



TUGAS AKHIR TF141381

PENGARUH RAPAT ARUS DAN WAKTU PADA PROSES
ELECTROLITIC CADMIUM PLATING TERHADAP
LAPISAN CADMIUM SEBAGAI PELINDUNG KOROSI
BAJA AISI-4130

AMANDA SEPTIANA
NRP. 02311645000040

Dosen Pembimbing
Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T.
Ir. Agussalim

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TUGAS AKHIR TF141381

**PENGARUH RAPAT ARUS DAN WAKTU PADA PROSES
ELECTROLITYC CADMIUM PLATING TERHADAP
LAPISAN CADMIUM SEBAGAI PELINDUNG KOROSI
BAJA AISI-4130**

**AMANDA SEPTIANA
NRP. 02311645000040**

**Dosen Pembimbing
Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T.
Ir. Agussalim**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



FINAL PROJECT TF141381

THE EFFECT OF CURRENT DENSITY AND TIME VARIATION IN THE ELECTROLITYC CADMIUM PLATING PROCESS TOWARD CADMIUM COATING AS CORROSION PROTECTION FOR AISI 4130 STEEL

AMANDA SEPTIANA
NRP. 02311645000040

Supervisor
Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T.
Ir. Agussalim

ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Amanda Septiana
NRP : 02311645000040
Departemen/Prodi : Teknik Fisika/S1 Teknik Fisika Fakultas
: Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul **"Pengaruh Rapat Arus dan Waktu pada Proses *Electrolytic Cadmium Plating* terhadap Lapisan Cadmium sebagai Pelindung Korosi Baja AISI 4130"** adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, Juli 2018

Yang membuat pernyataan,



Amanda Septiana
NRP.02311645000040

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH RAPAT ARUS DAN WAKTU PADA
PROSES *ELECTROLYTIC CADMIUM PLATING*
TERHADAP LAPISAN CADMIUM SEBAGAI
PELINDUNG KOROSI AISI 4130

TUGAS AKHIR

Oleh :

Amanda Septiana
NRP. 02311645000040

Surabaya, Juli 2018
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I,



Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T.
NIP. 19740815-199703-2-001

Pembimbing II,



Ir. Agussalim
NIK. 950153



Kepala Departemen Teknik Fisika FTI-ITS

Agus Muhammad Hatta S.T., M.Si., Ph.D
NIP. 19780902 200312 1 002

LEMBAR PERSETUJUAN

**Pengaruh Rapat Arus dan Waktu pada Proses
Electrolytic Cadmium Plating terhadap Lapisan
Cadmium sebagai Pelindung Korosi Baja AISI 4130**

Tugas Akhir
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Rekayasa Bahan
Program Studi S-I Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh
Amanda Septiana
NRP. 02311645000040

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Lizda Johar Mawarani S.T., M.T.  (Pembimbing I)
2. Ir. Agussalim.....  (Pembimbing II)
3. Dyah Sawitri, S.T., M.T.....  (Ketua Penguji)
4. Ir.Zulkifli A., M.Sc.....  (Penguji II)

**SURABAYA
JULI, 2018**

**PENGARUH RAPAT ARUS DAN WAKTU PADA PROSES
ELECTROLYTIC CADMIUM PLATING TERHADAP
LAPISAN CADMIUM SEBAGAI PELINDUNG KOROSI
BAJA AISI 4130**

Nama Mahasiswa : Amanda Septiana
NRP : 02311645000040
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Lizda Johar Mawarani,S.T.,M.T.
Ir. Agussalim

Abstrak

Penelitian tugas akhir ini dilakukan untuk mengetahui proses yang tepat agar lapisan yang terbentuk dari proses *electrolytic cadmium plating* sesuai standar dan memiliki ketahanan korosi yang baik. Proses *electrolytic cadmium plating* dilakukan dengan variasi rapat arus sebesar 0,5; 2,5; 8 A/dm² dan waktu pelapisan yaitu 10; 20; 30 menit. Pengujian korosi dilakukan dengan memasukkan spesimen kedalam *salt spray chamber* selama 336 jam dan perhitungan laju korosi diperoleh dengan metode *lose weight*. Data yang dihasilkan menunjukkan bahwa semakin besar rapat arus dan waktu pelapisan maka semakin tebal lapisan yang terbentuk dengan penambahan ketebalan secara eksponensial. Nilai ketebalan tertinggi yakni 193,27 µm dengan persamaan eksponensial $y = 12,813e^{0,3527x}$ untuk spesimen dengan dimensi 100x25 mm² dan 85,39 µm dengan persamaan eksponensial $y = 6,3513e^{0,3349x}$ untuk spesimen dengan dimensi 150x100 mm² diperoleh saat rapat arus 8 A/dm² dan waktu pelapisan 30 menit, begitu pula pada nilai ketahanan korosi diperoleh laju korosi terkecil sebesar 0,00009 mpy. Nilai optimal didapatkan pada spesimen dengan rapat arus 2,5 A/dm² dan waktu pelapisan 20 menit.

Kata Kunci : korosi galvanik, electrolytic cadmium plating, rapat arus, waktu pelapisan

**THE EFFECT OF CURRENT DENSITY AND TIME
VARIATION IN THE ELECTROLYTIC CADMIUM
PLATING PROCESS TOWARD CADMIUM COATING AS
CORROSION PROTECTION FOR AISI 4130 STEEL**

Collage Student Name : Amanda Septiana
NRP : 02311645000040
Departement : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor : Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T.
Ir. Agusallim

Abstract

The aim of this research is finding out how the optimum conditions for the cadmium layer formed from the electrolytic cadmium plating process in accordance with the standards desired by the manufactur and has a good corrosion resistance. Electrolytic cadmium plating process by varying the current density of 0.5; 2.5; 8 A/dm² with coating time of 10; 20; 30 minutes. Procedure of corrosion resistance test is putting the sampel in the salt chamber spray for 336 hours and corrosion rate is calculated by weight lose methode. Based on this research, it can be concluded that the bigger the current density and the coating time, the thicker the cadmium layer is formed and it increased exponentially. The highest thickness value is formed at 8 A/dm² current density with 30 minutes coating time with thickness of 193,27 μm for specimens with dimensions 100x25 mm² with given function $y = 12,813e^{0,3527x}$ and 85,39 μm for specimens with dimensions 150x100 mm² with given function $y = 6,3513e^{0,3349x}$, in addition the lowest corrosion rate value is 0.00009 mpy. The optimal value is obtained on the specimen at a current density of 2.5 A/dm² with a time of 20 minutes.

Keywords: galvanic corrosion, electrolytic cadmium plating, current density, coating time

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa dipanjatkan kepada Allah SWT yang Maha Agung dan Maha Bijaksana, karena atas berkah, rahmat, petunjuk dan karunia-Nya, penulis mampu menyelesaikan dan menyusun Tugas Akhir yang berjudul :

”Pengaruh Rapat Arus dan Waktu pada Proses *Electrolytic Cadmium Plating* terhadap Lapisan Cadmium sebagai Pelindung Korosi Baja AISI 4130”

Penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Untuk itu diucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Fisika saat ini.
2. Kedua Orang tua, Bapak Wahyu Setyo Jatmiko dan Ibu Kartikowati serta adik Arshaka Danniswara yang telah memberikan dukungan moril dan spiritual.
3. Ibu Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T. dan Ir. Agussalim selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Kojali, Bapak Ahmad, Ibu Indah, Ibu Rina, Bapak Ajat, Bapak Asep Arifin, Bapak Azwar dan Bapak Agus yang telah membantu pelaksanaan tugas akhir di PT. Dirgantara Indonesia.
5. Bapak dan Ibu dosen serta karyawan Departemen Teknik Fisika FTI-ITS
6. Laboratorium SEM-EDS Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah membantu pengujian SEM.
7. Sahabat serta teman-teman yang telah memberikan dukungan selama pengerjaan Tugas Akhir.
8. Ima, Nadhira, Wira, Rani sebagai teman seperjuangan dalam menyelesaikan tugas akhir bidang rekayasa bahan.
9. Semua asisten Laboratorium Rekayasa Bahan Departemen Teknik Fisika FTI-ITS yang telah membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir.

Disadari bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, sangat diharapkan kritik dan saran dari semua pihak sehingga mampu lebih baik lagi. Penulis berharap semoga laporan ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembacanya.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
Abstrak	xi
<i>Abstract</i>	xiii
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Baja.....	5
2.2 Baja AISI 4130	6
2.3 Oksidasi.....	7
2.4 Korosi.....	10
2.5 Elektrokimia.....	14
2.6 Elektroplating	16
2.7 <i>Electrolytic Cadmium Plating</i>	19
2.8 Unsur-Unsur Pokok Proses <i>Electroplating</i>	22
2.9 Faktor yang Mempengaruhi <i>Cadmium Plating</i>	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Diagram Alir.....	29
3.2 Alat dan Bahan	31
3.3 Eksperimen.....	32
3.4 Pengujian Spesimen.....	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43
4.1 Hasil Pengujian Ketebalan.....	43

4.2 Hasil Pengujian Daya Lekat (<i>Adherence</i>).....	48
4.3 Hasil Pengujian <i>Appearance Test</i>	49
4.4 Hasil Pengujian Ketahanan terhadap Korosi	51
4.5 Hasil Pengujian Metalografi	54
4.6 Pengujian SEM	58
4.7 Interpretasi Data.....	61
BAB V KESIMPULAN	65

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A

LAMPIRAN B

LAMPIRAN C

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema terbentuknya lapisan oksida (a) oksida berpori (b) oksida tidak berpori.....	8
Gambar 2.2	Skema terbentuknya lapisan oksida (a) oksida berpori (b) oksida tidak berpori.....	10
Gambar 2.3	Skema mekanisme korosi pada logam.....	12
Gambar 2.4	Jenis-jenis bentuk korosi, (a) seragam (b) galvanik (c) batas butir (<i>crevice</i>) (d) <i>pitting</i> (e) <i>intergranular</i> (f) <i>dealloying</i>	12
Gambar 2.5	Skema pelaksanaan lapis listrik (<i>electroplating</i>) (Saleh, 1995).....	19
Gambar 3.1	Diagram alur penelitian (bersambung).....	29
Gambar 3.1	Diagram alur penelitian (sambungan).....	30
Gambar 3.2	Proses <i>cadmium plating</i>	35
Gambar 3.3	Dermitron D 3000 plus.....	37
Gambar 3.4	Skema pengujian dengan prinsip eddy current (Garcia-Martin, Gomez-Gil, Varquez Sanchez, 2011).....	37
Gambar 3.5	Steel rod beserta hasil goresan.....	38
Gambar 3.6	Spesimen untuk ketahanan uji korosi.....	39
Gambar 3.7	Blok diagram SEM (Sujatno, Salam, Bandriyana, & Dimiyati, 2015).....	41
Gambar 4.1	Pengaruh rapat arus terhadap ketebalan saat diberi pada sampel (100x25) mm ²	44
Gambar 4.2	Pengaruh rapat arus terhadap ketebalan saat diberi pada sampel (100x25) mm ²	45
Gambar 4.3	Pengaruh waktu terhadap ketebalan pada sampel (100x25) mm ²	45
Gambar 4.4	Pengaruh waktu terhadap ketebalan pada sampel (150x100) mm ²	46
Gambar 4.5	Sampel setelah <i>adherence test</i> tanpa pengujian korosi.....	47

Gambar 4.6	Sampel dengan waktu pelapisan 20 menit dan rapat arus 2,5 A/dm ²	49
Gambar 4.7	Tampilan spesimen setelah uji korosi dengan waktu pelapisan, (a) 10 menit (b) 20 menit (c) 30 menit.....	51
Gambar 4.8	Pengaruh rapat arus pelapisan terhadap laju korosi.....	53
Gambar 4.9	Pengaruh waktu pelapisan terhadap laju korosi.....	53
Gambar 4.10	Metalografi sampel dengan rapat arus 0,5 A/dm ² dan waktu pelapisan (a) 10 menit (b) 20 menit (c) 30 menit.....	55
Gambar 4.11	Metalografi sampel dengan rapat arus 2,5 A/dm ² dan waktu pelapisan (a) 10 menit (b) 20 menit (c) 30 menit.....	56
Gambar 4.12	Metalografi sampel dengan rapat arus 8 A/dm ² dan waktu pelapisan (a) 10 menit (b) 20 menit (c) 30 menit.....	57
Gambar 4.13	Hasil SEM dengan perbesaran 1.000x dari sampel dengan rapat arus saat proses pelapisan, (a) 0,5 A/dm ² (b) 2,5 A/dm ² (c) 8 A/dm ²	59
Gambar 4.14	Hasil SEM dengan perbesaran 20.000x dari sampel dengan rapat arus saat proses pelapisan, (a) 0,5 A/dm ² (b) 2,5 A/dm ² (c) 8 A/dm ²	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tabel Potensial Elektroda Standar (E_0 reduksi) Berbagai Unsur pada Suhu 25 °C.....	17
Tabel 2.2	Klasifikasi Ketebalan Lapisan Cadmium	22
Tabel 3.1	Daftar Spesimen Beserta Jenis Pengujiannya.....	33
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Ketebalan untuk Waktu Pelapisan 10 Menit.....	43
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Ketebalan untuk Waktu Pelapisan 20 Menit.....	43
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Ketebalan untuk Waktu Pelapisan 30 Menit.....	44
Tabel 4.4	Kondisi Lapisan Cadmium Setelah dilakukan <i>Adherence Test</i> dengan Pengamatan Secara <i>Visual Inspection</i>	49
Tabel 4.5	<i>Appearance Test</i> Pada Sampel.....	50
Tabel 4.6	Hasil <i>Visual Inspection</i> Sampel Setelah Uji Korosi.....	52
Tabel 4.7	Data Hasil Uji Korosi.....	52

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja adalah logam paduan dengan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% berat sesuai *grade*-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi bergeser pada sisi kristal (*crystal lattice*) atom besi. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah mangan (*manganese*), krom (*chromium*), vanadium, dan tungsten. Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*) (Davis, 1982).

Material baja banyak digunakan dalam bidang industri manufaktur khususnya dalam bidang pesawat terbang. Baja AISI 4130 merupakan baja yang digunakan pada bagian *fastener* pesawat terbang. Material ini merupakan baja paduan rendah yang mengandung kromium dengan kandungan karbon 0,30% (ASM Steel, 2010).

Material logam yang digunakan untuk pembuatan *fastener* pesawat terbang harus merupakan material yang tahan terhadap korosi. Korosi adalah suatu proses degradasi material dan penurunan kualitas suatu material akibat pengaruh reaksi kimia dan elektrokimia dengan keadaan lingkungannya (Jones, 1996). Korosi yang dapat terjadi pada *fastener* merupakan korosi jenis galvanik. Korosi galvanik merupakan korosi yang terjadi akibat dua buah logam atau logam paduan yang berbeda dalam suatu lingkungan yang sama dan saling berhubungan menghasilkan beda potensial. Prinsip korosi galvanik sama dengan prinsip elektrokimia yaitu terdapat elektroda (katoda dan anoda), elektrolit dan arus listrik

(Marcus, 1995). Logam yang berfungsi sebagai anoda adalah logam yang sebelum dihubungkan bersifat lebih aktif atau mempunyai potensial korosi lebih negatif. Pada anoda akan terjadi reaksi oksidasi atau reaksi pelarutan sedangkan pada katoda terjadi reaksi reduksi logam atau tidak terjadi reaksi apa-apa dengan cara proteksi katodik. Pencegahan korosi galvanik dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya dengan metode pelapisan atau *electroplating*.

Cadmium plating merupakan suatu proses *electroplating* dengan menggunakan logam cadmium. Cadmium adalah sebuah logam bivalen yang lunak, dapat ditempa, elastis dan berwarna putih kebiruan sehingga cadmium digunakan untuk pelapisan *fastener* karena sifatnya yang lunak (Holleman, 1985). Cadmium biasanya diaplikasikan sebagai lapisan yang tipis untuk menahan korosi di atmosfer bergaram. Pengujian *cadmium plating* meliputi ketebalan, ketahanan terhadap korosi, penampakan atau *appearance*, serta daya. Ketebalan yang dikehendaki harus sesuai dengan target yang diinginkan. Ketahanan terhadap korosi harus dipastikan agar logam tidak mudah untuk teroksidasi. Penampakan logam atau *appearance* harus halus, berbutir halus dan bebas dari *blister*, gosong dan tidak terkelupas. Daya lekat harus dipastikan agar lapisan cadmium tidak mudah terkelupas (PTDI Manual Part 41, 2017).

Karena hal tersebut, perlu dilakukan sebuah penelitian untuk menguji bagaimana kondisi yang tepat dan benar agar lapisan cadmium yang terbentuk dari proses *electrolytic cadmium plating* sesuai standar yang diinginkan produsen dan mengurangi cacat permukaan lapisan cadmium yang sering terjadi pada proses *electrolytic cadmium plating*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut didapatkan permasalahan yang dalam tugas akhir ini adalah :

- Bagaimana pengaruh variasi rapat arus dan waktu terhadap ketebalan lapisan yang terbentuk?

- Bagaimana pengaruh variasi rapat arus dan waktu terhadap ketahanan korosi?
- Bagaimana struktur mikro lapisan cadmium yang memiliki kualitas sifat mekanik maupun ketahanan korosi yang baik?

1.3 Tujuan

Tugas akhir ini memiliki tujuan sebagai berikut :

- Mengetahui pengaruh variasi rapat arus dan waktu terhadap ketebalan lapisan yang terbentuk.
- Mengetahui pengaruh variasi rapat arus dan waktu terhadap ketahanan korosi.
- Mengetahui struktur mikro lapisan cadmium yang memiliki kualitas sifat mekanik maupun ketahanan korosi yang baik.

1.4 Batasan Masalah

Tugas akhir ini dibatasi dengan beberapa faktor, yaitu :

- Proses *electrolytic cadmium plating* dilakukan dengan klasifikasi tipe I, yaitu pelapisan tanpa *supplementary treatment* dan pelapisan kelas I yaitu lapisan dengan rentang ketebalan 13-20 μm .
- Rapat arus yang digunakan sebesar 0,5; 2,5; dan 8 A/dm^2 .
- Waktu yang digunakan yaitu selama 10, 20, 30 menit.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Baja

Baja adalah logam paduan yang terdiri dari besi sebagai unsur pokok dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% berat yang digolongkan sesuai dengan jenisnya. Fungsi karbon dalam baja untuk mencegah dislokasi bergeser pada sisi kristal (*crystal lattice*) atom besi sehingga membuat sifat dari baja menjadi lebih keras dibandingkan dengan besi murni. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah mangan (*manganes*), krom (*chromium*), vanadium, dan tungsten. Kualitas baja bisa didapatkan dengan cara memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*) (Davis, 1982).

Besi merupakan unsur yang banyak ditemukan di alam yang memiliki kestabilan atom yang baik. Inti bumi dengan radius 2150 mil memiliki kandungan besi dengan 10 persen hidrogen teroklusi. Besi merupakan unsur terbanyak ke empat yang ditemukan di kerak bumi. Bijih besi yang banyak ditemukan adalah hematit, yang terlihat sebagai pasir hitam sepanjang pantai dan muara aliran air.

