



**PENERAPAN METODE TAGUCHI PADA PROSES *ELECTROPLATING*
TIN-PLATE DENGAN TEMBAGA TERHADAP KETEBALAN LAPISAN**

SKRIPSI

Oleh

**Hadi Nurahmad
151910101014**

**PROGRAM STUDI STRATA SATU
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**PENERAPAN METODE TAGUCHI PADA PROSES *ELECTROPLATING*
TIN-PLATE DENGAN TEMBAGA TERHADAP KETEBALAN LAPISAN**

SKRIPSI

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

Oleh

**Hadi Nurahmad
151910101014**

**PROGRAM STUDI STRATA SATU
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. Ibu tercinta Purgiati yang telah memberikan doa dan dukungan baik secara moril maupun materiil serta Bapak Kanapi yang mengajarkan semangat dan pelajaran hidup yang berharga. Terimakasih atas semua cinta, kasih sayang, perhatian, do'a, pengorbanan, motivasi dan bimbingan. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya serta membalas semua kebaikan yang telah kalian lakukan.
2. Kakak-kakakku yang selalu memberikan motivasi, doa dan dukungan, baik moril maupun materiil serta dorongan semangat dalam menempuh pendidikan.
3. Seluruh guru dari taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah mendidik dan mengarahkan pada kebaikan.
4. Saudara-saudara seperjuangan Teknik Mesin angkatan 2015.
5. Almamater Universitas Jember tercinta.

MOTTO

“Bertakwalah pada Allah maka Allah akan mengajarimu. Sesungguhnya Allah Maha Mengetahui segala sesuatu.”

(Al-Baqarah: 282)

"Keberhasilan bukanlah milik orang yang pintar, keberhasilan adalah kepunyaan mereka yang senantiasa berusaha."

(B.J Habibie)

“Hidup bukan tentang ‘aku bisa saja’ namun tentang ‘aku harus mencoba’. Jangan pikirkan kegagalan, itu adalah pelajaran.”

(Bung Karno)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hadi Nurahmad

NIM : 151910101014

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Penerapan Metode Taguchi pada Proses *Electroplating* Tin-Plate dengan Tembaga terhadap Ketebalan Lapisan” 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, 18 Desember 2019

yang menyatakan,

Hadi Nurahmad

NIM 151910101014

SKRIPSI

**PENERAPAN METODE TAGUCHI PADA PROSES *ELECTROPLATING*
TIN-PLATE DENGAN TEMBAGA TERHADAP KETEBALAN LAPISAN**

Oleh

Hadi Nurahmad

151910101014

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Hary Sutjahjono, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “**Penerapan Metode Taguchi pada Proses *Electroplating Tin-Plate* dengan Tembaga terhadap Ketebalan Lapisan**” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Rabu, 18 Desember 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Pembimbing,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Ir. Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T.
NIP. 19691201 199602 1 001

Ir. Hary Sutjahjono, S.T., M.T.
NIP. 19681205 199702 1 002

Tim Penguji,

Penguji I,

Penguji II,

Dr. Ir. R. Koekoeh K.W, S.T., M.Eng.
NIP. 19670708 199412 1 001

Ir. Robertus Sidartawan, S.T., M.T.
NIP. 19700310 199702 1 001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T.,M.T.
NIP. 19700826 199702 1 001

RINGKASAN

Penerapan Metode Taguchi pada Proses *Electroplating* Tin-plate dengan Tembaga terhadap Ketebalan Lapisan; Hadi Nurahmad, 151910101014; 2019; 72 halaman Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember.

Hubungan arus pendek disebabkan karena adanya selisih nilai konduktivitas material yang menimbulkan kenaikan suhu. Metode untuk menurunkan hambatan adalah dengan *electroplating* yang diterapkan pada komponen kelistrikan seperti steker dan *connector*. Proses *electroplating* dapat dilakukan dengan melapisi logam dengan tembaga karena memiliki konduktivitas yang lebih tinggi. Parameter yang mempengaruhi besar konduktivitas salah satunya adalah massa yang terdeposit yang diartikan sebagai ketebalan tembaga maksimum.

Besarnya massa yang mempengaruhi ketebalan maksimum perlu dilakukan penelitian dengan mencari parameter yang mempengaruhi. Tujuan penelitian ini untuk menentukan kombinasi parameter yang optimal dari proses pelapisan dengan variasi faktor kendali arus listrik (ampere), suhu larutan ($^{\circ}\text{C}$) dan waktu (menit) untuk menghasilkan ketebalan semaksimal mungkin.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kemasan dan Uji Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember. Pada bulan Maret hingga Desember 2019. Penelitian ini mengambil data nilai ketebalan yang dihasilkan dengan metode Taguchi berdasarkan rancangan dari matriks orthogonal array L9 (3^3) dengan pengulangan atau replikasi sebanyak 3 kali untuk tiap kombinasinya.

Kontribusi faktor kendali dalam menentukan ketebalan maksimum dipengaruhi oleh faktor yang signifikan yaitu arus sebesar 5 ampere, suhu larutan sebesar 50°C dan waktu pelapisan selama 20 menit. Kondisi optimal yang dihasilkan arus listrik adalah pada level 3 dengan arus (5 ampere), suhu larutan level 2 (50°C) dan waktu pelapisan pada level 3 (20 menit).

SUMMARY

Application of the Taguchi Method to the Tin-plate Electroplating Process with Copper to the Thickness of the Layer; Hadi Nurahmad, 151910101014; 2019; 72 pages of Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Short-circuit is caused by the difference in the value of the conductivity of the material which causes an increase in temperature. The method to reduce resistance is by electroplating which is applied to electrical components such as plugs and connectors. Electroplating process can be done by coating the metal with copper because it has a higher conductivity. One of the parameters that affects conductivity is deposited mass, which is defined as maximum copper thickness.

The amount of mass that affects the maximum thickness needs to be done by researching the parameters that affect it. The aim of this research is to determine the optimal parameter combination of the coating process with variations in electric current control factor (amperes), liquid temperature ($^{\circ}\text{C}$) and time (minutes) to produce the maximum thickness possible.

This research was conducted at the Laboratory of Packaging and Materials Testing, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember. In March to December 2019. This study took thickness value data generated by the Taguchi method based on the design of the orthogonal array matrix L9 (33) with repetition or replication 3 times for each combination.

The contribution of the control factor in determining the maximum thickness is influenced by a significant factor namely a current of 5 amperes, a liquid temperature of $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ and a coating time of 20 minutes. The optimal conditions generated by the electric current are at level 3 (5 amperes), liquid temperature at level 2 ($50\text{ }^{\circ}\text{C}$) and the coating time at level 3 (20 minutes).

PRAKATA

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Penerapan Metode Taguchi pada Proses *Electroplating* Tin-Plate dengan Tembaga terhadap Ketebalan Lapisan”. 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 pada semua pihak yang telah membantu selama penyusunan skripsi ini, khususnya kepada:

1. Bapak Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Bapak Hary Sutjahjono., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah memberikan masukan dan arahan dalam penyusunan skripsi ini. Serta Bapak Dr.Robertoes Koekoeh Koentjoro W S.T.,M.Eng. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Robertus Sidartawan, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan kritik dan saran sebagai acuan skripsi yang lebih baik.
2. Ibu tercinta Purgiati yang telah memberikan doa dan dukungan baik secara moril maupun materiil serta Bapak Kanapi yang mengajarkan semangat dan pelajaran hidup yang berharga.
3. Teman-teman Teknik Mesin Universitas Jember angkatan 2015.
4. 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, 18 Desember 2019

Penulis

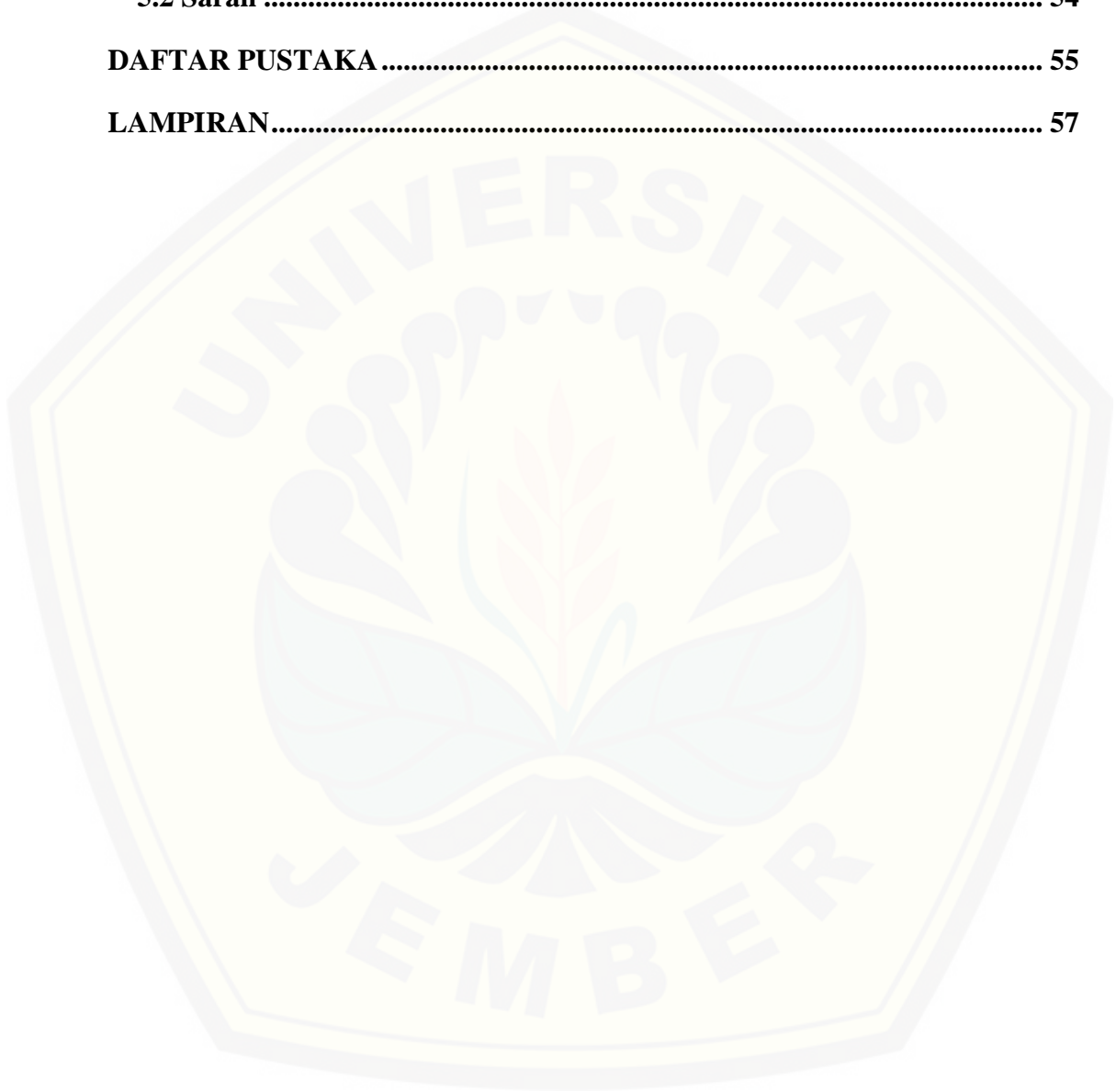
DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
PRAKATA.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat	3
1.4.1 Tujuan Penelitian	3
1.4.2 Manfaat Penelitian	3
1.5 Hipotesis	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Proses <i>Electroplating</i>	5

