PENGARUH JARAK ANODA KATODA DAN LAMA WAKTU PELAPISAN PROSES ELEKTROPLATING NIKEL TERHADAP KEKERASAN DAN KETEBALAN LAPISAN MATERIAL BAJA AISI 304

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin

Oleh

Aditia Dwi Yusmanto

NIM.5201414023

PENDIDIKAN TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2018

UNNES

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama	: Aditia Dwi Yusmanto
NIM	: 5201414023
Program Studi	: Pendidikan Teknik Mesin
Judul Skripsi	: Pengaruh Jarak Anoda Katoda dan Lama Waktu Pelapisan Proses Elektroplating Nikel Terhadap Kekerasan dan Ketebalan Lapisan Material Baja AISI 304

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

Semarang, 1 Oktober 2018

Pembimbing

Prof. Dr. Samsudi, M.Pd.

NIP. 196008081987021001

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul **Pengaruh Jarak Anoda Katoda dan Lama Waktu Pelapisan Proses Elektroplating Nikel Terhadap Kekerasan dan Ketebalan Lapisan Material Baja AISI 304** telah dipertahankan didepan sidang panitia ujian skripsi fakultas teknik UNNES pada tanggal 1 November 2018,

Oleh

Nama	: Aditia Dwi Yusmanto
NIM	: 5201414023
Program Studi	: Pendidikan Teknik Mesin, S1

Panitia

Ketua,	Sekretaris,
Rusiyanto, S.Pd., M.T. NIP. 197403211999031002	Rusiyanto, S.Pd., M.T. NIP. 197403211999031002

Penguji 1,	Penguji 2,	Pembimbing,
Drs. Masugino, M.Pd. NIP. 195207212017091256	Dr. Hadromi, S.Pd., M.T. NIP. 196908071994031004	Prof. Dr. Samsudi, M.Pd. NIP. 196008081987021001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik UNNES

Nur Qudus, M.T
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa	: Aditia Dwi Yusmanto
NIM	: 5201414023
Program Studi	: Pendidikan Teknik Mesin
Fakultas	: Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul "**Pengaruh Jarak Anoda Katoda dan Lama Waktu Pelapisan Proses Elektroplating Nikel Terhadap Kekerasan dan Ketebalan Lapisan Material Baja AISI 304**" ini merupakan hasil karya saya sendiri dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi manapun dan sepanjang pengetahuan saya dalam skripsi ini tidak pernah tertulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka

Semarang, 1 Oktober 2018

Yang Membuat Pernyataan

Aditia Dwi Yusmanto
5201414023

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

Kamu mungkin kalah, tapi kamu tak boleh menyerah. Kamu mungkin sakit, tapi kamu harus bangkit. Kamu mungkin jatuh, tapi kamu tak boleh berhenti tumbuh. (QS. Al-Insyirah : 6) “Sesungguhnya beserta kesulitan itu ada kemudahan”.

PERSEMBAHAN

Saya tak lupa menyampaikan terimakasih kepada segenap pihak yang telah membantu dan memberikan semangat, terutama kepada kedua orang tua tercinta, kakak dan adik tercinta, pembimbing saya, teman-teman saya dan orang yang saya cintai Sonia R Fitriana yang selalu mendukung dan mendo’akan penulis untuk bisa menyelesaikan skripsi ini.

RINGKASAN

Yusmanto, Aditia Dwi. 2018. Pengaruh Jarak Anoda Katoda dan Lama Waktu Pelapisan Proses Elektroplating Nikel Terhadap Kekerasan dan Ketebalan Lapisan Material Baja AISI 304. Skripsi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. **Prof. Dr. Samsudi M.Pd.**

Kata Kunci : Jarak Anoda Katoda, Waktu, AISI 304, Kekerasan, Ketebalan

Ruji (*Spoke*) adalah komponen suatu kendaraan yang berfungsi sebagai penghubung, penopang antara velg roda dan tromol kendaraan. Penggunaan komponen ini mendapatkan pembebanan terus menerus yang mengakibatkan kegagalan mekanis, karena material memiliki tingkat kekerasan dan keuletan yang rendah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan kekerasan dan ketebalan yang dihasilkan dari pengaturan jarak anoda katoda dan lama waktu elektroplating nikel pada jarak 10 cm, 15 cm, 20 cm dan lama waktu 15 menit, 20 menit, 25 menit.

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen, dilakukan pada material baja AISI 304. Data penelitian kekerasan diperoleh menggunakan metode uji *Micro Vickers*. Data penelitian ketebalan lapisan diperoleh menggunakan alat *Coating Thickness Gauge DUALSCOPE MPOR*.

Hasil penelitian menunjukkan semakin dekat jarak anoda katoda dan semakin lama waktu yang digunakan maka nilai kekerasan dan ketebalan lapisan semakin meningkat. Nilai kekerasan tertinggi pada jarak anoda katoda 10 cm dan waktu 25 menit dengan nilai rata-rata kekerasan 316.33 Kg/mm^2. Nilai kekerasan terendah pada jarak anoda katoda 20 cm dan waktu 15 menit dengan nilai kekerasan rata-rata 262.33 Kg/mm^2. Nilai ketebalan lapisan tertinggi pada jarak anoda katoda 10 cm dan waktu 25 menit dengan nilai rata-rata 832.7 μm. Nilai ketebalan lapisan terendah pada jarak anoda katoda 20 cm dan waktu 15 menit dengan ketebalan rata-rata 461 μm.

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul Pengaruh jarak anoda katoda dan lama waktu pelapisan proses elektroplating nikel terhadap kekerasan dan ketebalan lapisan pada material baja aisi 304 ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Serta tidak lupa sholawat serta salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, semoga mendapatkan safaat-Nya di yaumil akhir nanti, Amin.

Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Dr. Nur Qudus, M.T. , Dekan Fakultas Teknik, Rusiyanto S.Pd., M. T. , Ketua Jurusan Teknik Mesin, Rusiyanto S.Pd., M. T., Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Mesin atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
2. Prof. Dr. Samsudi, M.Pd., Pembimbing yang penuh perhatian dan atas perkenaan memberi bimbingan dan dapat di hubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulis karya ini.
3. Drs. Masugino, M.Pd., dan Dr. Hadromi, S.Pd. M.T., sebagai Penguji I dan Penguji II yang telah memberi masukan yang sangat berharga berupa saran,

ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan, menmbah bobot dan kualitas karya tulis ini.

4. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
5. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
6. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga Skripsi ini dapat bermanfaat untuk pelajaran dimasa yang mendatang.

Semarang, 1 Oktober 2018

Penulis

DAFTAR ISI

COVER I

LEMBAR BERLOGO ii

PERSETUJUAN PEMBIMBING iii

PENGESAHAN iv

PERNYATAAN KEASLIAN v

MOTTO DAN PERSEMBAHAN vi

RINGKASAN vii

PRAKATA viii

DAFTAR ISI x

DAFTAR TABEL xiii

DAFTAR GAMBAR xiv

DAFTAR LAMPIRAN xvi

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang Masalah 1

1.2 Identifikasi Masalah 4

1.3 Pembatasan Masalah 6

1.4 Rumusan Masalah 7

1.5 Tujuan Penelitian 7

1.6 Manfaat Penelitian 8

BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI 9

2.1 Kajian Pustaka 9

2.2 Landasan Teori 18

2.2.1 Elektroplating 18

2.2.2 Prinsip Kerja Elektroplating 21

2.2.3 Parameter-Parameter Proses Elektroplating 26
2.2.4 Proses Elektroplating 33
2.2.5 Logam Lapis Nikel 36
2.2.6 Baja Karbon 38
2.2.7 Baja Tahan Karat 38
2.2.8 Ketebalan Lapisan 41
2.2.9 Uji Kekerasan *Vikers* 43
BAB III METODE PENELITIAN 46
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan 46
3.2 Desain Penelitian 47
3.3 Alat dan Bahan Penelitian 50
3.4 Parameter Penelitian 56
3.5 Teknik Pengumpulan Data 58
3.6 Kalibrasi Instrumen 66
3.7 Teknik Analisis Data 68
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 71
4.1 Diskripsi Data 71
4.1.1 Data Uji Komposisi 72
4.1.2 Data kekerasan 72
4.1.3 Data Ketebalan Lapisan 74
4.2 Analisis Data 75
4.2.1 Uji Komposisi Kimia 75
4.2.2 Uji Kekerasan mikro *Vickers* 75

4.2.3 Uji Ketebalan Lapisan 79

4.2.4 Uji Prasyarat Analisis 82

4.3 Pembahasan 83

4.3.1 Uji Komposisi 83

4.3.2 Kekerasan 83

4.3.3 Ketebalan 87

4.3.4 Hubungan Jarak&Waktu Terhadap Kekerasan dan Ketebalan 90

4.3.5 Hubungan Antara Kekerasan dan Ketebalan 91

BAB V PENUTUP 93

5.1 Kesimpulan 93

5.2 Saran 94

5.3 Keterbatasan Penelitian 94

DAFTAR PUSTAKA 96

LAMPIRAN 100

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi dan kondisi larutan nickle *strike* dan *watt's* 37

Tabel 2.2 Klasifikasi Baja Karbon 38

Tabel 2.3 Komposisi Kimia Baja AISI 304 40

Tabel 2.4 Klasifikasi Lapisan 42

Tabel 2.5 Perhitungan ketebalan lapisan waktu pelapisan 60 menit 42

Tabel 2.6 Tabel Standar Pengujian Kekerasan Vickers 45

Tabel 3.1 Desain Faktorial Ketebalan lapisan 48

Tabel 3.2 Desain Faktorial Uji kekerasan 48

Tabel 3.3 Rincian Kebutuhan Spesimen 59

Tabel 3.4 Data instrument pengujian ketebalan lapisan 65

Tabel 3.5 Data instrument pengujian kekerasan 66

Tabel 4.1 Komposisi kimia sampel uji 72

Tabel 4.2 Data instrument pengujian kekerasan 73

Tabel 4.3 Hasil uji kekerasan 73

Tabel 4.4 Data instrument pengujian ketebalan lapisan 74

Tabel 4.5 Hasil uji ketebalan lapisan 74

Tabel 4.6 Data pengujian kekerasan 76

Tabel 4.7 Data pengujian ketebalan lapisan 77

Tabel 4.8 *Test of Normality* Kekerasan dan Ketebalan Lapisan 82

Tabel 4.9 Korelasi Pearson Kekerasan dan Ketebalan Lapisan 92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik perbandingan kekerasan 9

Gambar 2.2 Tabel hasil uji kekerasan permukaan spesimen.....10

Gambar 2.3 Grafik hubungan arus listrik dan waktu 12

Gambar 2.4 Tabel hasil uji kekerasan baja SPCC-SD 13

Gambar 2.5 Grafik perbandingan *electroplating hard chrome* 15

Gambar 2.6 Grafik hubungan jarak anoda-katoda 16

Gambar 2.7 Grafik hubungan antara jarak terhadap ketebalan 17

Gambar 2.8 Rangkaian proses plating 23

Gambar 2.9 Proses elektroplating nikel 26

Gambar 2.10 Grafik hubungan waktu pelapisan nikel.....28

Gambar 2.11 Grafik hubungan antara temperature dan ketebalan 30

Gambar 2.12 Grafik hubungan ketebalan lapisan nikel 32

Gambar 2.13 Kurva pengaruh jarak anoda katoda 33

Gambar 2.14 Metode pengujian kekerasan 44

Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....49

Gambar 3.2 *Material* Baja AISI 304.....50

Gambar 3.3 Mesin Gergaji Potong.....51

Gambar 3.4 Alat Bor Spesimen.....51

Gambar 3.5 Jangka Sorong.....52

Gambar 3.6 Rectifier.....53

Gambar 3.7 Bak *Plating* 53

Gambar 3.8 Timbangan Digital.....54

Gambar 3.9 Alat Uji Komposisi 55

Gambar 3.10 Alat Uji kekerasan *Vickers*.....55

Gambar 3.11 Alat *Thickness Tester* 56

Gambar 3.12 Spesimen baja AISI 304 (mm) 59

Gambar 3.13 Spesimen Uji baja AISI 304 (mm) 63

Gambar 3.14 Skema Pengukur Ketebalan 64

Gambar 3.15 Layar alat uji Kekerasan *Vickers* 68

Gambar 4.1 Grafik Pengaruh jarak dan waktu terhadap kekerasan 85

Gambar 4.2 Grafik Pengaruh jarak dan waktu terhadap ketebalan.....88

Gambar 4.3 Grafik hubungan kekerasan dan ketebalan 90

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Penetapan Dosen Pembimbing 100

Lampiran 2. Surat Tugas Dosen Pembimbing dan Penguji 101

Lampiran 3. Berita Acara Seminar Proposal 102

Lampiran 4. Surat Ijin penelitian UNNES 103

Lampiran 5. Surat Ijin Penelitian UGM 104

Lampiran 6. Surat Ijin Penelitian Politeknik Manufaktur Ceper 105

Lampiran 7. Surat Keterangan Pengujian UNNES 106

Lampiran 8. Surat Keterangan Pengujian UGM 107

Lampiran 9. Surat Keterangan Pengujian Politeknik Manufaktur Ceper ..108

Lampiran 10. Perhitungan Kekerasan 109

Lampiran 11. Perhitungan Ketebalan Lapisan 111

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kehidupan masyarakat *modern* tidak terlepas dari benda-benda yang terbuat dari logam. Penggunaan logam dalam perkembangan teknologi dan industri sebagai salah satu material penunjang sangat besar peranannya. Logam merupakan suatu bahan organik yang tidak dapat diperbaharui dan harus membutuhkan perawatan yang lebih sehingga bisa lebih tahan lama dalam penggunaannya. Ruji sepeda motor dalam penggunaannya mendapatkan pembebanan terus menerus dengan besaran yang tidak sama yang mengakibatkan kegagalan-kegagalan mekanis ataupun mengalami kerusakan. Maka dari itu perlu dilakukan suatu penanganan maupun pencegahan agar material ruji bertahan lama dalam pemakaiannya. Penelitian yang sudah ada bahwa pelapisan dapat memperbaiki sifat mekanik yaitu kuat tarik dan kekerasan suatu material.

