



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 184834

PENGARUH VOLTASE DAN LAPISAN DASAR TEMBAGA NIKEL TERHADAP KETEBALAN, KELEKATAN, DAN KEKILAPAN PERMUKAAN PRODUK ELEKTROPLATING KUNINGAN

NELLA MAURETHA
NRP 0251154000020

Dosen Pembimbing
Prof.Dr.Ir.Sulistijono,DEA
Budi Agung Kurniawan,S.T., M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - TL184834

**PENGARUH VOLTASE DAN LAPISAN DASAR
TEMBAGA NIKEL TERHADAP KETEBALAN,
KELEKATAN, DAN KEKILAPAN PERMUKAAN
PRODUK ELEKTROPLATING KUNINGAN**

**NELLA MAURETHA
NRP 0251154000020**

**Dosen Pembimbing
Prof.Dr.Ir.Sulistijono,DEA
Budi Agung Kurniawan,S.T., M.Sc**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 184834

**THE EFFECT OF VOLTAGE AND COPPER
NICKEL BASE COAT ON THICKNESS,
ADHESION, AND SURFACE GLOSSINESS OF
BRASS ELECTROPLATING PRODUCT**

**NELLA MAURETHA
NRP 0251154000020**

**Advisors
Prof.Dr.Ir. Sulistijono, DEA
Budi Agung Kurniawan, S.T, M.Sc**

**MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019**

(This page is intentionally blanked)

**PENGARUH VARIASI VOLTASE DAN LAPISAN DASAR
TEMBAGA NIKEL TERHADAP KETEBALAN,
KELEKATAN, DAN KEKILAPAN PERMUKAAN
PRODUK ELEKTROPLATING KUNINGAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Metalurgi Manufaktur
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

NELLA MAURETHA
NRP. 0251154000020

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

1. Prof. Dr. Ir Sulistijono, DEA.....*ws*.....(Pembimbing I)
2. Budi Agung Kurniawan, S.T, M.Sc.....*ag*.....(Pembimbing II)



**PENGARUH VOLTASE DAN LAPISAN DASAR
TEMBAGA NIKEL TERHADAP KETEBALAN,
KELEKATAN, DAN KEKILAPAN PERMUKAAN PRODUK
ELEKTROPLATING KUNINGAN**

Nama Mahasiswa : Nella Mauretha
NRP : 0251154000020
Departemen : Teknik Material
Dosen Pembimbing : Prof.Dr.Ir. Sulistijono, DEA
Co-Dosen Pembimbing : Budi Agung Kurniawan, S.T,
M.Sc

Abstrak

Elektroplating memiliki tujuan untuk meningkatkan sifat-sifat tertentu dan untuk memperbaiki tampak rupa (dekoratif). Elektroplating kuningan merupakan salah satu contoh yang digunakan dalam fungsi dekoratif. Penelitian tugas akhir ini menggunakan kuningan sebagai logam pelapis dan baja karbon rendah AISI 1020 sebagai substratnya. Proses pengerjaan dilakukan di salah satu home industry yang beroperasi di Semarang. Pelaksanaan pelapisan ini menggunakan variabel voltase (3, 5, dan 7 volt) dan adanya lapisan dasar tembaga nikel. Untuk mengukur ketebalan lapisan yang terbentuk digunakan dengan coating thickness Elcometer dan untuk mengukur daya lekat lapisan digunakan uji Pull Off, Bending Test, dan Rockwell C Indentasi. Sedangkan untuk mengukur kekilapan digunakan alat glossmeter. Selain itu dilakukan juga uji SEM/EDX untuk mengamati ketebalan lapisan yang terbentuk dan mapping unsur yang terkandung dalam lapisan. Hasil yang diperoleh dalam percobaan adalah bahwa ketebalan paling tinggi dihasilkan oleh spesimen dengan voltase 7 volt dengan lapisan dasar tembaga nikel. Untuk nilai kilap paling tinggi juga dihasilkan oleh spesimen voltase 7 volt dengan lapisan dasar tembaga nikel. Sedangkan untuk adhesinya, secara kualitatif didapatkan bahwa seluruh spesimen

memiliki adhesi yang baik. Untuk mengetahui spesimen mana yang memiliki kombinasi sifat-sifat paling baik, dilakukan skoring dengan berdasar pada produk pembandingan. Didapatkan hasil bahwa spesimen dengan variasi tegangan 3 volt dengan lapisan dasar tembaga nikel adalah yang paling baik diantara lapisan yang lainnya. Dimana ketebalannya tidak berbeda jauh dengan produk pembandingan, namun kekilapan yang dihasilkan (411.33 GU) lebih tinggi dari kekilapan produk pembandingan (398 GU). Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan waktu elektroplating yang sama dan voltase yang lebih rendah menghasilkan kekilapan yang lebih tinggi.

Kata kunci : Elektroplating Kuningan, Voltase, Lapisan Dasar, Ketebalan, Kelekatan, Kekilapan.

THE EFFECT OF VOLTAGE AND COPPER NICKEL BASE COAT ON THICKNESS, ADHESION, AND SURFACE GLOSSINESS OF BRASS ELECTROPLATING PRODUCT

Name : Nella Mauretha
NRP : 0251154000020
Department : Materials Engineering
Advisors : Prof.Dr.Ir. Sulistijono, DEA
Budi Agung Kurniawan, S.T,
M.Sc

Abstract

The purposes of electroplating is to improve spesific properties and its appearance (decorative). Brass electroplating is one example used in decorative functions. This final project has done with brass as a coating metal and low carbon steel AISI 1020 as its substrate. The work process was carried out in one of the home industry operating in Semarang. The variables of research are the voltage (3, 5, and 7 volts) and the presence of copper nickel base coat. The Elcometer coating thickness was used to measure the thickness of the formed layer and Pull Off, Bending Test, and Rockwell C Indentation tests were used to measure the adhesion strength. To measure the gloss, a glossmeter was used. In addition, SEM / EDX tests were also conducted to observe the thickness of the layers formed and the mapping of elements contained in the layers. The results obtained in the experiment were that the highest thickness was produced at 7 volt with a copper nickel base coat. Also,the highest gloss value at 7 volt with copper nickel base coat. However for the adhesion, it was qualitatively found that all specimens had good adhesion. To find out which specimens have the best combination of properties, scoring is carried out based on the existing commercial product. The results showed that the specimens with voltage at 3 volts with copper nickel base coat is

the best among the other specimens. The thickness at 3 volts with copper nickel base coat is no significant differences from the thickness of existing commercial products, and its glossiness (411.33 GU) was higher from the glossiness of existing commercial products (398 GU). We can concluded that at the same electroplating time with lower voltage increase the surface glossiness.

Keywords : Brass Electroplating, Voltage, Base Coat, Thickness, Adhesion, Glossiness

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah atas berkat, rahmat dan karunia-Nya, Penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir yang ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib. Laporan Tugas Akhir berjudul **“Pengaruh Voltase dan Lapisan Dasar Tembaga Nikel terhadap Ketebalan, Kelekatan, dan Kekilapan Permukaan Produk Elektroplating Kuningan”** ini dapat terselesaikan berkat dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu Penulis berterimakasih kepada :

1. Orang tua penulis dan Kakak perempuan penulis yang telah mendukung penulis baik secara materiil maupun non-materiil melalui doa, motivasi dan semangat yang tak ternilai harganya.
2. Bapak Prof. Dr.Ir Sulistijono, DEA dan Bapak Budi Agung Kurniawan,S.T.,M.Sc selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan arahan dan dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Pihak UD.Tehnikal Utama yang telah membantu kelancaran pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Juli 2019
Penulis,

Nella Mauretha

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Definisi Elektroplating	5
2.2 Prinsip Dasar Elektroplating	5
2.3 Komponen dalam Elektroplating.....	7
2.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Elektroplating.....	10
2.5 Persiapan Permukaan Sebelum Elektroplating.....	15
2.6 Proses Pengerjaan Akhir (<i>Post Treatment</i>)	17
2.7 Bahan Pelapis	18
2.8 Ketebalan Lapisan	26
2.9 Kelekatan Lapisan	26
2.10 Kekilapan Lapisan	27
2.11 Baja.....	29
2.12 Penelitian Sebelumnya	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	35
3.2 Metode Penelitian.....	37
3.3 Bahan Penelitian.....	38
3.4 Alat Percobaan	42
3.5 Pelaksanaan Penelitian	43

3.6 Pengujian Sampel	47
3.7 Rancangan Peneliiian	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pengamatan Makrovisual	55
4.2 Hasil Pengujian Ketebalan.....	58
4.3 Pengujian Adhesivitas Lapisan.....	63
4.4 Hasil Pengujian Kekilapan	70
4.5 Hasil Pengujian SEM/EDX	74
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	79
5.2 Saran	79
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	87
UCAPAN TERIMA KASIH	95
BIODATA PENULIS	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema sederhana elektroplating.....	6
Gambar 2.2	Diagram Fasa Cu-Zn	22
Gambar 2.3	Prinsip <i>Reflectometer</i> Menurut ISO 2813	29
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	37
Gambar 3.2	(a) <i>Brass Salt</i> dalam Bentuk <i>Powder</i> (b) Kemasan <i>Brass Salt</i> 15kg.....	39
Gambar 3.3	Larutan Elektroplating Kuningan.....	39
Gambar 3.4	Larutan Tembaga Sianida.....	40
Gambar 3.5	Larutan Tembaga Sulfat.....	40
Gambar 3.6	Larutan Nikel	41
Gambar 3.7	<i>Rectifier</i>	43
Gambar 3.8	Rangkaian Elektroplating Kuningan	45
Gambar 3.9	Rangkaian Elektroplating Nikel.....	47
Gambar 3.10	Proses Pengukuran Ketebalan Lapisan	48
Gambar 3.11	Multi <i>Glossmeter</i>	49
Gambar 3.12	<i>Surface Roughness Tester</i>	49
Gambar 3.13	Alat SEM/EDX Dept. Teknik Material ITS.....	50
Gambar 3.14	Alat Uji <i>Pull Off Test</i>	52
Gambar 3.15	Alat Uji <i>Bending</i>	52
Gambar 3.16	Standar Kontrol Kegagalan pada Substrat yang Diindentasi	53
Gambar 4.1	Spesimen Baja AISI 1020 Sebelum Elektroplating.....	55
Gambar 4.2	Hasil Spesimen Setelah di Elektroplating	56
Gambar 4.3	Foto Makrovisual Permukaan Lapisan Kuningan dengan Lapisan Dasar Cu, Ni (Atas) dan Tanpa Lapisan Dasar (Bawah) dengan Variasi Voltase Perbesaran 20x	57
Gambar 4.4	Hasil SEM <i>Cross Section</i> Lapisan Kuningan 7 Volt dengan Lapisan Dasar Tembaga Nikel.....	60
Gambar 4.5	Hasil SEM <i>Cross Section</i> Lapisan Kuningan Voltase 7 Volt Tanpa Lapisan Dasar.....	61

Gambar 4.6	Grafik Hasil Pengujian Ketebalan Lapisan Kuningan	62
Gambar 4.7	Hasil Pengujian Kelekatan vs Voltase	65
Gambar 4.8	Hasil Uji <i>Bending</i> Spesimen dengan Lapisan Dasar dengan Variasi Voltase	66
Gambar 4.9	Hasil Uji <i>Bending</i> Spesimen Elektroplating Kuningan Tanpa Lapisan Dasar dengan Variasi Voltase.....	67
Gambar 4.10	Hasil Uji <i>Bending</i> Produk Pembanding	67
Gambar 4.11	Hasil Rockwell C Indentasi pada Produk Pembanding.....	67
Gambar 4.12	Hasil Rockwell C Indentasi Untuk Variasi dengan Lapisan Dasar (a) 3 volt, (b) 5 volt, (c) 7 volt; dan Tanpa Lapisan Dasar (d) 3 volt, (e) 5 volt, dan (f) 7 volt.	68
Gambar 4.13	Grafik Nilai <i>Glossy</i> Lapisan Kuningan dengan Lapisan Dasar Tembaga Nikel dan tanpa Lapisan Dasar	70
Gambar 4.14	Grafik Hasil Pengujian <i>Surface Roughness</i>	72
Gambar 4.15	Kurva Regresi Voltase vs Kekilapan	73
Gambar 4.16	Hasil EDX <i>Mapping</i> Spesimen 7 volt Dengan Lapisan Dasar Tembaga Nikel (a) Lapisan Ni (b) Lapisan Cu (c) Persebaran Zn pada Lapisan Kuningan (d) Substrat (Fe).....	75

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi dan Kondisi Operasi Larutan Tembaga Sianida	19
Tabel 2.2	Komposisi dan Kondisi Operasi Larutan Tembaga Sulfat	21
Tabel 2.3	Komposisi dan Kondisi Operasi Larutan.....	24
Tabel 2.4	<i>Range Tipe Gloss</i>	28
Tabel 2.5	Komposisi Baja AISI 1020	31
Tabel 3.1	Rancangan Penelitian	53
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Ketebalan dengan <i>Coating Thickness</i>	59
Tabel 4.2	Data Ketebalan Lapisan.....	61
Tabel 4.3	Hasil Pengujian <i>Pull Off</i>	64
Tabel 4.4	Rekap Data Hasil Pengujian	76
Tabel 4.5	Pembobotan Nilai Tiap Pengujian	76

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat banyak barang-barang yang diciptakan oleh manusia, baik untuk tujuan produksi maupun untuk tujuan kenyamanan hidup manusia itu sendiri, dimana semua barang tersebut banyak yang terbuat dari logam. Teknologi tentang logam sudah dikenal sangat lama bahkan pada zaman sebelum masehi dan masih berkembang sampai saat ini. Salah satu bidang ilmu tentang logam yang mempelajari tentang bagaimana memperbaiki sifat permukaan yang ada pada logam dikenal dengan *surface treatment*. (Lambourne, 1999) Contoh nyata dari ilmu tersebut adalah *Finishing*, yang merupakan bidang yang sangat luas untuk dipelajari. *Finishing* adalah berbagai proses yang dilakukan untuk memodifikasi sifat-sifat permukaan logam, misalnya sifat deposisi lapisan terhadap logam lain atau polimer, atau terhadap pembentukan film oksida. Asal-usul industri ini terletak pada keinginan untuk meningkatkan nilai barang-barang logam dengan meningkatkan penampilan mereka, tetapi di zaman modern ini pentingnya finishing logam tidak hanya untuk alasan dekoratif, namun sekarang telah berkembang menuju cara perawatan permukaan yang akan memberikan ketahanan terhadap korosi atau sifat mekanis permukaan. Misalnya konduktivitas listrik, ketahanan terhadap panas atau aus, pelumasan dan kemampuan solder. Metode untuk melakukan finishing bermacam-macam, salah satunya adalah elektroplating.

Elektroplating atau penyepuhan sudah banyak dilakukan oleh industri-industri besar maupun industri rumah tangga dengan produk yang bermacam-macam. Teknologi ini menjadi bagian dari upaya perlindungan korosi, dengan menerapkan prinsip elektrolisis. Pada prinsipnya, pilihan logam substrat (logam yang akan dilapisi) dan pelapis dapat mencakup sejumlah besar logam dan paduan tunggal. Sebenarnya, substrat dapat juga berupa

polimer, keramik atau komposit. Pelapis dapat berupa logam tunggal, paduan, polimer atau komposit (Pletcher,1993).

Banyak logam yang bisa digunakan dalam proses elektroplating, salah satunya adalah logam paduan tembaga dengan seng, yang disebut sebagai kuningan. Kuningan memiliki sifat dan tampak rupa yang ditentukan oleh kandungan tembaga dan seng. Semakin tinggi kandungan tembaganya semakin merah tampak rupa kuningannya, dan jika semakin tinggi kandungan seng, akan semakin pucat atau tanpa rupa tampak rupa kuningannya. Karena sifat-sifat tersebutlah terutama sifat tanpa rupanya menyerupai emas, maka banyak digunakan sebagai logam pelapis, baik untuk barang-barang dekoratif (hiasan) maupun produk-produk teknis (Saleh, 2014).

Pelapisan kuningan adalah salah satu proses pelapisan paduan pertama dan sudah ada sejak abad ke-19. Penelitian yang dikembangkan adalah pengenalan sianida ke dalam praktek pelapisan. Seorang elektrodpositor Perancis, de Roulitz, mematenkan elektroplating kuningan dari bak sianida pada tahun 1841. Sejak awal, pelapisan kuningan banyak digunakan untuk tujuan dekoratif. Mungkin penelitian ilmiah paling awal tentang pelapisan kuningan adalah karya klasik Spitzer pada tahun 1905. Beliau mempelajari hubungan antara tegangan dan potensi katoda dalam pengendapan Cu, Zn, dan kuningan (Saadatmand, 2011).

Di Indonesia sendiri sudah berkembang banyak usaha di bidang elektroplating, seperti misalnya di daerah Semarang, terdapat sebuah *home industry* yang bergerak di bidang elektroplating. Usaha ini sering mendapatkan orderan dari berbagai daerah di Jawa Tengah dan sekitarnya untuk melapisi barang-barang kerajinan. Salah satunya adalah pelapisan kuningan. Pelapisan kuningan yang sering dikerjakan adalah pelapisan kuningan untuk dekoratif. Kuningan dengan komposisi tertentu memiliki penampakan seperti emas. Karena itulah, kuningan sering digunakan untuk membuat tampak rupa logam seperti emas. Sehingga aplikasinya untuk aksesoris-aksesoris atau perabot yang mengutamakan tampak rupa yang indah. Jika dibandingkan dengan

pelapisan logam-logam lainnya, pelapisan kuningan memang tidak terlalu sering dikerjakan. Namun tetap perlu dipelajari lagi parameter-parameter apa saja yang berpengaruh terhadap kualitas lapisan dan warna yang dihasilkan oleh elektroplating kuningan. Inovasi *multilayer* untuk meningkatkan hasil lapisan juga telah dilakukan untuk menghasilkan warna yang lebih baik, namun belum bisa dipastikan apakah dengan sistem *multilayer* ini, dapat meningkatkan pula sifat-sifat mekaniknya. Sehingga perlu dilakukan penelitian mengenai parameter-parameter proses serta multilayer plating tentang efeknya terhadap kualitas lapisan yang terbentuk. Kemudian hasil penelitian ini diharapkan mampu dijadikan sebagai sebuah masukan untuk usaha-usaha elektroplating dalam mengoperasikan usahanya dengan lebih optimal.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh voltase terhadap ketebalan, kelekatan dan kekilapan lapisan pada proses elektroplating kuningan dengan lapisan dasar tembaga-nikel dan tanpa lapisan dasar tembaga-nikel ?
2. Bagaimana sifat-sifat lapisan hasil elektroplating kuningan yang paling sesuai untuk diaplikasikan pada benda dekoratif?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menganalisis masalah pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah, antara lain:

1. Perubahan rapat arus selama proses diabaikan.
2. Temperatur dijaga tetap konstan.
3. Jarak Katoda-anoda diasumsikan sama.
4. pH larutan dijaga konstan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh voltase terhadap ketebalan, kelekatan dan kekilapan lapisan pada proses elektroplating kuningan tanpa lapisan dasar dan dengan lapisan dasar tembaga-nikel.
2. Menganalisa sifat-sifat dari produk elektroplating kuningan dengan hasil terbaik untuk bisa diaplikasikan pada benda dekoratif.

1.5 Manfaat Penelitian

Diharapkan tugas akhir yang dilakukan dapat memberikan manfaat yang luas terhadap industri dan institusi pendidikan di tanah air. Seperti memberikan informasi ilmiah untuk perkembangan teknologi industri pelapisan logam di tanah air atau memberikan inspirasi dan menambah wawasan untuk mahasiswa ataupun peneliti di institusi pendidikan tanah air. Selain secara khusus, tugas akhir ini akan digunakan sebagai rekomendasi acuan dalam kegiatan elektroplating kuningan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Elektroplating

Elektroplating merupakan peristiwa perpindahan ion logam yang mengendap pada benda padat konduktif membentuk lapisan logam yang dibantu dengan arus listrik melalui elektrolit (Purwanto, 2005). Lapisan yang mengendap disebut deposit. Istilah plating biasanya merujuk pada proses penambahan lapisan logam dengan media elektrolit yang mengandung ion logam pelapis (*aqueous solution*) (ASTM B374). Sedangkan menurut Hartomo pelapisan dengan cara listrik (*electroplating*) adalah suatu proses pengendapan zat (ion-ion logam) pada elektroda (katoda) dengan cara elektrolisis. Terjadinya suatu endapan pada proses ini adalah karena adanya ion-ion bermuatan listrik berpindah dari suatu elektroda melalui elektrolit yang mana hasil dari elektrolisa tersebut akan mengendap pada elektroda lain (katoda). Endapan yang terjadi bersifat adhesif terhadap logam dasar (Hartomo, 1992). Selama proses pengendapan berlangsung terjadi reaksi kimia pada elektroda dan elektrolit yaitu reaksi reduksi dan oksidasi yang diharapkan berlangsung terus menerus menuju arah tertentu secara tetap. Untuk itu diperlukan arus listrik searah dan tegangan yang konstan (Saleh, 2014).

