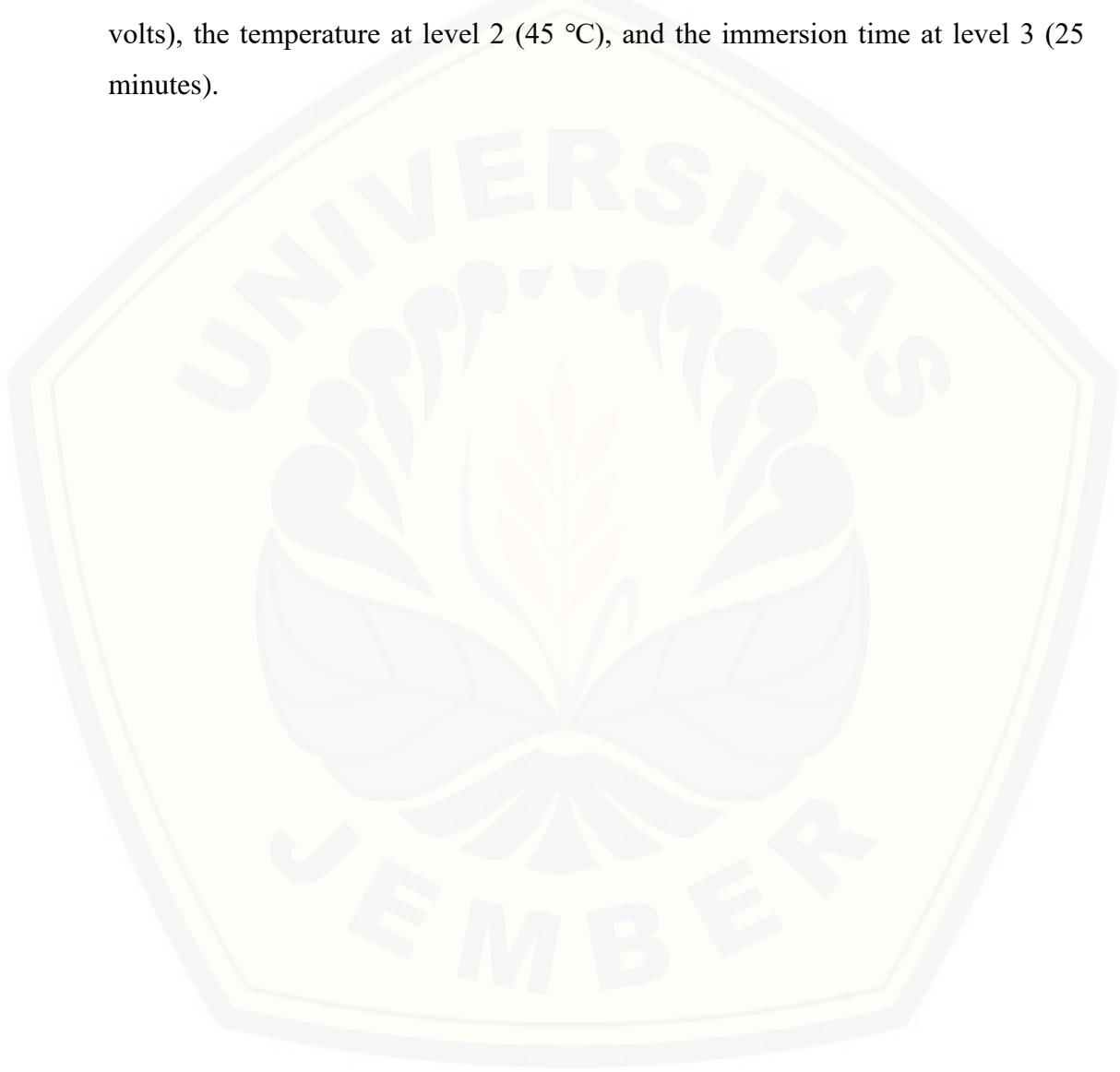
**Optimasi Proses *Electroplating* Terhadap Kualitas Kekasaran Permukaan Material SS400 Menggunakan Metode Taguchi;** Mohammad Hartono, 151910101055; 2019; 72 Pages; Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Univeritas Jember.

The coating material is one way to improve the quality of a product, especially a metal material. The coating is used in electroplating techniques can be layered steel silver, gold, brass, copper, nickel and chrome. The use of that coating is adjustable with necessity and function each material. The goals of metal coating are consist three things such as, to improve mechanical properties of a metal, protect the metal from corrosion, and embellish the appearance or it's called decorative. Excess nickel in this coating is due to it has an advantage in its physical properties, such as resistan to wear, resistant to corrosion, and commonly used in the electroplating process.

Quality of product in various industries, especially in metal industry is the most attention so the product can compete and attract consumers. Surface roughness is one of the demand that must be fulfilled because it can be the initiation of cracks, especially when material receives recurring and fluctuating loading. Therefore, low surface roughness can produce a product with longer lifespan material. The goal of this study is to determine the most optimal combination of electroplating process with factors variety of voltage (volt), temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), and time of immersion (minutes) to produce a surface roughness value of the nicest.

This study was conducted at the Laboratory of Applied Technology, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Jember University on September until November 2019. This study took the data of surface roughness values generated by the Taguchi method based on a matrix of orthogonal L9 ( $3^3$ ) with 3 times replication for each combination.

Contribution factors of control that produce the surface roughness values were influenced significantly by control factor voltage (volts) amounted to 77.3155%, whereas other control factors were not effected significantly on the temperature control factor amounted to 4.8588% and immersion time amounted to 10.1337%. The result of optimal condition is the voltage (voltage) level 2 (6 volts), the temperature at level 2 (45 °C), and the immersion time at level 3 (25 minutes).



## PRAKATA

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Optimasi Kualitas Kekasaran Permukaan Material SS400 Pada Proses *Electroplating* Menggunakan Metode Taguchi”. Shalawat serta salam penulis curahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menunjukkan inspirasi, suri tauladan, dan jalan yang terang bagi umat manusia dalam menjalani kehidupan di dunia. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulis tidak lupa berterima kasih serta mengapresiasi semua pihak yang telah membantu dan mendukung selama penyusunan skripsi ini, khususnya kepada:

1. Bapak Ir. Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Bapak Ir. Andi Sanata, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah memberikan masukan dan arahan dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini. serta Bapak Dr. Ir. Agus Triono, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan kritik dan saran untuk perbaikan skripsi.
2. Keluarga besar Teknik Mesin 2015 yang selalu memberikan bimbingan, motivasi, arahan dukungan, ide dan bantuan dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Semua pihak yang telah membantu dan memberi masukan dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Semoga hasil dari penelitian ini dapat memberikan manfaat dan wawasan bagi semua pembaca.

Jember, 16 Desember 2019

Penulis

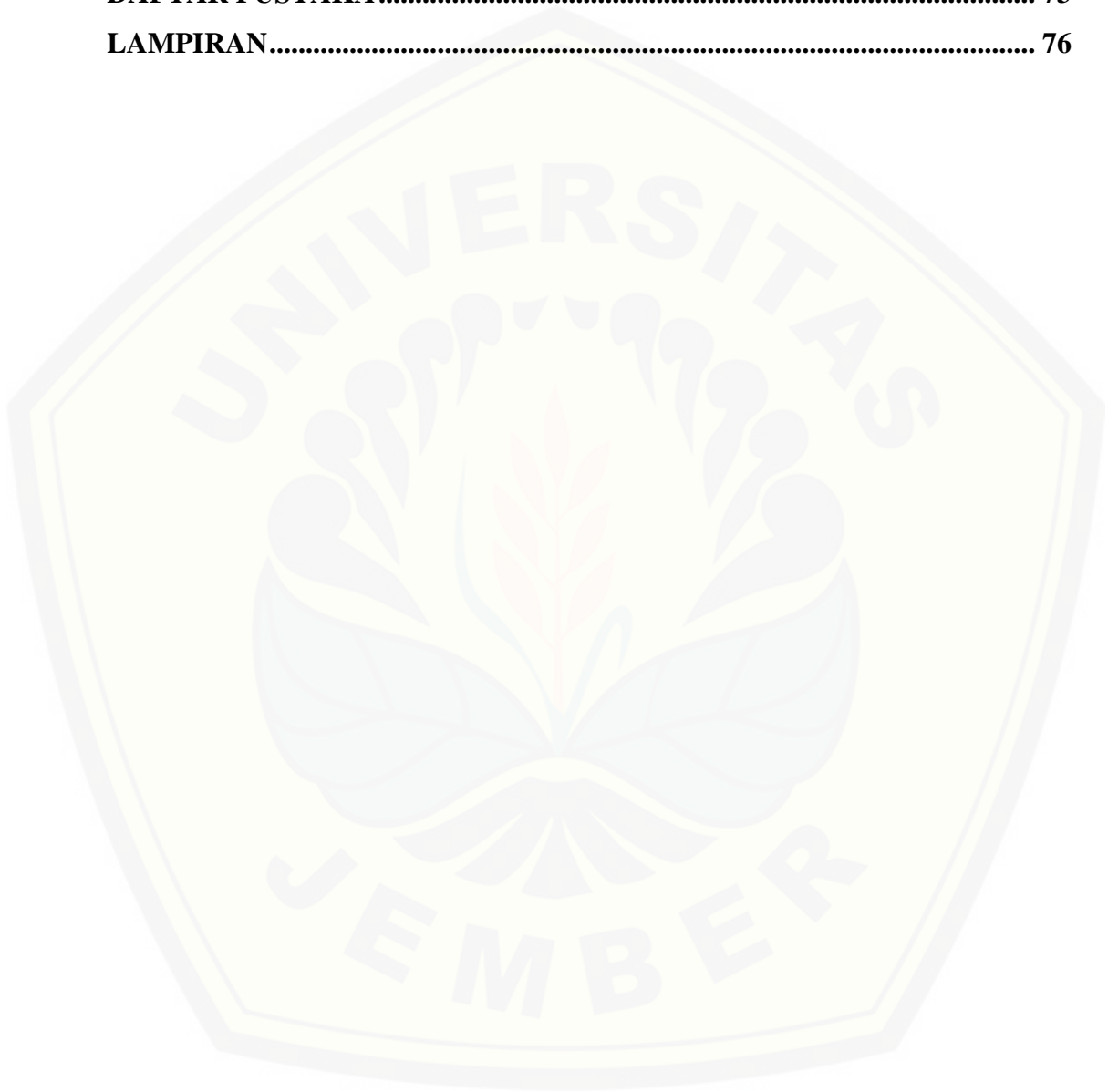
DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL .....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	iii
HALAMAN MOTTO .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBING .....	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN .....	viii
SUMMARY .....	x
PRAKATA .....	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan dan Manfaat .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Pengertian <i>Electroplating</i> .....	5
2.1.1 Proses <i>Electroplating</i> .....	7
2.1.2 <i>Pretreatment</i> .....	8
2.1.3 Fungsi <i>Electroplating</i> .....	10
2.1.4 Kelebihan <i>Electroplating</i> .....	10
2.2 Parameter Pelapisan .....	11
2.2.1 Tegangan ( <i>Voltage</i> ).....	11

2.2.2	<i>Temperature</i>	11
2.2.3	Waktu Pelapisan	12
2.2.4	Rapat Arus ( <i>current density</i> )	13
2.2.5	Jarak Katoda dan Anoda	13
2.2.6	Konsentrasi Larutan	13
<b>2.3</b>	<b>Jenis Larutan Elektrolit Nikel</b>	<b>14</b>
<b>2.4</b>	<b>Peralatan Pelapisan Metode <i>Electroplating</i></b>	<b>17</b>
<b>2.5</b>	<b>Nikel</b>	<b>17</b>
2.5.1	Sifat-Sifat Nikel	17
2.5.2	Pelapisan Nikel	18
<b>2.6</b>	<b>Baja</b>	<b>19</b>
2.6.1	Baja Karbon	19
2.6.2	Baja SS400 (Karbon Rendah)	20
<b>2.7</b>	<b>Kekasaran Permukaan</b>	<b>22</b>
2.7.1	Pengujian Kekasaran Permukaan	22
2.7.2	Toleransi Harga Ra	23
2.7.3	Alat Ukur Kekasaran Permukaan	24
<b>2.8</b>	<b>Metode yang Digunakan</b>	<b>25</b>
2.8.1	Uji Asumsi Klasik	25
2.8.2	Metode Taguchi	27
2.8.3	Rancangan Percobaan Taguchi	28
2.8.4	Analisa dalam Metode Taguchi	33
2.8.5	Persen Kontribusi	36
2.8.6	Interval Kepercayaan	37
2.8.7	Eksperimen Konfirmasi	38
<b>2.9</b>	<b>Penelitian Terdahulu</b>	<b>38</b>
<b>2.10</b>	<b>Hipotesis</b>	<b>40</b>
<b>BAB 3.</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>42</b>

<b>3.1 Jenis Penelitian dan Rancangan Penelitian .....</b>	<b>42</b>
<b>3.2 Tempat dan Waktu Penelitian .....</b>	<b>42</b>
<b>3.3 Alat dan Bahan.....</b>	<b>42</b>
3.3.1 Alat.....	42
3.3.2 Bahan .....	43
<b>3.4 Prosedur Penelitian.....</b>	<b>43</b>
<b>3.5 Konsep Rancangan .....</b>	<b>44</b>
<b>3.6 Pelaksanaan Penelitian .....</b>	<b>45</b>
3.6.1 Persiapan dan Pembuatan Spesimen Uji.....	45
3.6.2 Proses <i>Pretreatment</i> .....	46
3.6.3 Proses <i>Electroplating</i> .....	46
3.6.4 Pengujian Kekasaran Permukaan.....	47
<b>3.7 Variabel Penelitian.....</b>	<b>47</b>
3.7.1 Variabel Bebas .....	47
3.7.2 Variabel Terikat .....	48
<b>3.8 Pengambilan Data .....</b>	<b>48</b>
<b>3.9 Metode Analisa .....</b>	<b>49</b>
<b>3.10 Diagram Alir Penelitian.....</b>	<b>51</b>
<b>BAB 4. PEMBAHASAN .....</b>	<b>52</b>
<b>4.1 Data Hasil Percobaan .....</b>	<b>52</b>
4.1.1 <i>Raw Material</i> .....	52
4.1.2 Hasil <i>Electroplating</i> .....	53
4.1.3 Uji Asumsi Residual.....	54
4.1.4 Perhitungan S/N Rasio .....	56
4.1.5 Kombinasi Variasi Optimal.....	57
4.1.6 Uji Analisa Varian, Uji F, dan Persen Kontribusi.....	59
4.1.7 Prediksi Respon Optimal.....	63
4.1.8 Eksperimen Konfirmasi.....	64
<b>4.2 Pembahasan .....</b>	<b>66</b>

<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	<b>71</b>
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	<b>71</b>
<b>5.2 Saran</b> .....	<b>71</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>73</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>76</b>





**DAFTAR TABEL**

2.1	Komposisi dan kondisi operasi larutan <i>nickel strike dan Watt's</i> .....	15
2.2	Komposisi dan kondisi operasi larutan nikel mengkilap ( <i>Bright Nickel</i> ) ..	16
2.3	Komposisi dan kondisi operasi larutan nikel hitam .....	16
2.4	Komposisi Kimia Material SS400.....	20
2.5	Daftar <i>Part Pintu Gangway</i> .....	21
2.6	Toleransi harga kekasaran rata-rata Ra .....	24
2.7	Penentuan jumlah level dan nilai level faktor .....	30
2.8	Perhitungan derajat kebebasan .....	30
2.9	Matriks ortogonal 2 level .....	31
2.10	Matriks ortogonal 3 level .....	31
2.11	Matriks ortogonal 4 level .....	32
2.12	Data Hasil Eksperimen .....	32
3.1	Variabel bebas .....	47
3.2	Data hasil pengujian kekasaran .....	48
3.3	Hasil analisis varians dan kontribusi parameter berpengaruh.....	49
4.1	Data nilai kekasaran sebelum dilapisi .....	52
4.2	Data hasil eksperimen nilai kekasaran hasil pelapisan .....	54
4.3	Data hasil S/N rasio.....	57
4.4	Respon rata-rata nilai S/N rasio untuk setiap faktor kendali.....	58
4.5	Kombinasi parameter respons optimum.....	59
4.6	Hasil ANOVA faktor kendali hasil <i>electroplating</i> .....	60
4.7	Kondisi hipotesa H <sub>0</sub> .....	62
4.8	Persen kontribusi tiap faktor kendali.....	63
4.9	Hasil nilai kekasaran eksperimen konfirmasi .....	65
4.10	Persen kontribusi tiap faktor kendali.....	66

**DAFTAR GAMBAR**

2.1	<i>Electroplating</i> (Sutomo, 2010).....	6
2.2	Proses perpindahan ion (Al Hasa, 2007).....	7
2.3	Tumbukan antar pasrikel pada <i>temperature</i> rendah, (b) tumbukan antar partikel pada <i>temperature</i> tinggi (Lockwood, 2014).....	12
2.4	Pintu gangway kereta K3-AC (PT. INKA).....	21
2.5	Grafik profil permukaan Ra dan Rmax (Hidayat, 2013).....	23
2.6	<i>Roughness tester</i> TR220 .....	25
2.7	Contoh grafik <i>normal probability plot</i> (Iriawan dan Astuti, 2006) .....	26
2.8	Contoh grafik <i>autocorrelation function (ACF)</i> (Iriawan, 2006) .....	27
2.9	Diagram nilai kekasaran permukaan (Basmal dkk, 2010) .....	38
2.10	Hubungan antara waktu dan tingkat kekasaran (Suwardi, 2017).....	39
2.11	Grafik kekasaran terhadap tegangan (Assegaff dkk, 2017) .....	40
3.1	Konsep rancang bangun mesin <i>electroplating</i> .....	44
3.2	Penampang spesimen uji.....	45
3.3	Penempatan spesimen dalam bak larutan.....	46
3.4	<i>Roughness tester</i> TIME TR220.....	47
3.5	Diagram alir penelitian.....	51
4.1	Spesimen sebelum dilapisi .....	53
4.2	Hasil <i>elektroplating</i> dengan sampel terbaik (sampel ke-5).....	53
4.3	Grafik <i>normal probability plot</i> .....	55
4.4	Plot <i>Autocorrelation Function (ACF)</i> .....	55
4.5	Nilai plot rata-rata S/N rasio .....	58
4.6	Plot rata-rata percobaan eksperimen konfirmasi dan prediksi .....	66
4.7	Diagram kekasaran rata-rata dengan pengaruh tegangan.....	67
4.8	Diagram kekasaran rata-rata dengan pengaruh suhu .....	68

4.9 Diagram kekasaran rata-rata dengan pengaruh waktu ..... 70



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi saat ini mendorong manusia untuk melakukan berbagai penelitian dan percobaan untuk mendapatkan komposisi yang paling sesuai untuk kualitas suatu produk. Kualitas produk pada saat ini sangat berpengaruh terhadap minat beli konsumen, hal tersebut yang membuat setiap perusahaan berlomba-lomba untuk memikat konsumen dengan cara mempromosikan kualitas produknya.