Masyarakat modern mengira bahwa proses elektroplating hanya berfungsi membuat benda-benda tampak lebih menarik. Pada kenyataannya, peranan utama elektroplating adalah melindungi logam dari korosi. Disamping itu, dapat menambah daya tahan gesekan dan menambah kekerasan. Ruji (*Spoke*) adalah suatu komponen suatu kendaraan yang berfungsi sebagai penghubung, penopang antara velg roda dan tromol kendaraan. Untuk saat ini ruji (*Spoke*) banyak sekali variasi bahan yang digunakan seperti baja (*Steel*), *steel hub, stainless steel* dan sebagainya. Ruji sepeda motor misalnya, dalam penggunaannya komponen ini akan mendapatkan pembebanan terus menerus yang mengakibatkan kegagalan-

kegagalan mekanis, karena material memiliki tingkat kekerasan dan keuletan yang rendah sehingga komponen ini tidak awet, cepat aus, mudah patah dan mudah terkena korosi. Salah satu penanganan supaya mempertahankan kekuatan mekanis material tersebut dengan cara pelapisan dengan *electroplating*. Salah satu contoh perubahan fisik ketika material dilapisi oleh nikel adalah bertambahnya daya tahan kekerasan material, bertambahnya daya tahan terhadap korosi, bertambahnya kapasitas konduktifitas, bertambahnya nilai estetika terhadap penampilannya (cemerlang), tahan aus, tahan tarnish (noda), tahan goresan dan substrat terlindungi. Adapun sifat mekanik, terjadi perubahan kekuatan tarik maupun tekan, dan bertambahnnya kekerasan dari material sesudah mengalami pelapisan dibandingkan sebelumnya (Putra dan Arya Mahendra, 2018:116).

Stainless steel digunakan di sektor industri karena memberikan banyak keuntungan seperti penampakan, kekuatan, resistansi terhadap korosi yang baik dan biaya perawatan yang murah. Pemilihan stainless steel 304 dalam hal ini bertujuan untuk mengimbangi AISI 316L. AISI 304 harganya lebih murah dan banyak terdapat di pasaran, selain itu baja stainless steel 304 secara alami juga sudah mengandung unsur Ni dan Cr. Salah satu kelemahan stainless steel 304 jika dibandingkan dengan 316L adalah kekerasan dan ketahanan korosinya. Kekerasan dan ketahanan korosi stainless steel 304 lebih kecil daripada AISI 316L Sehingga hal tersebut menjadi kendala aplikasi stainless steel 304 (Mulyaningsih, 2017:155). Baja AISI 304 digunakan untuk menyambung komponen-komponen konstruksi, hal ini dikarenakan baja AISI 304 memiliki kelebihan antara lain

keuletan yang baik pada suhu yang relatif rendah dan resistansi yang tinggi terhadap lingkungan yang korosif (Yakub dan Media, 2013:7).

Baja AISI 304 merupakan baja yang memiliki kandungan unsur : Karbon (C) 0.07 %, Silikon (Si) 0.64 %, Mangan (Mn) 0.80 %, Kromium (Cr) 18.34 %, Nikel (Ni) 8.00 %, Fosfor (P) 0.03 % dan Molibdenum (Mo) 0.12 % (Rashid. et al, 2012:9467). Untuk mengatasi kelemahan diatas, maka proses perlakuan pada permukaan material (*surface treatment*) perlu dilakukan. Salah satu proses perlakuan permukaan yaitu dengan elektroplating. Proses *surface treatment* yang banyak dilakukan dewasa ini adalah proses elektroplating.

Teknik elektroplating dikategorikan sebagai proses pengerjaan akhir (metal finishing). Pelapisan logam dapat berupa lapisan seng (zink), galvanis, perak, emas, brass, tembaga, nikel dan krom. Penggunaan lapisan tersebut disesuaikan dengan kebutuhan dan kegunaan materialnya. Proses elektroplating mengubah sifat fisik dan sifat mekanik suatu material. Salah satu contoh perubahan fisik ketika material dilapisi adalah bertambahnya daya tahan material tersebut terhadap korosi, serta bertambahnya kapasitas konduktifitasnya. Adapun dalam sifat mekanik, terjadi perubahan kekerasan, kekuatan tarik maupun tekan suatu material sesudah mengalami pelapisan dibandingkan sebelumnya.

Elektroplating merupakan salah satu cara pelapisan permukaan substrat yang berlangsung dalam larutan elektrolit. Substrat berfungsi sebagai katoda, sedangkan anoda berfungsi sebagai bahan pelapis terhadap substrat. Arus listrik searah (*direct current/DC)* dialirkan ke anoda dan katoda. Proses pelapisan dengan cara listrik (*electroplating*) adalah suatu proses pengendapan zat atau ion-

ion logam pada elektroda katoda (negatif) dengan cara elektrolisis. Hasil dari elektrolisis tersebut akan mengendap pada elektroda negatif/katoda. Terjadinya suatu endapan pada proses ini disebabkan adanya ion-ion bermuatan listrik yang berpindah dari suatu elektroda melalui elektrolit. Selama proses pengendapan berlangsung terjadi reaksi kimia pada elektroda dan elektrolit, baik reaksi reduksi maupun oksidasi. Oleh karena itu, di perlukan arus listrik searah (*direct current*) dan tegangan yang konstan (Saleh, 2014:4).

Unsur-unsur yang dapat dilapiskan untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan korosi pada baja diantaranya tembaga, alumunium, nikel, krom, seng, dan sebagainya. Dalam dunia industri nikel merupakan logam yang banyak sekali digunakan secara luas dalam industri plating, kemampuan pelapisan nikel dengan kekerasan sedang dan kecemerlangan tinggi menjadikannya sebagai suatu pilihan terbaik untuk pelapisan dasar aplikasi dekoratif. Adanya penambahan nikel diharapkan akan dapat meningkatkan kekerasan dan ketahanan korosi terhadap permukaan bahan yang akan dilapisi. Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan di atas maka perlu diadakan penelitian untuk mengetahui gambaran yang jelas tentang “Pengaruh jarak anoda katoda dan lama waktu pelapisan proses elektroplating nikel terhadap kekerasan dan ketebalan lapisan material baja aisi 304”.

1.2 Identifikasi Masalah

Elektroplating banyak digunakan untuk melapisi logam, dengan lapisan tipis dari logam lain. Pelapisan nikel dengan logam dasar baja/besi telah menjadi trend saat ini di bidang otomotif, furniture, peralatan dapur, dan sebagainya.

Tujuan pelapisan nikel tentunya untuk meningkatkan perfoma logam dasar agar tahan karat, meningkatkan sifat mekanik permukaan dan sisi artistik/keindahan. Nikel elektroplating menjadi proses yang semakin digunakan untuk proses finishing permukaan yang memiliki spektrum luas penggunaan akhir yang mencakup aplikasi dekoratif, teknik dan elektroforming. Dari berbagai logam yang dielektrodeposisi, nikel adalah salah satu yang paling sering digunakan untuk meningkatkan ketahanan korosi, kekerasan atau konduktivitas listrik dari substrat yang mendasari (Sadiku-Agboola. et al, 2012:349). Pelapisan nikel untuk tujuan teknik biasanya dari solusi yang menyetor nikel murni. Properti yang paling penting dalam penggunaan akhir teknik adalah, umumnya ketahanan terhadap korosi, ketahanan aus, kemampuan solder, dan sifat magnetik dan lainnya mungkin relevan dalam aplikasi tertentu.

Elektroplating nikel banyak diaplikasikan dalam bidang teknik seperti bidang otomotif, mesin-mesin industri, dll bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik permukaan, meningkatkan nilai dekoratif, dan ketahanan korosi logam substrat seperti baja. Pelapisan nikel pada permukaan baja akan meningkatkan kekerasan dan ketahanan korosi baja terhadap lingkungan. Penelitian ini menggunakan *material* baja AISI 304 yang sering digunakan dalam lingkungan yang korosif sering mengalami retakan, goresan, pengikisan sehingga lama-kelamaan bisa mengurangi umur pakai. Maka perlu perlakuan khusus untuk meningkatkan kekerasan permukaan bahan *material* baja AISI 304.

Tindakan yang dilakukan untuk mendapatkan umur serta meningkatkan kekerasan yang tinggi terhadap peralatan yang terbuat dari logam biasanya tahap

penyelesaiannya dilakukan dengan melapiskan logam lain, diantaranya dengan cara elektroplating. Proses pelapisan logam ini dilakukan dengan sistem elektroplating, Logam pelapis yang digunakan adalah nikel. Nikel merupakan logam pelapis yang digunakan secara luas di industri plating, baik untuk aplikasi dekoratif ataupun protektif. Pelapisan protektif terutama ditujukan untuk menghasilkan permukaan benda lebih keras dan tahan terhadap korosi. Ada beberapa faktor atau variabel yang berpengaruh terhadap hasil pelapisan baik berupa kekerasan, tebal pelapisan ataupun tingkat kecerahan permukaan lapisan. Sekian banyak faktor, lama waktu pelapisan, jarak anoda katoda, besarnya tegangan dan kuat arus mempunyai pengaruh yang cukup besar. Untuk hal tersebut dilakukan penelitian mengenai pengaruh faktor-faktor tersebut terhadap kekerasan dan tebal hasil pelapisan. Semakin lama waktu pelapisan, semakin tebal hasil pelapisan, demikian juga semakin besar tegangan dan kuat arus, hasil pelapisan juga semakin tebal (Budiyanto. et al, 2016:22). Dari uraian tersebut, Perlu dilakukan penelitian pengaruh jarak anoda katoda dan lama waktu pelapisan proses elektroplating nikel terhadap kekerasan dan ketebalan lapisan material baja aisi 304.

1.3 Pembatasan Masalah

Variasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Variasi jarak anoda katoda 10 cm, 15 cm dan 20 cm.
2. Variasi lama waktu pelapisan 15 menit, 20 menit dan 25 menit.

Batasan masalah dalam penelitian ini, antara lain sebagai berikut :

1. Spesimen yang digunakan adalah baja AISI 304.

2. Elektroplating dilakukan dengan lapis nikel.
3. Tegangan yang digunakan adalah 5 volt.
4. Larutan elektrolit yang digunakan adalah nikel watt's.
5. Komposisi larutan yang digunakan yaitu aquadest 5 lt, *nickel sulfate* 300 gr/lt, *nickel chloride* 50 gr/lt dan *boric acid* 30 gr/lt.
6. Rentan temperatur larutan elektrolit yang digunakan 45 - 65 ^{o}C.
7. pH larutan yang digunakan adalah 4,5.
8. Rapat arus yang digunakan 0,7 A/in^2
9. Jumlah anoda yang digunakan yaitu 2 buah.
10. Pengujian fisis yang dilakukan adalah uji kekerasan dan ketebalan lapisan pada *material* baja AISI 304 hasil *electroplating* nikel.
11. Pengujian kimia yang dilakukan adalah uji komposisi

1.4 Rumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi jarak anoda katoda dan lama waktu pelapisan proses elektroplating nikel terhadap kekerasan pada *material* baja AISI 304?
2. Bagaimana pengaruh variasi jarak anoda katoda dan lama waktu pelapisan proses elektroplating nikel terhadap ketebalan lapisan pada *material* baja AISI 304?