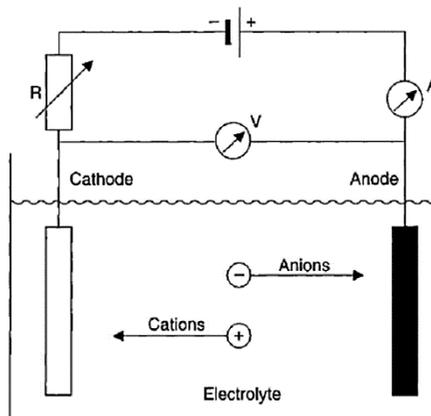
Pelapisan biasanya digunakan untuk fungsi dekoratif dan/atau fungsi perlindungan, untuk meningkatkan sifat-sifat tertentu pada permukaan benda kerja. Permukaan benda kerja berupa konduktor, seperti logam, atau non konduktor, seperti plastik. Produk elektroplating secara luas digunakan untuk berbagai industri, seperti otomotif, kapal, mesin, elektronik, pertahanan dan industri mainan.

2.2 Prinsip Dasar Elektroplating

Elektrodeposisi atau Elektroplating dalam *finishing* logam industri biasanya didasarkan pada *aqueous* elektrolit. Konstituen utamanya adalah garam logam dari logam yang akan diendapkan,

maka dalam kebanyakan kasus digunakan dari asam atau alkali untuk meningkatkan konduksi. Dalam beberapa kasus, *bath* dapat berupa *buffer*. Selain itu, zat aditif dapat ditambahkan untuk mempromosikan proses elektrodeposisi atau mengoptimalkan sifat dari deposit yang akan terbentuk. Endapan logam disebabkan oleh aliran arus dari sumber daya eksternal, atau dengan penambahan zat pereduksi kuat, yang mengatur reaksi anodik dan katodik.

Skema sederhana dari proses elektroplating ditunjukkan oleh Gambar 2.1, sebagai berikut :



Gambar 2. 1 Skema Sederhana Elektroplating
(Kanani,2004)

Landasan teori dari elektroplating adalah proses elektrolisis. Elektrolisis terjadi saat arus listrik melewati suatu elektrolit, sehingga terjadi reaksi kimia akibat adanya hubungan antara sirkuit listrik dan larutan elektrolit. Prinsip kerja elektroplating juga hampir sama, yaitu terjadi ketika arus listrik searah dialirkan antara kedua elektroda (anoda dan katoda) dalam larutan elektrolit dengan waktu proses pelapisan yang telah ditentukan maka pada anoda terjadi oksidasi sehingga akan terbentuk ion-ion positif, sedangkan pada larutan elektrolit terjadi

elektrolisis garam-garam logam. Anoda yang telah mengalami oksidasi meluruh dan larut dalam larutan elektrolit. Anoda yang meluruh menggantikan ion logam dalam larutan elektrolit yang ditarik oleh elektroda negatif (katoda). Dengan adanya hal tersebut akan terbentuk endapan pada katoda yang berupa massa lapisan. (Kanani,2004).

2.3 Komponen dalam Elektroplating

Untuk keperluan proses elektroplating dibutuhkan komponen-komponen sebagai berikut :

2.3.1 Anoda

Anoda adalah suatu terminal positif dalam larutan elektrolit dan terbagi dalam dua golongan, yaitu:

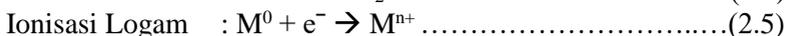
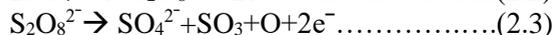
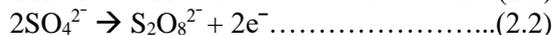
- Anoda yang larut (*soluble anoda*), contohnya anoda nikel dan anoda seng.
- Anoda yang tidak larut (*unsoluble anode*) contohnya anoda Pb pada pelapisan kromium.

Anoda yang tidak larut berfungsi sebagai penghantar arus listrik saja, sedangkan anoda yang larut berfungsi selain penghantar arus listrik juga sebagai bahan baku pelapis. Tujuan dipakainya anoda tidak larut adalah:

- Mencegah terbentuknya logam yang berlebihan dalam larutan
- Mengurangi nilai investasi bahan baku

(Hartomo, 1992).

Reaksi yang terjadi pada anoda ialah :



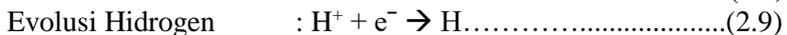
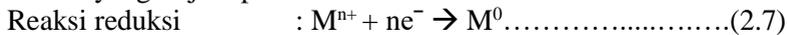
Pada larutan elektrolit, muatan positif yang dialirkan ke anoda akan bereaksi dengan anion (OH^- , SO_4^{2-} , Cl^-) dan hasil dari reaksi tersebut akan menyebabkan evolusi oksigen dan pelepasan

elektron, yang reaksinya dijelaskan pada Persamaan 2.1. Reaksi yang terjadi jika anion berupa sulfat seperti Persamaan 2.2 dan 2.3, sedangkan Persamaan 2.4 adalah reaksi pembentukan gas oksigen. Bila anoda yang digunakan bukan dari material inert (Pt,Au,C) maka elektron akan menjadi *driving force* reaksi anoda pada anoda untuk melepaskan ion logam, yang reaksinya seperti pada Persamaan 2.5. Persamaan 2.6 terjadi bila ion Cl^- bereaksi dengan ion logam maka akan terbentuk logam klorida dan mengendap pada bak pelapisan (Sugianto, 2010).

1.3.2 Katoda

Katoda adalah elektroda yang terhubung ke terminal negatif. Katoda merupakan komponen tempat menyimpan atau mendepositkan logam. Dalam bengkel pelapisan ini biasanya disebut sebagai "benda kerja".

Reaksi yang terjadi pada katoda ialah :



Proses deposisi logam dari kation menjadi atom logam dan menempel pada permukaan reaksi reduksi. Contoh reaksi reduksi adalah Persamaan 2.7 dan Persamaan 2.8. Penambahan arus listrik menyebabkan permukaan katoda sangat reaktif terhadap ion positif seperti misalnya adalah ion hidrogen (H^+). Reduksi ion hidrogen dapat menyebabkan terbentuknya molekul dan atom hidrogen, seperti pada Persamaan 2.9 dan Persamaan 2.10 yang mana dapat menyebabkan penggetasan, ataupun terjadinya *blister* (Sugianto, 2010).

2.3.3 Larutan Elektrolit

Istilah elektrolit didefinisikan sebagai media konduktif untuk sebagian besar proses elektroplating. Elektrolit yang paling umum adalah larutan encer dengan cairan kimia yang larut dalam air. Saat arus listrik dialirkan melewati larutan melalui anoda dan

katoda, deposisi logam terjadi pada katoda. Elektrolit memiliki variasi pada pH dan mungkin saja merupakan larutan asam, netral dan alkali.

Selama beberapa dekade terakhir, ratusan *plating bath* yang berbeda telah dikembangkan untuk mengoptimalkan deposisi dari logam atau paduan. Kegunaan dari karakterisasi bath ini adalah karena pH pada saat proses elektroplating. Dalam hal ini, satu proses memiliki bath berupa asam, netral dan alkalin, di mana nilai pH biasanya <3 , $=7$ dan >9 . Karena alasan ini, semua elektrolit pada proses plating menambahkan asam, alkali atau *buffer* (Kanani, 2004).

Elektrolit harus mengandung garam yang terlarut dari logam untuk didepositkan. Garam tersebut akan larut dalam air dan membentuk ion. Secara umum, semakin kompleks suatu ion, semakin efisien dan semakin halus deposit logam yang terbentuk. Elektrolit yang paling kompleks berasal dari ion sianida, berbeda dengan ion tembaga sulfat yang sangat sederhana. Alasan utama mengapa elektrolit sianida biasanya dipakai adalah dengan sebuah ion yang kompleks, kandungan sebenarnya dari logam dalam ion relatif rendah dibandingkan dengan ion yang sederhana, dan hal ini memperlambat formasi dari imersi deposit saat katoda ditempatkan pada elektrolit, yang dapat menyebabkan masalah dengan adhesi (Poyner, 1987).

2.3.4 Sumber Arus Listrik

Berdasarkan sumber energinya, pelapisan dibagi menjadi *electroplating* dan *electroless*, yang berarti proses elektroplating dilakukan dengan memberikan tambahan arus listrik agar terjadi reaksi elektrokimia pada permukaan benda kerja. Sedangkan *electroless* adalah proses pelapisan tanpa memberikan arus listrik. Sumber arus listrik yang digunakan pada proses pelapisan secara listrik adalah arus searah (DC) dengan tegangan rendah, tegangan yang diperlukan berkisar antara 6-12 volt. Untuk mendapatkan arus listrik tersebut digunakan *rectifier* dimana arus yang dikeluarkan dari *rectifier* ini bersifat arus searah. Pada saat ini *rectifier* sudah

cukup efisien. Hal ini karena amperemeter, tahanan variabel terletak satu kesatuan dalam satu rangkaian.

2.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Elektroplating

Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi hasil dari elektroplating, namun hanya akan disebutkan beberapa faktor yang cukup penting, diantaranya adalah:

a) Tegangan listrik/Voltase

Dalam elektroplating, voltase yang cukup harus disediakan oleh sumber listrik. Hubungan voltase-arus mengikuti hukum Ohm. Arus digerakkan oleh perbedaan potensial atau voltase melalui media penghantar, baik elektrolitik atau logam. Voltase yang diperlukan untuk memaksa arus yang diberikan melalui konduktor dirumuskan oleh hukum Ohm, seperti dalam Persamaan 2.11.

$$E = IR \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana :

E : *Electromotive Force* (volt)

I : Arus listrik (Ampere)

R : Resistansi Konduktor (ohm)

(Lou, 2006)

Hubungan voltase dan arus listrik secara teori terdapat dalam Persamaan 2.12.

$$I = \frac{V.A}{R.l} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana:

I : Kuat Arus (ampere)

V : Voltase (volt)

A : Luas Permukaan (m²)

R : Hambatan Jenis (ohm.m)

l : Panjang Konduktor (m)

Berdasarkan Persamaan 2.12, maka voltase berbanding lurus dengan kuat arus. Untuk

memvariabelkan arus, maka yang divariabelkan hanyalah tahanannya saja, sedangkan voltase dibuat tetap (Yli-Pentti,2014).

Dengan mengacu pada Persamaan 2.11 dan 2.12, maka disimpulkan bahwa voltase berbanding lurus terhadap arus listrik. Sehingga dengan meningkatnya voltase akan meningkatkan juga kuat arus. Saat memvariasikan voltase, akan sangat susah untuk mengontrol agar rapat arusnya konstan. Untuk mengatur arus, namun voltase konstan dapat dengan mengubah resistornya. Ketersediaan arus yang cukup sangat penting dalam menentukan sifat lapisan yang terbentuk. Arus yang tidak mencukupi, akan menghasilkan lapisan yang buruk, sementara arus yang berlebih juga tidak selalu menghasilkan peningkatan laju pelapisan. Kerapatan arus yang rendah juga cenderung menghasilkan keberadaan pengotor yang lebih tinggi dalam endapan. Rapat arus optimal untuk rendaman pelapisan yang diberikan tergantung pada komposisi garam, kondisi operasi dan jenis pelapisan yang dicari. Kerapatan arus anoda (material pelapis) juga menjadi parameter pelapisan penting dan harus dikontrol dengan baik. Dapat dilakukan melalui penyesuaian total area anoda dan proporsi yang terdiri dari logam yang diendapkan (Kumar et al, 2015). Selain itu, Saleh dalam bukunya “*Electroplating Teknik Pelapisan Logam dengan Cara Listrik*”, menjelaskan hubungan rapat arus dengan ketebalan lapisan seperti pada Persamaan 2.13, sebagai berikut :

$$T = \frac{H(C)}{F \times 1000} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana :

T : Ketebalan lapisan (in)

H : Waktu pelapisan (jam)

C : Rapat arus (A/in²)

A : Luas permukaan substrat (in²)

F : 0,027 (faktor untuk kuningan)

Bila voltase yang diberikan lebih besar, potensial energi antara logam yang akan dilapisi (baja) dan logam pelapis memiliki perbedaan nilai yang lebih jauh, sehingga ikatan atom di dalam logam pelapis hancur. Elektron yang telah terurai akan pindah ke logam yang akan dilapisi melalui konduktor berupa kawat tembaga atau kabel yang menghubungkan kedua logam. Dengan semakin besar voltase yang diberikan, semakin banyak elektron yang bergerak atau melepaskan ke logam pelapis dan mengikat atom-atom baru dengan ion positif yang akan mengikat logam yang diendapkan sehingga membuat ketebalan lapisan menjadi lebih tebal dan permukaan menjadi lebih rata. Voltase pada proses pelapisan logam juga menentukan tingkat kilau benda kerja yang dihasilkan dari pelapisan logam. Proses pelapisan logam ini harus dilakukan dengan voltase yang tidak terlalu besar tetapi waktu yang lama. Voltase digunakan saat proses pelapisan logam masih dalam batas aman dan tidak menyebabkan permukaan menjadi kusam dan tidak mengkilap. Dengan voltase yang terlalu besar itu akan membuat proses transfer elektron ke permukaan benda kerja menjadi lebih cepat daripada proses pembentukan ikatan antara elektron dan ion positif dalam larutan. Oleh karena itu semakin besar voltase akan membuat lapisan semakin tebal, dan semakin tinggi nilai *gloss* yang dihasilkan (Sakti, 2019).

Pemantauan voltase pada proses elektroplating diperlukan untuk mendeteksi variasi sel seperti arus pendek atau terbukanya antara anoda dan katoda, kontaminasi atau polarisasi anoda, atau perubahan konsentrasi larutan. Korslet dapat terjadi pada sel *electropolishing* , ketika strip adalah paduan tembaga dengan jarak anoda-katoda yang terlalu dekat. Serbuk tembaga yang diproduksi, ia terkumpul di katoda dan

akhirnya membentuk jalur penghubung antara anoda dan katoda. Perubahan larutan yang mempengaruhi konduktivitas juga akan berdampak pada voltase, seperti halnya setiap resistensi tambahan yang disebabkan oleh adanya korosi pada komponen listrik atau pasivasi permukaan anoda atau katoda (Ritzdorf, 2010).

b) Rapat arus

Rapat arus merupakan nilai yang menyatakan jumlah arus listrik yang mengalir per satuan luas permukaan elektroda. (Sugiyarta et.al, 2012) Rapat arus merupakan faktor penting pada proses elektroplating karena akan mempengaruhi efisiensi arus. Efisiensi arus adalah presentase perbandingan berat endapan yang terjadi dengan berat endapan secara teoritis. Untuk bervariasi arus, yang diatur cukup tahanan saja, sedangkan voltase dibiarkan konstan.

Rapat arus dapat dituliskan dalam bentuk Persamaan 2.14, di bawah ini:

$$CD = \frac{I}{A} (A \cdot dm^{-2}) \dots \dots \dots (2.14)$$

Keterangan:

- CD : Rapat arus (A/dm²)
- I : Arus yang dialirkan (A)
- A : Luas permukaan katoda (dm²)

Rapat arus berpengaruh terhadap ketebalan benda yang akan dilapisi dan dapat memperkecil ukuran/bentuk kristal. Rapat arus dibagi menjadi dua, yaitu rapat arus pada anoda dan katoda. Pada proses elektroplating, rapat arus yang diperhitungkan adalah rapat arus katoda, yaitu banyaknya arus listrik yang diperlukan untuk mendapatkan atom-atom logam pada tiap satuan luas benda yang akan dilapisi (Lewenheim, 2010).

c) Temperatur

Secara umum, dengan penambahan temperatur pada larutan akan menyebabkan penambahan ukuran kristal.

Menambah temperatur akan meningkatkan kelarutan, dengan demikian jumlah pengangkutan, yang pada gilirannya akan menyebabkan peningkatan konduktivitas larutan. Selain itu, juga mengurangi viskositas larutan, sehingga mengisi *double layer* relatif cepat. Larutan yang bertemperatur tinggi biasanya mengurangi sedikit penyerapan hidrogen pada lapisan, dengan demikian akan mengurangi voltase dan kecenderungan untuk terjadi retak (Kumar et al. 2015).

d) Lama pelapisan

Semakin lama waktu yang digunakan, deposit logam akan semakin banyak yang menempel pada katoda, sehingga lama pelapisan mempengaruhi pada ketebalan yang dihasilkan. Yerikho et al menyajikan seperti dalam Persamaan 2.15.

$$B = \frac{I \cdot t \cdot e}{F} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

- B : Berat zat yang terbentuk (gram)
I : Kuat arus yang mengalir (ampere)
t : Waktu (s)
e : Berat ekivalen yang dibebaskan
F : Jumlah arus untuk membebaskan sejumlah gram ekivalen suatu zat (1 F = 96500 C)

Persamaan diatas menjelaskan apabila t semakin tinggi maka B juga bertambah, dan sebaliknya, bila t semakin kecil maka nilai B juga akan mengecil. Berat lapisan berhubungan erat dengan tebal lapisan, sebab semakin berat lapisan berarti semakin tebal lapisannya. Waktu pelapisan merupakan faktor yang sangat berpengaruh pada proses elektroplating. Hal ini berpengaruh pada ketebalan lapisan yang diharapkan (Kirk, 1979).

e) pH larutan

Nilai pH bergantung pada komposisi larutan. Agar mendapatkan hasil yang baik, nilai pH harus benar-benar

dipertahankan sesuai parameter. pH digunakan untuk menentukan derajat keasaman suatu larutan elektrolit dan dalam operasi elektroplating, pH juga berarti pOH. pH larutan dapat diukur dengan alat ukur pH-meter atau pH *colorimeter* (Kumar et al, 2015).

f) Jarak Katoda-Anoda

Jarak katoda anoda akan mempengaruhi sedikit banyaknya ketebalan lapisan. Hal ini dikarenakan oleh terjadinya oksidasi pada anoda dan reduksi pada katoda semakin cepat jika jarak antara keduanya semakin dekat. Jarak yang terlalu jauh akan menerima distribusi ion yang lebih kecil dibandingkan dengan yang jaraknya berdekatan. Distribusi ion yang tidak merata akan menghasilkan tebal lapisan yang tidak merata pula. Bahkan jika jarak keduanya terlalu dekat, akan terjadi gelembung-gelembung udara yang akan mengganggu proses elektroplating, yang penyebabnya adalah perbedaan potensial terlalu tinggi. Sehingga hasilnya permukaan lapisan bisa terbakar atau lapisan yang dihasilkan sangat tipis sebab pengendapan terhalang oleh gelembung-gelembung gas hidrogen (H_2) (Abid,2016). Jarak anoda-katoda sangat berpengaruh terhadap hasil ketebalan pelapisan, hal ini disebabkan semakin pendek jarak antara elektroda katoda dan anoda maka hasil pelapisan yang terbentuk semakin besar sehingga daya ikat molekul katoda atau molekul dari substratnya dengan logam pelapis semakin kuat, sedangkan semakin besar jarak antara anoda dan katoda maka hasil pelapisan yang terbentuk semakin tipis sehingga daya ikat molekul antara logam substrat dengan logam pelapis semakin rendah, dan ini akan menyebabkan daya lekat antara pelapis dengan substrat akan berkurang (Davis, 2001).

2.5 Persiapan Permukaan Sebelum Elektroplating

Benda kerja yang akan di *plating* harus melalui proses pembersihan sebelumnya, tujuan dari proses ini adalah untuk

menghilangkan kontaminan seperti, debu dan film yang masih menempel pada permukaannya. Kontaminasi permukaan dapat berupa kotoran organik, debu dari lingkungan atau proses sebelumnya dan ekstrinsik seperti lapisan oksida alami. Untuk itu, pembersihan permukaan penting untuk memastikan kualitas pelapisan. Kebanyakan pembersihan permukaan logam memiliki tiga langkah dasar : *surface cleaning*, *surface treatment* dan *rinsing*.

2.5.1 *Surface Cleaning*

Metode pembersihan yang digunakan harus bisa meminimalisasi kerusakan zat selama proses pembersihan kontaminan, debu, film dan/atau puing. Proses pembersihan didasarkan pada dua pendekatan, yaitu :

a) **Pendekatan Kimia**

Pendekatan secara kimia biasanya meliputi *solvent degreasing*, *alkaline cleaning*, (*soak cleaning*) dan *acid cleaning* (*acid pickling*).

- *Solvent degreasing*
Kontaminan mengandung minyak dan pelumas dari berbagai tipe, lilin dan berbagai macam material organik. Kontaminan tersebut dapat dihilangkan dengan pelarut organik yang sesuai, baik dengan mencelupkan benda kerja dalam pelarut atau dengan penurunan uap.
- *Alkaline cleaning*
Benda kerja diimersi dalam tangki yang mengandung larutan pembersih alkalin yang panas untuk menghilangkan kotoran dan tanah. Sebuah tipe alkalin yang spesial dinamakan *electrocleaning*. Pada *electrocleaning*, benda kerja dapat berupa katoda (*direct cleaning*) ataupun anoda (*reverse cleaning*). Penambahan *electrocleaning* pada pembersihan kimia dari pembersih akan menyebabkan munculnya pembersihan secara mekanik disebabkan oleh munculnya banyak gas pada permukaan benda kerja.

- *Acid Cleaning*
Acid cleaning dapat membersihkan kerak berat, kerak yang timbul karena proses pemanasan, oksida dan sejenisnya. Jenis asam yang paling sering dipakai meliputi sulfur dan hidroklorida. *Pickling* juga dapat dikombinasikan arus agar lebih efektif.

b) Pendekatan Mekanik

Preparasi mekanik meliputi *polishing*, *buffing* dan beberapa variasi lainnya. *Polishing* digunakan untuk menghilangkan sejumlah kecil logam dengan cara abrasif. Dari proses ini akan didapatkan permukaan yang bebas dari cacat yang diakibatkan oleh proses *grinding* dan merupakan awal untuk melakukan *buffing*. *Buffing* sama dengan proses *polishing*, tetapi *buffing* menggunakan abrasif yang lebih halus untuk menghilangkan sangat sedikit bagian logam. *Buffing* dapat menghasilkan permukaan logam yang sangat halus.

