

PENGARUH VELOCITY DAN WAKTU PADA HARDENING
DAN TEMPERING TERHADAP LAJU BAJA KOMPOS DAN
KEKUALAHAN PERMUKAAN PADA KARBON BONDAL

Tugas Akhir

Dijutuskan Untuk Memenuhi Sebagian Syarat

Menempuh Gelar Sarjana Sains -1 Teknik Mesin



Dijumlah oleh:

Nama : ZAKIYAH ABIDIN

NIM : 113010001

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS WAHID HASYIM SEMARANG

2020



FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS WAHID HASYIM

HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH VOLTASE DAN WAKTU PADA *HARDCHROME* *ELECTROPLATING* TERHADAP LAJU KOROSI DAN KEKERASAN PERMUKAAN PADA BAJA KARBON RENDAH

Telah diperiksa dan disetujui untuk dipertahankan dihadapan Dewan Penguji Tugas Akhir Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.

Hari : Kamis

Tanggal : 30 April 2020

Pembimbing I

Dr. Helmy Purwanto, ST., MT

NIDN: 06610047501

Pembimbing II

Dr. S. M. Bondan Respati, ST., MT

NIDN:0613017702



FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS WAHID HASYIM

LEMBAR PENGESAHAN UJIAN/ REVISI

Nama : Zaenal Abidin
NIM : 15.301.0025
Judul TA : Pengaruh voltase dan waktu pada hardchrome electroplating terhadap laju korosi dan kekerasan permukaan pada baja karbon rendah

Telah dipertahankan dan direvisi di depan Dewan Penguji Tugas Akhir Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang

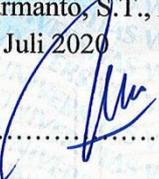
1. Penguji 1

Nama : Dr. H. Helmy Purwanto, S.T., M.T.
Tanggal Pengesahan : 28 Juli 2020

Tanda Tangan : 

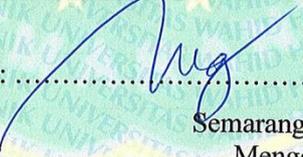
2. Penguji 2

Nama : Darmanto, S.T., M.Eng.
Tanggal Pengesahan : 24 Juli 2020

Tanda Tangan : 

3. Penguji 3

Nama : Agung Nugroho, S.T., M.T.
Tanggal Pengesahan : 23 Juli 2020

Tanda Tangan : 

Semarang, 29 Juli 2020
Mengetahui
Ketua Program Studi


M. Dzulfikar, S.T., MT

NPP: 05.15.1.0324



FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS WAHID HASYIM

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Zaenal Abidin
NIM : 153010025
Program studi : Teknik Mesin

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini bukan merupakan jiplakan dan juga bukan dari karya orang lain.

Semarang, 30 April 2020

Yang menyatakan

(Zaenal Abidin)

MOTTO DAN HALAMAN PERSEMBAHAN

MOTTO

- *Kuncinya memiliki iman, seberapapun besar beban hidup dengan berlandaskan dengan iman, hidup akan tetap mengarah kejalan Allah SWT.*
- *Segala kesempurnaan hanya milik Allah SWT. Tetapi kita harus berusaha menjadi lebih baik di hari berikutnya.*
- *Tetep percaya disetiap Kesulitan pasti ada solusi, Jika tetap mau berihitar dan tawakal kepada Allah SWT.*
- *Memanfaatkan waktu dengan lebih bermanfaat lagi agar menjadi berkah kedepannya.*
- *Menjadi orang yang bisa memberi manfaat kepada orang lain.*

PERSEMBAHAN

- *Allah SWT yang selalu melimpahkan rahmat dan nikmat-Nya.*
- *Nabi Muhammad SAW sebagai sumber inspirasi dalam segala tindakan dan langkah hidup kami.*
- *Untuk Orang Tuaku tercinta Ibu At minah, Bapak Muh tarom*
- *Untuk semua saudaraku Umi khoriyah, Amir Mahmud dan Mar'atul Hidayah*
- *Teman-teman dan sahabatku di Teknik Mesin Universitas Wahid Hasyim Semarang.*

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan rasa syukur Alhamdulillah penulis menyelesaikan Tugas Akhir (TA) sebagai syarat meraih gelar Sarjana Strata-1 Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Wahid Hasyim Semarang. Adapun judul dari Tugas Akhir ini adalah **“PENGARUH VOLTASE DAN WAKTU PADA *HARDCHROME ELECTROPLATING* TERHADAP LAJU KOROSI DAN KEKERASAN PERMUKAAN PADA BAJA KARBON RENDAH .**

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, karena keterbatasan pengetahuan serta pengalaman penulis, namun demikian penulis telah bekerja keras dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini sampai ditangan para pembaca.

Dalam penyusunan proposal Tugas Akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih atas sumbang saran kepada:

1. Dr. H. Helmy Purwanto, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang dan dosen pembimbing 1.
2. Dr. S. M. Bondan Respati, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Wahid Hasyim Semarang dan dosen pembimbing II.
3. Darmantor, S.T. , M.Eng. selaku Dosen wali.

Akhirnya penulis mohon maaf apabila ada kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna menyempurnakan laporan ini. Semoga Tugas Akhir ini kelak bermanfaat bagi para pembaca. Terima kasih.

Semarang, 30 April 2020

Penulis



Zaenal Abidin

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN UJIAN/ REVISI.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
MOTTO DAN HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	5
II.1 Tinjauan Pustaka.....	5
II.2 Landasan Teori	7
II.2.1 Baja	7
II.2.2 Baja Karbon.....	8
II.2.3 Baja Karbon ST 40	10
II.2.4 Korosi	11
II.2.4.1 Perngertian Korosi	11

II.2.4.2 Faktor terjadinya korosi.....	12
II.2.4.3 Jenis-jenis korosi.....	13
II.2.4.4 Laju korosi	17
II.2.4.5 Faktor yang mempengaruhi laju korosi	18
II.2.5 Elektroplating.	19
II.2.5.1 Bahan-bahan pelapis pada elektroplating	20
II.2.5.2 Faktor yang mempengaruhi elektroplating	22
II.2.5.3 Parameter-parameter proses elektroplating.....	24
II.2.6 Tahapan proses elektroplating	25
II.2.7 <i>Hardchrome</i>	28
II.2.8 Pengukuran ketebalan lapisan.....	28
II.2.9 Pengujian kekerasan lapisan	29
BAB III METODE PENELITIAN.....	31
III.1 <i>Flowchart</i> metode penelitian.....	31
III.2 Variabel penelitian	33
III.3 Waktu dan tempat penelitian	33
III.4 Peralatan penelitian	33
III.5 Bahan penelitian	36
III.6 Preparasi baja	36
III.7 Proses pelapisan elektroplating	37
III.8 Pengujian kekerasan lapisan permukaan.....	39
III.9 Pengujian ketebalan lapisan	41
III.9.1 Pengujian merusak.....	41
III.10 Pengujian laju korosi	44

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	46
IV.1 Hasil pengujian komposisi baja	46
IV.2 Hasil elektroplating	47
IV.3 Hasil pengujian ketebalan lapisan permukaan	48
IV.4 Hasil pengujian kekerasan lapisan permukaan	49
IV.5 Hasil pengujian laju korosi	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	56
V.1 Kesimpulan	56
V.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Gambar korosi seragam pada pipa ballast.....	14
Gambar II.2 Gambar korosi galvanik	14
Gambar II.3 Gambar korosi celah.....	15
Gambar II.4 Gambar korosi sumuran	15
Gambar II.5 Gambar korosi <i>interngular</i> pada pipa.....	15
Gambar II.6 Gambar Korosi erosi	16
Gambar II.7: Gambar Rangkaian dasar elektrik untuk elektroplating.....	20
Gambar II.8 Gambar Skematis rangkaian listrik	26
Gambar II.9 Gambar Micro <i>vikers</i>	30
Gambar III.1 Gambar Diagram aliran penelitian	31
Gambar III.2 Gambar Mesin bubut.....	34
Gambar III.3 Gambar Mesin bor	34
Gambar III.4 Gambar Micro <i>vikers</i>	35
Gambar III.5 Gambar Jangka sorong.....	35
Gambar III.6 Gambar Ember	35
Gambar III.7 Gambar NaCL.....	36
Gambar III.8 Gambar resin	36
Gambar III.9 Gambar mesin poles.....	36
Gambar III.10 Gambar alt <i>rectifier</i>	37
Gambar III.11 Gambar gelas ukur.....	37
Gambar III.12 Gambar kolam plating.....	38
Gambar III.13 Gambar Timbangan digital	38
Gambar III.14 Gambar identor <i>vikers</i>	39

Gambar III.15: Gambar Lensa kontrol	39
Gambar III.16: Gambar Layar setting pembebanan	40
Gambar III.17: Gambar Waktu Penusukan spesimen	40
Gambar III.18: Gambar Pengukuran dan hasil pengukuran diagonal 1	41
Gambar III.19: Gambar Pengukuran dan hasil pengukuran diagonal 2	41
Gambar III.20: Gambar Hasil penjumlahan diagonal 1 dan diagonal 2	42
Gambar III.21: Gambar Skema indentor <i>vickers</i>	42
Gambar III.22: Gambar Alat uji mikro /makro	43
Gambar III.23: Gambar Gergaji	44
Gambar III.24: Gambar laju korosi	45
Gambar IV.1 Gambar hasil elektroplating tegangan 3 volt	47
Gambar IV.1 Gambar hasil elektroplating tegangan 6 volt	47
Gambar IV.1 Gambar hasil elektroplating tegangan 9 volt	48
Gambar IV.4: Gambar hasil pengujian ketebalan	48
Gambar IV.5: Gambar grafik pengaruh voltase dan waktu terhadap ketebalan....	50
Gambar IV.6: Gambar grafik pengaruh voltase dan waktu terhadap kekerasan....	52
Gambar IV.7: Gambar grafik pengaruh voltase dan waktu terhadap laju korosi...	53