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini, antara lain sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi jarak anoda katoda dan lama waktu pelapisan proses elektroplating nikel terhadap kekerasan pada *material* baja AISI 304.
2. Mengetahui pengaruh variasi jarak anoda katoda dan lama waktu pelapisan proses elektroplating nikel terhadap ketebalan lapisan pada *material* baja AISI 304.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini, antara lain sebagai berikut :

1. Manfaat Praktis

   Memperoleh data tentang perbedaan kekerasan dan ketebalan lapisan dengan variasi jarak anoda katoda dan lama waktu pelapisan pada elektroplating nikel bagi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

2. Manfaat Teoritis

   Hasil penelitian dapat dijadikan sebagai bahan referensi untuk penelitian yang sejenis dan dapat menambah ilmu pengetahuan tentang pengaruh jarak anoda katoda dan lama waktu pelapisan elektroplating nikel terhadap peningkatan kekerasan dan ketebalan lapisan pada baja AISI 304.

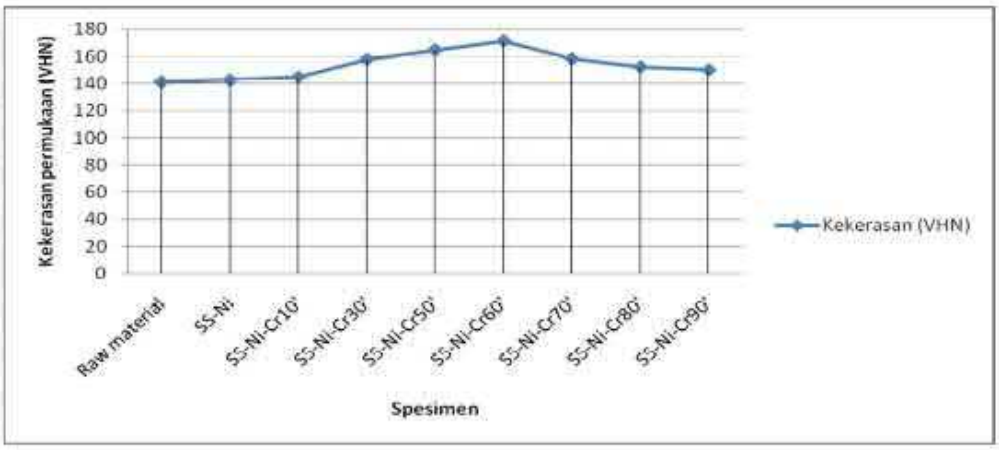
BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Hakikatnya dalam suatu penelitian tidak selalu dimulai dari nol, akan tetapi bisa dimulai dari yang telah ada seperti acuan-acuan yang mendasari dalam ruang penelitian yang sejenis. Oleh sebab itu perlu mengenalkan penelitian yang terdahulu sebagai bahan referensi yang relevan dalam penelitian yang akan dilakukan. Referensi penelitian terdahulu adalah sebagai berikut :

Mulyaningsih. et al, (2012) telah melakukan penelitian tentang "Pengaruh waktu elektroplaitng nikel-chrome terhadap kekerasan baja stainless steel AISI 304" Hasil penelitiannya menunjukan nilai optimum terjadi pada waktu 60 menit, Apabila waktu dinaikkan lagi dapat menurunkan kekerasan permukaan spesimen. Perbandingan nilai kekerasan spesimen sebelum dan sesudah di elektroplating: SS 304 (Raw Material) = 141 (VHN); Hasil minimum setelah elektroplating SS 304-Ni 15'-Cr 10' = 144 (VHN)(2%) dan maksimum pada saat SS 304-Ni 15'-Cr 60'= 172 (VHN)(22%).



Gambar 2.1 Grafik perbandingan kekerasan sebelum dan sesudah elektroplating. (Mulyaningsih. et al, 2012:365)

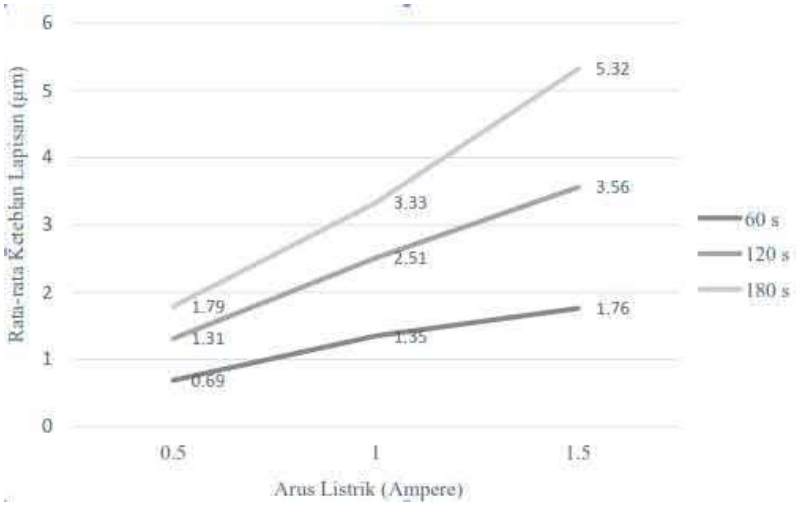
Wibowo dan Erna Setianingrum, (2015) melakukan penelitian mengenai "Pengaruh perlakuan shot peening dan elektroplating Ni-Cr pada AISI 304 terhadap laju korosi dalam larutan *synthetic body fluid* (SBF)". Penelitian ini menggunakan *material* plat baja AISI 304 yang biasa digunakan dalam *orthopedic implant* dengan bentuk lingkaran ukuran diameter 14 mm dan tebal 4 mm. Proses shot peening menggunakan almen A0.006, A0.008 dan A0.010 dengan jarak nozzle ke permukaan 10-15 cm dan diameter bola baja 0,028 inch. Pengujian kekerasan bahan penelitian ini menggunakan metode indentasi mikro vikers dilakukan pada permukan dan penampang melintang spesimen *raw material* serta setelah perlakuan shot peening dan *electroplating* Ni-Cr, Kekerasannya di ukur dari panjang diagonal bekas injakan indentor. Hasil penelitian menunjukan bahwa nilai kekerasan dipermukaan meningkat secara signifikan. Spesimen dengan A0.008 memiliki nilai kekerasan dipermukaan sebesar 345,945 kg/mm^2, spesimen A0.010 sebesar 335,717 kg/mm^2 dan spesimen A0.006 sebesar 305,123 kg/mm^2. Tabel hasil uji kekerasan permukaan spesimen dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Spesimen	VHN Kgf/mm^2
Raw Material	160
A0.006	305
A0.008	345
A0.010	335

Gambar 2.2 Tabel hasil uji kekerasan permukaan spesimen.
(Wibowo dan Erna Setianingrum, 2015:4)

Gambar 2.2 menunjukan adanya pengaruh perlakuan shot peening dan *electroplating* Ni-Cr terhadap kekerasan pada permukaan spesimen, kekerasan yang dihasilkan meningkat dari *raw material* 160 VHN hasil minimum 305 VHN dan maksimum pada 345 VHN. Dapat disimpulkan bahwa hasil penelitian menunjukan adanya pengaruh perlakuan shot peening dan *electroplating* Ni-Cr terhadap kekerasan pada permukaan spesimen dengan peningkatan nilai *Vickers Hardness Numberic* pada spesimen uji sebelum dan setelah perlakuan.

Ady dan Sulistyo, (2017) telah melakukan penelitian tentang "Pelapisan stainless steel AISI 304 menggunakan nikel (Ni) melalui proses elektroplating" Penelitian ini menggunakan *material mesh* stainless steel AISI 304 dengan variasi yang di teliti adalah arus listrik dan waktu terhadap ketebalan hasil pelapisan nikel. Hasil penelitian menunjukan data ketebalan lapisan minimum diperoleh 0,69 µm pada arus listrik 0,5 ampere dengan waktu 60 detik dan pada arus listrik 1,5 ampere dengan waktu 180 detik diperoleh ketebalan maksimum lapisan Ni sebesar 5,32 µm. Grafik hubungan antara waktu proses pelapisan dan tebal lapisan adalah semakin lama waktu pelapisan semakin tebal pelapisan Ni pada mesh SS 304. Arus listrik dan waktu pelapisan berbanding lurus dengan ketebalan (deposit), semakin lama waktu pelapisan dan semakin besar arus listrik yang dialirkan maka semakin tebal juga lapisan nikel yang melapisi. Namun arus listrik yang mengalir tidak boleh melebihi batas rapat arus yang diizinkan akibatnya jika melebihi maka material substrat akan hangus (kehitaman) (Ady dan Sulistyo, 2017:24).



Gambar 2.3 Grafik hubungan arus listrik dan waktu pelapisan terhadap ketebalan. (Ady dan Sulistyo, 2017:23)

Hasil terbaik didapat ketika menggunakan arus listrik dan waktu pelapisan maksimal yaitu dengan arus listrik 1,5 ampere dan waktu pelapisan 180 detik dengan rata-rata ketebalan (deposit) yaitu 5,32 µm dan setelah divalidasi memiliki error 3,79%.

Penelitian pengaruh waktu *electroplating* dan *powdercoating* NiCr terhadap sifat mekanis dan struktur mikro pada baja karbon SPCC-SD. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pelapisan nikel-krom (NiCr) dengan proses elektroplating dan *powdercoating* terhadap perubahan sifat mekanis dan struktur mikro pada baja karbon SPCC-SD untuk peralatan kantor dan komponen otomotif. Kondisi saat proses elektroplating dengan arus sebesar 3 A dan tegangan 15 V. Variasi waktu celup pada sampel adalah 5, 10, dan 15 menit. Pengujian sifat mekanis yaitu uji kekerasan dengan metode *Vickers* untuk mengetahui ketahanan, pengujian tarik untuk mengetahui kekuatan tarik dan

pengujian struktur mikro dengan mikroskop optik untuk melihat struktur mikro serta ketebalan pelapisan nikel-krom. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan berbeda antara proses elektroplating (137, 412-199, 626 *Hardness Vickers*/HV) dengan proses *powdercoating* (127, 696-180, 328 HV).

Nilai kekerasan meningkat dibanding nilai kekerasan sebelum pelapisan krom sebesar 93,808 HV. Ternyata ada perbedaan yang signifikan nilai kekerasan yang diakibatkan cara proses pelapisan yang beda pada waktu 10 menit yaitu 43 HV. Hal ini disebabkan karena lapisan yang terbentuk semakin tebal, namun distribusi kekerasannya tidak merata. Dengan kekerasan semakin meningkat sejalan dengan bertambahnya titik distribusi arus, sehingga akan menyebabkan semakin cepat proses pengendapan ion-ion elektrolit kedalam permukaan benda kerja. Hal ini berpengaruh terhadap ketebalan lapisan, dimana ketebalan lapisan sangat berpengaruh terhadap nilai kekerasan. Disimpulkan bahwa ada perbedaan tebal dan nilai uji kekerasan lapisan Ni-Cr dan lapisan krom akibat beda proses pelapisan pada waktu yang sama (Rasyad dan Budiarto, 2011:433).

No.	Nama Sampel	Nilai Kekerasan (HV)
1.	Sampel Asli(normal)	93,81
2	Sampel dari hasil *Electroplating* (EP1)	137,412
	(EP3)	196,38
	(EP3)	199,626
3.	Sampel dari hasil *Powder coating*(PC1)	127,696
	(PC2)	153,116
	(PC3)	180,328

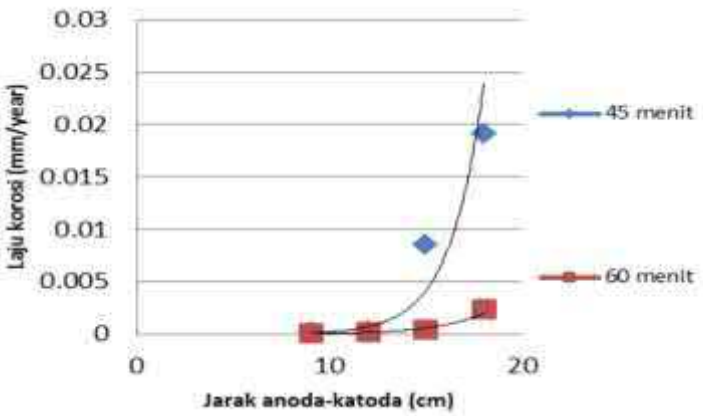
Gambar 2.4 Tabel hasil uji kekerasan baja SPCC-SD
sebelum dan sesudah elektroplating.
(Rasyad dan Budiarto, 2011:431)

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Fahreza, (2016) mengenai "Pengaruh Jarak Anoda-Katoda dan Durasi Pelapisan Terhadap Laju Korosi pada Hasil *Electroplating Hard Chrome*". Penelitian ini menggunakan *material* baja ST-37 dilakukan proses elektroplating *hard chrome* dengan variasi jarak anoda-katoda dan durasi pelapisan, variasi jarak anoda-katoda yang digunakan adalah 9 cm, 12 cm, 15 cm, dan 18 cm dengan durasi pelapisan selama 45 menit dan 60 menit. Pengujian laju korosi menggunakan peralatan potensiostat dan *software* NOVA dengan 10% NaCL sebagai media korosinya karena akan diketahui ketahanan korosi *all-chloride hard chrome plating* pada kondisi garam. Pada analisa proses elektroplating *hard chrome* dengan variasi jarak anoda-katoda dan durasi pelapisan menjelaskan bahwa semakin jauh jarak anoda-katoda menyebabkan semakin lambat pergerakan ion dan semakin berkurang jumlah ion-ion *chrome* yang bergerak untuk pelapisan *hard chrome* pada logam. Semakin sedikit lapisan *chrome* yang melapisi maka nilai laju korosi akan semakin besar (Fahreza, 2016:5).