2.1.1 Kelebihan <i>Electroplating</i>	5
2.1.2 Reaksi elektrolisis <i>electroplating</i>	6
2.1.3 Jenis elektroda.....	6
2.2 Proses Pretreatment.....	6
2.3 Parameter Pelapisan	7
2.3.1 Rapat arus (<i>current density</i>).....	7
2.3.2 Suhu Larutan	8
2.3.3 Waktu Pelapisan.....	9
2.4 Jenis Larutan Elektrolit Tembaga	9
2.5 Metode Pembuatan <i>Electroplating</i>.....	10
2.6 Karakteristik Tinplate dan Tembaga	12
2.6.1 Tembaga.....	12
2.6.2 Tinplate	14
2.7 Metode Taguchi.....	15
2.7.1 Kelebihan metode Taguchi	15
2.7.2 Kekurangan metode Taguchi	15
2.8 Desain Eksperimen Taguchi	16
2.8.1 Tahapan perencanaan	16
2.8.2 Melaksanakan penelitian dan pengumpulan data.....	18
2.8.3 Analisa metode Taguchi.....	19
2.8.4 Interpretasi hasil	23
2.9 Penelitian Terdahulu	26
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	28
3.1 Jenis Penelitian dan Rancangan Penelitian	28
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	28

3.3 Alat dan Bahan Penelitian	28
3.3.1 Alat.....	28
3.3.2 Bahan	29
3.4 Konsep Rancangan	29
3.5 Prosedur Penelitian	29
3.6 Tahapan Penelitian	30
3.6.1 Persiapan dan pembuatan spesimen uji.....	30
3.6.2 Pembuatan larutan <i>pretreatment</i>	31
3.6.3 Proses Electroplating.....	31
3.7 Pengambilan Data	32
3.8 Variabel Penelitian	34
3.8.1 Variabel Bebas	34
3.8.2 Variabel Terikat	35
3.8.3 Variabel Kontrol.....	35
3.9 Metode Analisa	35
3.10 Diagram Alir Penelitian	39
3.11 Jadwal rencana penelitian	40
BAB 4. PEMBAHASAN	41
4.1 Data Hasil Penelitian	41
4.2 Perhitungan S/N Rasio	42
4.3 Kombinasi Variasi Optimal	43
4.4 Analisa Varian, Uji F, dan Persen Kontribusi	45
4.5 Prediski Respon Optimal	48
4.6 Eksperimen Konfirmasi	50
4.7 Pembahasan	51

4.7.1 Pengaruh faktor kendali terhadap nilai ketebalan	51
BAB 5. PENUTUP.....	54
5.1 Kesimpulan	54
5.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN.....	57



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kondisi optimum pelapisan tembaga.....	10
Tabel 2. 2 Karakteristik material tembaga.....	13
Tabel 2. 3 Spesifikasi material Tin.....	14
Tabel 2. 4 Desain faktorial L9(33).....	18
Tabel 2. 5 Rancangan data hasil eksperimen L9(33).....	19
Tabel 3. 1 Tabel kode sampel.....	34
Tabel 3. 2 Variasi penelitian pelapisan tin-plate dengan tembaga.....	34
Tabel 3. 3 Data hasil pengujian ketebalan proses electroplating.....	36
Tabel 3. 4 Hasil analisis varians dan kontribusi parameter berpengaruh.....	37
Tabel 3. 5 Jadwal rencana penelitian.....	40
Tabel 4. 1 Data hasil pengujian ketebalan lapisan.....	41
Tabel 4. 2 Data hasil S/N rasio.....	43
Tabel 4. 3 Respon rata-rata nilai S/N rasio untuk setiap faktor kendali.....	44
Tabel 4. 4 Hasil parameter ketebalan lapisan respon optimum.....	45
Tabel 4. 5 Hasil perhitungan ANOVA faktor kendali pada pelapisan.....	46
Tabel 4. 6 Kondisi hipotesa H0.....	47
Tabel 4. 7 Persen kontribusi tiap faktor kendali.....	48
Tabel 4. 8 Hasil nilai ketebalan eksperimen konfirmasi.....	50
Tabel 4. 9 Persen kontribusi tiap faktor kendali.....	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses perpindahan ion (Sumber : Modern Electroplating Fifth Edition, 2010)..... 5

Gambar 2.2 Grafik hubungan besar arus dengan tegangan electroplating tembaga (Sumber: Copper Development Company, 2016)..... 7

Gambar 2.3 Tumbukan antar partikel pada temperature rendah, (b) tumbukan antar partikel pada temperature tinggi (Sumber: Lockwood, 2014) ... 8

Gambar 2.4 Hubungan variabel suhu dengan ketebalan lapisan (Sumber: Toifur, 2018) 9

Gambar 2.5 Trafo 1 ampere (Sumber: dokumen pribadi)..... 11

Gambar 2.6 Rangkaian dioda model bridge rectifier 11

Gambar 2.7 DC step down module 5 ampere (dokumen pribadi) 11

Gambar 2.8 Hubungan ketebalan dengan hambatan listrik (Sumber: Lacy, 2011) 13

Gambar 2.9 Tin-plate lapis tembaga untuk komponen listrik/stacker (Sumber: Subagiyo, 2018) 14

Gambar 2.10 Hasil uji ketebalan dengan variasi arus dan waktu (Sumber: Darmawan dkk, 2015)..... 26

Gambar 2.11 Hasil uji ketebalan dengan variasi suhu larutan. (Sumber: Bayuseno, 2012) 27

Gambar 2.12 Hubungan variasi waktu dengan tebal lapisan electroplating Cu (Sumber: Subagio dkk, 2018) 27

Gambar 3. 1 Penampang spesimen uji29

Gambar 3. 2 Penampang spesimen uji 30

Gambar 3. 3 Penempatan spesimen dalam bak larutan..... 31

Gambar 3. 4 Letak titik pengambilan data ketebalan..... 32

Gambar 4. 1 Nilai plot rata-rata rasio S/N.44

Gambar 4. 2 Plot rata-rata percobaan eksperimen konfirmasi dan prediksi 51

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sifat listrik merupakan komponen yang harus diperhatikan dalam pemilihan material konektor. Hal ini dikarenakan 80% panas yang dihasilkan pada hubungan arus pendek disebabkan karena perbedaan sifat konduktivitas listrik yang melewati konektor, sehingga terjadi kenaikan suhu yang menyebabkan kebakaran. Konektor terbuat dari lembaran tin-plate dengan paduan baja karbon rendah dengan timah, kandungan timah menyebabkan nilai hambatannya tinggi sehingga dibutuhkan metode pelapisan untuk meningkatkan konduktivitas listrik (Nasser, 2004). Metode yang dapat digunakan adalah dengan mendepositkan tembaga pada permukaan konektor dengan metode *electroplating*. *Electroplating* merupakan suatu proses pelapisan logam dengan media aliran arus listrik *direct current* (DC) melalui penghantar yang dihubungkan dengan elektroda (anoda dan katoda). Anoda dihubungkan pada bahan pelapis, sedangkan katoda dihubungkan pada bahan yang akan dilapisi dengan media larutan elektrolit. Kualitas logam sangat dibutuhkan dalam pelapisan komponen listrik seperti steker dan konektor.

Tembaga sebagai anoda merupakan logam dengan konduktivitas listrik sebesar $4,46 \times 10^{-4}$ S/cm sampai $8,92 \times 10^{-4}$ S/cm. Pelapisan tembaga pada tin-plate diharapkan dapat meningkatkan konduktivitas konektor (Nasser, 2004). Nilai yang mempengaruhi konduktivitas listrik adalah luas penampang yang dapat ditentukan dari ketebalan lapisan. Semakin tebal lapisan yang terdeposit pada permukaan tin-plate dapat meningkatkan konduktivitas listrik. Penelitian yang pernah dilakukan menunjukkan semakin lama waktu pelapisan dapat meningkatkan ketebalan lapisan dan mengalami penurunan hambatan sebesar $5.6 \mu\Omega$ (Hischer, 2019).

Balandin dkk, (2013) Dalam penelitiannya melakukan pelapisan *electroplating* dengan kombinasi pertama yaitu arus 1 A dan waktu 5 menit, kombinasi kedua dengan arus 5 A dengan waktu 10 menit menghasilkan ketebalan 9 μm dan 25 μm terjadi peningkatan konduktivitas sebesar 16% dan

24%. Bayuseno dan Nugroho (2012) dalam penelitiannya menyatakan variasi suhu larutan sebesar 35 °C, 45 °C dan 55 °C dengan variasi waktu selama 10, 20 dan 30 menit terjadi ketebalan yang berbeda. Variasi suhu larutan sebesar 50° C dan waktu selama 30 menit mendepositkan ketebalan paling tinggi sebesar 0,323 mm. Budianto dan Setiawan (2016) dalam penelitiannya menyatakan variasi waktu pelapisan berpengaruh terhadap ketebalan lapisan dengan variasi waktu yang digunakan adalah 10, 15 dan 20 menit. Hasil penelitian menyatakan ketebalan paling tinggi pada waktu 15 menit dengan ketebalan sebesar 0.12 μm .

Banyaknya persyaratan dan parameter dalam proses *electroplating* menjelaskan bahwa pelapisan yang dilakukan sekali tanpa mempertimbangkan faktor lain akan memberikan hasil yang tidak memuaskan, sehingga dilakukan penelitian terhadap faktor-faktor yang mungkin mempengaruhi menggunakan rancangan metode Taguchi dan ANOVA. Metode Taguchi merupakan metode statistik yang digunakan untuk mengetahui dan memperbaiki pengaruh parameter terhadap kualitas produk. Tujuan Taguchi adalah untuk menekan biaya operasional dan waktu produksi tanpa menghilangkan faktor penyebab penurunan kualitas produk dari hasil analisa Taguchi akan dilakukan analisa menggunakan metode ANOVA yang bertujuan untuk mengetahui besar kontribusi tiap parameter terhadap variabel yang diamati. Dengan latar belakang yang telah dipaparkan maka penelitian ini akan dilakukan dengan variasi parameter waktu, kuat arus dan suhu proses pelapisan. Variasi variasi arus 1, 3 dan 5 ampere, variasi suhu larutan 40, 50 dan 60 °C, variasi waktu pelapisan sebesar 10, 15 dan 20 menit.

1.2 Rumusan Masalah

Ditinjau dari penjelasan dapat ditarik rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa besar pengaruh variasi parameter arus listrik, suhu larutan dan waktu yang digunakan terhadap ketebalan lapisan permukaan?
2. Berapa besar variasi arus listrik, suhu larutan dan waktu yang paling optimal terhadap ketebalan lapisan *electroplating* tin-plate dengan tembaga?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tidak membahas pengelolaan hasil limbah larutan kimia.
2. Kondisi lingkungan proses pelapisan dianggap ideal.
3. Volume larutan, besar arus dan larutan yang digunakan sama tiap pengambilan sampel.

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh arus listrik, suhu larutan dan waktu terhadap ketebalan lapisan *electroplating* tin-plate dengan tembaga.
2. Mengetahui besar variasi arus listrik, suhu larutan dan waktu yang paling optimal terhadap ketebalan lapisan *electroplating* tin-plate dengan tembaga.

1.4.2 Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi nilai optimal untuk melakukan proses pelapisan dengan metode *electroplating* kepada pihak-pihak yang membutuhkan.
2. Menambah pengetahuan dan wawasan untuk dapat dilakukan penelitian di kemudian hari dengan variasi, parameter dan metode baru untuk mendapatkan nilai yang lebih optimal.

