

Analisa Perbandingan Laju Korosi Produk Bandul Timbangan Besi Cor Kelabu Sebelum Dan Sesudah Dilapisi Nikel Pada Proses Elektroplating Dengan Variasi Waktu Pencelupan 60, 75, Dan 90 Menit

Kornelius Budianto; Dr. Agus Yulianto, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Korosi adalah masalah serius yang dapat terjadi pada material besi cor kelabu, terutama ketika digunakan di lingkungan yang korosif. Untuk melindungi besi cor kelabu dari korosi, dilakukan pelapisan nikel (Ni) pada permukaan besi cor kelabu dengan metode pelapisan elektroplating. Elektroplating adalah salah satu metode pelapisan logam dengan cara mengalirkan arus listrik ke anoda dan katoda yang berada dalam suatu larutan elektrolit. Metode yang digunakan pada pelapisan ini yaitu pengaruh lama waktu pencelupan dengan variasi waktu 60, 75, dan 90 menit terhadap ketebalan lapisan dan laju korosi spesimen besi cor kelabu. Variasi waktu pencelupan 60, 75, dan 90 menit didapatkan hasil ketebalan lapisan secara berturut – turut yaitu 11,363 μm , 14,681 μm , dan 16,477 μm . Pada pengujian laju korosi dilakukan dengan metode elektrokimia potensiostat dan *software* CS Studio 5, dengan tiga variasi waktu pencelupan tersebut didapatkan nilai laju korosi secara berturut – turut sebesar 0,037101 mmpy, 0,04663 mmpy, dan 0,037399 mmpy. Sedangkan laju korosi pada spesimen Raw material didapatkan nilai laju korosi sebesar 0,11305 mmpy. Pada perhitungan rumus, nilai laju korosi spesimen Raw material sebesar 0,113396 mmpy dan pada spesimen tiga variasi waktu didapatkan laju korosi secara berturut – turut sebesar 0,037824 mmpy, 0,046978 mmpy, dan 0,037512 mmpy.

Kata kunci : Besi Cor Kelabu, Elektroplating, Nikel (Ni), Laju Korosi, Ketebalan Lapisan.

Abstract

Corrosion is a serious problem that can occur with gray cast iron materials, especially when used in corrosive environments. To protect gray cast iron from corrosion, nickel (Ni) is coated on the surface of the gray cast iron using the electroplating coating method. Electroplating is a method of coating metal by passing an electric current to the anode and cathode which are in an electrolyte solution. The method used for this coating is the effect of immersion time with varying times of 60, 75 and 90 minutes on the layer thickness and corrosion rate of gray cast iron specimens. Varying immersion times of 60, 75, and 90 minutes resulted in layer thicknesses respectively being 11,363 μm , 14,681 μm , and 16,477 μm . Corrosion rate testing was carried out using the electrochemical potentiostat method and CS Studio 5 software, with three variations in immersion time, the corrosion rate values were obtained respectively at 0.037101 mmpy, 0.04663 mmpy and 0.037399 mmpy. Meanwhile, the corrosion rate of the raw material specimen obtained a corrosion rate value of 0.11305 mmpy. In the calculations, the corrosion rate value for the raw material specimen was 0.113396 mmpy and for the three time variation specimens the corrosion rates were obtained respectively at 0.037824 mmpy, 0.046978 mmpy and 0.037512 mmpy.

Keywords : Gray Cast Iron, Electroplating, Nickel (Ni), Corrosion Rate, Layer Thickness

1. PENDAHULUAN

Korosi adalah masalah serius yang sering dihadapi dalam aplikasi material besi cor kelabu, terutama ketika digunakan di lingkungan yang korosif. Untuk melindungi besi cor kelabu dari korosi, dilakukan pelapisan pada permukaan besi cor kelabu dengan metode pelapisan elektroplating. Elektroplating dengan lapisan pelindung seperti nikel telah banyak digunakan dalam industri. Namun, penting untuk mengevaluasi efektivitas pelapisan nikel dalam mengurangi laju korosi pada besi cor kelabu.

Elektroplating merupakan suatu proses pelapisan logam secara elektrolisis melalui penggunaan arus searah (*Direct Current / DC*) dan larutan kimia (elektrolit) yang berfungsi sebagai penyedia ion – ion logam membentuk endapan (lapisan) logam pada elektroda katoda. Metode pelapisan ini bertujuan untuk mendapatkan sifat khusus permukaan seperti sifat tahan terhadap korosi, sifat keras, sifat tahan aus, dan sifat tahan terhadap suhu tinggi (Manurung, 2014).

Korosi merupakan proses atau reaksi elektrokimia yang bersifat alamiah dan berlangsung dengan sendirinya, oleh karena itu korosi tidak dapat dicegah atau dihentikan. Korosi hanya bisa dikendalikan atau diperlambat lajunya sehingga dapat memperlambat proses perusakannya (Prambudi dkk, 2019). Pelapisan nikel dapat memberikan lapisan pelindung yang tahan terhadap reaksi kimia yang menyebabkan korosi pada besi cor kelabu. Lapisan nikel membentuk penghalang antara material dasar dan lingkungan korosif, sehingga mengurangi laju korosi dan memperpanjang masa pakai produk bandul timbangan besi cor kelabu.