Analisis perbandingan grafik pada proses *electroplating hard chrome* terhadap laju korosi durasi 45 menit dengan durasi 60 menit, di dapatkan bahwa grafik laju korosi pada pelapisan *electroplating hard chrome* dengan durasi 45 menit lebih besar laju korosinya dari pada durasi 60 menit disebabkan semakin lama waktu pelapisan maka akan membuat semakin banyak jumlah ion-ion chrome yang melapisi dan nilai laju korosi akan semakin kecil. Dengan demikian

ketebalan dari suatu lapisan elektroplating berbanding lurus dengan waktu pelapisan, semakin lama waktu pelapisan semakin kecil nilai laju korosi.

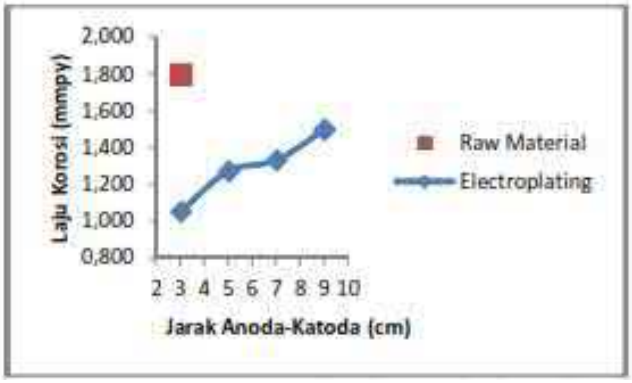
Adapun grafik perbandingan proses *electroplating hard chrome* terhadap laju korosi durasi 45 menit dengan 60 menit dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Grafik perbandingan *electroplating hard chrome* terhadap laju korosi durasi 45 menit dengan 60 menit.
(Fahreza, 2016:5)

Penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin dekat jarak anoda-katoda pada proses *electroplating hard chrome* maka nilai laju korosi akan semakin menurun dan semakin lama durasi proses *electroplating hard chrome* maka nilai laju korosi semakin menurun. Dengan demikian ketebalan dari suatu lapisan elektroplating berbanding lurus dengan jarak anoda-katoda dan waktu pelapisan, semakin lama waktu pelapisan semakin kecil nilai laju korosi. Peningkatan jarak anoda-katoda dari 9 cm sampai 18 cm akan diikuti dengan penurunan laju korosi sebesar 0,0000089977mpy.

Penelitian peningkatan ketahanan korosi baja JIS S45C hasil *electroplating* nikel pada aplikasi material *cryogenic*. Disimpulkan bahwa keefektifan pelapisan logam dalam proses *electroplating* salah satunya dipengaruhi oleh penempatan anoda-katoda yang berpengaruh terhadap ketebalan dan homogenitas lapisan yang terbentuk. Penelitian ini menyimpulkan bahwa semakin lebar jarak anoda-katoda pada proses *electroplating*, maka akan berakibat pada penurunan ketahanan korosi material JIS S45C. Penelitian ini menunjukkan adanya peningkatan laju korosi dengan semakin meningkatnya jarak anoda-katoda pada proses elektroplating. Hal ini dikarenakan semakin lebar jarak anoda-katoda, maka deposit lapisan yang terbentuk pada proses elektroplating akan semakin tipis dan tidak homogen. Lapisan yang tipis dan tidak homogen akan berpengaruh pada ketahanan korosi material baja JIS S45C. Semakin tipis lapisan yang terbentuk akan berakibat semakin lemahnya ikatan molekul antara substrat (logam induk) dengan lapisan tersebut (Pramudia, 2012:17).



Gambar 2.6 Grafik hubungan jarak anoda-katoda terhadap laju korosi.
(Pramudia, 2012:17)

Budiyanto. et al, (2016) melakukan penelitian mengenai “Pengaruh Jarak Anoda-Katoda Pada Proses Elektroplating Tembaga Terhadap Ketebalan Lapisan dan Efisiensi Katoda Baja AISI 1020”. Penelitian ini *material* yang digunakan baja AISI 1020 dengan ukuran 5 x 2 x 0,4 cm yang dilapisi tembaga. Pada penelitian elektroplating tembaga ini variasi jarak anoda-katoda yang digunakan adalah 5 cm, 10 cm, 15 cm dan 20 cm. Pengujian pada penelitian ini adalah uji ketebalan lapisan, Pengujian ketebalan lapisan dicari dengan membaca hasil fotomikro dengan menggunakan *microskop optic* monitor LCD. Hasil penelitian menunjukan adanya pengaruh jarak anoda-katoda terhadap ketebalan lapisan yang terbentuk pada permukaan spesimen. Adapun grafik perbandingan hasil uji ketebalan lapisan variabel jarak dapat dilihat pada Gambar 2.8.

Gambar 2.7 Grafik hubungan antara jarak terhadap ketebalan.
(Budiyanto et al, 2016:27)

Berdasarkan gambar 2.7 menunjukan adanya pengaruh jarak anoda-katoda terhadap ketebalan permukaan spesimen, ketebalan yang dihasilkan untuk ke empat variasi jarak yang digunakan menunjukan 5, 10, 15 dan 20 cm

menghasilkan 0.108, 0.1, 0.077 dan 0.058 mm. Dapat disimpulkan bahwa semakin dekat jarak anoda-katoda maka semakin tebal pelapisan sedangkan semakin besar jarak anoda-katoda maka hasil pelapisan yang terbentuk semakin tipis. Ketebalan paling maksimum didapatkan pada jarak 5 cm sebesar 0.108 mm sedangkan ketebalan minimum lapisan didapatkan pada jarak 20 cm sebesar 0.058 mm (Budiyanto et al, 2016:28). Hal yang sama , berlaku pada besaran massa, nilai maksimum didapatkan pada jarak 5 cm sebesar 0.23 gram, dan nilai minimum pada jarak 20 cm sebesar 0.12 gram.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Elektroplating

Menurut Sugiyarta. et al, (2012:23), “pelapisan logam adalah suatu cara yang diberikan untuk memberikan sifat tertentu pada permukaan di mana diharapkan benda tersebut akan mengalami perbaikan maupun ketahanannya serta tidak menutup kemungkinan pula terjadi perbaikan pada sifat fisiknya”. Pelapisan logam memang memiliki banyak metode, salah satunya adalah dengan cara elektroplating. Beberapa pendapat mengenai pengertian elektroplating menurut Majanasastra, (2013:36) “Elektroplating atau biasa disebut lapis listrik adalah suatu proses pengendapan logam pada permukaan suatu logam maupun non logam, secara elektrolisa”. Proses elektroplating merupakan proses pelapisan logam secara elektrodeposisi. Cara pelapisan ini memerlukan arus listrik searah (DC), elektroda dan larutan elektrolit. Elektroda merupakan kutub postif (anoda)

dan kutub negatif (katoda) (Andayani. et al, 2016:142). Tarwijayanto. et al, (2013:109) menyatakan bahwa “Pelapisan logam listrik (elektroplating) yaitu pelapisan logam maupun non logam secara elektrolisis melalui penggunaan arus searah (DC) dan larutan kimia (elektrolit) yang berfungsi sebagai penyuplai ion-ion logam untuk membentuk lapisan logam pada katoda”

Saleh, (2014:1-2) menyatakan juga bahwa proses pelapisan dengan cara listrik (*electroplating*) adalah proses pelapisan logam dan non logam yang menggunakan arus listrik searah (*direct current/DC*) melalui metode elektrolisis. Pelapisan listrik memberikan suatu perlindungan dengan menggunakan logam-logam tertentu sebagai pelapis atau *coating* misalnya tembaga, nikel, seng, krom, emas, perak dan lain sebagainya. Proses lapis logam ini (*electroplating*) sering digunakan untuk pelapisan logam dibandingkan dengan metode lainnya, Oleh karena itu proses elektroplating ini memiliki keuntungan dalam pelaksanaannya yaitu keuntungannya: 1) Temperatur rendah dalam pengoperasiannya, yaitu 25-80° C; 2) Ketebalan lapisan mudah dikendalikan; 3) Hasil permukaan lapisan halus dan mengkilap; 4) Logam pelapis lebih hemat; 5) Dapat membentuk lapisan sesuai kontur yang ada; 6) Memanfaatkan ion logam sebagai pelapis.

Proses pelapisan logam dengan metode *electropatin*g merupakan suatu cara yang dilakukan untuk memberikan sifat tertentu pada suatu permukaan benda kerja. Proses pelapisan logam tersebut dilakukan setelah benda kerja mencapai bentuk akhir atau setelah proses pengerjaan mesin serta penghalusan terhadap

permukaan benda kerja yang dilakukan. Dengan demikian, proses pelapisan termasuk dalam kategori pekerjaan finishing atau sering juga disebut tahap penyelesaian dari suatu produksi benda kerja. Prinsip dasar dari pelapisan logam secara *electroplating* ini adalah reduksi ion-ion logam sehingga terjadi pengendapan logam pada katoda secara elektrolisis (Yerikho. et al, 2013:63).

Terjadinya endapan pada proses elektroplating disebabkan adanya ion-ion bermuatan listrik melalui elektrolit. Ion-ion elektrolit tersebut akan mengendap pada katoda, endapan yang terjadi bersifat adhesif terhadap logam dasar. 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.

Prinsip teori dasar elektroplating berdasarkan pada hukum Faraday, yang disampaikan oleh (Saleh, 2014:4-5):

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

   Hukum Faraday tersebut dapat ditulis dengan rumus berikut:

$$B = \frac{I.t.e}{F} \quad \text{.....(2.1)}$$

dimana: B = Berat zat yang terbentuk (gram)
I = Jumlah arus yang mengalir (Ampere)
t = Waktu (detik)

e = Berat ekuivalen zat yang dibebaskan (berat atom suatu unsur dibagi dengan valensi unsur tersebut)
F = Jumlah arus yang diperlukan untuk membebaskan sejumlah gram ekuivalen suatu zat
1 F = 96.500 C (Coulomb)

Hukum Faraday sangat erat kaitannya dengan efisiensi arus yang terjadi pada proses *electroplating*. Efisiensi arus adalah perbandingan berat endapan yang terjadi dengan berat endapan secara teoritis dan dinyatakan dalam persen. Bila di atas dijelaskan bahwa tegangan dalam *electroplating* di inginkan dalam kondisi konstan, maksud dari pernyataan tersebut adalah tegangan tidak akan berubah atau terpengaruh oleh besar kecilnya arus yang terpakai.

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{.....(2.2)}$$

Keterangan :
V = Tegangan (Volt)
I = Arus (Ampere)
R = Tahanan (Ohm)

2.2.2 Prinsip Kerja Elektroplating

Reaksi kimia pada proses elektroplating menggunakan prinsip-prinsip teknologi elektrokimia. “Proses-proses pengendapan secara elektrokimia dinamakan elektrodeposisi” (Hartomo dan Kaneko, 1992:2). Pemahaman tentang elektrokimia dijelaskan sebagai berikut:

Sistem elektrokimia bila diberi beda tegangan, ion-ion bergerak menuju elektroda. Kation bergerak ke katoda, anion bergerak ke anoda. Masing-masing mempunyai laju khas, yang bila tegangannya satu (satuan), laju tersebut dinamai mobilitas atau konduktivitas ion individu. Konduktivitas total larutan tertentu merupakan jumlahan mobilitas sejumlah ion yang dikandungnya. Hal itu hanya benar bila larutannya encer. Bagian arus total yang

> dibawa oleh ion tertentu disebut *transferens* dan angka *transport* ion tersebut (Hartomo dan Kaneko, 1992:3).

Sumber arus listrik searah dihubungkan dengan dua buah elektroda yaitu elektroda yang dihubungkan dengan kutub negatif disebut sebagai katoda dan elektroda positif disebut anoda. Arus listrik mengalir dari anoda menuju katoda melalui elektrolit. Benda yang akan dilapisi harus memiliki sifat konduktif atau dapat menghantarkan arus listrik yang berfungsi sebagai katoda, disebut benda kerja. Semua rangkaian tersebut disusun membentuk suatu sistem. Anoda dihubungkan dengan kutub positif dan katoda dengan kutub negatif. Keduanya dimasukkan ke dalam larutan elektrolit dan diberikan arus listrik, sehingga terjadi proses pelapisan pada katoda.