1.5 Hipotesis

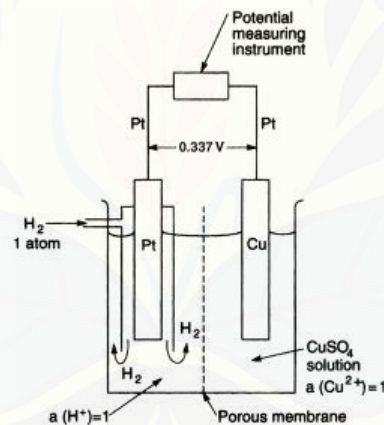
Hipotesa dari penelitian ini adalah semakin tinggi arus yang digunakan akan meningkatkan ketebalan lapisan karena ion yang terpecah dengan tingginya arus membuat ion yang terdeposit semakin banyak. Suhu larutan semakin tinggi membuat ikatan ion semakin acak dan memiliki energi aktivasi yang tinggi sehingga membuat ion tembaga saling bertabrakan dan bergerak yang membuat aliran ion dalam sistem semakin besar sehingga ion yang terdeposit semakin banyak. Semakin lama waktu pelapisan membuat ion tembaga yang terdeposit semakin banyak. Dengan menggunakan metode Taguchi dapat menentukan kombinasi arus listrik (ampere), suhu larutan ($^{\circ}\text{C}$) dan waktu pelapisan (menit) sehingga menghasilkan hasil ketebalan yang maksimum.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Electroplating

Electroplating merupakan proses pelapisan logam secara elektrolisis yang dilakukan dengan cara mencelupkan *base metal* dan pelapis kedalam larutan yang dihubungkan pada aliran listrik. Benda kerja dan material pelapis dihubungkan pada arus listrik searah melewati pelapis (anoda) menuju base metal (katoda). Prinsip *electroplating* sesuai dengan hukum Faraday yaitu:

- Zat yang terbentuk dan terbebas pada elektroda selama proses elektrolisis sebanding dengan jumlah arus listrik yang mengalir dalam larutan elektrolit.
- Unsur yang dihasilkan oleh arus listrik yang sama selama elektrolisis adalah sebanding dengan berat ekuivalen masing-masing zat tersebut.



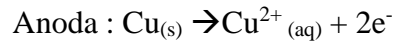
Gambar 2. 1 Proses perpindahan ion (Sumber : Paunovic , 2010)

2.1.1 Kelebihan Electroplating

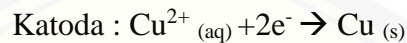
- Dapat melapisi permukaan yang sulit dijangkau.
- Pelapisan logam yang efektif dan murah.
- Pelapisan menggunakan perpindahan ion sehingga didapatkan hasil yang padat dan rata.

2.1.2 Reaksi elektrolisis *electroplating*

Ion SO_4^{2-} bergerak ke anoda menyalurkan elektron dan bereaksi dengan tembaga anoda.



Ion Cu^{2+} memiliki kelebihan muatan sehingga bergerak ke katoda, untuk tetap stabil maka elektron Cu^{2+} melapisi *base metal*.



2.1.3 Jenis elektroda

Elektroda yang digunakan dalam *electroplating* diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Grafit(C)
- b. Platina(Pt)
- c. Emas (Au).
- d. Seng (Zn)
- e. Tembaga (Cu)
- f. Perak (Ag).

2.2 Proses Pretreatment

Merupakan proses persiapan dengan tujuan untuk meningkatkan daya rekat (*adhesive*) dan menghindari cacat pelapisan. Proses *pretreatment* dibagi menjadi 2 langkah diantaranya adalah sebagai berikut:

a. Pembersihan Mekanis

Merupakan proses pembersihan dari kotoran yang nampak. Pengerjaan mekanis dibagi menjadi beberapa proses, diantaranya adalah:

- 1) Poles (*polishing*), proses penghalusan benda kerja untuk memperbaiki kondisi permukaan.
- 2) *Buffing*, proses penghalusan benda kerja dengan mesh tinggi, sehingga hasil lebih mengkilap.

b. Pembersihan Kimia

Merupakan proses untuk memisahkan kotoran pada permukaan *base metal*. Pengerjaan ini meliputi pembersihan dengan larutan basa dan larutan asam.

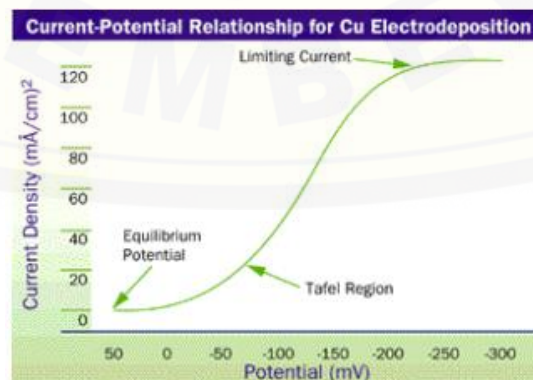
- 1) *Degrasing*, pencelupan pada larutan NaOH untuk menghilangkan kotoran minyak.
- 2) *Pickling*, untuk membersihkan dari karat menggunakan Asam Sulfat (H_2SO_4).
- 3) *Etching*, membuka pori-pori substrat dengan menggunakan asam sulfat. Proses ini dilakukan selama 3 sampai 5 menit lalu dibersihkan dengan air bersih pada 3 tempat berbeda.

2.3 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:

2.3.1 Rapat arus (*current density*)

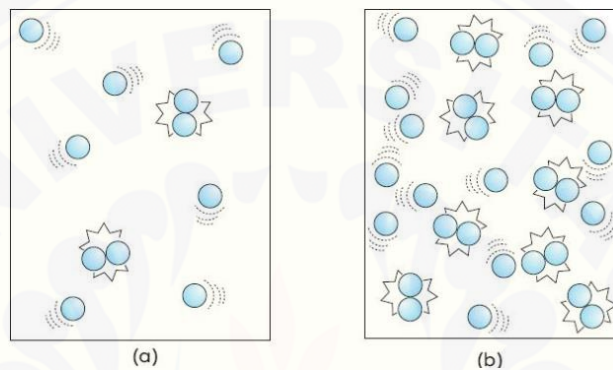
Rapat arus dibagi menjadi rapat arus katoda (*cathoda currenty*) dan rapat arus anoda (*anoda current density*). Pada proses *electroplating* rapat arus yang diperhatikan adalah pada katoda karena menunjukkan banyaknya arus listrik yang diperlukan untuk memecah atom – atom logam pada tiap satuan luas benda yang dilapisi. *Electroplating* dilakukan pada besaran arus konstan atau tegangan konstan dengan variasi yang berbeda untuk menentukan ketebalan tertentu dan sifat permukaan.



Gambar 2. 2 Grafik hubungan besar arus dengan tegangan electroplating tembaga (Sumber: Hoffman, 2016)

2.3.2 Suhu Larutan

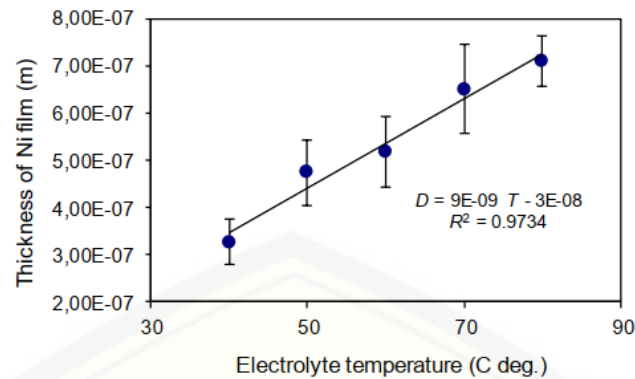
Suhu akan menaikkan sistem sehingga menyebabkan bertambahnya ukuran kristal. Hal ini diakibatkan energi dari kenaikan suhu meningkatkan energi kinetik partikel sehingga tumbukan antar partikel akan semakin tinggi dan melampaui energi pengaktifan. Energi pengaktifan yang sesuai akan menyebabkan tumbukan yang lebih banyak untuk mempercepat reaksi.



Gambar 2. 3 Tumbukan antar partikel pada temperature rendah, (b) tumbukan antar partikel pada temperature tinggi (Sumber: Lockwood, 2014)

Reaksi akan berlangsung dua kali lebih cepat jika keadaan *temperature* berada 10°C lebih tinggi. 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. Pada *temperature* tertentu terdapat molekul yang bertabrakan secara efektif dan ada yang bertabrakan secara tidak efektif atau ada reaksi yang tidak terjadi reaksi kimia. (Gupta, 2009).

Energi minimum yang digunakan untuk reaksi kimia harus sesuai, tidak terlalu rendah dan terlalu tinggi karena mempengaruhi hasil lapisan. Berikut adalah suhu optimum yang digunakan untuk *electroplating*.



Gambar 2. 4 Hubungan variabel suhu dengan ketebalan lapisan (Sumber: Toifur, 2018)

2.3.3 Waktu Pelapisan

Reaksi elektrokimia yang terjadi pada elektroda sebanding dengan jumlah muatan listrik (Q) yang melewati sel elektrokimia. Dari persamaan Hukum Faraday besarnya waktu mempengaruhi berat material yang terdeposit dan ketebalan dalam luas area benda uji.

2.4 Jenis Larutan Elektrolit Tembaga

Larutan tembaga sulfat mengandung ion-ion tembaga bervalensi dua yang mengakibatkan daya lempar rendah. Sehingga dibutuhkan arus yang tinggi dan waktu pelapisan yang lama. Kandungan SO_4 pada larutan tidak dapat digunakan untuk melapisi Fe karena akan membentuk $FeSO_4$. Sehingga dibutuhkan pelapisan dengan menggunakan tembaga sianida, larutan *pyrosphate*, atau nikel. Terdapat beberapa keuntungan pada penggunaan larutan tembaga sulfat diantaranya adalah:

- Menghasilkan lapisan tebal dengan arus yang tinggi.
- Perpindahan ion stabil.
- Tidak mengakibatkan pencemaran yang kompleks lingkungan.

Tabel 2. 1 Kondisi optimum pelapisan tembaga

Bahan dan Kondisi Operasi	Konsentrasi (g/L)				Throwing Power Tinggi
	Sulfat Tinggi	Sulfat Biasa	Untuk PCB	Komersil	
Bahan :					
- Tembaga Sulfat (CuSO ₄)	200-250	82,5	60-110	195-250	75-105
- Asam Sulfat (H ₂ SO ₄)	30-65	337,5	120-180	45-90	15-225
-Asam Klorida (HCl)	-	-	-	40-80	40-80
-Brightener	-	-	-	Seperlunya	-
Kondisi Operasi:					
-Temperature (°C)	20-50	20-50	20-40	25-35	25-35
-Rapat Arus(A/dm ²)	2-10	2-10	0,1-6	2,16	2,16-21,6
-pH	-	-	-	1	1

(Sumber: Saleh, 2010)

2.5 Metode Pembuatan *Electroplating*

Peralatan yang dibutuhkan pada proses *electroplating* diantaranya adalah sebagai berikut:

a. *Rectifier* (Penyearah Arus)

Komponen *rectifier* digunakan untuk menurunkan tegangan dan merubah arus AC menjadi DC agar dapat dilakukan proses pelapisan. Komponen *rectifier* terdiri dari trafo, power supply, rangkaian dioda model jembatan *wheatstone* dan DC *step down module*.