DAFTAR TABEL

Tabel II.1: Hubungan laju korosi dengan ketahanan korosi relatif.....	17
Tabel II.2: Nilai deret volta.....	22
Tabel IV.1: Hasil uji komposisi	46
Tabel IV.2: Pengaruh voltase dan waktu terhadap ketebalan lapisan.....	50
Tabel IV.3: Pengaruh voltase dan waktu terhadap kekerasan permukaan lapisan.....	52
Tabel IV.4: Pengaruh voltase dan waktu terhadap laju korosi.....	54

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	61
1.1 Hasil Uji Komposisi Kimia Material.....	61
1.2 Material spesimen ST 40	62
Lampiran 2	62
2.1 Perhitungan Uji kekerasan Lapisan Permukaan	62
Lampiran 3	63
3.1 Perhitungan Laju Korosi	63

DAFTAR NOTASI

Lambang	Nama	Satuan
A	Luas permukaan	cm^2
Cr	Laju korosi	<i>mmpy</i>
D	Massa jenis	g/cm^3
D	diameter rata2 jejak indentor	mm
Hv	Kekerasan vikers	N/mm^2
K	Konstanta laju korosi	-
P	Beban indentor	N
T	Waktu Perendaman	jam
W	Selisih massa	gr

ABSTRAK

Penggunaan logam dalam perkembangan teknologi dan industri sebagai salah satu material penunjang sangat besar peranannya, akan tetapi dalam kehidupan sehari-hari banyak faktor yang menyebabkan daya guna logam tersebut menurun. Salah satu penyebab faktor itu adalah terjadinya korosi pada logam. electroplating merupakan salah satu metode dari pelapisan logam. Proses pelapisan electroplating sering disebut juga dengan elektrodeposisi, yaitu suatu proses pengendapan atau deposisi logam pelindung diatas logam lain dengan cara elektrolisis. Proses pelapisan ini juga bertujuan untuk mendapatkan sifat khusus permukaan seperti sifat tahan terhadap korosi, sifat keras, sifat tahan aus, sifat terhadap suhu tinggi dan menambah keindahan tampak luar suatu benda atau gabungan dari beberapa tujuan tersebut secara bersama-sama. Misalnya dengan melapisi saluran gas buang dengan hardchrome dapat meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh variasi voltage dan waktu terhadap ketebalan, kekerasan dan laji korosi pada baja karbon rendah ST 40 dengan pelapisan metode electroplating. Kegiatan penelitian ini yaitu untuk menguji dan menganalisa pengaruh tegangan listrik dan waktu terhadap ketebalan, kekerasan dan laju korosi penelitian ini menggunakan baja karbon rendah ST 40 yang dilapisi hardchrome menggunakan metode electroplating dengan variasi tegangan listrik 3 volt, 6 volt dan 9 volt. Dan waktu 10 , 15 dan 20 menit. Lalu dilakukuan uji ketebalan dengan ketebalan tertinggi sebesar 330,4 (μm) dan terendah sebesar 173,9 (μm). Kemudian uji kekerasan lapisan permukaan dengan kekerasan tertinggi sebesar 1114,8 HV dan kekerasan terendah sebesar 264,4 HV. Dan terakhir dilakukan pengujian laju korosi dengan metode kehilangan berat, korosi tertinggi sebesar 0,017827 mmpy dan korosi terendah sebesar 0,000294 mmpy. Jadi dapat disimpulkan bahwa seiring meningkatnya voltase dan waktu pencelupan proses electroplating akan meningkat pula ketebalan dan kekerasan lapisan permukaan, tetapi berbanding terbalik dengan laju korosi akan mengalami penurunan.

Kata kunci : Baja ST 40, voltase, *hardchrome electroplating*, uji ketebalan, uji kekerasan, dan laju korosi.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan logam dalam perkembangan teknologi dan industri sebagai salah satu material penunjang sangat besar peranannya, akan tetapi dalam kehidupan sehari-hari banyak faktor yang menyebabkan daya guna logam tersebut menurun. Salah satu penyebab faktor itu adalah terjadinya korosi pada logam.

Korosi merupakan salah satu masalah yang sedang dihadapi oleh ahli teknik dalam pemanfaatan logam untuk berbagai keperluan. Kerugian-kerugian yang diakibatkan terjadinya korosi pada logam antara lain unsur pakai dari material akan lebih pendek, biaya perawatan relatif tinggi dan daya guna menurun. Berbagai usaha telah dilakukan untuk mengatasi terjadinya korosi pada logam, perlindungan terhadap korosi memegang peranan penting, dimana tanpa tindakan pengamanan yang terarah maka produk logam akan terancam kerusakan dalam waktu yang lebih cepat. Melihat betapa besarnya kerugian yang diakibatkan oleh korosi maka terjadinya korosi tidak bisa diabaikan begitu saja. Berbagai macam cara dilakukan orang untuk dapat mencegah terjadinya korosi pada logam, salah satunya adalah perlindungan yang efektif dengan menggunakan pelapisan dengan menggunakan logam lain yang lebih tahan terhadap korosi (*metal coating*) (Satya, 2006).

Proses *electroplating* merupakan salah satu metode dari pelapisan logam. Proses pelapisan *electroplating* sering disebut juga dengan elektrodposisi, yaitu suatu proses pengendapan atau deposisi logam pelindung diatas logam lain dengan cara elektrolisis. Proses pelapisan ini juga bertujuan untuk mendapatkan sifat khusus permukaan seperti sifat tahan terhadap korosi, sifat keras, sifat tahan aus, sifat terhadap suhu tinggi dan menambah keindahan tampak luar suatu benda atau gabungan dari beberapa tujuan tersebut secara bersama-sama. Misalnya dengan melapisi saluran gas buang dengan *hardchrome* dapat meningkatkan ketahanan terhadap korosi(Saleh,Azhar A .2014).

Proses pelapisan logam dengan *hardchrome* bertujuan sebagai dekoratif juga untuk melapisi permukaan logam dengan lebih kuat, sesuai dengan kegunaannya di dunia *engineering*. Teknik *electroplating hardchrome* merupakan salah satu teknik *surface treatment* bahan, baik untuk bahan konduktor maupun non konduktor. Selain sifat dekoratif, keuntungan teknik *electroplating* juga bisa meningkatkan kekerasan, ketahanan aus, dan Tahan korosi. Biasanya bahan yang digunakan untuk dilapisi adalah baja karbon rendah (Purwanto dan Huda, 2005).

Baja karbon rendah dipilih karena memiliki kandungan karbon kurang dari 0,3%. Jenis baja ini sering digunakan untuk konstruksi mesin yang bergesekan seperti bodi mobil, knalpot, pipa-pipa saluran, roda gigi, poros, dan sebagainya karena sangat ulet. Namun kekerasan permukaan baja tersebut tergolong rendah sehingga sebelum digunakan untuk konstruksi-konstruksi yang diatas, maka perlu dimodifikasi atau memperbaiki sifat kekerasan pada permukaannya (Amanto, 1999). Proses memperbaiki sifat kekerasan permukaannya menggunakan metode *electroplating*. Untuk mengetahui kekerasan baja tersebut maka dilakukan pengujian kekerasan.

Salah satu sifat dari baja karbon rendah adalah sangat ulet, tetapi dari segi kekerasan cenderung rendah. Sehingga dalam penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan kekerasan permukaan agar umur pemakaian dapat meningkat. Semakin besar kekerasan suatu material, maka semakin kecil laju korosi pada material yang telah dilakukan proses *electroplating*.

Ada beberapa yang dapat mempengaruhi proses *electroplating*, salah satunya yaitu pengaruh *voltage* dan waktu pencelupan pada proses *electroplating*. Semakin besar *voltage* dan waktu pada saat proses *electroplating* dapat mempengaruhi ketebalan lapisan *hardchrome* sehingga kekerasan dapat meningkat dengan seiring bertambahnya *voltage* dan waktu pada saat proses pencelupan elektroplating, justru berbanding terbalik dengan pada laju korosi akan semakin menurun.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang , dihasilkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh *voltage* pada hasil *hardchrome electroplating* pada baja karbon rendah terhadap ketebalan lapisan chrome ?
2. Bagaimana pengaruh *voltage* pada hasil *hardchrome electroplating* pada baja karbon rendah terhadap kekerasan permukaan ?
3. Bagaimana pengaruh *voltage* pada hasil *hardchrome electroplating* pada baja karbon rendah terhadap laju korosi ?