2.5.2 *Surface Modification*

Surface modification meliputi perubahan pada atribut permukaan, seperti aplikasi dari lapisan logam dan/atau pengerasan.

2.5.3 *Rinsing*

Dalam *wet plating*, saat benda kerja ditransfer dari satu larutan perlakuan ke perlakuan lain, atau saat benda kerja tersebut meninggalkan larutan perlakuan terakhir, benda kerja tersebut mengandung sedikit larutan yang telah diimersi. Larutan ini disebut *drag-out*. Dalam banyak kasus, residu larutan ini harus dihilangkan dari permukaan benda kerja dengan cara rinsing sebelum benda kerja memasuki tahap selanjutnya dalam rangkaian pelapisan, atau keluar dari larutan proses akhir (Huang,2006).

2.6 **Proses Pengerjaan Akhir (*Post Treatment*)**

Benda kerja yang telah dilakukan proses lapis listrik

biasanya di bilas dan dikeringkan. Tetapi kadang-kadang perlu juga dilakukan pengerjaan lanjut seperti misalnya dipasifkan atau di beri lapis pelindung *chromat (chromatting)* atau lapis lindung transparan yaitu dengan *lacquar*. Proses ini dilakukan dengan cara *dipping* biasa, tetapi untuk lapis lindung dengan *lacquar* bisa secara *electro* dan *dipping*.

2.7 Bahan Pelapis

Bahan yang digunakan sebagai bahan pelapis proses elektroplating bermacam-macam, diantaranya adalah :

2.7.1 Tembaga

Tembaga merupakan salah satu logam *nonferrous* yang memiliki kekuatan yang cukup tinggi untuk dapat digunakan tanpa harus berupa paduan. Tembaga yang tingkat kemurniannya sangat tinggi memiliki massa jenis sebesar $8,933 \text{ g/cm}^3$ (Purwanto, 2006). Tembaga memiliki konduktivitas panas dan listrik yang sangat baik, dan mempunyai ketahanan korosi yang baik pula. Penggolongan lapisan tembaga pada suatu material baja karbon dipengaruhi oleh ketebalan lapisan tembaga yang menutupi permukaan baja. Dari penggolongan ini nantinya dapat dispesifikasikan aplikasi yang mungkin digunakan (Wahyudi,1999).

Tembaga dan paduan berbasis tembaga, yang memiliki kombinasi sifat fisik yang diinginkan, telah digunakan dalam berbagai aplikasi sejak jaman dahulu. Sebagian besar paduan tembaga tidak dapat dikeraskan atau diperkuat dengan prosedur perlakuan panas; akibatnya, pengerjaan dingin dan atau paduan larutan padat harus digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik ini. Contoh paduan tembaga yang paling umum adalah *brass* (kuningan) yang merupakan paduan tembaga dengan seng. Selain itu *bronze* juga merupakan paduan tembaga dengan beberapa unsur meliputi timah, aluminium, silikon dan nikel. Paduan *bronze* agak lebih kuat daripada *brass*, walaupun masih kalah dalam tingkat ketahanan korosinya (Callister,2007).

Penggunaan elektroplating tembaga sangat luas, karena selain meningkatkan tampak rupa, serta perlindungan korosi, juga dapat meningkatkan sifat-sifat benda yang dilapisi. Dalam dunia industri, pelapisan tembaga dimanfaatkan sebagai lapisan dasar (*strike*) pada proses pelapisan nikel-krom dekoratif, lapisan *finishing* pada produk komponen listrik, penghalang pada proses *nitriding* dan *carbonizing* juga pembentuk benda dengan endapan (*electroforming*). Terdapat bermacam-macam larutan elektrolit untuk elektroplating tembaga. Dibedakan menjadi larutan alkali dan asam. Larutan jenis alkali dikelompokkan menjadi dua yaitu jenis tembaga sianida dan tembaga *phyrophospat*. Sedangkan untuk jenis asam juga dikelompokkan menjadi dua, yaitu jenis tembaga asam sulfat dan tembaga *fluoborat*. Masing-masing memiliki sifat dan kegunaan tertentu.

Sebagai lapisan dasar berarti tembaga secara langsung dapat dilapiskan pada logam dasar tanpa didahului oleh lapisan lain, kecuali untuk bahan dasar logam aluminium yang harus didahului oleh lapisan *zincate*. Hal yang perlu diperhatikan dalam proses pelapisan tembaga adalah jenis anodanya, karena selain ion-ion tembaga dari larutan elektrolit, ion-ion anoda yang terlarut akan menentukan hasil lapisan. Oleh karena itu diperlukan karakteristik anoda yang jelas. Lapisan tembaga yang digunakan sebagai lapisan dasar pada pelapisan berganda bertujuan untuk mengurangi biaya pemrosesan, menghambat kerusakan, karena adanya pori-pori dan memperbaiki *throwing power* benda yang akan dilapisi. Lapisan tembaga yang dihasilkan oleh larutan elektrolit tembaga alkali akan menghasilkan warna yang terang, mengkilap karena ion-ion yang terkandung di dalamnya bervalensi satu. Sedangkan larutan elektrolit tembaga asam akan menghasilkan lapisan warna kebiru-biruan dengan ion-ion yang terkandung di dalamnya bervalensi dua.

1. Tembaga Sianida

Tembaga sianida termasuk ke dalam jenis alkali, yang mudah dikontrol, dan menghasilkan lapisan yang tipis dan rata. Lapisan tembaga yang dihasilkan oleh larutan

elektrolit tembaga alkali akan menghasilkan warna yang terang, mengkilap karena ion-ion yang terkandung di dalamnya bervalensi satu. Aplikasinya ialah sebagai lapisan dasar sebelum lapisan yang lainnya, entah untuk melindungi logam yang dilapisi atau untuk menambah daya lekatnya. Juga untuk meningkatkan permukaannya dalam kemampuan soldernya, pelumasannya, *rotogravure*, dan dekoratif plating pada *zinc die casting*. (Horner,1999). Komposisi dari tembaga sianida tersedia dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi dan Kondisi Operasi Larutan Tembaga Sianida (Schlesinger,2004)

<i>Constituent</i>	<i>Strike, g/L</i>		<i>Rochelle, g/L</i>		<i>High Efficiency, g/L</i>	
	<i>Typical</i>	<i>Limits</i>	<i>Typical</i>	<i>Limits</i>	<i>Typical</i>	<i>Limits</i>
CuCN	22	15-30	26	19-45	75	49-127
NaCN <i>or</i> KCN	33	23-48	35	26-68	102	62-154
Na ₂ CO ₃	43	31-64			136	76-178
NaOH <i>or</i> KOH	15	0-15	30	15-16	15	22-37
<i>Rochelle Salt</i> (KNaC ₄ H ₄ O ₆ ·4H ₂ O)	15	15	45	30-60	15	31-52
<i>By analysis</i>						
<i>Copper</i>	16	11-21	18	13-32	55	34-89
<i>Free Cyanide</i>	9	6-11	6	4-9	19	10-20

2. Tembaga Asam Sulfat

Larutan tembaga sulfat mengandung ion-ion tembaga bervalensi dua dan mempunyai *throwing power* yang rendah serta tidak dapat langsung melapiskan besi atau baja, karena akan terjadi reaksi Fe dan SO₄ membentuk lapisan FeSO₄. Oleh karena itu sebaiknya logam besi/baja tersebut dilapisi terlebih dahulu dengan tembaga

bervalensi satu yaitu tembaga sianida. Kondisi operasi larutan tembaga sulfat selain dapat dioperasikan dalam temperatur kamar dan rapat arus rendah, juga dapat dioperasikan pada temperatur tinggi dengan cara menambah daerah rapat arus yang lebih tinggi.

Komposisi dan parameter operasinya tembaga sulfat terdapat dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Komposisi dan Kondisi Operasi Larutan Tembaga Sulfat (Schlesinger, 2004)

<i>Parameter</i>	<i>Sulfate</i>		
	<i>Typical</i>	<i>Average range</i>	<i>High Throw</i>
Cu metal, g/L	57	38-64	15-23
CuSO ₄ .5H ₂ O	225	150-250	60-90
H ₂ SO ₄	60	30-75	170-220
Cl ⁻ , g/L	0.05	0.20-0.12	0.05-0.10
Cu(BF ₄) ₂ , g/L			
HF ₄ , g/L			
pH	<0	<0	<0
Temperature, °C	25	20-45	20-30
Cathode Current Density, A/m ²	300-700	300-700	300-700
Anodes	0.02 – 0.08% Cu		

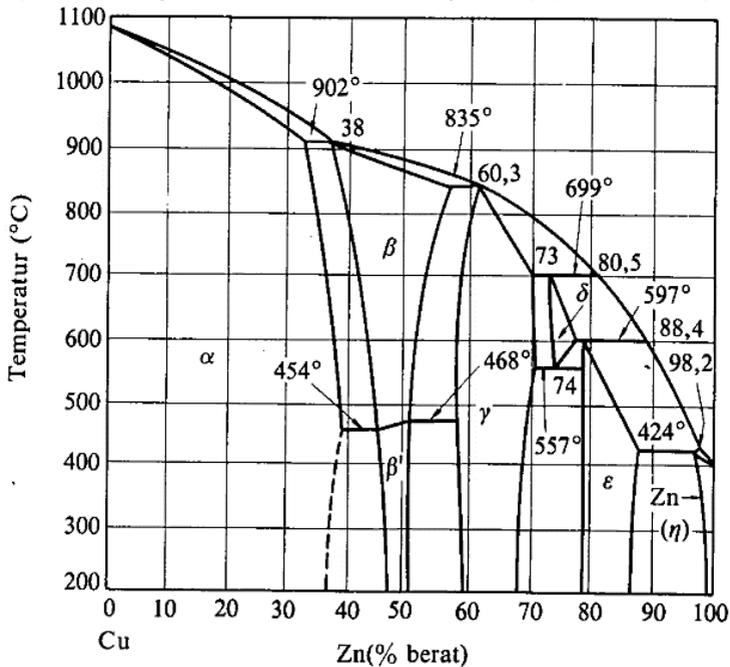
2.7.2 Kuningan

Kuningan merupakan logam paduan tembaga yang paling banyak dijumpai. Paduan dari tembaga dan seng yang masuk secara substitusi. Paduan ini memiliki kekuatan dan ductility yang baik dan mudah di *cold worked* seiring dengan meningkatnya kandungan seng hingga 35%. Warna kuningan bervariasi dari merah ke kuning keemasan, tergantung pada jumlah seng yang dikandung dalam paduan tersebut (Callister, 2007).

Kuningan mempunyai seng dengan kadar bervariasi antara 10% sampai 40%. Kekuatan, kekerasan dan keuletan paduan akan meningkat seiring dengan meningkatnya kadar seng, bila kadar

seng lebih dari 40% akan terjadi penurunan kekuatan dan sewaktu dilebur seng akan menguap. Seng membuat tembaga lebih sempurna sehingga akan menjadi lebih keras dan karena itu lebih baik untuk dikerjakan dengan mesin (Lawrence, 1992).

Penambahan seng akan meningkatkan keuletan dan kekuatan. Keuletan dan kekuatan terbaik adalah saat komposisi kuningan 70 Cu – 30 Zn. Secara komersial, kuningan dikelompokkan menjadi dua, yaitu kuningan untuk cold work (α brass) dan kuningan untuk hot work ($\alpha + \beta$ brass) (Avner, 1974).



Gambar 2. 2 Diagram Fasa Cu-Zn (Surdia,2000)

Seperti yang terdapat pada Gambar 2.2. Diagram Fasa Cu-Zn terdiri dari enam fasa yaitu α , β , δ , γ , ϵ , dan η . Dari semua fasa itu yang penting secara industri adalah logam kuningan dengan fasa α , dan β . fasa α mempunyai struktur FCC dan β mempunyai

struktur BCC ada juga fasa β' dengan kisi super. Dari diagram fasa untuk paduan tembaga seng 70%-30 %, fasa α merupakan fasa lunak dan mudah dikerjakan, sedangkan paduan tembaga seng 60 – 40, adalah merupakan fasa $\alpha + \beta$ yang mempunyai kekuatan tinggi dan paduan ini mempunyai kekuatan tarik yang tinggi (Surdia, 2000).

Kuningan digunakan untuk dekorasi karena penampilannya yang seperti emas, bisa untuk aplikasi yang membutuhkan gesekan rendah seperti kunci, roda gigi, bantalan, gagang pintu dan katup, dapat pula untuk pipa dan listrik, dan digunakan secara luas dalam alat musik kuningan seperti klakson dan lonceng di mana kombinasi dari kemampuan kerja yang tinggi (secara historis dengan alat-alat tangan) dan daya tahan yang diinginkan. Kuningan sering digunakan dalam situasi di mana percikan api tidak menjadi hal yang penting, seperti pada *fitting* dan alat yang digunakan di dekat bahan yang mudah terbakar atau meledak.

Jenis larutan untuk elektroplating kuningan yang digunakan adalah alkali, dan belum ada yang bersifat asam. Komposisi larutannya adalah CuCN, ZnCN, NaCN lalu Na₂CO₃ dan NaHCO₂ sebagai *buffer*, lengkapnya seperti Tabel 2.3 (Saleh, 2014). Elektroplating kuningan adalah salah satu *plating* dengan menggunakan larutan sianida yang tertua. Pertama kali dilakukan oleh kimiawan Jerman pada tahun 1841. Sejak awal, elektroplating kuningan digunakan sebagai fungsi dekoratif, dengan lapisan tipis *bright nickel* sebagai lapisan dasarnya. Kompleks sianida dari tembaga dan seng sangat stabil dan dalam urutan yang tepat sehingga deposisi voltase tembaga dan seng sangat dekat. Semua pelapisan kuningan yang bermanfaat didasarkan pada sianida. Pelapisan kuningan non-sianida mungkin dilakukan dan telah digunakan secara komersial, tetapi dengan keberhasilan terbatas. Karena kompleks sianida yang stabil, rasio tembaga terhadap seng dalam larutan tidak berhubungan dengan paduan berlapis.

Tabel 2.3 Komposisi dan Kondisi Operasi Larutan (Saleh,2014)

Bahan	Konsentrasi (gr/L)			
	I	II	III	IV
Copper Cyanide (CuCN)	30-60	30-65	45	75
Zinc Cyanide (ZnCN)	7,5-15	10	7,5	5
Sodium Cyanide (NaCN)	15-30	50	75	125
Sodium Carbonate (NaCO ₃)	22,5-105	7,5	7,5	-
Sodium Bicarbonate (NaHCO ₂)	-	10	10	-
Ammonium (NH ₄ OH)	-	2,5-5 ml/L	0,6-1,2 ml/L	-
Sodium Hydroxide (NaOH)	-	-	-	45
Kondisi Operasi:				
Temperatur (°C)	50-60	25-35	33-52	65-70
Rapat Arus (A/dm ²)	0,54-1,62	2-2,2	1,6-6,2	1,08-8,06
pH	10-11,5	10-10,2	10-11	10-11,7

Untuk aplikasi barang-barang dekoratif, biasanya dikerjakan dengan sistem *flash plating* yaitu diawali terlebih dahulu dengan lapisan dasar nikel mengkilap, karena lapis nikel ini yang menentukan tingkat mengkilapnya lapisan kuning dan diakhiri lapisan vernis. Larutan untuk elektroplating kuning yang biasa digunakan secara komersial sifatnya alkali, belum ada yang bersifat asam, sehingga bahan dasar sianida merupakan unsur utama dalam larutan elektroplating kuning. Larutan kuning yang sering digunakan ialah yang mengandung 70%-80% tembaga

dan sisanya seng dengan kondisi konsentrasi berimbang sesuai dengan warna lapisan kuningan yang diinginkan. (Hartomo,1992).

2.7.3 Nikel

Nikel adalah logam berwarna perak keabu-abuan mempunyai sel satuan FCC dengan massa jenis 8,7, hampir sama dengan Cu. Nikel baik sekali dalam ketahanan panas dan ketahanan korosinya, tidak rusak oleh air kali atau air laut dan alkali. Tetapi bisa rusak oleh asam nitrat dan sedikit tahan korosi terhadap HCl dan H₂SO₄. Nikel digunakan sebagai unsur paduan untuk baja, paduan tembaga, dan paduan nikel tahan panas. (Surdia,2000) Sebagian besar nikel digunakan untuk paduan *high-nickel* dan juga elektroplating. Karena ketahanan korosi dan kekerasannya yang tinggi, nikel membuat lapisan yang ideal untuk bagian-bagian yang mengalami korosi dan aus. Meskipun nikel sering diberi *flash coating* kromium untuk meningkatkan ketahanan aus, sebagian besar perlindungan korosi disebabkan oleh lapisan dasar nikel yang berat. (Avner,1974).

Pelapisan nikel ada dua cara yaitu secara elektroplating dan *electroless* (tanpa listrik). Proses elektroplating terjadi karena adanya perpindahan ion-ion nikel dari anoda dan larutan, sesuai arus listrik yang dialirkan dan mengendap padass permukaan katoda atau benda kerja. Aplikasinya sangat luas dibandingkan secara *electroless*, sebab dengan elektroplating dapat divariasikan baik warna, kehalusan maupun struktur lapisannya. Elektroplating nikel banyak digunakan sebagai dekoratif sebab hasilnya mengkilap.

Jenis larutan yang paling banyak diterapkan adalah Larutan Watts, larutan nikel sulfat, larutan nikel klorida tinggi, dan nikel sulfamat. Selain itu terdapat pula larutan nikel fluoborat dan larutan *black nickel*. Larutan watts merupakan campuran dari nikel sulfat dan garam klorida. Kandungannya terdiri dari nikel sulfat NiSO₄ sekitar 300 g/L, nikel klorida NiCl₂ sekitar 60 g/L dan asam boric H₃BO₃ sekitar 40 g/L. Total kandungan nikel dalam larutan sekitar 80 g/L. pH larutan dipertahankan pada 3 hingga 4,5. Temperatur

operasinya pada 40-70°C dan rapat arus 1-10 A.dm⁻².(Di Bari, 2010).

2.8 Ketebalan Lapisan

Ketebalan *coating* mempengaruhi berbagai sifat penting dari lapisan, seperti kekuatan ikatan antara *coating* dan logam dasar. Peningkatan ketebalan diatas titik maksimal ketebalan tidak hanya akan memberikan efek yang buruk terhadap sifat hasil *coating*, tetapi juga akan berdampak terhadap biaya (Tushinsky, 2002).

Ketebalan deposit dapat dievaluasi dengan cara mempertimbangkan volume dari deposit. Karena volume dari deposit merupakan produk dari luas area *plated surface* dan ketebalan (tinggi) h, dengan $h = V/a$. Volume dari deposit berhubungan dengan tinggi dari deposit dan densitas dari deposit d dengan hubungan yang mendefinisikan densitas $d = w/V$, maka persamaanya menjadi seperti Persamaan 2.16.

$$h = \frac{V}{a} = \frac{w}{ad} \dots \dots \dots (2.16)$$

Dalam kasus dimana diperlukan untuk menghitung waktu (dalam detik) yang dibutuhkan untuk mendapatkan ketebalan deposit yang diinginkan h pada rapat arus yang ditentukan maka akan digunakan Hukum Faraday seperti ditunjukkan oleh Persamaan 2.17 dan Persamaan 2.18.

$$h = \frac{V}{a} = \frac{w}{ad} = \frac{ZQ}{ad} = \frac{ZIt}{ad} \text{ cm} \dots \dots \dots (2.17)$$

$$t = \frac{had}{ZI} \text{ detik} \dots \dots \dots (2.18)$$

(Paunovic et al,2010)

2.9 Kelekatan Lapisan

Kelekatan (Adhesi) didefinisikan sebagai pelekatan bersama dari dua material. Kekuatan adhesi dalam pengertian praktis, adalah voltase yang di butuhkan untuk melepaskan lapisan dari logam induk. Daya lekat adalah faktor penting yang mengendalikan beberapa karakteristik fungsional seperti umur pakai yang panjang dan ketahanan korosi pada lapisan tipis (<1

mm), lapisan tebal (>1 mm), dan lapisan yang sangat besar (>25 mm) adalah kelekatan antara lapisan dan logam induk (Bhushan, 1991). Wang Zhen Gang dkk juga menyatakan bahwa kekuatan lekat dipengaruhi beberapa faktor, diantaranya adalah ketidakbersihan permukaan, heterogenitas dari permukaan, dan pengaruh temperatur *plating* (Gang et al, 2007).

Daya lekat yang baik terjadi jika ikatan antara lapisan dan logam induk sama atau lebih besar daripada kekuatan kohesif (ikatan antara molekul yang sejenis) diantara keduanya. Adhesi yang baik akan didapatkan jika proses elektroplating dilakukan dengan benar. Untuk adhesi yang baik, substrat harus dibersihkan secara menyeluruh, dan bebas dari lapisan film. Untuk adhesi yang optimum, substrat dan lapisan logam pelapis harus saling berdifusi dengan butiran yang saling berikatan, untuk memberikan daerah pertemuan permukaan yang baik (Bushan, 1991).