Pelapisan material adalah salah satu cara meningkatkan kualitas suatu produk khususnya material logam. Pelapis yang digunakan dalam teknik *electroplating* baja dapat berupa lapis perak, emas, brass, tembaga, nikel dan krom. Penggunaan lapisan tersebut disesuaikan dengan kebutuhan dan kegunaan masing-masing material. Tujuan pelapisan logam terdiri dari tiga hal yaitu untuk meningkatkan sifat teknis atau mekanis dari suatu logam, melindungi logam dari korosi, dan memperindah tampilan atau disebut *decorative* (Ananta, 2016).

Nikel merupakan material pelapis yang termasuk dalam kelompok *electroplating decorative* dan *protektif*. Dasar pemilihan nikel untuk pelapisan ini adalah karena memiliki kelebihan pada sifat fisiknya yaitu, seperti tahan terhadap aus, tahan terhadap korosi dan biasa dipakai dalam proses *electroplating*. Nikel sangat populer dalam plating, karena nikel merupakan logam plating yang paling peka responnya atas aditif-aditif bak platingnya. Nikel bersifat feromagnetik akan tetapi pada saat suhu di atas 353°C bersifat paramagnetik. Nikel memiliki sifat keras dan kuatnya sedang, daya hantar listrik dan termalnya baik, keliatan dan keuletannya juga baik. Senyawa nikel digunakan terutama sebagai katalis dalam *electroplating*. Pada proses plating, walau kebanyakan nikel dari anodanya, tetap perlu terus ditambahkan garamnya ke bak *plating*. Garam-garam untuk proses plating misalnya nikel karbonat, nikel klorida, nikel fluoborat, nikel sulfamat, dan nikel sulfat (Sutomo, 2010).

Pada proses *electroplating*, faktor tegangan memegang peranan sangat penting, karena akan mempengaruhi efisiensi pelapisan. Semakin besar tegangan listrik yang diberikan maka energi ionisasi akan menjadi semakin besar. Dengan semakin banyaknya ion katoda yang menempel dan juga terjadinya peluruhan pada lapisan maka kekasaran permukaan akan semakin meningkat (Kenang dkk, 2013). Selain tegangan, temperatur dan waktu pelapisan juga dapat mempengaruhi hasil pelapisan. Temperatur terlalu rendah akan mengakibatkan hasil pelapisan menjadi kasar dan kusam, tetapi jika temperatur tinggi maka hasil pelapisan menjadi tidak merata. Sedangkan waktu pelapisan akan mempengaruhi kuantitas dari hasil pelapisan yang terjadi dipermukaan produk yang dilapisi (Rasyad, 2018).

Kekasaran permukaan dapat menjadi inisiasi retakan terutama ketika material tersebut menerima pembebanan berulang dan berfluktuasi. Spesimen dengan permukaan yang halus memiliki umur lelah material yang lebih lama (Alang dkk, 2011). Pada proses penyelesaian pekerjaan, selain dimensi produk jadi, kekasaran permukaan (*surface roughness*) merupakan salah satu karakteristik kualitas yang kritis (*Critical to Quality Characteristics/CTQ*) yang penting untuk menunjukkan kualitas pengerjaan. Secara khusus, kekasaran permukaan memegang peranan penting pada kualitas produk dan merupakan salah satu parameter yang penting untuk mengevaluasi dari hasil pengerjaan. Sehingga kekasaran permukaan menjadi tuntutan yang harus terpenuhi (Petropoulos dkk, 2009).

Material SS400 merupakan salah satu baja (*main steel*) yang paling umum digunakan didunia perindustrian. Material ini banyak dipakai untuk aplikasi struktur/konstruksi umum (*general purpose structural steel*) misalnya dipakai untuk konstruksi jembatan, pelat kapal laut, kerangka kereta api dan lain sebagainya. Salah satu contoh pengaplikasian baja SS400 adalah pada *sliding door rail* dan *door lintel* yang merupakan salah satu *part* yang terdapat pada pintu *gangway* kereta api yang diproduksi PT INKA. Pintu *gangway* merupakan jenis pintu dalam kereta yang menghubungkan antar gerbong kereta sehingga dapat

memudahkan penumpang pindah dari gerbong satu ke gerbong lainnya (Ratnanto dkk, 2013).

Berdasarkan hal-hal yang telah dijelaskan, penting dilakukan penelitian mengenai pengaturan level parameter *electroplating* untuk menghasilkan kekasaran permukaan yang optimal. Metode optimasi Taguchi digunakan pada penelitian ini untuk menghasilkan produk yang optimal dalam pengaplikasiannya. Metode Taguchi merupakan metodologi dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dapat menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin. Filosofi Taguchi dalam perbaikan kualitas secara terperinci menekankan pada reduksi variasi. Desain parameter dimaksudkan sebagai pendekatan biaya efektif (*cost-effective*) pada reduksi variasi dalam proses dan produk (Ross, 2008).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh setiap parameter pada proses *electroplating* terhadap kekasaran permukaan?
2. Bagaimana kombinasi parameter yang paling optimum pada proses *electroplating* dengan pengaruh tegangan, suhu dan waktu pelapisan terhadap kekasaran permukaan?

## 1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan dalam penelitian ini tidak terlalu melebar dari tujuan yang ingin dicapai, maka perlu ditentukan batasan masalah, adapun batasan permasalahan sebagai berikut:

1. Tidak menjelaskan secara detail pada pengaplikasian SS400 untuk konstruksi jembatan, pelat kapal laut, dan kerangka kereta api.
2. Tidak dilakukan pengolahan data nilai kekasaran permukaan sebelum material dilapisi dan data tersebut hanya dijadikan sebagai pembanding untuk mengetahui perubahan nilai kekasaran yang terjadi.

3. Kondisi lingkungan proses pelapisan dianggap ideal.
4. Tidak membahas pengelolaan hasil limbah larutan kimia setelah digunakan pada proses pelapisan.

## 1.4 Tujuan dan Manfaat

### 1.4.1 Tujuan

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan diantaranya:

1. Mengetahui pengaruh parameter tegangan (volt), suhu larutan ( $^{\circ}\text{C}$ ) dan waktu pelapisan (menit) terhadap kekasaran permukaan pada proses *electroplating*.
2. Mendapatkan kombinasi parameter yang paling optimum pada proses *electroplating* terhadap kekasaran permukaan.

### 1.4.2 Manfaat

Adapun manfaat yang didapat pada penelitian ini adalah:

1. Meningkatkan konsep atau teori yang mendukung upaya peningkatan kualitas produk pada proses *electroplating*.
2. Menambah referensi sebagai pengembangan ilmu *electroplating*, khususnya dengan pelapisan nikel pada baja karbon rendah.
3. Menambah referensi dengan menggunakan parameter tegangan, suhu, dan waktu pelapisan pada proses *electroplating* menggunakan pelapis nikel pada baja SS400.
4. Menambah ilmu pengetahuan di bidang *electroplating* pada jurusan teknik mesin Universitas Jember.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengertian *Electroplating*

*Electroplating* ialah elektrodposisi pelapis logam melekat ke elektroda untuk menjaga substrat dengan memberikan permukaan dengan sifat dan dimensi berbeda daripada logam basisnya tersebut. Proses *electroplating* merupakan proses pelapisan logam dengan bantuan arus listrik yang berlangsung secara reaksi reduksi oksidasi dari logam pelapis (sebagai anoda korban teroksidasi) ke benda kerja (sebagai katoda yang dilapisi). Pada katoda terjadi proses penangkapan elektron sedangkan pada anoda terjadi reaksi pelepasan elektron, sehingga proses pengendapan berlangsung di katoda yang berdampak terhadap penambahan ketebalan dan berat benda (Hartomo, 1992).

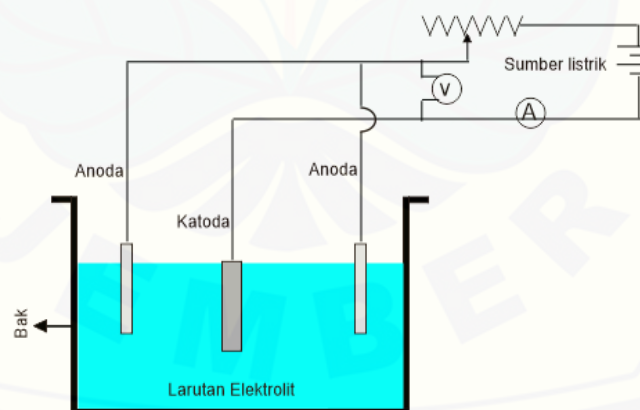
*Electroplating* dilakukan dengan maksud memberi perlindungan benda kerja terhadap bahaya korosi, membentuk sifat keras permukaan dan sifat teknis atau mekanis tertentu, serta memberi nilai dekoratif terhadap logam dasar. Pada proses elektroplating logam yang dilapisi berfungsi sebagai katoda (elektroda negatif), sedangkan logam pelapis sebagai anoda (elektroda positif). Pada proses *plating*, arus mengalir dari kutub positif ke kutub negatif sedangkan elektron mengalir dari kutub negatif ke kutub positif. Pada proses pelapisan logam ini, arus yang dipakai adalah arus searah (DC) (Agus, 2008).

Mekanisme terjadinya pelapisan logam adalah dimulai dari dikelilinginya ion-ion logam oleh molekul-molekul pelarut yang mengalami polarisasi. Di dekat permukaan katoda, terbentuk daerah *Electrical Double Layer* (EDL) yang bertindak seperti lapisan dielektrik. Adanya lapisan EDL memberi beban tambahan bagi ion-ion untuk menembusnya. Dengan gaya dorong beda potensial listrik dan dibantu oleh reaksi-reaksi kimia, ion-ion logam akan menuju permukaan katoda dan menangkap elektron dari katoda, sambil mendeposisikan diri di permukaan katoda. Dalam kondisi equilibrium, setelah ion-ion mengalami *discharge* menjadi atom-atom kemudian akan menempatkan diri pada permukaan



katoda dengan mula-mula menyesuaikan mengikuti susunan atom dari material katoda (Doddi, 2008).

Pada proses ini, komponen bersama dengan batangan atau lempengan logam yang akan disalutkan, direndam dalam suatu elektrolit yang mengandung garam-garam logam penyalut (*plating metal*). Apabila suatu potensial diberikan ke dalam sel itu sehingga komponen menjadi katoda dan batangan atau lempengan logam penyalut menjadi anoda, ion-ion logam penyalut dari larutan akan mengendap ke permukaan komponen sementara dari anoda ion-ion juga terus terlarut. Dengan larutan-larutan dan anoda-anoda yang diformulasikan dengan tepat, kita dapat menyepuh bukan saja logam murni tetapi juga logam-logam paduan. Ditangan mereka yang ahli, ketebalan lapisan dapat dikendalikan dengan baik, demikian pula kehalusan ukuran butirannya sehingga lapisan kemungkinan besar bisa bebas dari porositas. Dalam metode ini kita mengenal istilah *throwing power* yang diartikan dengan kemampuan larutan penyalut untuk menghasilkan lapisan dengan ketebalan merata tertentu sejalan dengan terus berubahnya jarak antara anoda dan permukaan komponen selama proses pelapisan (Kanneth, 1991).



Gambar 2.1 *Electroplating* (Sumber : Sutomo, 2010)

Dengan metode pencelupan kedalam larutan memberikan keuntungan untuk menjangkau bagian-bagian yang sulit dijangkau seperti pipa, benda pejal atau plat. Sebelum dilakukan proses *electroplating* benda kerja terlebih dahulu dilakukan proses *pretreatment*, yaitu dibersihkan dari kotoran termasuk minyak

dan debu dengan tujuan untuk menghindari kegagalan atau cacat dalam proses pelapisan. Proses pelapisan yang canggih akan sia-sia jika proses *pretreatment* tidak dilakukan dengan baik. Oleh karena itu diperlukan kehati-hatian dalam memilih dan mengawasi proses *pretreatment*.

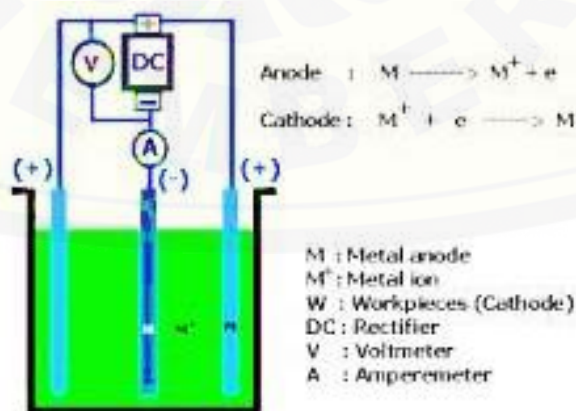
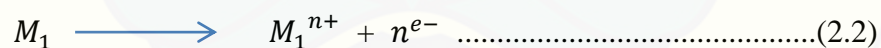
### 2.1.1 Proses *Electroplating*

Pada reaksi elektrolisis terjadi reaksi redoks yaitu reaksi oksidasi dan reduksi, yaitu arus listrik searah (DC) dialirkan antara kedua elektroda anoda dan katoda dalam larutan elektrolit dengan waktu yang telah ditentukan maka pada anoda terjadi oksidasi atau pelepasan ion sehingga akan membentuk ion-ion positif, pada larutan elektrolit terjadi elektrolisis garam-garam logam. Anoda yang meluruh dan larut dalam larutan elektrolit menggantikan ion logam dalam larutan elektrolit yang ditarik oleh elektroda negatif (katoda) sehingga terbentuk endapan pada katoda berupa massa lapisan (Hartomo, 1992).

Proses pelapisan dari logam pelapis ke logam yang dilapisi berlangsung secara reaksi reduksi oksidasi (*Redoks*), yaitu :

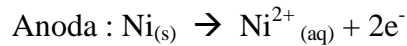


Dan untuk mengimbangi reaksi tersebut pada anoda berlangsung pelepasan elektron dengan reaksi sebagai berikut :

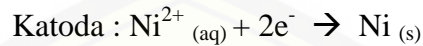


Gambar 2.2 Proses perpindahan ion (Sumber: Al Hasa, 2007)

Ion-ion negatif pada larutan bergerak ke anoda memberikan elektron dan bereaksi dengan nikel (anoda).



Ion  $\text{Ni}^{2+}$  memiliki kelebihan muatan sehingga bergerak ke katoda, agar tetap stabil maka elektron  $\text{Ni}^{2+}$  menempel pada permukaan benda kerja



Prinsip atau teori dasar dari proses pelapisan listrik berpedoman pada Hukum Faraday yang menyatakan bahwa:

- a. Jumlah zat-zat yang terbentuk dan terbebas pada elektroda selama proses elektrolisis sebanding dengan jumlah arus listrik yang mengalir dalam larutan elektrolit.
- b. Jumlah zat-zat unsur yang dihasilkan oleh arus listrik yang sama selama elektrolisis adalah sebanding dengan berat ekivalen masing-masing zat tersebut.

### 2.1.2 Pretreatment

*Pretreatment* merupakan proses yang dilakukan sebelum melakukan proses pelapisan pada benda kerja. Tujuan dari proses *pretreatment* ialah:

- 1) Untuk meningkatkan daya rekat (*adhesive*) antara benda kerja dengan pelapis
- 2) Menghindari cacat pada permukaan pelapisan.

Proses *pretreatment* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kualitas pelapisan dan berdampak terhadap proses selanjutnya. Proses selanjutnya tidak akan memiliki daya rekat yang baik jika benda kerja tidak dilakukan *pretreatment*. Hal ini dikarenakan oleh daya kohesi antar ion pada larutan lebih besar daripada gaya adhesi antara ion pelapis dengan permukaan benda kerja. Hal ini menyebabkan pelapisan tidak dapat bertahan lama, sehingga dibutuhkan proses *pretreatment* (Saleh, 2014).

Semua logam yang dilakukan proses pelapisan memiliki beberapa metode persiapan yang harus dilakukan. Proses *pretreatment* dikategorikan menjadi dua cara, yaitu:

a. Pembersihan Mekanis

Merupakan proses pembersihan dari kotoran yang nampak seperti kerak, karat dan bekas las. Pengerjaan mekanis dibagi menjadi beberapa proses, diantaranya adalah:

- 1) Pengerjaan poles (*polishing*), merupakan proses penghalusan benda kerja dengan tujuan untuk memperbaiki kondisi pada permukaan.
- 2) Pengerjaan *buffing*, merupakan proses penghalusan benda kerja dengan mesh yang lebih kecil dari proses poles, sehingga hasil pengerjaan ini lebih mengkilap.
- 3) Penyikatan (*brushing*), merupakan proses pengangkatan kerak atau kotoran pada permukaan.
- 4) Pengerjaan barrel, merupakan proses pembersihan dari kotoran lemak, minyak, atau geram dalam jumlah yang besar secara bersamaan.

b. Pembersihan Kimiawi

Proses pembersihan kimia dilakukan dengan larutan kimia, sehingga terjadi reaksi yang memisahkan pengotor dari permukaan benda kerja. Pengerjaan ini meliputi pembersihan dengan larutan basa, larutan asam, poles listrik dan *brightening*.

- 1) Pengerjaan cuci lemak (*degrasing*), merupakan proses penghilangan lemak dengan menggunakan metode pencelupan pada larutan NaOH dengan tujuannya yaitu untuk mengangkat lemak, minyak atau pengotor.
- 2) Pengerjaan cuci asam (*pickling*), merupakan pencucian asam bertujuan untuk membersihkan benda kerja dari oksida atau karat. Larutan yang digunakan adalah Asam Klorida (HCl), Asam Sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), atau Asam Florida (HF)
- 3) Pengerjaan *etching*  
Merupakan proses pembukaan pori-pori substrat dengan menggunakan asam sulfat. Proses ini dilakukan selama 3 sampai

5 menit lalu dibersihkan dengan air bersih pada 3 tempat berbeda.

### 2.1.3 Fungsi *Elektroplating*

Dalam teknologi pengerjaan logam, proses lapis listrik termasuk ke dalam proses pengerjaan akhir (*metal finishing*), adapun fungsi dan tujuan dari pelapisan logam adalah sebagai berikut:

- a. Memperbaiki tampak rupa (*decoratif*) misalnya; pelapisan emas, perak, nikel, krom, kuningan, tembaga.
- b. Melindungi substrat dan dekorasi, yaitu ;
  - 1). Melindungi substrat dengan logam yang lebih mulia, misalnya ; pelapisan platina, emas dan baja.
  - 2). Melindungi logam dasar dengan yang kurang mulia, misalnya ; pelapisan seng dan baja.
- c. Meningkatkan ketahanan produk terhadap gesekan (*abrasi*), misalnya ; pelapisan chromium keras.
- d. Memperbaiki kehalusan atau bentuk permukaan toleransi logam dasar misalnya; pelapisan nikel, chromium dan lain sebagainya.

Pelapisan listrik ini juga bertujuan untuk melapisi logam pada permukaan logam atau permukaan yang konduktif melalui proses elektrokimia atau elektrolisa, agar mencapai permukaan yang tahan korosi dan penampilannya bagus, mengkilap dan cemerlang (Nasution, 2011).

### 2.1.4 Kelebihan *Electroplating*

- a. Dapat melapisi permukaan bagian dalam benda kerja.
- b. Meningkatkan *mechanical properties* permukaan lapisan.
- c. Kekasaran permukaan lapisan dapat dikontrol dengan mengatur parameter yang mempengaruhi seperti tegangan, arus, jarak katoda, dan suhu larutan maupun waktu pelapisan.
- d. Proses pelapisan menggunakan perpindahan ion sehingga didapatkan hasil yang padat dan rata.