Logam murni besi memiliki sifat yang sangat reaktif secara kimiawi dan mudah terkorosi, khususnya di udara yang lembab atau ketika terdapat peningkatan suhu. Besi terdiri dari 4 bentuk yaitu alfa, beta, gamma dan omega dengan suhu transisi 700, 928, dan 1530 °C. Besi dalam fasa alfa memiliki sifat magnetik, tetapi ketika berubah menjadi fasa beta, sifat magnetnya berangsur menghilang tanpa merubah pola geometris molekul. Besi pig adalah paduan dengan kandungan 3% karbon dan sedikit kandungan unsur yang lain, seperti sulfur, silikon, mangan dan fosfor. Pada dasarnya besi bersifat keras, rapuh, dan umumnya mudah dicampur, serta digunakan untuk menghasilkan paduan

lainnya, salah satunya adalah baja. Sifat dari besi tempa yang kandungan karbonnya sebesar 0,1% yaitu sangat kuat, dapat dibentuk, tidak mudah tercampur serta sebagian besar memiliki struktur berserat. Baja karbon merupakan paduan besi sebagai unsur penyusun utama dengan sedikit Mn, S, P, dan Si. Paduan baja adalah baja karbon dengan penambahan dari unsur yang lain seperti nikel, khrom, vanadium dan berbagai unsur lainnya. Baja karbon relatif murah, mudah didapat, dan merupakan logam yang sangat penting untuk pembuatan komponen pesawat terbang.

2.2 Baja AISI 4130

Dalam penelitian ini jenis material yang digunakan yaitu baja AISI 4130 yang merupakan baja paduan rendah yang mengandung kromium dengan kandungan karbon 0,30%. Baja AISI 4130 mempunyai komposisi kimia (0,28-0,33)% C; (0,40-0,60)% Mn; 0,035% P; 0,04% S; (0,15-0,30)% Si; (0,80-1,10)% Cr; (0,15-0,25)% Mo (ASTM Steel, 2010).

a. Fitur desain utama

Baja paduan rendah yang mengandung molibdenum dan kromium sebagai agen penguatan. Isi karbon 0,30% dan nominal dengan kadar karbon relatif rendah paduan yang sangat baik dari sudut pandang mampu las fusi. Paduan ini dapat dikeraskan dengan perlakuan panas.

b. Kegunaan

Aplikasi khas untuk 4130 adalah termasuk baja paduan rendah yang digunakan untuk tunggangan mesin pesawat, pipa dan *fastener* pesawat terbang.

c. Proses Pengerjaan

Paduan ini dapat dikerjakan dengan metode konvensional. Pengerjaan yang terbaik dengan paduan dalam kondisi normal dan sudah mengalami perlakuan panas. Meskipun paduan dapat menerima perlakuan panas yang tinggi, kemampuan untuk merubah bentuk menjadi lebih sulit dengan meningkatnya kekuatan (kekerasan) paduan.

d. Pembentukan

Sifat mampu bentuk baja yang terbaik yaitu dalam kondisi anil dengan daktilitas sangat baik.

2.3 Oksidasi

Oksidasi adalah peristiwa yang terjadi jika metal bersentuhan dengan oksigen. Dalam reaksi kimia dimana oksigen tertambahkan pada unsur lain disebut oksidasi dan unsur yang menyebabkan terjadinya oksidasi disebut unsur pengoksidasi. Setiap reaksi di mana oksigen dilepaskan dari suatu senyawa merupakan reaksi reduksi dan unsur yang menyebabkan terjadinya reduksi disebut unsur pereduksi.

Jika satu materi teroksidasi dan materi yang lain tereduksi maka reaksi demikian disebut reaksi reduksi-oksidasi, disingkat reaksi redoks (*redox reaction*). Reaksi redoks terjadi melalui transfer elektron. Tidak semua reaksi redoks melibatkan oksigen. Akan tetapi semua reaksi redoks melibatkan transfer elektron dari materi yang bereaksi. Jika suatu materi kehilangan elektron, materi ini disebut tereduksi, dan apabila suatu materi memperoleh elektron, materi ini disebut teroksidasi.

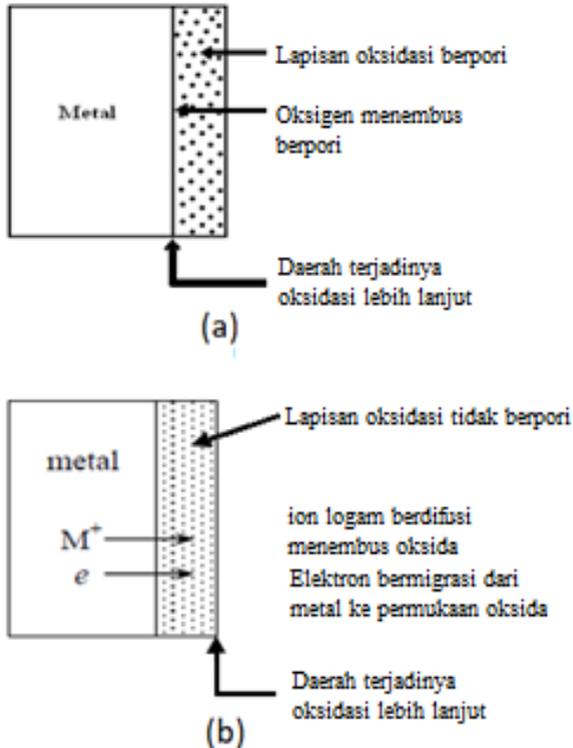
Dalam reaksi redoks, satu reagen teroksidasi yang berarti menjadi reagen pereduksi dan reagen lawannya tereduksi yang berarti menjadi reagen pengoksidasi. Kecenderungan metal untuk bereaksi dengan oksigen didorong oleh penurunan energi bebas yang mengikuti pembentukan oksidanya. Lapisan oksida di permukaan metal bisa berpori (dalam kasus natrium, kalium, magnesium) bisa pula rapat tidak berpori (dalam kasus besi, tembaga, nikel).

2.3.1 Penebalan lapisan oksida

Pada umumnya lapisan oksida yang terjadi di permukaan metal cenderung menebal. Berikut ini beberapa mekanisme yang mungkin terjadi, antara lain:

- a. Jika lapisan oksida yang pertama terbentuk adalah berpori seperti pada **Gambar 2.1 (a)**, maka molekul oksigen bisa masuk melalui pori-pori tersebut dan kemudian bereaksi

dengan metal di perbatasan metaloksida. Lapisan oksida bertambah tebal. Lapisan oksida ini bersifat non-protaktif, tidak memberikan perlindungan pada metal yang dilapisinya terhadap proses oksidasi lebih lanjut.



Gambar 2.1 Skema terbentuknya lapisan oksida (a) oksida berpori (b) oksida tidak berpori

- b. Jika lapisan oksida tidak berpori yang dapat dilihat pada **Gambar 2.1 (b)**, ion metal bisa berdifusi menembus lapisan oksida menuju bidang batas oksida-udara, dan di perbatasan oksida-udara ini metal bereaksi dengan oksigen dan menambah tebal lapisan oksida yang telah ada. Proses oksidasi berlanjut di permukaan. Dalam hal ini elektron

bergerak dengan arah yang sama agar pertukaran elektron dalam reaksi ini bisa terjadi.

- c. Mekanisme lain yang mungkin terjadi adalah gabungan antara **Gambar 2.1 (a)** dan **(b)**, dimana ion metal dan elektron bergerak ke arah luar sedang ion oksigen bergerak ke arah dalam. Reaksi oksidasi biasa terjadi di dalam lapisan oksida.

Terjadinya difusi ion, baik ion metal maupun ion oksigen, memerlukan koefisien difusi yang cukup tinggi. Sementara itu gerakan elektron menembus lapisan oksida memerlukan konduktivitas listrik oksida yang cukup tinggi pula. Oleh karena itu, jika lapisan oksida memiliki konduktivitas listrik rendah, laju penambahan ketebalan lapisan juga rendah karena terlalu sedikitnya elektron yang bermigrasi dari metal menuju perbatasan oksida-udara yang diperlukan untuk pertukaran elektron dalam reaksi.

Jika koefisien difusi rendah, pergerakan ion metal ke arah perbatasan oksida-udara akan lebih lambat dari migrasi elektron. Penumpukan ion metal akan terjadi di bagian dalam lapisan oksida dan penumpukan ion ini akan menghalangi difusi ion metal lebih lanjut. Koefisien difusi yang rendah dan konduktivitas listrik yang rendah dapat membuat lapisan oksida bersifat protektif, menghalangi proses oksidasi lebih lanjut.

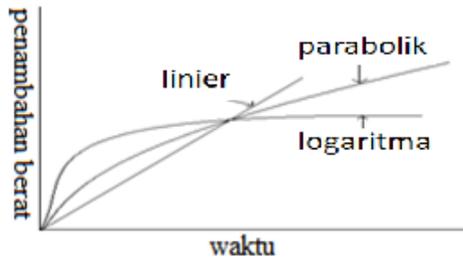
2.3.2 Oksidasi pada temperatur tinggi.

Logam yang bereaksi dengan oksigen atau gas lainnya pada suhu tinggi akan mengalami reaksi kimia. Proses oksidasi pada temperatur tinggi yang ditunjukkan pada **Gambar 2.2** dimulai dengan adsorpsi oksigen yang kemudian membentuk oksida pada permukaan bahan. Selanjutnya, terjadi proses nukleasi oksida dan pertumbuhan lapisan untuk membentuk proteksi. Persyaratan lapisan proteksi adalah homogen, daya lekat tinggi, tidak ada kerusakan mikro ataupun makro, baik yang berupa retak atau terkelupas. Pada tingkat oksidasi, hukum kinetika parabola, linier, dan logaritma menggambarkan tingkat oksidasi untuk

logam umum dan paduan. Dalam hal ini oksigen bereaksi untuk membentuk oksida pada permukaan logam, diukur dengan penambahan berat. Penambahan berat pada setiap waktu (t) selama oksidasi sebanding dengan ketebalan oksida (x). Logam tertentu, seperti baja, harus dilapisi untuk pencegahan korosi, karena memiliki tingkat oksidasi yang tinggi. Pada tingkat hukum parabola, laju oksidasi temperatur tinggi pada logam sering mengikuti hukum laju parabolik, yang memerlukan ketebalan (x), propotional ke waktu (t) yaitu,

$$x^2 = k_p \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan k_p dikenal sebagai konstanta laju parabolik.



Gambar 2.2 Penambahan berat terhadap waktu pada hukum kinetika untuk oksidasi logam

2.4 Korosi

Korosi adalah perusakan logam karena adanya reaksi kimia atau elektro kimia antara logam dengan lingkungannya. Adapun lingkungan yang dimaksud adalah dapat berupa udara, air, tanah dan zat kimia yang masing-masing mempunyai daya hantar listrik yang berbeda-beda (Fontana, 1983). Beberapa beranggapan bahwa korosi hanya terjadi pada logam, tetapi juga dapat terjadi pada non-logam seperti keramik, plastik, karet dan bahan non-logam lainnya. Adapun lingkungan yang dimaksud adalah dapat berupa larutan asam, air dan uap yang masing-masing mempunyai daya hantar listrik yang berbeda-beda. Perusakan logam yang dimaksud

adalah berkurangnya nilai logam baik dari segi ekonomis, maupun teknis, dengan beberapa komponen sebagai syarat terjadinya korosi, yaitu:

- a. anoda, sebagai tempat terjadinya reaksi oksidasi,
- b. katoda, sebagai tempat terjadinya reaksi reduksi,
- c. media elektrolit, sebagai penghantar arus listrik, dan
- d. adanya hubungan arus listrik antara anoda dengan katoda.

Mekanisme korosi melibatkan reaksi elektrokimia yang terjadi antara anoda dengan katoda. Reaksi tersebut berupa transfer elektron yang melibatkan pelepasan elektron (oksidasi) dan penerimaan elektron (reduksi).

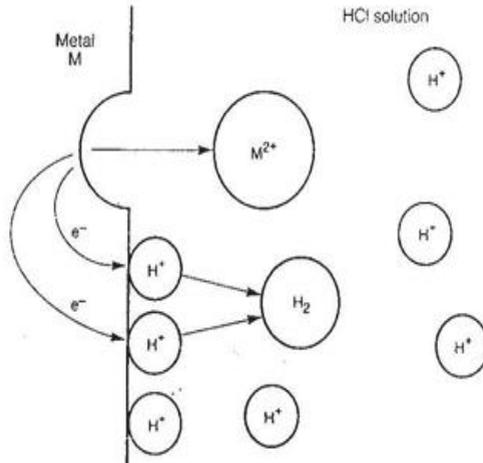
Korosi pada logam dapat terjadi dalam berbagai bentuk, hal ini dikarenakan perbedaan kondisi yang terjadi pada logam seperti: lingkungan, bentuk material, proses, dll. Jenis-jenis bentuk korosi antara lain adalah sebagai berikut:

- a. korosi seragam (*uniform*),
- b. korosi galvanik,
- c. korosi celah (*crevice*),
- d. korosi *pitting*
- e. HIC (*Hydrogen Induced Cracking*)
- f. *hydrogen damage*
- g. korosi batas butir
- h. *dealloying*
- i. korosi erosi

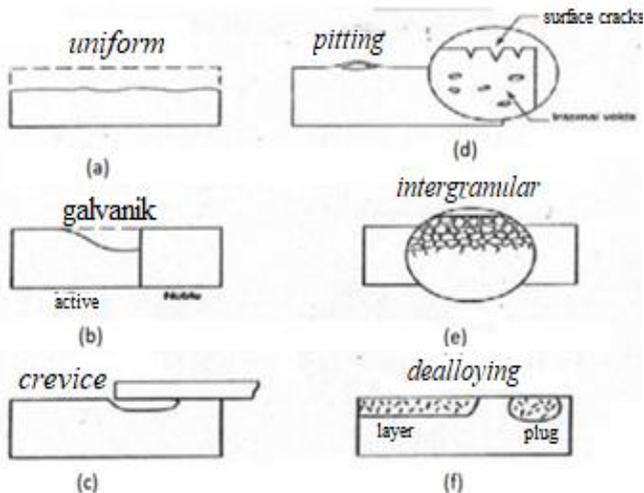
Sebagian dari bentuk korosi di atas dapat terjadi pada material logam yang mengalami proses pengelasan. Korosi deposit las pada logam dasar setelah pengelasan merupakan karakteristik yang tidak diinginkan. Korosi pada daerah las dapat menyebabkan retak bahkan kegagalan. Jenis-jenis korosi yang dapat terjadi di daerah lasan antara lain adalah :

- a. Korosi seragam (*uniform*), korosi yang terjadi secara seragam pada permukaan logam disebabkan karena lingkungan korosi mempunyai akses yang sama pada

permukaan logam atau komposisi kimia dan sifat metalurgi pada logam cenderung merata.



Gambar 2.3 Skema mekanisme korosi pada logam



Gambar 2.4 Jenis-jenis bentuk korosi, (a) seragam (b) galvanik (c) batas butir (*crevice*) (d) *pitting* (e) *intergranular* (f) *dealloying*

- b. Korosi galvanik, terjadi ketika komposisi logam las dengan logam dasar memiliki perbedaan yang signifikan.
- c. Korosi celah (*crevice*), terjadi melalui beberapa cara seperti : porositas atau retak pada permukaan, deposit *weld scale* atau slag, *undercut*, cacat desain, dan *inadequate joint penetration*.
- d. Korosi *pitting*, terjadi karena adanya serangan korosi lokal pada permukaan logam hingga membentuk cekungan atau lubang pada permukaan logam. Korosi *pitting* pada baja tahan karat terjadi karena rusaknya lapisan pelindung (*passive film*),
- e. HIC (*Hydrogen Induced Cracking*), peretakan korosi-tegangan merupakan peretakan intergranuler atau transgranuler pada logam akibat kegiatan gabungan antara tegangan tarik statis dan lingkungan korosi.
- f. *Hydrogen damage*, kerusakan ini disebabkan karena serangan hidrogen yaitu reaksi antara hidrogen dengan karbida pada baja dan membentuk metana sehingga menyebabkan terjadinya dekarburisasi, rongga atau retak pada permukaan logam. Pada logam reaktif seperti titanium, magnesium, zirconium dan vanadium, terbentuknya hidrida (*hydride*) menyebabkan terjadinya penggetasan pada logam.
- g. Korosi batas butir, Korosi yang menyerang pada batas butir akibat adanya segregasi dari unsur pasif seperti krom meninggalkan batas butir sehingga pada batas butir bersifat anodik.

Logam biasanya terdiri dari banyak butir dan antar butir dibatasi oleh batas butir. Jika batas butir bersifat anodik terhadap butirnya maka pada batas butir ini cenderung mengalami korosi. Proses etsa merupakan contoh korosi batas butir yang dimanfaatkan untuk mengamati struktur mikro. Jika sampel yang telah dipolis kemudian diberi larutan etsa tertentu maka larutan ini akan menyerang batas butir dan menghasilkan cekungan sehingga dapat dilihat di mikroskop.

- h. *Dealloying*, lepasnya unsur-unsur paduan yang lebih aktif (anodik) dari logam paduan. Contoh : lepasnya unsur seng atau Zn pada kuningan (Cu-Zn) yang dinamakan dezincification. Pada kuningan korosi terjadi karena pelepasan seng (Zn) dari paduannya (Cu) dan dikenal dengan istilah *dezincification*. Struktur mikro kuningan dalam bentuk fasa α dan β . Pada fasa α unsur Zn larut dalam Cu sedangkan pada fasa β unsur Cu larut dalam Zn.
- i. Korosi erosi, disebabkan oleh kombinasi fluida korosif dan kecepatan alir yang tinggi. Bagian fluida yang kecepatan alirannya rendah akan mengalami laju korosi rendah sedangkan fluida kecepatan tinggi menyebabkan terjadinya erosi dan dapat menggerus lapisan pelindung sehingga mempercepat korosi. Korosi erosi merupakan bentuk korosi yang timbul ketika logam terserang akibat gerak relatif antara elektrolit dan permukaan logam.

2.5 Elektrokimia

Elektrokimia merupakan cabang dari ilmu kimia yang mempelajari tentang perpindahan elektron yang terjadi pada elektroda atau sebuah media pengantar listrik. Elektroda terdiri dari elektroda positif dan elektroda negatif. Pertukaran elektron terjadi di elektroda jika dialiri arus listrik. Reaksi reduksi-oksidasi (redoks) dan larutan elektrolit merupakan dasar dari proses elektrokimia. Reaksi redoks merupakan gabungan dari reaksi reduksi dan oksidasi yang berlangsung secara bersamaan. Terdapat peristiwa penangkapan elektron pada reaksi reduksi sedangkan peristiwa pelepasan elektron terjadi pada reaksi oksidasi yang berlangsung pada media pengantar pada sel elektrokimia atau larutan elektrolit.

Larutan elektrolit dapat dikategorikan menjadi tiga golongan yaitu larutan elektrolit kuat, larutan elektrolit lemah dan larutan bukan elektrolit. Larutan elektrolit kuat merupakan larutan yang dapat menghantarkan arus listrik dengan baik dengan kandungan ion-ion terlarut. Pada larutan elektrolit kuat terjadi proses transfer elektron yang berlangsung cepat dan energi yang

dihasilkan relatif besar, sedangkan larutan elektrolit lemah merupakan larutan yang mengandung ion-ion terlarut cenderung terionisasi sebagian sehingga dalam proses transfer elektron berlangsung relatif lebih lambat dan energi yang dihasilkan kecil tetapi proses elektrokimia tetap dapat terjadi. Proses transfer elektron tidak terjadi pada larutan bukan elektrolit.

Terdapat dua jenis sel elektrokimia yang terdiri dari sel volta dan sel elektrolisis. Walaupun masing-masing sel sama-sama akan mengalami proses kimia tetapi terdapat perbedaan yang sangat besar yang akan dipaparkan sebagai berikut :

A. Sel Volta

Sel Volta merupakan sel elektrokimia yang menghasilkan energi listrik yang berasal dari reaksi kimia yang berlangsung spontan. Sel volta juga disebut dengan istilah sel galvani. Teori ini diperoleh dari gabungan pemikiran ilmuan yang bernama Alexander Volta dan Luigi Galvani pada tahun 1786 yang dimulai dengan penemuan baterai yang berasal dari cairan garam.