1. Trafo

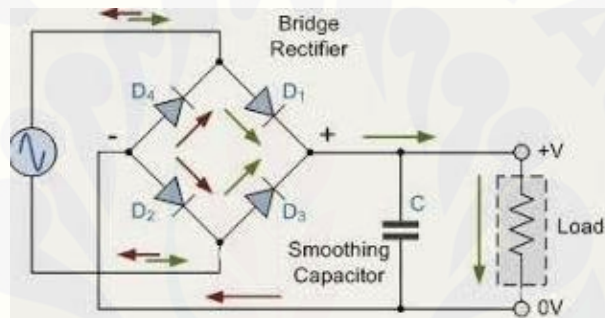
Digunakan untuk menurunkan tegangan AC dari 220 volt menjadi 12 volt.



Gambar 2. 5 Trafo 1 ampere (Sumber: dokumen pribadi)

2. Dioda model *bridge rectifier*

Digunakan untuk mengubah arus dari AC menjad DC.



Gambar 2. 6 Rangkaian dioda model bridge rectifier

3. DC *step down module*

Digunakan untuk menurunkan dan menyetabilkan arus DC pada arus yang diinginkan.



Gambar 2. 7 DC step down module 5 ampere (dokumen pribadi)

b. Bak Penampung Larutan

Digunakan untuk wadah tempat proses pelapisan. Bersifat tahan korosi, tahan panas dan tidak bereaksi terhadap proses pelapisan.

c. Rak

Digunakan untuk menggantungkan spesimen. Ukuran rak disesuaikan dengan spesimen dengan tinggi 15 cm. Spesimen dicelupkan kedalam larutan sedalam 8 cm dari permukaan larutan.

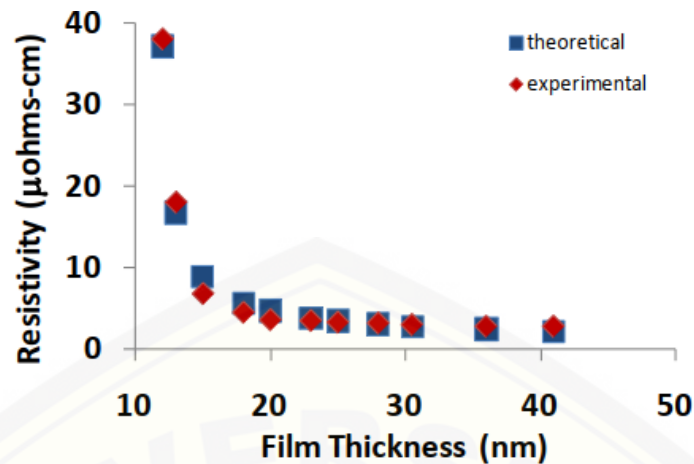
d. Pemanas (*Heater*)

Digunakan untuk memanaskan suhu larutan sesuai nilai variabel. Proses pemanasan menggunakan sistem celup di luar bak larutan, sehingga perpindahan panas secara konveksi agar tidak mempengaruhi kemurnian larutan.

2.6 Karakteristik Tinline dan Tembaga

2.6.1 Tembaga

Konduktivitas merupakan nilai yang diberikan kepada material dalam menghantarkan listrik. Tembaga adalah logam dengan konduktivitas yang tinggi, semakin besar koefisien konduktivitas material semakin tinggi daya hantarnya. Pelapisan dengan tembaga pada permukaan material menggunakan metode *electroplating* diharapkan dapat meningkatkan konduktivitas. Bertambahnya ketebalan lapisan mempengaruhi daya hantar konduktivitas hasil *electroplating*. Dalam penelitiannya menyatakan bahwa semakin tebal lapisan tembaga menurunkan hambatan, artinya pelapisan tembaga meningkatkan konduktivitas listrik.



Gambar 2. 8 Hubungan ketebalan dengan hambatan listrik (Sumber: Lacy, 2011)

Tabel 2. 2 Karakteristik material tembaga

Sifat-Sifat	Tembaga Murni
-Struktur Kristal	FCC
-Densitas (20 ⁰ C)	8,93
-Titik Cair	1083
-Koefisien mulur panas (20 ⁰ C – 100 ⁰ C) - 10 ⁻⁶ / K	17,1
-Konduktivitas panas (20 ⁰ C – 400 ⁰ C) W/(m.K)	393
-Tahanan Listrik (20 ⁰ C) 10 ⁻⁸ KΩ.m	1.673
-Modulus elastisitas GPA	128
-Modulus kekuatan GPA	46,8

(Sumber: Paunovic, 2010)

Tembaga paduan diklasifikasikan beberapa jenis berdasarkan kandungan yang terdapat dalam paduan. Paduan tembaga bertujuan untuk mendapatkan logam dengan sifat dan tujuan yang diinginkan. Tembaga Murni (*unnaled copper*) merupakan jenis tembaga dengan nilai konduktivitas paling tinggi dan banyak digunakan pada industri elektronika. Tembaga murni mengandung unsur oksigen sebesar 0,04 % dalam bentuk Cu₂O pada saat pengecoran logam. Penggunaan tembaga banyak diaplikasikan pada peralatan elektronik dan komponen kelistrikan seperti kabel listrik, *heatsink* dan terminal listrik.

Manfaat pelapisan tembaga diantaranya adalah sebagai berikut:

- Menurunkan biaya produksi dibandingkan dengan pengecoran
- Cetakan proses *electroforming*.
- Lapisan pelindung pengaruh elektromagnetik.
- Lapisan penghantar listrik.
- Lapisan untuk menahan adanya *thermal shock*.

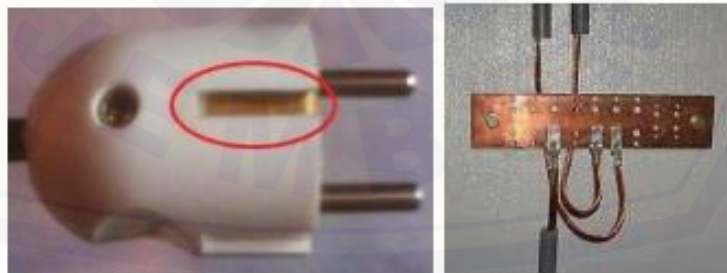
2.6.2 Tinplate

Tin-plate (ETP25) merupakan lembaran baja karbon rendah dengan ketebalan 0,15-0,5 mm yang dilapisi dengan timah dengan kadar 1,0-1,25 %. Spesifikasi tin plate ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2. 3 Spesifikasi material Tin

Elemented Symbol	Sn
Density	7,26 g/cm ³
Melting Point	232 °C
Thermal Conductivity	0,67 W/(cm*K)
Electrical Conductivity	0,0917 10 ⁶ /cm Ω
Hardness	350 Mpa
Strenght Impact	50 Gpa

(Sumber: David, 2015)



Gambar 2. 9 Tin-plate lapis tembaga untuk komponen listrik/stacker (Sumber: Subagiyo, 2018)

Connector listrik membentuk hubungan kritis antara input dan output komponen dalam sistem kelistrikan. Sehingga membutuhkan keandalan bahan terminal yang stabil untuk memberikan kinerja jangka panjang dan kondisi di

bawah lingkungan yang keras. *Electroplating* tin-plate dengan tembaga diharapkan dapat menciptakan bahan terminal listrik yang andal pada kondisi berubah-ubah. Pelapisan tin-plate dengan tembaga bertujuan untuk menurunkan hambatan pada *connector*, sehingga tidak terjadi kenaikan suhu yang dapat menyebabkan daerah sekitar *connector* mengalami kenaikan suhu. Konduktivitas dipengaruhi oleh koefisien jenis material dan tingkat kemurnian pada proses *electroplating* sehingga dengan konsep bahwa semakin tebal lapisan maka akan semakin tinggi nilai konduktivitas listrik.

2.7 Metode 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*) (Anggraini, 2015).

2.7.1 Kelebihan metode Taguchi

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

- a. Efisien karena dapat melibatkan banyak parameter 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.

2.7.2 Kekurangan metode Taguchi

Kekurangan metode Taguchi sebagai desain eksperimen 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.

2.8 Desain Eksperimen Taguchi

Desain eksperimen merupakan proses evaluasi terhadap dua faktor atau lebih secara serentak sehingga diketahui kemampuannya dalam mempengaruhi karakteristik produk (Suyanto, 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. Tahapan eksperimen Taguchi diantaranya adalah sebagai berikut:

- a) Tahapan perencanaan
- b) Tahapan pelaksanaan
- c) Tahapan analisa

2.8.1 Tahapan perencanaan

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

- a. Perumusan masalah
Menentukan parameter dan variasi yang memiliki kontribusi yang besar.
- b. Tujuan Eksperimen
Menjelaskan sebab akibat dari latar belakang permasalahan.
- c. Menentukan Variabel tak Bebas
Merupakan tujuan dilakukan penelitian. Dalam penelitian ini ditujukan untuk mendapatkan ketebalan lapisan yang paling tinggi.
- d. Identifikasi Faktor-Faktor (Variabel Bebas)
Menentukan dan menganalisa variabel yang memiliki pengaruh pada hasil ketebalan lapisan, sehingga dapat ditentukan parameter yang berpengaruh.

e. Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan

Faktor kontrol merupakan nilai yang dapat ditentukan dan dirubah nilainya. Sedangkan faktor gangguan adalah faktor yang tidak dapat ditentukan ketika dilakukan penelitian.

f. Menentukan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor

Pemilihan jumlah level untuk meningkatkan ketelitian eksperimen. Semakin banyak percobaan maka semakin teliti hasil eksperimennya, tetapi akan berdampak pada biaya eksperimen.

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:

$$DK = c (b - 1) \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

DK = Derajat Kebebasan

b = Banyak level yang diteliti

c = Banyak faktor yang diteliti

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 ortogonal merupakan keseimbangan dari faktor dan level sehingga pengaruh suatu faktor atau level tidak terpengaruh dengan faktor atau level yang lain. Bentuk umum dari matriks ortogonal adalah :

$$L_a(b^c) \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

L = Rancangan bujur sangkar latin

a= Banyak baris/eksperimen

b=Banyak Level

c=Banyak kolom atau faktor

Tabel 2. 4 Desain faktorial L9(33)

Eksperimen	Faktor		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

2.8.2 Melaksanakan penelitian dan pengumpulan data

Merupakan tahap dalam melakukan proses percobaan untuk mengumpulkan data respon dengan jumlah eksperimen dan urutan randomisasi sesuai dengan *orthogonal array* yang telah dipilih.

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 yang tidak dapat dikendalikan, seperti menurunnya daya mesin dan kelelahan operator.