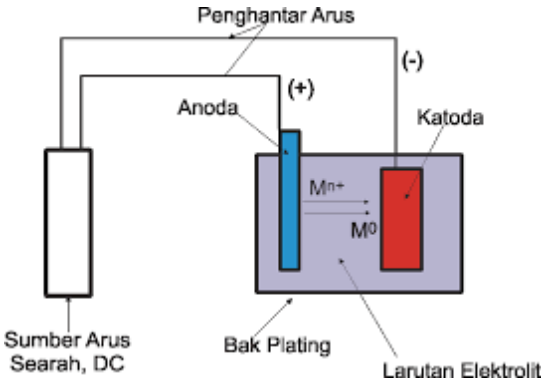
Arus listrik pada dasarnya adalah aliran elektron, yang dapat mengalir dari suatu atom ke atom lainnya. Bila arah arus selalu sama setiap saat disebut sebagai arus searah (DC: *Direct Current*) dan bila terjadi arah balik terhadap arah dasarnya disebut sebagai arus bolak-balik (AC: *Alternating Current*). Arus yang dipakai pada elektroplating adalah arus searah. Sumber arus DC dapat diperoleh dari *accumulator*, batu baterai atau dengan mengubah arus AC menjadi DC dengan menggunakan adaptor atau rectifier. Elektrolit merupakan suatu larutan yang mengandung ion-ion sehingga dapat menghatarkan arus listrik. Sebagai contoh elektrolit *plating* tembaga mengandung senyawa tembaga sulfat ($CuSO_4$) yang terurai dalam larutan membentuk ion positif Cu^{2+} dan ion negatif SO_4^2

Untuk memperbesar arus ditambahkan asam sulfat (H_2SO_4) yang terurai menjadi ion positif H_3O^+ (berasal dari $H_2O + H^+ = H_3O^+$) dan ion negatif SO_4^{2-}.

Apabila dua buah benda padat disambungkan dengan arus listrik dan dicelupkan ke dalam elektrolit bagian yang tersambung dengan kutub positif disebut anoda dan yang tersambung dengan kutub negatif disebut katoda. Anoda terdiri dari dua macam yaitu anoda aktif yang akan larut ke dalam larutan seperti anoda tembaga (Cu), Nikel (Ni) dan anoda inaktif yang tidak akan terionisasi seperti karbon (C). Pada prinsipnya pelapisan logam dengan cara lapis listrik merupakan rangkaian dari : arus listrik, elektroda (anoda dan katoda), larutan elektrolit dan benda kerja ditempatkan sebagai katoda.

Keempat gugusan ini disusun sedemikian rupa sehingga membentuk suatu rangkaian sistem lapis listrik dengan rangkaian sebagai berikut:

1) Anoda dihubungkan pada kutub positif pada sumber listrik
2) Katoda dihubungkan pada kutub negatif pada sumber listrik
3) Anoda dan katoda direndamkan dalam larutan elektrolit.



Gambar 2.8 Rangkaian proses plating.
(Purwanto dan Huda, 2005:7)

Arus listrik (potensial) searah dialirkan pada kedua elektroda anoda dan katoda dalam laruan elektrolit, maka muatan ion positif ditarik oleh elektroda katoda. Sementara ion bermuatan negatif berpindah ke arah elektroda bermuatan positif. Berikut ini beberapa komponen utama yang dibutuhkan pada proses elektroplating adalah sebagai berikut:

a. Larutan elektrolit

Larutan elektrolit merupakan larutan yang dapat menghantarkan arus lisrtrik (Topayung, 2011:99). Biasanya, arus disuplai melalui sumber listrik DC. Larutan elektrolit terdiri dari komponen utama berupa senyawa logam dalam bentuk garam terlarut dan asam atau basa. Senyawa logam merupakan sumber logam yang menempel pada benda kerja. Larutan asam atau basa dalam elektrolit berfungsi untuk meningkatkan konduktivitas atau daya hantar listrik. Penggunaan larutan elektrolit pada proses *electroplating* mempunyai komposisi larutan yang berbeda-beda tergantung jenis pelapisan.

b. Anoda

Proses pelapisan secara listrik peranan anoda sangat penting dalam menghasilkan kualitas lapisan. Pengaruh kemurnian/kebersihan anoda terhadap elektrolit dan penentuan ukuran serta bentuk anoda perlu diperhatikan. Anoda yang digunakan pada pelapisan tembaga adalah anoda terlarut (*soluble anode*) yaitu tembaga murni, untuk pelapisan nikel

menggunakan anoda terlarut yaitu nikel murni, sedangkan untuk pelapisan khrom menggunakan anoda tidak terlarut (*unsoluble anode*) yaitu dengan anoda timbal. Adanya arus listrik yang mengalir melalui larutan elektrolit di antara kedua elektroda, maka pada anoda akan terjadi pelepasan ion logam dan oksigen (reduksi), selanjutnya ion logam tersebut dan gas hidrogen di endapkan pada elektroda katoda.

c. Katoda

Proses elektroplating, katoda bisa diartikan sebagai benda kerja yang akan dilapisi (Setyahandana dan Yohanes, 2017:27).

Proses lapis nikel dapat terjadi karena elektron yang lepas dari atom-atom nikel meninggalkan anoda yang kemudian masuk kedalam larutan sebagai ion-ion nikel. Jika sel elektrolit digunakan nikel murni sebagai anoda dan benda yang akan dilapisi sebagai katoda. Keduanya dicelupkan ke dalam bak yang berisi larutan Ni dengan konsentrasi tertentu, kemudian arus dialirkan ke dalam larutan tersebut maka benda katoda akan terlapisi dengan nikel. Dalam hal ini di anoda logam nikel terjadi reaksi kimia dan di katoda Ni^{2+} direduksi. Atom-atom nikel (Ni) akan menjadi Ni^{2+} di anoda dan Ni^{2+} direduksi menjadi atom-atom Ni dan logam Ni akan menempel pada katoda sehingga benda tersebut telah dilapisi dengan nikel. Proses pelapisan dapat terjadi sebagai berikut : elektron yang lepas dari atom-atom nikel meninggalkan anoda yang kemudian masuk kedalam larutan sebagai ion-ion nikel.

$$Ni \longrightarrow Ni^{2+} + 2e^{-} \text{ (anoda)}$$

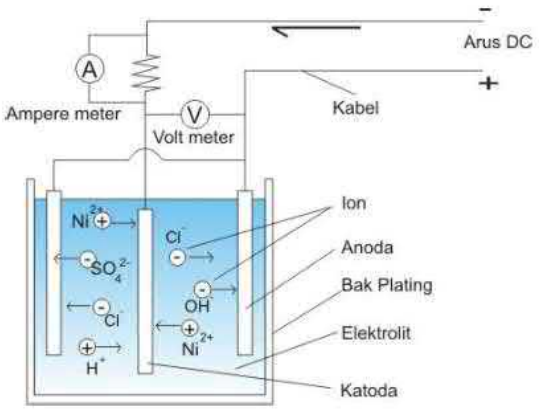
$$4OH^{-} + O_2 \longrightarrow 2H_2O + 4e^{-}$$

$$2Cl^{-} \longrightarrow Cl_2 + 2e^{-}$$

Elektron bergerak dari anoda ke katoda bereaksi dengan ion-ion Ni menjadi ion-ion nikel yang melapisi katoda.

$$Ni^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow Ni \text{ (katoda)}$$

$$2H^{+} + 2e^{-} \longrightarrow H_2$$



Gambar 2.9 Rangkaian proses elektroplating nikel.
(Sutomo. et al, 2010:14)

2.2.3 Parameter-Parameter Proses Elektroplating

Parameter-parameter yang harus diperhatikan dalam melaksanakan proses elektroplating agar mendapatkan hasil dan kualitas yang baik diantara lain adalah :

a. Tegangan

Proses elektroplating tegangan yang digunakan harus konstan sehingga yang divariabelkan hanya arusnya. Maksudnya, jika luas permukaan benda kerja bervariasi maka rapat aruslah yang divariasikan sesuai dengan

ketentuan sedangkan tegangannya tetap. Tegangan merupakan salah satu faktor terpenting dalam proses elektroplating karena mempengaruhi penguraian ion-ion logam menjadi logam yang menempel pada benda kerja yang akan dilapisi. Berdasarkan Hukum ohm dapat disajikan sebagai berikut (Raharjo, 2010:21) :

$$R = \frac{p.I}{A} \quad \text{.....(2.3)}$$

Hubungan antara kuat arus (I) dengan luas permukaan benda kerja yang dilapisi (A) dapat dinyatakan dalam hukum ohm dibawah ini:

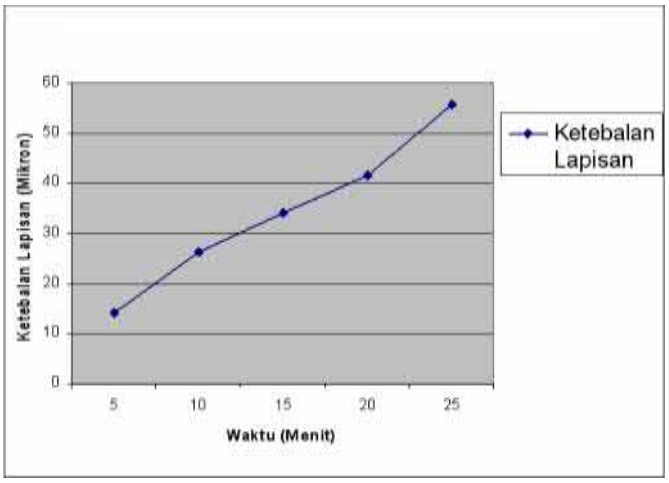
$$I = \frac{V.A}{p.I} \quad \text{..... (2.4)}$$

Dimana:
I = Banyaknya arus (Ampere)
V = Tegangan (Volt)
A = Luas permukaan (cm^2)
P = Tahanan jenis (ohm.m)

Berdasarkan rumus diatas maka kuat arus berbanding lurus dengan luas permukaan benda kerja yang akan dilapisi dengan sendirinya pertambahan luas permukaan benda kerja akan diikuti oleh penambahan rapat arus.

Suarsana, (2008) telah melakukan penelitian tentang “Pengaruh waktu pelapisan nikel pada tembaga dalam pelapisan krom dekoratif terhadap tingkat kecerahan dan ketebalan lapisan”. Penelitian ini mengkaji bagaimana pengaruh waktu pelapisan pada hasil pelapisan nikel dalam pelapisan krom pada tembaga terhadap tingkat kecerahan dan ketebalan lapisan. Tegangan yang digunakan pada setiap

spesimen adalah 5 volt dan variasi lama waktu pelapisan 5, 10, 15, 20 dan 25 menit. Dengan waktu pelapisan nikel 5 menit hingga 25 menit diperoleh ketebalan lapisan yang meningkat yaitu pada waktu pelapisan nikel 5 menit (14,1µm) hingga pada waktu pelapisan nikel 25 menit (55,77µm). Sehingga ketebalan lapisan merupakan fungsi dari waktu pelapisan. Disimpulkan bahwa pada ketebalan lapisan dalam proses elektroplating semakin lama waktu pelapisan semakin meningkat nilai ketebalan lapisan, ketebalan lapisan merupakan fungsi dari waktu pelapisan. Sehingga dari kedua pembahasan tersebut yaitu tingkat kecerahan lapisan dan ketebalan lapisan dapat diketahui bahwa tingkat kecerahan dan ketebalan lapisan merupakan fungsi dari waktu pelapisan.



Gambar 2.10 Grafik hubungan waktu pelapisan nikel dengan ketebalan lapisan. (Suarsana, 2008:59)

b. Rapat Arus

Rapat arus sangat berpengaruh terhadap ketebalan benda yang di*plating*. Berdasarkan hukum faraday, banyaknya endapan sebanding dengan kuat arus. Akan tetapi dalam praktek, besaran yang diperlukan

untuk plating adalah rapat arus yaitu arus per satuan luas, biasanya dinyatakan dalam ampere/dm^2 (A/dm^2) atau ampere/ft^2 (A/ft^2). “Rapat arus adalah bilangan yang menyatakan jumlah arus listrik yang mengalir per luas unit elektroda ” (Saleh, 2014:15). Rapat arus antara anoda dan katoda besarnya berbeda dan rapat arus katoda merupakan besaran yang perlu diperhatikan agar kualitas endapan pada katoda berkualitas baik dan tidak sampai terbakar. Semakin besar rapat arus maka laju plating makin cepat dan waktu yang diperlukan untuk memperoleh endapan dengan ketebalan tertentu akan makin singkat.

c. Konsentrasi Larutan

Seperti yang disebutkan sebelumnya, larutan elektrolit terdiri dari senyawa logam yang akan melapisi katoda dalam bentuk garam terlarut serta asam atau basa yang berfungsi untuk meningkatkan konduktivitas daya listrik. Pada umumnya, konsentrasi logam yang terlalu tinggi akan menghasilkan permukaan lapisan yang tidak rata serta menurunkan kekilapan lapisan permukaan tersebut. Sementara jika kadar logam terlalu rendah maka akan menyebabkan proses berjalan lambat.

d. Suhu

Suhu sangat penting untuk menyeleksi cocoknya jalannya reaksi dan melindungi pelapisan. Keseimbangan suhu ditentukan oleh beberapa

faktor seperti ketahanan, jarak anoda dan katoda, serta ampere yang digunakan (Suarsana, 2008:49).