Pada sel volta anoda adalah kutub negatif dan katoda berlaku sebagai kutub positif. Anoda dan katoda akan dicelupkan kedalam larutan elektrolit yang terhubung oleh jembatan garam. Jembatan garam berfungsi sebagai grounding dari kedua larutan yang menghasilkan listrik.

Pemilihan dari larutan elektrolit harus mengikuti kaedah deret volta. Hal ini disebabkan oleh listrik yang dihasilkan harus melalui reaksi kimia yang spontan maka deret volta disusun berdasarkan daya oksidasi dan reduksi dari masing-masing logam. Urutan deret tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

Dari **Tabel 2.1** potensial elektroda jika diurutkan dari kiri ke kanan dimana semakin ke kanan nilai E° reduksi semakin besar yang menandakan bahwa semakin kekanan logam berlaku sebagai oksidator kuat, sedangkan semakin ke kiri logam berlaku sebagai reduktor yang kuat. Logam yang berada di sebelah kiri dapat mendesak logam yang berada di sebelah kanan. Pada contoh reaksi redoks sebelumnya terlihat bahwa Al dapat mendesak logam Fe^{2+} sehingga reaksi bisa berlangsung. Jadi ketika ada reaksi dimana

logam di sebelah kiri dapat mendesak logam di sebelah kanannya maka reaksi tersebut dapat terjadi.

Sel volta dibedakan menjadi tiga jenis yaitu sel volta primer merupakan sel volta yang tidak dapat diperbarui dan bersifat tidak dapat balik atau reaksinya bersifat *irreversible* contohnya dapat ditemukan pada baterai kering. Sel volta sekunder merupakan sel volta yang dapat diperbarui dan bersifat dapat balik *reversible* ke keadaan semula contohnya yaitu pada baterai aki. Sel volta bahan bakar atau *full cell* adalah sel volta yang tidak dapat diperbarui tetapi tidak dapat habis contohnya adalah pada sel campuran bahan bakar pesawat luar angkasa.

B. Sel Elektrolisis

Sel elektrolisis merupakan sel elektrokimia yang menggunakan sumber energi listrik untuk mengubah reaksi kimia yang terjadi tetapi reaksi yang terjadi tidak spontan. Berkebalikan dari sel volta, pada sel elektrolisis katoda memiliki muatan negatif sedangkan anoda memiliki muatan positif. Sel elektrolisis terdiri dari zat yang dapat mengalami proses ionisasi, elektroda dan sumber listrik. Sesuai dengan prinsip kerja arus listrik, sel listrik dialirkan dari kutub negatif ke katoda yang bermuatan negatif yang mengakibatkan larutan akan mengalami ionisasi menjadi kation dan anion. Kation di katoda akan mengalami reaksi reduksi sedangkan di anoda akan mengalami oksidasi. Penerapan sel elektrolisis dalam kehidupan sehari-hari dapat dilihat dalam penyepuhan logam emas dengan menggunakan larutan elektrolit yang mengandung unsur emas (Au) yang ditujukan untuk melapisi kembali perhiasan yang kadar emasnya sudah berkurang.

2.6 Elektroplating

Pelapisan suatu logam ataupun pada logam secara elektrolisis melalui penggunaan arus listrik searah (*Direct Current/DC*) dan larutan kimia (elektrolit) digunakan sebagai penyuplay ion-ion logam membentuk endapan (lapisan) logam pada elektroda katoda. Terjadinya endapan karena adanya ion-ion bermuatan listrik yang berpindah secara terus menerus dari suatu elektroda melalui larutan elektrolit.

Tabel 2.1 Tabel Potensial Elektorde Standard (E° reduksi) Berbagai Unsur pada Suhu 25°C

Reaksi reduksi	E°_{sel}
$\text{Li}^+(\text{aq}) + e^- \rightleftharpoons \text{Li}(\text{s})$	-3,04
$\text{Na}^+(\text{aq}) + e^- \rightleftharpoons \text{Na}(\text{s})$	-2,71
$\text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Mg}(\text{s})$	-2,38
$\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3e^- \rightleftharpoons \text{Al}(\text{s})$	-1,66
$2\text{H}_2\text{O}(\ell) + 2e^- \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$	-0,83
$\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Zn}(\text{s})$	-0,76
$\text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 3e^- \rightleftharpoons \text{Cr}(\text{s})$	-0,74
$\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{s})$	-0,41
$\text{Cd}^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cd}(\text{s})$	-0,40
$\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ni}(\text{s})$	-0,23
$\text{Sn}^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Sn}(\text{s})$	-0,14
$\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Pb}(\text{s})$	-0,13
$\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + 3e^- \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{s})$	-0,04
$2\text{H}^+(\text{aq}) + 2e^- \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{s})$	0,00
$\text{Sn}^{4+}(\text{aq}) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Sn}^{2+}(\text{aq})$	0,15
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + e^- \rightleftharpoons \text{Cu}^+(\text{aq})$	0,16
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cu}(\text{s})$	0,34
$\text{Cu}^+(\text{aq}) + e^- \rightleftharpoons \text{Cu}(\text{s})$	0,52
$\text{I}_2(\text{s}) + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{I}^-(\text{aq})$	0,54
$\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + e^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$	0,77
$\text{Ag}^+(\text{aq}) + e^- \rightleftharpoons \text{Ag}(\text{s})$	0,80
$\text{Hg}_2^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Hg}(\ell)$	0,85
$2\text{Hg}^+(\text{aq}) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Hg}_2(\text{aq})$	0,90
$\text{Br}_2(\ell) + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{Br}^-(\text{aq})$	1,07
$\text{O}_2(\text{g}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 4e^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}(\ell)$	1,23
$\text{Cl}_2(\text{g}) + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-(\text{aq})$	1,36
$\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}(\ell)$	1,78
$\text{S}_2\text{O}_8^{2-}(\text{aq}) + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$	2,01
$\text{F}_2(\text{g}) + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{F}^-(\text{aq})$	2,87

Berdasarkan penjelasan diatas, dimana dijelaskan yaitu merupakan suatu rangkaian arus listrik, anoda, larutan elektrolit dan katoda yang membentuk satu kesatuan yang satu sama lain saling terikat. Secara prinsip proses elektroplating mencakup empat hal, yaitu : pembersihan, pembilasan, pelapisan dan proteksi setelah pelapisan. Keempat hal ini dapat dilakukan secara manual atau bisa juga menggunakan tingkat otomatisasi yang lebih tinggi lagi. Oleh karena itu perlu dilakukan perbaikan proses, mulai dari proses awal, pembersihan secara mekanis dan kimia, pada proses pelapisan dengan menentukan kondisi operasi yang tepat dan optimum, misalnya dengan konsentrasi larutan dan tegangan listrik yang tepat. Selama proses pengendapan/deposit berlangsung terjadi reaksi kimia pada elektroda dan elektrolit baik reaksi reduksi maupun reaksi oksidasi dan diharapkan berlangsung terus menerus menuju arah tertentu secara tetap (Fontana, 1983).

Prinsip dasar dari proses pelapisan listrik adalah berpedoman atau berdasarkan persamaan Faraday yang menyatakan :

- Jumlah zat-zat (unsur-unsur) yang terbentuk dan terbebas pada elektroda selama elektrolisa sebanding dengan jumlah arus listrik yang mengalir dalam larutan elektrolit.
- Jumlah zat-zat (unsur-unsur) yang dihasilkan oleh arus listrik yang sama selama elektrolisa adalah sebanding dengan berat ekuivalen masing-masing zat tersebut.

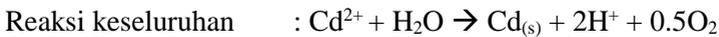
Pernyataan tersebut dapat ditulis dengan rumus sebagai berikut:

$$B = \frac{I \cdot e \cdot t}{F} \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan :

- B = Berat zat yang terbentuk (gram)
 I = Jumlah arus yang mengalir (Ampere)
 T = Waktu (detik)
 E = Berat ekuivalen zat yang dibebaskan
 F = Jumlah arus yang diperlukan untuk membebaskan sejumlah gram ekuivalen suatu zat.
 1 F = 96500 Coloumb yaitu jumlah arus listrik yang diperlukan untuk membebaskan 1 grek suatu zat.

- Pada katoda :
 Elektrodeposisi Cd : $\text{Cd}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cd}_{(s)}$
 Evolusi Hidrogen : $2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{H}_2$
- Pada anoda :
 Anoda larut
 Proses pelarutan Cd : $\text{Cd}_{(s)} + 2e^- \rightarrow \text{Cd}^{2+}$
 Anoda tak larut



Perhitungan tegangan standar yang digunakan pada proses pelapisan cadmium pada baja AISI 4130 berdasarkan **Tabel 2.1** tentang potensial reduksi standar didapatkan perhitungan sebagai berikut:



$$E^{\circ} \text{ sel} = E^{\circ} \text{ reduksi} - E^{\circ} \text{ oksidasi}$$

$$E^{\circ} \text{ sel} = -0.440 \text{ V} - (-0.403 \text{ V})$$

$$E^{\circ} \text{ sel} = 0.037 \text{ V}$$

Reaksi berdasarkan sel elektrolisis karena reaksi tidak dapat terjadi secara spontan karena $E^{\circ} \text{ sel}$ atau selisih potensial listrik bernilai negatif yaitu sebesar -0.037 V . Maka diperlukan potensial luar yang berlawanan yang menyebabkan reaksi berlangsung dalam arah berlawanan secara tak spontan. Pada proses ini reaksi kimia terjadi akibat adanya energi listrik atau arus listrik yang diberikan. Pada reaksi elektrolisis didapatkan bahwa reaksi yang terjadi pada anoda dan katoda berkebalikan dari reaksi pada sel galvanik atau volta. Pada pelapisan cadmium katoda untuk reaksi negatif yaitu pada lapisan logam dan anoda untuk reaksi positif yaitu pada logam pelapis yang larut.

Deposit elektron dari cadmium secara luas digunakan untuk melindungi logam dari korosi karena cadmium bersifat sebagai

anoda bagi besi. *Base metal* baja AISI 4130 dapat dilindungi dari lapisan cadmium meskipun lapisan tergores atau retak yang dapat membuat *base metal* baja AISI 4130 bersentuhan dengan lingkungan sekitar. Cadmium memiliki konduktivitas listrik yang baik dan ketahanan terhadap kontak yang rendah.

Sebagian besar pelapisan cadmium dilakukan didalam larutan sianida, yang dibuat dengan melarutkan cadmium oksida di dalam larutan sodium sianida. Sodium sianida menghasilkan konduktivitas dan membuat pendegradasian cadmium pada anoda.

Deposit cadmium memproduksi *hydrogen embrittlement*, yang dapat diminimalisir dengan beberapa prosedur sebagai berikut:

- a. Menggunakan metode *mechanical cleaning* seperti *rushing*, *blasting* dan *tumbling*.
- b. Jika memungkinkan hindari penggunaan larutan asam kuat.
- c. Menggunakan rapat arus yang tinggi karena dapat menghasilkan lapisan yang keropos.
- d. Menggunakan *shot peening* sebelum pelapisan cadmium.
- e. Penghilangan tekanan dari spesimen sebelum dilakukan pelapisan cadmium.
- f. Mengoven spesimen setelah dilakukan pelapisan cadmium.

Pencegahan korosi dengan menggunakan lapisan cadmium dapat ditambahkan dengan mengaplikasikan pelapisan pengonversi kimia tambahan yaitu pelapisan *chromate type*. Lapisan tipis dari *chromate* dihasilkan dari mencelupkan spesimen di dalam larutan yang mengandung asam kromat dan katalis.

Perlakuan pemanbahan fosfat menghasilkan lapisan yang merata. Lapisan tipis fosfat dihasilkan dari pencelupan spesimen kedalam larutan yang mengantung asam fosfat (PTDI Manual Part, 2017).

Berdasarkan ketebalan akhir lapisan cadmium, pelapisan cadmium di klasifikasikan sesuai dengan ASM Handbook Volume 5 Surface Engineering (1990) yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.2 Klasifikasi Ketebalan Lapisan Cadmium (ASM Surface Engineering, 1990)

Kelas	Ketebalan (μm)
I	13 - 20
II	8 - 13
III	5 - 8

2.8 Unsur-Unsur Pokok Proses *Electroplating*

Terdapat beberapa unsur-unsur pokok yang menjadi parameter pada proses elektroplating, yaitu sebagai berikut:

a. *Rectifier*

Arus listrik digunakan untuk sumber daya penghantar agar dapat memindahkan, menarik ion-ion positif dari anoda ke katoda. Arus listrik DC (*direct current*) digunakan pada proses elektroplating. *Rectifier* digunakan untuk mendapatkan arus listrik searah, tegangannya konstan dan besar arus yang mengalir dapat divariasikan.

b. Larutan elektrolit

Larutan merupakan campuran yang homogen yang mengandung dua atau lebih zat. Larutan elektrolit dihasilkan bila zat cair, gas atau padat dilarutkan didalam suatu bahan pelarut. Zat terlarut (*solute*) adalah jumlah zat yang lebih sedikit terkandung pada larutan dan zat yang jumlahnya lebih besar disebut pelarut (*solven*). Konsentrasi larutan adalah komposisi zat terlarut dan pelarut dalam larutan, sedangkan proses pencampuran zat terlarut dan pelarut membentuk larutan disebut pelarutan atau solvasi. Sedangkan elektrolit adalah suatu larutan yang akan membentuk ion-ion positif atau negatif bila dilarutkan didalam air dan bersifat penghantar listrik.

Zat-zat yang digunakan sebagai elektrolit dilarutkan ke dalam air dan akan terurai menjadi ion-ion (terionisasi) sehingga larutan ini dapat menghantarkan arus listrik. Ion listrik positif akan tertarik menuju elektroda negatif (katoda), sedangkan ion negatif akan menuju elektroda positif (anoda). Elektrolit kuat akan terionisasi seluruhnya atau sebagian besar menjadi ion-ion, sedangkan elektrolit lemah hanya sebagian terionisasi menjadi ion

di dalam larutan.

Istilah-istilah elektrolit kuat dan elektrolit lemah diambil dari daya hantar listriknya. Elektrolit kuat sudah tentu mempunyai daya hantar yang kuat karena mengandung jumlah ion yang lebih besar/banyak bila dibandingkan dengan elektrolit lemah. Memang tidak mudah membedakan apakah suatu larutan elektrolit yang terasosiasi termasuk elektrolit yang lemah atau pasangan ion. Hal ini harus dari interaksi ion dan ion dengan bahan pelarutnya.

Beberapa cara yang digunakan untuk menyatakan komposisi larutan yaitu :

- **Persentase massa**

Persentase massa sering digunakan sehari-hari dan didefinisikan sebagai persentase berdasarkan massa suatu zat dalam larutan. Dalam kimia, yang paling banyak bermanfaat untuk menyatakan komposisi ialah fraksi mol, molaritas dan molalitas.

Fraksi mol suatu zat dalam campuran ialah jumlah jumlah mol zat itu dibagi jumlah mol keseluruhan mol yang ada. Dalam campuran biner yang mengandung n_1 mol spesies 1 dan n_2 mol spesies 2, fraksi mol X_1 dan X_2 adalah

$$x_1 = \frac{n_1^2}{n_1^2 + n_2^2} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$x_2 = \frac{n_2^2}{n_1^2 + n_2^2} = 1 - x_1 \dots \dots \dots (2.4)$$

Fraksi mol semua spesies yang ada harus berjumlah 1. Jika dimungkinkan membuat perbedaan antara pelarut, label 1 menyatakan pelarut dan label yang lebih tinggi untuk zat terlarut. Jika jumlah kedua cairan sebanding, misalnya dalam pencampuran air dan alkohol, penentuan label 1 dan 2 boleh yang mana saja.

- **Konsentrasi**

Konsentrasi zat ialah jumlah mol per satuan volume. Satuan SI mol per meter kubik tidak memudahkan pekerjaan kimia, sehingga molaritas yang didefinisikan sebagai jumlah zat terlarut per liter larutan, persamaan molaritas yang digunakan adalah

$$\text{Molaritas} = \frac{\text{mol zat terlarut}}{\text{liter larutan}} \dots \dots \dots (2.5)$$

“M” adalah singkatan untuk “mol per liter”. 0,1 M (dibaca “0,1 molar”) larutan HCL memiliki 0,1 mol HCl per liter larutan. Molaritas merupakan cara yang paling lazim untuk menyatakan komposisi larutan encer. Untuk pengukuran yang cermat, cara ini kurang menguntungkan karena sedikitnya ketergantungan pada suhu, volume berubah-ubah sehingga jumlah mol terlarut per liter larutan juga berubah.

- Molalitas

Molalitas adalah nisbah massa dan ini tidak bergantung pada suhu. Molalitas didefinisikan sebagai jumlah mol zat terlarut per kilogram larutan yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\text{Molalitas} = \frac{\text{mol zat terlarut}}{\text{kilogram pelarut}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Karena air memiliki rapatan 1,00 g/cm³ pada 20⁰ c, maka 1,00 liter air bobotnya 1,00 x 10³ g atau 1,00 kg. Dengan demikian, dalam larutan berair encer, jumlah mol terlarut per liter kira-kira sama dengan jumlah mol per kilogram air. Jadi, molaritas dan molalitas hamper sama nilainya.

c. Anoda

Anoda adalah suatu terminal positif dalam larutan elektrolit. Fungsi dari anoda adalah sebagai sumber bahan baku yang akan dibawa melalui elektrolit kepada permukaan katoda. Anoda biasanya dipilih dari logam murni yaitu untuk menjamin kebersihan elektrolit pada saat proses *electroplating*. Adanya arus listrik (DC) yang mengalir melalui larutan elektrolit diantara anoda dan katoda, maka pada anoda akan terjadi pelepasan ion-ion logam dan oksigen (reduksi), selanjutnya ion-ion logam tersebut diendapkan pada katoda.

Michael Faraday menemukan hubungan antara produk suatu endapan ion logam dengan jumlah arus yang dipakai untuk mengendapkannya. Hubungan ini dihubungkan dalam hukum Faraday sebagai berikut:

- Jumlah bahan yang terdekomposisi pada saat berlangsungnya proses elektrolisa berbanding lurus dengan kuat arus (*ampere*) dan waktu pengalran arus (detik) dalam

suatu elektrolit

- Jumlah arus yang sama akan membebaskan ekuivalen yang sama dari berbagai unsur.