## 2.2 Parameter Pelapisan

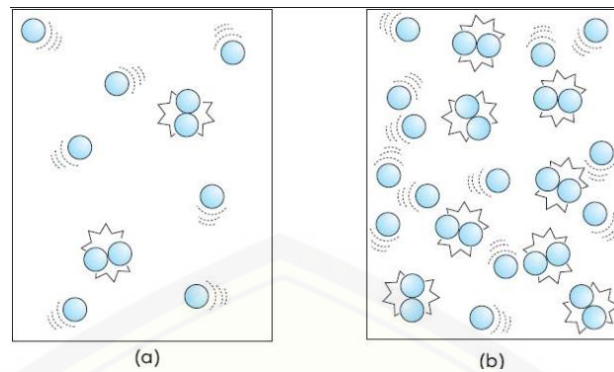
Kondisi operasi dalam pelapisan penting untuk diperhatikan, karena kondisi tersebut menentukan berhasil atau tidaknya proses pelapisan dan kualitas pelapisan yang dihasilkan. Kondisi operasi yang perlu diperhatikan antara lain:

### 2.2.1 Tegangan (*Voltage*)

Pengaruh tegangan pada proses elektroplating yaitu semakin besar tegangan listrik yang diberikan maka akan terjadi energi ionisasi yang semakin besar. Dengan semakin banyaknya ion katoda yang menempel dan juga terjadinya peluruhan pada lapisan maka kekasaran pada permukaan akan semakin meningkat. Adanya proses pengendapan ion-ion elektrolit yang lebih cepat akibat dari meningkatnya tegangan, sehingga lebih banyak atom hidrogen yang masuk secara interstiti kedalam struktur endapan. Hal itu juga menyebabkan jumlah ion  $\text{Ni}^{2+}$  semakin banyak yang terlepas dari larutan dan mengendap pada katoda (spesimen) (Kenang dkk, 2013).

### 2.2.2 Suhu (*Temperature*)

Pengaruh *temperature* akan menaikkan suhu larutan sehingga menyebabkan bertambahnya ukuran kristal. Hal tersebut diakibatkan karena kenaikan *temperature* dapat meningkatkan energi kinetik partikel sehingga tumbukan antar partikel akan melampaui energi pengaktifan. Energi pengaktifan akan menyebabkan tumbukan yang lebih banyak dan terjadi reaksi. Proses penguraian ion dari anoda yang diikuti oleh pelepasan gas oksigen berlangsung lambat atau cepat tergantung *temperature* yang digunakan, sedangkan gas hidrogen bebas membentuk gelembung gas pada permukaan benda kerja. Akan tetapi apabila suhu yang digunakan terlalu tinggi, maka lapisan menjadi tidak merata dan dapat meningkatkan kekasaran permukaan (Saleh, 2014).



Gambar 2.3 (a) Tumbukan antar partikel pada suhu rendah, (b) Tumbukan antar partikel pada suhu tinggi (Sumber: Lockwood, 2014)

Kenaikan laju reaksi terlihat pada gerak molekulnya sehingga memungkinkan adanya tabrakan antar molekul. Tetapi dengan energi yang kecil, molekul tidak mengalami tabrakan yang berdampak pada ikatan molekul. Energi yang dibutuhkan untuk mengaktifkan tabrakan yang efektif untuk menghasilkan suatu reaksi disebut energi pengaktifan energi kinetik. Untuk mempercepat reaksi dibutuhkan peningkatan jumlah partikel-partikel energik, partikel yang memiliki energi sama atau lebih besar dari energi aktivasi. Dengan adanya peningkatan *temperature* mengakibatkan energi terserap pada molekul lebih besar, sehingga meningkatkan energi kinetik untuk lebih sering dan lebih banyak melakukan tumbukan dan reaksi kimia. Temperatur terlalu rendah dan rapat arus yang cukup optimum akan mengakibatkan hasil pelapisan menjadi kasar dan kusam, tetapi jika temperatur tinggi dengan rapat arus yang optimum maka hasil pelapisan menjadi tidak merata (Saleh, 2014).

### 2.2.3 Waktu Pelapisan

Waktu pelapisan akan mempengaruhi terhadap kuantitas dari hasil pelapisan yang terjadi dipermukaan produk yang dilapis. Lamanya waktu pelapisan mempengaruhi kuantitas pengendapan ion nikel yang terjadi dengan mengisi kekosongan ion di pori-pori permukaan yang ada pada permukaan spesimen sehingga hasil yang didapatkan semakin merata dan permukaan spesimen semakin halus (Suwardi, 2017)

#### 2.2.4 Rapat arus (*current density*)

Adalah harga yang menyatakan jumlah arus listrik yang mengalir persatuan luas permukaan elektroda. Terbagi dalam dua macam rapat arus anoda dan rapat arus katoda. Pada proses lapis listrik rapat arus yang diperhitungkan adalah rapat arus katoda, yaitu banyaknya arus listrik yang diperlukan untuk mendapatkan atom-atom logam pada tiap satuan luas permukaan benda kerja yang akan dilapis. Untuk proses lapis listrik ini faktor rapat arus memegang peranan sangat penting, karena akan mempengaruhi efisiensi pelapisan dan reaksi reduksi oksidasi (Saleh, 2014).

#### 2.2.5 Jarak Katoda dan Anoda

Merupakan kemampuan *throwing speed* atau daya lempar efektif yang dibutuhkan ion untuk menempel pada permukaan benda kerja. Jarak yang jauh semakin memperkecil kecepatan sehingga lapisan permukaan tidak optimal. Proses penurunan *throwing speed* terjadi karena adanya lapisan batas disekitar katoda yang terjadi dari hasil reaksi ion pelapis dengan permukaan katoda, hal ini dikarenakan jarak anoda dan katoda terlalu dekat yang menyebabkan perbedaan konsentrasi sehingga terdapat perubahan potensial di sekitar katoda (Saleh, 2014).

#### 2.2.6 Konsentrasi Larutan

Konsentrasi ini akan berkaitan dengan nilai pH dari larutan. Pada larutan elektrolit nikel mempunyai batas-batas pH yang diijinkan agar proses tersebut berlangsung baik, berkisar antara 1,5-5,2. Jika nilai pH melebihi dari nilai yang diijinkan maka akan terjadi sumuran pada permukaan produk dan lapisan nikel kasar pada permukaan benda yang dilapisi (Bambang, 2007). Semakin besar konsentrasi maka semakin besar partikel saling bertumbukan, sehingga reaksi akan bertambah cepat. Konsentrasi merupakan banyaknya zat terlarut dalam sejumlah pelarut. Pada keadaan konsentrasi tinggi memungkinkan tumbukan yang terjadi lebih banyak, sehingga semakin banyak tumbukan yang menyebabkan laju reaksi menjadi lebih cepat terbentuk.



### 2.3 Jenis Larutan Elektrolit Nikel

Menurut Saleh (2014) yang ditulis didalam bukunya yaitu larutan elektrolit nikel lazimnya diberi nama berdasarkan komposisi kimia dan sifat dari larutan sebagai berikut.

a. Larutan Watt's

Merupakan larutan standar untuk pelapisan nikel. Nikel sulfat dijadikan sumber utama ion nikel untuk diendapkan, karena garam nikel mudah larut dalam air, murah, mudah didapat dan tidak menghasilkan ion kompleks. Dalam larutan nikel aktivitas ion-ion nikel tergantung pada konsentrasi unsur lain yang terdapat di dalam larutan. Ion-ion chlorid berfungsi mempercepat pengkorosian anoda nikel dan meningkatkan koefisien difusi ion-ion nikel, sehingga dapat memudahkan pengendapan nikel.

b. Larutan Nikel Sulfamat

Mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan dengan larutan nikel jenis lain, diantaranya terjadi pengendapan nikel dengan kecepatan yang tinggi dan stress lapisan rendah, tetapi larutan nikel sulfamat lebih mahal. Oleh karena itu hanya digunakan untuk keperluan tertentu seperti membuat cetakan piringan hitam yang dikehendaki tegangan dalam (*internal stress*) rendah agar tidak terjadi distorsi, juga banyak digunakan untuk proses *electroforming*.

c. Larutan Sulfat

Pada industri pelapisan, larutan nikel sulfat ini jarang digunakan, karena tampak rupa lapisan kurang baik, meskipun demikian, larutan nikel sulfat dapat menghasilkan lapisan yang halus dengan efisiensi yang cukup baik, bila ditambahkan asam borik sebagai *buffer*.

d. Larutan Fluoborat

Larutan fluoborat mempunyai beberapa keuntungan dan kerugian. Keuntungan menggunakan larutan fluoborat adalah lapisan nikel yang terjadi ulet dan tegangan tarik rendah, oleh karena itu dipakai untuk proses *electroforming*. Selain mempunyai konduktivitas tinggi, pengikisan anoda baik, dan toleransi terhadap pengotor juga cukup baik, tetapi larutan jenis

ini biayanya cukup tinggi dan sangat korosif, sehingga memerlukan pengamanan ekstra hati-hati pada saat pengerjaan.

e. Larutan Nikel Klorida Tinggi

Larutan ini mengandung ion klorida dan sulfat dengan perbandingan bervariasi dan berbanding terbalik dengan larutan *Watt's*. Penambahan asam klorida bertujuan untuk keperluan tertentu misalnya pelapisan nikel kilap secara cepat atau untuk pelapisan dengan sistem barrel yang memerlukan konduktivitas tinggi dengan *throwing power* dapat digunakan pada rapat arus rendah.

f. Larutan Nikel Hitam (*Black Nickel*)

Pelapisan nikel hitam bersifat dekoratif, tetapi dapat juga digunakan untuk keperluan teknis seperti untuk fotografi dan ilmiah, hanya bedanya lapisan nikel hitam kurang tahan abrasi dan daya tahan korosi rendah. Umumnya pelapisan nikel hitam harus didahului dengan lapisan dasar nikel biasa, seng atau kadmium.

Berdasarkan hal tersebut dan dengan klasifikasi tersebut, larutan nikel dapat dikelompokkan seperti dijelaskan pada Tabel berikut.

Tabel 2.1 Komposisi dan kondisi operasi larutan *nickel strike* dan *Watt's*

Bahan dan Kondisi Operasi	Konsentrasi Larutan				
	Dull Nickel	Watt's Bath	All Sulfat	Sulfat Chlorida	All Chlorida
<b>Bahan :</b>					
Nikel Sulfat (NiSO <sub>4</sub> )	150	220-380	300	195	-
Ammonium Chlorid (NH <sub>4</sub> Cl)	15	-	-	-	-
Nickel Chlorid (NiCl)	-	30-60	-	175	240
Boric Acid (H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> )	15	30-45	40	40	30
<b>Kondisi Operasi :</b>					
Temperatur (°C)	20-30	45 – 65	45	45-50	55-70
Rapat Arus (A/dm <sup>2</sup> )	0,5-6,2	2,5 – 10	2,5 - 11	2,5 - 12,5	2,0 - 12
Ph	5,8-6,2	2 - 5,2	3,0 – 5	1,5	2
Anoda : Katoda	2 : 1	1 : 1	-	-	-

Tabel 2.2 Komposisi dan kondisi operasi larutan nikel mengkilap (*Bright Nickel*)

Bahan dan Kondisi Operasi	Konsentrasi Larutan	
	pH Rendah	pH Tinggi
<b>Bahan :</b>		
Nikel Sulfat (NiSO <sub>4</sub> )	330	250
Nickel Chlorid (NiCl)	45	50
Boric Acid (H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> )	30	40
Brightener Mnt	2 ml/l	2-3 ml/l
Brightener MU	1-2 ml/l	1-2 ml/l
<b>Kondisi Operasi :</b>		
Temperatur (°C)	40-80	40-80
Rapat Arus (A/dm <sup>2</sup> )	2-3	2-3
Ph	1,5-4,5	4,5-6

Tabel 2.3 Komposisi dan kondisi operasi larutan nikel hitam (*Black Nickel*)

Bahan dan Kondisi Operasi	Konsentrasi Larutan (g/L)	
	<i>Ordinary Bath</i>	<i>Chlorida Bath</i>
<b>Bahan :</b>		
Nikel Sulfat (NiSO <sub>4</sub> )	90	-
Nickel Chlorid (NiCl <sub>2</sub> )	-	75
Nickel Ammonium Sulfat {Ni(NH <sub>4</sub> )SO <sub>4</sub> }	55	30
Zinc Sulfat (ZnSO <sub>4</sub> )	45	30
Sodium Theocyanate (NaCNS)	15	15
<b>Kondisi Operasi :</b>		
Temperatur (°C)	T.K	T.K
Rapat Arus (A/dm <sup>2</sup> )	0,5-1	0,2
Ph	5,8-6,1	5-5,5

(Sumber : Saleh, 2014)

## 2.4 Peralatan Pelapisan Metode *Electroplating*

Peralatan yang dibutuhkan pada proses *electroplating* diantaranya adalah sebagai berikut (Saleh, 2014):

a. *Rectifier* (Penyearah Arus)

Merupakan komponen utama yang berfungsi untuk memberikan ion positif dan negatif. Komponen *rectifier* diantaranya trafo sebagai penurun tegangan, rangkaian dioda model jembatan (*bridege stone*) sebagai penyearah arus dan merubah arus dari AC menjadi DC.

b. Bak Penampung Larutan

Merupakan peralatan yang digunakan sebagai tempat proses pelapisan, pencucian, air pembilas. Bahan bak yang di gunakan tahan korosi dan tidak bereaksi terhadap proses pelapisan.

c. Rak

Merupakan komponen yang berfungsi sebagai tempat menggantungkan spesimen dan tempat menghantarkan arus. Hal hal yang perlu diperhatikan perancangan rak adalah beban spesimen dan panas yang ditimbulkan. Panjang rak setelah ditempati spesimen tidak lebih 15 cm dari dasar, 12.5 cm dari sisi bak dan terendam 5 sampai 8 cm dari permukaan larutan

d. Pemanas (*Heater*)

Pemanas berfungsi untuk mencapai kondisi operasi yang diisyaratkan oleh suatu proses. Pemanasan menggunakan sistem celup pada bak diluar larutan sehingga perpindahan panas yang terjadi secara konveksi dan tidak mempengaruhi kemurnian larutan.

## 2.5 Nikel

Nikel sudah sangat dikenal manusi sejak zaman purba, tetapi baru dapat diisolasi tahun 1751. Nikel merupakan unsur ke-24 terbanyak dalam batuan bumi. Biasanya nikel terdapat bersama besi dan kobalt (Hartomo, 1992).

### 2.5.1 Sifat-Sifat Nikel

Nikel mempunyai sifat tahan karat. Dalam keadaan murni, nikel bersifat lembek, tetapi jika dipadukan dengan besi, krom, dan logam lainnya, dapat

membentuk baja tahan karat yang keras. Nikel merupakan unsur kimia yang terletak pada periode 4 golongan VIII-B, dengan nomor atom 28 dengan struktur kristal nikel adalah FCC (*face centered cubic*) dengan parameter kisi ( $a = 0,35243$  nm pada  $25^{\circ}\text{C}$ ).

Sifat-sifat lainnya dari nikel adalah sebagai berikut :

Massa atom	58,6934 $\text{gr}/\text{cm}^3$
Massa Jenis	8,908 $\text{gr}/\text{cm}^3$
Titik lebur	1435 $^{\circ}\text{C}$
Titik didih	2913 $^{\circ}\text{C}$
Struktur kristal	FCC
Kalor peleburan	17,48 kJ/mol
Kalor penguapan	377,5 kJ/mol

Nikel tahan terhadap panas dan tahan korosi, tidak rusak oleh air kali atau air laut dan alkali. Nikel bisa rusak oleh asam sitrat dan sedikit terkorosi oleh asam khlor dan asam sulfat, nikel juga memiliki kekerasan dan kekuatan yang sedang, keuletannya baik, daya hantar listrik dan termal juga baik.

Nikel digunakan untuk membuat campuran logam (*non ferros alloy*), misal alloy nikel-besi dengan kandungan nikel antar 50-80%, sisanya besi. Disamping itu nikel dipergunakan untuk pelapis logam (agar tahan karat) dengan cara *electroplating*, baja tahan karat (*stainless steel*), bahan campuran keramik (Sukandarrumidi, 2009).

### 2.5.2 Pelapisan Nikel

Pelapisan nikel digunakan untuk tujuan mencegah korosi ataupun menambah keindahan. Dengan hasil lapisannya yang mengkilap maka dari segi ini nikel adalah yang paling banyak diinginkan untuk melapis permukaan. Dalam pelapisan nikel selain dikenal lapisan mengkilap, terdapat juga jenis pelapisan yang buram hasilnya. Akan tetapi tampak permukaan yang buram inipun dapat juga digosok hingga halus dan mengkilap. Jenis lain dari pelapisan nikel adalah

pelapisan yang berwarna hitam. Warna hitam inipun tampak menarik dan digunakan biasanya untuk melapis laras senapan dan lainnya. Senyawa nikel digunakan terutama sebagai katalis pada proses *electroplating*, dengan pelapis nikel (anoda), perlu ditambahkan garam ke bak plating, misalnya nikel karbonat, nikel chlorida, nikel fluoborat, nikel sulfamat dan nikel sulfat. Saat anoda dan katoda terjadi perubahan potensial akibat aliran arus listrik searah maka anoda nikel terurai ke dalam elektrolit. Reaksi pada katoda yaitu plat baja mengalami pelepasan oksigen ke elektrolit nikel ( $\text{NiSO}_4$ ) sehingga ion nikel ( $\text{Ni}$ ) akan menempel dipermukaan baja. Sementara itu reaksi pada anoda nikel ( $\text{Ni}$ ), mengikat oksigen yang dilepas oleh plat baja dan terlarut pada elektrolit nikel yang telah melapisi plat sehingga larutan elektrolit nikel tetap stabil (Basmal dkk, 2012).

## 2.6 Baja

Baja paling banyak dipakai sebagai bahan industri yang merupakan sumber sangat besar, dimana sebagian ditentukan oleh nilai ekonominya, tetapi yang paling penting karena sifat-sifatnya yang bervariasi. Pengetahuan mengenai sifat-sifat baja merupakan keharusan apabila seseorang akan menggunakan baja sebagai pilihan untuk suatu bagian struktur (Surdia, 2005).

### 2.6.1 Baja Karbon

Baja karbon adalah paduan besi dan karbon dimana unsur karbonnya sangat menentukan sifat mekanik dan fisik, sedangkan unsur paduan yang lainnya bersifat sebagai pendukung. Karbon merupakan elemen penguat besi yang efektif dan murah, oleh karena itu sejumlah besar baja komersial hanya mengandung sedikit elemen paduan. Baja karbon dapat diklasifikasikan menjadi 3 bagian, yaitu:

- a. Baja karbon rendah ( $C < 0,3 \%$ ) ; baja karbon rendah memiliki kekuatan sedang dengan keuletan yang baik dan biasa banyak dijumpai sebagai material pembuatan jembatan, bangunan gedung atau kapal laut.
- b. Baja karbon sedang ( $C 0,3 - 0,7 \%$ ) ; baja karbon sedang mampu dikuens untuk membentuk martensit dan setelah penemperan dihasilkan

ketangguhan dengan kekuatan yang baik. Penemperan dilakukan pada suhu 350-550 °C. Sehingga dapat dipergunakan untuk material as roda, poros, roda gigi, dan rel.