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan masalah tersebut lebih terarah, maka perlu adanya pembatasan ruang lingkup, yaitu:

1. Material yang di gunakan adalah baja karbon rendah ST 40
2. Material penelitian berbentuk silinder dengan diameter 12,7 mm dan tebal 4 mm.
3. Variasi tegangan pada saat *electroplating* adalah 3 volt, 6 volt, dan 9 volt.
4. Variasi waktu pencelupan pada saat *electroplating* 10 menit, 15 menit dan 20 menit.
5. Medium korosif dengan menggunakan larutan NaCL dengan komsentrasi 1,3% selama 240 jam.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui dan menganalisa pengaruh *voltage* dan waktu pada hasil *hardchrome electroplating* pada baja karbon rendah terhadap ketebalan lapisan chrome.
2. Untuk mengetahui dan menganalisa pengaruh *voltage* dan waktu pada hasil *hardchrome electroplating* pada baja karbon rendah terhadap kekerasan permukaan.

3. Untuk mengetahui dan menganalisa pengaruh *voltage* dan waktu pada hasil *hardchrome electroplating* pada baja karbon rendah terhadap laju korosi.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat memberikan informasi mengenai pengaruh voltase pada *hardchrome electroplating* terhadap laju korosi dan kekerasan permukaan pada baja karbon rendah
2. Dapat menjadi tambahan referensi untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

II.1 Tinjauan Pustaka

Raharjo (2010) melakukan penelitian tentang pengaruh variasi tegangan listrik dan waktu proses elektroplating baja karbon rendah yang dilapisi *hardchrome* dengan menggunakan pengujian ketebalan, kekerasan dan uji mikro. Variasi tegangan listrik yang digunakan yaitu 4, 6, 8 10 dan 12 volt serta waktu yang digunakan 5 menit, 10 menit dan 15 menit selanjutnya dilakukan dengan pengujian ketebalan, kekerasan dan uji mikro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketebalan lapisan hard chrome pada tegangan 4 Volt, 6 Volt, 8 Volt, 10 volt, 12 Volt dan waktu 5 menit, 10 menit, 15 menit: 2,33 μm , 3,16 μm , 4,28 μm , 6,25 μm , 7,19 μm kemudian nilai kekerasan menunjukkan 214,28 VHN, 232,92 VHN, 254,77 VHN, 286,17 VHN, 351,29 VHN, lapisan pada struktur mikro merata dan baik serta hasil analisisn regresi antara tegangan dan waktu terhadap ketebalan, tegangan dan waktu terhadap kekerasan menunjukkan nilai yang sangat signifikan. Disimpulkan bahwa tebal lapisan *hardchrome* dan kekerasan akan naik seiring dengan naiknya tegangan listrik dan waktu pada proses electroplating .

Malau dan Lupp (2011) membahas tentang pengaruh variasi waktu dan konsentrasi larutan NaCl terhadap kekerasan dan laju korosi dari lapisan nikel elektroplating pada permukaan baja karbon sedang. Baja karbon sedang rentan terhadap korosi dalam media korosif air laut. Sifat tahan korosi baja dapat ditingkatkan dengan memberi lapisan nikel elektroplating pada permukaan baja tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi lama elektroplating (0, 5, 10, 15 menit) dan konsentrasi larutan NaCl (0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 %) terhadap kekerasan dan laju korosi baja karbon sedang.

Spesimen yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 12 mm dan tebal 4 mm. Proses nikel elektroplating dilakukan dalam larutan elektrolit yang

mengandung nikel dengan variasi lama elektroplating (0, 5, 10, 15 menit) pada tegangan 12 volt, suhu 40°C dan kuat arus 3 A/dm². Pengujian kekerasan dilakukan dengan indentasi Vickers pada beban 10 gram dan lama pembebanan 10 detik, sedang pengujian laju korosi dilaksanakan dengan metode polarisasi dengan sel tiga elektroda dalam larutan NaCl dengan konsentrasi larutan: 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 dan 1,0 %.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa logam dasar (baja karbon sedang) mempunyai kekerasan sebesar 205,4 VHN0,01 dan laju korosi sebesar 90,76 mpy. Lapisan nikel meningkatkan kekerasan dan menurunkan laju korosi secara signifikan. Kekerasan meningkat, tetapi laju korosi menurun seiring dengan naiknya lama elektroplating. Laju korosi meningkat jika konsentrasi larutan NaCl naik. Lapisan mempunyai kekerasan tertinggi sebesar 329,6 VHN0,01 dengan laju korosi terendah sebesar 8,08 mpy untuk lama elektroplating 15 menit dan konsentrasi larutan NaCl sebesar 0,2 %. Lama elektroplating yang diperlukan adalah minimum 10 menit agar dihasilkan laju korosi relatif rendah untuk berbagai konsentrasi larutan NaCl.

Ahmad (2011) membahas tentang pengaruh variasi tegangan listrik dan lama waktu electroplating terhadap ketebalan pada baja karbon rendah dengan pelapisan krom. Manfaat dilakukan penelitian yaitu untuk mendapatkan informasi pengaruh tegangan listrik dan waktu terhadap ketebalan baja karbon rendah dengan pelapisan krom. Dalam kegiatan penelitian ini menggunakan baja karbon rendah yang dilapisi dengan menggunakan metode electroplating dengan variasi tegangan listrik 2,4,6,8,10 volt serta lama waktu pelapisan 4, 8, dan 12 menit. Selanjutnya dilakukan pengujian ketebalan.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ketebalan lapisan krom keras pada tegangan 2,4,6,8,10 volt pada lama waktu, 4 menit: 29, 90, 48, 9, 55 µm, lama waktu 8 menit : 15, 143, 133, 81, 46 µm. lama waktu 12: 46, 116, 171, 104, 27 µm. Kemudian dapat disimpulkan semakin lama proses electroplating maka akan semakin tebal hasil pelapisan yang terjadi. Dan arus terbaik untuk hasil pelapisan adalah 4 volt.

Sakti (2018) membahas pengaruh variasi lapisan tegangan dan variasi kuat arus pelapisan terhadap uji laju korosi. Penelitian yang akan dilakukan merupakan penelitian eksperimen kuantitatif deskriptif. Dalam penelitian ini menggunakan variabel bebas dengan variasi tegangan pelapisan 2 volt, 3 volt, dan variasi kuat arus 3 ampere, 4 ampere, 5 ampere sedangkan variabel terikatnya adalah uji laju korosi dan ketebalan permukaan. Tujuan dari dilakukannya penelitian ini yaitu untuk mengetahui tingkat ketahanan korosi pada knalpot sepeda motor setelah dilakukan proses pelapisan logam menggunakan nikel-krom dengan variasi tegangan dan kuat arus setelah itu dilakukan uji laju korosi dan ketebalan untuk mengetahui ketahanan material terhadap korosi. Kesimpulan dari penelitian ini adalah data perhitungan laju korosi lapisan nikel-krom dengan variasi 2 volt, 3 volt, dan 3 ampere, 4 ampere, 5 ampere pada knalpot sepeda motor berbahan baja karbon AISI 1010 didapatkan hasil laju korosi paling lambat pada variasi tegangan 3 volt dengan kuat arus 5 ampere didapat hasil 118,904 mmpy pada media air hujan. Sedangkan laju korosi paling cepat terjadi pada variasi tegangan 2 volt dengan kuat arus 3 ampere didapat hasil 424,047 mmpy pada media air laut.

II.2 Landasan Teori

II.2.1 Baja

Baja adalah logam paduan, logam besi yang berfungsi sebagai unsur dasar dicampur dengan beberapa elemen lainnya, termasuk unsur karbon. Besi dapat terbentuk menjadi dua bentuk kristal yaitu *Body Center Cubic (BCC)* dan *Face Center Cubic (FCC)*. Tergantung dari tempraturnya ketika ditempa. Dalam susunan bentuk BCC, ada atom besi ditengah-tengah kubus atom, dan susunan FCC memiliki atom besi disetiap sisi pada enam sisi kubus atom. Interaksi alotropi yang terjadi antara logam besi dengan elemen pepadu, seperti karbon, yang membuat baja dan besi tuang memiliki ciri khas yang ada pada diri mereka.

Kandungan unsur karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% dari berat keseluruhan baja tersebut sesuai grade-nya. Elemen berikut ini selalu ada dalam baja karbon, mangan, fosfor, sulfur, dan kecil oksigen, nitrogen dan aluminium. Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal dari atom penyusun besi. Tanpa karbon ini maka struktur kristal dari besi murni tidak memiliki resistensi antar atom dan akan saling melewati satu sama lain, atau menjadi sangat lembek. Baja karbon ini dikenal sebagai baja hitam karena berwarna hitam, banyak digunakan untuk peralatan pertanian misalnya sabit dan cangkul.

Meskipun baja sebelumnya telah diproduksi oleh pandai besi menggunakan tungku pembakar selama ribuan tahun, penggunaannya menjadi semakin bertambah ketika metode produksi yang lebih efisien ditemukan pada abad ke-17. Dengan penemuan proses Bessemer di pertengahan abad ke-19, baja menjadi material produksi massal yang membuat harga produksinya menjadi lebih murah. Saat ini, baja merupakan salah satu material paling umum di dunia, dengan produksi lebih dari 1,3 miliar ton tiap tahunnya menggantikan besi tempa. Baja merupakan komponen utama pada bangunan, infrastruktur, kapal, mobil, mesin, perkakas, dan senjata.

Baja modern secara umum diklasifikasikan berdasarkan kualitasnya oleh beberapa lembaga-lembaga standar. Proses pemurnian lanjutan, seperti *basic oxygen steelmaking* (BOS), menggantikan sebagian besar metoda-metoda lama dengan menurunkan biaya produksi dan meningkatkan kualitas produk akhir.