Pernyataan ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$W = \frac{I \cdot t \cdot A}{Z \cdot F} \dots \dots \dots (2.7)$$

dengan :

W = berat yang di endapkan (gram)

I = arus yang dibutuhkan (ampere)

T = waktu (detik)

A = berat atom logam pelapis (gram)

Z = valensi logam pelapis

F = bilangan Faraday (96.500 coulomb)

Ketebalan endapan atau deposit diperoleh dari perhitungan:

$$Volume = \frac{\text{berat endapan (gram)}}{\text{berat jenis } (\frac{\text{gram}}{\text{cm}^3})} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dengan mengukur langsung permukaan benda kerja (katoda) dengan asumsi endapan serba sama, ketebalan dapat ditentukan sebagai berikut:

$$Ketebalan = \frac{\text{volume (cm}^3\text{)}}{\text{luas permukaan (cm}^2\text{)}} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dalam proses elektroplating, jumlah perubahan kimia yang terjadi akan sebanding dengan jumlah arus yang mengalir. Namun dari sekian banyak perubahan yang terjadi hanya satu yang diperlukan, yaitu jumlah endapan logam pada permukaan katoda sehingga arus yang dibutuhkan untuk perubahan kimia dianggap sebagai pemborosan (pengurangan efisiensi).

d. Katoda

Katoda adalah elektroda negatif dalam larutan elektrolit dimana pada katoda ini terjadi penempelan ion-ion yang tereduksi dari anoda. Pada proses *electroplating*, katoda dapat diartikan sebagai benda kerja yang akan dilapisi. Katoda bertindak sebagai logam yang akan dilapisi atau produk yang bersifat menerima ion. Katoda dihubungkan ke kutub negatif dari arus listrik. Katoda

harus bersifat konduktor supaya proses *electroplating* dapat berlangsung dan logam pelapis menempel pada katoda.

e. Laju Korosi

Laju korosi adalah kecepatan perambatan atau penurunan kualitas lingkungan terhadap waktu. Terdapat berbagai satuan yang digunakan untuk perhitungan laju korosi, satuan yang biasa digunakan adalah mm/th untuk standar internasional atau mpy (mils per year) untuk standar *British*. Untuk mengetahui seberapa besar laju korosi yang terjadi pada logam dapat diketahui dengan menggunakan rumus laju korosi sebagai berikut (Fontana, 1983) :

$$Mpy = \frac{534 \times W}{\rho \times A \times T} \dots \dots \dots (2.10)$$

dimana :

- mpy = mils per year
- 534 = konstanta bila laju korosi dinyatakan dengan mpy
- W = pengurangan berat (mg) = $W_0 - W_1$. (berat awal – berat akhir)
- ρ = *Density specimen* (gr/cm³)
- A = Luas permukaan (in²)
- T = Waktu (jam)

2.9 Faktor yang Mempengaruhi *Electrolytic Cadmium Plating*

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hasil lapisan cadmium, yaitu temperatur, rapat arus, konsentrasi elektrolit, waktu pelapisan, konduktivitas, nilai pH, dan pasifitas, dengan penjelasan sebagai berikut:

- Temperatur
Temperatur yang digunakan pada tangki berkisar antara 26° sampai dengan 32°C. Di dalam larutan, hantaran listrik pada umumnya naik dengan bertambah tingginya temperatur (kecuali pada beberapa asam lemah). Kenaikan temperature tidak saja memperbesar energi kinetik ion, tetapi juga menurunkan viskositas solven sehingga ion-ion bermigrasi

terlalu cepat. Hal ini akan menyebabkan lapisan yang dihasilkan akan membentuk granula yaitu lapisan yang berbutir-butir/berserbuk, sehingga ketebalan yang dihasilkan tidak sesuai dengan standar yang diinginkan.

- Rapat arus

Semakin besar rapat arus yang digunakan maka akan semakin tebal lapisan cadmium, tetapi permukaan akan tampak kasar dan hangus (terbakar) yang biasanya mengandung oksida atau lainnya.

Arus tidak terdistribusi merata ke seluruh permukaan katoda. Arus cenderung mengumpul pada titik tonjolan dan pinggir tepi runcing permukaan. Bila deposisi terlalu banyak pada bagian tertentu permukaan logam yang dilapis, hal ini merupakan pemborosan. Maka katoda harus ditempatkan sedemikian rupa di tangki, atau bentuk katodanya diatur agar *plating* seragam. Untuk itu *racking* harus dibuat sedemikian rupa disesuaikan dengan bentuk barang yang dilapis, sehingga kontak anoda dan katoda mendapatkan arus yang merata. Selain itu *racking* pun haruslah seimbang dengan barang yang akan dilapis, sebab jika *racking* lebih besar daripada logam yang dilapisi maka lapisan yang terbentuk akan tipis bahkan tidak akan terlapis, ini disebabkan oleh arus yang masuk mendapatkan hambatan yang besar dari *racking*. Demikian pula sebaliknya. Dengan demikian besarnya arus tergantung dari luas permukaan logam yang akan dilapisi dan *racking* yang digunakan.

- Konsentrasi elektrolit

Yaitu struktur deposit, dengan naiknya konsentrasi logam dapat menaikkan seluruh kegiatan anion yang membantu mobilitas ion.

- Waktu pelapisan

Pengaruh ketebalan lapisan yang diharapkan sangat dipengaruhi oleh waktu pelapisan (Topayung, 2011). Semakin lama waktu yang dipergunakan akan semakin tebal lapisannya. Metode yang dianggap efektif adalah mendapatkan lapisan yang bertebal sama untuk rapat arus

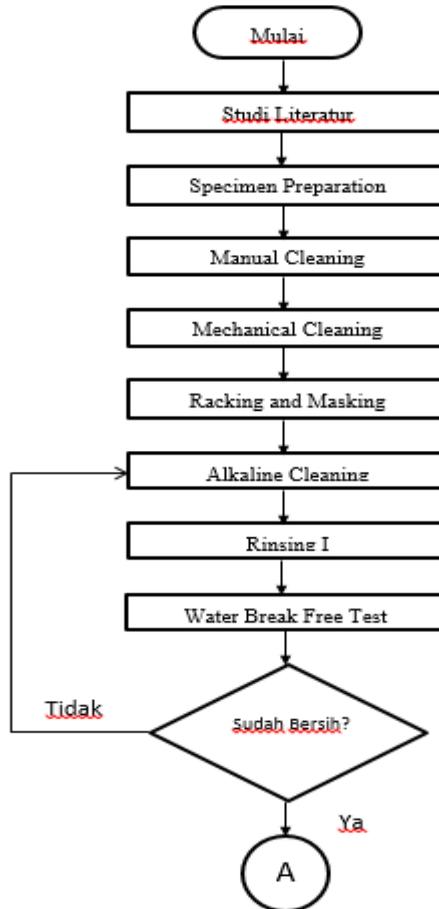
yang sama tetapi waktu yang digunakan yang sesingkat mungkin.

- **Konduktivitas**
Peningkatan konduktivitas listrik larutan *plating* akan meningkatkan keseragaman distribusi logam pada katoda. Hantaran listrik pada umumnya bertambah dengan bertambah tingginya suhu. Sebaliknya, peningkatan suhu akan menurunkan *throwing power*, karena energi kinetik meningkat sehingga keseragaman pada permukaan sulit dicapai.
- **Nilai pH**
Faktor penting dalam mengontrol larutan elektroplating adalah derajat kesamaan (pH).
- **Pasifitas**
Dimana pada logam yang mengalami korosi akan membentuk lapisan pasif. Bila hal ini terjadi pada anoda, maka ion-ion logam pelapis terus menerus menurun, sehingga akan mengganggu proses.

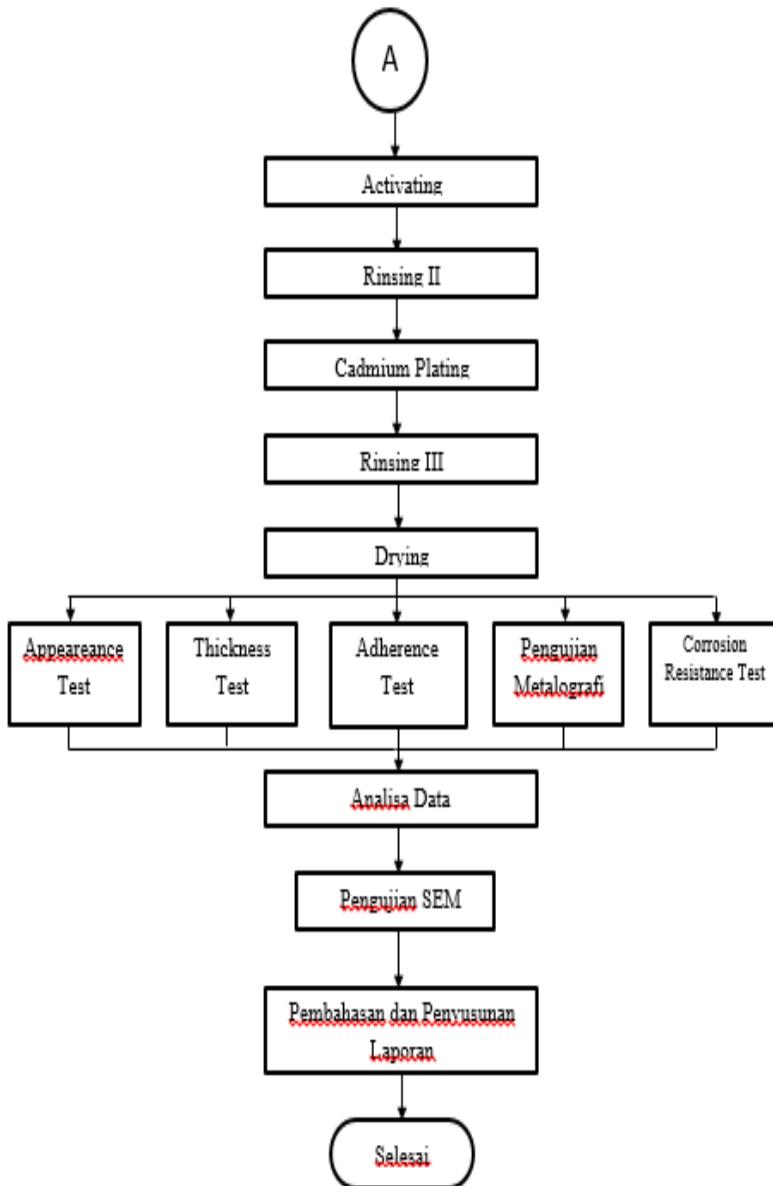
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Pada bab ini menjelaskan tentang tahapan pengerjaan dari penelitian yang telah dilakukan. Berikut ini merupakan diagram alir tahapan pengerjaan secara umum :



Gambar 3.1 Diagram alur penelitian (bersambung)



Gambar 3.1 Diagram alur penelitian (sambungan)

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 18 lempeng paduan baja AISI 4130 ukuran 100x25 mm²
- 9 lempeng paduan baja AISI 4130 ukuran 150x100 mm².
- 1 kain putih ukuran 20 x 20 cm
- 1 rak *cadmium plating* ukuran 80 x 6 cm
- 4 m kawat aluminium berdiameter 3 mm
- 1 tangki *alkaline cleaning*
- 1 tangki *mechanical cleaning*
- 4 tangki *rinsing*
- 1 tangki *activating*
- 1 tangki *cadmium plating* beserta peralatan instrumen listrik
- 1 compressor
- 1 Dermatron 3000 plus (*eddy current*)
- 1 *salt spray chamber*
- 1 steel rod diameter ¼ inch (6 mm)
- 1 stopwatch
- 1 SEM EVO-MA Zeiss
- 1 oven laboratorium
- 1 Bueller IsoMet 1000
- 1 Struer laboforce-50 (berserta alat pendukung pengujian : amplas (kekasaran 80, 220, 800, dan 1000)
- 1 gerinda potong
- 1 mikroskop Nikon eclipse LV150 beserta monitor dan CPU
- 1 Krisbow *heater*

Bahan yang digunakan pada penelitian ini, antara lain sebagai berikut :

- 200 mL larutan MEK (Methyl Ethyl Keton)
- 1700 L Turco 4215 NCLT (45-60 g/L; etching weight: 30 mg; temperature : 45-60 °C)
- 2100 L Cadmium Casa, Airbus, EC, Nbell (NaCN : 90-135

g/L; NaOH : 11.25-25 g/L; Na₂CO₃ : 37.5 g/L max; Cd : 21-24 g/L; Fe : 300 ppm max; NaCN/Cd : 4/1-6/1 g/L; Ph : ≥ 12.5 ; Temperature : 15-17 °C)

- 1.700 L *deionized water*

3.3 Eksperimen

Adapun beberapa kerja dalam eksperimen ini, antara lain sebagai berikut:

a. *Specimen preparation*

Specimen preparation merupakan tahap penyiapan material uji. Material uji yang digunakan disiapkan tiga sampel untuk setiap variasi rapat arus dan waktu. Tiga sampel digunakan untuk pengujian yang berbeda. Rincian sampel dan pengujiannya dijabarkan pada **Tabel 3.1**. Sampel untuk uji *adherence*, uji ketebalan, uji SEM dan Metalografi memiliki dimensi sebesar 100x25 mm² dan sampel khusus untuk uji ketahanan korosi memiliki dimensi sebesar 150x100 mm².

Setelah sampel dipotong sesuai dimensi yang disesuaikan terhadap jenis pengujiannya maka dilakukan *surface treatment* untuk menghilangkan sudut runcing yang ada pada spesimen agar tidak membuat spesimen mengalami *burning* dengan kikir dan pisau kait. Kemudian spesimen dilakukan tahap pembersihan dari kotoran berupa minyak, lemak, tinta, dan kotoran lainnya yang dapat dibersihkan secara manual dengan menggunakan kain yang telah dicelupkan ke larutan khusus. Langkah pembersihan ini menggunakan larutan *MEK (Methyl Ethyl Keton)*.

b. *Mechanical cleaning*

Pembersihan permukaan logam dengan menggunakan metode mekanik dengan cara mengikis permukaan logam dengan dry abrasive blasting. Metode ini menggunakan Alumina 100 yang disemprotkan dengan udara bertekanan 3 bar.

c. *Racking*

Racking merupakan proses penyusunan dan pemasangan spesimen pada rak spesimen. Spesimen di ikat dengan kawat berdiameter 3 mm.

Tabel 3.1 Daftar Spesimen Beserta Jenis Pengujiannya

Rapat Arus (A/dm ²)	Waktu (menit)	Dimensi (mm ²)	Sampel	Tipe Pengujian
0,5	10	100x25	A1.1	Thickness, Adherence, Metalografi, SEM
			A1.2	Thickness, Adherence, Metalografi, Corrosion Resistance
		150x100	A1.3	Thickness, Metalografi, Corrosion Resistance
	20	100x25	A2.1	Thickness, Adherence, Metalografi, SEM
			A2.1	Thickness, Adherence, Metalografi, Corrosion Resistance
		150x100	A2.3	Thickness, Metalografi, Corrosion Resistance
	30	100x25	A3.1	Thickness, Adherence, Metalografi, SEM
			A3.2	Thickness, Adherence, Metalografi, Corrosion Resistance
		150x100	A3.3	Thickness, Metalografi, Corrosion Resistance
2,5	10	100x25	B1.1	Thickness, Adherence, Metalografi, SEM
			B1.2	Thickness, Adherence, Metalografi, Corrosion Resistance
		150x100	B1.3	Thickness, Metalografi, Corrosion Resistance
	20	100x25	B2.1	Thickness, Adherence, Metalografi, SEM
			B2.2	Thickness, Adherence, Metalografi, Corrosion Resistance
		150x100	B2.3	Thickness, Metalografi, Corrosion Resistance
	30	100x25	B3.1	Thickness, Adherence, Metalografi, SEM
			B3.2	Thickness, Adherence, Metalografi, Corrosion Resistance
		150x100	B3.3	Thickness, Metalografi, Corrosion Resistance
8	10	100x25	C1.1	Thickness, Adherence, Metalografi, SEM
			C1.2	Thickness, Adherence, Metalografi, Corrosion Resistance
		150x100	C1.3	Thickness, Metalografi, Corrosion Resistance
	20	100x25	C2.1	Thickness, Adherence, Metalografi, SEM
			C2.2	Thickness, Adherence, Metalografi, Corrosion Resistance
		150x100	C2.3	Thickness, Metalografi, Corrosion Resistance
	30	100x25	C3.1	Thickness, Adherence, Metalografi, SEM
			C3.2	Thickness, Adherence, Metalografi, Corrosion Resistance
		150x100	C3.3	Thickness, Metalografi, Corrosion Resistance

d. *Alkaline cleaning*

Alkaline cleaning merupakan proses pembersihan lemak, finger print, dan minyak pada permukaan spesimen yang tidak hilang pada saat *manual cleaning* dengan menggunakan larutan basa Turco 4215 NCLT. Larutan yang digunakan berdasarkan ISO 10074:2010.

Konsentrasi larutan	: 30-60 g/l
Temperatur Tangki	: 40-50 °C
Waktu	: 10 - 15 menit

e. *Rinsing I*

Rinsing I merupakan proses pembilasan spesimen yang telah melalui proses *alkaline cleaning* dengan menggunakan *deionized water* untuk menghilangkan larutan yang tertinggal pada spesimen dan tidak mengkontaminasi larutan yang lain. Setelah proses ini dilakukan *water film breaking test* yaitu pengamatan secara *visual* apakah masih ada noda atau kotoran yang belum dihilangkan pada proses *alkaline cleaning* dan dilakukan minimal selama 30 detik. Larutan yang digunakan berdasarkan ISO 10074:2010.

Temperatur	: 18-32 °C
Waktu	: 2-5 menit

f. *Activating*

Permukaan baja dikondisikan agar dapat menerima lapisan cadmium dengan baik dengan cara mencelupkan baja ke larutan 1 % sulphuric acid atau hydrofluoric acid.

Konsentrasi H ₂ SO ₄	: 630-810 g/L
--	---------------

g. *Rinsing II*

Rinsing II merupakan proses pembilasan spesimen yang telah melalui proses *activating* dengan menggunakan *deionized water* untuk menghilangkan larutan yang tertinggal pada spesimen dan tidak mengkontaminasi larutan yang lain. Larutan yang digunakan berdasarkan ISO 10074:2010.

Temperatur	: 18-32 °C
Waktu	: 2-5 menit

h. *Cadmium plating*

Cadmium plating merupakan proses utama pada *surface*

treatment ini. Proses ini bertujuan membentuk lapisan *cadmium* untuk melapisi baja. Pertama-tama, baja direndam di dalam bak *cadmium plating* selama 5 menit sebelum arus diberikan. Rapat arus yang diberikan untuk semenit pertama adalah 8.5 A/dm^2 . Pada proses *cadmium plating* nilai rapat arus divariasikan untuk nilai 0,5; 2,5; dan 8 A/dm^2 , serta diberikan lama proses pelapisan 10, 20, dan 30 menit. Larutan yang digunakan berdasarkan ISO 10074:2010. Proses *cadmium plating* dilakukan didalam sebuah bak seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.

Konsentrasi NaCN	: 90-135 g/L
Konsentrasi NaOH	: 11.5 - 25 g/L
Konsentrasi Na_2CO_3	: 37.5 g/L max
Konsentrasi Cd	: 21-24 g/L
Impuritis Fe	: 300 ppm max
NaCN/Cd	: 4/1 – 6/1 g/L
pH	: ≥ 12.5
Temperatur	: 15-27 °C



Gambar 3.2 Proses *cadmium plating*

i. Rinsing III

Rinsing III merupakan proses pembilasan spesimen yang telah melalui proses *plating* dengan menggunakan *deionized water*

untuk menghilangkan larutan yang tertinggal pada spesimen dan tidak mengkontaminasi larutan yang lain. Larutan yang digunakan berdasarkan ISO 10074:2010.

Temperatur : 18-32 °C

Waktu : 2-5 menit

j. *Drying*

Drying merupakan proses pengeringan spesimen yang telah mengalami proses *plating* yang telah dilakukan. Tujuan *drying* adalah menghilangkan sisa-sisa *rinsing water* yang berasal dari proses *rinsing* yang masih tersisa pada permukaan spesimen. Proses ini menggunakan *compressor* yang memberi tekanan udara pada spesimen.

3.4 Pengujian Spesimen

Pada penelitian ini dilakukan 6 pengujian yaitu ketebalan dengan menggunakan metode *eddy current*, *adherence test* dengan menggunakan rod nikel, *appearance test*, korosi dengan *salt spray chamber*, metalografi, dan SEM.