Tabel 2. 5 Rancangan data hasil eksperimen L9(33)

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

2.8.3 Analisa metode Taguchi

Dalam metode Taguchi dibutuhkan data analasia dan pengolahan data untuk mengetahui faktor – faktor yang signifikan yang berpengaruh. Analisa Taguchi memiliki tahapan sebagai berikut:

a. Analisa Varian Taguchi

Merupakan metode analisa yang digunakan untuk mencari nilai dari pengaruh pada setiap faktor kendali 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 :

1. Jumlah Kuadrat Faktor A (SS_A)

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{KA} \left(\frac{A_i^2}{n_{Ai}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

SS_A = Jumlah Kuadrat Faktor A (Besar Arus)

A_i = Level ke i dari faktor A

n_{Ai} = Jumlah eksperimen level ke i dari faktor A

T = Jumlah data keseluruhan

N = Jumlah total eksperimen

2. Jumlah Kuadrat Faktor B (SS_B)

$$SS_B = \left[\sum_{i=1}^{KB} \left(\frac{B_i^2}{n_{Bi}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

SS_B = Jumlah Kuadrat Faktor B (Suhu Larutan)

B_i = Level ke i dari faktor B

N_{Bi} = Jumlah eksperimen level ke i dari faktor B

T = Jumlah data keseluruhan

N = Jumlah total eksperimen

3. Jumlah Kuadrat Faktor C (SS_C)

$$SS_C = \left[\sum_{i=1}^{KC} \left(\frac{C_i^2}{n_{Ci}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

SS_C = Jumlah Kuadrat Faktor C (Waktu Pelapisan)

C_i = Level ke i dari faktor C

N_{Ci} = Jumlah eksperimen level ke i dari faktor C

T = Jumlah data keseluruhan

N = Jumlah total eksperimen

4. Derajat kebebasan (DK)

$$DK = c (b - 1) \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

DK = Derajat Kebebasan

b = Banyak level yang diteliti

c = Banyak faktor yang diteliti

5. Rata-rata Kuadrat Faktor A

$$MS_A = \frac{SS_A}{DK_A} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

 MS_A = Rata-rata kuadrat faktor A SS_A = Jumlah kuadrat faktor A DK_A = Derajat Kebebasan faktor A

6. Rata-rata Kuadrat Faktor B

$$MS_B = \frac{SS_B}{DK_B} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

 MS_B = Rata-rata kuadrat faktor B SS_B = Jumlah kuadrat faktor B DK_B = Derajat Kebebasan faktor B

7. Rata-rata Kuadrat Faktor C

$$MS_C = \frac{SS_C}{DK_C} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

 MS_C = Rata-rata kuadrat faktor C SS_C = Jumlah kuadrat faktor C DK_C = Derajat Kebebasan faktor C8. Jumlah Kuadrat Total (SS_T)

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

 SS_T = Jumlah kuadrat total y_i = Nilai yang diperoleh dari eksperimen \bar{y} = Rata-rata total data yang diperoleh dari eksperimen

9. Jumlah kuadrat karena rata-rata (SS_m)

$$SS_m = N \cdot Y'^2 \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

SS_m = Jumlah kuadrat karena rata-rata

N = Jumlah total eksperimen

Y' = rata rata total dari seluruh eksperimen

10. Jumlah kuadrat error (SS_e)

$$SS_{\text{faktor}} = SS_A + SS_B + SS_C$$

$$SS_e = SS_T - SS_m - SS_{\text{faktor}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

SS_{faktor} = Jumlah kuadrat seluruh faktor

SS_e = Jumlah kuadrat error

b. Uji Hipotesa F

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

$$F_{\text{sumber}} = \frac{\text{Variansi karena perlakuan} + \text{Variansi karena error}}{\text{variansi karena error}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Nilai F_{sumber} yang diperoleh dibandingkan dengan nilai F_{tabel} pada harga α tertentu dengan derajat kebebasan $[(k-1).(N-k)]$. Dimana k adalah jumlah level dari faktor sedangkan N adalah jumlah total eksperimen.

H_0 : Tidak ada pengaruh dari variasi penelitian yang digunakan ($\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_i$).

H_1 : Ada pengaruh dari variasi penelitian yang digunakan, setidaknya ada μ_i yang tidak sama.

Disaat $F_{\text{hitung}} < F_{\text{sumber}}$ maka H_0 diterima (tidak ada pengaruh dari variasi penelitian yang dilakukan). Sedangkan, jika $F_{\text{hitung}} > F_{\text{sumber}}$ maka H_0 ditolak (ada pengaruh dari variasi penelitian yang dilakukan).

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

Digunakan untuk mencari faktor yang berpengaruh pada variasi sering disebut sebagai *signal* dan parameter memberikan pengaruh yang kecil hingga disebut

dengan *noise*. Jika tujuan untuk meningkatkan respon, maka mencari nilai S/N ratio yang tertinggi dalam setiap level. Terdapat tiga jenis S/N Ratio yang digunakan, diantaranya adalah sebagai berikut:

1) *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:

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right) \dots \dots \dots (2.14)$$

2) *Large the Better*

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

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right) \dots \dots \dots (2.15)$$

3) *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:

$$S/N = -10 \log V_e$$

$$S/N = -10 \log \left(\frac{V_m - V_e}{n V_e} \right) \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana :

n = jumlah data

i = data respon pengukuran

s² = varian

n = jumlah pengulangan dari setiap kombinasi

X_i = nilai dari kombinasi ke – n

\bar{X} = nilai rata-rata dari setiap kombinasi

2.8.4 Interpretasi hasil

Interpretasi yang digunakan untuk menganalisa hasil eksperimen menggunakan analisa varians adalah sebagai berikut:

a. Persen Kontribusi

Merupakan fungsi jumlah kuadrat untuk nilai tiap faktor terhadap total variansi yang diteliti dari jumlah kuadrat (SS) dari masing masing faktor yang signifikan

$$\rho = \frac{SS'_{faktor}}{SS_T} \times 100\% \dots \dots \dots (2.17)$$

$$\rho_A = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\% \quad SS'_A = SS_A - MS_e(DK_A)$$

$$\rho_B = \frac{SS'_B}{SS_T} \times 100\% \quad SS'_B = SS_B - MS_e(DK_B)$$

$$\rho_C = \frac{SS'_C}{SS_T} \times 100\% \quad SS'_C = SS_C - MS_e(DK_C)$$

Dimana :

ρ = Persen kontribusi

ρ_A = Persen kontribusi pada faktor A

ρ_B = Persen kontribusi pada faktor B

ρ_C = Persen kontribusi pada faktor C

SS_A = Jumlah kuadrat deviasi pada faktor A

SS_B = Jumlah kuadrat deviasi pada faktor B

SS_C = Jumlah kuadrat deviasi pada faktor C

SS'_A = Jumlah kuadrat sesungguhnya pada faktor A

SS'_B = Jumlah kuadrat sesungguhnya pada faktor B

SS'_C = Jumlah kuadrat sesungguhnya pada faktor C

Jika nilai $\rho \leq 15\%$ maka ada faktor yang berpengaruh terabaikan. Sedangkan $\rho \geq 50\%$ maka terdapat faktor berpengaruh yang terabaikan dan error yang hadir terlalu besar.

b. Interval Kepercayaan

Merupakan perhitungan respon terhadap pengaruh faktor pada penggunaan data konsentrisitas. Pada metode Taguchi interval kepercayaan dibagi menjadi tiga jenis. Berikut interval kepercayaan pada metode Taguchi:

1) Level faktor (CI_1):

$$CI_1 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;V_e}MS_e}{n}} \dots\dots\dots(2.18)$$

$$\mu_{ik} = \bar{i}_k \pm CI_1$$

$$\bar{i}_k - CI_1 \leq \mu_{ik} \leq \bar{i}_k + CI_1$$

Dimana:

$F_{\alpha;1;V_e}$ = Rasio F

α = Resiko

V_1 = 1

V_e = Derajat kebebasan *error*

MS_e = Rata-rata kuadrat *error*

n = Jumlah yang diuji pada kondisi tertentu

μ_{Ak} = Dugaan rata-rata faktor i pada level ke k

\bar{i}_k = Rata-rata faktor i pada level k

k = Level faktor (1,2...)

2) Interval kepercayaan pada kondisi perlakuan yang dapat diprediksi (CI_2)

$$CI_2 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;V_e}MS_e}{n_{eff}}} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + (\text{Jumlah DK yang berhubungan dengan faktor } i)}$$

Dimana :

N = Jumlah total eksperimen

n_{eff} = Jumlah pengulangan efektif

3) Interval kepercayaan untuk memprediksi eksperimen konfirmasi (CI_3)

Digunakan untuk verifikasi bahwa rata-rata yang ditaksir untuk faktor dan level yang dipilih dari eksperimen matriks ortogonal adalah valid.

$$CI_3 = \sqrt{F_{\alpha;1;V_e}MS_e \left[\left(\frac{1}{n_{eff}} \right) + \left(\frac{1}{r} \right) \right]} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana :

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

V_2 = Derajat bebas varian kesalahan *pooling*

2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan untuk menentukan variabel dan parameter yang diteliti. Pada penelitian ini menggunakan 3 parameter yang mempengaruhi hasil ketebalan lapisan, diantaranya adalah sebagai berikut :

a. Pengaruh arus terhadap ketebalan lapisan

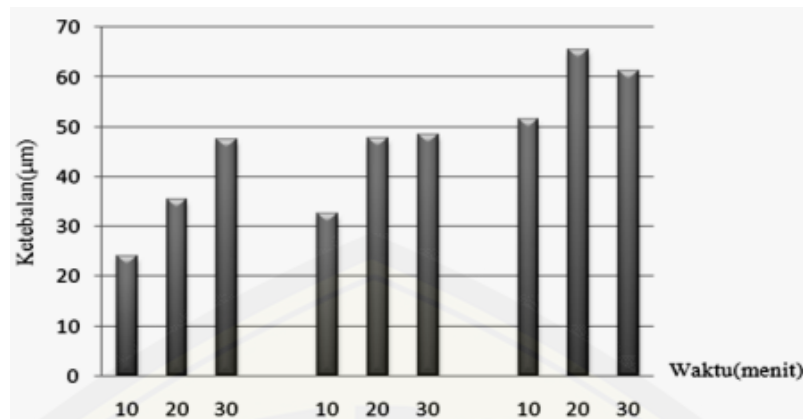
Pada penelitian yang dilakukan (Darmawan dkk, 2015) menggunakan arus sebesar 17,8 A, 22,7 A dan 27,3 A dengan variasi waktu yang sebesar 5, 10 dan 15 menit. Dimana nilai ketebalan tertinggi dengan kuat arus sebesar 27,3 A dan waktu 15 menit adalah 0,483 mm menggunakan pengujian mikroskop dengan perbesaran 400x. Berikut gambar grafik uji ketebalan yang ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Hasil uji ketebalan dengan variasi arus dan waktu (Sumber: Darmawan dkk, 2015)

b. Pengaruh suhu terhadap ketebalan lapisan

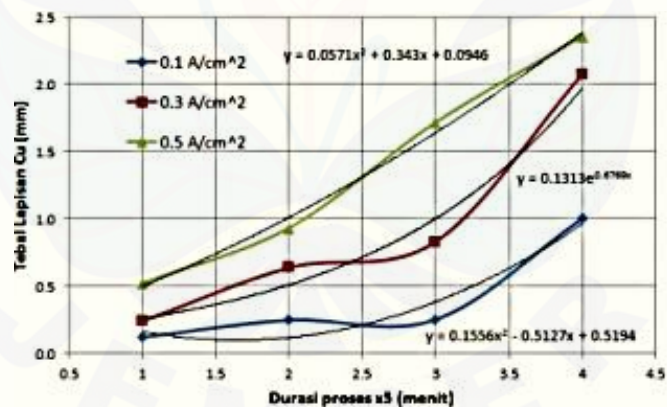
Pada penelitian yang dilakukan (Bayuseno, 2012) dengan variasi suhu 45, 55, dan 65 °C dengan variasi waktu sebesar 10, 20 dan 30 menit. Menghasilkan ketebalan tertinggi pada suhu 55°C dan waktu selama 20 menit sebesar 65µm. Ketebalan dengan nilai terendah pada suhu 45°C dan waktu selama 10 menit sebesar 23 µm. Berikut gambar grafik uji ketebalan pengaruh suhu yang ditunjukkan pada gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Hasil uji ketebalan dengan variasi suhu larutan. (Sumber: Bayuseno, 2012)

c. Pengaruh waktu terhadap ketebalan lapisan

Pada penelitian yang dilakukan (Subagiyo dkk, 2018) dengan variasi waktu sebesar 5, 10, 15 dan 20 menit dengan variasi arus sebesar 1.1, 0.3 dan 0.5 menghasilkan ketebalan maksimum pada waktu 20 menit dan arus sebesar 0.5 ampere. Sedangkan, ketebalan minimum terjadi pada arus sebesar 0,1 ampere dan waktu selama 5 menit.