- c. Baja karbon tinggi (C 0,7 – 1,7 %) ; baja karbon tinggi umumnya dikeraskan dengan kuens dan ditemperingkan pada 250°C untuk menghasilkan kekuatan dan keuletan. Keterbatasan penggunaan terjadi karena kemampukerasan yang kurang baik dan pelunakan cepat yang terjadi pada temperatur sedang.

### 2.6.2 Baja SS400 (Karbon Rendah)

Material SS400 akan lebih tepat digunakan mengingat material tersebut hanya bisa dikeraskan melalui pengerasan permukaan (*surface hardening*) dalam hal jika dilakukan perlakuan panas pada material ini. Oleh karena itu, permukaanlah yang akan terpengaruh oleh setiap perlakuan yang dilakukan dimana pada penelitian ini akan diamati pengaruhnya pada proses *electroplating* dari sudut pandang kekasaran permukaan.

Tabel 2.4 Komposisi Kimia Material SS400

Chemical Composition (%)						Tensile Test		
C	Si	Mn	P	S	Al	YS (N/mm <sup>2</sup> )	TS (N/mm <sup>2</sup> )	EL (%)
0.177	0.187	0.683	0.012	0.002	0.044	342	473	26

(Sumber : *Japanese Industrial Standard*. 1993. JIS Z 2241 *Method of Tensile Test for Metallic Materials*)

Baja SS400 / Japanese Industrial Standart JIS G 3101 merupakan baja karbon rendah (*low carbon*) yang paling umum digunakan di dunia industri. SS400 banyak dipakai untuk aplikasi struktur/konstruksi umum (*general purpose structural steel*) misalnya dipakai untuk konstruksi jembatan, pelat kapal laut, kerangka kereta api dan lain sebagainya. Material jenis ini terdapat banyak ketersediannya di pasar sebagai pelat, lembaran, flat, bar, bagian dan lain-lain.

Baja SS400 lebih sering digunakan di industri karena kemampuan mesinnya (*machinability*) dan kemampuan lasnya (*weldability*).

SS400 merupakan salah satu material baja (*main steel*) yang paling umum digunakan didunia perindustrian. Material ini banyak dipakai untuk aplikasi struktur/konstruksi umum (*general purpose structural steel*). Salah satu contoh pengaplikasian baja SS400 adalah pada *sliding door rail* dan *door lintel* yang merupakan salah satu *part* yang terdapat pada pintu *gangway* kereta api yang diproduksi PT INKA.



Gambar 2.4 Pintu *gangway* kereta K3-AC (Sumber: Ratnanto, 2013)

Tabel 2.5 Daftar *Part* Pintu *Gangway*

No	Part	Material
1	<i>Gangway sliding door</i>	Material <i>Assembling</i>
2	<i>Sliding door rail</i>	Material SS400
3	<i>Threshold</i>	Material SUS 304
4	<i>Under rail</i>	Material SUS 304
5	<i>Door roller</i>	Material <i>Assembling</i>
6	<i>Door Lintel</i>	Material SS400
7	<i>Moulding of gangway</i>	Material SUS 304
8	<i>Door stopper</i>	Material SUS 304
9	<i>Packing sliding door rail</i>	Material Vinyl
10	<i>Packing door stopper</i>	Material Vinyl

(Sumber : Ratnanto, 2013)



Pintu *gangway* merupakan komponen *assembly* yang terdiri dari beberapa *part*. *Part* pembentuk pintu *gangway* pun juga berbeda materialnya, secara garis besar ada 3 material dalam *part* pintu *gangway* yaitu SS400, SUS 304 dan *vinyl* (jenis plastik campuran etilena dan klorin) (Ratnanto dkk, 2013).

## 2.7 Kekasaran Permukaan

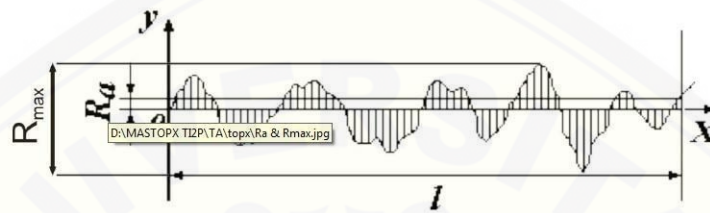
Tingkat kehalusan suatu permukaan memang peranan yang sangat penting dalam perencanaan suatu komponen mesin khususnya yang menyangkut masalah gesekan pelumasan, keausan, tahanan terhadap kelelahan dan sebagainya. Dalam prakteknya memang tidak mungkin untuk mendapatkan suatu komponen dengan permukaan yang betul-betul halus. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, misalnya faktor manusia (operator) dan faktor-faktor dari mesin yang digunakan untuk memproduksinya. Akan tetapi, dengan kemajuan teknologi terus berusaha membuat peralatan yang mampu membentuk permukaan komponen dengan tingkat kehalusan yang cukup tinggi menurut standar ukuran yang berlaku dalam metrologi yang dikemukakan oleh para ahli pengukuran geometris benda melalui pengalaman penelitian.

### 2.7.1 Pengujian Kekasaran Permukaan

Kekasaran merupakan ukuran dari tekstur permukaan. Tingkat kekasaran yang dimiliki oleh suatu material tidak cukup menggunakan indra peraba, apalagi hanya dilihat secara kasat mata. Harus ada acuan dan parameter-parameter yang digunakan peneliti untuk mengetahui seberapa kasar material tersebut. Parameter pengukuran kekasaran permukaan pada umumnya menggunakan tiga buah parameter, yaitu  $R_a$ ,  $R_z$ , dan  $R_{maks}$ .  $R_a$  adalah nilai rata-rata kekasaran,  $R_z$  adalah nilai rata-rata maksimum kekasaran dan  $R_{maks}$  adalah nilai maksimum kekasaran permukaan. Perhitungan yang dilakukan untuk mengetahui nilai  $R_a$  dapat menggunakan rumus dibawah ini (Rochim, 2002).

$$R_a = \frac{a+b+c+\dots+n}{n} \dots\dots\dots(2.3)$$

- Dimana :
- Ra = Kekasaran rata-rata ( $\mu\text{m}$ )
  - a = Nilai Kekasaran puncak/lembah A ( $\mu\text{m}$ )
  - b = Nilai Kekasaran puncak/lembah B ( $\mu\text{m}$ )
  - c = Nilai Kekasaran puncak/lembah C ( $\mu\text{m}$ )
  - n = Banyaknya puncak/lembah (data)



Gambar 2.5 Grafik profil permukaan Ra dan Rmax (Sumber: Hidayat, 2013)

Pengukuran kekasaran pada permukaan material dapat dilakukan dengan cara kontak langsung antara jarum pengukur dengan material. Cara kerja teknik pengukuran ini yaitu jarum jam pada alat pengukur bergerak di sepanjang permukaan material. Jarum ini memiliki bentuk seperti tabung yang dapat menyesuaikan dengan tingkat akurasi hasil pengukuran kekasaran yang dilakukan. Selama pengukuran berlangsung jarum tersebut akan turun naik mengikuti kontur yang dimiliki oleh permukaan material.

### 2.7.2 Toleransi Harga Ra

Seperti halnya toleransi ukuran (lubang dan poros), harga kekasaran rata-rata aritmetis Ra juga mempunyai harga toleransi kekasaran. Dengan demikian masing-masing harga kekasaran mempunyai kelas kekasaran yaitu N1 sampai N12. Besarnya toleransi untuk Ra biasanya diambil antara 50% keatas dan 25% ke bawah. Tabel berikut menunjukkan harga kekasaran rata-rata beserta toleransinya.

Tabel 2.6 Toleransi harga kekasaran rata-rata Ra

Kelas Kekasaran	Harga C.L.A ( $\mu\text{m}$ )	Harga Ra ( $\mu\text{m}$ )	Toleransi ( $\mu\text{m}$ )
N1	1	0.025	0.02 - 0.04
N2	2	0.05	0.04 - 0.08
N3	4	0.1	0.08 - 0.15
N4	8	0.2	0.15 - 0.3
N5	16	0.4	0.3 - 0.6
N6	32	0.8	0.6 - 1.2
N7	63	1.6	1.2 - 2.4
N8	125	3.2	2.4 - 4.8
N9	250	6.3	4.8 - 9.6
N10	500	12.5	9.6 - 18.75
N11	1000	25.0	18.75 - 37.5
N12	2000	50.0	37.5 - 75.0

(Sumber: Dasar-Dasar Metrologi Industri, 1988)

### 2.7.3 Alat Ukur Kekasaran Permukaan

Salah satu alat ukur kekasaran permukaan adalah surface roughness tester type TR220, alat ini dapat digunakan untuk mengamati ataupun mengukur kekasaran permukaan dengan standar ISO. Beberapa data yang dapat ditunjukkan oleh alat uji kekasaran permukaan ini adalah nilai parameter-parameter dari kekasaran permukaan dan grafik kekasaran permukaannya. Cara kerja alat ukur ini adalah dengan meletakkan sensor yang dipasangkan pada alat tersebut, selanjutnya sejajarkan alat ukur permukaan tersebut dengan bidang material yang akan diuji. Pada saat pengerjaannya, alat ukur ini tidak boleh bergerak karena akan mengganggu sensor dalam membaca kekasaran dari permukaan material tersebut.



Gambar 2.6 Roughness tester TR200

## 2.8 Metode yang Digunakan

### 2.8.1 Uji Asumsi Klasik

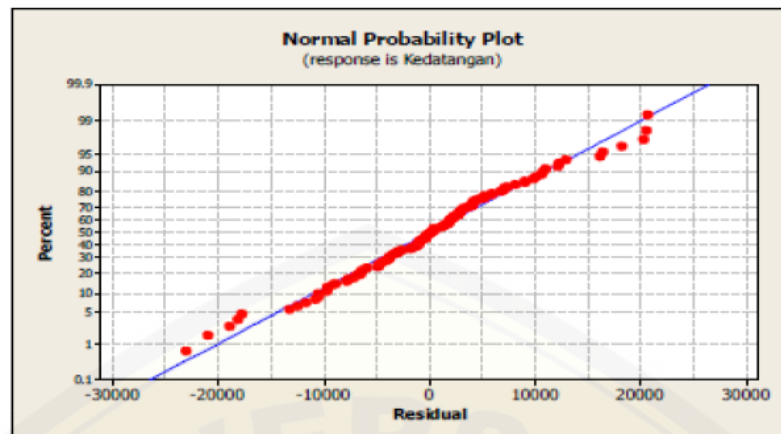
Syarat yang harus terpenuhi untuk analisis regresi linier menurut Ghozali (2011), terlebih dahulu melakukan uji asumsi klasik. Pengujian asumsi klasik yang digunakan pada penelitian ini yaitu uji normalitas dan uji multikolonieritas.

#### a. Uji Normalitas

Uji normalitas bertujuan untuk menguji apakah data pada variabel terikat, variabel bebas, atau keduanya mempunyai distribusi normal atau tidak. Model regresi yang baik adalah memiliki distribusi data normal atau mendekati normal, sedangkan distribusi normal dapat diketahui dengan melihat penyebaran data statistik pada sumbu diagonal dari grafik distribusi normal (Ghozali, 2011). Ada dua cara mendeteksi apakah residual memiliki distribusi normal atau tidak yaitu sebagai berikut:

##### 1). Analisis Grafik

Analisis grafik yang digunakan untuk menguji normalitas data dalam penelitian menggunakan garfik *probability plot*. Menurut Ghozali (2011) *probability plot* digunakan untuk membandingkan distribusi kumulatif dari data sesungguhnya dengan distribusi kumulatif dan distribusi normal. Dasar pengambilan keputusan uji normalitas:



Gambar 2.7 Contoh grafik *normal probability plot* berdistribusi normal (Iriawan dan Astuti, 2006)

- Jika data menyebar di sekitar garis diagonal dan mengikuti arah garis diagonal atau grafik histogramnya menunjukkan pola distribusi normal, maka model regresi memenuhi asumsi normalitas.
- Jika data menyebar jauh dari garis diagonal atau tidak mengikuti arah garis diagonal atau grafik histogramnya tidak menunjukkan pola distribusi normal, maka model regresi tidak memenuhi asumsi normalitas.

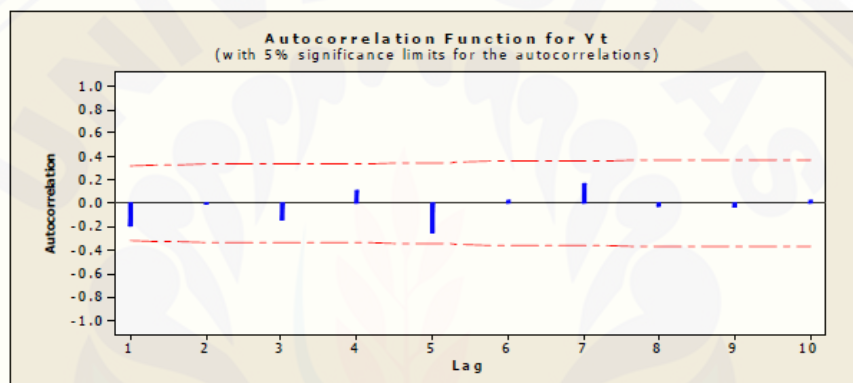
## 2) Analisis Statistik

Menurut Ghozali (2011) uji statistik digunakan untuk lebih menyakinkan bahwa data yang digunakan terdistribusi dengan normal. Analisis statistik menggunakan uji statistik non parametrik *Kolmogorov Smirnov* (K-S). Uji ini dapat dilihat dengan membandingkan Zhitung dengan Ztabel, dengan kriteria sebagai berikut:

- Jika  $Z_{hitung} < Z_{tabel}$ , atau angka signifikan  $>$  taraf signifikansi ( $\alpha$ ) 0,05; maka distribusi data dikatakan normal.
- Jika  $Z_{hitung} > Z_{tabel}$ , atau angka signifikan  $<$  taraf signifikansi ( $\alpha$ ) 0,05; maka distribusi data dikatakan tidak normal.

### b. Uji Multikolonieritas

Digunakan untuk mengetahui ada tidaknya korelasi antara variabel bebas satu terhadap variabel bebas lainnya. Menurut Ghozali (2011), uji ini bertujuan menguji apakah model regresi ditemukan adanya korelasi antar variabel independen. Jika terjadi korelasi, maka dinamakan ada problem autokorelasi. Model regresi yang baik adalah regresi yang bebas dari autokorelasi. Salah satu cara mengetahui apakah koefisien autokorelasi yang diperoleh signifikan atau tidak dapat dilakukan analisis grafik menggunakan *software* MINITAB seperti contoh gambar berikut:



Gambar 2.8 Contoh grafik *autocorrelation function* (ACF) (Iriawan dan Astuti, 2006)

- Jika pada grafik ACF tidak ada *lag* yang melebihi garis batas signifikansi (garis putus-putus), maka koefisien autokorelasi yang diperoleh signifikan atau tidak terjadi korelasi antar *lag*.
- Jika pada grafik ACF terdapat *lag* yang melebihi garis batas signifikansi (garis putus-putus), maka koefisien autokorelasi yang diperoleh tidak signifikan atau terjadi korelasi antar *lag*.

### 2.8.2 Metode Taguchi

Menurut Soejanto (2009) Taguchi merupakan metode yang digunakan untuk memperbaiki mutu atau kualitas produk dan proses dengan tujuan untuk menekan sumber daya dan biaya produksi seminimal mungkin dengan cara memperkecil akibat dari variasi tan harus menghilangkan penyebabnya. Metode

ini berupaya untuk mencapai kualitas dan proses pembuatan produk dengan baik dengan menjadikan produk tidak sensitif terhadap faktor gangguan (*noise*) seperti kondisi operasional, tenaga manusia, *tool manufacturing* dan material. Metode Taguchi sebagai *robust design* dengan menjadikan produk sebagai hasil desain dari adanya faktor gangguan (*noise*).

Kelebihan metode Taguchi dibandingkan dengan metode desain eksperimen lain, diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Efisien karena dapat melibatkan banyak parameter permesinan dan banyak level.
- b. Memperoleh proses dengan menghasilkan produk dengan konsisten dan mengendalikan *robust* terhadap parameter tidak dapat dikendalikan.
- c. Hasil kesimpulan dengan level pada parameter yang menghasilkan respon optimum.

Kekurangan metode Taguchi diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Percobaan yang dilakukan menggunakan banyak faktor dan interaksi yang mengakibatkan perubahan pada interaksi dan faktor utama.
- b. Keakuratan percobaan bergantung pada banyaknya faktor dan interaksi yang mengalami perubahan.

Metode Taguchi memiliki rancangan desain dengan kepresisian yang tinggi dan membutuhkan analisa terhadap pengaruh interaksi yang signifikan. Sehingga, rancangan dan pemilihan percobaan harus dipilih secara hati-hati dan sesuai dengan tujuan percobaan.

Desain eksperimen merupakan proses evaluasi terhadap dua faktor atau lebih secara serentak sehingga diketahui kemampuannya dalam mempengaruhi rata-rata atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses (Soejanto, 2009). Parameter percobaan dan level parameternya harus dibuat bervariasi sehingga mendapatkan hasil kombinasi pengujian yang efektif. Kombinasi dari hasil percobaan diamati sehingga dapat dianalisis. Sehingga hasil analisis dapat digunakan untuk mencari parameter-parameter yang berpengaruh dan tindakan yang dilakukan untuk menjaga kualitas yang diinginkan.

### 2.8.3 Rancangan Percobaan Taguchi

Metode Taguchi dengan implementasi dari konsep yang telah dibuat memiliki beberapa tahapan, diantaranya adalah sebagai berikut:

a. Perumusan Masalah

Pada tahap ini menjelaskan tentang tujuan dari proses yang dilakukan. Selain itu, pada tahap ini menentukan parameter kendali yang berpengaruh, karakteristik respon yang diukur, dan menentukan variasi pada tiap parameter kendali yang telah dipilih.

b. Tujuan Eksperimen

Pada tahap ini menentukan dan mengidentifikasi faktor yang berpengaruh dan menentukan kombinasi dan komposisi yang optimum.

c. Menentukan Variabel tak Bebas

Merupakan variabel yang perubahannya bergantung pada parameter kendali, disebut juga variabel respon. Dalam penelitian harus menentukan variabel tak bebas dengan tujuan yang jelas sebagai nilai yang akan diselidiki.

d. Identifikasi Faktor-Faktor (Variabel Bebas)

Merupakan variabel yang perubahannya tidak bergantung pada variabel lain. Pada tahap ini akan diselidiki faktor apa saja yang memiliki pengaruh terhadap variabel tak bebas. Variabel bebas yang dipilih hanya faktor yang memiliki pengaruh besar terhadap hasil percobaan.

e. Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan

Faktor kontrol merupakan faktor yang dapat dikendalikan dan memiliki pengaruh terhadap hasil produksi, sedangkan faktor gangguan nilainya tidak dapat diatur atau dikendalikan. Faktor gangguan diantaranya adalah suhu lingkungan dan faktor mesin. Metode Taguchi hanya dapat menjelaskan dan analisa terhadap faktor terkendali, sedangkan penanganan terhadap faktor gangguan dapat ditangani dalam tiga cara, yaitu:

1. Mengabaikan faktor gangguan dan melakukan replikasi pada setiap eksperimen.



2. Memasukkan faktor tidak terkendali yang dapat diperhatikan mempunyai pengaruh yang tidak signifikan ke dalam *outer array*.
  3. Menjadikan faktor terkendali sebagai tidak terkendali dan memasukkan ke dalam *outer array* dari percobaan.
- f. Menentukan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor
- Pemilihan jumlah level penting diperhatikan karena mempengaruhi ketelitian eksperimen. Semakin banyak percobaan maka semakin teliti hasil eksperimennya, tetapi akan berdampak pada ongkos eksperimen.