3.4.1 Uji ketebalan

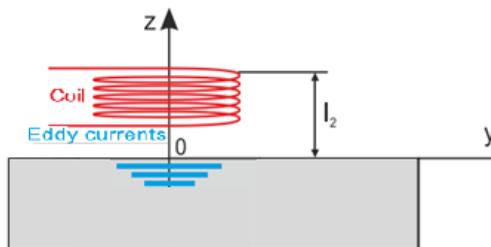
Uji ketebalan *non-destructive* merupakan pengujian ketebalan lapisan cadmium dengan menggunakan alat ukur Dermitron D 3000 plus yang ditunjukkan pada **Gambar 3.3** dengan prinsip kerja *eddy current*. Pengukuran ini berdasarkan ASTM B 244. Pengukuran dilakukan pada 5 titik pada setiap permukaan pada 1 spesimen secara acak dengan *probe module*.

Eddy current sendiri merupakan salah satu metode NDT (*Non Destructive Test*) yang menggunakan prinsip elektromagnetik untuk mengukur ketebalan. *Eddy current* dihasilkan melalui proses induksi elektromagnetik yang dihasilkan oleh lilitan dalam *probe*. Ketika arus induksi diterapkan pada konduktor dalam kondisi lilitan didekatkan pada material uji, medan magnet akan merambat ke dalam dan sekitar konduktor. Kemudian *eddy current* akan terinduksi dan melemahkan medan magnet yang dihasilkan oleh lilitan. Medan magnet yang melemah akan meningkatkan impedansi pada lilitan dan akan berpengaruh pada penurunan arus

listrik yang dialirkan pada lilitan (Garcia- Martin, Gomez-Gil, & Vazquez-Sanchez, 2011). Skema pengukuran ketebalan dapat dilihat pada **Gambar 3.4**.



Gambar 3.3 Dermatron D 3000 plus untuk mengukur ketebalan lapisan



Gambar 3.4 Skema pengujian dengan prinsip *eddy current* (Garcia-Martin, Gomez-Gil, Varquez Sanchez, 2011)

Hal lain akan terjadi ketika lilitan dijauhkan sejauh l_2 pada **Gambar 3.4**, maka arus eddy akan melemah dan medan magnet akan menguat, kemudian karena menguatnya medan magnet, maka impedansi akan turun dan arus pun akan bertambah. Nilai perubahan arus tersebut yang kemudian dikonversi menjadi satuan

jarak (Garcia- Martin, Gomez-Gil, & Vazquez-Sanchez, 2011).

3.4.2 Uji daya rekat lapisan (*adherence test*)

Uji daya rekat lapisan *cadmium plating* atau *adherence test* merupakan pengujian kekuatan adhesi dari lapisan cadmium oleh *burnish* dengan metode *destructive test*. Proses pengujian dilandaskan berdasarkan ASTM B 571. Pengujian ini dilakukan dengan menggosok-gosok daerah kecil sebesar 5 cm² selama paling sedikit 15 detik pada permukaan part/spesimen dengan *steel rod* dan di amati secara visual untuk setiap indikasi seperti melepuh atau pengelupasan dari lapisan *cadmium plating* yang dapat dilihat pada **Gambar 3.5**. Dengan menggunakan peralatan berupa steel rod diameter ¼ inch (6 mm) pada ujung permukaan dihaluskan, stopwatch dan sarung tangan bersih.

Hasil tes spesimen diamati secara *visual*, jika terjadi keraguan dalam pengamatan gunakan pembesaran yang disesuaikan dengan spesifikasi yang berlaku. Spesimen yang dianggap lolos uji *adherence test* adalah spesimen yang setelah diuji tidak terjadi indikasi melepuh pada lapisan *cadmium plating* dan tidak terjadi pengelupasan lapisan dengan base metal oleh *burnish*. Untuk mengamati hasil pengelupasan dengan menggunakan *adherence test*, spesimen diamati dengan metalografi yang diberikan perbesaran 50 x.



Gambar 3.3 *Steel rod* beserta hasil goresan

3.4.3 *Appearance test*

Appearance test merupakan pengujian secara visual untuk melihat penampakan logam secara keseluruhan. Penampakan permukaan lapisan cadmium dinyatakan lolos uji *appearance test* jika memiliki lapisan yang halus, berbutir halus dan bebas dari *blister*, tidak gosong dan tidak terkelupas.

3.4.4 Uji ketahanan korosi

Uji ketahanan korosi merupakan pengujian dengan memasukan spesimen kedalam *salt spray chamber* selama 336 jam tanpa jeda Pengujian ini sesuai dengan ASTM B-117. Spesimen yang dilakukan pengujian memiliki dimensi (150x100) mm² pada **Gambar 3.6.**



Gambar 3.4 Spesimen untuk ketahanan uji korosi

Pengujian menggunakan *salt spray chamber* untuk menguji ketahanan terhadap korosi menggunakan cairan garam NaCl 5% yang disemprotkan secara terus menerus dengan udara

bersih bertekanan. Volume dari kabut garam harus berada pada 1 ml sampai 2 ml per jam per 80 cm² dan temperature dari *chamber* harus berada pada rentang 33-37 °C.

3.4.5 *Metalografi*

Metalografi merupakan pengujian yang dilakukan pada material dasar untuk melihat struktur mikro. Spesimen dipotong dengan menggunakan gerinda untuk pemotongan logam dengan kecepatan tinggi setelah itu spesimen dipotong lagi dengan kecepatan lambat menggunakan mesin gerinda halus kemudian dilakukan- *mounting* dengan menggunakan resin untuk mempermudah pengamatan. Kemudian spesimen di-*grinding* untuk meratakan permukaan spesimen yang akan diamati secara kasar dan diratakan secara halus dengan *polishing* menggunakan autosol yang ditunjukkan pada **Gambar 3.13**. Setelah itu spesimen diamati pada mikroskop yang ditunjukkan pada **Gambar 3.14** untuk melihat ketebalan lapisan, permukaan lapisan yang terdapat goresan akibat *adherence test*, serta untuk membandingkan permukaan lapisan cadmium pada keadaan sebelum dan setelah pengujian korosi.

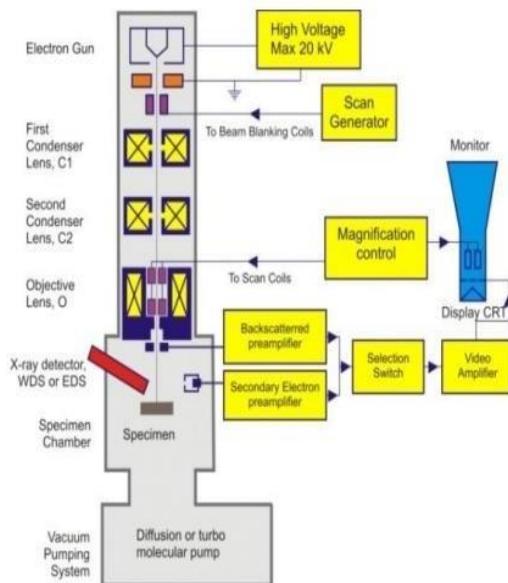
3.4.6 *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui struktur morfologi sebuah material.

SEM yang digunakan adalah Zeiss EVO MA 10. Perbesaran yang digunakan adalah 3000x *magnitude* dan 5000x *magnitude*. Pengamatan dilakukan pada permukaan lapisan oksida, sehingga harus dilakukan *coating* pada permukaannya dengan karbon.

Untuk melakukan pengujian SEM, kondisi spesimen di dalam SEM harus dalam keadaan vakum untuk menghindari gangguan pada berkas elektron yang disebabkan oleh molekul udara. Pada **Gambar 3.7** dapat dilihat komponen yang terdapat pada SEM dan cara kerjanya, yaitu yang pertama terdapat sebuah filamen yang digunakan sebagai sumber elektron, pada penelitian ini digunakan filamen dengan bahan tungsten. Kemudian terdapat 3 pasang lensa

elektromagnetik yang berfungsi memfokuskan berkas elektron dari sumber elektron hingga menjadi titik kecil yang berfokus pada spesimen. Kemudian 2 pasang *scan coil* di-*scan* dengan frekuensi variabel pada permukaan sampel. Kemudian terdapat *imaging detector* yang berfungsi untuk mengubah sinyal elektron menjadi gambar. Sesuai dengan jenis elektronnya, detektor dibagi menjadi 2, yaitu BSE (*Backscattered Electron*) dan SE (*Secondary Electron*).



Gambar 3.5 Blok diagram SEM (Sujatno, Salam, Bandriyana, & Dimiyati, 2015)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Ketebalan

Pada pengujian ketebalan dengan metode *Eddy current* dengan alat Dermatron 3000 plus didapatkan data yang ditunjukkan pada **Tabel 4.1**, **Tabel 4.2**, dan **Tabel 4.3**. Kemudian data diplot untuk mempermudah pembacaan dari ketebalan yang dihasilkan akibat pengaruh rapat arus pada **Gambar 4.1** dan akibat pengaruh waktu pelapisan pada **Gambar 4.2**.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Ketebalan pada Waktu Pelapisan 10 Menit

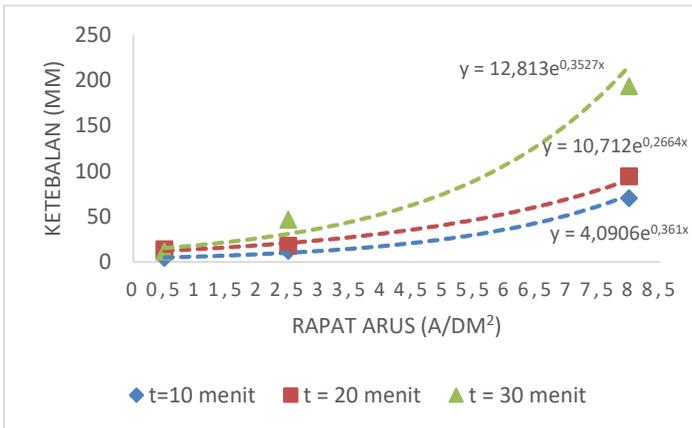
Dimensi (mm ²)	Rapat Arus (A/dm ²)	Ketebalan (μm)
100x25	0,5	4,28
	2,5	12,15
	8,0	69,93
150x100	0,5	1,42
	2,5	5,15
	8,0	27,05

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Ketebalan pada Waktu Pelapisan 20 Menit

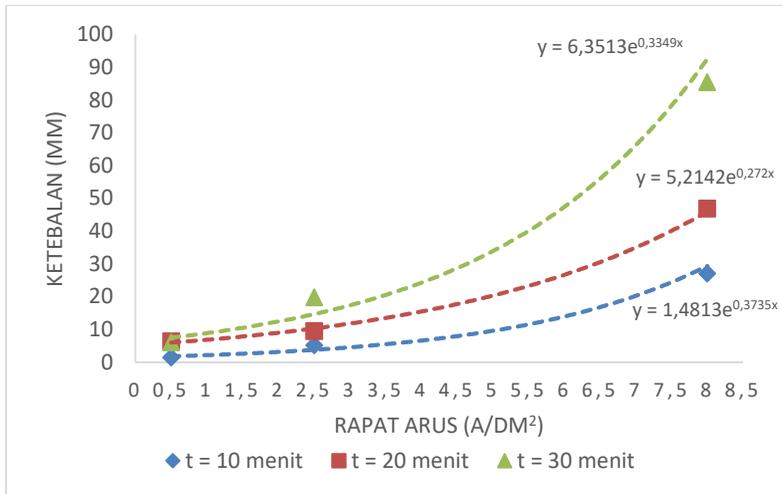
Dimensi (mm ²)	Rapat Arus (A/dm ²)	Ketebalan (μm)
100x25	0,5	11,35
	2,5	17,75
	8,0	94,19
150x100	0,5	6,33
	2,5	9,51
	8,0	46,91

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Ketebalan pada Waktu Pelapisan 30 Menit

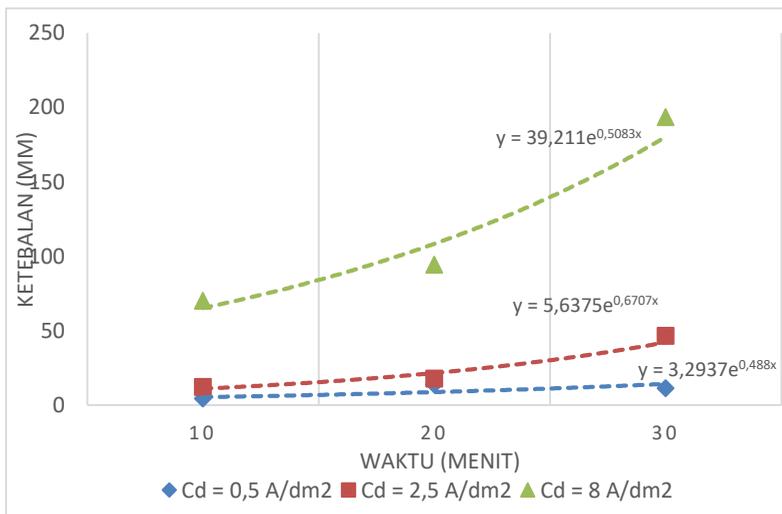
Dimensi (mm ²)	Rapat Arus (A/dm ²)	Ketebalan (μm)
100x25	0,5	13,77
	2,5	46,47
	8,0	193,27
150x100	0,5	6,02
	2,5	19,83
	8,0	85,39

**Gambar 4.1** Pengaruh rapat arus terhadap ketebalan pada sampel (100x25) mm²

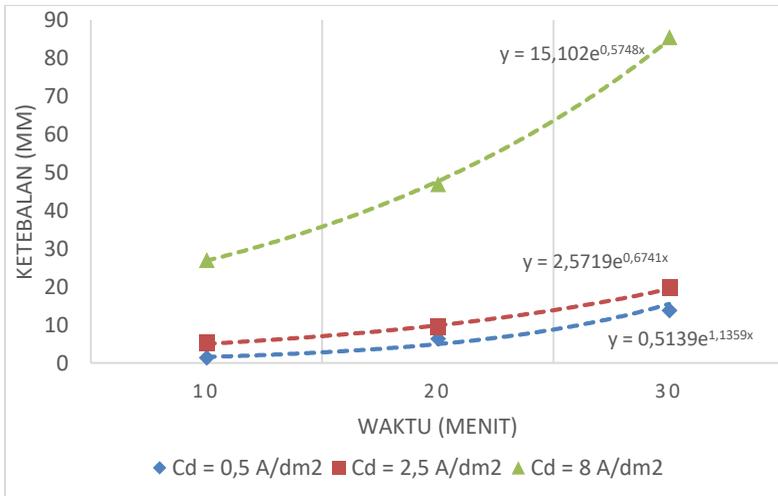
Berdasarkan **Gambar 4.1** pada pelapisan cadmium selama 10 menit didapatkan ketebalan pada spesimen berdimensi (100x25) mm² saat diberi rapat arus 0,5 A/dm² spesimen memiliki ketebalan lapisan cadmium sebesar 4,28 μm. Pada saat diberi rapat arus sebesar 2,5 A/dm² spesimen memiliki ketebalan lapisan cadmium sebesar 12,15 μm dan pada saat diberi rapat arus sebesar 8 A/dm² spesimen memiliki ketebalan sebesar 69,93 μm.



Gambar 4.2 Pengaruh rapat arus terhadap ketebalan pada sampel (100x25) mm²



Gambar 4.3 Pengaruh waktu terhadap ketebalan pada sampel (100x25) mm²



Gambar 4.4 Pengaruh waktu terhadap ketebalan pada sampel (150x100) mm²

Berdasarkan **Gambar 4.2** pada pelapisan cadmium selama 10 menit didapatkan ketebalan pada spesimen berdimensi (150x100) mm² saat diberi rapat arus 0,5 A/dm² spesimen memiliki ketebalan lapisan cadmium sebesar 1,42 µm. Pada saat diberi rapat arus sebesar 2,5 A/dm² spesimen memiliki ketebalan lapisan cadmium sebesar 5,15 µm dan pada saat diberi rapat arus sebesar 8 A/dm² spesimen memiliki ketebalan sebesar 27,05 µm.

Berdasarkan **Gambar 4.1** pada pelapisan cadmium selama 20 menit didapatkan ketebalan pada spesimen berdimensi (100x25) mm² saat diberi rapat arus 0,5 A/dm² spesimen memiliki ketebalan lapisan cadmium sebesar 11,35 µm. Pada saat diberi rapat arus sebesar 2,5 A/dm² spesimen memiliki ketebalan lapisan cadmium sebesar 17,75 µm dan pada saat diberi rapat arus sebesar 8 A/dm² spesimen memiliki ketebalan sebesar 94,19 µm.

Berdasarkan **Gambar 4.2** pada pelapisan cadmium selama 10 menit didapatkan ketebalan pada spesimen berdimensi (150x100) mm² saat diberi rapat arus 0,5 A/dm² spesimen memiliki ketebalan lapisan cadmium sebesar 6,33 µm. Pada saat diberi rapat arus sebesar 2,5 A/dm² spesimen memiliki ketebalan lapisan

cadmium sebesar $9,51 \mu\text{m}$ dan pada saat diberi rapat arus sebesar 8 A/dm^2 spesimen memiliki ketebalan sebesar $46,91 \mu\text{m}$.

Berdasarkan **Gambar 4.3** pada pelapisan cadmium selama 30 menit didapatkan ketebalan pada spesimen berdimensi $(100 \times 25) \text{ mm}^2$ saat diberi rapat arus $0,5 \text{ A/dm}^2$ spesimen memiliki ketebalan lapisan cadmium sebesar $13,77 \mu\text{m}$. Pada saat diberi rapat arus sebesar $2,5 \text{ A/dm}^2$ spesimen memiliki ketebalan lapisan cadmium sebesar $46,47 \mu\text{m}$ dan pada saat diberi rapat arus sebesar 8 A/dm^2 spesimen memiliki ketebalan sebesar $193,27 \mu\text{m}$.

Berdasarkan **Gambar 4.4** pada pelapisan cadmium selama 30 menit didapatkan ketebalan pada spesimen berdimensi $(150 \times 100) \text{ mm}^2$ saat diberi rapat arus $0,5 \text{ A/dm}^2$ spesimen memiliki ketebalan lapisan cadmium sebesar $6,02 \mu\text{m}$. Pada saat diberi rapat arus sebesar $2,5 \text{ A/dm}^2$ spesimen memiliki ketebalan lapisan cadmium sebesar $19,83 \mu\text{m}$ dan pada saat diberi rapat arus sebesar 8 A/dm^2 spesimen memiliki ketebalan sebesar $85,39 \mu\text{m}$.

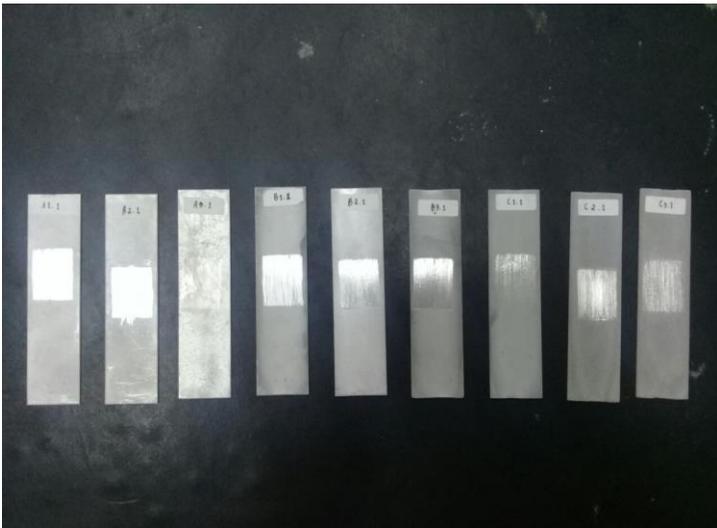
Semakin besar rapat arus yang diberikan dengan waktu yang sama akan membuat tebal lapisan menjadi semakin menebal serta semakin luas suatu spesimen maka akan semakin kecil tebal lapisan yang didapatkan. Begitu pula ketika semakin besar waktu yang diberikan untuk proses pelapisan maka akan semakin tebal lapisan yang terbentuk. Dengan rapat arus dan waktu yang sama ketika proses pelapisan didapatkan lapisan yang semakin tebal ketika luas permukaan spesimen semakin kecil. Rapat arus mempengaruhi proses pelepasan ion cadmium pada anoda dan pengendapan ion cadmium pada katoda.