Penelitian sebelumnya "Pengaruh variasi temperatur elektroplating terhadap ketebalan lapisan nikel baja ST 37" hasil penelitian menunjukan bahwa suhu pelapisan berpengaruh terhadap ketebalan lapisan nikel secara elektroplating. Pada benda berukuran 50x20 mm dengan temperature 60°C dan rata-rata massa awal 20,24 gram diperoleh ketebalan dengan rata-rata massa sebesar 0,02 gram dan memiliki rata-rata massa akhir 20,26 gram. Demikian pula benda berukuran 60x20 mm dengan temperatur 70°C dan rata-rata massa awal 24,06 gram diperoleh ketebalan dengan rata-rata massa yang sama sebesar 0,02 mm gram dan memiliki rata-rata massa akhir 24,08 gram. Sementara itu benda berukuran 50x20 mm dengan suhu 80°C dan rata-rata massa awal 21,37 gram diperoleh ketebalan dengan rata-rata massa 0,04 gram dan memiliki rata-rata massa akhir 21,41 gram.

Gambar 2.11 Grafik hubungan antara temperatur dan ketebalan lapisan nikel terhadap massa yang diendapkan.
(Pamungkas.et al, 2018:2)

Berdasarkan data yang diperoleh dapat dilihat bahwa perbedaan suhu disaat pencelupan dapat mempengaruhi hasil dari ketebalan lapisan nikel, dimana

semakin tinggi suhu pencelupan maka semakin tebal lapisan tersebut. Bentuk dan ukuran benda kerja juga dapat mempengaruhi hasil ketebalan lapisan. Pada poin nomor 3 tersebut membuktikan bahwa lapisan nikel dengan suhu 80°C untuk benda kerja berukuran 50x20 mm memiliki nilai ketebalan yang lebih besar yaitu 0,04 gram disbanding poin pertama dan kedua dengan suhu masing-masing 60°C dan 70°C dan hanya mendapatkan ketebalan 0,02 gram.

e. Waktu Pelapisan

Proses pelapisan teknik elektroplating "waktu pelapisan akan mempengaruhi terhadap kuantitas dari hasil pelapisan yang terjadi dipermukaan produk yang dilapis" (Sugiyarta. et al, 2012:25). Deposit logam semakin bertambahnya waktu akan semakin banyak yang menempel pada katoda. Berdasarkan pada hukum Faraday yang disampaikan oleh Yerikho. et al, (2013:63) menyajikan dalam rumus (2.5).

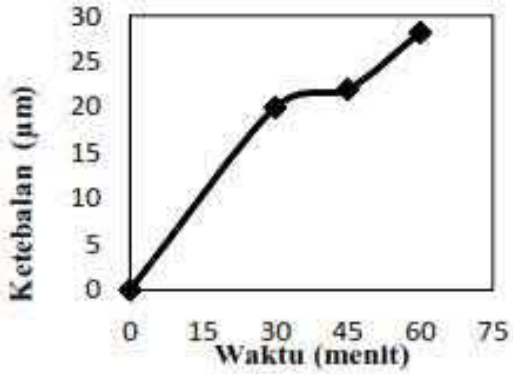
$$B = \frac{I.t.e}{F} \quad \text{.....(2.5)}$$

Keterangan:
B = Berat zat yang terbentuk (gr).
I = Jumlah arus yang mengalir (A).
t = Waktu (detik).
e = Berat ekivalen zat yang dibebaskan (berat atom suatu unsur dibagi valensi unsur tersebut).
F = Jumlah arus yang diperlukan untuk membebaskan sejumlah gram ekivalen suatu zat (1 F = 96.500 Coulumb).

Rumus (2.5) menjelaskan jika nilai t (waktu) semakin tinggi maka nilai B (berat lapisan) juga semakin tinggi. Begitu juga sebaliknya, jika nilai t

semakin kecil maka nilai B juga semakin kecil. Berat lapisan (gr) berarti tebal lapisannya (mm) juga berpengaruh. Semakin tebal lapisan yang terbentuk, semakin berat pula spesimen hasil lapisannya.

Niam. et al, (2017) telah melakukan penelitian tentang "Pengaruh waktu pelapisan elektro nikel-khrom dekoratif terhadap ketebalan, kekerasan dan kekasaran lapisan". Penelitian ini mengkaji bagaimana pengaruh waktu pada hasil pelapisan krom terhadap ketebalan, kekerasan dan kekasaran permukaan lapisan krom. Variasi yang dipakai yaitu variasi lama waktu pencelupan 30, 45 dan 60 menit. Disimpulkan bahwa semakin lama waktu pencelupan semakin meningkat nilai ketebalan lapisan, nilai kekerasan dan nilai kekasaran permukaan alumunium. Nilai maksimum ketebalan lapisan krom 28.14 µm, nilai maksimum kekerasan 176.2 VHN dan nilai maksimum kekasaran permukaan lapisan krom adalah 0.25 µm pada variasi waktu pencelupan 60 menit.



Gambar 2.12 Grafik hubungan ketebalan lapisan nikel terhadap lama waktu.
(Niam. et al, 2017:9)

f. Jarak Anoda Katoda

Jarak anoda katoda berpengaruh terhadap kualitas hasil lapisan pada proses elektroplating.

Pada penelitian sebelumnya "Analisa pengaruh jarak katoda dan anoda dalam proses elektroplating aluminium terhadap ketebalan lapisan" menunjukkan bahwa dari hasil pemotretan dengan perbesaran 50 kali dan pengujian ketebalan lapisan ada pengaruhnya jarak antara katoda 10 cm, 15 cm dan 20 cm. Hasil pemotretan dengan perbesaran 50 kali menujukkan pada jarak katoda dan anoda 15 cm memberikan hasil yang lebih baik. Ketebalan maksimum diperoleh pada jarak katoda dan anoda 15 cm (Andayani. et al, 2016:151).

Gambar 2.13 Kurva pengaruh jarak anoda katoda terhadap ketebalan lapisan. (Andayani. et al, 2016:151)

2.2.4 Proses Elektroplating

Proses elektroplating biasanya logam yang digunakan seperti tembaga, nikel, seng, perak, dan kromium. Penggunaan logam pelapis tembaga umumnya untuk lapisan dasar yang dilanjut dengan lapisan nikel dilakukan pelapisan nikel

bertujuan untuk lapisan *undercoating* atau meningkatkan kekerasan permukaan *material*, logam pelapis seng digunakan untuk pencegahan korosi pada *material* tersebut tetapi biasanya seng diterapkan pada proses *hot dip galvanising*, pelapisan perak biasanya untuk pelapis perhiasan karena sifat perak yang indah cemerlang, logam pelapis kromium bersifat kaku dan keras.

Langkah-Langkah proses elektroplating adalah sebagai berikut :

a. Pembersihan minyak dan kerak pada benda kerja. Benda-benda kerja yang akan dilapisi kebanyakan masih kotor, berkerak, berminyak maupun bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan, pembersihan sangat diperlukan agar lapisan *plating* dapat melekat erat. Pembersihan dapat menggunakan bensin dan larutan deterjen.
b. Pengasahan (*polishing).* Proses *polishing* dilakukan agar permukaan benda kerja halus, permukaan benda kerja dihilangkan dalam beberapa tahap dengan mengunakan *abrasive* dalam berbagai ukuran dari kasar, sedang kemudian yang paling halus.
c. Pembersihan Alkali. Pembersihan Alkali dilakukan untuk menghilangkan residu minyak dan lemak pada permukaan benda kerja. Pembersihan alkali dikenal sebagai *metal cleaner* pada umumnya terdiri dari sejumlah Alkali, sabun, maupun bahan-bahan kimia lain.
d. Pencucian dengan air. Setelah tahap pembersihan Alkali, Dilakukan pembilasan menggunakan air agar supaya sisa-sisa dari sabun hilang.

e. Pencelupan asam. Langkah ini bertujuan untuk menghilangkan lapisan tipis oksida atau senyawa-senyawa lain. Sisa Alkali yang menempel pada permukaan benda kerja dapat dihilangkan dengan mencelupkan dalam larutan asam. Bahan pencelup yang dipakai umumnya adalah larutan asam kuat yaitu asam klorida (HCl) atau asam sulfat (H_2SO_4).
f. Pencucian dengan air. Langkah ini bertujuan untuk menghilangkan sisa-sisa larutan asam yang masih menempel dipermukaan benda kerja sebelum masuk proses elektroplating.
g. Proses pelapisan logam yang menggunakan arus searah *(direct current/DC)* melalui metode elektrolisis. Proses elektroplating pada bak larutan nikel menggunakan tegangan 5 volt, variasi jarak anoda-katoda 10 cm, 15 cm dan 20 cm dengan variasi waktu pelapisan 15 menit, 20 menit dan 25 menit.

Benda kerja yang telah dilakukan proses pelapisan (elektroplating), biasanya dibilas dengan air dan kemudian dikeringkan, dari fungsi air perlu diketahui tentang kualitas air yang dibutuhkan sebagai contoh air ledeng dipakai untuk proses pembilasan dan pendinginan sedangkan air bebas mineral (*aquadest*) khusus dipakai untuk pembuatan larutan, analisa dan untuk penambahan larutan (Raharjo, 2010:19).

2.2.5 Logam Lapis Nikel

Dhundasi. et al, (2008:412) menyatakan bahwa *"Nickel is a silvery white metal that takes on a high polish. It is a transition metal, hard and ductile. Nickel is one of the five ferromagnetic elements. Nickel is also a naturally magnetostrictive material, meaning that in the presence of a magnetic field, the material undergoes a small change in length. Nickel is used in a wide variety of metallurgical processes such as electroplating and alloy production as well as in nickel-cadmium batteries"*. Nikel adalah logam putih keperakan yang memoles tinggi. Ini adalah logam transisi, keras dan ulet. Nikel adalah salah satu dari lima unsur feromagnetik. Nikel juga merupakan bahan magnetostrictive alami, yang berarti bahwa dengan adanya medan magnet, material mengalami perubahan kecil dalam panjangnya. Nikel digunakan dalam berbagai proses metalurgi seperti elektroplating dan produksi paduan serta baterai nikel-kadmium.

Nikel merupakan logam pelapis yang digunakan secara luas dalam industri *plating*, baik untuk aplikasi dekoratif maupun protektif. Kemampuan pelapis nikel dengan kekerasan sedang dan kecermelangan tinggi menjadikannya sebagai pilihan terbaik untuk pelapisan dasar setelah tembaga (Purwanto dan Huda, 2005:73). Nikel merupakan unsur ke-24 terbanyak dalam batuan bumi. Biasanya nikel terdapat bersama besi dan kobalt. Pada saat ini, pelapisan nikel pada besi banyak sekali dilaksanakan baik untuk tujuan pencegahan karat ataupun untuk menambah keindahan. Dengan hasil lapisannya yang mengkilap maka dari segi

ini nikel adalah paling banyak diinginkan untuk melapis permukaan. Dalam keadaan murni, nikel bersifat lembek, tetapi jika dipadukan dengan besi, krom, dan logam lainnya, dapat membentuk baja tahan karat yang keras. Nikel juga memiliki kekerasan dan kekuatan yang sedang, keuletannya baik, daya hantar listrik dan termal juga baik. Pada proses plating, kebanyakan nikel sebagai anodanya, tetap perlu terus ditambahkan garam ke bak plating. Garam-garam yang digunakan untuk plating misalnya nikel karbonat, nikel khlorida, nikel fluoborat, nikel sulfamat, dan nikel sulfat (Sugiyarta. et al, 2012:24).

Menurut Saleh, (2014:95) komposisi dan kondisi operasi larutan *nickle strike* dan *watt's* dapat dijelaskan sebagai berikut :

Tabel 2.1 Komposisi dan Kondisi Operasi larutan *nickle strike* dan *watt's* (Saleh, 2014:96)

Bahan dan Kondisi Operasi	**Konsentrasi Larutan (g/L)**				
	Dull Nickle	**Watt's Bath**	**All Sulfat**	**Sulfat Chlorida**	**All Chlorida**
Bahan :					
Nikel Sulfat ($NiSO_4$)	150	220-380	300	195	-
Ammonium Chlorid (NH_4Cl)	15	-	-	-	-
Nickle Chlorid (NICl)	-	30-60	-	175	240
Boric Acid (H_3BO_3)	15	30-45	40	40	30
Kondisi Operasi :					
Temperatur ^oC	20-30	45-65	45	45-50	55-70
Rapat Arus (A/dm^2)	0,5-6,2	2,5-10	2,5-11	2,5-12,5	2-12
pH	5,8-6,2	2-5,2	3-5	1,5	2
Anoda : Katoda	2:1	1:1	-	-	-

2.2.6 Baja Karbon

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon, karena itu baja ini dikelompokan bedasarkan kadar karbonnya. Baja karbon rendah adalah baja dengan kadar karbon kurang dari 0,30%, baja karbon sedang mengandung 0,30% sampai 0,45% karbon dan baja karbon tinggi berisi karbon antara 0,45% sampai 1,70% (Wiryosumarto, H., 2000 : 89-90). Klasifikasi baja karbon dapat dilihat dalam tabel 2.2.