2.10 Kekilapan Lapisan

Kilap atau dalam bahasa Inggris adalah *glossy*, yang berarti adalah sifat optik dari suatu permukaan, ditandai dengan kemampuannya untuk memantulkan cahaya secara khusus (ISO 2813). Menurut Hunter dalam bukunya "*The Measurement of Appearance*" *gloss* adalah atribut permukaan yang menyebabkannya memiliki tampilan logam yang mengkilap atau berkilau dan umumnya dikaitkan dengan pantulan cahaya *specular* dari permukaan objek. *Specular gloss* sendiri didefinisikan sebagai perbandingan cahaya yang dipantulkan dari permukaan pada sudut yang ditentukan terhadap insiden di permukaan pada sudut yang sama di sisi lain permukaan normal (Hunter, 1987). *Gloss* adalah aspek persepsi visual dari objek yang sama pentingnya dengan warna. *Gloss* permukaan sangat dipengaruhi oleh sejumlah faktor, misalnya kehalusan yang dicapai selama pemolesan, jumlah dan jenis lapisan yang diterapkan atau kualitas substrat. Pabrikan mendesain produk mereka agar memiliki daya tarik maksimum. Seperti contohnya panel bodi mobil yang sangat reflektif, sampul majalah dibuat mengkilap, dan desain *furniture black satin*. *Gloss*

juga dapat menjadi ukuran kualitas permukaan, misalnya penurunan *gloss* pada permukaan yang dilapisi dapat mengindikasikan masalah dengan penyembuhannya, yang menyebabkan kegagalan lain seperti adhesi yang buruk atau kurangnya perlindungan untuk permukaan yang dilapisi. Karena alasan inilah banyak industri manufaktur memantau kilau produk mereka, dari mobil, percetakan dan furnitur hingga makanan, farmasi, dan elektronik.

Untuk menguji kilau dapat menggunakan alat yang disebut *glossmeter*. *Gloss* ditentukan dengan memproyeksikan sinar cahaya pada intensitas tetap dan sudut ke permukaan dan mengukur jumlah cahaya yang dipantulkan pada permukaan yang sama tapi sudut yang berlawanan. Diciptakannya *glossmeter* dilandasi oleh adanya refleksi *specular gloss* dari permukaan benda produksi, misalnya keramik, plastik, kaca, dan lain-lain.

Tabel 2.4 Range Tipe *Gloss* (Hunter,1937)

Tipe <i>Gloss</i>	Range <i>Gloss</i> (GU)	Diukur dengan
<i>Semi-gloss</i>	10-70	Geometri 60°
<i>High gloss</i>	>70	Geometri 20°

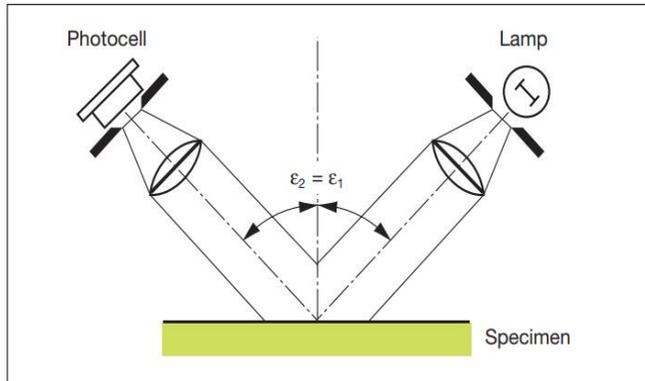
Untuk mengkarakterisasi perubahan sifat *gloss*, nilai *gloss* awal diukur dan dilambangkan dengan G_0 . Nilai *gloss* yang baru diukur setelahnya dan dilambangkan oleh G_i ($i=1,2,3$). Penyimpangan dari nilai ini dilambangkan oleh ΔG dan dihitung menggunakan Persamaan 2.19 sebagai berikut :

$$\Delta G_i = G_0 - G_i \dots\dots\dots(2.19)$$

Sedangkan untuk banyaknya *gloss* yang hilang dilambangkan dengan LG, seperti Persamaan 2.20 yaitu :

$$LG_i = \frac{\Delta G_i}{G_0} = \frac{G_0 - G_i}{G_0} (in\%) \dots\dots\dots(2.20)$$

(Tekkaya et al, 2010)



Gambar 2. 3 Prinsip *Reflection* pada *Glossmeter*
(ISO 2813, 2014)

2.11 Baja

Baja merupakan salah satu jenis logam yang banyak digunakan dengan unsur karbon sebagai salah satu dasar campurannya. Di samping itu baja juga mengandung unsur-unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan sebagainya yang jumlahnya dibatasi. Sifat baja pada umumnya sangat dipengaruhi oleh prosentase karbon dan struktur mikro. Struktur mikro pada baja karbon dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja. Karbon dengan unsur campuran lain dalam baja membentuk karbid yang dapat menambah kekerasan, tahan gores dan tahan suhu baja. Perbedaan prosentase karbon dalam campuran logam baja karbon menjadi salah satu cara mengklasifikasikan baja. Dimana terdapat tiga kelompok baja yang dibedakan berdasarkan kandungan karbonnya, yaitu baja karbon rendah yang mengandung 0 – 0,25% C, baja karbon sedang mengandung 0,25% - 0,60% C, sedangkan baja karbon tinggi mengandung lebih dari 0,60% C. (Callister, 2007)

Baja merupakan salah satu jenis logam yang banyak digunakan dengan unsur karbon sebagai salah satu dasar campurannya. Di samping itu baja juga mengandung unsur-unsur

lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan sebagainya yang jumlahnya dibatasi. Sifat baja pada umumnya sangat dipengaruhi oleh prosentase karbon dan struktur mikro. Struktur mikro pada baja karbon dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja. Karbon dengan unsur campuran lain dalam baja membentuk karbid yang dapat menambah kekerasan, tahan gores dan tahan suhu baja. Perbedaan prosentase karbon dalam campuran logam baja karbon menjadi salah satu cara mengklasifikasikan baja. Dimana terdapat tiga kelompok baja yang dibedakan berdasarkan kandungan karbonnya, yaitu baja karbon rendah yang mengandung 0 – 0,25% C, baja karbon sedang mengandung 0,25% - 0,60% C, sedangkan baja karbon tinggi mengandung lebih dari 0,60% C (Callister, 2007).

2.11.1 Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah merupakan baja yang mengandung karbon kurang dari 0,25 %, merupakan jenis baja yang paling banyak diproduksi. Baja ini tidak dapat dikeraskan dengan *heat treatment*, karena tidak bisa membentuk martensit, penguatannya tercapai hanya dengan *di-cold work*. Mikrostrukturnya terdiri dari ferit dan sedikit perlit, sehingga baja ini kekuatannya relative rendah, bersifat lunak, keuletan tinggi, mudah dibentuk dan dimachining. Aplikasi dari baja ini adalah sebagai baja konstruksi umum, untuk profil rangka bangunan, komponen kendaraan, mur baut, dan pelat yang digunakan untuk *pipelines*, bangunan, jembatan dan kaleng timah (Callister, 2007).

2.11.2 Baja AISI 1020

Baja AISI 1020 merupakan sebuah *plain carbon steel* dengan kandungan karbon sebesar 0,20%. Baja ini memiliki *hardenability* dan *tensile* yang rendah dengan kekerasan Brinell antara 119 hingga 235 dan kekuatan tarik antara 410 hingga 790 Mpa. Baja ini memiliki *machinability*, kekuatan, keuletan, dan *weldability* yang tinggi. Komposisi dari baja AISI 1020 dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Komposisi Baja AISI 1020(Verhoeven, 2010)

C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S	Fe
0,20	0,22	0,66	0,055	0,18	0,015	0,028	98,642
%	%	%	%	%	%	%	%

Baja AISI 1020 ini biasanya diaplikasikan untuk pembuatan pipa untuk fluida bertekanan rendah dan menengah, pipa ketel, dan juga untuk pipa pengalir uap panas yang biasa digunakan pada sistem pembangkit listrik. Dalam jangka penggunaan yang cukup lama baja ini dapat mengalami degradasi dan juga kerusakan yang disebabkan oleh korosi.

2.12 Penelitian Sebelumnya

Penelitian tentang elektroplating kuningan cukup jarang dilakukan di Indonesia. Penelitian terakhir dilakukan oleh Andi dari ITB pada tahun 2010 yang meneliti pengaruh tegangan, waktu dan agitasi dalam elektroplating kuningan dekoratif pada baja berprofil dengan larutan *Zonax brass salt* dan ammonia 20 ml. Variabel yang dilakukan pada proses adalah tegangan antara 1 – 3,5 volt, waktu celup 1,5 – 3,5 menit, dan agitasi. Analisa yang dilakukan ialah dengan pengamatan visual, pengujian kekerasan, ketebalan dan komposisi. Didapatkan hasilnya bahwa tegangan paling baik adalah tegangan paling rendah yaitu 1 volt, dan waktu yang memberi warna paling baik adalah 1,5 menit karena yang dibutuhkan hanya efek warna, maka hanya diperlukan waktu yang paling minimum untuk melapisi seluruh permukaan sampel. Efek agitasi dapat meningkatkan jumlah kandungan Zn sehingga komposisi Cu-Zn lapisan 50-50. Untuk hasil pengujian kekerasan dan komposisi tidak valid, sebab lapisan yang terbentuk sangatlah tipis (0,261 μm).

Pada tahun 2010, Deno Andromeda dari ITB juga meneliti tentang elektroplating kuningan. Dimana penelitiannya tentang pengaruh ammonia dan NaOH pada larutan *Zonax Brass Salt* yang diaplikasikan pada plat baja untuk fungsi dekoratif. Tujuan percobaan tersebut adalah untuk melihat pengaruh tegangan,

NaOH, ammonia pada larutan terhadap warna dan komposisi lapisan. Variasi tegangan yang dilakukan adalah 1,2,3,4, dan 5 volt. Penambahan ammonia sebanyak 10 dan 20 ml, dan NaOH sebanyak 10 dan 20 gram. Hasil percobaan menunjukkan bahwa untuk tegangan 1-2 volt tanpa penambahan ammonia dan NaOH menghasilkan komposisi 80Cu-20Zn dan berwarna kuning, sedangkan untuk proses dengan tegangan 3-5 volt memiliki komposisi 60Cu-40Zn dan berwarna kuning. Tidak terjadi perubahan yang tegas. Untuk efek penambahan ammonia dan NaOH dapat meningkatkan kadar Zn pada lapisan kuningan.

Tahun 2011 pula, Yogik Dwi Mustopo mahasiswa UNS Surakarta meneliti tentang pengaruh waktu terhadap ketebalan dan adhesivitas lapisan pada proses elektroplating khrom dekoratif tanpa lapisan dasar, dengan lapisan dasar tembaga dan tembaga-nikel. Dengan menggunakan baja AISI 1023. Didapatkan kesimpulan bahwa ternyata waktu berpengaruh pada peningkatan ketebalan, dimana semakin lama waktu operasinya, maka lapisan yang berhasil didepositkan juga semakin tebal. Secara visual, didapatkan hasil bahwa permukaan yang paling mengkilap adalah yang menggunakan lapisan dasar tembaga-nikel, hal ini disebabkan adanya nikel yang membuat *brightness*nya meningkat. Sedangkan uji adhesivitas dengan metode *bend test* dengan hasil paling baik adalah lapisan krom tanpa lapisan dasar. Alasannya karena lapisan yang terbentuk tidak terlalu tebal dibandingkan dengan lapisan khrom dekoratif dengan lapisan dasar tembaga-nikel. Sehingga saat diuji tidak mengalami retakan dan pengelupasan.

Pada tahun 2016, Rizky Harri Putra dari Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Malang melakukan penelitian tugas akhir dengan judul Studi Karakteristik Elektroplating Kuningan (Cu-Zn) pada Baja Karbon Rendah (FeC) SA 516 dengan Variabel Waktu. Tujuan penelitian tersebut adalah untuk mengetahui pengaruh variasi waktu terhadap karakteristik elektroplating kuningan (ketebalan dan besar butir). Parameter yang digunakan, rapat arus 4 ampere dengan tegangan 2 volt, dan temperatur

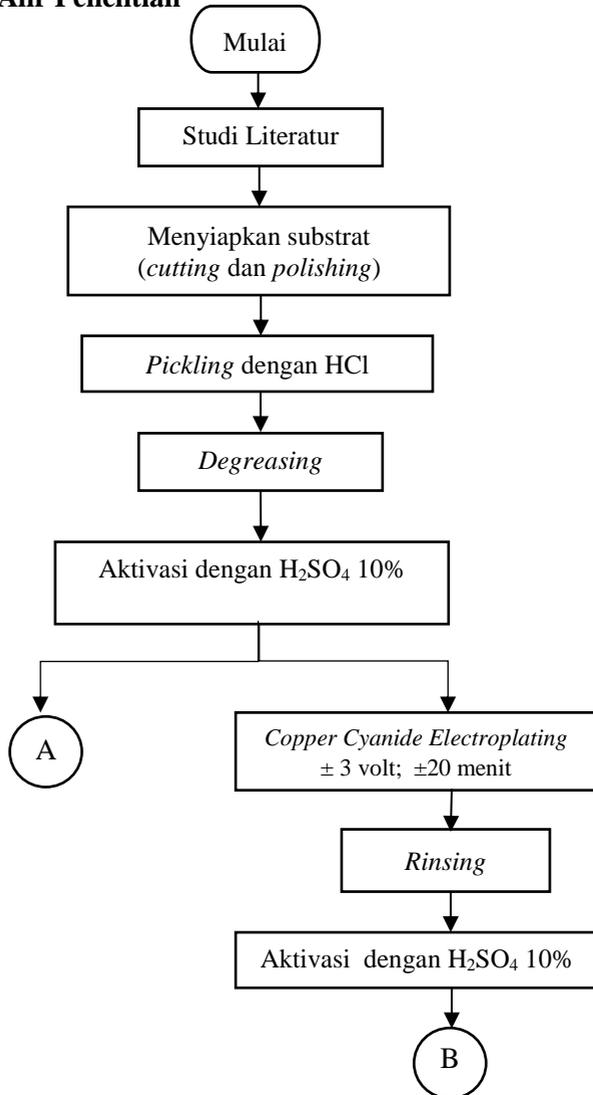
ruangan. Waktu pelapisan divariasikan 15, 20, dan 25 menit. Diperoleh hasil setelah diuji menggunakan SEM, bahwa waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan lapisan yang rata dan padat tidak berongga adalah selama 25 menit.

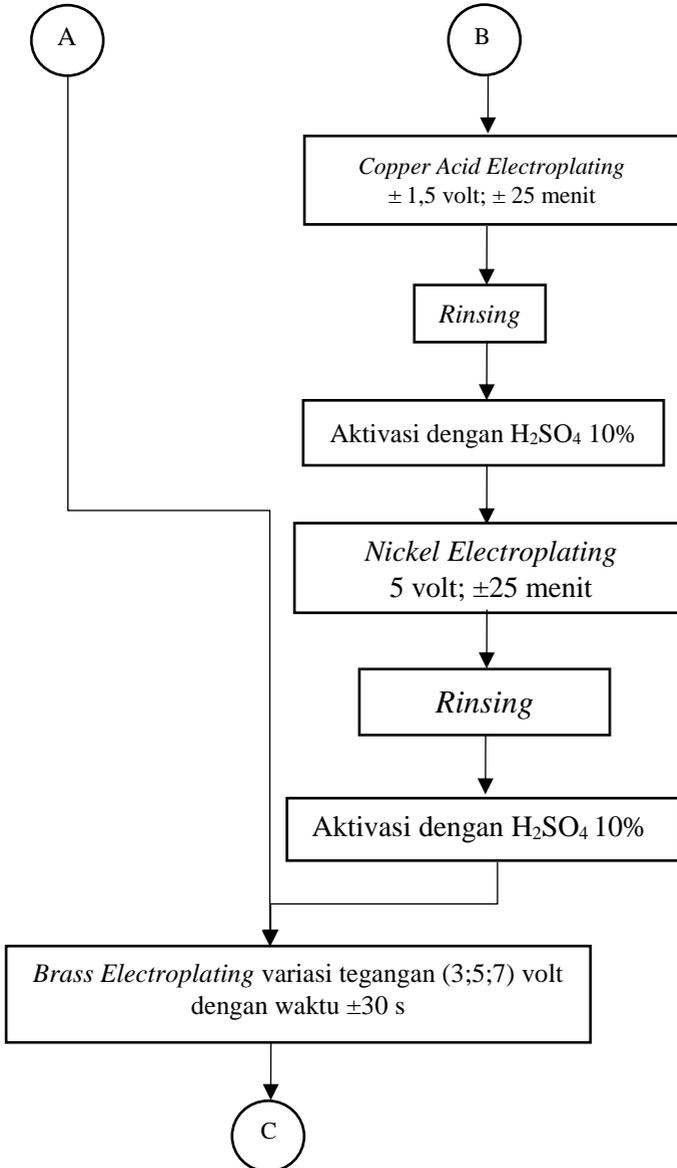
Penelitian tugas akhir tentang elektroplating kuningan pada baja karbon SA 516 dengan variabel voltase terhadap besar butir dan ketebalan lapisan kuningan juga telah diteliti oleh Ivan Lutfianto Nugroho dari Universitas Muhammadiyah Malang pada 2018. Kuningan yang digunakan berkadar 60-96% Cu. Digunakan waktu eksperimen selama 25 menit, dengan elektrolit berupa CuSO_4 . Diperoleh hasil untuk rata-rata ukuran butir dengan variasi tegangan 2 Volt sebesar $10,8 \mu\text{m}$, untuk 4 Volt sebesar $19,2 \mu\text{m}$ dan 6 Volt sebesar $21 \mu\text{m}$. Sedangkan untuk ketebalan lapisannya ialah sebesar $72,96 \mu\text{m}$ pada tegangan 2 Volt, pada 4 volt sebesar $77,5 \mu\text{m}$, dan sebesar $399,3 \mu\text{m}$ untuk 6 Volt. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi tegangan, ukuran butir dan ketebalan lapisan akan meningkat.

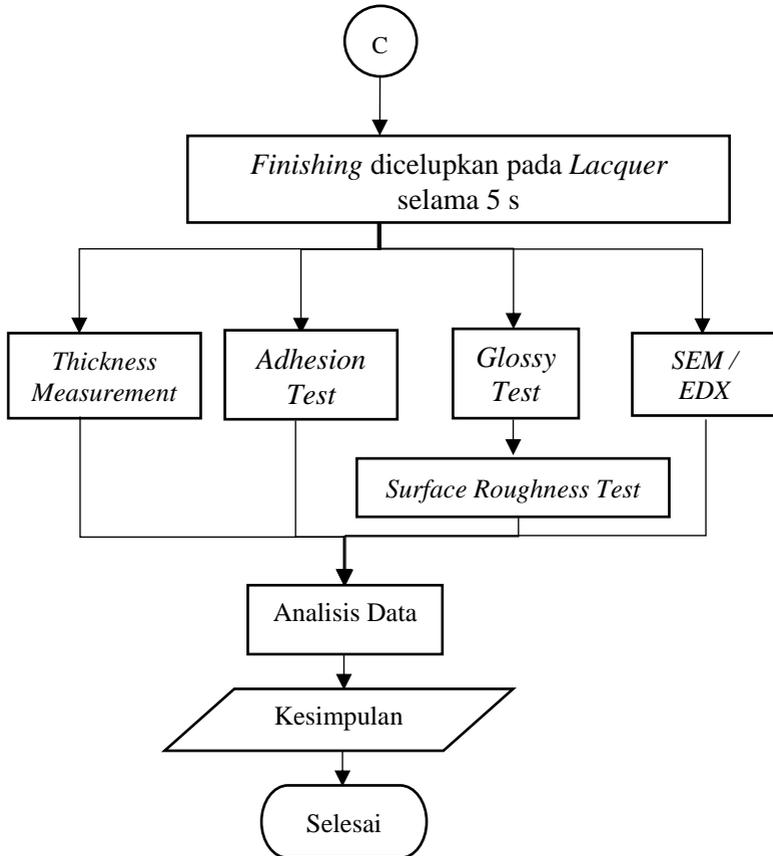
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian







Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini dijelaskan langkah-langkahnya seperti pada Gambar 3.1.

3.2 Metode Penelitian

Metode yang dilakukan pada perancangan penelitian ini adalah :

1. Studi Literatur

Pada studi literatur ini mengacu pada pada jurnal, buku ataupun penelitian yang membahas Proses Pelapisan, Elektroplating Kuningan, Elektroplating Tembaga Sianida dan Tembaga Asam, dan Elektroplating Nikel, baik dalam pengetahuan maupun penerapan yang telah dilakukan oleh penelitian-penelitian sebelumnya yang bergerak dalam bidang pelapisan secara listrik (*electroplating*).

2. Diskusi

Pada metode ini dilakukan diskusi untuk menambah ilmu pengetahuan agar lebih memahami permasalahan dan solusi yang akan dilakukan pada penelitian ini. Metode ini dilakukan oleh pihak-pihak yang terkait pada penelitian ini.

3. Eksperimental

Pada metode ini dilakukannya sesuai prosedur yang ada, yaitu metode Elektroplating, pengujian SEM, pengujian *Pull Off*, pengujian *Bending Mandrel* , pengujian *Rockwell C Adhesion Test*, pengujian ketebalan, pengujian kilap (*glossy*) dan pengujian lain yang diperlukan.

3.3 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain:

1. Baja AISI 1020 sebagai substrat

2. Larutan Elektrolit

Berikut adalah larutan elektrolit yang digunakan dalam penelitian ini :

a. Elektroplating Kuningan

- *Brass Salt*

Brass Salt yang digunakan adalah buatan Korea Selatan, sebanyak 150 gram. Dengan

kandungannya adalah CuCN , ZnCN , NaCN , Na_2CO_3 , NaHCO_2 dan NaOH .

- Ammonia

Ammonia yang ditambahkan sebesar 1 cc/lit adalah jenis ammonia teknis. Fungsinya adalah untuk meningkatkan kandungan Zn, memperluas daerah kerataan lapisan dan membuat lapisan lebih mengkilap.