Semakin tinggi rapat arus maka pelepasan ion pada anoda semakin cepat, serta pengendapan ion cadmium pada katoda pun lebih cepat. Lama waktu pelapisan membuat lapisan semakin menebal. Hal tersebut sesuai dengan Persamaan Faraday, bahwa berat deposit berbanding lurus dengan waktu pelapisan, sehingga ketebalan deposit juga ikut meningkat dengan bertambahnya waktu pelapisan. Berdasarkan **Gambar 4.1** sampai **Gambar 4.4** didapatkan grafik yang mengalami kenaikan secara eksponensial bukan secara linier, hal tersebut menunjukkan pemakaian rapat arus semakin tinggi akan mengurangi efektivitas *electroplating*.

Rapat arus yang semakin tinggi memacu timbulnya pengganggu yaitu gas hidrogen atau juga disebut sebagai *hydrogen embrittlement* pada ASTM B 633-07.

4.2 Hasil Pengujian Daya Lekat (*Adherence*)

Hasil dari pengujian daya lekat berdasarkan ASTM B 571 dengan menguji tentang kekuatan *adhesi* dari lapisan cadmium oleh *burnish* yang ditunjukkan pada **Gambar 4.5**, kemudian hasil pengelupasan dilihat dengan pengujian metalografi yang ditunjukkan oleh **Gambar 4.5**.



Gambar 4.5 Sampel setelah *adherence test* tanpa pengujian korosi

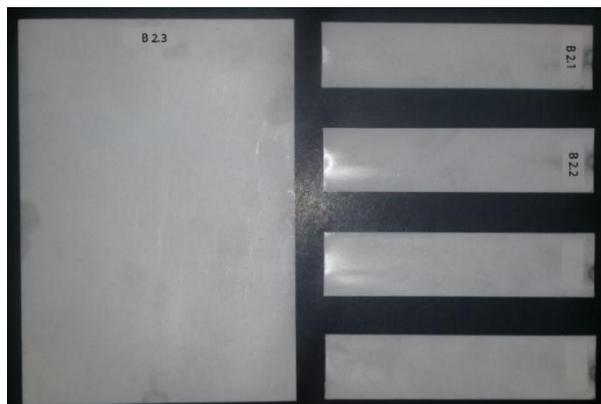
Berdasarkan **Gambar 4.5** dan **Tabel 4.4** menunjukkan bahwa semakin kecil rapat arus dan waktu yang diberikan maka lapisan yang terbentuk semakin tipis sehingga lapisan akan mudah terkelupas atau tergores. Rapat arus yang rendah tidak dapat melindungi baja AISI 4130 dengan baik karena lapisan cadmium mudah terkelupas dan menyebabkan logam berkontak langsung dengan udara yang dapat menimbulkan terjadinya korosi.

Tabel 4.4 Kondisi Lapisan Cadmium setelah Dilakukan *Adherence Test* dengan Pengamatan Secara *Visual Inspection*

Rapat Arus (A/dm ²)	Nama Sampel	Waktu (Menit)	Daya Lekat
0,5	A1.2	10	Buruk, Terkelupas
	A2.2	20	Buruk, Terkelupas
	A3.2	30	Baik, Tidak Terkelupas
2,5	B1.2	10	Baik, Tidak Terkelupas
	B2.2	20	Baik, Tidak Terkelupas
	B3.2	30	Baik, Tidak Terkelupas
8	C1.2	10	Baik, Tidak Terkelupas
	C2.2	20	Baik, Tidak Terkelupas
	C3.2	30	Baik, Tidak Terkelupas

4.3 Hasil Pengujian *Appearance Test*

Hasil dari pengujian *appearance test* berdasarkan *visual inspection* dengan melihat secara menyeluruh lapisan cadmium yang melapisi logam baja AISI 4130 yang ditunjukkan pada **Gambar 4.6**.



Gambar 4.6 Penampakan sampel dengan waktu pelapisan 20 menit dan rapat arus 2,5 A/dm²

Tabel 4.5 *Appearance Test* Pada Sampel

Rapat Arus (A/dm ²)	Nama Sampel	Waktu (Menit)	<i>Appearance Test</i>
0,5	A1.2	10	Halus, Tipis
	A2.2	20	Halus, Tipis
	A3.2	30	Halus, Lapisan Mengkilat, Tidak Terkelupas
2,5	B1.2	10	Halus, Lapisan Mengkilat, Tidak Terkelupas
	B2.2	20	Halus, Lapisan Mengkilat, Tidak Terkelupas
	B3.2	30	Lapisan Kasar, Tidak Mengkilat, Gosong
8	C1.2	10	Lapisan Kasar, Tidak Mengkilat, Gosong
	C2.2	20	Lapisan Kasar, Tidak Mengkilat, Gosong
	C3.2	30	Lapisan Kasar, Tidak Mengkilat, Gosong

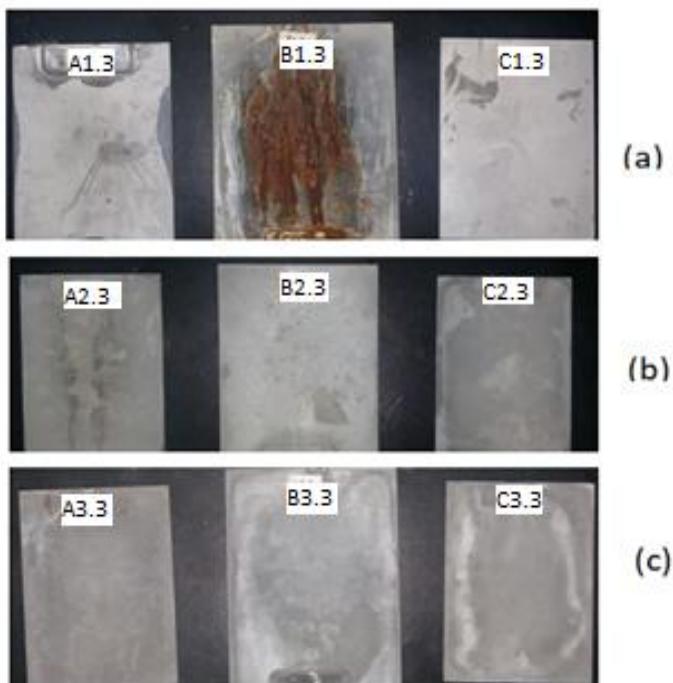
Berdasarkan **Tabel 4.5** mengenai visualisasi refleksi cahaya lapisan cadmium dari masing-masing spesimen yang dilakukan pada sampel didapatkan bahwa semakin besar rapat arus dan waktu yang digunakan dalam proses pelapisan membuat lapisan cadmium semakin tebal, kasar, tidak mengkilat serta terdapat gosong pada pinggiran permukaan sampel. Hal ini dikarenakan ion logam Cd²⁺ akan terfokus untuk melapisi secara terus menerus pada kutub positif spesimen yaitu yang terdapat pada pinggiran spesimen sehingga menyebabkan pinggiran spesimen terlihat gosong.

Spesimen dengan perlakuan rapat arus 0,5 A/dm² dengan segala variasi waktu mengindikasikan bahwa lapisan seng yang terbentuk terlalu tipis dan kurang merata. Pada spesimen dengan rapat arus 2,5 A/dm² dengan waktu pelapisan 30 menit serta spesimen dengan rapat arus 8 A/dm² dengan segala variasi waktu pelapisan, merefleksikan cahaya secara pudar atau tidak mengkilat, lapisan cadmium yang terbentuk tidak merata yaitu terbentuk

penumpukan cadmium pada banyak titik. Spesimen yang merefleksikan cahaya dengan terang yaitu sampel dengan perlakuan rapat arus $2,5 \text{ A/dm}^2$ dengan waktu pelapisan 10 menit dan yaitu sampel dengan perlakuan rapat arus $2,5 \text{ A/dm}^2$ dengan waktu pelapisan 20 menit memiliki lapisan yang cenderung merata.

4.4 Hasil Pengujian Ketahanan terhadap Korosi

Hasil pengujian korosi dapat dilihat dari **Tabel 4.6** dengan metode *visual inspection* dan **Tabel 4.7** untuk mengetahui laju korosi setelah pelapisan cadmium. Serta hasil sampel setelah pengujian korosi dengan metoda *salt spray chamber* dapat dilihat pada **Gambar 4.7**.



Gambar 4.7 Tampilan spesimen setelah uji korosi dengan waktu pelapisan, (a) 10 menit (b) 20 menit (c) 30 menit

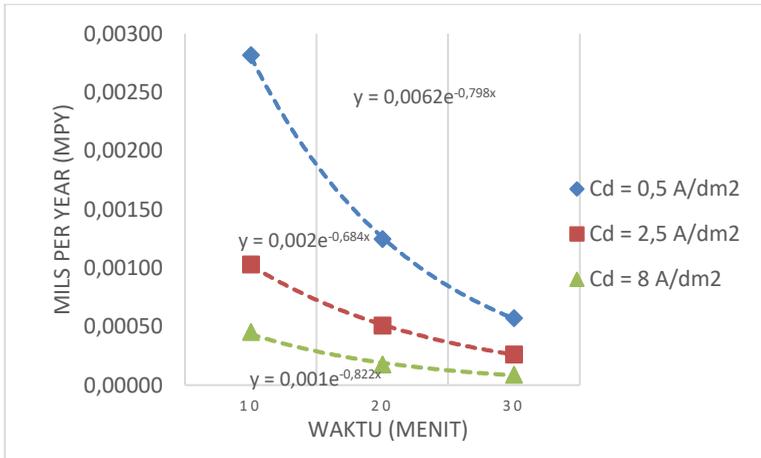
Tabel 4.6 Hasil *Visual Inspection* Sampel Setelah Uji Korosi

Rapat Arus (A/dm ²)	Nama Sampel	Waktu (menit)	Keterangan
0,5	A1.3	10	Terkorosi
	A2.3	20	Terkorosi
	A3.3	30	Tidak korosi
2,5	B1.3	10	Tidak korosi
	B2.3	20	Tidak korosi
	B3.3	30	Tidak korosi
8	C1.3	10	Tidak korosi
	C2.3	20	Tidak korosi
	C3.3	30	Tidak korosi

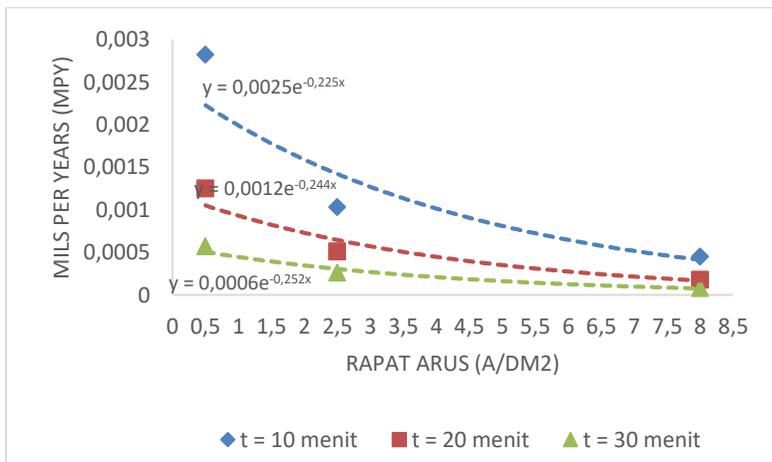
Berdasarkan **Gambar 4.7** dan **Tabel 4.6** didapatkan bahwa pada sampel dengan rapat arus 0,5 A/dm² dengan waktu pelapisan 10 menit dan sampel dengan rapat arus 0,5 A/dm² dengan waktu pelapisan 20 menit terjadi korosi pada sampel ketika diamati secara *visual*. Hal ini dikarenakan lapisan cadmium yang terbentuk pada rapat arus 0,5 A/dm² dengan waktu pelapisan 10 menit dan 20 menit menghasilkan lapisan cadmium yang sangat tipis sehingga membuat baja AISI 4130 dapat dengan mudah terkorosi.

Tabel 4.7 Data Hasil Uji Korosi

Rapat Arus (A/dm ²)	Nama Sampel	Waktu (menit)	Massa Sebelum Uji Korosi (gram)	Massa Sesudah Uji Korosi (gram)	Selisih Berat (gram)	Mpy
0,5	A1.3	10	95,568	95,139	0,429	0,00282
	A2.3	20	103,923	103,543	0,38	0,00125
	A3.3	30	116,719	116,458	0,261	0,00057
2,5	B1.3	10	141,943	141,786	0,157	0,00103
	B2.3	20	129,968	129,813	0,155	0,00051
	B3.3	30	125,873	125,753	0,12	0,00026
8	C1.3	10	119,362	119,293	0,069	0,00045
	C2.3	20	130,046	129,992	0,054	0,00018
	C3.3	30	123,459	123,419	0,04	0,00009



Gambar 4.8 Pengaruh rapat arus pelapisan terhadap laju korosi



Gambar 4.9 Pengaruh waktu pelapisan terhadap laju korosi

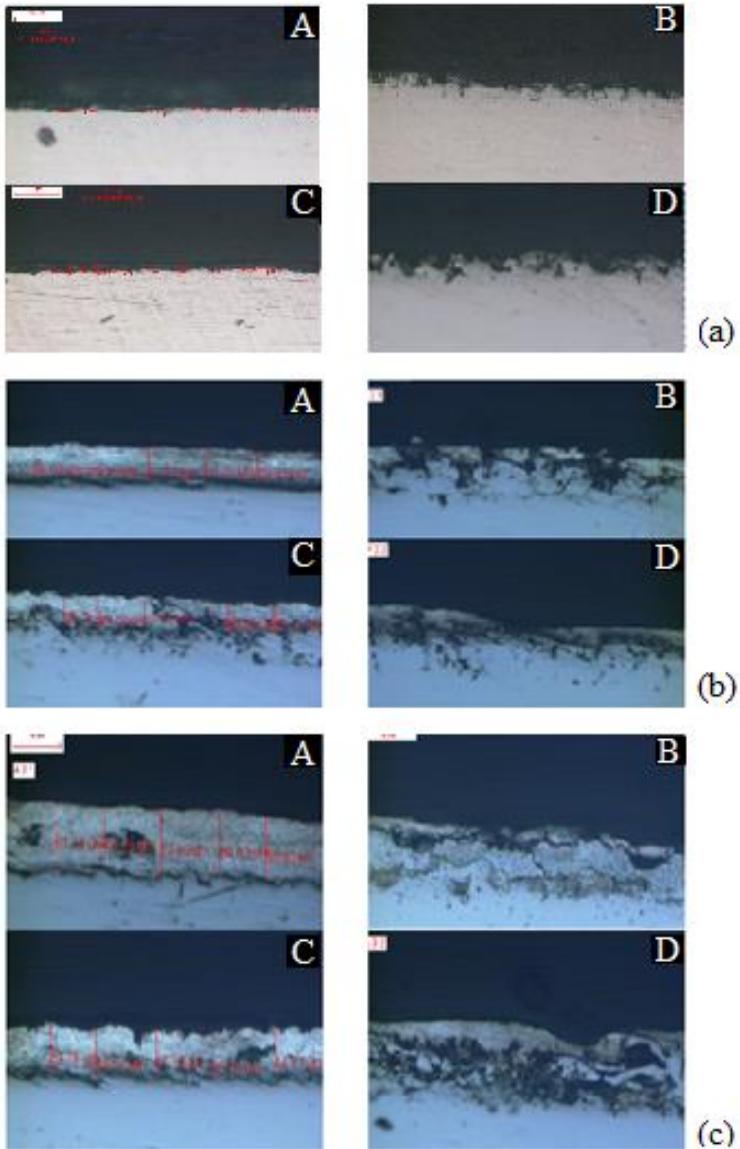
Berdasarkan **Gambar 4.8** dan **Gambar 4.9** didapatkan kesimpulan bahwa semakin lama waktu pelapisan dan semakin besar rapat arus yang diberikan maka semakin kecil laju korosi yang terjadi. Hal ini ditunjukkan dengan grafik penurunan laju korosi secara eksponensial. Laju korosi terbesar didapatkan pada

sampel dengan perlakuan rapat arus $0,5 \text{ A/dm}^2$ dengan waktu pelapisan selama 10 menit yaitu sebesar $0,00282 \text{ mpy}$ sedangkan laju korosi terkecil terdapat pada sampel dengan perlakuan rapat arus 8 A/dm^2 dengan waktu pelapisan 30 menit yaitu sebesar $0,00009 \text{ mpy}$. Semakin besar rapat arus dan waktu pelapisan yang diberikan pada proses *electroplating* mengakibatkan lapisan cadmium yang terbentuk semakin tebal sehingga baja AISI 4130 semakin terlindung dari kontak langsung terhadap lingkungan sehingga tidak mudah terkorosi, semakin sulit logam teroksidasi. Didapatkan bahwa pada pemberian rapat arus yang semakin kecil akan menyebabkan lapisan semakin tipis dan ketika dilakukan pengujian ketahanan korosi maka lapisan yang tipis tersebut akan terdegradasi sehingga menyebabkan baja AISI 4130 terkena langsung oleh atmosfer bergaram yang disemprotkan oleh *salt spray chamber* yang mengakibatkan baja AISI 4130 terkorosi. Ketika baja AISI 4130 terkorosi maka selisih berat sesudah dan sebelum tes ketahanan korosi semakin besar.