Tabel 2.7 Penentuan jumlah level dan nilai level faktor

Kode	Faktor Kontrol	Level 1	Level 2	Level 3
A				
B				
C				

g. Perhitungan Derajat Kebebasan

Perhitungan derajat kebebasan digunakan untuk menentukan jumlah minimum eksperimen yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati. Bentuk persamaan umum dari derajat kebebasan matrik ortogonal dalam menentukan jumlah eksperimen yang diamati adalah sebagai berikut:

$$v_{OA} = (\text{banyaknya eksperimen} - 1) \dots\dots\dots (2.4)$$

Derajat kebebasan faktor-faktor dan level, ( $v_{fl}$ ) untuk menghitung jumlah level yang harus diuji atau diadakan pengamatan pada sebuah faktor, bentuk persmaanya adalah sebagai berikut:

$$v_{fl} = (\text{banyaknya level} - 1) \dots\dots\dots (2.5)$$

Persamaan untuk menentukan derajat kebebasan dari sebuah matrik eksperimen atau total derajat kebebasan adalah:

$$\text{total } f_{v_i} = (\text{banyaknya faktor}) \times (v_{fl}) \dots\dots\dots (2.6)$$

Tabel 2.8 Perhitungan derajat kebebasan

Faktor	Derajat kebebasan	Total
A		
B		
C		
Total derajat kebebasan		

h. Pemilihan Matriks Ortogonal

Matriks ortogonal merupakan elemen yang disusun menurut kolom dan baris. Kolom merupakan faktor yang dapat diubah dalam eksperimen dan baris merupakan kombinasi level dari faktor dalam eksperimen. Matriks disebut ortogonal karena level-level dari faktor berimbang dan dapat dipisahkan dari pengaruh faktor lain dalam eksperimen. Sehingga matriks ortogonal merupakan keseimbangan dari faktor dan level sedemikian hingga pengaruh suatu faktor atau level tidak terpengaruh dengan faktor atau level yang lain. Bentuk umum dari matriks ortogonal adalah :

$$L_a(b^c) \dots \dots \dots (2.7)$$

dimana :

L = Rancangan bujur sangkar latin

a = Banyak baris/eksperimen

b = Banyak Level

c = Banyak kolom atau faktor

Matriks ortogonal memiliki beberapa standart untuk memilih level eksperimen berdasarkan derajat kebebasan. Berikut adalah beberapa jenis matrik ortogonal:

1. Matriks ortogonal standar dengan 2 level, mempunyai beberapa pilihan matrik ortogonal seperti berikut:

Tabel 2.9 Matriks ortogonal 2 level

Matrik ortogonal 2 level					
$L_4(2^3)$	$L_8(2^7)$	$L_{12}(2^{11})$	$L_{16}(2^{15})$	$L_{32}(2^{31})$	$L_{64}(2^{63})$

2. Matriks ortogonal standar dengan 3 level, mempunyai beberapa standar pemilihan matrik ortogonal seperti berikut:

Tabel 2.10 Matrik ortogonal 3 level

Matrik ortogonal 3 level		
$L_9(3^4)$	$L_{27}(3^{13})$	$L_{81}(3^{40})$

3. Matrik ortogonal standar dengan 4 level, mempunyai beberapa pilihan matrik ortogonal dengan 4 level sebagai berikut:

Tabel 2.11 Matrik ortogonal 4 level

Matrik ortogonal 4 level	
$L_{16}(4^5)$	$L_{64}(4^{21})$

Desain faktorial merupakan eksperimen yang menggunakan lebih dari satu variable bebas. Tujuan dari desain faktorial untuk mencari hubungan faktor pada tiap variasi sehingga hasil analisa lebih kompleks.

i. Melaksanakan Penelitian dan Pengumpulan Data

Merupakan tahap dalam melakukan proses percobaan untuk mengumpulkan data respon sejumlah baris pada baris *orthogonal array* yang telah dipilih. Pada tahap ini untuk menentukan jumlah replikasi dan randomisasi eksperimen.

1. Jumlah Replikasi, merupakan pengulangan eksperimen dengan variabel dan variasi yang sama pada spesimen yang berbeda. Tujuan dari metode replikasi adalah menambah ketelitian data eksperimen dan mengurangi tingkat kesalahan.
2. Randomisasi, merupakan metode yang digunakan untuk meratakan pengaruh dari faktor faktor yang tidak dapat dikendalikan, seperti menurunnya daya mesin dan kelelahan operator.

Tabel 2.12 Data Hasil Eksperimen

Eks	Faktor Kendali			Replikasi			Jumlah	Rata-Rata
	A	B	C	I	II	III		
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								

#### 2.8.4 Analisa dalam Metode Taguchi

Analisa metode Taguchi dilakukan untuk pengolahan data yang meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam layout yang sesuai dengan desain dan eksperimen yang dipilih. Dalam metode Taguchi dibutuhkan data analisa dan pengolahan data untuk mengetahui faktor – faktor yang signifikan yang berpengaruh. Hasil analisa menggunakan perhitungan nilai mean dan ditransformasikan ke bentuk rasio S/N dalam tabel analisa varians.

##### a. Anova (*analysis of variant*)

Merupakan metode analisa yang digunakan untuk mencari nilai dari pengaruh pada setiap faktor kendali terhadap suatu proses dengan mengidentifikasi pengujian kebenaran hipotesa terhadap pengaruh faktor terkendali beserta interaksinya. Model analisa menggunakan analisa varians dua arah yang terdiri dari perhitungan derajat kebebasan, jumlah kuadrat (*Sum of Square*), rata-rata jumlah kuadrat dan F-rasio. Persamaan jumlah kuadrat dijelaskan seperti pada persamaan berikut :

$$SS_A = \left[ \sum_{i=1}^{KA} \left( \frac{A_i^2}{n_{Ai}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana:

- $K_A$  = jumlah level faktor  
 $A_i$  = level ke i faktor A  
 $n_{Ai}$  = jumlah percobaan level ke i faktor A  
 $T$  = jumlah seluruh nilai data  
 $N$  = banyak data keseluruhan

Menentukan rata-rata kuadrat (*mean square*):

$$MS_a = \frac{SS_a}{V_a} \dots \dots \dots (2.9)$$

Jumlah kuadrat total:

$$SS_T = \sum y^2 \dots \dots \dots (2.10)$$

Jumlah kuadrat karena rata-rata:

$$S_m = n \times \bar{y}^2 \dots \dots \dots (2.11)$$

Menentukan jumlah kuadrat error :

$$SS_{faktor} = SS_A + SS_B + SS_C \dots \dots \dots (2.12)$$

$$SS_e = SS_T - SS_M - SS_{faktor} \dots \dots \dots (2.13)$$

Menghitung F-rasio :

$$F_{ratio} = \frac{MS_A}{MS_e} \dots \dots \dots (2.14)$$

#### b. Uji Hipotesa F

Merupakan pengujian dengan cara membandingkan variasi yang disebabkan oleh masing-masing faktor dan variasi error. Variasi error diakibatkan oleh variansi setiap pengamatan yang timbul dari faktor yang tidak dapat dikendalikan.

$$F_{sumber} = \frac{\text{variansi perlakuan} + \text{variansi error}}{\text{variansi error}} \dots \dots \dots (2.15)$$

Nilai  $F_{sumber}$  dibandingkan dengan nilai F pada tabel harga  $\alpha$ . Hipotesa pengujian dalam percobaan adalah sebagai berikut:

$H_0$  = Tidak ada pengaruh perlakuan ( $\mu_1 - \mu_2$ ).

$H_1$  = Ada pengaruh perlakuan sehingga terdapat satu dari beberapa pengujian ( $\mu_1$ ) yang tidak sama.

c. Metode *Polling Up*

Merupakan metode dengan mengumpulkan faktor-faktor yang tidak signifikan sebagai *error*, dimulai dari *sum of square* (SS) yang terkecil dari faktor yang tidak signifikan digabung dengan jumlah kuadrat *error* sampai dengan derajat kebebasan. Metode *pooling up* membandingkan F efek kolom terkecil terhadap yang lebih besar untuk melihat signifikansi data. Dengan keputusan signifikan tersebut faktor digunakan dalam putaran percobaan berikutnya.

d. Rasio S/N (*Rasio To Noise*)

Data ditransformasikan kedalam entuk S/N Ratio untuk mencari faktor yang berpengaruh pada variasi karakteristik kualitas sehingga disebut sebagai *signal* atau parameter memberikan pengaruh yang kecil hingga disebut dengan *noise*. Jika target yang dituju untuk meningkatkan respon, maka mencari nilai S/N ratio yang tertinggi dalam setiap level.

Terdapat tiga jenis S/N Ratio yang digunakan untuk optimasi permasalahan statik, diantaranya adalah sebagai berikut:

a. *Smaller the Better*

Digunakan untuk optimasi cacat produk, yang mana nilainya harus sama dengan nol. Selain itu, digunakan untuk menentukan waktu produksi tercepat. Untuk menghitungnya dapat menggunakan persamaan:

$$S/N \text{ Ratio} = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \dots \dots \dots (2.16)$$

b. *Large the Better*

Semakin besar nilai yang keluar maka akan semakin baik pada kualitas produk. Untuk menghitungnya dapat menggunakan persamaan:

$$S/N \text{ Ratio} = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \dots \dots \dots (2.17)$$

c. *Nominal the Better*

Optimasi ini digunakan untuk menetapkan nilai pada satu hal yang tetap dan mutlak, artinya tidak boleh kurang atau lebih. Untuk menghitungnya menggunakan persamaan:

$$S/N \text{ Ratio} = -10 \log \left[ \frac{y^{-2}}{s^2} \right] \dots \dots \dots (2.18)$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \dots \dots \dots (2.19)$$

dimana :

- n = jumlah data
- i = data respon pengukuran
- s<sup>2</sup> = varian
- n = jumlah pengulangan dari setiap kombinasi
- X<sub>i</sub> = nilai dari kombinasi ke – n
- $\bar{X}$  = nilai rata-rata dari setiap kombinasi

2.8.5 Persen Kontribusi

Merupakan fungsi jumlah kuadrat untuk masing masing item yang signifikan. Persen kontribusi mengindikasikan kekuatan relatif dari suatu faktor dan interaksi dalam mengurangi variasi. Menentukan persen kontribusi dijelaskan dalam persamaan dibawah ini.

$$SA' = SA - vA.Ve \dots \dots \dots (2.20)$$

dengan

- SA = Jumlah kuadrat deviasi target
- SA' = Jumlah kuadrat sesungguhnya dari faktor A
- vA = Derajat kebebasan A
- Ve = Varian

Menentukan persen kontribusi sebagai persentase dari jumlah kuadrat suatu sumber yang sesungguhnya terhadap jumlah kuadrat total, St:

$$\rho A = \frac{SA'}{St} \times 100\% \dots \dots \dots (2.21)$$

Bagian dari *error* yang berasal dari jumlah kuadrat deviasi untuk sumber harus ditambahkan pada jumlah kuadrat untuk menghemat jumlah kuadrat total St. Dengan demikian persen kontribusi dari semua sumber berjumlah 100%.

### 2.8.6 Interval Kepercayaan

Merupakan perhitungan respon terhadap pengaruh faktor pada penggunaan data konsentrisitas. Berikut adalah langkah menentukan interval kepercayaan untuk level faktor ( $Cl_1$ ):

$$Cl_1 = \sqrt{\frac{F_{\alpha, V_1, V_2} \times MS_e}{n}} \dots \dots \dots (2.22)$$

$$\mu Ak = \bar{A}_{.k} \pm Cl_1 \dots \dots \dots (2.23)$$

$$\bar{A}_{.k} - Cl_1 \leq \mu Ak + Cl_1 \dots \dots \dots (2.24)$$

Keterangan:

$F_{\alpha, V_1, V_2}$  = rasio F

$\alpha$  = resiko

$V_1$  = derajat kebebasan untuk pembilang yang berhubungan dengan suatu rata-rata dan selalu sama dengan 1 untuk suatu interval kepercayaan

$V_2$  = derajat kebebasan *error*

$MS_e$  = rata-rata kuadrat *error*

$n$  = jumlah yang diuji pada suatu kondisi

$\mu Ak$  = dugaan rata-rata faktor A pada level ke k

$\bar{A}_k$  = rata-rata faktor A pada perlakuan ke k

$k$  = 1, 2, ...

Interval kepercayaan pada kondisi perlakuan yang optimum dapat diprediksi ( $Cl_2$ ) dengan persamaan berikut:

$$Cl_2 = \sqrt{F_{\alpha, v_i, v_a} \times Ve \times \left(\frac{1}{n_{eff}}\right)} \dots \dots \dots (2.25)$$

$$n_{eff} = \frac{\text{Jumlah total eksperimen}}{\text{jumlah derajat kebebasan dalam perkiraan rata-rata}} \dots \dots \dots (2.26)$$



Keterangan:

$n_{eff}$  = Jumlah pengamatan efektif

Interval kepercayaan untuk memprediksi eksperimen konfirmasi digunakan untuk verifikasi bahwa rata-rata yang ditaksir untuk faktor dan evel yang dipilih dari eksperimen matriks ortogonal adalah valid. Persamaan interval kepercayaan untuk memprediksi eksperimen konfirmasi adalah sebagai berikut:

$$Cl_3 = \sqrt{F_{\alpha, v_1, v_2} \times Ve \times \left( \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right)} \dots \dots \dots (2.27)$$

Keterangan:

R = Jumlah sampel pada percobaan konfirmasi dan  $r \neq 0$

$V_2$  = Derajat bebas varian kesalahan *pooling*

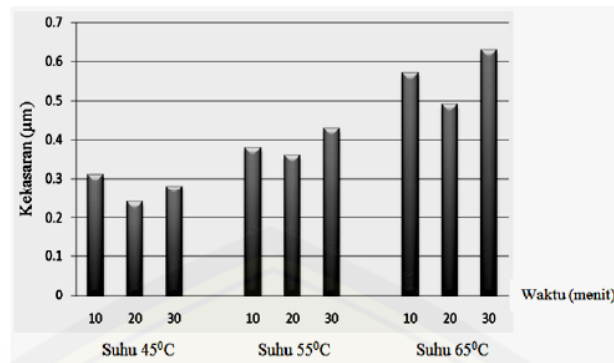
$n_{eff}$  = Jumlah pengulangan efektif

### 2.8.7 Eksperimen konfirmasi

Merupakan percobaan yang dilakukan untuk memvalidasi percobaan terhadap kesimpulan yang diperoleh selama tahap analisa. Tujuan dari percobaan ini adalah untuk membandingkan dan mencari kombinasi variabel dan variasi yang terbaik dari percobaan dengan dugaan yang dibuat pada saat perancangan.

## 2.9 Penelitian Terdahulu

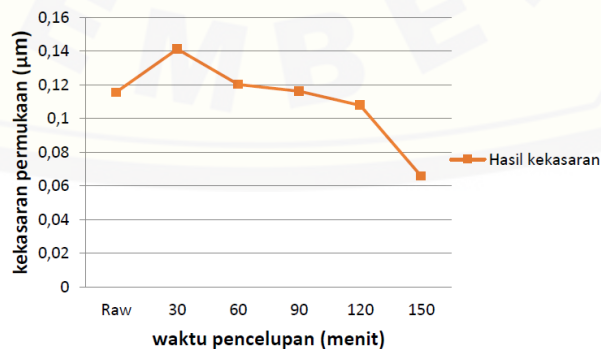
Penelitian sebelumnya yang dilakukan basmal dkk (2012), menggunakan plat baja karbon rendah (AISI 1020) sebagai bahan dasar (spesimen) yang akan dilapis dengan tembaga dan nikel. Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mempunyai kandungan karbon < 0,3 %, memenuhi kekuatan sedang dengan keuletan yang baik. Pada penelitian ini nilai ketebalan dan kekerasan permukaan hasil dari proses elektroplating menjadi hasil dalam penelitian dimana pelapis yang digunakan adalah tembaga dan nikel dengan variasi suhu elektrolit dan waktu. Variasi yang digunakan yaitu suhu 45°C, 55°C, dan 65°C. Variasi waktu yang digunakan yaitu 10 menit, 20 menit, dan 30 menit dengan menggunakan tegangan sebesar 9 volt.



Gambar 2.9 Diagram nilai kekasaran permukaan pada variasi suhu operasional (Sumber: Basmal dkk, 2010)

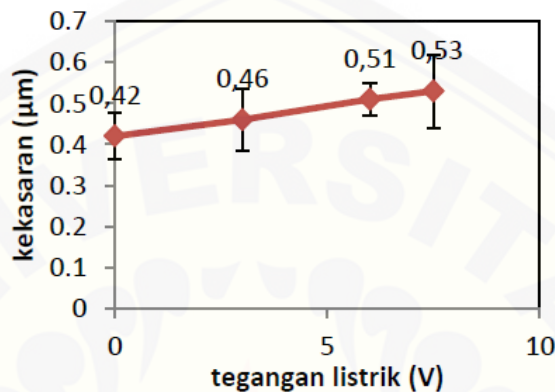
Diagram diatas menunjukkan bahwa suhu operasional semakin tinggi, maka nilai kekasaran meningkat. Tetapi dalam satu kondisi suhu operasional, peningkatan waktu pelapisan terdapat ketidakaturan kenaikan nilai kekasaran. Dari diagram menunjukkan bahwa nilai kekasaran permukaan lebih dominan dipengaruhi oleh suhu operasional daripada oleh lamanya waktu pelapisan. Namun demikian, nilai kekasaran terendah dari tiap-tiap kondisi suhu operasional terjadi pada waktu pelapisan 20 menit (Basmal dkk, 2012).

Contoh lainnya adalah penelitian yang dilakukan oleh Suwardi (2017), dimana proses elektroplating yang dilakukan menggunakan material baja karbon dengan ukuran ketebalan 2 mm sesuai standar pengujian uji tarik ASTM E8 dengan variasi waktu pelapisan 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, 150 menit pada tegangan 2,7 Volt.



Gambar 2.10 Hubungan antara waktu pelapisan dengan tingkat kekasaran permukaan rata-rata lapisan (Sumber : Suwardi, 2017)

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Assegaff dkk (2017), membuktikan bahwa tegangan berpengaruh terhadap kekasaran pada permukaan spesimen. Menggunakan variasi tegangan pelapisan nikel yaitu 3, 6, dan 7,5 Volt dengan waktu 30 menit dan suhu 55°C. Setelah benda kerja dilapisi nikel, lalu dilapisi khrom dengan tegangan 3V, 7A dan waktu selama 1 menit.