Larutan *Brass* memiliki warna bening seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3.



(a)

(b)

Gambar 3.2 (a) *Brass Salt* dalam Bentuk Powder
(b) Kemasan *Brass Salt* 15kg

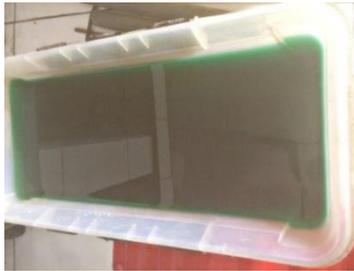


Gambar 3.3 Larutan Elektroplating Kuningan

b. Elektroplating Tembaga Sianida

- CuCN 45 gr/lt
- NaCN 64 gr/lt
- NaOH 20 gr/lt
- *Rochelle Salt* 30 gr/lt
- *Brightener* 13 gr/lt

Larutan Tembaga Sianida berwarna hijau, seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Larutan Tembaga Sianida

c. Elektroplating Tembaga Sulfat

- CuSO₄ 220 gr/lt
- H₂SO₄ 32,6cc/lt
- Mu 10 cc/lt
- *Brightener* 0,5 cc/lt

Warna larutan tembaga sulfat ialah kuning, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Larutan Tembaga Sulfat

d. Elektroplating Nikel

- NiSO_4 250 gr/l
- NiCl 70 gr/l
- H_3BO_3 45 gr/l

Warna larutan nikel adalah hijau kebiruan, seperti ditunjukkan Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Larutan Nikel

3. Anoda

Pada penelitian ini digunakan anoda terlarut. Dimana sewaktu logam dioksidasi dan melepaskan elektron-elektron yang sebanding dengan elektron-elektron dari katoda. Ion logam direduksi kembali secara kontinu dalam atom logam, selanjutnya diendapkan pada katoda. Adapun untuk tiap-tiap proses pelapisan pada penelitian ini menggunakan anoda yang berbeda, antara lain:

- a. Elektroplating Kuningan : Kuningan
- b. Elektroplating Tembaga Sianida : Tembaga murni
- c. Elektroplating Tembaga Asam : *Copper Phosporize*
- d. Elektroplating Nikel : Nikel

4. Air dan Aquades

Air digunakan dalam proses pembersihan dan pembilasan. Sedangkan aquades digunakan untuk pembuatan larutan. Air digunakan dalam proses pembersihan dan pembilasan.

Sedangkan aquades digunakan untuk pembuatan larutan elektrolit, menambah larutan elektrolit yang menguap.

5. H_2SO_4
Digunakan sebagai aktivator substrat, sehingga permukaan substrat lebih reaktif tanpa harus ditambahkan material lainnya. Pada proses kali ini menggunakan asam sulfat 10%.
6. Larutan *Degreasing*
Larutan *degreasing* digunakan untuk membersihkan minyak dan lemak yang mungkin menempel pada permukaan substrat. Larutan ini terbuat dari basa/alkali.
7. HCl
Asam Klorida digunakan dalam proses *pickling* untuk membersihkan permukaan substrat dari oksida atau karat dan sejenisnya.
8. Air
Digunakan dalam proses *Rinsing*, yang bertujuan untuk membersihkan substrat dari sisa-sisa larutan yang kemungkinan masih menempel.
9. Larutan *Lacquer* NIKKASAN
Digunakan sebagai *finishing*, agar lapisan kuningannya yang terbentuk tidak mudah teroksidasi oleh udara.

3.4 Alat Percobaan

1. *Power Supply (Rectifier)*
Adalah sebuah alat yang dapat mengubah tegangan listrik dari 220 V menjadi yang lebih rendah sesuai dengan tegangan yang dibutuhkan. *Rectifier* yang digunakan seperti pada Gambar 3.12 memiliki tegangan 0-15V, dengan arus 10 Ampere.



Gambar 3.7 Rectifier

2. Kabel
3. Kawat tembaga sebagai penghantar arus listrik
4. SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan EDX (*Energy Dispersive X-Ray*)
5. *Pull Off Test*
6. *Coating Thickness Elcometer*
7. *Mandrel Bending Test*
8. *Glossmeter*
9. Mikroskop optic
10. *Surface Roughness Test*

3.5 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam beberapa tahapan,yaitu:

3.5.1 Persiapan Substrat

a. Polishing

Memotong substrat dengan ukuran 7 x 3,5 x 0,2 cm, lalu menghaluskan permukaan substrat dengan amplas dari grade 80 hingga 300. Proses ini sangat perlu dilakukan dengan baik, untuk mendapatkan permukaan yang rata dan halus sehingga mengurangi kecacatan hasil.

b. Pickling

Membersihkan substrat dari oksida atau karat dengan proses *pickling*. Yaitu substrat dimasukkan ke dalam HCl selama 3-5 menit. Reaksi proses *pickling* sebenarnya

adalah proses elektrokimia dalam sel galvanis antara logam dasar (anoda) dan oksida (katoda).

c. *Degreasing*

Membersihkan substrat dari lemak dan minyak yang dapat mengganggu proses pelapisan. Lemak dan minyak dapat mengurangi daya hantar listrik antara ion pelapis dengan substrat. Proses ini menggunakan larutan jenis basa (alkali).

d. *Activation*

Mencelupkan substrat yang sudah bersih ke dalam larutan H_2SO_4 , dengan tujuan untuk aktivasi permukaan substrat. Aktivasi akan mengakibatkan permukaan benda kerja teretsa dimana hal ini dibutuhkan agar lapisan yang akan dideposisikan dapat melekat pada permukaan benda kerja dengan baik. Proses ini dilakukan selama 1-3 menit. Aktivasi ini dilakukan setiap akan memasukkan substrat ke dalam larutan elektrolit.

e. *Rinsing*

Diantara tahap-tahap pembersihan, benda kerja dicelupkan ke dalam air bersih. Gunanya adalah untuk menghindari sisa-sisa larutan dari tahap pembersihan sebelumnya tertinggal di permukaan benda kerja dan masuk ke dalam larutan proses pembersihan selanjutnya.

3.5.2 Proses Electroplating Kuningan

Setelah dilakukan *pre-treatment*, proses selanjutnya adalah proses electroplating. Dalam penelitian ini dilakukan dua percobaan untuk electroplatingnya, percobaan yang pertama yaitu electroplating kuningan dilakukan secara langsung terhadap substrat, sedangkan untuk percobaan ke dua, sebelum electroplating kuningan dilakukan dulu electroplating tembaga sianida sebagai lapisan dasar, setelahnya dilakukan electroplating tembaga asam sulfat, dan electroplating nikel, baru dilapiskan kuningan. Lalu setelah electroplating kuningan akan dilakukan *finishing*, dengan menggunakan *lacquer*.

Rangkaian elektroplating kuningan disusun seperti pada Gambar 3.8. Proses elektroplating kuningan dilakukan dalam kondisi operasi sebagai berikut:

- Temperatur : Ruang (25-30°C)
- Rapat Arus : 0-7 A/dm²
- Jarak katoda-anoda : 5 cm
- Waktu celup : 30 detik
- Variasi voltase : 3; 5; 7 volt



Gambar 3.8 Rangkaian Elektroplating Kuningan

3.5.3 Proses Elektroplating Tembaga Sianida

Untuk percobaan yang kedua, lapisan yang pertama menggunakan lapisan tembaga bervalensi satu, dengan larutannya berupa sianida. Dengan komposisi CuCN 45 gr/lit, NaCN 64 gr/lit, NaOH 20 ml, *Rochelle Salt* 30 g/lit, dan *Brightener* secukupnya. Kondisi pengoperasiannya pada temperatur ruang, dengan tegangan 1,5 hingga 2 volt selama 10 sampai 15 menit. Tembaga sianida digunakan sebagai lapisan dasar karena sangat bagus sifat *adherentnya*, juga dapat menutup lubang-lubang yang dalam, sehingga memperkecil peluang terjadinya permukaan lapisan yang berpori. Keuntungan menggunakan tembaga sianida dapat disimpulkan yaitu proses operasional sederhana dan murah, dapat

langsung dilapiskan pada logam *ferro* dan *non-ferro* karena valensi satu, mempunyai *throwing power* yang tinggi, serta sangat cocok untuk melapisi benda kerja yang kompleks.

3.5.4 Proses Elektroplating Tembaga Asam Sulfat

Setelah pelapisan tembaga sianida, percobaan kedua dilanjutkan dengan elektroplating tembaga sulfat. Larutan tembaga sulfat mengandung ion-ion tembaga bervalensi dua dan mempunyai *throwing power* rendah serta tidak dapat langsung melapiskan besi atau baja, karena akan terjadi reaksi Fe dan SO_4 membentuk lapisan FeSO_4 . Oleh karena itulah lebih baik bila logam besi atau baja terlebih dahulu dilapisi dengan tembaga sianida. Kondisi operasi larutan tembaga sulfat selain dapat dilakukan pada temperatur kamar dan rapat arus rendah, dapat pula dioperasikan pada temperatur tinggi dengan cara menambah rapat arus yang lebih tinggi. Untuk penelitian ini larutannya terdiri dari CuSO_4 sebanyak 220 gr/lit, H_2SO_4 32,6 cc/lit, Mu 10 cc/lit, dan Brightener 0,5 cc/lit. Kondisi operasi dilakukan pada temperatur ruang, tegangan sebesar 1 hingga 4 volt, dan lama pelapisan sekitar 25 menit. Keuntungan dari tembaga sulfat ini adalah lebih stabil dan mudah dalam pengoperasiannya, lapisan ini juga dapat menutup lubang yang sangat kecil, mudah dalam menutupi goresan, dan tidak memiliki masalah terhadap pencemaran lingkungan. Namun tembaga sulfat tidak dapat langsung diaplikasikan pada besi atau baja, juga mempunyai *throwing power* yang rendah.

3.5.5 Proses Elektroplating Nikel

Proses selanjutnya adalah elektroplating nikel, dengan komposisi NiSO_4 250 gr/lit, NiCl 70-90 gr/lit, dan H_3BO_3 45 gr/lit, yang dilakukan pada temperatur ruang, dengan tegangan 2 volt. Rangkaian elektroplating nikel disusun seperti pada Gambar 3.9. Nikel sulfat digunakan sebagai sumber utama ion nikel untuk pengendapan, karena garam nikel mudah larut dalam air. Ion-ion *chlorid* berfungsi mempercepat pengkorosian anoda nikel dan

meningkatkan koefisien difusi ion nikel, sehingga memudahkan pengendapan nikel. Sedangkan asam *boric* digunakan sebagai penyangga (buffer) untuk menjaga agar pH larutan tetap pada nilai 4, karena pada proses pelapisan nikel sangat baik bila dioperasikan pada pH 4 hingga 5,2. Tujuan pelapisan nikel sendiri ialah untuk mendapatkan lapisan yang mengkilap.



Gambar 3.9 Rangkaian Elektroplating Nikel

3.5.6 *Finishing*

Langkah terakhir sebelum dikeringkan adalah dengan melapiskan lapisan *lacquer*, yang berfungsi untuk melindungi hasil lapisan agar tidak teroksidasi. Metode yang dilakukan adalah dengan cara mencelupkan substrat yang sudah menjalani proses elektroplating ke dalam *lacquer* selama beberapa detik. Setelahnya baru dikeringkan baik dengan bantuan sinar matahari, atau bisa menggunakan alat bantu pengering.

3.6 Pengujian Sampel

Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa pengujian untuk mendapatkan data yang sesuai dengan tujuan dari penelitian. Pengujian tersebut antara lain :

3.6.1 Pengujian Makrovisual

Dilakukan dengan mengamati secara visual benda uji, lalu

diambil gambarnya untuk dibandingkan. Selain itu pengujian ini bertujuan untuk mengetahui morfologi permukaan lapisan yang terbentuk. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS menggunakan Mikroskop Olympus.

3.6.2 Pengukuran Ketebalan Lapisan

Pengukuran ketebalan ini menggunakan *coating thickness Elcometer*. Alat ini memiliki ketelitian hampir 0.1 μm .



Gambar 3.10 Proses Pengukuran Ketebalan Lapisan

3.6.3 Glossy Test

Glossmeter digunakan untuk mengukur tingkat kilau permukaan, *gloss* ditentukan dengan memproyeksikan sinar cahaya pada intensitas tetap dan sudut ke permukaan dan mengukur jumlah cahaya yang dipantulkan pada bidang yang sama tapi sudut yang berlawanan. Pengukuran kilau berkonsentrasi pada bagian yang diarahkan pada sudut komplementer. Tetapi karena tingkat *gloss* diukur dalam rentang panjang gelombang yang terlihat, warna sampel mempengaruhi nilai *gloss* yang diukur sampai batas tertentu, sehingga harus mencoba membandingkan sampel dengan tidak ada perbedaan yang cukup besar dalam rona dan cahayanya. Hasil dari uji *glossy* dinyatakan dalam satuan GU (*gloss units*). Standar pengukurannya dijelaskan pada ISO 2813.



Gambar 3.11 *Multi Glossmeter*

3.6.4 *Surface Roughness Tester*



Gambar 3.12 *Surface Roughness Tester*

Selain itu, dilakukan pula pengujian tambahan berupa uji kekasaran permukaan dengan *surface roughness tester* merk Mitutoyo, di Laboratorium Manufaktur Departemen Teknik Mesin, FTI ITS. Alat ini dilengkapi dengan jarum peraba (*stylus*). Dengan adanya *stylus* tersebut hasil pengukuran dapat langsung dibaca. Cara kerja produk ini adalah sensor ditempelkan pada permukaan benda uji yang diletakkan pada meja yang datar, kemudian *dial indicator* (berupa jarum) akan meluncur di sepanjang permukaan yang sejajar dengan permukaan benda uji. Setelahnya, nilai kekasaran akan ditampilkan pada layar display dalam Ra atau kekasaran rata-rata. Adapun data nilai kekasaran ini menjadi pendukung teori tentang kekilapan (*glossy*).

3.6.5 SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan EDX (*Energy Dispersive X-ray*)



Gambar 3.13 Alat SEM/EDX Dept. Teknik Material ITS

Pengujian SEM-EDX ini bertujuan untuk mengetahui topografi permukaan, serta untuk menghitung ketebalan lapisan. Instrumen yang digunakan bertipe FEI INSPECT 550 bertempat di laboratorium karakterisasi material Departemen Teknik Material FTI ITS. Cara kerja SEM adalah dengan menembakkan elektron dari *electron gun* kemudian melewati *condensing lenses* dan pancaran elektron akan diperkuat dengan sebuah kumparan. Setelah itu, elektron akan difokuskan ke sampel oleh lensa objektif yang ada dibagian bawah. Pantulan elektron yang mengenai permukaan sampel akan ditangkap oleh *backscattered electron detector* (BSE) atau *secondary electron detector*. Dengan adanya BSE, maka akan tampak material yang ringan (berwarna terang) dan material yang berat (berwarna gelap), yang kemudian diterjemahkan dalam bentuk gambar pada *display monitor*.

3.6.6 Adhesion Test

Salah satu cara untuk menguji kualitas lapisan *coating* hasil elektroplating adalah dengan menguji kelekatan lapisan *coating* terhadap benda kerja yang dilapisinya. Terdapat 2 metode pengujian kelekatan, yakni secara kuantitatif dan secara kualitatif. Salah satu uji kelekatan lapisan *coating* secara kuantitatif adalah uji *pull-off* menggunakan alat PosiTest AT-M *Adhesion Tester*. Sebelum melakukan uji kelekatan, spesimen hasil elektroplating perlu dipersiapkan terlebih dahulu sesuai standar spesimen uji *pull-off* yang ada. Yaitu ASTM D4541. Pertama-tama spesimen hasil elektroplating harus ditempelkan kepada semacam alat penarik yang berbentuk seperti pion catur yang bernama *DeFelsko dolly*. Penempelan spesimen uji kepada alat penarik dilakukan dengan mengelem spesimen uji kepada penarik menggunakan lem *epoxy*, yang sebelumnya pion *dolly* berdiameter 20 mm dan permukaan spesimen yang akan ditempeli tersebut dibersihkan terlebih dulu, barulah dioleskan lem *epoxy* dan ditempelkan ke permukaan yang akan diuji lalu dibiarkan mengering kurang lebih 24 jam. Uji *pull-off* dilakukan dengan memasukkan tuas penarik ke dalam alat penarik yang terhubung dengan alat pembaca tekanan. Spesimen perlahan-lahan ditarik sampai lapisan *coating* pada permukaan spesimen mengelupas, kemudian besar kekuatan tarik lapisan hasil elektroplating akan terlihat pada alat pengukur tekanan.



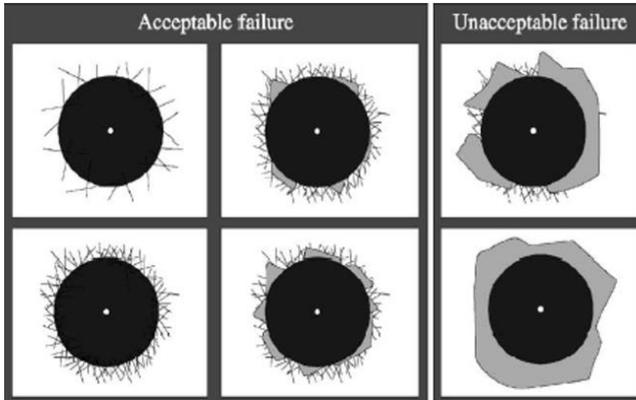
Gambar 3.14 Alat *Pull Off Test*

Untuk metode kualitatif, dapat menggunakan *Conical Mandrell Test*. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan metode *side bend*. Standar yang biasa digunakan adalah ASTM D522. Bagian dari mandrel berbentuk silinder dengan diameter kecil yang konstan. Pada pengujian kali ini digunakan diameter sebesar 13 mm. Pada pengujian mandrel, proses penekukan material dilakukan dengan cara manual, yaitu material ditebuk hingga mencapai sudut 180° (sesuai yang diinginkan). Kemudian setelah ditebuk, dilakukan pengamatan pada spesimen uji di bawah pembesaran 4X untuk melihat apakah pelapisnya mengelupas dari substrat atau tidak. Pisau atau benda tajam dapat digunakan untuk mengangkat lapisan jika terjadi retak atau melepuh. Retak saja tidak selalu merupakan indikasi adhesi yang tidak memadai kecuali pelapis dapat dikupas dengan mudah.



Gambar 3.15 Alat Uji *Bending*

Selain itu, ada metode kualitatif untuk mengetahui adhesivitas suatu lapisan yakni dengan *Rockwell C Adhesion Tests*. Pengujian Indentasi Rockwell C dilaksanakan pada Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material dengan beban awal sebesar 100 kgf dan beban akhir indentasi sebesar 150 kgf. Adapun yang diidentifikasi dari hasil indentasi adalah hasil kualitatif setelah indentasi. Terjadinya delaminasi yang berlebihan menandakan lapisan tidak memiliki adhesi yang baik pada substrat. Berikut Gambar 3.16 adalah bentuk dari hasil delaminasi yang dapat diterima dan tidak berdasarkan standar dari P&P *thin film advanced technology*.



Gambar 3.16 Standar kontrol kegagalan pada substrat yang diindentasi (P&P, 2012)

3.7 Rancangan Penelitian

Untuk memudahkan proses penelitian selama percobaan, disusun rancangan penelitian yang dilakukan berupa Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Rancangan Penelitian

Spesimen	Pengujian			
	<i>Thickness</i>	<i>Glossy</i>	Adhesi	SEM/EDX
3 volt Lapisan Dasar Cu-Ni	√	√	√	-
5 volt dengan Lapisan Dasar Cu-Ni	√	√	√	-
7 volt dengan Lapisan Dasar Cu-Ni	√	√	√	√
3 volt Tanpa Lapisan Dasar	√	√	√	-
5 volt Tanpa Lapisan Dasar	√	√	√	-
7 volt Tanpa Lapisan Dasar	√	√	√	√
Produk Pemanding	√	√	√	√

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengamatan Makrovisual

Pengamatan makro pada spesimen hasil elektroplating kuningan dilakukan dengan pengamatan langsung secara visual juga dengan menggunakan mikroskop, untuk mengamati perubahan yang terjadi terhadap spesimen uji sebelum dan sesudah proses elektroplating.

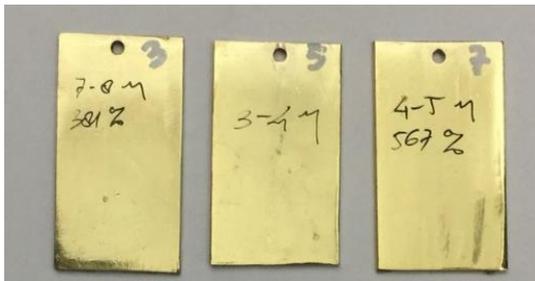
Spesimen yang permukaannya sudah dielektroplating dan sudah dilakukan finishing berupa pencelupan ke dalam larutan Lacquer, selanjutnya diamati secara visual dan dibandingkan dengan hasil setiap variasi perlakuan, kemudian diambil gambarnya. Spesimen yang belum dielektroplating ditunjukkan oleh Gambar 4.1. Sedangkan untuk spesimen yang sudah dielektroplating ditunjukkan oleh Gambar 4.2.