Tabel 2.2 Klasifikasi Baja Karbon
(Wiryosumarto, H, 2000:89-90)

Jenis dan kelas		Kadar karbon rendah (%)	Kekuatan luluh (Kg/mm^2)	Kekuatan Tarik (Kg/mm^2)	Perpanjangan (%)	Kekerasan brinell	Penggunaan
Baja karbon rendah	Baja lunak khusus	0,08	18-28	32-36	40-30	95-100	Pelat tipis
	Baja sangat lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	40-30	80-120	Batang, kawat
	Baja lunak	0,12-0,20	22-30	38-48	38-48	100-130	Konstruksi umum
Baja karbon sedang	Baja setengah lunak	0,20-0,30	24-36	44-55	44-55	112-145	
	Baja setengah keras	0,30-0,40	30-40	50-60	50-60	140-170	Alat-alat mesin
Baja karbon tinggi	Baja keras	0,40-0,50	34-46	58-70	58-70	160-200	Perkakas
	Baja sangat keras	0,50-0,80	36-47	65-100	65-100	180-235	Rel, pegas, dan kawat piano

2.2.7 Baja Tahan Karat

Menurut Wiryosumarto dan Okumura, (2000:109) baja tahan karat termasuk dalam baja paduan tinggi yang tahan terhadap korosi, temperatur tinggi

dan temperatur rendah. Baja jenis ini mempunyai ketangguhan dan sifat mampu potong yang cukup. Karena sifatnya baja jenis ini banyak digunakan dalam reaktor atom, turbin, mesin jet, pesawat terbang, alat rumah tangga, dan lain - lainya.

a. Baja tahan karat jenis austenite

Kelompok ini terdiri dari baja *chrome-nickel* (seri 3xx) dan baja chrom-nickel mangan (seri 2xx). Jumlah kadar chrom dan nickel tidak kurang dari 23%. Berstruktur austenitik, non magnetik, *non hardenable*. Mudah dihot-work, tetapi agak sulit dicold-work karena dapat mengalami work-hardening cukup hebat. Baja jenis austenit lebih baik di banding dengan kedua jenis baja lainnya, Tetapi baja jenis ini pada pendinginan lambat dari 680-480 ^{o}C akan terbentuk karbid khrom yang mengendap di antara butir yang menyebabkan penurunan sifat tahan karat dan sifat mekaniknya. Maka dari itu dilakukan penelitian ini untuk meningkatkan sifat tahan karat dan sifat mekaniknya melalui pelapisan elektroplating nikel. Salah satu jenis baja tahan karat austenitik adalah AISI 304 yang digunakan untuk penelitian ini.

1. Baja AISI 304

Baja paduan AISI 304 merupakan jenis baja tahan karat *austenitic stainless steel* yang memiliki komposisi 0.042%C, 1.19%Mn, 0.034%P, 0.006%S, 0.049%Si, 18.24%Cr, 8.15%Ni, dan sisanya Fe. Beberapa sifat mekanik yang dimiliki baja karbon tipe 304 ini antara lain: kekuatan tarik

646 Mpa, y*ield strength* 270 Mpa, e*longation* 50%, kekerasan 82 HRB. Komposisi kimia, kekuatan mekanik, kemampuan las dan ketahanan korosinya sangat baik dengan harga yang relatif terjangkau. Penggunaannya antara lain untuk: tanki dan *container* untuk berbagai macam cairan dan padatan, peralatan pertambangan, kimia, makanan, dan industri farmasi (Sumarji, 2011:2). Adapun komposisi baja AISI 340 dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.3 Komposisi Kimia Baja AISI 304
(Aini, 2016:56)

Komponen	Presentase (%)
Karbon	0,08
Mangan	Max 2
Fosfor	Max 0,045
Sulfur	Max 0,03
Silikon	Max 1
Kromium	17,5
Nikel	8-10,5
Besi	66.345 – 74

Baja AISI 304 ini memiliki sifat mekanik, mampu las, dan proses permesinan yang baik membuat golongan austenit terutama AISI 304 menjadi *material* baja tahan karat yang banyak digunakan dalam dunia industri (Susanto et al, 2012:3). Selain udara yang terpolusi, faktor lain yang juga mempengaruhi ketahanan *material* adalah pengaplikasinya dimana *material* tersebut berada di lingkungan yang sering mengalami korosif, goresan dan pengikisan sehingga lama-kelamaan bisa mengurangi umur pakai. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu perlakuan permukaan agar

diperoleh peningkatan kekerasan dan ketahanan korosif yang lebih baik lagi pada baja AISI 304, salah satu caranya yaitu dengan elektroplating menggunakan pelapis nikel.

Kajian teori di atas, dapat memberi informasi kepada peneliti mengenai komposisi kimia secara umum, masalah-masalah bahan tersebut ketika dalam pengaplikasinya di lingkungan yang sering mengalami goresan, pengikisan, retak fatik dan lingkungan yang korosif sehingga dapat mengurangi umur pemakaian. Kajian teori di atas juga memberikan solusi untuk mengatasi permasalahan pada AISI 304 yaitu dengan dilakukan proses elektroplating menggunakan pelapis nikel diharapkan setelah dilakukan proses elektroplating nikel, kekerasan dan ketahanan korosi pada baja AISI 304 dapat meningkat.

2.2.8 Ketebalan Lapisan

Ketebalan hasil elektroplating dapat dipengaruhi oleh waktu pelapisan dan besarnya arus yang digunakan pada saat proses elektroplating (Saleh, 2014:19). Secara matematis perhitungan ketebalan lapisan dirumuskan sebagai berikut :

$$\mathrm{H} = \frac{T \text{ x } 1000 \text{ x } F}{\mathrm{C}} \quad \text{.....(2.6)}$$

(Saleh, 2014:18).

Dimana :

H = Waktu Pelapisan (Jam)

T = Tebal Lapisan (in)

F = Faktor

C= Rapat Arus (A/in^2).

Standar spesifikasi lapisan nikel hasil elektroplating menurut wahyudi, (2014) kode QQ-N-290 dekoratif, proteksi terhadap korosi dan *engineering* :

Tabel 2.4 Klasifikasi Lapisan
(Wahyudi, 2014:29)

Grade	Ketebalan (µm)	Bentuk lapisan nikel pada :	
		Baja, seng, paduan seng	Tembaga dan paduannya
A	41	SD, M	
B	30	SD, M	SB, M
C	25	M	SB, SD, M
D	20	SB, SD, M	SD, M
E	15	SB, SD, M	SB, SD, M
F	10	SB, SD, M	SB, SD, M
G	5,1		SB, SD, M

Keterangan :

SB : Single layer, bright coating
SD : Single layer, dull or semi-brigth coating
M : Multilayer coating
Class 2: engineering.
Ketebalan lapisan nikel, min. 76,2 µm

Berikut ini hasil perhitungan perkiraan waktu pelapisan dan tebal lapisan :

Tabel 2.5 Hasil perhitungan ketebalan lapisan waktu pelapisan 60 menit
(Saleh, 2014:18)

Bahan/Larutan	**Efisiensi Katoda**	**Faktor (F)**	**Rapat Arus A/in^2**	**Tebal lapisan (*T*) (in)**
Kuningan	50	0,027	0,035	0,0012
Cadmium	96	0,070	0,180	0,0025
Kromium	14	2,570	2,500	0,0009
Tembaga Asam	98	0,126	0,210	0,0016
Tembaga Sianida	70	0,088	0,210	0,0023
Emas Sianida	95	0,045	0,040	0,0008
Iridium	65	0,128	0,140	0,0011
Lead (Timah Hitam)	98	0,049	0,100	0,0020
Nikcel	95	0,199	0,250	0,0012
Rhodium	80	0,199	0,100	0,0005
Silver (Perak)	99	0,043	0,180	0,0041
Timah Putih (Tin)	70	0,077	0,140	0,0018
Zinc (Zn)	98	0,101	0,210	0,0021

Tabel 2.5 diatas merupakan hasil perhitungan perkiraan tebal lapisan dengan menggunakan lama waktu pelapisan sebesar 60 menit atau 1 jam. Dalam tabel tersebut diketahui untuk larutan *nickel* didapatkan nilai ketebalan lapisan sebesar 0,0012 in.

2.2.9 Uji Kekerasan *Vickers*

Pengujian kekerasan merupakan pengujian yang digunakan pada benda uji yang akan menunjukkan tingkat kekerasan dari benda uji. Pengujian *vickers* tidak jauh berbeda dengan pengujian *brinell* yang menggunakan indentor yang terbuat dari intan yang berbentuk piramida dengan alas berbentuk bujur sangkar dan memiliki besar sudut identor 172^0 30^0 dan 130^0 (ASM Internasional Volume 8, 2000). Pengujian kekerasan *vickers* menggunakan beban 300 gram dan menggunakan indentor yang memiliki sudut 136^0 dilakukan dengan acuan standar ASTM E-92-82. Perhitungan kekerasan Vickers dapat dilihat di bawah ini :

$$V_{HN} = \frac{2.P.\sin(\theta/2)}{d^2}\left(\frac{kg}{mm^2}\right) \quad \text{.....(2.7)}$$

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad \text{.....(2.8)}$$

Sehingga dapat diperoleh rumus :

$$V_{HN} = \frac{1,854\ P}{d^2}\left(\frac{kg}{mm^2}\right) \quad \text{.....(2.9)}$$

Keterangan : P = beban Indentasi (kg)

d = diagonal rata-rata bekas injakan (mm)

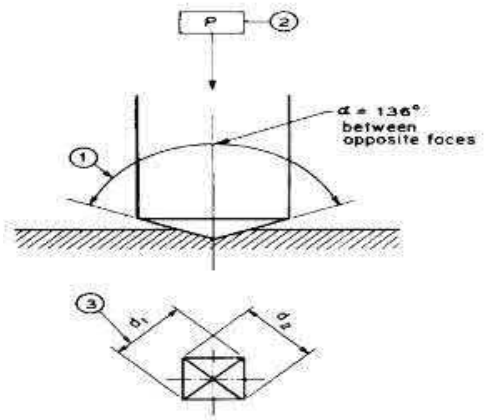
ɵ = sudut puncak 136^0

Pembuktian untuk mengenai atau tidaknya indentor pada *raw material* bisa dilakukan dengan mencari kedalaman penekanan indentor dan juga ketebalan lapisan. Jika nilai ketebalan lapisan lebih besar dibanding nilai penekanan indentor, maka indentor tidak mengenai *raw material*. Begitu juga jika nilai penekanan indentor lebih besar daripada nilai ketebalan lapisan, maka indentor mengenai *raw material*. Menghitung kedalaman indentor uji kekerasan Vickers menggunakan rumus yang sama untuk mengetahui tinggi limas, yaitu:

$T = 2\ (d \times \sin 45^o) \times \tan 68^o$ ..... (2.10)

$\tan 22° \ x \sqrt{\frac{d1xd2}{8}}$ ..... (2.11)

Rumus tersebut diperoleh dengan cara menghitung tinggi indentor yang berbentuk piramida. Gambar 2.14 menunjukkan bentuk dari pada indentor uji.



Gambar 2.14 Metode Pengujian Kekerasan Mikro *Vickers* (ASTM E-92-82)

Standar yang umum digunakan untuk pengujian vickers yaitu ASTM E92, dapat dilihat standar lainnya dapat dilihat pada Tabel 2.6 :

Tabel 2.6 Tabel Standar-Standar Pengujian Kekerasan Vickers (ASM Internasional, 2000:460)

Standar Nomor	Judul
ASTM E 92	*Standard Test Method for Vikers Hardness of Metallic Materials*
BS EN ISO 6507-1	*Metallic Materials-Vikers Hardness Test-Part 1: Test Method*
BS EN ISO 6507-2	*Metallic Materials-Vikers Hardness Test-Part 2: Verification of Testing Machines*
BS EN ISO 6507-3	*Metallic Materials-Vikers Hardness Test-Part 3: Calibration of Reference Blocks*
EN 23878	*Hardmetals- Vikers Hardness Test*
JIS B 7725	*Vikers Hardness-Verification of Testing Machines*
JIS B 7735	*Vikers Hardness-Calibration of Reference Blocks*
JIS Z 2244	*Vikers Hardness-Test Method*
JIS Z 2252	*Test Method for Vikers Hardness at Elevated Temperatures*

Standar yang digunakan sesuai dengan kebutuhan jenis bahan pengujian dan paling umum digunakan pengujian *vickers* yaitu standar ASTM E92.