II.2.2 Baja Karbon

Baja- baja secara umum dapat dikelompokkan atas 2 jenis, yaitu :

A. Baja Karbon (*Carbon steel*) Baja karbon digolongkan menjadi tiga kelompok berdasarkan banyaknya karbon yang terkandung dalam baja, yaitu :

1. Baja Karbon Rendah Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mengandung karbon antara 0,025% - 0,25% C. Setiap satu ton baja karbon rendah mengandung 10 – 30 kg karbon. Baja karbon ini dalam perdagangan dibuat dalam plat baja, baja strip dan baja batangan atau profil. Baja karbon dikelompokkan berdasarkan banyaknya karbon yang terkandung sebagai berikut:

- a) Baja karbon rendah (*low carbon steel*) yang mengandung 0,04%-0,10% C untuk dijadikan baja- baja plat dan strip.
- b) Baja karbon rendah yang mengandung 0,05% C digunakan untuk keperluan badan-badan kendaraan.
- c) Baja karbon rendah yang mengandung 0,15% - 0,20% C digunakan untuk konstruksi jembatan, bangunan, membuat baut atau dijadikan baja konstruksi <https://www.slideshare.net/MMMAinulWafiq/baja-xxx>.

2. Baja Karbon Menengah Baja karbon menengah (*medium carbon steel*) mengandung karbon antara 0,25%-0,55% C dan setiap satu ton baja karbon mengandung karbon antara 30 – 60 kg. baja karbon menengah ini banyak digunakan untuk keperluan alat-alat perkakas bagian mesin. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung dalam baja maka baja karbon ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti untuk keperluan industri kendaraan, roda gigi, pegas dan sebagainya.

3. Baja Karbon Tinggi Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) mengandung kadar karbon antara 0,56%-1,7% C dan setiap satu ton baja karbon tinggi mengandung karbon antara 70 – 130 kg. baja ini mempunyai kekuatan paling tinggi dan banyak digunakan untuk material tools. Salah satu aplikasi dari baja ini adalah dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung didalam baja maka baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas, alat-alat perkakas seperti : palu, gergaji atau pahat potong. Selain itu baja jenis ini banyak digunakan untuk keperluan industri lain seperti pembuatan kikir, pisau cukur, mata gergaji dan lain sebagainya.

B. Baja Paduan (*Alloy Steel*)

1. Baja Paduan Rendah Bila jumlah unsur tambahan selain karbon lebih kecil dari 8% (menurut Degarmo 2005). Sumber lain, misalnya Smith dan Hashemi menyebutkan 4%, misalnya : suatu baja terdiri atas 1,35 C; 0,35Si; 0,5%Mn; 0,03%P; 0,75%r; 4,5%W (Dalam Hal ini 6,06% < 8%)
2. Baja Paduan Tinggi Bila jumlah unsur tambahan selain karbon lebih dari atau sama dengan 8% (atau 4% menurut Smith dan Hashemi), misalnya : baja HSS (*high Speed Steel*) atau SKH 53 (JIS) atau M#-1 (AISI) mempunyai kandungan unsur : 1,25%C; 4,5%Cr; 6,2%Mo; 6,7%W; 3,3V. sumber lain menyebutkan :
 - a) *Low allow steel* (baja paduan rendah), jika elemen panduannya $\leq 2,5\%$.
 - b) *Medium alloy steel* (baja paduan sedang), jika selemen paduannya 2,5 – 10% C.
 - c) *High alloy steel* (baja paduan tinggi), jika elemen paduannya $> 10\%$.

II.2.3 Baja Karbon ST 40

Baja ST 40 termasuk baja karbon rendah dengan kandungan karbon kurang dari 0,3%. ST 40 ini menunjukkan bahwa baja ini memiliki kekuatan tarik kurang dari 40 kg/mm². Diawali dengan ST 40 dan di ikuti bilangan yang menunjukkan kekuatan tarik minimumnya dalam kg/mm². Baja ST 40 ini secara teori mempunyai nilai kekerasan yang lebih rendah dibanding besi cor, Dengan adanya perlit dan ferit. Karena perlit yang ada lebih banyak daripada ferit. Aplikasi baja ST 40 antara lain:

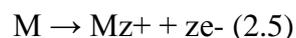
1. Biasanya digunakan untuk kawat, Paku, *Wire mesh*, Peralatan automotif dan sebagai bahan baku *welded fabrication*.
2. Aplikasi khususnya seperti untuk kawat elektroda berlapis untuk keperluan pengelasan.

II.2.4 Korosi

II.2.4.1 Pengertian Korosi

Korosi merupakan sebuah proses degradasi material akibat interaksi dengan lingkungan sekitarnya. Pada umumnya reaksi tersebut berupa reaksi elektrokimia yang menimbulkan reaksi korosi (Trethewey et al, 1991). Menurut Jones 1992, korosi didefinisikan sebagai proses degradasi material secara kualitas maupun kuantitas karena peristiwa reaksi kimia dan elektrokimia dengan lingkungannya. Lingkungannya berupa lingkungan atmosfer, gas, tanah, larutan garam, larutan asam dan lainnya (Roberge, 1999). Korosi merupakan peristiwa alamiah yang terjadi pada suatu bahan dan proses kembalinya bahan ke kondisi semula saat bahan ditemukan dan diolah dari alam (Supriyanto, 2007).

Mekanisme korosi menggunakan reaksi elektrokimia yang melibatkan perpindahan elektron-elektron hasil reaksi reduksi-oksidasi (Fontana, 1987). Reaksi reduksi merupakan reaksi penangkapan elektron yang logamnya sebagai katoda, dengan reaksi yang umum terjadi sebagai berikut (Fontana, 1987): $H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$ (2.1) $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2 H_2O$ (2.2) $O_2 + 2 H_2O + 4e^- \rightarrow 4 OH^-$ (2.3) $M^+ + e^- \rightarrow M$ (2.4) Sedangkan reaksi oksidasi merupakan reaksi pelepasan elektron dan berakibat terbentuknya ion-ion positif, dengan reaksi yang terjadi pada proses korosi sebagai berikut (Fontana, 1987):



Pada proses korosi terdapat 4 komponen penting yang mempengaruhi dalam kelangsungan korosi, yaitu:

1. Anoda, merupakan bahan logam yang mengalami reaksi oksidasi atau melepaskan elektron dari atom logam netral kemudian membentuk ion yang bereaksi untuk membentuk karat.
2. Katoda, merupakan bahan logam yang mengalami reaksi katodik atau menerima elektron dari reaksi anodik. Pada larutan asam akan terbentuk gas

H₂, sedangkan pada larutan basa akan terbentuk gas O₂. Hal ini dikarenakan reaksi pada katoda bergantung pada pH larutan.

3. Elektrolit, merupakan sebuah media berupa larutan yang mengandung ion-ion dapat menghantarkan arus listrik sebagai media perpindahan elektron dari anoda menuju katoda. Larutan yang dapat digunakan sebagai elektrolit dapat berupa larutan asam, basa, dan garam.
4. Reaksi antara anoda dan katoda, antara anoda dan katoda harus terjadi kontak langsung yang menghasilkan reaksi spontan dengan melibatkan reaksi reduksi dan oksidasi dapat terjadi.

II.2.4.2 Faktor Terjadinya Korosi

Terjadinya korosi dikarenakan adanya beberapa faktor, faktor-faktor tersebut yaitu udara, air, tanah dan zat-zat kimia.

1. Udara

Udara merupakan suatu campuran gas yang terdapat pada lapisan bumi dengan komposisi campuran gas yang tidak selalu konsisten. Udara dapat menyebabkan timbulnya korosi karena dapat bersentuhan dengan permukaan logam yang lembab sehingga kemungkinan terjadi korosi lebih besar.

2. Air

Air terbagi atas air laut dan air tawar, unsur-unsur yang bersifat korosif biasanya terdapat banyak di air laut. Air laut memiliki konduktivitas yang sangat tinggi dan ion klorida yang dapat menembus permukaan logam sehingga sangat berpengaruh terhadap laju korosi terhadap logam yang kontak langsung ataupun tidak (Kirk and Othmer, 1965).

Sedangkan pada air tawar memiliki zat terlarut yang membentuk asam, misalnya belerang dioksida, karbon dioksida dan lainnya, kandungan inilah yang mempercepat laju korosi (Sulaiman, 1978).

3. Tanah

Material yang sering terkena korosi di dalam tanah berupa pipa, kabel, dan pada pondasi logam yang terendam di dalamnya. Korosi yang terjadi di dalam tanah disebabkan oleh kurangnya oksigen. Di dalam tanah juga dapat terjadi korosi elektrokimia dapat karena adanya arus listrik yang hadir karena kebocoran arus listrik dari kabel seperti dari jalan rel kereta api.

4. Zat-zat kimia

Asam, basa, dan garam merupakan zat kimia yang dapat menyebabkan korosi. Ketiga zat kimia ini dapat berupa cair atau gas. Suatu material dapat terkorosi oleh zat kimia dikarenakan material tersebut mengalami kontak langsung dengan zat kimia (Trethewey dan Chamberlin, 1991).

II.2.4.3 Jenis korosi

Jenis-jenis korosi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu lingkungan korosif, mekanisme, material yang digunakan dan beberapa faktor lain. Jenis-jenis korosi berdasarkan mekanismes terjadinya korosi yang sering terjadi pada material sehari-hari adalah sebagai berikut.