Gambar 2. 12 Hubungan variasi waktu dengan tebal lapisan electroplating Cu (Sumber: Subagiyo dkk, 2018)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian dan Rancangan Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah ekperimental analisa untuk mengetahui pengaruh variasi pada proses *electroplating* tambaga terhadap Tin-plate (TP25). Rancangan penelitian menggunakan penelitian faktorial dimana penelitian ini berdasarkan variasi yang dipilih.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Kemasan Fakultas Teknik dan Laboratorium Fisika Dasar Fakultas MIPA Jurusan Fisika Universitas Jember. Kegiatan ini meliputi pengadaan bahan pengukuran spesimen, proses pelapisan, pengujian ketebalan lapisan permukaan. Proses penelitian dilakukan pada bulan Januari sampai dengan Mei 2019.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

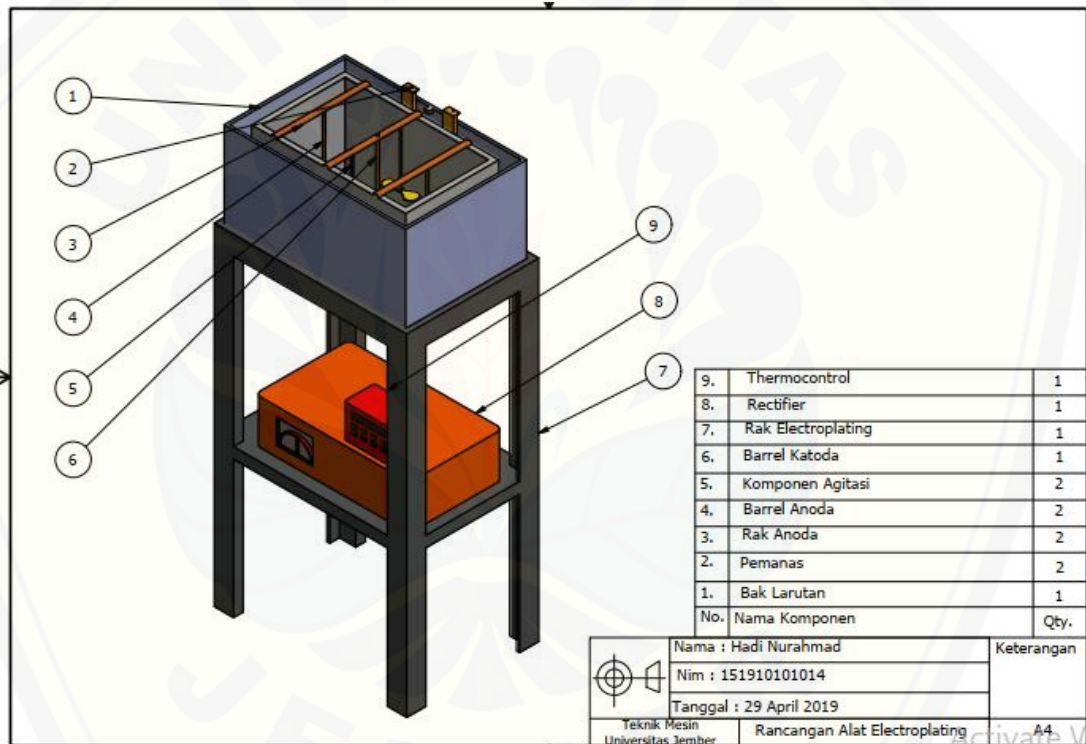
- | | |
|--|-------------------------------------|
| a. Timbangan digital | j. Barrel |
| b. (<i>Microscope</i> Olympus BX 41M 33M (UMSSP 4)) | k. Gerinda |
| c. Bak penampung | l. Bor tangan |
| d. Rectifier | m. Pemanas (<i>Thermocontrol</i>) |
| e. Gelas ukur | n. Capit buaya |
| f. Sikat kawat | o. Sarung tangan dan Masker |
| g. Kamera | p. <i>Stopwatch</i> |
| h. Gergaji besi | q. Pipet penghisap vakum |
| i. Bak penampung larutan pembersih | |

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Anoda tembaga
- Tin-plate
- Larutan *phyrhosphate*.
- Aquades
- Larutan asam

3.4 Konsep Rancangan



Gambar 3. 1 Penampang spesimen uji

3.5 Prosedur Penelitian

Tahap penelitian pelapisan *electroplating* adalah sebagai berikut:

- Mempersiapkan alat dan bahan.
- Memotong Tin-plate sesuai dengan dimensi yang telah direncanakan 27 buah.
- Membersihkan Tin-plate secara mekanis.
- Membersihkan dengan larutan asam (*pickling*).

- e. Membuat larutan *phryosphate*.
- f. Mengatur arus, suhu dan waktu yang telah ditetapkan.
- g. Memasukkan spesimen kedalam bak berisi larutan *phryosphate*.
- h. Pengujian ketebalan menggunakan mikroskop dengan perbesara 50x (Olympus BX 41M 33M (UMSSP 4)).
- i. Analisa perbedaan ketebalan dengan metode ANOVA dan taguchi.
- j. Memutuskan kesimpulan dari ekperimen yang dilakukan.

3.6 Tahapan 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 Tin-plate. Persiapan yang dilakukan yaitu dengan membuat spesimen uji sesuai dengan dimensi yang ditentukan

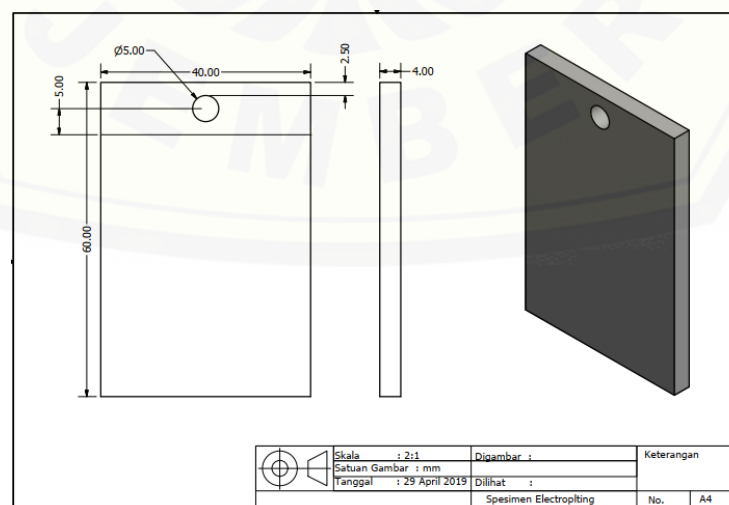
Dimensi spesimen sebagai berikut:

Panjang spesimen = 40 mm

Tebal spesimen = 0.5 mm

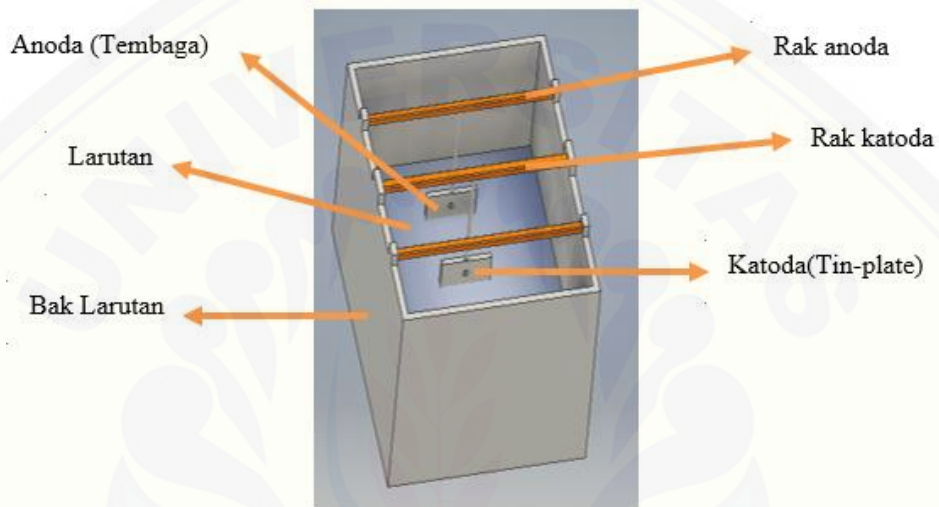
Tinggi spesimen = 60 mm

Diameter lubang (kait)= 5 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 dilakukan pengeboran dibor dengan kedalaman 5 sampai 8 cm dari permukaan larutan. Jarak antara anoda dengan spesimen sejauh 5 cm dan jarak antara anoda dengan dinding sejauh 5 cm.



Gambar 3. 3 Penempatan spesimen dalam bak larutan

3.6.2 Pembuatan larutan *pretreatment*

Larutan *pretreatment* digunakan untuk membersihkan spesimen dari kotoran dan bahan kimia.

- Perendaman dengan larutan basa (*Degreasing*) selama 5 sampai 15 menit pada suhu ruangan.
- Pembilasan dengan air.
- Perendaman larutan asam (*Pickling*) selama 4 menit.
- Pembilasan dengan air.

3.6.3 Proses *Electroplating*

Proses pelapisan *electroplating* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

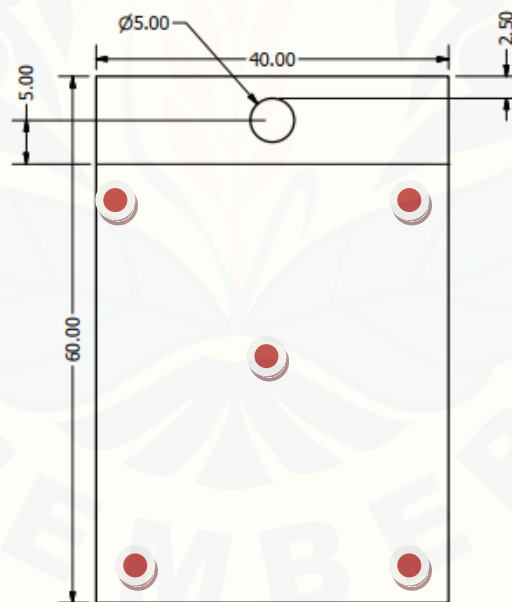
- Memasukkan spesimen ke dalam bak *electroplating*.
- Memanaskan larutan dengan variasi suhu larutan.
- Menyalakan *rectifier* dengan variasi arus.
- Memasukkan spesimen ke dalam larutan dengan variasi waktu pelapisan.

3.6.4 Hasil Pengujian

- Pengambilan data sesuai dengan rancangan *Orthogonal Array* pada Metode Taguchi.
- Pengambilan data mengambil 5 titik pada tiap sampel (ASTM B-487 – 85).
- Pengujian ketebalan dengan mikroskop perbesaran 50x (Olympus BX 41M 33M (UMSSP 4)).