Gambar 4. 1 Spesimen Baja AISI 1020
Sebelum Elektroplating

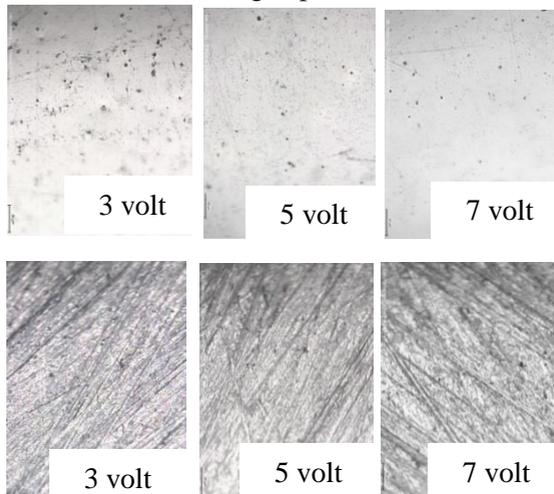


Produk Pemanding

Menggunakan Lapisan Dasar Tembaga Nikel
Variasi Voltase 3; 5 ; dan 7 voltTanpa Menggunakan Lapisan Dasar Tembaga
Nikel Variasi Voltase 3; 5 ; dan 7 volt**Gambar 4.2** Hasil Spesimen Setelah di Elektroplating

Berdasarkan pengamatan visual yang dilakukan pada produk pemanding pada Gambar 4.2, bahwa seluruh permukaan

substrat telah tertutupi lapisan. Warna yang terlihat kuning dan juga mengkilap. Untuk spesimen percobaan yang sudah di elektroplating kuningan dengan lapisan dasar tembaga nikel juga telah terlapisi dengan baik dan terlihat mengkilap. Permukaan logam dikatakan terlapisi dengan baik karena tidak terlihat adanya permukaan substrat yang belum terlapisi dan warna yang dihasilkan pun homogen. Warna mengkilap yang dihasilkan adalah efek dari adanya lapisan nikel yang mempunyai karakteristik mengkilap. Jika dibandingkan dengan produk perbandingan, maka kilap dari spesimen percobaan lebih mengkilap. Hal itu disebabkan oleh parameter proses yang berbeda, yang akan dibahas di pembahasan selanjutnya. Sedangkan untuk elektroplating kuningan tanpa lapisan dasar, terlihat ketidaksamaan (tidak homogen) warna lapisan yang terbentuk. Warna kuning yang terbentuk tidak merata dan warna substrat masih terlihat (warna gelap).



Gambar 4.3 Foto Makrovisual Permukaan Lapisan Kuningan dengan Lapisan Dasar Cu, Ni (atas) dan Tanpa Lapisan Dasar (bawah) dengan variasi voltase Perbesaran 20x

Terlihat pada spesimen dengan lapisan dasar tembaga nikel permukaannya tertutup oleh lapisan. Dimana semakin naik voltase, jumlah bintik-bintik hitam yang berdiameter paling besar 30 μm , dan diameter rata-ratanya sebesar 15 μm , terindikasi sebagai bagian substrat yang belum tertutup lapisan juga menurun. Hal ini disebabkan oleh lapisan dasar tembaga nikel yang dengan baik dapat menutup lubang dan goresan pada permukaan substrat, dan terus membaik seiring naiknya voltase hingga 7 volt. Sedangkan untuk spesimen tanpa lapisan dasar, permukaannya masih terlihat banyak *scratch*. Hal tersebut disebabkan lapisan yang terlalu tipis, dibandingkan dengan spesimen yang menggunakan lapisan dasar tembaga nikel. Proses pengamplasan yang hanya sampai *grade* 300 ternyata belum dapat menghasilkan permukaan yang bebas dari *scratch*. Sehingga proses persiapan permukaan harus benar-benar diperhatikan.

Dengan demikian dapat ditarik kesimpulan bahwa lapisan kuningan dengan lapisan dasar tembaga nikel memiliki tampak rupa yang lebih baik dibandingkan dengan lapisan kuningan tanpa lapisan dasar.

4.2 Hasil Pengujian Ketebalan

Hasil pengujian ketebalan dengan menggunakan *coating thickness Elcometer* milik PT.INKA, Madiun ditunjukkan pada Tabel 4.1. Untuk elektroplating kuningan dengan lapisan dasar tembaga nikel, ketebalan rata-rata yang dihasilkan pada variasi 3 volt adalah sebesar 4.78 μm , pada variasi 5 volt adalah sebesar 5.667 μm , dan untuk variasi 7 volt adalah sebesar 7.233 μm . Dengan demikian terlihat bahwa nilai ketebalan paling tinggi ialah pada spesimen dengan variasi voltase 7 volt yakni sebesar 7.233 μm . Untuk ketebalan rata-rata lapisan kuningan tanpa lapisan dasar variasi 3 volt adalah sebesar 1.853 μm , untuk 5 volt sebesar 2.5 μm , dan untuk 7 volt adalah sebesar 3.4133 μm . Sehingga untuk lapisan kuningan tanpa lapisan dasar tembaga nikel, ketebalan tertinggi ada pada variasi voltase 7 volt. Produk pembanding memiliki ketebalan sebesar 5.37 μm .

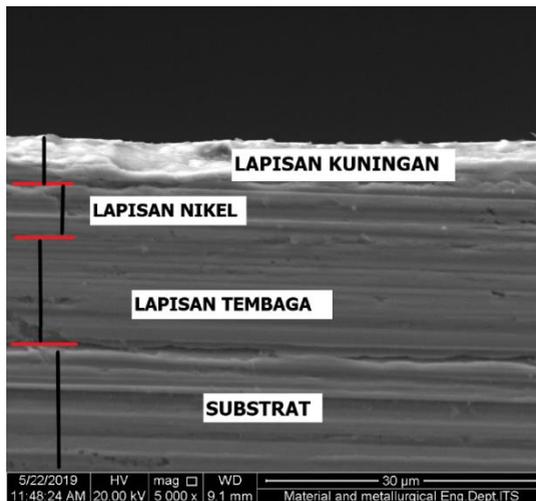
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Ketebalan dengan *Coating Thickness*

Lapisan	Spesimen	Voltase (volt)	Ketebalan (μm)	Rata-rata (μm)	
Lapisan Dasar Tembaga-Nikel	1	3	4.9	4.78	
	2		4.87		
	3		4.57		
	Lapisan Dasar Tembaga-Nikel	4	5	5	5.667
		5		7	
		6		5	
	Lapisan Dasar Tembaga-Nikel	7	7	6	7.233
		8		9	
		9		6.7	
Tanpa Lapisan Dasar	10	3	1.7	1.853	
	11		1.36		
	12		2.5		
	Tanpa Lapisan Dasar	13	5	2.3	2.5
		14		3	
		15		2.2	
	Tanpa Lapisan Dasar	16	7	3	3.4133
		17		3.5	
		18		3.74	
Produk Pembanding	S	4	5.37		

Hasil pengujian ketebalan dengan menggunakan *coating thickness Elcometer* milik PT.INKA, Madiun ditunjukkan pada

Tabel 4.1. Untuk elektroplating kuningan dengan lapisan dasar tembaga nikel, ketebalan rata-rata yang dihasilkan untuk 3 volt adalah sebesar $4.78 \mu\text{m}$, 5 volt adalah sebesar $5.667 \mu\text{m}$, dan untuk 7 volt adalah sebesar $7.233 \mu\text{m}$. Dengan demikian terlihat bahwa nilai ketebalan paling tinggi ialah pada spesimen dengan voltase 7 volt yakni sebesar $7.233 \mu\text{m}$. Untuk ketebalan rata-rata lapisan kuningan tanpa lapisan dasar 3 volt adalah sebesar $1.853 \mu\text{m}$, untuk 5 volt sebesar $2.5 \mu\text{m}$, dan untuk 7 volt adalah sebesar $3.4133 \mu\text{m}$. Sehingga untuk lapisan kuningan tanpa lapisan dasar tembaga nikel, ketebalan tertinggi ialah voltase 7 volt. Produk perbandingan memiliki ketebalan sebesar $5.37 \mu\text{m}$.

Selain pengukuran tersebut, dilakukan pula SEM *cross section*. Dipilih hanya satu sampel yang paling bagus dari segi penampakan visual dan mempunyai ketebalan yang tinggi setelah diukur dengan *coating thickness*, karena keterbatasan waktu dan mahalnya biaya pengujian SEM jika harus seluruh spesimen dikenai pengujian. Spesimen terpilih adalah spesimen variasi voltase 7 volt dengan lapisan dasar tembaga nikel. Dengan hasil ditunjukkan pada Gambar 4.4.



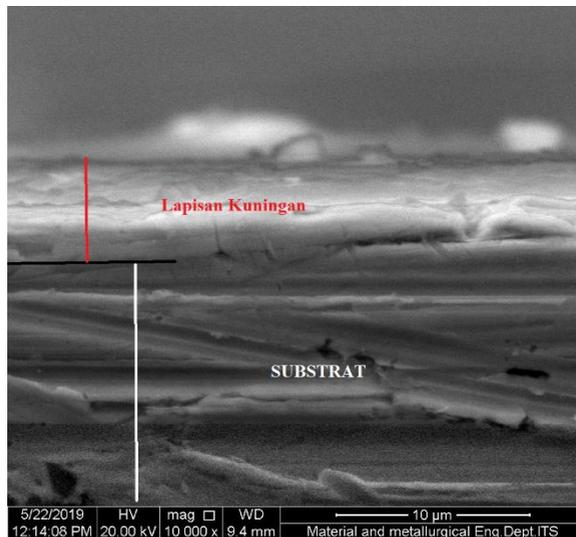
Gambar 4. 4 Hasil SEM *Cross Section* Lapisan Kuningan 7 Volt dengan Lapisan Dasar Tembaga

Dari hasil pengamatan melalui SEM *cross-section* didapatkan nilai ketebalan lapisan pada 3 titik yang berbeda masing-masing adalah sebesar 3.322 μm ; 3.118 μm dan 2.652 μm . Sehingga saat dirata-rata nilainya adalah 3.03 μm . Data terdapat pada Lampiran Bagian A. Nilai tersebut adalah nilai ketebalan lapisan kuningan saja. Pada pengukuran ketebalan menggunakan *coating thickness Elcometer* didapatkan nilai ketebalan lapisan total adalah 7.233 μm .

Tabel 4.4 Data Ketebalan Lapisan

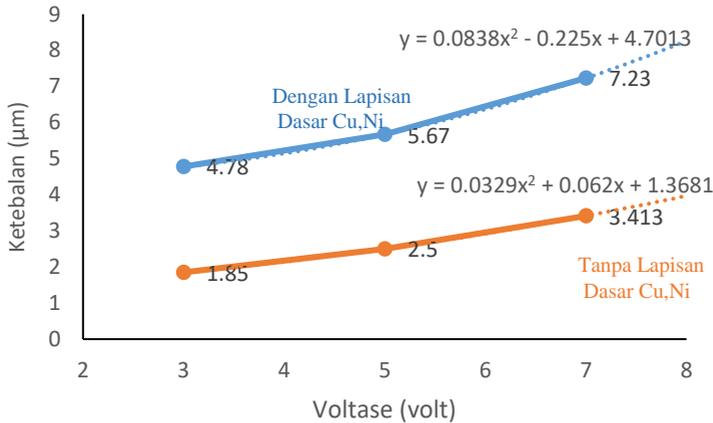
Spesimen	7 volt dengan Lapisan Dasar Cu,Ni
Tebal Lapisan Total (diukur dengan <i>coating thickness</i>)	7.233 μm
Tebal Lapisan Kuningan (diukur dengan <i>SEM cross section</i>)	3.03 μm

Untuk spesimen yang tidak menggunakan lapisan dasar, penampang *cross section*-nya tersaji dalam Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Hasil SEM *Cross Section* Lapisan Kuningan Voltase 7 4.olt Tanpa Lapisan Dasar

Dari Gambar 4.5 didapatkan nilai ketebalan spesimen tanpa lapisan dasar tembaga nikel didapatkan nilai rata-ratanya adalah 2.235 μm . Untuk data detailnya terdapat dalam Lampiran Bagian A. Nilai tersebut jika dibandingkan dengan hasil yang didapat dengan menggunakan *coating thickness Elcometer* terdapat perbedaan dimana hasilnya adalah 3.4133 μm . Perbedaan ini disebabkan oleh lapisan yang sudah teroksidasi selama preparasi sebelum diuji SEM/EDX, sehingga ketebalannya berkurang.



Gambar 4.6 Grafik Hasil Pengujian Ketebalan Lapisan Kuningan

Gambar 4.6 menunjukkan kecenderungan ketebalan yang naik seiring dengan bertambahnya voltase. Baik untuk lapisan kuningan dengan lapisan dasar tembaga nikel maupun yang tanpa lapisan dasar. Dari data pada Tabel 4.1, dianalisa menggunakan regresi polinomial untuk memperoleh persamaan matematik yang dapat digunakan dalam melihat pengaruh voltase terhadap ketebalan lapisan. Didapatkan persamaan regresi untuk fungsi voltase terhadap ketebalan pada elektroplating kuningan dengan lapisan dasar tembaga nikel ditunjukkan Persamaan 4.1, dan Persamaan 4.2 untuk yang tanpa lapisan dasar.

$$y = 0.335x^2 - 0.115x + 4.56 \dots \dots \dots (4.1)$$

$$y = 0.1315x^2 + 0.2555x + 1.463 \dots \dots \dots (4.2)$$

Berdasarkan teori, semakin besar voltase yang digunakan akan memperbesar rapat arus, yang menyebabkan naiknya pergerakan ion-ion dari anoda menuju katoda. Sehingga dengan naiknya voltase dalam parameter waktu yang sama, akan meningkatkan laju deposisi logam (Kanani, 2005). Dengan demikian, naiknya voltase juga akan menaikkan ketebalan lapisan. Hal ini diperkuat oleh Persamaan 2.13, yang menyatakan bahwa seiring naiknya voltase, rapat arus akan semakin meningkat. Begitu pula dengan ketebalan juga akan mengalami kenaikan, sebab ketiga hal tersebut saling berbanding lurus. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Saadatmand, didapatkan Persamaan 4.3.

$$S = 1.637V^{0.763} \dots\dots\dots(4.3)$$

Dimana :

S : Ketebalan lapisan (μm)

V : Voltase (volt)

Persamaan 4.3 adalah hubungan pengaruh voltase pelapisan pada ketebalan lapisan pada waktu pelapisan 15 menit. Penjelasannya adalah dengan meningkatnya voltase, mobilitas ion migrasi meningkat, oleh karena itu laju akumulasi atom Zn dan Cu pada lapisan yang dilapisi meningkat, yang mengarah ke penebalan lapisan berlapis kuningan (Saadatmand, 2011).

Jika hasil pengujian ini dicari regresinya dengan tipe eksponensial power didapatkan persamaan untuk lapisan kuningan dengan lapisan dasar tembaga nikel adalah

$$y = 2.7764x^{0.4758} \dots\dots\dots(4.4)$$

dan untuk lapisan kuningan tanpa lapisan dasar adalah

$$y = 0.8314x^{0.7119} \dots\dots\dots(4.5)$$

Persamaan 4.4 dan 4.5 sesuai dengan Persamaan 4.3, dimana ketebalan adalah fungsi eksponensial dari voltase.

4.3 Pengujian Adhesivitas Lapisan

Adhesivitas atau kelekatan suatu lapisan dapat diukur dengan beberapa metode. Dalam penelitian kali ini digunakan 3 metode pengujian adhesivitas. Yaitu : *Pull Off Test*, *Mandrel Bending Test*, dan *Rockwell C Indentation Test*.

Nilai yang ditampilkan pada alat *pull off test* belum tentu nilai adhesi yang sebenarnya, sebab ada 3 kemungkinan yang bisa terjadi. Adhesi, Kohesi dan *Glue Failure*. Adhesi adalah daya lekat antara lapisan dengan substrat, sehingga indikator bahwa nilai yang ditampilkan adalah nilai adhesi adalah harus ada setidaknya setengah area dari pin *dolly* pada lapisan yang terkelupas. Kohesi adalah ikatan antara lapisan dengan lapisan itu sendiri, dan *glue failure* adalah kegagalan akibat lem yang ditandai dengan tidak tertariknya lapisan. Jika yang terjadi adalah *glue failure*, maka nilainya tidak valid dan harus diulangi hingga terkelupas lapisan.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian *Pull Off*

Voltase (V)	Lapisan Dasar Cu- Ni	Nilai <i>Pull Off</i> (MPa)	Keterangan
3	Ya	5.49	<i>Glue failure</i>
5	Ya	5.01	<i>Glue failure</i>
7	Ya	3.07	<i>Glue failure</i>
3	Tidak	7.30	<i>Glue failure</i>
5	Tidak	6.46	<i>Glue failure</i>
7	Tidak	4.04	<i>Glue failure</i>
Produk Pemanding		3.47	<i>Glue failure</i>

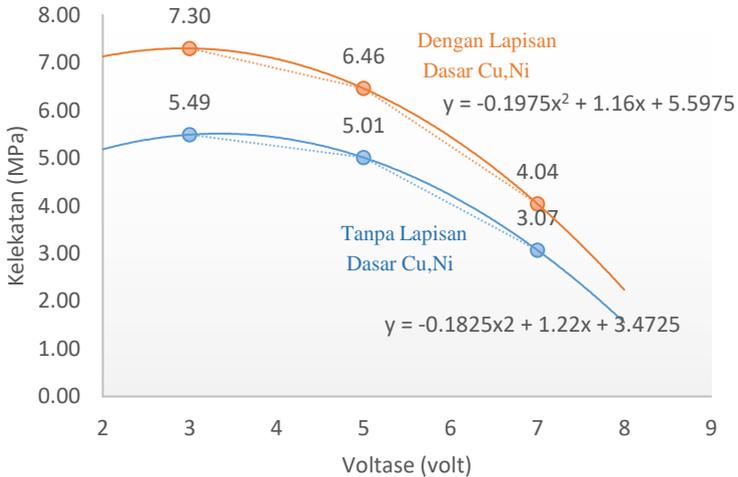
Nilai *pull off strength* seperti yang terdapat pada Tabel 4.2 di atas yang didapatkan bukanlah nilai adhesi yang sebenarnya. Sebab dari ke 6 spesimen tidak ada yang menunjukkan tertariknya lapisan dari substratnya. Sehingga nilai tersebut tidaklah valid. Penyebab tidak tertariknya lapisan dari substrat kemungkinan besar karena kuatnya adhesi antara lapisan dengan substrat. Disamping itu, bisa jadi karena metode *pull off* ini bukan standar untuk pengujian adhesivitas *metallic coating*.

Dilakukan analisis terhadap hasil uji kelekatan *pull off strength* dengan membuat persamaan regresi polinomial, lalu didapatkan persamaan regresi untuk fungsi voltase terhadap kelekatan pada elektroplating kuningan dengan lapisan dasar

tembaga nikel yaitu Persamaan 4.6 dan untuk yang tanpa lapisan dasar ditunjukkan oleh Persamaan 4.7. Sedangkan untuk grafiknya seperti ditunjukkan pada Gambar 4.7.

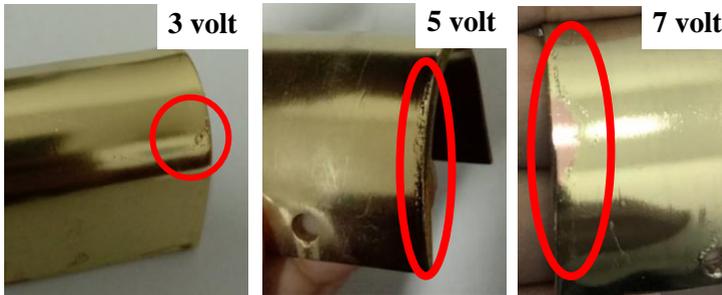
$$y = -0.1975x^2 + 1.16x + 5.5975 \dots \dots \dots (4.6)$$

$$y = -0.1825x^2 + 1.22x + 3.4725 \dots \dots \dots (4.7)$$



Gambar 4. 7 Hasil Pengujian Kelekatan vs Voltase

Untuk *metallic coating* metode yang sesuai adalah metode *Mandrel Bending Test*, yang merupakan metode kualitatif yang diamati lewat visual saja. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat bernama *Mandrel* yang berbentuk silinder, dengan ketentuan diameter 4 kali tebal spesimen uji. Hasil pengujian *Mandrel Bending Test* untuk spesimen dengan voltase 3 volt dengan lapisan dasar tembaga nikel ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Hasil Uji *Bending* Spesimen dengan Lapisan Dasar dengan Variasi Voltase

Berdasarkan Gambar 4.8, untuk spesimen dengan voltase 3 volt terlihat bahwa terjadi retakan lapisan di daerah tekukan (daerah yang dilingkari merah). Namun retakan tidak sampai mengelupas. Menurut ASTM D522 lapisan dengan adhesi yang baik adalah yang tidak mengelupas dengan mudah setelah di uji *bending*. Sehingga dapat dikatakan spesimen tersebut masih memiliki adhesi yang baik. Untuk spesimen dengan voltase 5 volt juga terjadi retakan di daerah yang dilingkari merah, dengan ukuran yang lebih banyak dibandingkan dengan spesimen 3 volt. Karena tidak sampai terjadi pengelupasan, maka dikatakan adhesi lapisan tersebut baik. Untuk spesimen dengan voltase 7 volt, terjadi pengelupasan, namun pengelupasan tersebut masih tergolong susah, karena tidak bisa dikelupas dengan tangan saja tanpa alat bantu apapun, sehingga adhesi lapisan tersebut pun masih dikategorikan sebagai adhesi yang baik.

Untuk spesimen tanpa lapisan dasar hasil pengujian ditunjukkan oleh Gambar 4.9, terlihat bahwa untuk spesimen dengan voltase 3, 5 maupun 7 volt tidak terjadi retakan di sepanjang daerah *bending*. Artinya daya lekat lapisan tersebut baik.