1. Korosi Seragam (*Uniform*)

Korosi seragam adalah jenis korosi yang terjadi secara merata dipermukaan, dengan kecepatan korosi disetiap permukaan adalah sama. Korosi ini terjadi karena reaksi kimia yang dikarenakan pH air yang rendah dan udara yang lembab, akibatnya logam semakin menipis. Korosi seragam terlihat pada gambar II.1



Gambar II.1 Korosi Seragam pada pipa ballast

<https://www.google.com/search?q=gambar+korosi+seragam>

2. Korosi Galvanik

Korosi galvanik adalah jenis korosi yang terjadi akibat dua logam atau lebih dengan potensial reduksi berbeda yang terhubung melalui elektrolit. Pada korosi jenis ini logam yang bersifat anoda terkorosi, sedangkan yang bersifat katoda akan terlindung dari korosi. Korosi galvanik terlihat pada gambar II.2



Gambar II.2 Korosi Galvanik

<https://www.google.com/search?q=gambar+korosi+galvanik>

3. Korosi Celah (*Crevice*)

Korosi celah adalah korosi yang terjadi karena adanya celah antara dua logam sejenis yang digabungkan yang menyebabkan perbedaan kadar oksigen diantara area dalam dan luar celah, perbedaan kadar oksigen tersebutlah yang akan mengakibatkan korosi. Korosi celah terlihat pada gambar II.3

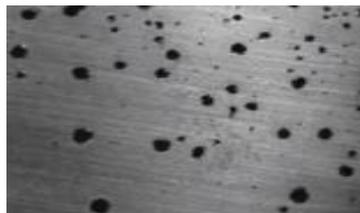


Gambar II.3 Contoh korosi Celah

<https://www.google.com/search?q=gambar+Korosi+Celah>

4. Korosi Sumuran (*Pitting*)

Korosi sumuran adalah korosi terlokalisasi, korosi ini menyebabkan terbentuknya cekungan atau lubang pada permukaan logam yang terkorosi. Korosi sumuran dapat terjadi karena ketidakhomogenan lapisan pelindung (*passive film*). Korosi sumuran terlihat pada gambar II.4



Gambar II.4 Korosi Sumuran.

5. Korosi Batas Butir (*intergranular corrosion*)

Korosi batas butir adalah jenis korosi karena terbentuknya kromium karbida di sekitar batas butir, akibatnya daerah yang ditinggalkan krom lebih cepat terserah korosi. Korosi batas butir terlihat pada gambar II.5



Gambar II.5 Korosi Intergranular Pada Pipa

[https://www.google.com/search?q=gambar+Korosi+Batas+Butir+\(intergranular+corrosion\)](https://www.google.com/search?q=gambar+Korosi+Batas+Butir+(intergranular+corrosion))

6. Korosi Erosi

Korosi erosi adalah korosi yang terjadi karena hadirnya fluida korosif yang mengalir pada permukaan material. Dengan kecepatan tinggi fluida korosif yang mengalir, akibatnya terjadi keausan mekanis atau abrasi, lapisan pelindung akhirnya terkikis sehingga terjadi korosi. Korosi erosi terlihat pada gambar II.6



Gambar II.6 Korosi Erosi Pada Pipa

<https://www.google.com/search?q=gambar+Korosi+Erosi>

7. Dealloying

Korosi *Dealloying* adalah peristiwa lepasnya unsur-unsur paduan yang bersifat anodik dari logam paduan. Unsur-unsur paduan biasanya berupa elemen aktif terhadap beberapa elemen pelarut

8. Korosi Aliran (*Flow Inducted Corrosion*)

Korosi aliran adalah korosi yang terjadi akibat adanya pengaruh dari aliran terhadap terjadinya korosi. Korosi ini merupakan peningkatan laju korosi yang disebabkan oleh turbulensi fluida dan perpindahan massa karena adanya aliran fluida di atas permukaan logam.

9. *Hydrogen Damage*

Korosi *Hydrogen Damage* korosi yang terjadi akibat tegangan internal pada material karena adanya molekul-molekul gas hydrogen yang berdifusi ke dalam struktur atom logam. Hidrogen pada material dapat terbentuk karena reduksi H₂O, penetrasi hidrogen inilah yang mengakibatkan korosi pada material.

II.2.4.4 Laju Korosi

Laju korosi merupakan banyaknya logam yang dilepas tiap satuan waktu pada permukaan tertentu. Pada umumnya, laju korosi dinyatakan dengan satuan *mils per year* (mpy). Hubungan antara laju korosi dengan ketahanan korosi relatif

Tabel II.1 Hubungan laju korosi dengan ketahanan korosi relatif (Jones, 1992).

Ketahanan Korosi Relatif	Laju Korosi		
	Mpy	Mmpy	Mmpy
Sangat baik	<1	<0,02	<25
Baik	1 – 5	0,02 – 0,1	25 – 100
Cukup	5 – 20	0,1 – 0,5	100 – 500
Kurang	20 – 50	0,5 – 0,1	500 – 1000
Buruk	50 – 200	1 – 5	1000 – 5000

Ketahanan Korosi Relatif Laju Korosi Mpy Mmpy Mmpy Sangat baik <1 <0,02 <25 Baik 1 – 5 0,02 – 0,1 25 – 100 Cukup 5 – 20 0,1 – 0,5 100 – 500 Kurang 20 – 50 0,5 – 0,1 500 – 1000 Buruk 50 – 200 1 – 5 1000 – 5000

Untuk menghitung laju korosi dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu menggunakan metode kehilangan berat dan metode polarisasi elektrokimia. Berdasarkan metode kehilangan berat laju korosi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$CR = K W / A T D \dots\dots\dots(II.1)$$

Keterangan: CR : Laju Korosi (mm/tahun)

K : Konstanta Laju Korosi

W : Selisih Massa (gr)

T : Waktu Perendaman (jam)

A : Luas Permukaan (cm²)

D : Massa Jenis (g/cm³)

II.2.4.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi

Faktor-faktor yang mempengaruhi laju korosi adalah:

1. Jenis logam dan struktur mikroskopis logam
 - a. Semakin inert suatu logam, maka semakin tahan logam tersebut terhadap korosi.
 - b. Tidak homogenya susunan dari logam, maka akan menimbulkan sel korosi pada logam itu sendiri.
2. Komposisi dan konsentrasi larutan elektrolit Larutan elektrolit adalah air yang mengandung anion dan kation (Piere R, 2008). Beberapa faktor yang mempengaruhi korosifitas suatu larutan antara lain:

- a. Konduktivitas

Naiknya konduktivitas suatu larutan, maka daya hantar listrik larutan tersebut akan semakin baik, akibatnya laju korosi lebih cepat terjadi. Adanya ion klorida (Cl^-) dalam elektrolit akan meningkatkan konduktivitas larutan tersebut, sehingga aliran arus korosi akan lebih meningkat.

- b. pH

Kenaikan laju korosi pada logam besi terjadi pada pH di bawah 4 dan di atas 12, hal ini disebabkan karena lapisan pelindung pada besi tidak terbentuk.

- c. Gas terlarut

Oksigen terlarut akan meningkatkan reaksi katoda sehingga logam akan semakin teroksidasi (terkorosi). Laju korosi dipengaruhi oleh bermacam-macam kondisi fisik yang terdapat dalam suatu gas terlarut, seperti:

- d. Temperatur

Temperatur yang tinggi akan mempengaruhi laju korosi. Pada sistem tertutup laju korosi akan terus bertambah, sedangkan pada sistem terbuka

kenaikan temperatur akan mengakibatkan penurunan kelarutan gas O₂, dan akan menurunkan laju korosi pada titik tertentu.

e. Tekanan

Kenaikan tekanan menyebabkan kenaikan gas terlarut, dengan konsekuensi akan menaikkan laju korosi pada sistem.

f. Kecepatan alir fluida

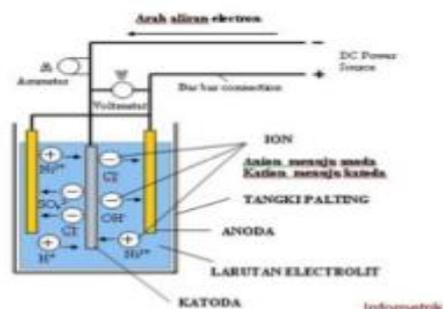
Adanya kecepatan alir fluida yang berbeda-beda akan menentukan jenis korosi yang dapat terjadi. Korosi yang sering ditimbulkan akibat faktor ini adalah korosi erosi.

3. Biasanya digunakan untuk kawat, Paku, *Wire mesh*, Peralatan automotif dan sebagai bahan baku *welded fabrication*.
4. Aplikasi khususnya seperti untuk kawat elektroda berlapis untuk keperluan pengelasan.

II.2.5 Electroplating

Electroplating merupakan suatu proses pengendapan zat (ion-ion logam) pada suatu logam dasar (*katode*) melalui proses elektrolisa. Terjadi proses pengendapan pada katoda disebabkan oleh adanya pemindahan ion-ion bermuatan listrik dari anoda dengan perantara larutan elektrolit, yang terjadi secara terus menerus pada tegangan konstan hingga akhirnya mengendap dan menempel kuat membentuk lapisan permukaan benda logam.