Gambar 2.11 Grafik kekasaran permukaan terhadap tegangan listrik  
(Sumber: Assegaff dkk, 2017)

Sebelum dilakukan proses pelapisan, nilai kekasaran sebesar 0,42  $\mu\text{m}$ . Sedangkan pada tegangan 3 volt, 6 volt, dan 7,5 volt berturut-turut adalah 0,46  $\mu\text{m}$ , 0,51  $\mu\text{m}$  dan 0,53  $\mu\text{m}$ . Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin besar tegangan listrik yang diberikan pada proses pelapisan maka terjadi beda potensial yang semakin tinggi sehingga energi ionisasi menjadi semakin besar. Semakin besar ikatan ion yang terlepas maka semakin besar pula ikatan ion dari katoda yang menempel pada permukaan tembaga (Assegaff dkk, 2017).

## 2.10 Hipotesis

Dalam penelitian ini dilakukan kombinasi pengaruh besaran tegangan listrik, waktu pelapisan dan suhu larutan pada proses *elektroplating*. Maka hipotesis pada penelitian ini sebagai berikut;

1. Semakin besar tegangan listrik yang diberikan maka akan terjadi beda potensial yang semakin tinggi sehingga energi ionisasi menjadi semakin besar. Dengan semakin banyaknya ion katoda yang menempel dan juga

terjadinya peluruhan pada lapisan maka kekasaran pada permukaan akan semakin meningkat (Assegaff dkk, 2017).

2. Suhu operasional semakin tinggi, maka nilai kekasaran meningkat (Basmal dkk, 2012). Pada temperatur yang tinggi daya larut bertambah besar dan terjadi penguraian garam logam yang menjadikan konduktivitas serta menambah mobilitas ion logam, tetapi viskositas jadi berkurang sehingga endapan ion logam pada katoda akan lebih cepat sirkulasinya. Peristiwa reduksi tersebut cenderung mengarah pada lapisan yang kasar.
3. Waktu pelapisan merupakan hal yang juga penting mengingat efisiensi dan kecepatan produksi dibutuhkan dalam dunia perindustrian. Pada beberapa penelitian menunjukkan bahwa semakin lama waktu pelapisan maka nilai kekasaran akan menurun. Dengan kata lain, semakin lama waktu yang digunakan maka permukaan spesimen akan semakin halus (Suwardi, 2017).

## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Jenis Penelitian dan Rancangan Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah jenis ekperimental analisa untuk mengetahui pengaruh variasi pada proses *electroplating* nikel terhadap baja karbon rendah (SS400). Rancangan penelitian menggunakan penelitian faktorial dimana penelitian ini berdasarkan variasi yang dipilih.

### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Kemasan dan Uji Material Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember. Kegiatan ini meliputi pengadaan bahan pengukuran spesimen, proses pelapisan, pengujian kekasaran permukaan. Proses penelitian dilakukan pada bulan juli sampai dengan oktober 2019.

### 3.3 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.3.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Alat uji kekasaran permukaan (*roughness tester*)
2. Bak penampung *electroplating*
3. Rectifier
4. *Thermocontrol*
5. Gelas ukur
6. Ampelas
7. Kamera
8. Gergaji besi
9. Pemanas
10. Capit buaya
11. Sarung tangan
12. Masker

### 3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam proses *electroplating* ini adalah:

1. Spesimen Baja (SS 400) (dimensi 60 mm x 40 mm x 4 mm)
2. Larutan *pickling* (HCL)
3. Larutan *degreasing* (NaOH)
4. Larutan *bright nickel*
5. Aquades

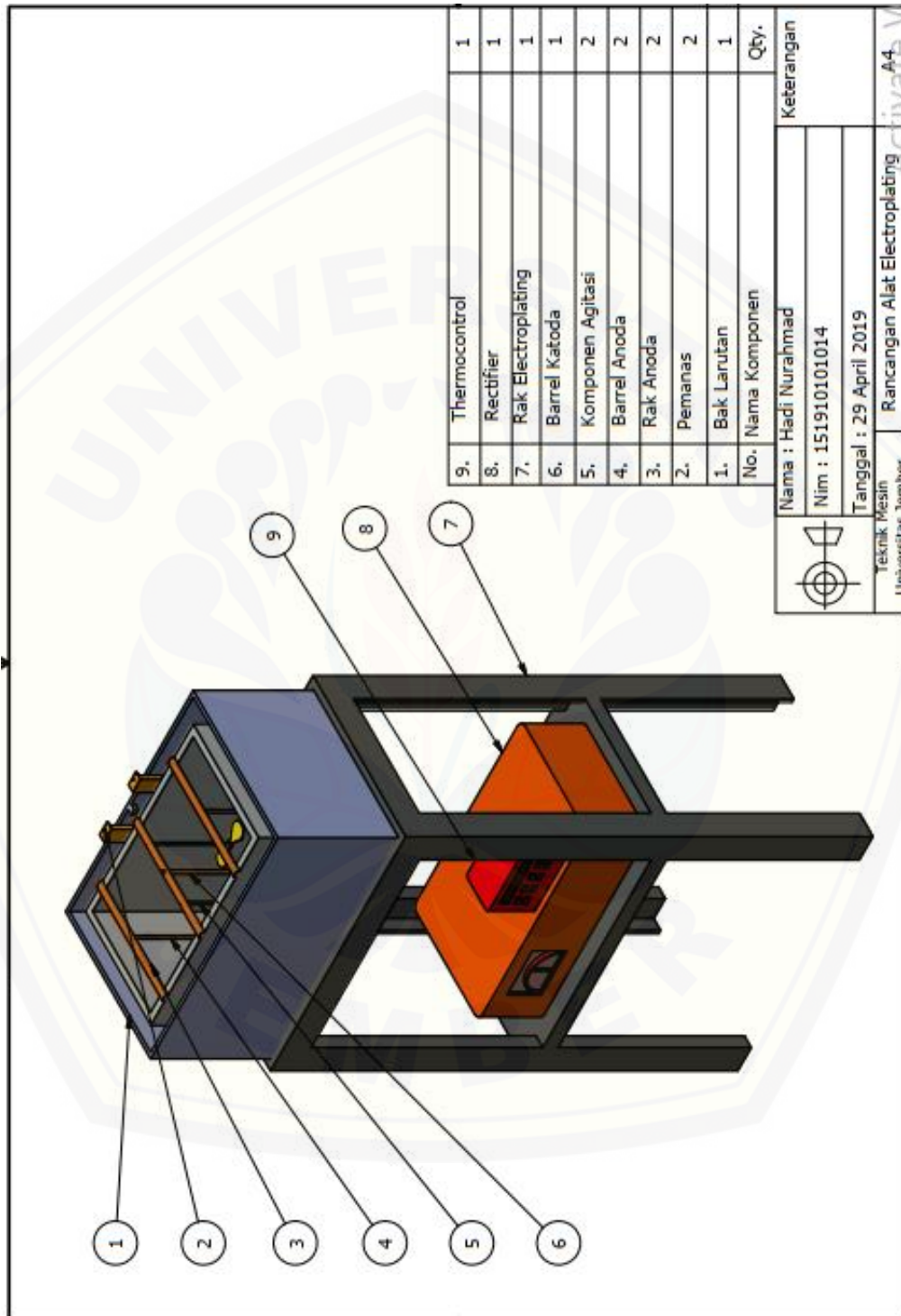
### 3.4 Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan.
2. Membuat dan membentuk spesimen uji (SS400) sesuai dengan dimensi yang telah direncanakan sebanyak 27 buah.
3. Membersihkan benda kerja secara mekanis.
4. Membuat dan membersihkan dengan larutan cuci asam (*pickling*).
5. Membersihkan spesimen untuk menghilangkan minyak (*degreasing*).
6. Membilas spesimen dengan aquades
7. Mengeringkan spesimen.
8. Membuat larutan elektrolit *bright nickel* dengan komposisi 250 g/L *Nickel Sulfat* (NiSO<sub>4</sub>), 50 g/L *Nickel Chlorid* (NiCl<sub>2</sub>), 40 g/L *Boric Acid* (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>), 2-3 ml/l *Brightener Mnt* dan 1-2 ml/l *Brightener MU*.
9. Mengatur suhu larutan pada suhu yang telah ditentukan.
10. Memasukkan spesimen kedalam larutan dengan waktu dan tegangan yang telah divariasikan.
11. Melakukan pengujian kekasaran permukaan menggunakan alat uji *Surface Roughness*.
12. Analisa perbedaan kekasaran dengan metode ANOVA dan taguchi.
13. Mendapatkan kesimpulan dari data hasil penelitian yang sudah dilakukan.

### 3.5 Konsep Rancangan

Rancangan alat *electroplating* pada penelitian ini adalah sebagai berikut.



Gambar 3.1 Konsep rancang bangun mesin *electroplating*

### 3.6 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian meliputi persiapan spesimen hingga pengujian dan analisa data. Adapun tahap tahap pelaksanaan penelitian adalah sebagai berikut:

#### 3.6.1 Persiapan dan pembuatan spesimen uji

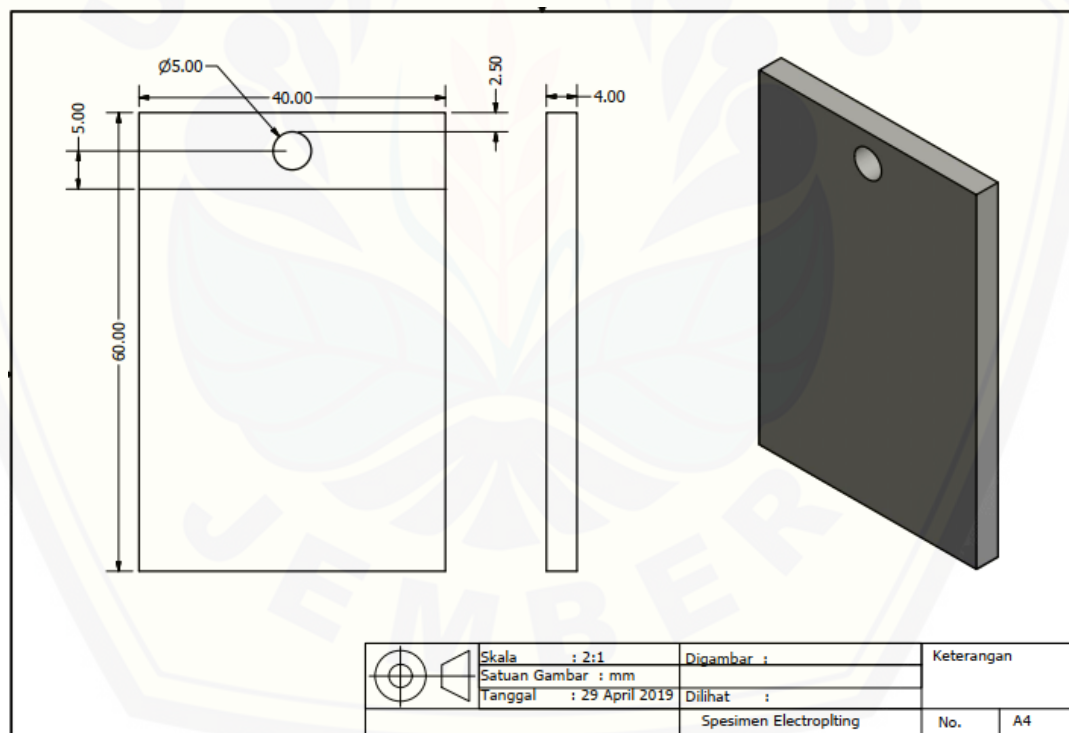
Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Baja SS400. Persiapan yang dilakukan yaitu dengan membuat spesimen uji sesuai dengan dimensi yang ditentukan.

Dimensi spesimen sebagai berikut:

Panjang = 60 mm

Tebal = 4 mm

Tinggi = 40 mm

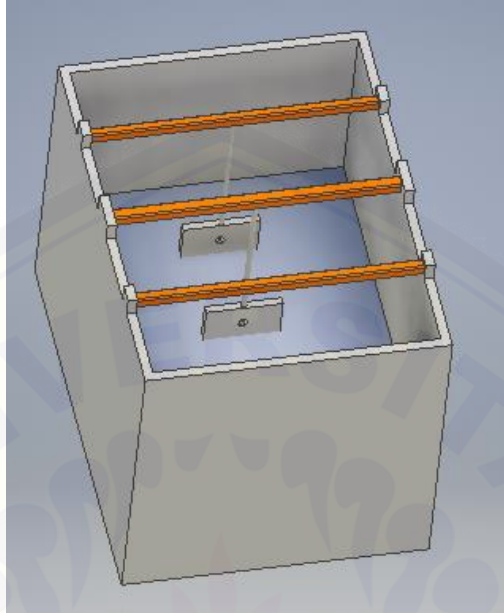


Gambar 3.2 Penampang spesimen uji

Pembentukan spesimen diawali dengan pemotongan material menggunakan gerinda potong, kemudian menghaluskan dengan dikikir untuk mendapatkan kerataan pada sisi spesimen. Kemudian melakukan pengeboran



dengan diameter 5 mm. Penempatan spesimen pada larutan dengan kedalaman 5 cm dari permukaan larutan. Jarak antara anoda dengan spesimen sejauh 6 cm.



Gambar 3.3 Penempatan spesimen dalam bak larutan

### 3.6.2 Proses *Pretreatment*

Proses *pretreatment* bertujuan untuk membersihkan spesimen dari sifat kimiawi.

- Proses mekanik dengan amplas mesh 100 sampai dengan 2000
- Pembilasan spesimen dengan cairan aquades.
- Perendaman larutan basa (*Degreasing*) selama 5 sampai 15 menit pada suhu ruangan.
- Pembilasan spesimen dengan cairan aquades.
- Perendaman pada larutan asam (*Pickling*) selama 4 menit.
- Pembilasan spesimen dengan cairan aquades.

### 3.6.3 Proses *Electroplating*

Setelah dilakukan *pretreatment* proses selanjutnya adalah proses *electroplating* dengan langkah sebagai berikut:

- Mengeringkan spesimen pada suhu ruang.
- Memanaskan larutan dengan variasi 40, 45 dan 50 °C.

- c. Mengatur tegangan listrik dengan *voltase* sebesar 3,6 dan 9 Volt.
- d. Memasukkan spesimen kedalam larutan dengan variasi waktu 15, 20 dan 25 menit.

#### 3.6.4 Pengujian kekasaran permukaan

Pengujian kekasaran permukaan menggunakan standart ASTM D 7127 - 13 (*Reapproved 2013*) *Standard Test Method for Measurement of Surface Roughness of Abrasive Blast Cleaned Metal Surfaces Using a Portable Stylus Instrument*. Pengujian ini terdiri dari pemotongan sebagian uji spesimen, *mounting*, persiapan bagian sisi *mounting*, *polishing* dan *etching*.



Gambar 3.4 *Roughness tester* TIME TR220

### 3.7 Variabel Penelitian

#### 3.7.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang ditentukan sebelum dilakukan penelitian dengan tujuan untuk menganalisa pengaruh variabel terhadap output yang ditentukan dalam proses produksi. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian memiliki 3 variasi yang dijelaskan dalam tabel.

Tabel 3.1 Variabel bebas dan variasi penelitian *electroplating* baja SS400 dengan nikel

Faktor Kendali	Parameter	Level bawah	Level tengah	Level atas
A	Tegangan	3 Volt	6 Volt	9 Volt
B	Suhu	40 °C	45 °C	50 °C
C	Waktu	15 menit	20 menit	25 menit

### 3.7.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang tidak dapat ditentukan oleh peneliti, namun memiliki besaran yang bergantung pada variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini adalah kekasaran permukaan.

### 3.8 Pengambilan Data

Proses pengambilan data kekasaran permukaan hasil lapisan *electroplating* dengan standart ASTM D7127-13 menggunakan alat uji *Roughness tester TIME type TR220*. Hasil Uji Kekasaran permukaan dari penelitian disajikan seperti data Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data hasil pengujian kekasaran proses *electroplating* baja karbon SS400 dengan nikel

Kombinasi	Faktor Kendali			Replikasi	Nilai Ra ( $\mu\text{m}$ )	rata-rata ( $\mu\text{m}$ )
	A	B	C			
1	3	40	15	I		
				II		
				III		
2	3	45	20	I		
				II		
				III		
3	3	50	25	I		
				II		
				III		
4	6	40	20	I		
				II		
				III		
5	6	45	25	I		
				II		
				III		
6	6	50	15	I		
				II		
				III		
7	9	40	25	I		
				II		
				III		
8	9	45	15	I		
				II		
				III		
9	9	50	20	I		
				II		
				III		

### 3.9 Metode Analisa

Metode analisa yang digunakan dalam metode ini adalah *Analisis of varians* dengan tahapan pengambilan keputusan sebagai berikut

a. Studi Literatur

Jurnal atau penelitian sebelumnya digunakan sebagai referensi pengaruh suhu, tegangan, dan waktu pelapisan terhadap kekasaran permukaan.

b. Pengambilan Data

Data diambil dari desain orthogonal array  $L9(3^3)$  yang telah dibuat sebelumnya.

c. Uji Asumsi Residual

- 1) Uji Normalitas
- 2) Uji Multikolonieritas

d. Menganalisa data yang diperoleh menggunakan perhitungan:

1. Rasio S/N
2. Analisis varian

Analisis varian digunakan untuk mencari besarnya pengaruh setiap parameter kendali terhadap suatu proses. Pada perhitungan ini menggunakan software minitab yang akan diperoleh data seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Hasil analisis varians dan kontribusi parameter berpengaruh

Sumber	DK	SS	MS	$F_{hitung}$	SS'	P
Tegangan						
Suhu						
Waktu						
Residual						
Total						

### 3. Uji F

Nilai Fhitung yang lebih besar daripada Ftabel menunjukkan bahwa faktor-faktor yang digunakan memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil pelapisan logam. Dimana pada penelitian ini menggunakan taraf signifikansi  $\alpha$  sebesar 5%. Hipotesa awal ( $H_0$ ) dan Hipotesa alternatif ( $H_1$ ) yang digunakan sebagai uji hipotesis menggunakan distribusi F :

Parameter proses *electroplating*

$H_0$  :  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$  (Tidak ada pengaruh setiap variasi parameter yang digunakan)