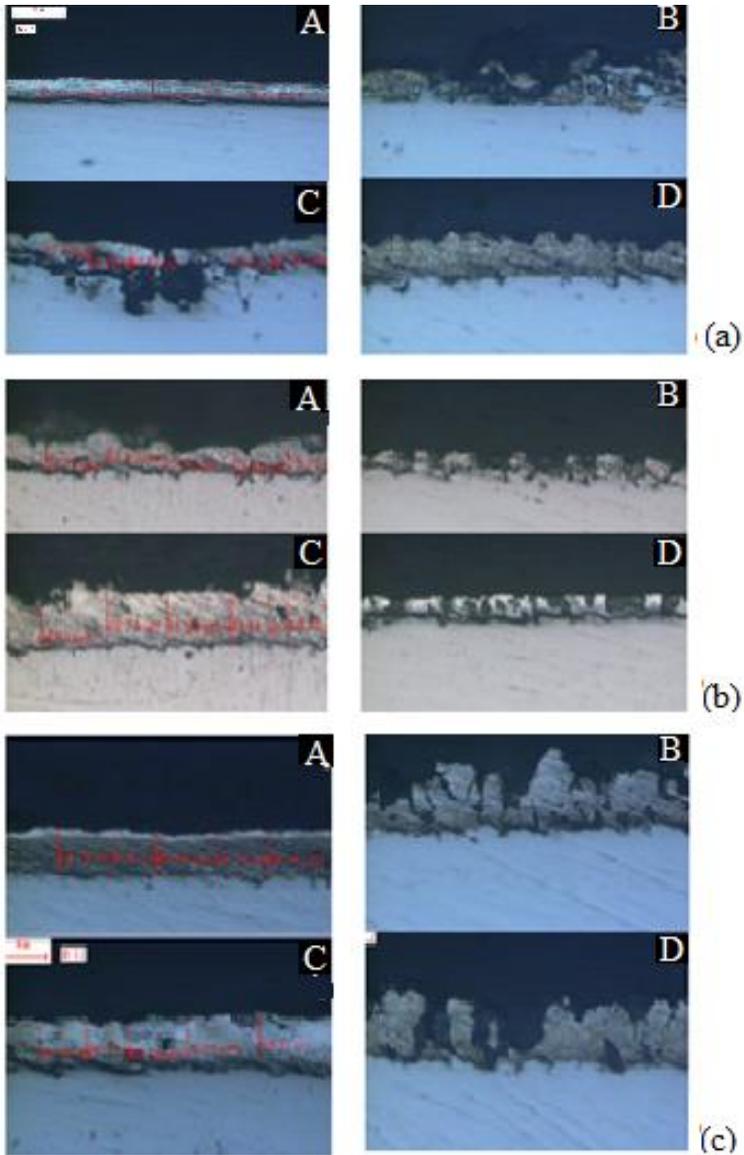
4.5 Hasil Pengujian Metalografi

Pada penelitian ini dilakukan pengujian metalografi untuk mengetahui persebaran batas butir dan presipitat yang terbentuk pada material AISI 4130. Material yang diuji dilakukan pada material dasar yang telah diberi lapisan cadmium dengan dan tanpa pengujian *salt spray chamber* serta dengan dan tanpa *adherence test*. Pembacaan hasil metalografi dipaparkan pada **Gambar 4.10** hingga **Gambar 4.12** dengan masing-masing kode gambar menunjukkan sampel dengan perlakuan pengujian sebagai berikut:

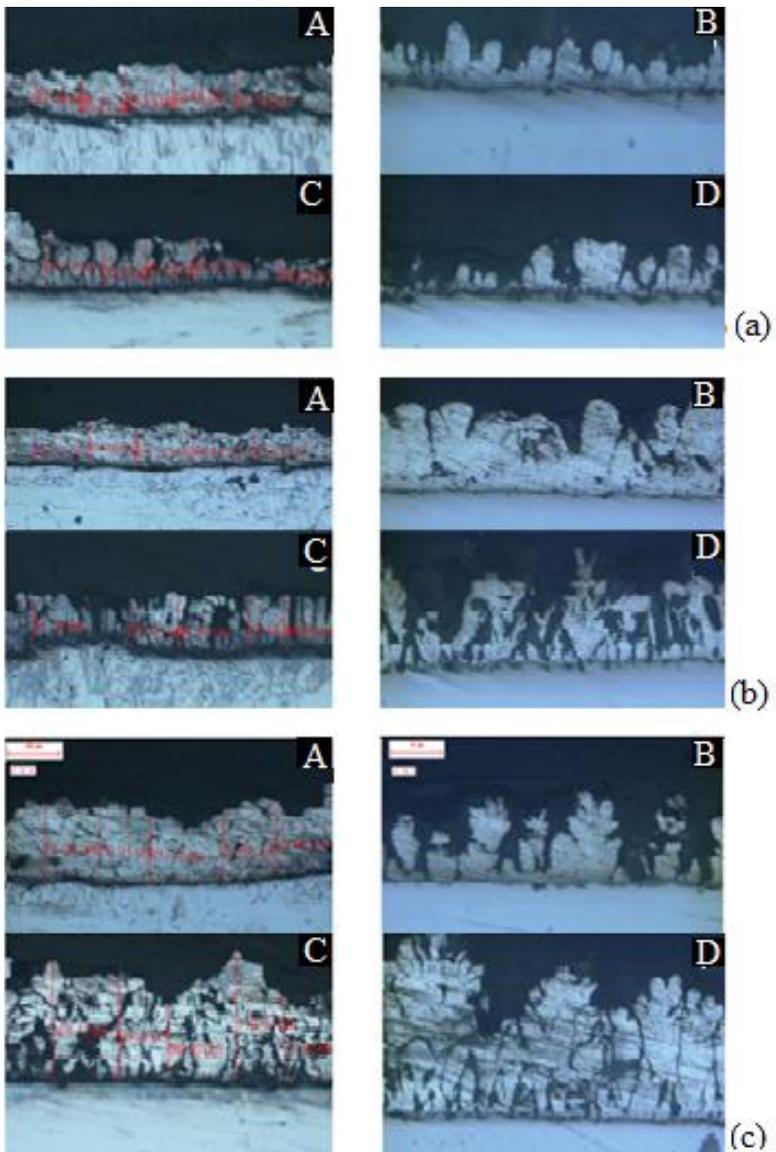
- A. tanpa uji korosi dan *adherence test*
- B. tanpa uji korosi dengan *adherence test*
- C. dengan uji korosi tanpa *adherence test*
- D. dengan uji korosi dan *adherence test*



Gambar 4.10 Metalografi sampel dengan rapat arus $0,5 \text{ A/dm}^2$ dan waktu pelapisan (a) 10 menit (b) 20 menit (c) 30 menit



Gambar 4.11 Metalografi sampel dengan rapat arus $2,5 \text{ A/dm}^2$ dan waktu pelapisan (a) 10 menit (b) 20 menit (c) 30 menit



Gambar 4.12 Metalografi sampel dengan rapat arus 8 A/dm^2 dan waktu pelapisan (a) 10 menit (b) 20 menit (c) 30 menit

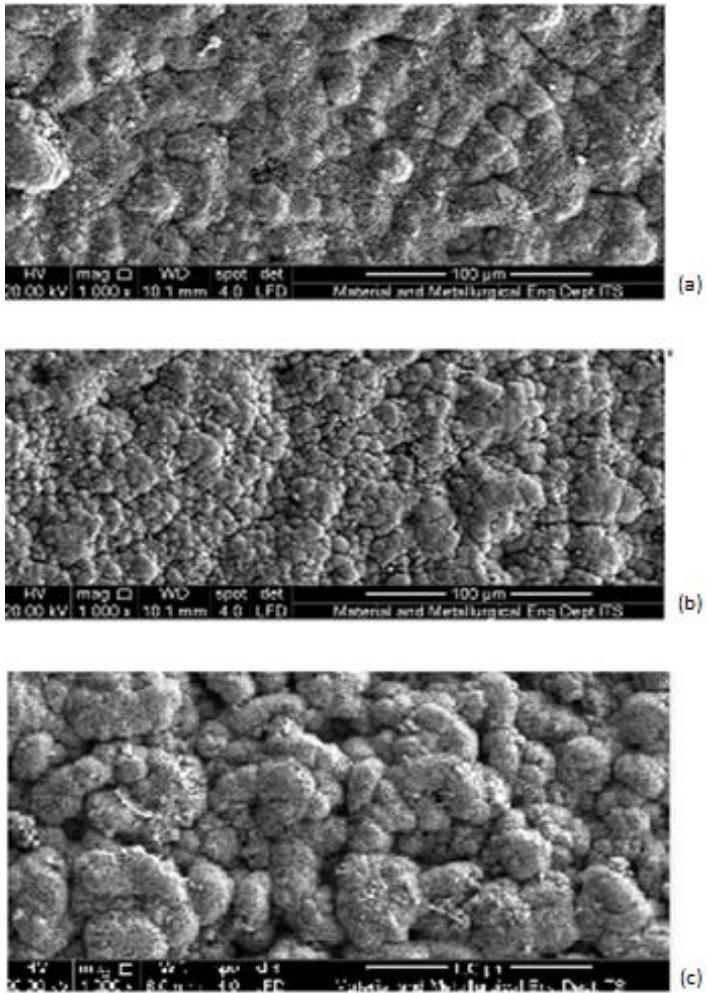
Berdasarkan pengujian metalografi yang didapatkan, bahwa lapisan cadmium yang terbentuk hanya menempel saja pada lapisan terluar material. Dapat dilihat pada spesimen tanpa uji korosi dan *adherence test* didapatkan hasil bahwa lapisan cadmium dapat melindungi *base metal* dari korosi karena terlihat bahwa korosi hanya terjadi pada lapisan cadmium saja tanpa mengenai lapisan *base metal* yaitu baja AISI 4130.

Pada spesimen tanpa uji korosi dengan perlakuan *adherence test* didapatkan bahwa lapisan cadmium masih dapat dengan baik melindungi base metal yaitu baja AISI 4130 dari korosi. Spesimen dengan *adherence test* dan di uji korosi dengan metode *salt spray chamber* didapatkan hasil lapisan korosi sampai ke bagian *base metal* dikarenakan lapisan semakin menipis dan semakin gampang untuk masuknya udara yang mengandung air garam ke dalam spesimen sedangkan, untuk spesimen dengan uji korosi dan tanpa *adherence test* didapatkan hasil bahwa lapisan cadmium masih dapat menahan lapisan korosi untuk masuk ke *base metal*.

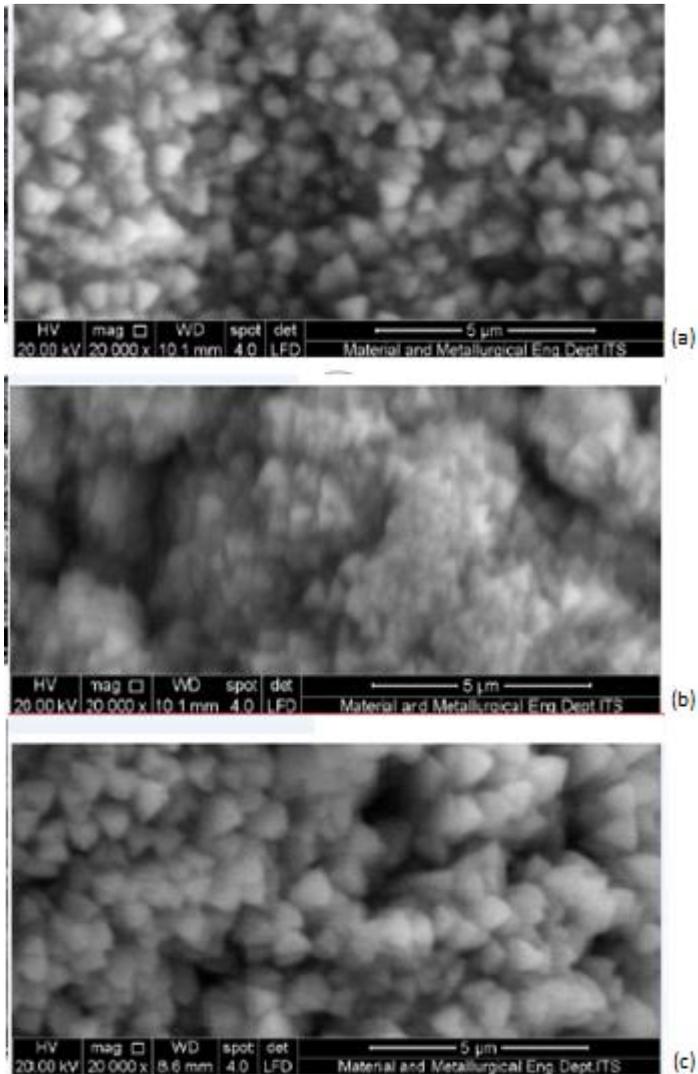
4.6 Pengujian SEM

Pengujian dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan untuk melihat permukaan lapisan cadmium yang melapisi baja AISI 4130. Hasil pengujian dapat dilihat pada **Gambar 4.13** dan **Gambar 4.14** yaitu pada sampel dengan waktu pelapisan yang sama yaitu 20 menit tetapi memiliki variasi rapat arus yang berbeda. Pengujian dilakukan dengan perbesaran 1000x untuk melihat lapisan cadmium pada baja AISI 4130 dan 20.000x untuk melihat bentuk molekul dari cadmium.

Pada pengamatan dengan perbesaran 1.000x dapat dilihat permukaan lapisan cadmium pada rapat arus $0,5 \text{ A/dm}^2$ yang ditunjukkan pada **Gambar 4.13 A**, permukaan lapisan cadmium lebih merata karena arus yang dipakai terlalu rendah sehingga lapisan yang dihasilkan tipis sehingga butir-butir cadmium yang terbentuk masih sedikit. Pada **Gambar 4.13 B** dimana spesimen mendapatkan perlakuan rapat arus $2,5 \text{ A/dm}^2$ menunjukkan bahwa lapisan semakin tebal dan lebih banyak membentuk butir.



Gambar 4.13 Hasil SEM dengan perbesaran 1.000x dari sampel dengan rapat arus saat proses pelapisan, (a) 0,5 A/dm² (b) 2,5 A/dm² (c) 8 A/dm²



Gambar 4.14 Hasil SEM dengan perbesaran 20.000x dari sampel dengan rapat arus saat proses pelapisan, (a) 0,5 A/dm² (b) 2,5 A/dm² (c) 8 A/dm²

Pada **Gambar 4.13 B** dimana spesimen mendapatkan perlakuan rapat arus $2,5 \text{ A/dm}^2$ menunjukkan bahwa lapisan semakin tebal dan lebih banyak membentuk butir. Pada **Gambar 4.13 C** dimana sampel mendapatkan perlakuan rapat arus 8 A/dm^2 menunjukkan bahwa permukaan lapisan cadmium semakin tebal dan tidak merata. Semakin tinggi rapat arus cadmium maka akan semakin banyak membentuk butiran-butiran yang semakin mengumpul sehingga menyebabkan permukaan lapisan tidak merata. Banyaknya elektron yang dibutuhkan pada reaksi reduksi ketika rapat arus yang diberikan semakin besar akan mempengaruhi tebal lapisan.

Pada **Gambar 4.14** didapatkan gambar deposisi cadmium yang berbentuk segitiga. Proses pembentukan butir cadmium membentuk *fine grain* atau butir halus karena butir yang dihasilkan berukuran kecil. Bentuk butir dipengaruhi oleh proses elektrolisis dan pemilihan larutan elektrolit yang membuat deposisi cadmium berbutir halus.

Ketidakterataan pelapisan disebabkan oleh pergerakan elektron yang menghindari kotoran dari cacat pada saat proses pelapisan ketika lapisan mulai menebal. Terdapat cacat pada saat proses pelapisan dikarenakan partikel cadmium berbentuk segitiga dan ketika proses pelapisan akan terjadi penyusunan molekul yang akan timbul celah dalam proses penyusunannya. Cacat yang terbentuk menyebabkan elektron menghindari pelapisan cadmium pada bagian yang cacat kemudian membuat arah gerak elektron tidak tersebar merata pada permukaan *base metal* baja AISI 4130 sehingga pola pelapisan yang terjadi seperti pada **Gambar 4.13** dimana pelapisan cadmium bergelombang dan tidak merata ketika rapat arus yang diberikan semakin besar.

4.7 Interpretasi Data

Dari hasil pengujian, nilai ketebalan memiliki kecenderungan naik pada setiap rapat arus. Semakin besar rapat arus yang diberikan dengan waktu yang sama akan membuat tebal lapisan menjadi semakin menebal serta semakin luas suatu spesimen maka akan semakin kecil tebal lapisan yang didapatkan.

Begitu pula ketika semakin besar waktu yang diberikan untuk proses pelapisan maka akan semakin tebal lapisan yang terbentuk. Nilai ketebalan tertinggi terdapat pada rapat arus 8 A/dm² dengan lama waktu pelapisan 30 menit dengan ketebalan sebesar 193,27 µm untuk spesimen dengan dimensi 100x25 mm² dengan persamaan eksponensial $y = 2,7417e^{1,4176x}$ dan 85,392 µm untuk spesimen dengan dimensi 150x100 mm² dengan persamaan eksponensial $y = 0,3059e^{1,4735x}$.

Pada pengujian *adherence test* menunjukkan bahwa semakin kecil rapat arus dan waktu yang diberikan maka lapisan yang terbentuk semakin tipis sehingga lapisan akan mudah terkelupas atau tergores. Rapat arus 0,5 A/dm² dengan waktu pelapisan 30 menit, rapat arus 2,5 A/dm² dan 8 A/dm² dengan segala variasi waktu pelapisan dapat melindungi baja AISI 4130 dengan baik karena lapisan cadmium tidak mudah terkelupas yang menyebabkan logam berkontak langsung dengan udara yang dapat menimbulkan terjadinya korosi.

Pada pengujian *appearance test*, spesimen yang merefleksikan cahaya dengan terang atau mengkilat yaitu sampel dengan perlakuan rapat arus 0,5 A/dm² dengan waktu pelapisan 30 menit; 2,5 A/dm² dengan waktu pelapisan 10 menit dan sampel dengan perlakuan rapat arus 2,5 A/dm² dengan waktu pelapisan 20 menit memiliki lapisan yang cenderung merata. Hal ini dikarenakan tujuan dari pelapisan cadmium selain untuk melindungi suatu logam dari korosi juga menjadi pelapis yang mempercantik tampilan suatu logam.

Pada pengujian *corrosion resistant test* didapatkan laju korosi terkecil pada sampel dengan perlakuan rapat arus 8 A/dm² dengan waktu pelapisan 30 menit yaitu sebesar 0,00009 mpy. Serta untuk pengujian secara *visual inspection*, sampel dengan rapat arus 2,5 A/dm² dengan waktu pelapisan 20 menit terlihat bahwa setelah dilakukan uji korosi, sampel masih terlihat tetap mengkilat tanpa adanya bercak korosi pada logam.

Berdasarkan **Tabel 2.2** tentang klasifikasi ketebalan lapisan cadmium, terdapat 2 buah spesimen yang memenuhi klasifikasi pelapisan yang ditentukan oleh perindustrian untuk

ketebalan *fastener* yaitu pelapisan cadmium dengan rentang ketebalan sebesar 13-20 μm . Sampel dengan perlakuan rapat arus 0,5 A/dm^2 dengan waktu pelapisan 30 menit memiliki ketebalan sebesar 13,77 μm dan sampel dengan perlakuan rapat arus 2,5 A/dm^2 dengan waktu pelapisan 20 menit memiliki ketebalan sebesar 17,75 μm pada sampel berdimensi (100x25) mm^2 .

Rapat arus 2,5 A/dm^2 dengan waktu pelapisan 20 menit dipilih sebagai parameter pelapisan yang paling efektif dikarenakan sampel memiliki *appearance* yang bagus yaitu halus, tidak ada serbuk cadmium yang mengelupas, tidak adanya gosong atau *blistering*; daya lekat yang bagus karena ketika dilakukan penggosokan dengan menggunakan rod nikel tidak terjadi pengelupasan sampai ke *base metal* yaitu baja AISI 4130; memiliki ketebalan yang memenuhi standar klasifikasi pelapisan kelas I dengan waktu pelapisan yang lebih singkat dari sampel dengan waktu pelapisan 0,5 A/dm^2 untuk mencapai ketebalan yang sudah distandarkan; memiliki ketahanan terhadap korosi yang baik dapat dilihat dengan pengamatan pada pengujian secara *visual inspection* bahwa setelah dimasukan kedalam *salt spray chamber* selama 336 jam lapisan cadmium tetap terlihat mengkilat dengan laju korosi sebesar 0,00051 mpy dan pada pengujian metalografi menunjukkan bahwa lapisan cadmium dapat melindungi *base metal* dari korosi ketika mendapat perlakuan *adherence test* maupun tidak.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V KESIMPULAN

Berdasarkan data dan analisis penelitian yang diperoleh maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Semakin besar rapat arus dan waktu pelapisan maka semakin tebal lapisan cadmium yang terbentuk. Nilai ketebalan tertinggi terdapat pada rapat arus 8 A/dm² dengan lama waktu pelapisan 30 menit dengan ketebalan sebesar 193,27 μm untuk spesimen berdimensi 100x25 mm² dengan kenaikan ketebalan secara eksponensial $y = 12,813e^{0,3527x}$ dan 85,39 μm untuk spesimen berdimensi 150x100 mm² dengan kenaikan ketebalan secara eksponensial $y = 6,3513e^{0,3349x}$.
2. Semakin besar rapat arus dan waktu pelapisan maka semakin baik ketahanan terhadap korosi. Laju korosi terendah terdapat pada rapat arus 8 A/dm² dengan waktu pelapisan 30 menit dengan nilai sebesar 0,00009 mpy.
3. Nilai optimal untuk rapat arus dan waktu pelapisan terhadap adhesivitas lapisan, metalografi, *appearance test* serta sesuai dengan kriteria pelapisan kelas I yaitu dengan ketebalan antara 13 – 20 μm didapat pada spesimen pada rapat arus 2,5 A/dm² dengan waktu 20 menit dengan ketebalan sebesar 17,750 μm . Struktur mikro sampel ini dapat melindungi baja AISI 4130 dengan baik pada saat diuji korosi dengan dan maupun tanpa *adherence test*.