Proses *Electroplating* melindungi logam dasar dengan menggunakan logam-logam tertentu sebagai pelapis dan pelindung, misalnya nikel, krom, tembaga, seng, dan sebagainya. Untuk lebih jelasnya rangkaian dan prinsip kerja proses lapis listrik dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar II.7 Rangkaian Dasar Elektrik Untuk Elektroplating (Sumber : www.intometrik.com, 27 Okt. 2013)

II.2.5.1 Bahan pelapis pada elektroplating

Pada elektroplating bahan-bahan yang dapat digunakan sebagai pelapis diantaranya adalah:

1. Tembaga

Tembaga merupakan bahan yang biasa digunakan dalam bentuk paduan. Tembaga bersifat liat, lunak, dan ulet, selain itu tembaga juga tidak mudah teroksidasi oleh udara. Tembaga bereaksi dengan *sulfide*, tetapi terbentuk tarnish (bercak) sehingga sulit untuk disolder. Hal ini menyebabkan tembaga masih sering dilapisi timah (Hartono, 1992).

2. Nikel

Nikel merupakan bahan yang bersifat *ferromagnetic*, namun ketika di atas 352 derajat celcius bersifat *paramagnetic*. Nikel memiliki kekuatan dan kekerasan sedang, dengan keliatan dan keuletan yang baik serta daya hantar listrik dan termal yang baik. Pada elektroplating, nikel biasanya digunakan sebagai katalis. Nikel merupakan pelapis logam yang sangat peka responnya terhadap aditif-aditif bak plating (Hartono, 1992).

3. Khrom

Khrom merupakan logam non ferro. Khrom merupakan lapisan yang memiliki sifat yang keras, dengan warna putih kebiru-biruan, dan tahan terhadap efek kekusaman yang tinggi, dikarenakan hal tersebut pelapisan khrom sangat diminati untuk penampilan logam yang lebih menarik. Selain itu pelapisan ini juga dapat menjadikan hasil pelapisan yang keras.

4. Seng

Seng merupakan pelapis logam yang tahan terhadap korosi, dengan harga murah, dan dapat menghasilkan tampilan permukaan yang cukup baik. Pelapisan seng melalui elektroplating dapat menghasilkan lapisan yang merata, dan daya rekat lapisan yang baik. Dalam pelapisan seng ini, larutan elektrolit yang biasa digunakan berupa larutan asam dan larutan sianida

5. Timah putih

Pelapisan timah putih biasanya digunakan untuk kaleng-kaleng makanan, minuman dan sebagainya.

6. Mangan

Mangan merupakan salah satu dari pelapis yang memiliki potensi yang sangat baik untuk menawarkan perlindungan galvanic ke bagian baja. Namun pelapis mangan tidak bisa bertahan lama, maka mangan dipadu dengan logam mulia lainnya seperti Zn, Ni, Cr, Co, Cu, atau Sn untuk mengurangi reaktivitas (Brenner, 1963).

7. Seng-Mangan (Zn-Mn)

Pelapisan menggunakan Zn-Mn dilakukan untuk meningkatkan kapasitas lapisan pelindung, selain itu pelapisan Zn-Mn meningkatkan sifat anti korosi. Zn-Mn memberikan perlindungan yang baik pada permukaan oksida logam (Bucko et al, 2011)

Logam yang digunakan sebagai bahan pelapis elektroplating dalam perlindungan korosi adalah logam yang lebih aktif dibandingkan baja. Hal ini dapat kita lihat dari potensial reduksi logam yang terdapat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel II.2 Nilai deret Volta (Silberberg, 2000).

Tabel 3. Nilai deret Volta (Silberberg, 2000).

Reaksi Reduksi	Logam	E^0 (volt)
$\text{Li}^+ + e \rightarrow \text{Li}$	Li	-3,04
$\text{K}^+ + e \rightarrow \text{K}$	K	-2,92
$\text{Ca}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Ca}$	Ca	-2,87
$\text{Na}^+ + e \rightarrow \text{Na}$	Mg	-2,71
$\text{Mg}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Mg}$	Na	-2,37
$\text{Be}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Be}$	Al	-1,85
$\text{Al}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Al}$	Mg	-1,66
$\text{Mn}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Mn}$	Mn	-1,18
$\text{Zn}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Zn}$	Zn	-0,76
$\text{Cr}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Cr}$	Cr	-0,74
$\text{Fe}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Fe}$	Fe	-0,44
$\text{Cd}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cd}$	Cd	-0,40
$\text{Co}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Co}$	Co	-0,28
$\text{Ni}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Ni}$	Ni	-0,25
$\text{Sn}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Sn}$	Sn	-0,14
$\text{Pb}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Pb}$	Pb	-0,13
$2\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{H}_2$	H_2	0,00
$\text{Sb}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Sb}$	Sb	+0,10
$\text{Sn}^{4+} + 4e \rightarrow \text{Sn}$	Sn	+0,13
$\text{Cu}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cu}$	Cu	+0,34
$\text{Hg}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Hg}$	Hg	+0,62
$\text{Fe}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Fe}$	Fe	+0,77
$\text{Ag}^+ + e \rightarrow \text{Ag}$	Ag	+0,80
$\text{Pt}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Pt}$	Pt	+1,50
$\text{Au}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Au}$	Au	+1,52
$\text{Co}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Co}$	Co	+1,82

II.2.5.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi elektroplating

1. Suhu

Sangat penting guna mengetahui cocoknya jalan reaksi dan melindungi pelapisan.

2. Kerapatan arus

Arus yang tinggi merupakan kerapatan arus yang baik. Pada umumnya rapat arus mempengaruhi waktu pelapisan untuk mencapai ketebalan yang dibutuhkan.

3. Konsentrasi ion

Struktur deposit dipengaruhi oleh konsentrasi ion, semakin naiknya konsentrasi logam maka semakin menaikkan seluruh kegiatan anion yang membantu mobilitas ion.

4. Agitasi

Terdiri dari jalannya katoda dan jalannya larutan. Agitasi ini digunakan untuk menghindari bentuk/struktur, penampilan, dan ketebalan lapisan yang tidak seragam.

5. *Throwing power*

Merupakan kemampuan larutan penyalur untuk menghasilkan lapisan dengan ketebalan yang merata dan sejalan dengan terus berubahnya jarak antara anoda dan permukaan komponen selama proses pelapisan.

6. Konduktivitas

Konduktivitas larutan tergantung pada konsentrasi ion yang besar atau jumlah konsentrasi molekul.

7. Nilai pH

Nilai pH merupakan faktor pengontrol larutan elektroplating.

8. Pasivitas

Jika muncul pasivitas pada anoda, maka proses elektroplating akan terganggu karena ion-ion logam pelapis terus menurun (Suarsana, 2008).

9. Waktu pelapisan

Waktu pelapisan merupakan faktor yang sangat berpengaruh pada proses elektroplating. Hal ini berpengaruh pada ketebalan lapisan yang diharapkan (Kirk, 1979). Semakin lama waktu pencelupan maka ketebalan lapisan semakin bertambah (Putra, 2005).

II.2.5.3 Parameter-Parameter Proses Elektroplating

Proses elektroplating agar mendapatkan hasil dan kualitas yang baik harus memperhatikan parameter-parameter sebagai berikut:

1. Rapat arus

Rapat arus dalam proses elektroplating dapat diatur, makin tinggi rapat arus, makin meningkat kecepatan pelapisan dan dapat memperkecil ukuran/bentuk kristal. Rapat arus biasanya dalam kondisi operasi larutan sebesar 10-40 A/dm². Akan tetapi bila rapat arus yang digunakan terlalu tinggi akan mengakibatkan lapisan kasar, bersisik dan akan terbakar hitam.

2. Tegangan

Tegangan dalam proses elektroplating diperlukan tergantung dari jenis, komposisi yang cukup optimum akan mengakibatkan hasil pelapisan menjadi kasar dan kusam, tetapi jika temperatur tinggi dengan rapat arus yang optimum maka hasil pelapisan tidak merata. Temperatur yang digunakan biasanya berkisar 40-55°C. Dan kondisi elektrolit. Tegangan listrik biasanya yang digunakan 6-12 volt. Rapat arus dapat dinaikan dengan menaikkan tegangan, akan tetapi hal ini dapat menyebabkan terjadinya polarisasi dan tercapainya tegangan batas. Selain itu kuat arus yang digunakan 10 Ampere.

3. Temperatur

Temperatur dalam proses elektroplating yang terlalu rendah dan rapat arus

4. Waktu pelapisan

Waktu pelapisan pada proses elektroplating akan mempengaruhi terhadap kuantitas hasil dari pelapisan yang terjadi dipermukaan produk yang dilapis. Waktu pelapisan pada proses elektroplating yang digunakan biasanya dibawah 60 menit.

5. Konsentrasi elektrolit

Konsentrasi elektrolit selama proses elektroplating berlangsung akan mengalami perubahan terutama karena adanya penguapan dan perpindahan ion-ion logam dari larutan yang mengendap di katoda. Konsentrasi larutan elektrolit 250-400 g/L CrO₃ dan 2,5-4 g/L H₂SO₄.

6. Jarak anoda

Jarak anoda-katoda dalam proses elektroplating menentukan hantaran arus listrik dan sangat berpengaruh terhadap keseragaman tebal lapisan. Besar hantaran berbanding terbalik dengan jarak, maksudnya adalah jika jarak yang digunakan semakin dekat maka endapan lapisan akan semakin cepat dan jika jarak yang digunakan semakin jauh maka endapan lapisan akan semakin lambat.