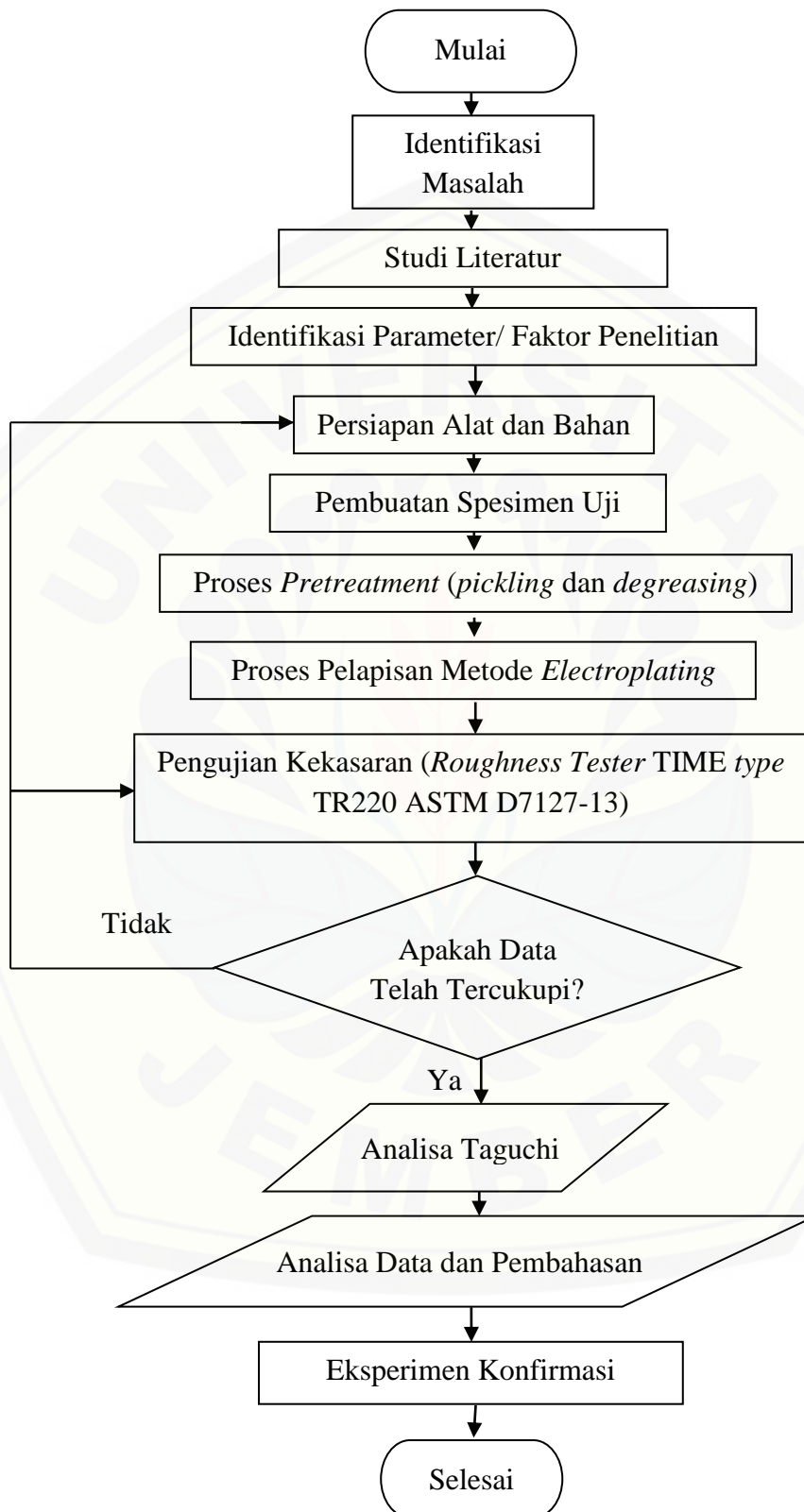
$H_1$  :  $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$  (Adanya pengaruh setiap variasi parameter yang digunakan)

#### e. Interpretasi Hasil Eksperimen

1. Porsen kontribusi
2. Interval Kepercayaan

#### f. Eksperimen konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan berdasarkan hasil dari eksperimen sebelumnya. Eksperimen ini bertujuan untuk membuktikan hal yang didapat sebelumnya. Pada eksperimen konfirmasi, faktor dan level ditetapkan seperti faktor dan level pada kondisi optimal yaitu pada faktor tegangan, suhu dan waktu.

**3.10 Diagram Alir Penelitian**

Gambar 3.5 Diagram alir penelitian

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Hasil analisa menggunakan metode taguchi mengenai optimasi proses *electroplating* didapatkan kesimpulan bahwa :

- a. Berdasarkan analisis dan pengolahan data, didapatkan pengaruh faktor besarnya tegangan listrik yaitu dapat menghasilkan kekasaran permukaan paling optimum pada level 2 dengan nilai kekasaran rata-rata sebesar 1,29  $\mu\text{m}$  dan persentasi kontribusi sebesar 77,31%, pengaruh faktor pada suhu yaitu dapat menghasilkan kekasaran permukaan paling optimum pada level 2 dengan nilai kekasaran rata-rata sebesar 1,32  $\mu\text{m}$  dan persentase kontribusi sebesar 4,85%, sedangkan pengaruh faktor pada waktu (lama pelapisan) yaitu semakin lama waktu pelapisan maka semakin kecil nilai kekasaran yang didapatkan dengan nilai kekasaran rata-rata sebesar 1,32 dan persentase kontribusi sebesar 10,13%.
- b. Penentuan faktor kendali paling optimal pada penelitian ini menggunakan metode taguchi dengan batuan *software* minitab 19 mendapatkan hasil yaitu; pada tegangan 6 volt, suhu larutan 45°C, dan waktu pelapisan selama 25 menit.

### 5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian, saran yang dapat penulis sampaikan adalah sebagai berikut :

1. Penelitian tentang elektroplating masih dapat dilanjutkan dengan menggunakan parameter-parameter lain yang memiliki pengaruh terhadap nilai kekasaran seperti kuat arus, jenis larutan, konsentrasi larutan, jarak anoda katoda dan sistem agitasi.
2. Untuk mendapatkan kekasaran yang diinginkan pastikan bahwa nilai level dari parameter proses yang digunakan berpengaruh terhadap output yang akan diuji.

3. Dalam melakukan pengambilan sampel penelitian diharapkan melakukan pengulangan percobaan agar mendapatkan hasil yang lebih baik lagi.





**DAFTAR PUSTAKA**

- Agus, S. dan Wita S. 2008. Karakterisasi sifat mekanik dan sifat daya lekat hasil pelapisan Cu-Ni pada baja karbon ST-37 untuk aplikasi logam dekoratif. *Jurnal Pendidikan IPA* 6(7), Bandung: 119-126.
- Al Hasa, M.Husna. 2007. Pengaruh rapat arus listrik dan waktu pelapisan terhadap ketebalan lapisan nikel pada foil uranium. *Jurnal Urania* 13(1): 1-45. ISSN 0852-4777
- Alang, N.A., Razak, N.A. dan Miskam, A.K., 2011, *Effect of surface roughness on fatigue life of notched carbon steel*, *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS* 11(01): 160-163.
- Amrulloh, F. 2014. Pengaruh tegangan listrik dan jarak elektroda proses pelapisan nikel krom terhadap karakteristik baja ST 42. *JTM* 02(03): 122-128.
- Ananta, R.H dan Sakti, A.M. 2016. Pengaruh variasi waktu celup dan kuat arus terhadap ketebalan permukaan dan struktur mikro baja ST 41 pada proses pelapisan nikel. *JTM* 04(03): 479-488
- Assegaff, M. Dan Purwanto, H. 2017. Pengaruh tegangan pelapisan nikel pada tembaga dalam pelapisan krom dekoratif terhadap ketebalan, kekerasan dan kekasaran lapisan. *Momentum* 13(2): 19-24.
- ASTM. 2013. ASTM D 7127 – 13. *Standard Test Method for Measurement of Surface Roughness of Abrasive Blast Cleaned Metal Surfaces Using a Portable Stylus Instrument*. Philadelphia, PA: ASTM.
- Azhar, Saleh. 1990. Teknik Pelapisan Nikel – Chromium. Bandung: Balai Besar Pengembangan Industri Logam dan Mesin.
- Bambang, S., Martijanti S. 2007. Pengaruh Parameter Proses Pelapisan Nikel Terhadap Ketebalan Lapisan. Tugas Akhir Teknik Mesin, Bandung: Universitas Jendral Achmad Yani.
- Basmal., Bayuseno., dan Nugroho S. 2018. Pengaruh suhu dan waktu pelapisan tembaga-nikel pada baja karbon rendah secara elektroplating terhadap nilai ketebalan dan kekasaran. *Jurnal Rotasi* 14(2): 23-28.
- Doddi. 2008. Proses Elektrokimia. [@staff Gunadarma.ac.id](http://staff.gunadarma.ac.id). [Diakses pada 2 januari 2014].

- Dominggus, G.H.A., Jefri S., dan Jemssy R. 2016. Pengaruh tegangan dan waktu nickel-chrome plating terhadap kekasaran permukaan pada hasil produk pengecoran alumunium scrap. *LJTMU* 3(1): 37-42.
- Ellis, C. D. 2015. *Efficient Determination of Copper Electroplating Chemistry Additivies Using Advanced Neural Network Algorithms*. Partial: 1-116.
- Ghozali, Imam. 2011. Aplikasi Analisis Multivariate Dengan Program SPSS. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Goldschmidt., P. D. S. & Streiberger, D. H.-J., 2007. *Basic of Coating Technology*. Weidenbruck: Vincentz Network.
- Hartomo, J. Anton, dan Tomijiro, K. 1992. Mengenal Lapisan Logam (Elektroplating). Yogyakarta: Andi Offset.
- Irwanto. 2010. Pengaruh Jarak Anoda-Katoda dan Pemerata Arus terhadap Ketebalan Lapisan dan Efisiensi Katoda pada Elektroplating Tembaga Asam untuk Baja Karbon Sedang. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Kenang, M.F., Sutikno,E., Soenoko,R. 2013. Pengaruh Tegangan Listrik Dan Kuat Arus Pada Proses Hard Anodizing Alumunium 6061 Untuk Konsentrasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (2mol) Terhadap Kekasaran Dan Porositas Permukaan. Malang.
- Kenneth R, Trethewey dan Chamberlain J. 1991. Korosi untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa. Terjemahan Alex Tri Kantjono Widodo. Jakarta: PT.Gramedia Pustaka Utama.
- Nasution, Siska. 2011. Pelapisan Krom pada Baja Karbon Rendah dengan Metode Elektroplating sebagai Anti Korosi. Tugas Akhir Fisika. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Petropoulos, G., Kechagias, J., Akis, V.I., dan Maropoulos, S. 2009. *Surface Roughness Investigation of a Reinforced Polymer Composite*. International Conference on Economic Engineering and Manufacturing Systems.
- PT. INKA. 2010. Pemasangan Pintu Masuk. *Document*. Madiun : Teknologi Produksi.
- Raharjo, Samsudin. 2010. Pengaruh Variasi Tegangan Listrik dan Waktu Proses Elektroplating Terhadap Ketebalan Serta Kekerasan Lapisan Pada Baja Karbon Rendah Dengan Krom. Jurusan Teknik Mesin, FT. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Rahayu, SS, dkk, 1966, Petunjuk Praktikum Elektroplating, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.

- Rasyad, A. Dan Budi Arto. 2018. Analisis pengaruh temperatur, waktu, dan kuat arus proses elektroplating terhadap kuat tarik, kuat tekuk dan kekerasan pada baja karbon rendah. *Jurnal Rekayasa Mesin* 9(3): 173-182.
- Ratnanto, Fitriadi dan Ardy Y. 2013. Pentingnya Perancangan *Process* Dalam Konsep Desain Produk Pada Departemen Teknologi Produksi. Simposium Nasional Teknologi Terapan (SNTT). Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Riyanto, 2013. *Elektrokimia dan Aplikasinya*, Andy Offset, Yogyakarta.
- Rochim, Taufiq, 2002, *Spesifikasi, Metrologi dan Kontrol Kualitas Geometrik, Industrial Metrology Laboratory, Mechanical & Production Engineering (MPE) Mesin*, FTI – ITB.
- Ross, P.J., 2008. *Taguchi Techniques for Quality Engineering*. McGraw-Hill Book Company, Singapore.
- Saleh, A., 2014. *Teknik Pelapisan Logam dengan Cara Listrik*. Bandung: Yrama Widya.
- Soejanto, I. 2009. *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Steelindopersada. Maret 2015. Baja SS400 Bukan Stainless Steel tapi Structural Steel. <https://www.steelindopersada.com/2015/03/ss400-bukan-stainless-steel> [Diakses tanggal 9 maret, 2015].
- Sukandarrumidi. 2005. *Geologi Mineral Logam Untuk Explorer Muda*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Surdia, Tata dan Saito, Shinroku. 2005. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Sutomo., Senen., dan Rahmat. 2010. Pengaruh Arus dan Waktu Pada Pelapisan Nikel dengan Elektroplating untuk Bentuk Plat. Program Diploma III Teknik Mesin, FT. Semarang: 23-28.
- Suwardi, D. 2017. Pengaruh Elektroplating Nikel Dengan Variasi Waktu Pelapisan 30, 60, 90, 120, 150 Menit Terhadap Kekasaran Permukaan, Titik Luluh Kekuatan Tarik Maksimum Baja Karbon. Skripsi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Yanto, Danang D. 2017. Pengaruh Elektroplating Nikel Terhadap Ketebalan Lapisan, Kekasaran, Dan Kekerasan Permukaan Titanium Dengan Variasi Waktu 20, 40, 60, 80 Menit. Skripsi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.

## LAMPIRAN

## Lampiran 1. Data Hasil Pengukuran Kekasaran

## a. Data nilai kekasaran spesimen sebelum dilapisi

No.	Rep.	Nilai Kekasaran ( $\mu\text{m}$ )					Rata-rata ( $\mu\text{m}$ )	
		I	II	III	IV	V	Setiap replikasi	Setiap Sampel
1	I	1,551	1,556	1,557	1,564	1,551	1,556	1,5499
	II	1,548	1,544	1,532	1,537	1,546	1,5413	
	III	1,552	1,548	1,541	1,575	1,553	1,5525	
2	I	1,548	1,541	1,564	1,541	1,521	1,5431	1,5493
	II	1,538	1,552	1,556	1,567	1,551	1,5496	
	III	1,531	1,571	1,593	1,557	1,53	1,5554	
3	I	1,542	1,551	1,564	1,543	1,57	1,561	1,5566
	II	1,567	1,558	1,562	1,551	1,541	1,5632	
	III	1,598	1,544	1,55	1,552	1,534	1,5458	
4	I	1,567	1,55	1,556	1,559	1,54	1,5268	1,5517
	II	1,406	1,651	1,632	1,557	1,541	1,5438	
	III	1,547	1,544	1,558	1,546	1,561	1,5846	
5	I	1,548	1,582	1,437	1,706	1,417	1,538	1,5567
	II	1,575	1,543	1,593	1,577	1,541	1,567	
	III	1,539	1,562	1,564	1,574	1,538	1,565	
6	I	1,573	1,697	1,517	1,574	1,421	1,5564	1,5508
	II	1,431	1,491	1,601	1,705	1,492	1,5447	
	III	1,544	1,552	1,531	1,577	1,541	1,5513	
7	I	1,552	1,549	1,541	1,562	1,538	1,5468	1,5495
	II	1,554	1,547	1,531	1,538	1,54	1,5421	
	III	1,545	1,566	1,552	1,556	1,556	1,5598	
8	I	1,56	1,549	1,541	1,53	1,544	1,5478	1,5505
	II	1,573	1,547	1,555	1,538	1,552	1,5466	
	III	1,56	1,543	1,554	1,538	1,577	1,5572	
9	I	1,549	1,546	1,551	1,538	1,544	1,5451	1,5493
	II	1,548	1,546	1,573	1,571	1,539	1,5446	
	III	1,547	1,556	1,558	1,552	1,58	1,5581	

## b. Data nilai kekasaran permukaan spesimen setelah dilapisi

Komb.	Rep.	Nilai Kekasaran ( $\mu\text{m}$ )					Rata-rata ( $\mu\text{m}$ )	
		I	II	III	IV	V	Setiap rep.	Setiap komb.
1	I	1,372	1,377	1,384	1,388	1,379	1,38	1,3923
	II	1,402	1,404	1,413	1,405	1,411	1,407	
	III	1,391	1,392	1,386	1,389	1,392	1,39	
2	I	1,351	1,346	1,344	1,351	1,348	1,348	1,3523
	II	1,356	1,357	1,366	1,351	1,355	1,357	
	III	1,354	1,344	1,356	1,352	1,354	1,352	
3	I	1,361	1,37	1,359	1,359	1,371	1,364	1,3667
	II	1,381	1,372	1,364	1,377	1,376	1,374	
	III	1,361	1,348	1,366	1,371	1,364	1,362	
4	I	1,295	1,301	1,287	1,281	1,296	1,292	1,2987
	II	1,307	1,299	1,301	1,302	1,306	1,303	
	III	1,288	1,305	1,313	1,297	1,302	1,301	
5	I	1,277	1,269	1,279	1,281	1,296	1,292	1,2707
	II	1,267	1,261	1,251	1,265	1,266	1,262	
	III	1,28	1,271	1,261	1,288	1,265	1,273	
6	I	1,309	1,297	1,298	1,317	1,309	1,306	1,312
	II	1,301	1,321	1,319	1,304	1,315	1,312	
	III	1,33	1,328	1,311	1,306	1,328	1,318	
7	I	1,319	1,335	1,326	1,317	1,328	1,325	1,3307
	II	1,344	1,351	1,348	1,339	1,348	1,346	
	III	1,322	1,331	1,318	1,306	1,328	1,321	
8	I	1,366	1,358	1,351	1,345	1,345	1,353	1,3573
	II	1,347	1,349	1,358	1,357	1,366	1,354	
	III	1,373	1,354	1,365	1,371	1,362	1,365	
9	I	1,366	1,354	1,371	1,362	1,367	1,364	1,3713
	II	1,388	1,375	1,371	1,384	1,387	1,381	
	III	1,379	1,359	1,358	1,368	1,381	1,369	

**Lampiran 2. Analisis Taguchi untuk Surface Roughness (Minitab 19)****Design Summary**

Taguchi Array L9(3<sup>3</sup>)  
 Factors: 3  
 Runs: 9

Columns of L9(3<sup>4</sup>) array: 1 2 3

**Model Summary**

<b>S</b>	<b>R-Sq</b>	<b>R-Sq(adj)</b>
0,0709	98,08%	92,31%

**Analysis of Variance for SN ratios**

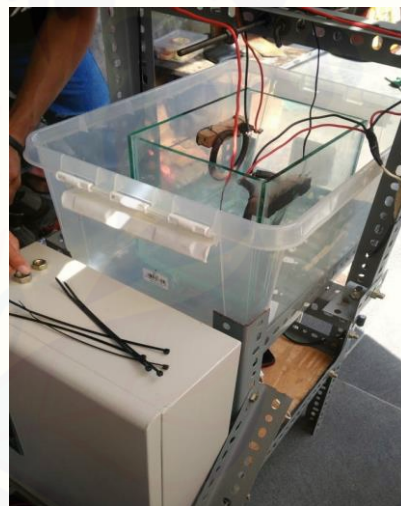
<b>Source</b>	<b>DF</b>	<b>Seq SS</b>	<b>Adj SS</b>	<b>Adj MS</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Tegangan	2	0,41428	0,41428	0,207141	41,21	0,024
Suhu	2	0,03546	0,03546	0,017729	3,53	0,221
Waktu	2	0,06304	0,06304	0,031518	6,27	0,138
Residual Error	2	0,01005	0,01005	0,005027		
Total	8	0,52283				

**Response Table for Signal to Noise Ratios**

Smaller is better

<b>Level</b>	<b>Tegangan</b>	<b>Suhu</b>	<b>Waktu</b>
1	-2,737	-2,542	-2,629
2	-2,236	-2,452	-2,545
3	-2,626	-2,605	-2,425
Delta	0,500	0,153	0,204
Rank	1	3	2