Gambar 4.9 Hasil Uji *Bending* Spesimen Elektroplating Kuningan Tanpa Lapisan Dasar dengan Variasi Voltase



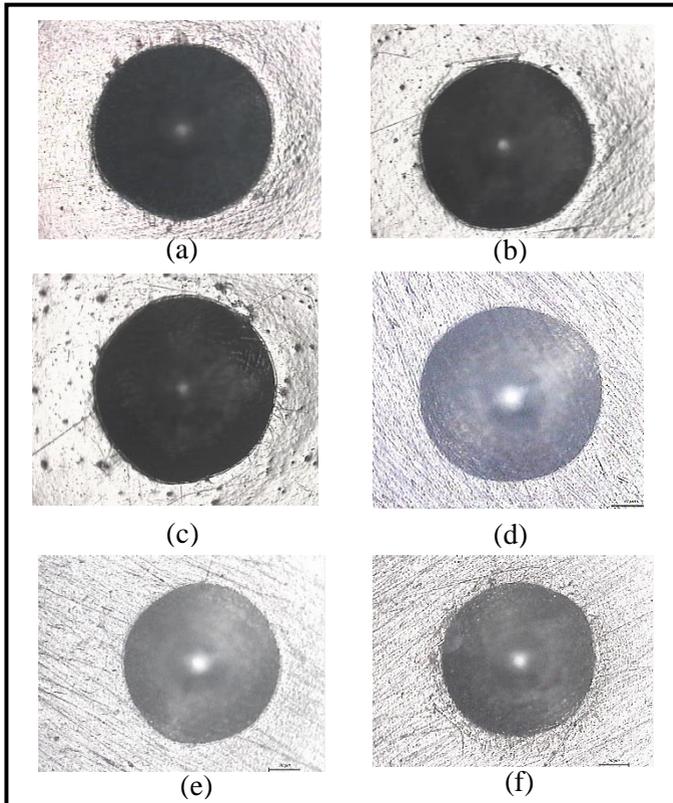
Gambar 4.10 Hasil Uji *Bending* Produk Pemanding

Gambar 4.10 menunjukkan hasil uji *bending* untuk produk pemanding. Dimana terjadi retakan kecil di daerah yang dilingkari merah. Tidak terjadi pengelupasan. Sehingga dapat digolongkan memiliki adhesi yang baik.



Gambar 4. 11 Hasil Rockwell C Indentasi pada Produk Pemanding

Metode terakhir yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah *Rockwell C Adhesion Test*, yang merupakan metode kualitatif. Pengujian ini dilakukan dengan merusak lapisan tipis hingga menyebabkan kegagalan secara kohesif dan adhesive. (Heinke, 1995). Hasil pengujian *Rockwell C Adhesion Test* ditunjukkan oleh Gambar 4.11 dan Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Hasil *Rockwell C Adhesion Test* untuk variasi dengan Lapisan Dasar (a) 3 volt, (b) 5 volt, (c) 7 volt; dan Tanpa Lapisan Dasar (d) 3 volt, (e) 5 volt, dan (f) 7 volt.

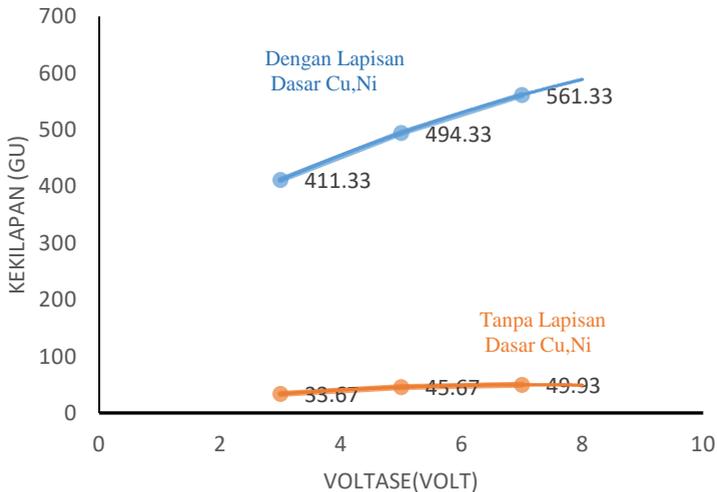
Nilai adhesi diamati dari retakan maupun delaminasi akibat indentasi. Hasil yang sudah didapat seperti tertera dalam Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 tersebut disesuaikan dengan standar kontrol kualitas dari P&P *thin film advanced technology*, kegagalan yang terjadi akibat indentasi termasuk dalam kegagalan yang dapat diterima (*acceptable failure*), dengan referensi Gambar 3.16. Delaminasi yang terjadi pada seluruh spesimen uji dan juga produk pembanding tidak melebihi batas dari standar kontrol kualitas, sehingga dapat disimpulkan bahwa adhesi secara kualitatif baik dan dapat diterima. (P&P, 2012).

Dalam aplikasinya untuk dekoratif, kelekatan suatu lapisan menjadi parameter penting yang harus diperhatikan, dibanding parameter yang lainnya. (Chen, 2013). Sebab apabila kelekatan rendah, maka sifat-sifat yang lain tidak akan berarti. Adhesi dalam elektroplating dipengaruhi oleh preparasi permukaan yang bersih dari kontaminan, dan memiliki kekasaran yang cukup. Pembersihan yang buruk dan pra-perawatan yang salah sebelum pelapisan adalah penyebab kegagalan adhesi yang paling umum ditemukan, khususnya *degreasing* dan penghilangan setiap film oksida yang ada itu sangat penting. Dengan preparasi yang tepat, maka lapisan yang akan dideposisikan akan melekat dengan baik. (Kanani, 2005). Hasil penelitian menunjukkan bahwa adhesi seluruh spesimen adalah baik, untuk yang menggunakan lapisan dasar tembaga nikel, maupun yang tidak menggunakan lapisan dasar. Hanya saja, untuk yang menggunakan lapisan dasar tembaga nikel saat uji *bending*, terdapat retak pada lapisan kuningannya, hal tersebut berkaitan dengan ketebalan lapisan. Antunes dkk dalam penelitiannya menjelaskan bahwa ketebalan yang meningkat akan mengurangi daya lekat suatu lapisan, disebabkan oleh adanya voltase permukaan yang besar antara permukaan substrat dengan hasil *coating* yang merupakan efek dari peningkatan ketebalan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa untuk lapisan kuning dengan lapisan dasar tembaga nikel memiliki ketebalan lebih tinggi daripada tanpa lapisan dasar. Sehingga hal ini merupakan hal yang serupa dengan hasil penelitian Antunes dkk tersebut.

Untuk efek voltase terhadap kelekatan masih belum bisa dianalisis, sebab hasil kuantitatif uji kelekatan masih belum valid. Sehingga, masih perlu pengujian kuantitatif untuk menganalisis pengaruh voltase terhadap daya lekat lapisan.

4.4 Hasil Pengujian Kekilapan

Pengujian Kekilapan dilakukan untuk mengetahui variasi pelapisan mana yang menghasilkan lapisan paling mengkilap. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *Glossmeter*. Pada pengujian kali ini digunakan *Glossmeter* milik PT.INKA dengan sudut pantul yang diaplikasikan sebesar 60° .



Gambar 4.13 Grafik Nilai Kilap Lapisan Kuningan dengan Lapisan Dasar Tembaga Nikel dan tanpa Lapisan Dasar

Adapun hasil dari pengujian tersebut terdapat pada Gambar 4.13. Didapatkan nilai kilap untuk masing-masing variasi perlakuan. Terlihat perbedaan yang cukup jauh antara spesimen yang menggunakan lapisan dasar tembaga nikel dengan spesimen yang tanpa lapisan dasar. Untuk voltase 3 volt *gloss*nya sebesar

411.33 GU, untuk 5 volt sebesar 494.33 GU dan 7 volt sebesar 561.33 yang merupakan nilai *glossy* paling besar. Begitu pula untuk hasil elektroplating tanpa lapisan dasar juga mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya voltase. Yang mana untuk voltase 3 volt memiliki nilai *glossy* sebesar 33.67 GU, 5 volt sebesar 45.67 GU dan 7 volt sebesar 49.93 GU. Untuk produk pembeding memiliki nilai kilap sebesar 398 GU.

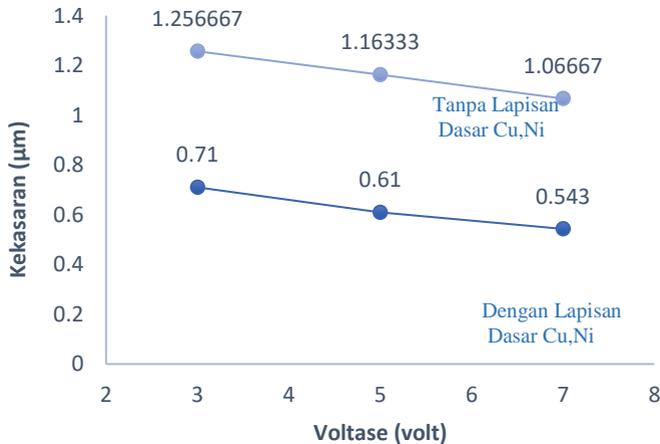
Pada grafik terlihat bahwa nilai *glossy* untuk spesimen dengan lapisan dasar tembaga nikel lebih tinggi daripada lapisan kuningan tanpa lapisan dasar. Grafik untuk spesimen lapisan elektroplating kuningan dengan lapisan dasar tembaga nikel memiliki kecenderungan naik seiring bertambahnya voltase yang digunakan. Begitupun untuk lapisan tanpa lapisan dasar tembaga nikel, juga memiliki kecenderungan naik walaupun tidak terlalu signifikan. Menurut Dr. Iulia Bejan (2017), *glossy* ditentukan oleh kekasaran permukaan, morfologi lapisan, ketebalan deposit dan parameter-parameter operasi lainnya. Sehingga jika *trend* ketebalan lapisan naik, maka bisa dipastikan nilai kilapnya juga akan mengalami kenaikan. Hasil pengujian ketebalan pada penelitian ini menunjukkan kecenderungan naik. Sehingga teori tersebut sesuai dengan hasil penelitian ini. Selain itu jika dikaitkan dengan *surface roughness*, semakin tebal lapisan akan membuat permukaan logam yang dilapisi semakin rata dan halus, dan nilai kekasarannya turun. (Sulistiyanto, 2013). Hal ini didukung dengan pengujian *surface roughness*.

4.4.1 Pengujian Kekasaran (*Surface Roughness*)

Untuk menganalisis kekasaran permukaan lapisan kuningan yang terbentuk. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil nilai kekasaran untuk spesimen dengan lapisan dasar tembaga nikel voltase 3 volt sebesar $0.71 \mu\text{m}$; voltase 5 volt sebesar $0.61 \mu\text{m}$, dan untuk voltase 7 volt sebesar $0.543 \mu\text{m}$. Sedangkan untuk nilai kekasaran spesimen tanpa lapisan dasar voltase 3 volt bernilai $1.257 \mu\text{m}$; 5 volt sebesar $1.163 \mu\text{m}$, dan untuk voltase 7 volt sebesar $1.067 \mu\text{m}$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai

kekasaran akan turun seiring naiknya voltase. Untuk produk pembanding memiliki kekasaran $0.57 \mu\text{m}$.

Adapun grafik dari pengujian *surface roughness* terdapat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Grafik Hasil Pengujian *Surface Roughness*

Mengacu pada pengujian *surface roughness* tersebut, sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Chen Xu dkk (1999) yang menjelaskan korelasi antara *glossiness* dengan kekasaran permukaan. Dijelaskan bahwa dengan permukaan yang halus maka nilai *glossy* akan semakin tinggi dibandingkan dengan permukaan yang kasar. Selain permukaan yang rata, komposisi Cu-Zn juga berpengaruh terhadap warna lapisan. Walaupun hubungan ini masih membingungkan. (Pan,1938.) Berdasarkan teori, dengan naiknya voltase maka rapat arus meningkat dan meninggikan proporsi dari logam yang kurang mulia (Lowenheim, 1975), dalam elektroplating kuning logam yang kurang mulia adalah Zn. Fenomena yang terjadi adalah Cu akan lebih mudah direduksi pada rapat arus yang rendah dan seiring dengan naiknya rapat arus maka reaksi yang lain seperti deposisi Zn dan evolusi

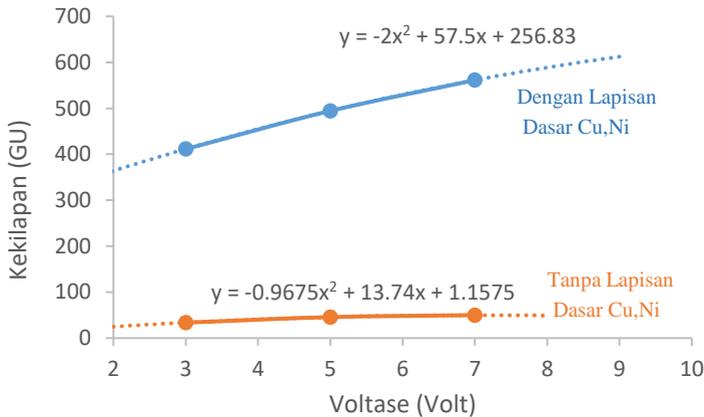
hidrogen juga terjadi, sehingga kadar Cu menurun dan kadar Zn meningkat (Musa, 2008). Kadar Zn yang meningkat ($> 30\%Zn$) menyebabkan lapisan berwarna kuning cerah, dan jika kadar Zn lebih tinggi dari kadar Cu, warna yang terbentuk adalah putih (Pan,1938). Lalu, teori tentang hubungan warna dengan angka reflektansi, yang menyatakan bahwa warna terang (putih) akan memantulkan dengan lebih baik daripada warna gelap (Birren,1982). Reflektansi berkaitan erat dengan nilai *glossy*. Menandakan refletansi yang bagus mempunyai nilai *glossy* yang tinggi. (Goldschmidt,2007). Untuk lapisan kuningan tanpa lapisan dasar mempunyai nilai kilap yang rendah disebabkan oleh *surface roughness* yang besar dibandingkan dengan nilai *surface roughness* yang menggunakan lapisan dasar tembaga nikel. Selain itu tidak adanya lapisan tembaga nikel juga berpengaruh. Sebab dengan adanya lapisan tembaga akan menutup pori-pori maupun *scratch* yang ada dipermukaan substrat, dan nikel akan membuat permukaan menjadi lebih mengkilap. Selain itu tampak warna untuk lapisan kuningan tanpa lapisan dasar masih ada warna asli substrat yang cenderung gelap juga berpengaruh pada kemampuan permukaan untuk memantulkan cahaya. Yang mana warna gelap mempunyai nilai *glossy* yang rendah dibandingkan warna yang terang.

Berdasarkan data hasil pengujian kekilapan kemudian dianalisa menggunakan regresi polinomial untuk memperoleh persamaan matematik yang dapat digunakan untuk melihat pengaruh perubahan voltase terhadap kekilapan lapisan. Adapun persamaan untuk lapisan kuningan menggunakan lapisan dasar tembaga nikel ditunjukkan oleh Persamaan 4.8 dan untuk yang tanpa lapisan dasar ditunjukkan oleh Persamaan 4.9.

$$y = -2x^2 + 57.5x + 256.83.....(4.8)$$

$$y = -0.9675x^2 + 13.74x + 1.1575.....(4.9)$$

Dimana y adalah kekilapan dan x adalah voltase. Seperti yang terdapat pada Gambar 4.15.

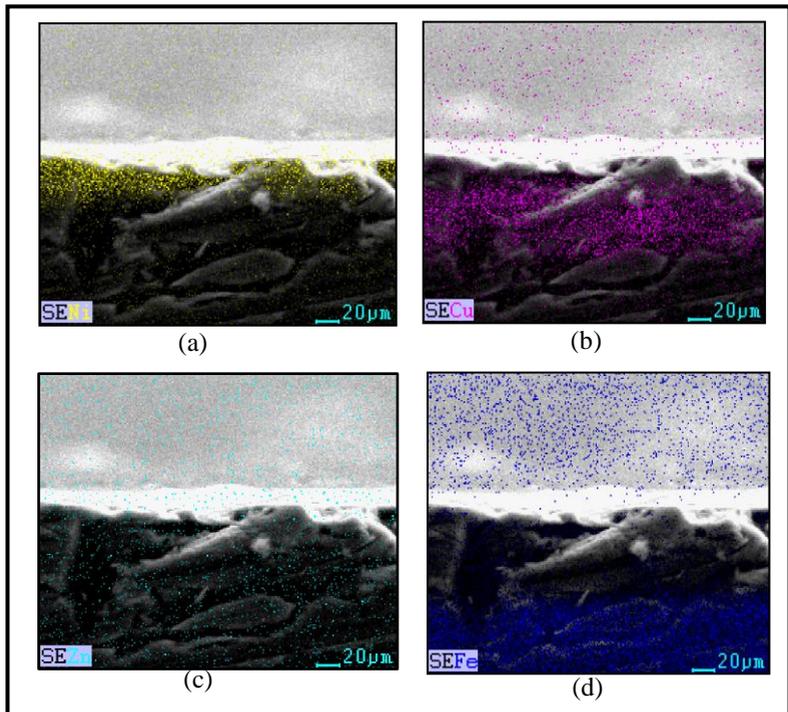


Gambar 4.15 Kurva Regresi Voltase vs Kekilapan

4.5 Hasil Pengujian SEM/EDX

Pengujian SEM/EDX ini bertujuan untuk mengetahui ketebalan masing-masing lapisan yang terbentuk serta untuk mengetahui persebaran unsur dalam lapisan. Hasil ketebalan telah dibahas pada 4.1 sehingga pada sub bab ini dibahas mengenai persebaran unsur pada lapisan yang terbentuk.

Didapatkan hasil bahwa ternyata lapisan kuning yang terbentuk sangat tipis. Seperti pada Gambar 4.16 terlihat lapisan Nikel yang berwarna kuning, lalu lapisan tembaga yang berwarna ungu, dan unsur Zn yang seharusnya berada pada lapisan kuning terlihat hanya sedikit berwarna biru muda. Untuk warna biru tua adalah warna unsur Fe, yang tidak lain adalah substrat. Selain unsur tersebut terdapat pula unsur O dan C yang tidak terlalu mempengaruhi hasil lapisan, sebab jumlahnya tidak besar.



Gambar 4. 16 Hasil EDX *Mapping* Spesimen 7 volt dengan Lapisan Dasar Tembaga Nikel (a) Lapisan Ni (b) Lapisan Cu (c) Persebaran Zn pada Lapisan Kuningan (d) Substrat (Fe)

Tabel 4.3 Rekap Data Hasil Pengujian

Tega- ngan	Lap- isan	Ket- bal- an	Pull Off	Bend- ing	Rockwell C Adhesion	Glos- sy
3	Cu,Ni	4.78	5.49	Baik	<i>Accept</i>	411.33
5	Cu,Ni	5.67	5.01	Baik	<i>Accept</i>	494.33
7	Cu,Ni	7.23	3.07	Baik	<i>Accept</i>	561.33
3	Tanpa	1.85	7.30	Baik	<i>Accept</i>	4.78
5	Tanpa	2.50	6.46	Baik	<i>Accept</i>	5.67
7	Tanpa	3.41	4.04	Baik	<i>Accept</i>	7.23
Produk Pembanding		5.37	3.47	Baik	<i>Accept</i>	398

Pembobotan dilakukan dengan mengacu pada data pada Tabel 4.3 di atas.

Tabel 4.4 Pembobotan Nilai Tiap Pengujian

Voltase	3	5	7	3	5	7
Lapisan	Cu, Ni	Cu,Ni	Cu,Ni	Tanpa	Tanpa	Tanpa
Tebal	3	3	2	1	3	3
Pull Off	2	2	2	2	2	2
Bending	1	1	1	1	1	1
Indentasi	1	1	1	1	1	1
Glossy	2	2	2	1	1	1
Scoring	12	12	8	2	6	6

Keterangan :

- Untuk pembobotan Ketebalan digunakan skor 1 untuk ketebalan di bawah $2\ \mu\text{m}$; skor 2 untuk ketebalan di atas $5\ \mu\text{m}$ dan skor tertinggi 3 untuk ketebalan dalam range $2\text{-}5\ \mu\text{m}$
- Untuk pembobotan Kekilapan digunakan skor 1 untuk nilai glossy kurang dari 398 GU; dan skor 2 untuk di atas 398 GU
- Untuk *Pull Off* digunakan skor 1 untuk spesimen yang lapisannya terkelupas, sedangkan skor 2 untuk lapisan yang tidak terkelupas
- Untuk pembobotan *Bending* menggunakan nilai 0 untuk yang memiliki adhesi buruk, dan nilai 1 untuk yang memiliki adhesi baik.
- Untuk pembobotan Indentasi menggunakan nilai 0 untuk *unacceptable failure*, dan nilai 1 untuk *acceptable failure*.
- *Scoring* dilakukan dengan mengalikan nilai tiap-tiap pengujian.

Dari pembobotan tersebut, dapat dilihat bahwa skor tertinggi adalah spesimen 3 dan 5 volt dengan lapisan dasar tembaga nikel, disusul oleh spesimen 7 volt juga dengan lapisan dasar tembaga nikel. Menandakan bahwa spesimen dengan variasi tanpa lapisan dasar tembaga nikel mempunyai performa yang tidak sebaik dari yang mengaplikasikan lapisan dasar tembaga nikel.