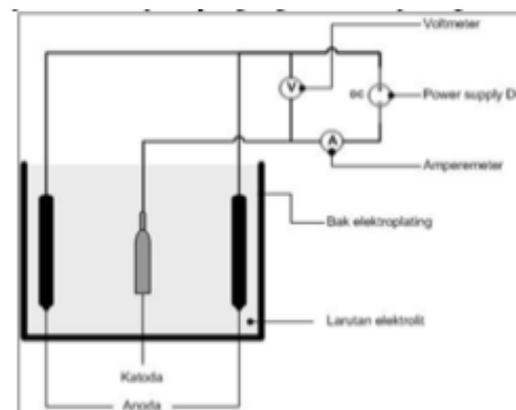
II.2.6 Tahapan Proses Pelapisan

Proses pelapisan dengan menggunakan metode *electroplating* dibagi menjadi tiga tahapan, yaitu :

1. Proses Persiapan Pengerjaan (*Pre Treatment*) Sebelum proses *electroplating* dilakukan, permukaan benda kerja yang akan dilapisi harus dalam kondisi benar-benar bersih, bebas dari bermacam-macam pengotor.
 - a. Pembersihan secara mekanik Pekerjaan ini bertujuan untuk menghaluskan permukaan dan menghilangkan goresan-goresan serta geram-geram yang masih melekat pada benda kerja. Biasanya untuk menghilangkan goresan-goresan dan geram-geram tersebut dilakukan dengan mesin gerinda atau roda yang berputar yang diberi abrasif, sedangkan untuk menghaluskan permukaan dilakukan dengan proses *buffing* maupun *polishing*, dalam berbagai tingkat kehalusan yang berbeda. Soda terbuat dari kain kanvas, katun atau kulit, prinsipnya sama dengan proses gerinda, tetapi roda/*wheel* polesnya yang berbeda. Selain proses yang diatas kadang-kadang diperlukan proses lain misalnya *brushing*, *brightening*, dan sebagainya.

b. Pembersihan dengan pelarut (*solvent*) Proses ini bertujuan untuk membersihkan specimen dari debu, lemak, minyak, garam dan kotoran udara/mengalami korosi sebelum proses plating dengan pelarut organik, alkali, dan celup asam, pembersihan dilakukan dengan cara :

- 1) Pembersihan dengan *vapour degreasin*.
 - 2) Pembersihan dengan cara alkali (*alkaline cleaning*).
 - 3) Pembersihan secara elektro (*eleCtrolitik degreasing*).
 - 4) Pembersihan dengan asam (*acid dipping*).
2. Proses lapis listrik Setelah benda kerja betul-betul bebas dari pengotor, maka benda kerja tersebut sudah siap untuk dilapis. Rangkaian sistem pelapisan dapat dilihat seperti yang digambarkan pada gambar.



Gambar II.8 : Skematis Rangkaian Lapis Listrik (Sumber : Modul *Chrome Dekoratif*)

Dalam operasi pelapisan, kondisi operasi perlu/penting sekali untuk diperhatikan. Karena kondisi tersebut menentukan berhasil atau tidaknya proses pelapisan serta mutu pelapisan yang dihasilkan. Kondisi operasi yang perlu diperhatikan tersebut antara lain :

- a. Tegangan Listrik (*Voltage*) Prinsip dasar dari proses lapis listrik adalah berpedoman atau berdasarkan hukum faraday menyatakan :

1. Jumlah zat-zat (unsur-unsur) yang terbentuk dan terbebas pada elektroda selama elektrolisa sebanding dengan jumlah arus listrik yang mengalir dalam larutan elektrolit.
2. Jumlah zat-zat (unsur-unsur) yang dihasilkan oleh arus listrik yang sama selama elektrolisa adalah sebanding dengan berat ekivalen masing-masing zat tersebut. Hukum Faraday sangat erat kaitannya dengan efisiensi arus terjadi pada pelapisan listrik. Efisiensi arus listrik adalah perbandingan berat endapan secara teoritis dan dinyatakan dalam persen (%) (hukum Ohm). Tegangan yang digunakan dalam proses lapis listrik atau *electroplating* yang dapat divariabelkan adalah 2 volt sampai dengan 10 volt sedang amperenya berbanding lurus kecil atau besar dengan tegangannya, maksudnya adalah bila luas permukaan benda kerja bervariasi, maka rapat arus yang menyesuaikan dengan besar-kecilnya *voltage*, bila dengan sistem bak asam kromat, efisiensi arus platingnya rendah, laju deposisi tetap besar karena tegangan yang digunakan pada posisi paling besar, pada temperatur yang tinggi daya larut bertambah besar dan terjadi penguraian garam logam yang menjadikan konduktivitasnya tinggi sertamenambah mobilitas ion logam, tetapi viskositas menjadi berkurang, sehingga endapan ion logam pada katoda akan lebih cepat sirkulasinya (Tomijiro, 1992)
- b. pH Larutan dipakai untuk menentukan derajat keasaman suatu larutan elektrolit dalam operasi lapis listrik, pH berarti pula pOH-pH larutan dapat diukur dengan alat ukur pH meter atau pH colorimeter, tujuan menentukan derajat keasaman ini adalah untuk melihat atau mengecek kemampuan dari larutan dalam menghasilkan lapisan yang baik.
3. Proses Pengerjaan Akhir (*Post Treatment*) Benda kerja yang telah dilakukan proses pelapisan (*electroplating*) biasanya dicuci dengan air dan kemudian dikeringkan, dan dari fungsi air perlu diketahui tentang kualitas air yang dibutuhkan sebagai contoh air ledeng dipakai untuk pembilasan dan pendinginan sedangkan air bebas mineral (*aquades*) khusus dipakai untuk pembuatan larutan, analisa dan untuk penambahan unsur kalsium dan

magnesium karena mudah bereaksi dengan *copper cyanid*, *silver cyanid* dan *cadmium cyanid*. Pada umumnya unsur-unsur yang terdapat dalam air adalah kandungan garam-garam seperti : *bicarbonate*, *sulfat*, *chloride* dan *nitrat* serta untuk unsur logam alkali tidak begitu mempengaruhi konsentrasi larutan.

II.2.7 Hard Chrome (Krom Keras)

Krom keras adalah suatu bentuk pelapisan memiliki koefisien gesek yang rendah, kekerasan yang tinggi, resistensi yang tinggi terhadap korosi dan kemampuan untuk menahan temperatur tinggi. Pada umumnya pelapisan krom keras dilakukan diatas permukaan yang mengalami kerusakan yang diakibatkan kecelakaan dan keausan komponen mesin. Proses pelapisan krom keras (hard chrome) adalah suatu proses pelapisan krom dimana krom diendapkan secara langsung pada logam dasar tanpa menggunakan lapisan dasar terlebih dahulu. Ketahanan lapisan krom keras terhadap korosi tergantung tebal lapisan krom, tebal lapisan 8-10 mikron cukup efektif melindungi logam dasar terhadap media korosif yang ringan, tebal 13-18 mikron cukup mampu menahan korosi di atmosfer, sedangkan ketebalan 50-75 mikron cukup efektif untuk melindungi terhadap reaksi kimia (Saleh, 2014).

II.2.8 Pengukuran Ketebalan Lapisan

Ketebalan lapisan merupakan jarak yang tercipta antara permukaan base material dengan permukaan yang melapisi base material. Dalam pengukuran ketebalan atau pengujian ketebalan lapisan, dibedakan menjadi dua cara pengujian diantaranya sebagai berikut :

1. Pengujian yang merusak

Pengujian yang merusak adalah suatu pengujian yang dilakukan pada spesimen dengan cara memotong spesimen menjadi 2 atau 3 bagian, selanjutnya

potongan permukaan tersebut difoto dengan pembesaran foto tertentu. Yang kemudian foto tersebut dianalisis dengan membandingkan skala pengukuran.

2. Pengujian yang tidak merusak

Pengujian yang tidak merusak adalah suatu pengujian yang dilakukan pada spesimen tanpa merusak spesimen tersebut. Metode pengujian ini menggunakan ultrasonik dengan menggunakan alat *Coating Thickness Gauge Dualscope MPOR*.

II.2.9 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan adalah suatu prinsip dasar yang digunakan sebagai ukuran kekerasan pada metode penekanan, metode penekanan ini ialah ketahanan bahan terhadap deformasi plastis atau dengan kata lain, ukuran bekas penekanan merupakan ukuran kekerasan suatu material. (Daryanto, 1985).

Pengujian kekerasan micro vickers menggunakan indenter yang terbuat dari intan. Indenter ini berbentuk piramida bujur sangkar dengan sudut 136 derajat dan pembebanan dilakukan konstan 10 sampai 15 detik. Kemudian hasil bekas penekanan diukur menggunakan mikroskop (Hsu, 2005).