3.7 Pengambilan Data

Pengujian ketebalan lapisan menggunakan Mikroskop optical dengan perbesaran 50x tipe (Olympus BX 41M 33M (UMSSP 4)) (Lampiran 1). Standart preparasi menggunakan ASTM B-487 – 85 (*Reapproved 2013*) *Standard Test Method for Measurement of Metal and Oxide Coating Thickness by Microscopical Examination of Cross Section*.



Gambar 3. 4 Letak titik pengambilan data ketebalan

Langkah langkah proses pengujian ketebalan adalah sebagai berikut:

a. Preparasi spesimen

- 1) Proses *mounting* digunakan untuk mencegah ketidakrataan sisi yang akan dilakukan pengujian. Sehingga permukaan harus dilapisi untuk menutup ruang antara lapisan dengan bagian *microscope* menggunakan resin.
- 2) Proses *grinding* dan *polesing* untuk menjaga permukaan penampang agar tegak lurus ke lapisan. Waktu dan tekanan harus dipertahankan agar batas benda uji dapat mencapai ketebalan 10 μm .
- 3) Proses *grinding* spesimen uji pada kertas abrasif yang sesuai dan menggunakan pelumasan air. Memberikan tekanan minimum untuk menghindari *bevelling* permukaan. *Grinding* awal menggunakan kertas 100 atau 180 *grade* abrasif, kemudian menggunakan 240 atau 500 *grade*, dan terakhir menggunakan 600 *grade* dengan waktu masing masing 30 hingga 40 detik .
- 4) *Etching* digunakan untuk menghilangkan bekas proses *polesing* logam dan untuk memperlihatkan garis halus pada batas lapisan.

b. Prosedur pengujian ketebalan

- 1) Pengujian dilakukan pada mikroskop jenis fillar atau *micrometer eyepiece* dengan pengamatan pada lapisan *coating* dengan *base metal*.
- 2) Pengujian dilakukan pada 5 titik berbeda pada satu sisi yang ditentukan.
- 3) Pengujian mikrometer dikalibrasi sebelum dan sesudah pengukuran.
- 4) Pengamatan pada satu titik dilakukan dua kali.
- 5) Hasil yang berbeda pada dua kali pengujian diambil yang lebih besar.
- 6) Faktor eksternal yang dapat mempengaruhi hasil pengamatan seperti sumber cahaya dan gerakan selama pengukuran dapat diminimalkan dengan melakukan pengamatan dengan cepat dan mengukur setiap interval dua kali, sekali dari kiri ke kanan dan dari kanan ke kiri.
- 7) *Limit of resolution*, merupakan jarak minimum yang harus dipisahkan antara spesimen dengan lubang pengamatan untuk menentukan perbesaran yang diinginkan dengan hasil tampilan yang optimal.
- 8) Perbesaran maksimum 100 x NA.

Tabel 3. 1 Tabel kode sampel

No	Faktor Kendali		
	Level A arus	Level B suhu	Level C waktu
1	1	40	5
2	1	50	10
3	1	60	20
4	3	40	10
5	3	50	20
6	3	60	20
7	5	40	20
8	5	50	5
9	5	60	10

3.8 Variabel Penelitian

3.8.1 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. 2 Variasi penelitian pelapisan tin-plate dengan tembaga

Faktor Kendali	Parameter	Level bawah	Level tengah	Level atas
A	Arus	1 ampere	3 ampere	5 ampere
B	Suhu	40 °C	50 °C	60 °C
C	Waktu	5 menit	10 menit	20 menit

3.8.2 Variabel Terikat

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

3.8.3 Variabel Kontrol

Merupakan variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan sehingga variabel lain tidak terpengaruh oleh faktor dari luar. Dalam penelitian ini variabel kontrol nya adalah voltase 12 volt, jarak katoda dan anoda 5 cm, katoda tin plate dan anoda tembaga.

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 besar ketebalan dengan nilai konduktivitas. Besar atau kecilnya nilai konduktivitas ditentukan oleh ketebalan lapisan tembaga.

b. Pengambilan Data

Data diambil dari desain orthogonal array L9(3³) yang telah direncanakan dengan pengulangan sebanyak tiga kali setiap kombinasi.

Pengambilan data diambil berdasarkan rancangan *orthogonal array* dari rancangan metode taguchi yang ditunjukkan pada tabel 3.3 dibawah ini.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

- a. Ketebalan paling tinggi dihasilkan pada level 3 dengan arus sebesar 5 ampere dengan persentase kontribusi 61,0684%, suhu larutan pada level 2 sebesar 50 °C dengan persentase kontribusi sebesar 11,2702%, lama proses pelapisan menghasilkan ketebalan paling tinggi pada level 3 selama 20 menit dengan persentase kontribusi yang dihasilkan sebesar 2,971%.
- b. Faktor kendali paling optimal yang didapatkan pada arus level 3 (5 ampere), suhu larutan pada level 2 (50 °C) dan waktu pelapisan pada level 3 (20 menit). Nilai ketebalan optimal berdasarkan kombinasi rata-rata nilai S/N rasio yang didapatkan dari perhitungan eksperimen konfirmasi sebesar 44,184 dengan ketebalan sebesar 161,897 μm .

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya untuk mendapatkan hasil pelapisan yang lebih baik diantaranya adalah sebagai berikut:

1. *Electroplating* berhubungan dengan tingkat kemurnian material tembaga dan larutan *phyrhosphate*, sehingga menjaga kemurnian larutan sangat dibutuhkan seperti sistem agitasi dan filter. Melakukan penelitian umur pakai larutan sehingga tidak sampai mengalami kejenuhan akibat ion pelapisan yang tidak menempel.
2. Menjaga keakuratan parameter arus dan suhu dengan sistem kontrol yang lebih baik
3. Melanjutkan penelitian dengan parameter yang berbeda untuk mendapatkan kombinasi parameter yang lebih variatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, D., dan K. Shanty. 2015. Aplikasi Metode Taguchi Untuk Menurunkan Tingkat Kecacatan. *Jurnal Teknik Industri*: pp 1-9.
- ASTM. 2013. *Standart Test Method for Measurement of Metal and Oxide Coating Thickness by Microscopical Examination of Cross Section*. American Society for Testing and Material. Philadelphia, PA: ASTM.
- Balandin, A. 2013. Thermal properties of graphene and multilayer graphene: Applications in thermal interface materials. *Solid State Commun.* 152, 1331–1340.
- Bayuseno., dan S. Nugroho. 2018. Pengaruh Variasi Temperature Electroplating Terhadap Ketebalan Lapisan Nikel Baja St 37. *Jurnal Rotasi* v(1): pp 1-6.
- Budiyanto, D. A., Setiawan, H. Supriadi, dan K. Ridhuan. 2010. Pengaruh Jarak Anoda-Katoda pada Proses Elektroplating Tembaga terhadap Ketebalan Lapisan dan Efisiensi Katoda Baja AISI 1020. *Turbo*, Vol. 5, No. 1, 2016, pp.21-29.
- Darmawan. 2015. Pengaruh Variasi Kuat Arus Listrik dan Waktu Proses Electroplating Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan dan Ketebalan Lapisan Pada Baja Karbon Rendah Dengan Krom, *Jurnal Dhamika Teknik Mesin*. 5 (2) : 1-8.
- David, C. 2015. Efficient Determination of Copper Electroplating Chemistry Additives using Advanced Neural Network Algorithms. *Disertasi*. Auburn: Auburn University.
- Gupta, T. 2009. *Copper Interconnrct Technology*. Watertown : Springer.
- Hischer, Y. 2019. Influence of Copper-Sided Tin Coating on the Weldability and Formation of Friction Stir Welded Aluminum-Copper-Joints. *Metals*. vol 9 (179) : 1-15.
- Hoffman, B. 2016. Theoretical Benefits Of Powder-Coating Based Insulation Layers Regarding Copper Fill Factor In Electric Drives. *Electrical Insulation Conference*. 1 : 1-5.

- Lacy, F. 2011. Developing a theoretical relationship between electrical resistivity, temperature, and film thickness for conductors. *Nanoscale Research Letter*. 6 (636) : 1-14.
- Lockwood, D. J. 2014. *Copper Electrodeposition for Nanofabrication of Electronic Devices*. Vol 71. New York : Springer Science Business Media.
- Nasser, K. 2006. *Electroplating Basic principles, processes and practice*. 5th ed. Berlin: Elsevier Ltd.
- Noviyana, R. 2017. Pengaruh Rapat Arus Dan Waktu Elektroplating Cu-Mn Terhadap Laju Korosi Baja Aisi 1020 Dalam Medium Korosif Nacl 3%. *Skripsi*. Lampung: Universitas Lampung.
- Paunovic, M. 2010. *Modern Electroplating. Fifth edition*. New Jersey: John Wiley & sons Inc.
- Saleh, A., 2014. *Teknik Pelapisan Logam dengan Cara Listrik*. Bandung: Yrama Widya.
- Saefulloh, I. 2017. Studi Analisa Kuat Arus Proses Elektroplating Dengan Pelapis Nikel Cobalt Terhadap Kekerasan, Ketahanan Korosi, Dan Penambahan Tebal Baja Karbon Rendah St 41. *Flywheel : Jurnal Teknik Mesin UNTIRTA*. Vol 3 (2): 42-47.
- Subagyo., H. Syamsul dan B. P. Haris. 2018. Elektroplating tembaga pada baja karbon rendah. *Prosiding SNTT*. vol 4 (1) : 1-8.
- Suyamto. 2011. Rancang Bangun dan Analisa Alat Pelapisan Tembaga Menggunakan Teknik Elektroplating. *Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir VII*. ISSN 1978-0176.
- Toifur, M., Y. Yuningsih dan A. Khusnani. 2018. Microstructure, thickness and sheet resistivity of Cu/Ni thin film produced by electroplating technique on the variation of electrolyte temperature. *Journal of Physics: Conf. Series* 997. 2(1) : 1-11.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data hasil ketebalan *electroplating*

Komb.	Faktor Kendali			Ketebalan (μm)		
	A arus	B suhu	C waktu	I	II	III
1	1	40	5	155,01	157,30	157,27
2	1	50	10	155,63	158,73	157,26
3	1	60	20	156,63	156,27	157,27
4	3	40	10	156,28	157,89	158,28
5	3	50	20	160,28	158,28	157,29
6	3	60	5	156,18	156,19	159,11
7	5	40	20	160,24	158,13	156,15
8	5	50	5	157,16	159,30	159,28
9	5	60	10	157,29	157,63	158,28

Lampiran 5 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 2 Alat dan bahan eksperimen

a. Timbangan digital



b. Gelas ukur



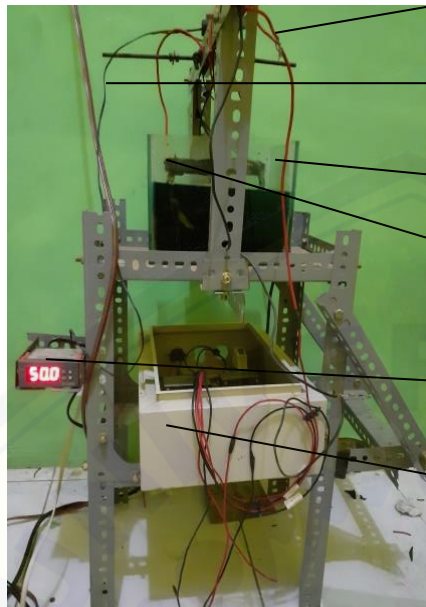
c. Penyearah Listrik (*rectifier*)



d. Pemanas (*thermocontrol*)



e. Bak penampung larutan



kabel (+) anoda

kabel (-) katoda

Bak penampung larutan

Pemanas

thermocontrol

Penyearah *rectifier*

f. Larutan Aquadest



g. Pembuatan larutan (*Phyrosphate* dan larutan asam)