Dipilih spesimen 3 volt dengan lapisan dasar tembaga nikel sebagai hasil yang paling optimal, sebab dengan voltase yang lebih rendah mampu menghasilkan kualitas lapisan yang hampir sama bahkan lebih baik dari produk pembanding.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, peningkatan voltase menambah ketebalan, kekilapan, namun berdampak pada menurunnya adhesivitas lapisan kuningan. Namun secara kualitatif ada tidaknya lapisan dasar tembaga nikel masih menghasilkan adhesi yang baik.
2. Setelah dilakukan pembobotan / skoring, didapatkan hasil bahwa spesimen voltase 3 volt dengan lapisan dasar tembaga nikel adalah yang paling optimal. Dimana ketebalan yang dihasilkan ($4.78 \mu\text{m}$) lebih tipis dari produk pembanding ($5.37 \mu\text{m}$), namun masih sesuai untuk standar benda dekoratif ($2 \mu\text{m}$). Nilai kilap yang dihasilkan adalah 411.33 GU, lebih besar daripada produk pembanding (398 GU). Artinya dengan voltase yang lebih rendah dari produk pembanding, dalam waktu elektroplating yang sama dihasilkan lapisan dengan ketebalan yang sesuai untuk benda dekoratif, adhesi yang baik dan nilai kilap yang lebih tinggi.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian-penelitian selanjutnya antara lain :

1. Waktu pelapisan seharusnya lebih lama, agar lapisan yang terbentuk bisa lebih tebal, sehingga akan lebih mudah di karakterisasi.
2. Percobaan selanjutnya dapat menggunakan *rectifier* dengan rapat arus konstan karena pada proses elektroplating rapat arus yang berperan dalam menentukan kecepatan reaksi kimia yang terjadi. Dalam percobaan ini digunakan *rectifier*

voltase konstan dimana arus berubah-ubah sepanjang proses pelapisan kuningan.

3. Preparasi spesimen harus dilakukan dengan benar, utamanya untuk pengamplasan permukaan harus dilakukan dengan grade yang bertahap, dan akan lebih baik jika dilakukan *polishing*.
4. Pengujian adhesi harus disesuaikan dengan standar, agar tidak mendapatkan data yang tidak valid.
5. Saat preparasi spesimen untuk diuji SEM/EDX yang dipotong dengan metode *wirecut* hendaknya setelah itu di beri resin, untuk mempermudah proses karakterisasi.
6. Melakukan pengujian komposisi untuk setiap spesimen, agar mengetahui persebaran unsur yang terdeposisi dalam substrat.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 1994. *ASM Metal Handbook Vol. 5 Metallic and Inorganic Coating Annual Book of ASTM Standarts Part-9*. USA : ASM International
- _____. 1997. *ASTM B571 Standard Practice for Qualitative Adhesion Testing of Metallic Coatings*. USA : ASM International.
- _____. 2009. *ASTM D4541 Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers*. USA : ASM International.
- _____. 2017. *ASTM D522 Standard Test Methods for Mandrel Bend Test of Attached Organic Coatings*. USA : ASM International.
- Abid, Suyuti Ridlwan. 2016. **Pengaruh Jarak Anoda Katoda Teknik Elektroplating Seng Terhadap Ketebalan dan Kekerasan Hasil Lapisan**. Semarang : Teknik Mesin FT UNNES
- Andi. 2010. **Pengaruh Tegangan (1-3,5V), Waktu(1,5-3,5 Menit), dan Agitasi Pada Proses Pelapisan Kuningan Dekoratif Pada Pelat Baja ST-37 Berprofil dengan Larutan Zonax Brass Salt & Amonia 20 ml**. Bandung : Teknik Material FTMD ITB
- Andromeda, Denno. 2010. **Pengaruh Amonia (10&20ml) & NaOH (10&20gr) Pada Larutan Zonax Brass Salt Untuk Proses Pelapisan Kuningan Dekoratif (Anoda 70%Cu-30%Zn) Pada Plat Baja**. Bandung : Teknik Material FTMD ITB
- Antunes, Jose Fernando, Brito, Vinisius Ribeiro dos Santos de Sa, Bastos, Ivan Napoleao, Costa, Hector Reynaldo Meneses. 2013. *Characterization of FeCr and FeCoCr alloy Coatings of Carbon Steels for Marine Environment Applications*. **Applied Adhesion Science** 20, 1:3.

-
- Agboola, O. Sadiku et al. 2011. "Influence of Operation Parameters on Metal Deposition in Bright Nickelplating Process," **Port. Electrochim. Acta**, vol. 29, no. 2, pp. 91–100
- A R Sakti, D Riandadari, H Zakiiyya, A Prapanca. 2019. "The Effect of Process Variables on Work Piece Thickness and Glossiness from Metal Coating in Nickel-Chrome Metal Coating Process." **International Conference on Mechanical Engineering Research and Application**. IOP Publishing.
- Bejan, Iulia. 2017. **Electroless Nickel Coatings : Appearance, Gloss, and Surface Morphology**. NASF SURFACE TECHNOLOGY WHITE PAPERS. Atlanta, Georgia : NASF.
- Birren, F. 1982. **Light, Color, and Environment : A Discussion of The Biological and Psychological Effects of Color**, Van Nostrand Reinhold, New York. 1982
- Bhusan, Bharat., B.K Ghupta. 1991. **Handbook of Tribology : Materials, Coating, and Surface Treatments**. New York McGraw Hill Publishing Company
- Brenner, Abner. 1963. **Electrodeposition of Brass**. Washington DC : Elsevier Inc. All
- Callister, William D. 2007. **Material Science and Engineering An. Introduction**. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Chen, Zhaoxiang and X.Lu. 2013. **A Review On The Mechanical Methods For Evaluating Coating Adhesion**. Nanyang Technological University
- Clarke, S.G. W. N. Bradshaw & E. E. Longhurst. 1943. Studies on brass plating. **Electrodepositor** ,244-246
- Davis, J.R. 2001. **ASM Specialty Handbook-Copper And Copper Alloys**. Ohio : ASM International Materials Park.
- Goldschmidt, Arthur. Streitberger, H.J. 2007. **BASF HANDBOOK ON Basics of Coating Technology**. Germany : Vincent Network.
- Hartono, J. Anton, Tomijiro Kaneko. 1992. **Mengenal Pelapisan Logam (Elektroplating)**. Yogyakarta : Andi Offset.
-

-
- Horner, Jack. 1999. "Cyanide Copper Plating". **Plating And Surface Finishing**, Vol.82, pp.53-63
- Hunter R.S. 1937. **Methods of Determining Gloss**. NBS Research Paper RP 958, J. Res. NBS, 18, 77, 281
- Kanani,Nasser. 2006. **Electroplating Basic Principles, Proses and Practice**. Elsevier Pub. Ltd
- Kirk, R.E and Otmer, DF. 1983. **Encyclopedia of Chemical Technology**. Vol.8 The Inter Science Encyclopedia Inc. New York.
- Kumar et al. 2015. Factor Effecting Electro-deposition Process ; **International Journal of Current Engineering and Technology** Vol.5, No.2. India : Uttaranchal University
- Lambourne,Ronald. 1999. **Paint and Surface Coatings**. Elsevier. England: Woodhead Publishing Ltd
- Lawrence, H Van Vlack 1992. **Ilmu dan teknologi Bahan**. Jakarta: Erlangga.
- Lewinhen, F.A. 2010. **Modern Elektroplating**. London: John Wiley, Son inc.
- Lou, H.H. and Huang, Y. 2006. *Electroplating* In: **Encyclopedia of Chemical Processing**. Taylor and Francis. New York
- Lowenheim,Frederick A., 1978. **Electroplating**. McGraw Hill Book Company. New York.
- Musa, AY., Slaiman, QJM., Kadhum, A A., Takriff, M S. 2008. Effects of Agitation, Current Density and Cyanide Concentration on Cu-Zn Alloy Electroplating. **European Journal of Scientific Research**.
- Mustopo, Yogik Dwi. 2011. **Pengaruh Waktu Terhadap Ketebalan dan Adhesivitas Lapisan Pada Proses Elektroplating Khrom Dekoratif Tanpa Lapisan Dasar, Dengan Lapisan Dasar Tembaga dan Tembaga-Nikel**. Surakarta : UNS
- Pan, L.C. 1938. "Ammonia in The Electrodeposition of Brass". **Proceeding of 74 General Meeting E.M Baker Presiding**. Rochester, New York.
-

-
- Paunovich, et al. 2010. **Fundamental Consideration – Modern Electroplating Fifth Edition**. New Jersey, USA. John Wiley & Sons
- Pletcher, D., Walsh, F.C. 1993. *Industrial Electrochemistry 2nd ed.* Springer Netherlands
- Poyner, J.A. 1987. **Electroplating**. Hertfordshire, England : Argus Book
- Purwanto, Syamsul H. 2005. **Teknologi Industri Elektroplating**. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- PVD Coating Characterization. **Manual P&P Thin Film Advanced Technologies**. Badizolle, Italy.
- Saadatmand, M., Sadeghpour, S., & Aghazadeh Mohandesi, J. 2011. *Optimisation of brass plating condition in plating of patented steel wire*. **Surface Engineering**, 27(1), 19–25.
- Saleh, Azhar A. 2014. **Electroplating Teknik Pelapisan Logam dengan Cara Listrik**. Bandung : Yrama Widya
- Schlesinger, M. 2004. *Electroplating*.
- Siregar, F. L. 2010. **Pengaruh Keasaman (pH), Waktu terhadap Tebal Lapisan dan Kecerahan Permukaan pada Pelapisan Emas terhadap Tembaga**. Tesis Program Pascasarjana Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara, Medan
- Strow, Henry. 1999. **Electroplating Solutions**.
- Suarsana, I.K. 2008. “Pengaruh Pelapisan Nikel pada Tembaga pada Khrom Dekoratif terhadap Tingkat Kecerahan dan Ketebalan lapisan.” **Jurnal Ilmiah Mesin Cakram Vol 2 No 1** : Teknik Mesin Universitas Udayana
- Sugiyarta et al. 2012. **Pengaruh Konsentrasi Larutan dan Kuat Arus Terhadap Ketebalan Pada Proses Pelapisan Nikel Untuk Baja Karbon Rendah**. Rotasi. 14/4: 23 - 27.
- Surdia, Tata. Saito, Shinroku. 2000 **Pengetahuan Bahan Teknik**. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Tekkaya, A.E. Trompeter, M. Pham, H.D. 2010. *On The Reduction of The Gloss Property of Organic Coated Sheet Metal After*
-

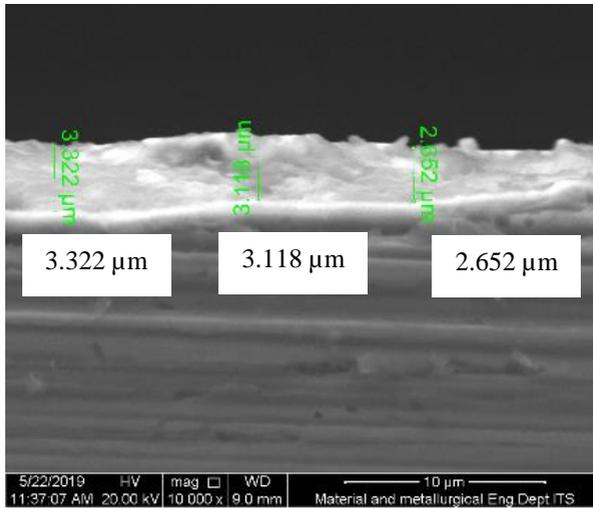
- Forming. Production Process.* German Academic Society for Production Engineering.
- Tushinsky L.I., Kovensky I., Plokhov A., Sindyev V., Reshedko P. 2002. **Mechanical Properties of Coatings.** In: Coated Metal. Engineering Materials. Springer, Berlin, Heidelberg
- Wahyudi, S. 1999. *Buku Saku Elektroplating.* Bandung: Technic.
- Wang Zhen-Gang, Wan Ling-Shu and Xu Zhi-Kang, “*Surface engineerings of polyacrylonitrile-based asymmetric membranes towards biomedical applications: An overview*”. 2007. Vol. 304.
- Xu, Chen et al. 1999. **Glossiness, Morphology and Microstructure of Electrodeposited Sn Films.** Beijing University : Lucent Technologies, Bell Laboratories, Murray Hill, NJ.
- Yli-Pentti, A. 2014. *Electroplating and Electroless Plating.* **Comprehensive Materials Processing.** Vol.4, pp.277-305.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

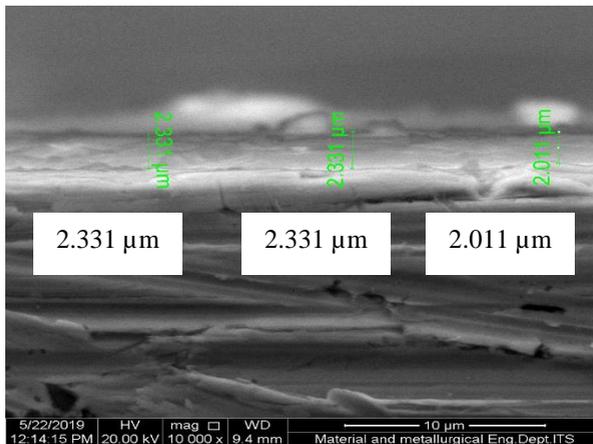
LAMPIRAN

- A. **Data SEM Cross Section dengan ukuran ketebalan pada spesimen 7 volt (1) Menggunakan lapisan dasar tembaga nikel (2) Tanpa lapisan dasar**

1.



2.



B. Nilai Glossy

Lapisan	Spesimen	Voltase (V)	Nilai Kilap (GU)	Rata-rata Kilap (GU)
Lapisan Dasar Tembaga Nikel	1	3	394	411.33
	2		381	
	3		459	
	4	5	535	494.33
	5		520	
	6		428	
	7	7	563	561.33
	8		567	
	9		554	
Tanpa Lapisan Dasar	10	3	37	33.67
	11		21	
	12		43	
	13	5	39	45.67
	14		44	
	15		54	
	16	7	60	49.93
	17		35	
18	54.8			
Produk Pembanding		5	398	

C. Hasil Uji *Pull Off*

1. Voltase 3 volt dengan Lapisan Dasar Tembaga Nikel



2. Voltase 5 volt dengan Lapisan Dasar Tembaga Nikel



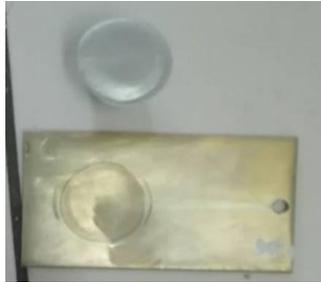
3. Voltase 7 volt dengan Lapisan Dasar Tembaga Nikel



4. Voltase 3 volt Tanpa Lapisan Dasar



5. Voltase 5 volt Tanpa Lapisan Dasar



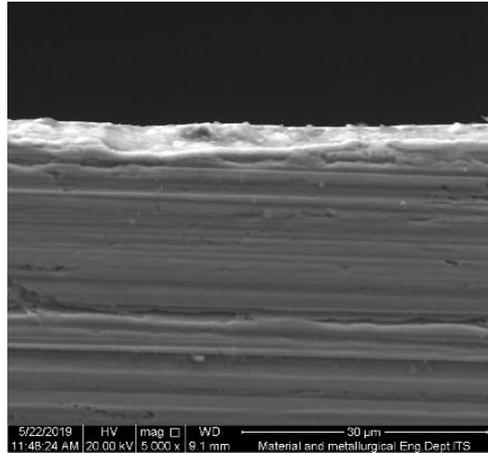
6. Voltase 7 volt Tanpa Lapisan Dasar



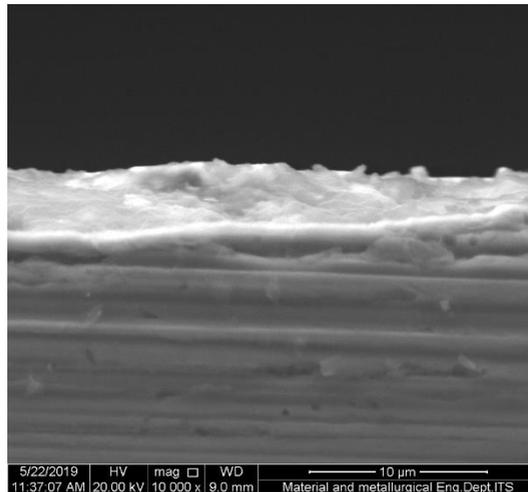
D. Hasil Pengujian Kekasaran

Spesimen	Titik	Ketebalan	Rata-rata
3 volt Cu,Ni	1	0.74	0.71
	2	0.71	
	3	0.68	
5 volt Cu, Ni	1	0.52	0.61
	2	0.46	
	3	0.85	
7 volt Cu, Ni	1	0.47	0.543
	2	0.47	
	3	0.69	
3 volt Tanpa Cu, Ni	1	1.11	1.257
	2	1.45	
	3	1.21	
5 volt Tanpa Cu,Ni	1	1.37	1.163
	2	1.1	
	3	1.02	
7 volt Tanpa Cu,Ni	1	1	1.067
	2	1.11	
	3	1.09	

E. Hasil SEM/EDX Spesimen Voltase 7 volt Lapisan Dasar Tembaga Nikel



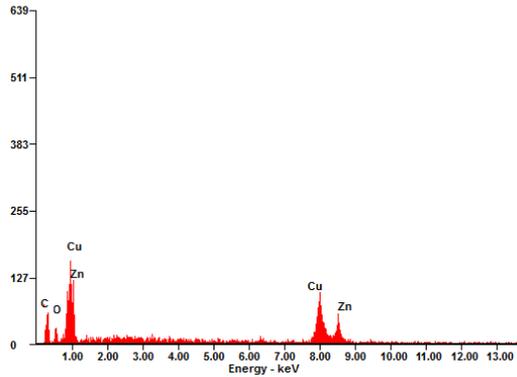
Perbesaran 5000X



Perbesaran 10000X

LAPORAN TUGAS AKHIR
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL FTI-ITS

c:\edax32\genesis\genmaps.spc 22-May-2019 11:00:24
L.Secs : 3



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	13.46	67.97
<i>OK</i>	7.23	21.97
<i>CuK</i>	64.38	01.80
<i>ZnK</i>	14.93	00.55
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Kaprodi Departemen Teknik Material FTI ITS.
2. Dr. Sungging Pintowantoro, Ph.D selaku dosen wali yang telah membantu penulis menjalani pendidikan di Departemen Teknik Material FTI-ITS.
3. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS yang melancarkan Tugas Akhir penulis baik secara langsung maupun tidak langsung.
4. Abim Sebastyantito selaku partner setopik dan anak bimbing Pak Sulis, Handis, Herdi, dan Retno yang sudah turut membantu dalam penyelesaian laporan Tugas Akhir ini.
5. Keluarga besar MT17, angkatan tercinta yang selalu menemani penulis selama berada di Surabaya.
6. Ngapak Kru (Nikmah, Kuni, Bakhtiar, Muhayat, Wildan Ibnu), Anggota Lab. Kimia Material (Putro, David, Ilham, Alfinus) dan Anggota Lab. Manufaktur (Firdos, Diaz, Yoessa, Rafiandy, Ihsan, Musthofa) yang menemani hari-hari penulis dan selalu menularkan semangat selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
7. Tim AVATAR I dan II, Ayun, Alfin, Aryo, Ejak, Iib, Garry, Bugi, Atek, Waisul, Erwin, Penceng, Oca, Ifthar, Bintang, Memed, Wahyu yang selalu menjadi teman begadang penulis sewaktu berorganisasi.
8. Alifatul Laila, teman sekamar yang sudah bisa menjadi tempat penulis berkeluh kesah dan juga selalu membantu setiap kesulitan semasa kuliah.
9. Teman-teman PSDM periode 2016/2017 dan 2017/2018 (Mas Imam, Mbak Ninur, Mbak Wiwin, Mas Fariz, Mas Eri, Mas Amy, Kiting, Aden, Mirfa, Nadya, Erick, Alief,

-
- Ari, Epong, dan Yos) yang sudah mengajarkan banyak pembelajaran kepada penulis selama berorganisasi.
10. Mas mbak MT14, MT15 dan MT16 serta adikku MT18 dan MT19 yang telah mengukir momen-momen indah dalam hidup penulis.
 11. Seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan yang telah diberikan.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kediri, 05 Februari 1997, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN Keling 1, Kepung, Kediri. Kemudian dilanjutkan ke jenjang pertama di SMP N 2 Kepung, Kediri. Selanjutnya penulis menempuh pendidikan jenjang atas di SMA Negeri 1 Pare, Kediri. Lalu, penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Teknik Material FTI-ITS.

Selama menempuh aktivitas perkuliahan, penulis juga tercatat aktif dalam keorganisasian baik di tingkat himpunan dan institut. Penulis tercatat sebagai Staff Departemen PSDM HMMT FTI-ITS periode 2016/2017 dan sebagai Sekretaris Departemen PSDM HMMT FTI-ITS periode 2017/2018. Penulis juga tercatat sebagai Grader Metalurgi periode 2017/2018 hingga 2018/2019.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di PT. AMMAN MINERAL NUSA TENGGARA pada bulan Juli-September 2018 dan memiliki topik selama kerja praktik dengan judul “Pengaruh *Froth Level* dan *Air Flow Rate* terhadap *Grade* dan *Recovery* Cu pada *Column* PT Amman Mineral Nusa Tenggara”. Tugas akhir yang diambil penulis yaitu dalam bidang metalurgi manufaktur dengan judul “Pengaruh Voltase dan Lapisan Dasar Tembaga Nikel terhadap Ketebalan, Kelekatan dan Kekilapan Produk Elektroplating Kuningan”. Penulis dapat dihubungi melalui 085736889913 atau email ke nella.mauretha@gmail.com