Daryanto (1985:75) "Rumus skala kekerasan vickers" dihitung sebagai berikut:

$$HV = \text{kekerasan vickers} = 1,854 \cdot P/d^2 \text{ (kg.mm}^2\text{)} \dots\dots\dots\text{(II.2)}$$

Dengan: P = beban indentasi (kgf)

D = rata-rata diameter jejak indenter (mm)



Gambar II.9 *Micro vikers*

HALAMAN INI TIDAK TERSEDIA

BAB III DAN BAB IV

DAPAT DIAKSES MELALUI

UPT PERPUSTAKAAN UNWAHAS



BAB V

PENUTUP

V.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian bahwa pengaruh variasi voltase dan waktu pencelupan pada saat elektroplating adalah sebagai berikut :

1. Dari hasil penelitian uji ketebalan lapisan dengan uji mikro disimpulkan bahwa seiring bertambahnya voltase dan waktu pencelupan saat electroplating akan erpengaruh pada ketebalan lapisan. Ketebalan terendah terdapat pada specimen dengan tegangan listrik sebesar 3 volt dan waktu 10 menit sebesar 173,9 μm . Nilai ketebalan terbesar terdapat pada specimen dengan tegangan listrik sebesar 9 volt dengan waktu pencelupan 20 menit sebesar 330,4 μm . Jadi dengan bertambahnya voltase maka ketebalan lapisan permukaan akan semakin meningkat dan setiap lama waktu pencelupan maka ketebalan akan semakin meningkat.
2. Dari hasil penelitian uji kekerasan *vickers* dapat disimpulkan bahwa seiring naiknya voltase dan waktu pencelupan saat proses elektroplating akan berpengaruh pada nilai kekerasan permukaan spesimen. Nilai kekerasan terendah terdapat pada spesimen dengan tegangan 3 volt dan waktu pencelupan 10 menit sebesar 264,6 VH, Dan nilai kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen dengan tegangan 9 volt dan waktu pencelupan 20 menit sebesar 1114,8 VH. Jadi dengan bertambahnya voltase maka kekerasan lapisan permukaan akan semakin meningkat dan setiap lama waktu pencelupan maka ketebalan akan semakin meningkat.
3. Dari hasil penelitian laju korosi dengan metode kehilangan berat seiring naiknya voltase dan waktu pencelupan saat elektroplating akan menurunkan tingkat laju korosinya, Laju korosi tertinggi terjadi pada tegangan 3 volt dan waktu pencelupan saat elektroplating 10 menit sebesar 0,017827 *mmpy* dan laju korosi terendah terjadi pada spesimen dengan

tegangan 9 volt dan waktu pencelupan saat elektroplating 20 menit sebesar 0,000294 *mmpy*. Jadi dengan naiknya nilai kekerasan dan ketebalan spesimen akan berbanding terbalik dengan semakin menurunnya nilai laju korosi. Jadi dengan bertambahnya voltase dan masing-masing lama waktu pencelupan akan menurunkan tingkat laju korosinya.

V.2 Saran

Agar penelitian-penelitian berikutnya mendapatkan hasil yang lebih baik, maka perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

1. Pemilihan dimensi spesimen uji sebaiknya disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi alat, sehingga tidak menyulitkan proses pengujian spesimen.
2. Sebaiknya menyiapkan spesimen uji cadang untuk pengujian yang bersifat trial and error.
3. Pastikan permukaan spesimen rata dan halus sebelum di elektroplating agar hasil lebih bagus dan rata.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnyani, A.I., dan Triadi ,A.A.,(2009) *pengaruh kuat dan distribusi Arus terhadap ketebalan lapisan krom pada storeware dan earthenware*”, Teknik elektro” Universitas Mataram.
- Ahmad. M. A. 2011. *Analisa pengaruh besar tegangan listrik terhadap ketebalan pelapisan chrom pada pelat baja dengan proses elektroplating*. Tugas Akhir Jurusan Mesin Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin Makassar.
- Amanto, H dan Daryanto. 1999. “*Ilmu Bahan*”. Jakarta: PT. Bumi Aksara
- Arifin. D. 2015. *Contoh korosi celah*, [https://www.google.com/search?q=gambar korosi celah](https://www.google.com/search?q=gambar+korosi+celah), di unduh 27 desember 2019.
- Binudi. R dan Adjiantoro. A, (2014) *Pengaruh unsur ni, cr dan mn terhadap sifat mekanik Baja kekuatan tinggi berbasis laterit*. Pusat Penelitian Metalurgi LIPI Gedung 470, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan.
- Bučko, M., J. Rogan, S. I. Stevanović, A. Perić-Grujić, and J. B. Bajat. (2011). Initial Corrosion Protection of Zn-Mn Alloys Electrodeposited From Alkaline Solution. *Journal of Corrosion Science*. Vol 53. No 9. pp 2861-2871.
- Daryanto. 1985. *Mekanika Teknik Mesin*. Jakarta: Bina Aksara.
- Fontana, M. G Norbert D. Greene, *Corrosion Engineering*, Second Edition, McGraw-Hill, Inc, USA, 1978.
- Hady. M. K. 2015. *Korosi pada baja karbon rendah*, [https://www.google.com=gambar korosi galvanik](https://www.google.com=gambar+korosi+galvanik), di unduh 27 desember 2019.
- Hartono, J. Anton dan Tomijiro Kaneko, 1992, *Mengenal Pelapisan Logam (Elektroplating)*, Andi Offset, Yogyakarta

- Hsu, C. H. 2005. *Materials Science and Engineering Laboratory. Department of Mechanical Engineering, Mechatronic Engineering, and Manufacturing Technology*. Chico: California State University.
- Jones, Denny A. 1992. *Principles and Prevention of Corrosion*, Maxwell. Macmillan. Singapura. pp 572-580.
- Kirk-Othmer, *Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, Vol. 3 & 7*, McGraw-Hill, inc, USA.
- Kirk., Othmer. 1979. *Encyclopedia of Chemical Technology 3rd Edition Volume 6*. Willey. Newyork.
- Malau, V., dan N. S. Lupa. 2011. Pengaruh Variasi Waktu dan Konsentrasi Larutan NaCl Terhadap Kekerasan dan Laju Korosi dari Lapisan Nikel Elektroplating pada Permukaan Baja Karbon Sedang. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2 Tahun 2011*. Universitas Wahid Hasyim Semarang: D147-D152.
- Pratama. S. D. Dab Sakti. A.M (2018) *Analisis pelapisan nikel-krom terhadap laju korosi pada knalpot sepeda motor*. Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.
- Putra W S, I Putu. 2005. *Pengaruh Kuat Arus Listrik dan Waktu Pelapisan terhadap Ketebalan Pelapisan Nikel pada Tembaga*. Skripsi. Universitas
- Piere, R. R. 2008. *Corrosion Engineering-Principles and Practice*. The McGraw-Hill Companies Inc. USA.
- Purwanto, syamsul huda, (2005), "*Teknologi Industri Elektroplating*". Semarang: Universitas Diponegoro.
- Raharjo, Samsudi. 2010. Pengaruh Variasi Tegangan Listrik dan Variasi Waktu Proses Electroplating Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah dengan Krom. *Prosiding Seminar Nasional Unimus 2010*. Volume 3. Nomor 1. Universitas Muhammadiyah Semarang: 296-308.

- Roberge, P. 1999. *Handbook of Corrosion Engineering*. McGraw-Hill Book Company. Singapore.
- Rohman. H. N. Dan Syaifudin. H.. *Gambar korosi batas butir(intergranular corrosion)*,<https://www.google.com>, di unduh 27 desember 2019.
- Saleh, Azhar A. 2014. *Electroplating Teknik Pelapisan Logam dengan Cara Listrik*. Bandung: Yrama Widya.
- Santosa, B., dan M. Syamsa. 2007. *Pengaruh Parameter Proses Pelapisan Nikel Terhadap ketebalan Lapisan*. Jurnal Teknik Mesin. Volume 9. Nomor 1: 25- 30.
- Satya. S. S, 2006. *Pengaruh temperatur terhadap laju korosi pada pelapisan tembaga dengan timah menggunakan metode electroplating*, Fakultas teknik jurutan teknik mesin , Universitas Widya Gama , Malang.
- Silberberg. 2000. *The Molecular Nature of Matter and Change*. Mc.Graw. New York.
- Suarsana, I. K. 2008, *Pengaruh Waktu Pelapisan Nikel Pada Tembaga Dalam Pelapisan Khrom Dekoratif Terhadap Tingkat Kecerahan Dan Ketebalan Lapisan*. Universitas Udayana. Kampus Bukit Jimbaran Bali.
- Sulaiman, A. 1978. Korosi Laut, Lingkungan dan Pengaruhnya terhadap Korosi. *Seminar Nasional Elektrokimia. Publitbang LIPI*. Serpong Tangerang. Hal 34.
- Supriyanto. 2007. Tugas Akhir. “*Pengaruh Konsentrasi Larutan NaCl 2% dan 3,5% Terhadap Laju Korosi Pada Baja Karbon Rendah*”. Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Sutrisno. 2013. Pengaruh Variasi Waktu Baja Karbon Rendah Terhadap Struktur Mikro, Nilai Kekerasan, Laju Korosi dan Nilai Keausan Spesifik. *Jurnal Politeknosains*. Volume XII. Nomor 2: 52-61.

topayung. d (2011) pengaruh arus listrik dan waktu proses terhadap ketebalan dan massa lapisan yang terbentuk pada proses elektroplating pelat baja. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sam Ratulangi, Manado

Trethewey, K. R. and Chamberlain, J. 1991. *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasa*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

Utomo. 2009. *Korosi Seragam pada pipa ballast*
<https://www.google.com/search?q=gambar+korosi+seragam>, di unduh 27 desember 2019.

<https://www.slideshare.net/MMMAinulWafiq/baja-xxx>. Di unduh pada tanggal 31 januari 2020.