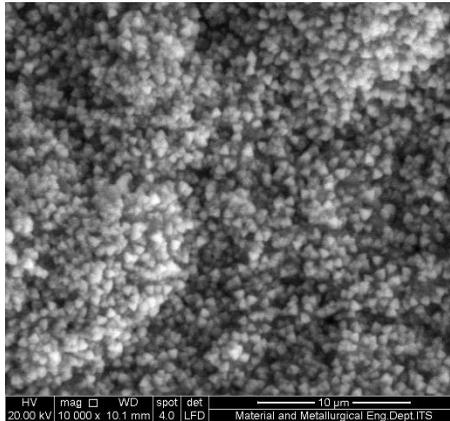
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

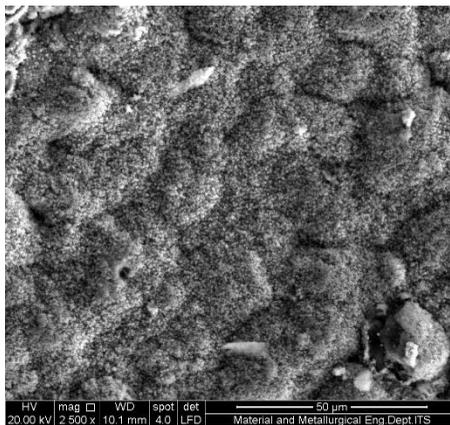
- Davis, H. E., 1982,. The Testing of Engineering Materials, Mc. Graw Hill Inc
- AISI 4130 Steel | 25CrMo4 | 1.7218 | 708A25 | SCM430. Diakses pada 27 Desember 2017. <https://www.astmsteel.com/product/4130-steel-aisi-25crmo4-7218-scm430/>
- Jones, Denny. 1996. "Principles and Prevention of Corrosion" New York: Mcmillan Publishing Company
- Marcus P., and Oudar J., 1995. Corrosion Mechanisms in Theory and Practice, Marcel Dekker Inc
- Holleman, A. F.; Wiberg, E; Wiberg, Nils. 1985. "Cadmium". *Lehrbuch der Anorganischen Chemie, 91–100*. Walter de Gruyter. hlmn. 1056–1057. ISBN 978-3-11-007511-3.
- PTDI Manual Part 41 D Process Specification (PS20). 2017.
- Lowenheim, Frederick. A., 1978. Electroplating, McGraw-Hill Book Company
- Fontana, Mars G., Greene Norbert D., 1983. "Corrosion Engineering International". International Student Edition
- Saleh, AA,. 1995, *Pelapisan Logam*, Buku Pegangan Industri Elektroplating, Balai Besar Pengembangan Industri Logam dan Mesin, Bandung
- Topayung, Daud. "Pengaruh Arus Listrik dan Waktu Proses Terhadap Ketebalan dan Massa Lapisan yang Terbentuk pada Proses Elektroplating Pelat Baja". Politeknik Negeri Manado. 2011.
- Tamprin, M. "Studi Pelapisan Krom dengan Proses Elektroplating pada Handel Rem Sepeda Motor dengan Variasi Rapat Arus". Universitas Muhammadiyah Surakarta. 2013.
- Wulandari "Analisis Proses Pelapisan Cadmium Ditinjau dari Ketebalan Ketahanan Terhadap Korosi dan Daya

- Lekat". Universitas Diponegoro. 1995.
- Lawrence, V.H. Elemen-elemen Ilmu dan Rekayasa Material. Edisi Keenam. Erlangga, Jakarta. 2004
- Sukardjo. Kimia Fisika, Bina Aksara, Jakarta. 1985
- Lawrence, J. *Electroplating Engineering Handbook*, 4th Edition. Van Nostrand Reinhold Company, New York. 1984
- Calister, Jr, W. D., & Rethwisch, D. G. (2009). *Materials science and engineering an introduction* (8 ed.). United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Garcia-Martin, J., Gomez-Gil, J., & Vazquez-Sanchez, E. (2011). Non-destructive test based on eddy current testing. *PubMed*.
- Popov, B. N. (2015). *Corrosion Engineering: Principles and Solved Problems*. Oxford, United Kingdom: Elsevier.
- Smith, W. F. (1993). *Foundation of Materials Science and Engineering*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Stevenson, F. M. (1990). *ASM Handbook Volume 5 Surface Engineering*. United States of America: ASM Handbook.
- Yerikho, Raharjo, Wahyu, & Kusharjanta, Bambang. (2013) Optimalisasi Variasi Tegangan dan Waktu Terhadap Ketebalan dan Adhesivitas Lapisan pada Plat Baja
- MR, Harahap (2016). Sel Elektrokimia : Karakteristik dan Aplikasi.

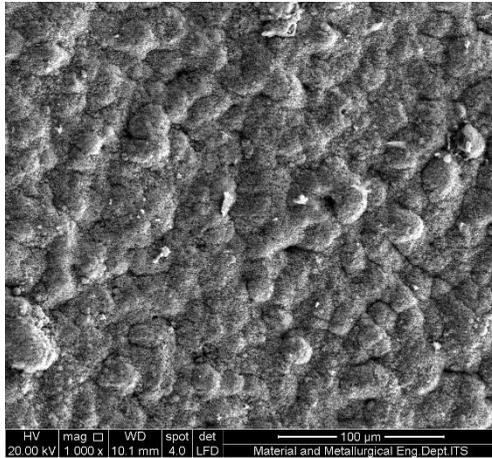
LAMPIRAN A



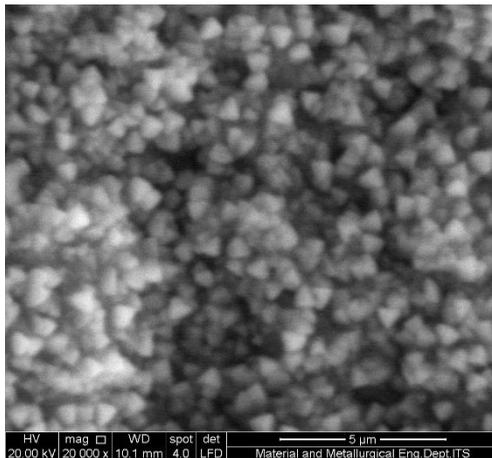
Gambar A.1 Hasil metalografi spesimen dengan rapat arus $0,5 \text{ A/dm}^2$ dan waktu pelapisan 20 menit dengan perbesaran 1000x



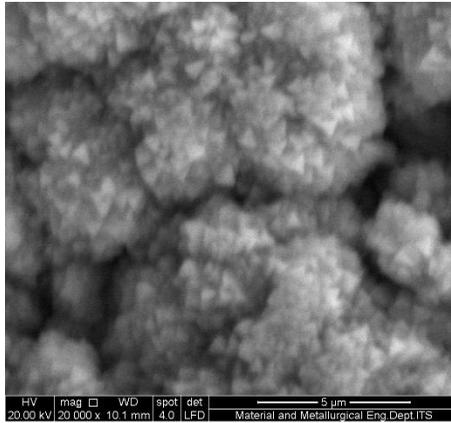
Gambar A.2 Hasil metalografi spesimen dengan rapat arus $0,5 \text{ A/dm}^2$ dan waktu pelapisan 20 menit dengan perbesaran 2500x



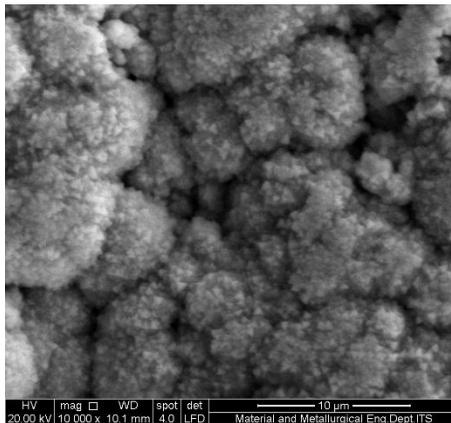
Gambar A.3 Hasil metalografi spesimen dengan rapat arus 0,5 A/dm² dan waktu pelapisan 20 menit dengan perbesaran 10000x



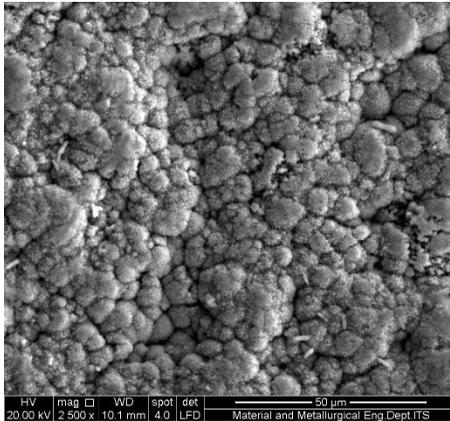
Gambar A.4 Hasil metalografi spesimen dengan rapat arus 0,5 A/dm² dan waktu pelapisan 20 menit dengan perbesaran 20000x



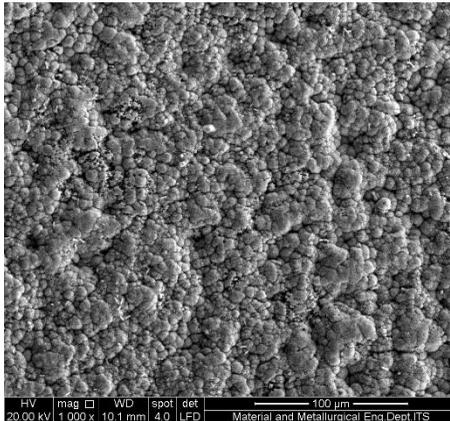
Gambar A.5 Hasil metalografi spesimen dengan rapat arus 2,5 A/dm² dan waktu pelapisan 20 menit dengan perbesaran 1000x



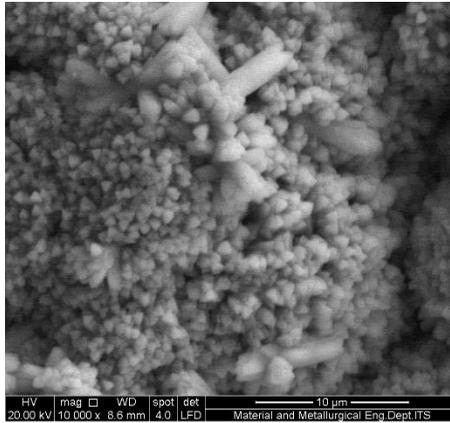
Gambar A.6 Hasil metalografi spesimen dengan rapat arus 2,5 A/dm² dan waktu pelapisan 20 menit dengan perbesaran 2500x



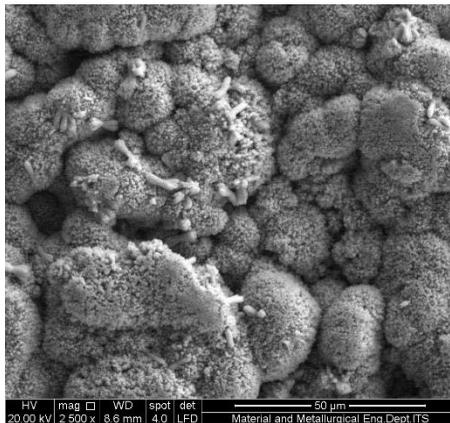
Gambar A.7 Hasil metalografi spesimen dengan rapat arus 2,5 A/dm² dan waktu pelapisan 20 menit dengan perbesaran 10000x



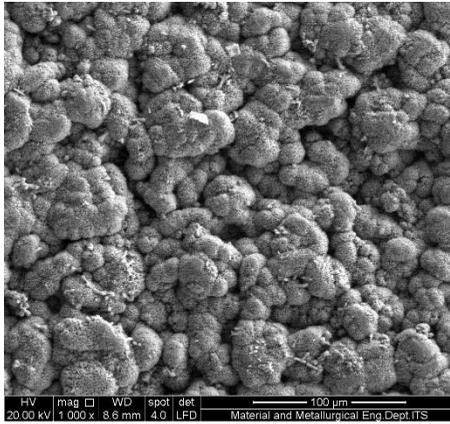
Gambar A.8 Hasil metalografi spesimen dengan rapat arus 2,5 A/dm² dan waktu pelapisan 20 menit dengan perbesaran 20000x



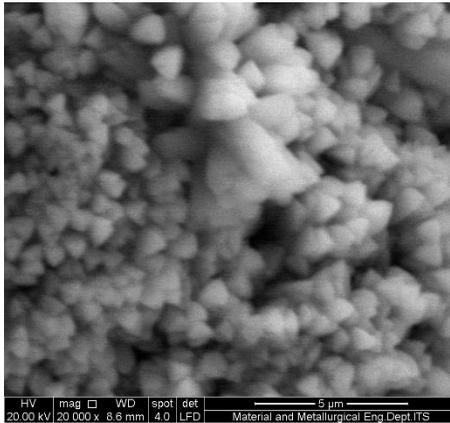
Gambar A.9 Hasil metalografi spesimen dengan rapat arus 8 A/dm² dan waktu pelapisan 20 menit dengan perbesaran 1000x



Gambar A.10 Hasil metalografi spesimen dengan rapat arus 8 A/dm² dan waktu pelapisan 20 menit dengan perbesaran 2500x



Gambar A.11 Hasil metalografi spesimen dengan rapat arus 8 A/dm² dan waktu pelapisan 20 menit dengan perbesaran 10000x



Gambar A.12 Hasil metalografi spesimen dengan rapat arus 8 A/dm² dan waktu pelapisan 20 menit dengan perbesaran 20000x

LAMPIRAN B



Gambar B.1 *Coating spesimen*



Gambar B.2 Mesin gerinda kecepatan tinggi



Gambar B.3 Mesin gerinda kecepatan rendah Bueller IsoMet s1000



Gambar B.4 Mesin *grinding* dan *polishing* Struers Labforce-50



Gambar B.5 Mikroskop Nikon Eclipse LV150

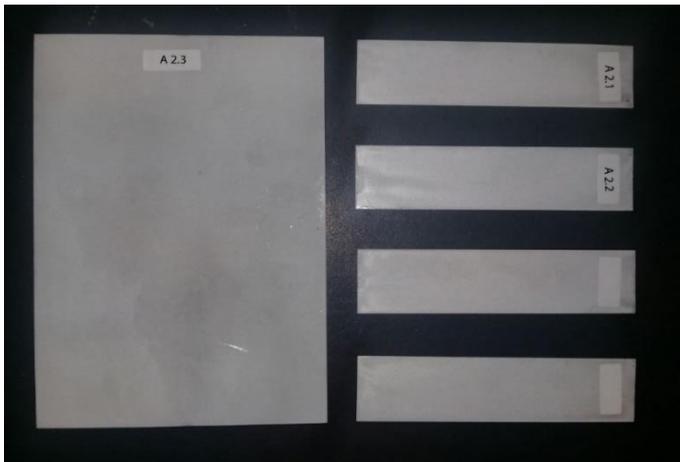


Gambar B.6 *Salt Spray Chamber*

LAMPIRIN C



Gambar C.1 Penampakan sampel dengan waktu pelapisan 10 menit dan rapat arus $0,5 \text{ A/dm}^2$



Gambar C.2 Penampakan sampel dengan waktu pelapisan 10 menit dan rapat arus $2,5 \text{ A/dm}^2$



Gambar C.3 Penampakan sampel dengan waktu pelapisan 10 menit dan rapat arus 8 A/dm²



Gambar C.4 Penampakan sampel dengan waktu pelapisan 20



Laporan.pdf

menit dan rapat arus $0,5 \text{ A/dm}^2$



Gambar C.5 Penampakan sampel dengan waktu pelapisan 20 menit dan rapat arus $2,5 \text{ A/dm}^2$



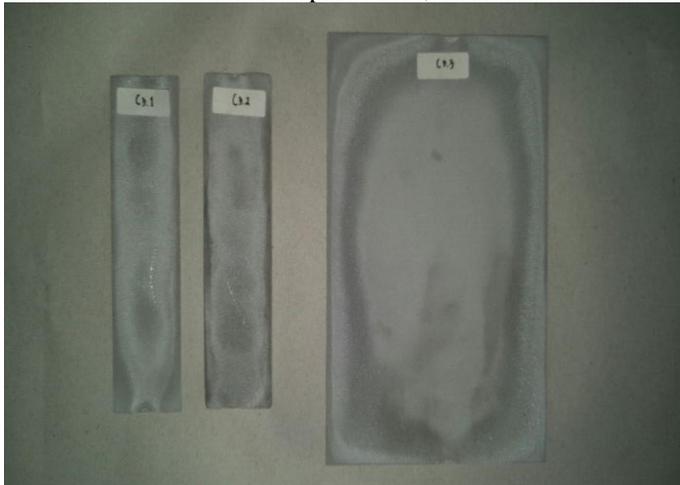
Gambar C.6 Penampakan sampel dengan waktu pelapisan 20 menit dan rapat arus 8 A/dm²



Gambar C.7 Penampakan sampel dengan waktu pelapisan 30 menit dan rapat arus 0,5 A/dm²



Gambar C.8 Penampakan sampel dengan waktu pelapisan 30 menit dan rapat arus $2,5 \text{ A/dm}^2$



Gambar C.9 Penampakan sampel dengan waktu pelapisan 30 menit dan rapat arus 8 A/dm^2



Nama lengkap penulis adalah Amanda Septiana, lahir di Kabupaten Karanganyar pada tanggal 9 September 1995. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan formal yaitu SDN Babarsari (2001-2007), SMPN 5 Yogyakarta (2007-2010), dan SMAN 3 Yogyakarta(2010-2013). Setelah lulus dari SMA, penulis diterima pada program studi Metrologi dan Instrumentasi Institut Teknologi Bandung(2013-2016), kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Fisika ITS (2016-2018). Selama kuliah, penulis telah aktif dalam beberapa organisasi seperti Ketua Gathering KM ITB periode 2014-2015, Keamanan Pasar Seni ITB 2014, Staff Eksternal “Aku Masuk ITB” 2015, Anggota Robotika ITS 2016, Tim ITS Formula Electric Car 2018. Pada saat masa kuliah, penulis mengikuti *internship* di PT.Pertamina Persero RU IV Cilacap, divisi electrical dan Instrumental engineering dan Pusat Teknologi Material – BPPT Serpong, divisi pengembangan material nanoteknologi. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi mengenai tugas akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email : amanda.septianaa@gmail.com