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil data elektroplating yang diperoleh mengenai pengaruh jarak anoda katoda dan lama waktu pelapisan proses elektroplating nikel terhadap kekerasan dan ketebalan lapisan pada material baja AISI 304 pada variasi jarak anoda katoda 10 cm, 15 cm, 20 cm dan waktu 15 menit, 20 menit, 25 menit dapat diambil simpulan sebagai berikut :

1. Variasi jarak anoda katoda dan waktu pelapisan pada proses elektroplating berpengaruh terhadap nilai kekerasan. Semakin dekat jarak anoda katoda dan semakin lama waktu pelapisan, maka semakin cepat pendistribusian ion-ion dan banyak ion-ion nikel menempel pada permukaan spesimen, sehingga lapisan nikel lebih padat yang menyebabkan kerapatan permukaan pada spesimen dan meningkatkan nilai kekerasan. Hal ini dibuktikan dengan nilai kekerasan pada pelapisan dengan jarak 10 cm dan waktu 25 menit dengan nilai kekerasan permukaan spesimen paling tinggi yaitu sebesar 316.33 kg/mm^2 meningkat 18,3 % dari nilai kekerasan *raw material*.
2. Variasi jarak dan waktu pelapisan pada proses elektroplating nikel berpengaruh terhadap ketebalan lapisan. Semakin dekat jarak anoda katoda dan semakin lama waktu pelapisan, maka permukaan lapisan semakin tebal. Ini dikarenakan semakin dekat jarak dan semakin lama waktu pelapisan maka akan semakin banyak deposit yang menempel pada

permukaan *material*. Ketebalan tertinggi terjadi pada pelapisan dengan jarak 10 cm dan waktu 25 menit yaitu 832.7 µm.

3. Diketahui variasi jarak anoda katoda yang dapat menghasilkan ketebalan dan kekerasan yang maksimal pada spesimen hasil uji elektroplating nikel.

5.2 Saran

1. Pada penelitian elektroplating selanjutnya gunakan penambahan variabel selain jarak anoda katoda dan waktu seperti arus, tegangan, konsentrasi larutan, temperatur dan lain-lain guna mengetahui hasil yang lebih berbeda-beda lagi dalam proses pelapisan elektroplating.
2. Penelitian selanjutnya penggunaan larutan berulang-ulang tidak disarankan lebih baik gunakan larutan per spesimen elektroplting.
3. Perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut untuk memperoleh laju korosi hasil lapisan atau penambahan uji korosi (*salt spray*).
4. Guna menghasilkan hasil lapisan yang merata, bisa dilakukan pengadukan atau pemberian pompa selama proses elektroplating berlangsung.
5. Pada pengujian kekerasan lapisan elektroplating, sebaiknya menggunakan uji knoop.

5.3 Keterbatasan Penelitian

Keterbatasan dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini menggunakan metode uji Vickers untuk mengukur kekerasan lapisan elektroplating nikel. Alat uji kekerasan lapisan elektroplating jika mengacu pada ASTM B578-87 harusnya memakai *Knoop Indenter* atau uji kekerasan Knoop.

2. Pengujian menggunakan uji mikro Vickers di khawatirkan indentor mengenai raw material sehingga data yang di dapat tidak maksimal.
3. Pengujian menggunakan *thickness tester* di lakukan pengujian 3 titik di setiap permukaan spesimen. Pada titik pertama dilakukan pada bidang yang optimal sedangkan pada titik selanjutnya bisa saja tidak pada titik yang optimal sehingga hasil yang di dapatkan akan mempengaruhi rata-rata yang didapatkan.
4. Proses elektroplating nikel menggunakan *(hitter)* untuk memanaskan larutan sampai temperatur sesuai variabel kontrol namun menyebabkan temperatur tidak stabil.
5. Tidak dilakukannya pengadukan pada saat elektroplating sehingga sirkulasi larutan tidak optimal.
6. Larutan yang digunakan adalah larutan nikel watt's/larutan dasar.
7. Penggunaan larutan yang berulang-ulang sebanyak spesimen uji.
8. Pengukuran jarak anoda katoda menggunakan penggaris.

DAFTAR PUSTAKA

Abid Fahreza A. 2016. Pengaruh Jarak Anoda-Katoda dan Durasi Pelapisan terhadap Laju Korosi pada Hasil *Electroplating Hard Chrome*. *Jurnal Teknologi Rekayasa Politeknik Sukabumi*. Vol 1 : 1- 6.

Ady, Yoga Setiawan dan Sulistyo. 2017. Pelapisan stainless steel AISI 304 menggunakan nikel (Ni) melalui proses elektroplating. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Diponegoro*. Vol 5 : 16 – 24.

Andayani, Ratih D et al. 2016. Analisa Pengaruh Jarak Katoda dan Anoda Dalam Proses Elektroplating Aluminium Terhadap Ketebalan Lapisan. *Jurnal Teknika Universitas IBA Palembang*. Vol 3 : 142 – 152.

ASM Handbook. 2000. Mechanical Testing And Evaluation. *ASM International*. Vol 8 : 1 – 2235.

Budiyanto, Eko et al. 2016. Pengaruh Jarak Anoda-Katoda pada Proses Elektroplating Tembaga Terhadap Ketebalan Lapisan dan Efisiensi Katoda Baja AISI 1020. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Metro*. Vol 5 : 21 – 29.

Daud Topayung. 2011. Pengaruh Arus Listrik dan Waktu Proses Terhadap Ketebalan dan Massa Lapisan Yang Terbentuk Pada Proses Elektroplating Pelat Baja. *Jurnal Ilmiah Sains Politeknik Negeri Manado*. Vol 11 : 97 – 101.

Dhundasi et al. 2008. Nickel, its adverse health effects & oxidative stress. *Journal INDIAN J MES RES* 128 : 412-425.

Hartomo, Anton J dan Tomijiro Kaneko. 1992. *Mengenal Pelapisan Logam (Electroplating)*. Yogyakarta : Andi Offset.

I Ketut Suarsana. 2008. Pengaruh Waktu Pelapisan Nikel Pada Tembaga Dalam Pelapisan Khrom Dekoratif Terhadap Tingkat Kecerahan dan Ketebalan Lapisan. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM Universitas Udayana*. Vol 2 : 48 – 60.

Mirza Pramudia. 2012. Peningkatan Ketahanan Korosi Baja JIS S45C Hasil *Electroplating* Nikel pada Aplikasi Material *Cryogenic*. *Jurnal Foundry Universitas Trunojoyo Madura*. Vol 2 : 14 – 18.

Mohd Warikh Abd Rashid et al. 2012. Formation of $Cr_{23}C_6$ during the sensitization of AISI 304 Stainless Steel and its Effect to Pitting Corrosion. *International Journal of Electrochemical Science* 7 : 9465 – 9477.

Mulyaningsih, Nani et al. 2012. Pengaruh Waktu Elektroplating Nikel-Chrom Terhadap Kekerasan Baja Stainless Steel AISI 304. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi Periode III Yogyakarta*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. 360-366.

Mulyaningsih, Nani. 2017. Pengaruh cairan tubuh manusia terhadap korosi pada plat penyambung tulang. *Jurnal Wahana Ilmuwan Teknik Mesin Universitas Tidar Magelang*. Vol 3 : 153-160.

Niam et al. 2017. Pengaruh waktu pelapisan elektro nikel-khrom dekoratif terhadap ketebalan, kekerasan dan kekasaran lapisan. *Jurnal Momentum Wahid Hasyim Semarang*. Vol 13 : 7- 10.

Nur Aini. 2016. *Perilaku Korosi Baja AISI 1020 dan AISI 304 Dalam Berbagai Media Asam*. Teknik Material dan Metalurgi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Oluranti Sadiku-Agboola et al. 2012. The properties and the effect of operating parameters on nickel plating. *International Journal of the Physical Sciences* 7 : 349 – 360.

Pamungkas, Andhi Setyo et al. 2018. Pengaruh Variasi Temperatur Elektroplating Terhadap Ketebalan Lapisan Nikel Baja ST37. *Jurnal MER-C Universitas Tidar*. Vol 1 : 2.

Purwanto dan Syamsul Huda. 2005. *Teknologi Industri Elektroplating*. Semarang : Badan Penerbit Universitas Diponegoro.

Putra, Tri Yoga Arge dan Arya Mahendra. 2018. Analisa Variasi Jarak Anoda-Katoda dan Waktu Pelapisan Logam Nikel-Khrom Terhadap Proses Pengujian Tekan Material Ruji. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya*. Vol 6 : 115 – 120.

Rasyad, Abdul dan Budiarto. 2011. Pengaruh Waktu *Electroplating* dan Powdercoating NiCr Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro pada Baja Karbon SPCC-SD. *Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir IV.* Badan Tenaga Nuklir Nasional Yogyakarta. 424-434.

R. B Suryasa Majanasastra. 2013. Analisa Pengaruh Besar Tegangan Listrik Terhadap Ketebalan Pelapisan *Chrome* Pada Pelat Baja dengan Proses *Elecroplating*. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Universitas Islam 45 Bekasi*. Vol 1 : 36 – 44.

Saleh, Azhar A. 2014. *Teknik Pelapisan Logam dengan Cara Listrik*. Bandung : Yrama Widya.

Samsudi Raharjo. 2010. *Pengaruh Variasi Tegangan Listrik dan Waktu Proses Elektroplating Terhadap Ketebalan Serta Kekerasan Lapisan Pada Baja Karbon Rendah Dengan Krom*. Disertasi : Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro. Semarang.

Setyahandana, Budi dan Yohanes E C. 2017. Pengaruh *Hard Chrome Plating* Pada Peningkatan Kekerasan Baja Komponen Kincir. *Media Teknika Jurnal Teknologi Universitas Sanata Dharma*. Vol 12 : 26 – 35.

Sugiyarta et al. 2012. Pengaruh Konsentrasi Larutan dan Kuat Arus Terhadap Ketebalan Pada Proses Pelapisan Nikel untuk Baja Karbon Rendah. *Rotasi Jurnal Teknik Mesin Universitas Diponegoro*. Vol 14 : 23 – 27.

Sugiyono. 2010. *Metode Penelitian Pendidikan (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan R&D)*. Bandung : Alfabeta.

Sumarji. 2011. Studi Perbandingan Ketahanan Korosi Stainless Steel Tipe SS 304 dan SS 201 Menggunakan Metode U-Bend Test Secara Siklik Dengan Variasi Suhu dan PH. *Jurnal Teknik Mesin ROTOR Universitas Jember*. Vol 4 : 1 – 8.

Susanto, Herdi et al. 2012. Perilaku Lelah Baja Tahan Karat AISI 304 Dalam Lingkungan Korosif. *Jurnal Teknik Mesin Pascasarjana Universitas Syiah Kuala Aceh*. Vol 1 : 1 – 10.

Sutomo et al. 2010. Pengaruh Arus dan Waktu Pada Pelapisan Nikel Dengan Elektrroplating Untuk Bentuk Plat. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Diponegoro*. Vol 6 : 12 – 20.

Tarwijayanto, Danang et al. 2013. Pengaruh Arus dan Waktu Pelapisan Hard Chrome Terhadap Ketebalan Lapisan dan Tingkat Kekerasan Mikro Pada Plat Baja Karbon Rendah AISI 1026 Dengan Menggunakan Cro_3 250 gr/ltd an H_2SO_4 2,5 gr/lt Pada Proses Elektroplating. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret*. Vol 11 : 109 – 115.

Wahyudi, Soleh. 2006. *Buku Saku Elektroplating*. Cimahi : TECHNIC.

Wibowo, S Arif dan Erna Setianingrum. 2015. Pengaruh perlakuan shot peening dan *electroplating* Ni-Cr pada AISI 304 terhadap laju korosi dalam larutan *synthetic body fluid*. *Jurnal Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta*. 1 – 5.

Wiryosumarto, Harsono dan T Okumura. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta : Pradnya Paramita.

Yakub, Yunus dan Media N. 2013. Variasi Arus Listrik terhadap Sifat Mekanik Mikro Sambungan Las Baja Tahan Karat AISI 304. *E-Journal Widya Eksakta* Vol 1 : 7 - 11.

Yerikho et al. 2013. Optimalisasi Variasi Tegangan dan Waktu Terhadap Ketebalan dan Adhesivitas Lapisan Pada Plat Baja Karbon Rendah Dengan Proses *Electroplating* Menggunakan Pelapis Nikel. *Jurnal Teknik Mesin ROTASI Universitas Diponegoro*. Vol 14 : 23 – 27.