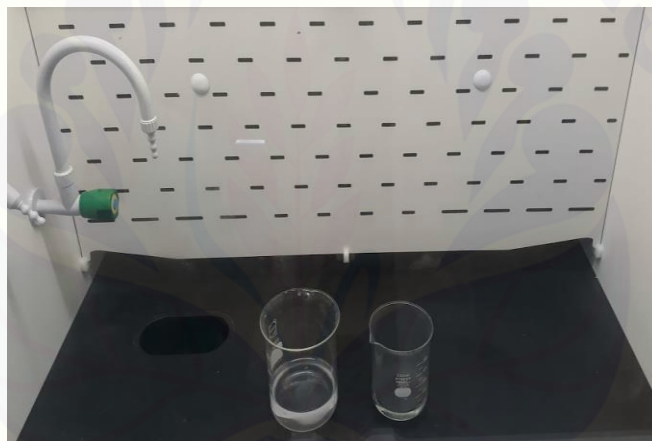
Penimbangan berat Cu



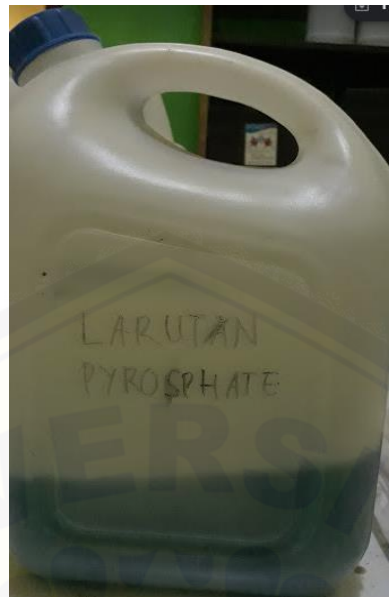
Pelarutan Cu menggunakan aquades



Pembuatan larutan asam



Mereaksi kan larutan asam dengan Cu



Hasil campuran Cu dengan larutan asam

h. Tembaga (anoda)



i. Tin-plate (katoda)



j. Stopwatch



k. Microscope (Olympus BX 41M 33M (UMSSP 4)).



Lampiran 3 Proses pelapisan *electroplating*



Pemotongan spesimen



Proses pembersihan dari kotoran



Pembersihan menggunakan larutan asam



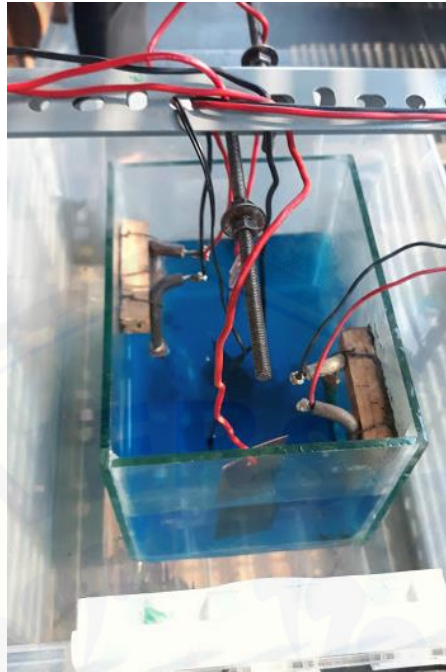
Proses mengeringkan spesimen



Setting variasi suhu pelapisan



Reaksi larutan CuSO_4 dengan elektroda



Penempatan anoda dan katoda pada bak pelapisan



Hasil *electroplating* tembaga pada tin-plate



Hasil pelapisan eksperimen konfirmasi



Preparasi sebelum pengujian mikroskop

Lampiran 4 Hasil Analisa Taguchi dengan software MINITAB 19

Design Summary

Taguchi L9(3^3)
 Array
 Factors: 3
 Runs: 9

Linear Model Analysis: SN ratios versus Arus; Suhu; Waktu

Estimated Model Coefficients for SN ratios

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	43,9493	0,002024	21710,018	0,000
Arus 1	-0,0417	0,002863	-14,581	0,005
Arus 3	0,0097	0,002863	3,397	0,077
Suhu 40	-0,0103	0,002863	-3,586	0,070
Suhu 50	0,0306	0,002863	10,672	0,009
Waktu 5	-0,0087	0,002863	-3,040	0,093
Waktu 10	-0,0055	0,002863	-1,915	0,196

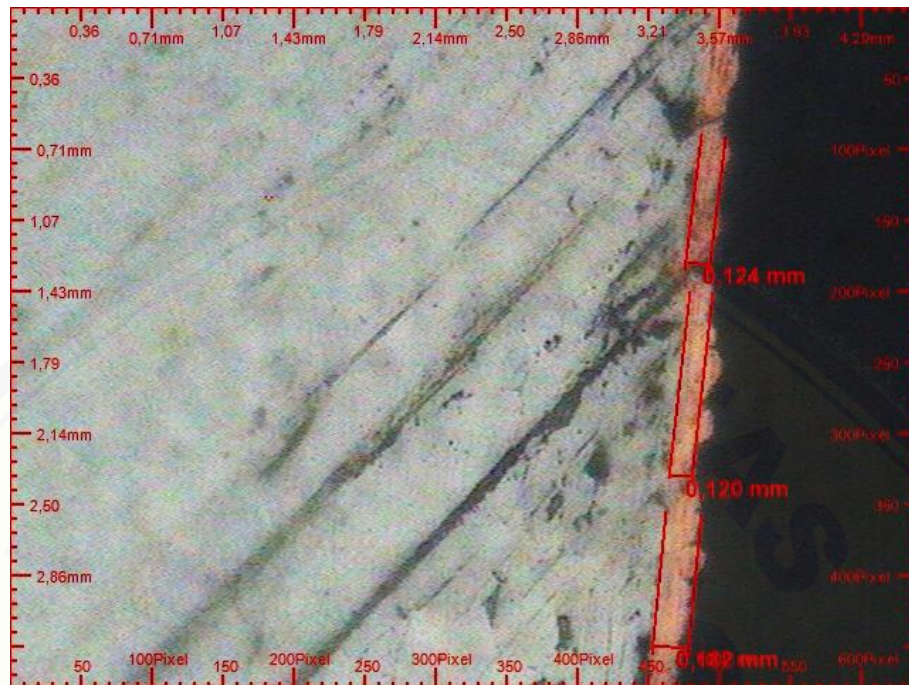
Model Summary

S	R-Sq	R-Sq(adj)
0,0061	99,47%	97,88%

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Arus	2	0,008587	0,008587	0,004293	116,40	0,009
Suhu	2	0,004352	0,004352	0,002176	58,99	0,017
Waktu	2	0,000921	0,000921	0,000461	12,49	0,074
Residual Error	2	0,000074	0,000074	0,000037		
Total	8	0,013933				

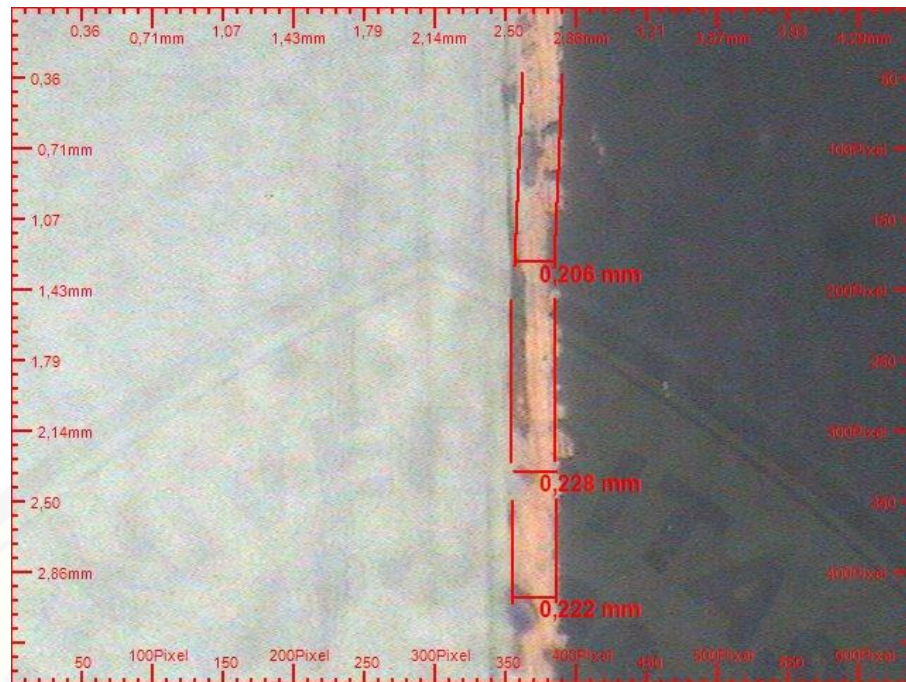
Lampiran 5 Hasil Pengujian Ketebalan dengan Mikroskop (Olympus BX 41M 33M (UMSSP 4)).



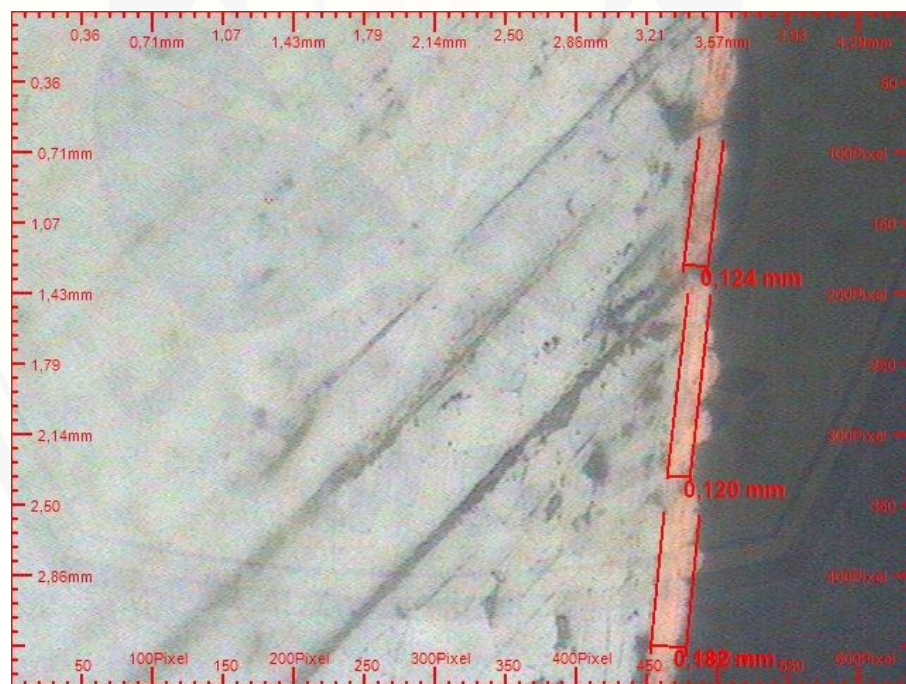
Ketebalan rata rata sebesar 165,83 μm



Ketebalan rata rata sebesar 158,8 μm



Ketebalan rata rata 160,9 μm



Ketebalan rata rata sebesar 158,28 μm