**Lampiran 3. Proses Pembuatan Alat**

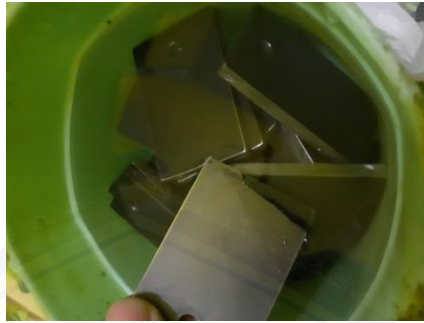


**Lampiran 4. Proses Pretreatment**

a. Pembersihan Mekanis



b. Pembersihan menggunakan aquades



c. Pembersihan Kimiawi (NaOH)



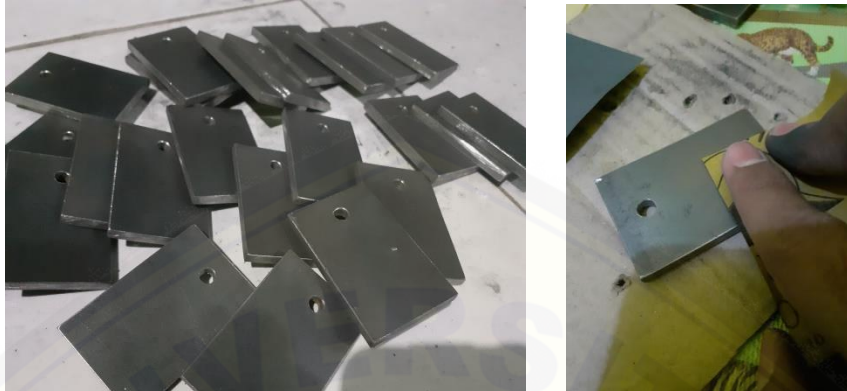
d. Pembilasan menggunakan aquades





Lampiran 5. Raw material

c. Spesimen Uji



d. Pengukuran nilai kekasaran

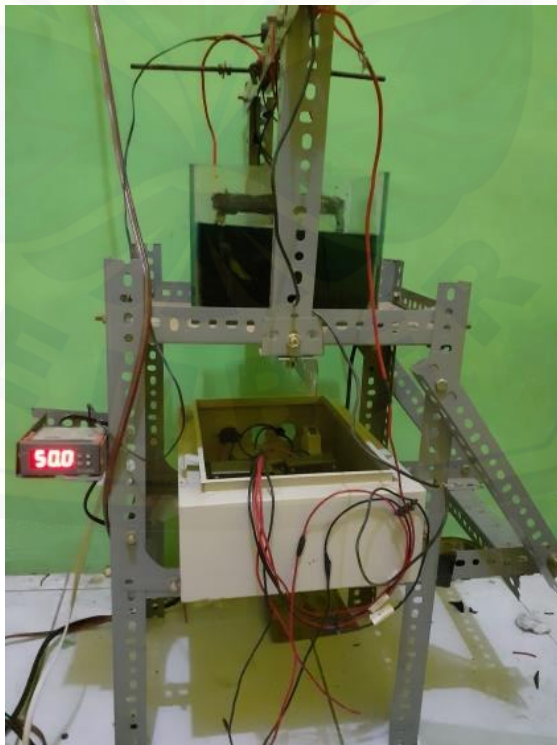






## Lampiran 6. Proses pelapisan

### a. Alat Pelapisan



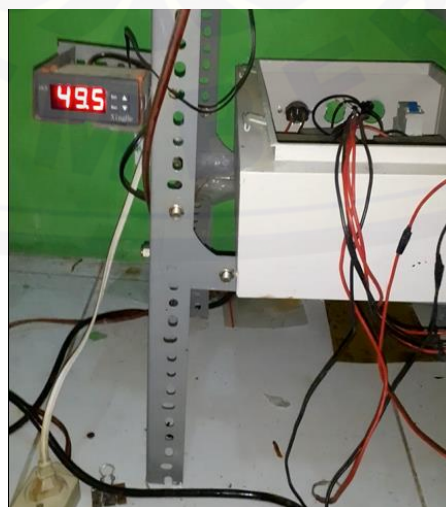
b. *Setting* tegangan (*voltase*) yang akan dioperasikan



c. *Setting* Spesimen (Katoda) dan Nikel (Anoda)



d. *Setting* Suhu larutan

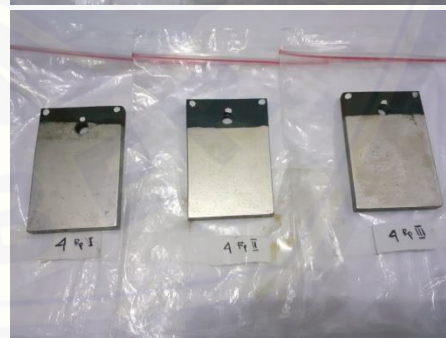
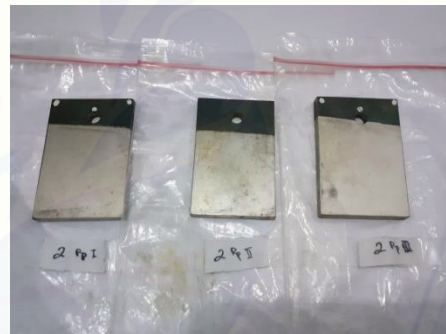


- e. *Setting switch* dari *off* ke *on* dan *setting timer* secara bersamaan



### Lampiran 7. Hasil Setelah Pelapisan

- e. Spesimen setelah pelapisan





f. Pengukuran nilai kekasaran setelah dilapisi





Lampiran 8. Tabel F statistik  $\alpha = 0,05$

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05															
df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01
31	4.16	3.30	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.25	2.20	2.15	2.11	2.08	2.05	2.03	2.00
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14	2.10	2.07	2.04	2.01	1.99
33	4.14	3.28	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.23	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	2.00	1.98
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.02	1.99	1.97
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.07	2.04	2.01	1.99	1.96
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11	2.07	2.03	2.00	1.98	1.95
37	4.11	3.25	2.86	2.63	2.47	2.36	2.27	2.20	2.14	2.10	2.06	2.02	2.00	1.97	1.95
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.99	1.96	1.94
39	4.09	3.24	2.85	2.61	2.46	2.34	2.26	2.19	2.13	2.08	2.04	2.01	1.98	1.95	1.93
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92
41	4.08	3.23	2.83	2.60	2.44	2.33	2.24	2.17	2.12	2.07	2.03	2.00	1.97	1.94	1.92
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.03	1.99	1.96	1.94	1.91
43	4.07	3.21	2.82	2.59	2.43	2.32	2.23	2.16	2.11	2.06	2.02	1.99	1.96	1.93	1.91
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.95	1.92	1.90
45	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89



**Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05**

df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
46	4.05	3.20	2.81	2.57	2.42	2.30	2.22	2.15	2.09	2.04	2.00	1.97	1.94	1.91	1.89
47	4.05	3.20	2.80	2.57	2.41	2.30	2.21	2.14	2.09	2.04	2.00	1.96	1.93	1.91	1.88
48	4.04	3.19	2.80	2.57	2.41	2.29	2.21	2.14	2.08	2.03	1.99	1.96	1.93	1.90	1.88
49	4.04	3.19	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.08	2.03	1.99	1.96	1.93	1.90	1.88
50	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.03	1.99	1.95	1.92	1.89	1.87
51	4.03	3.18	2.79	2.55	2.40	2.28	2.20	2.13	2.07	2.02	1.98	1.95	1.92	1.89	1.87
52	4.03	3.18	2.78	2.55	2.39	2.28	2.19	2.12	2.07	2.02	1.98	1.94	1.91	1.89	1.86
53	4.02	3.17	2.78	2.55	2.39	2.28	2.19	2.12	2.06	2.01	1.97	1.94	1.91	1.88	1.86
54	4.02	3.17	2.78	2.54	2.39	2.27	2.18	2.12	2.06	2.01	1.97	1.94	1.91	1.88	1.86
55	4.02	3.16	2.77	2.54	2.38	2.27	2.18	2.11	2.06	2.01	1.97	1.93	1.90	1.88	1.85
56	4.01	3.16	2.77	2.54	2.38	2.27	2.18	2.11	2.05	2.00	1.96	1.93	1.90	1.87	1.85
57	4.01	3.16	2.77	2.53	2.38	2.26	2.18	2.11	2.05	2.00	1.96	1.93	1.90	1.87	1.85
58	4.01	3.16	2.76	2.53	2.37	2.26	2.17	2.10	2.05	2.00	1.96	1.92	1.89	1.87	1.84
59	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.26	2.17	2.10	2.04	2.00	1.96	1.92	1.89	1.86	1.84
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.89	1.86	1.84
61	4.00	3.15	2.76	2.52	2.37	2.25	2.16	2.09	2.04	1.99	1.95	1.91	1.88	1.86	1.83
62	4.00	3.15	2.75	2.52	2.36	2.25	2.16	2.09	2.03	1.99	1.95	1.91	1.88	1.85	1.83
63	3.99	3.14	2.75	2.52	2.36	2.25	2.16	2.09	2.03	1.98	1.94	1.91	1.88	1.85	1.83
64	3.99	3.14	2.75	2.52	2.36	2.24	2.16	2.09	2.03	1.98	1.94	1.91	1.88	1.85	1.83
65	3.99	3.14	2.75	2.51	2.36	2.24	2.15	2.08	2.03	1.98	1.94	1.90	1.87	1.85	1.82
66	3.99	3.14	2.74	2.51	2.35	2.24	2.15	2.08	2.03	1.98	1.94	1.90	1.87	1.84	1.82
67	3.98	3.13	2.74	2.51	2.35	2.24	2.15	2.08	2.02	1.98	1.93	1.90	1.87	1.84	1.82
68	3.98	3.13	2.74	2.51	2.35	2.24	2.15	2.08	2.02	1.97	1.93	1.90	1.87	1.84	1.82
69	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.15	2.08	2.02	1.97	1.93	1.90	1.86	1.84	1.81
70	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.14	2.07	2.02	1.97	1.93	1.89	1.86	1.84	1.81
71	3.98	3.13	2.73	2.50	2.34	2.23	2.14	2.07	2.01	1.97	1.93	1.89	1.86	1.83	1.81
72	3.97	3.12	2.73	2.50	2.34	2.23	2.14	2.07	2.01	1.96	1.92	1.89	1.86	1.83	1.81
73	3.97	3.12	2.73	2.50	2.34	2.23	2.14	2.07	2.01	1.96	1.92	1.89	1.86	1.83	1.81
74	3.97	3.12	2.73	2.50	2.34	2.22	2.14	2.07	2.01	1.96	1.92	1.89	1.85	1.83	1.80
75	3.97	3.12	2.73	2.49	2.34	2.22	2.13	2.06	2.01	1.96	1.92	1.88	1.85	1.83	1.80
76	3.97	3.12	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.01	1.96	1.92	1.88	1.85	1.82	1.80
77	3.97	3.12	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.00	1.96	1.92	1.88	1.85	1.82	1.80
78	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.00	1.95	1.91	1.88	1.85	1.82	1.80
79	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.00	1.95	1.91	1.88	1.85	1.82	1.79
80	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.21	2.13	2.06	2.00	1.95	1.91	1.88	1.84	1.82	1.79
81	3.96	3.11	2.72	2.48	2.33	2.21	2.12	2.05	2.00	1.95	1.91	1.87	1.84	1.82	1.79
82	3.96	3.11	2.72	2.48	2.33	2.21	2.12	2.05	2.00	1.95	1.91	1.87	1.84	1.81	1.79
83	3.96	3.11	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.95	1.91	1.87	1.84	1.81	1.79
84	3.95	3.11	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.95	1.90	1.87	1.84	1.81	1.79
85	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.94	1.90	1.87	1.84	1.81	1.79
86	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.94	1.90	1.87	1.84	1.81	1.78
87	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32	2.20	2.12	2.05	1.99	1.94	1.90	1.87	1.83	1.81	1.78
88	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32	2.20	2.12	2.05	1.99	1.94	1.90	1.86	1.83	1.81	1.78
89	3.95	3.10	2.71	2.47	2.32	2.20	2.11	2.04	1.99	1.94	1.90	1.86	1.83	1.80	1.78
90	3.95	3.10	2.71	2.47	2.32	2.20	2.11	2.04	1.99	1.94	1.90	1.86	1.83	1.80	1.78

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05

df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
91	3.95	3.10	2.70	2.47	2.31	2.20	2.11	2.04	1.98	1.94	1.90	1.86	1.83	1.80	1.78
92	3.94	3.10	2.70	2.47	2.31	2.20	2.11	2.04	1.98	1.94	1.89	1.86	1.83	1.80	1.78
93	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31	2.20	2.11	2.04	1.98	1.93	1.89	1.86	1.83	1.80	1.78
94	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31	2.20	2.11	2.04	1.98	1.93	1.89	1.86	1.83	1.80	1.77
95	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31	2.20	2.11	2.04	1.98	1.93	1.89	1.86	1.82	1.80	1.77
96	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31	2.19	2.11	2.04	1.98	1.93	1.89	1.85	1.82	1.80	1.77
97	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31	2.19	2.11	2.04	1.98	1.93	1.89	1.85	1.82	1.80	1.77
98	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.98	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77
99	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.98	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77
100	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77
101	3.94	3.09	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93	1.88	1.85	1.82	1.79	1.77
102	3.93	3.09	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.85	1.82	1.79	1.77
103	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.85	1.82	1.79	1.76
104	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.85	1.82	1.79	1.76
105	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.85	1.81	1.79	1.76
106	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.79	1.76
107	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.18	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.79	1.76
108	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.18	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76
109	3.93	3.08	2.69	2.45	2.30	2.18	2.09	2.02	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76
110	3.93	3.08	2.69	2.45	2.30	2.18	2.09	2.02	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76
111	3.93	3.08	2.69	2.45	2.30	2.18	2.09	2.02	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76
112	3.93	3.08	2.69	2.45	2.30	2.18	2.09	2.02	1.96	1.92	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76
113	3.93	3.08	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.92	1.87	1.84	1.81	1.78	1.76
114	3.92	3.08	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.84	1.81	1.78	1.75
115	3.92	3.08	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.84	1.81	1.78	1.75
116	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.84	1.81	1.78	1.75
117	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.84	1.80	1.78	1.75
118	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.84	1.80	1.78	1.75
119	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.78	1.75
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.78	1.75
121	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
122	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
123	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.08	2.01	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
124	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
125	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
126	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.95	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
127	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.95	1.91	1.86	1.83	1.80	1.77	1.75
128	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.95	1.91	1.86	1.83	1.80	1.77	1.75
129	3.91	3.07	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.80	1.77	1.74
130	3.91	3.07	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.80	1.77	1.74
131	3.91	3.07	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.80	1.77	1.74
132	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.79	1.77	1.74
133	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.79	1.77	1.74
134	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.79	1.77	1.74
135	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.77	1.74

**Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05**

df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
136	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.77	1.74
137	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
138	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.16	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
139	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.16	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
140	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.16	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
141	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.16	2.08	2.00	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
142	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.16	2.07	2.00	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
143	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28	2.16	2.07	2.00	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
144	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28	2.16	2.07	2.00	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
145	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28	2.16	2.07	2.00	1.94	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
146	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28	2.16	2.07	2.00	1.94	1.90	1.85	1.82	1.79	1.76	1.74
147	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28	2.16	2.07	2.00	1.94	1.90	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73
148	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28	2.16	2.07	2.00	1.94	1.90	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73
149	3.90	3.06	2.67	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73
150	3.90	3.06	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73
151	3.90	3.06	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73
152	3.90	3.06	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73
153	3.90	3.06	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.78	1.76	1.73
154	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.78	1.76	1.73
155	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.78	1.76	1.73
156	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.76	1.73
157	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.76	1.73
158	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
159	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
160	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
161	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
162	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
163	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
164	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
165	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.07	1.99	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
166	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.07	1.99	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
167	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.06	1.99	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
168	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.06	1.99	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
169	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.06	1.99	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
170	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
171	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
172	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
173	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
174	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
175	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
176	3.89	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.88	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
177	3.89	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.88	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
178	3.89	3.05	2.66	2.42	2.26	2.15	2.06	1.99	1.93	1.88	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
179	3.89	3.05	2.66	2.42	2.26	2.15	2.06	1.99	1.93	1.88	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
180	3.89	3.05	2.65	2.42	2.26	2.15	2.06	1.99	1.93	1.88	1.84	1.81	1.77	1.75	1.72

Lampiran 9. Tabel *Kolmogorov-Smirnov*

Tabel Nilai Kritis Uji Kolmogorov-Smirnov

$n$	$\alpha = 0,20$	$\alpha = 0,10$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,02$	$\alpha = 0,01$
1	0,900	0,950	0,975	0,990	0,995
2	0,684	0,776	0,842	0,900	0,929
3	0,565	0,636	0,708	0,785	0,829
4	0,493	0,565	0,624	0,689	0,734
5	0,447	0,509	0,563	0,627	0,669
6	0,410	0,468	0,519	0,577	0,617
7	0,381	0,436	0,483	0,538	0,576
8	0,359	0,410	0,454	0,507	0,542
9	0,339	0,387	0,430	0,480	0,513
10	0,323	0,369	0,409	0,457	0,486
11	0,308	0,352	0,391	0,437	0,468
12	0,296	0,338	0,375	0,419	0,449
13	0,285	0,325	0,361	0,404	0,432
14	0,275	0,314	0,349	0,390	0,418
15	0,266	0,304	0,338	0,377	0,404
16	0,258	0,295	0,327	0,366	0,392
17	0,250	0,286	0,318	0,355	0,381
18	0,244	0,279	0,309	0,346	0,371
19	0,237	0,271	0,301	0,337	0,361
20	0,232	0,265	0,294	0,329	0,352
21	0,226	0,259	0,287	0,321	0,344
22	0,221	0,253	0,281	0,314	0,337
23	0,216	0,247	0,275	0,307	0,330
24	0,212	0,242	0,269	0,301	0,323
25	0,208	0,238	0,264	0,295	0,317
26	0,204	0,233	0,259	0,290	0,311
27	0,200	0,229	0,254	0,284	0,305
28	0,197	0,225	0,250	0,279	0,300
29	0,193	0,221	0,246	0,275	0,295
30	0,190	0,218	0,242	0,270	0,290
35	0,177	0,202	0,224	0,251	0,269
40	0,165	0,189	0,210	0,235	0,252
45	0,156	0,179	0,198	0,222	0,238
50	0,148	0,170	0,188	0,211	0,226
55	0,142	0,162	0,180	0,201	0,216
60	0,136	0,155	0,172	0,193	0,207
65	0,131	0,149	0,166	0,185	0,199
70	0,126	0,144	0,160	0,179	0,192
75	0,122	0,139	0,154	0,173	0,185
80	0,118	0,135	0,150	0,167	0,179
85	0,114	0,131	0,145	0,162	0,174

**Lampiran 10. Alat dan bahan eksperimen**

a. Timbangan digital



b. Gelas ukur



c. Penyearah Listrik (*rectifier*)



d. Pemanas (*thermocontrol*)



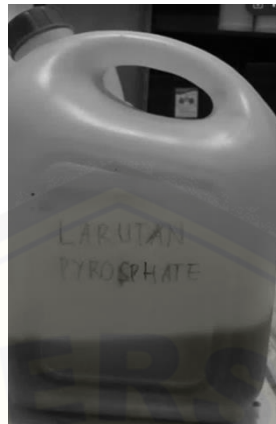
e. Bak penampung larutan



e. Larutan Aquadest



f. Larutan Nikel



g. Nikel (anoda)



i. Stopwatch