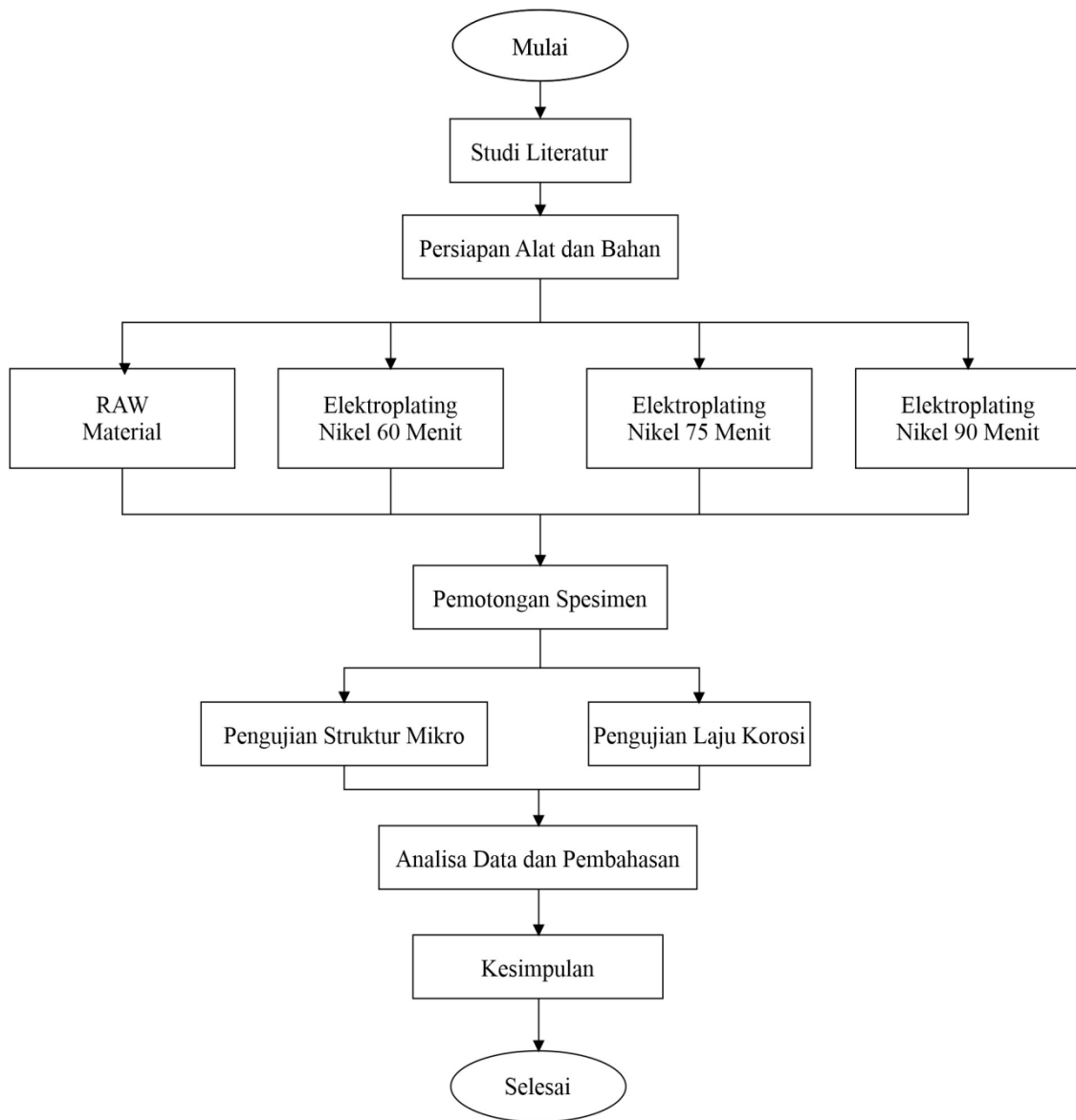
Penelitian ini membandingkan performa korosi antara sampel besi cor kelabu tanpa pelapisan nikel dan sampel besi cor kelabu yang telah melalui proses pelapisan nikel. Hasil dari penelitian ini dapat memberikan rekomendasi praktis bagi industri dalam memilih perlakuan permukaan yang tepat untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi pada produk bandul timbangan besi cor kelabu. Selain itu, penelitian ini juga dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknik pelapisan nikel dan pemahaman yang lebih baik tentang mekanisme korosi pada besi cor kelabu.

Berdasarkan latar belakang diatas maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana ketebalan lapisan nikel pada besi cor kelabu setelah dilakukan proses electroplating, bagaimana perbandingan dari hasil pengujian laju korosi dengan media korosif air laut terhadap besi cor kelabu sebelum dan sesudah dilakukan proses elektroplating nikel dengan variasi waktu yang berbeda.

Tujuan dari penelitian yang dilakukan yaitu untuk mengetahui ketebalan lapisan nikel pada besi cor kelabu setelah dilakukan proses electroplating dan menganalisa ketahanan laju korosi pada besi cor kelabu sebelum dan sesudah dilakukan proses elektroplating dengan media korosif air laut.

2. METODE

2.1. Diagram Alir Penelitian



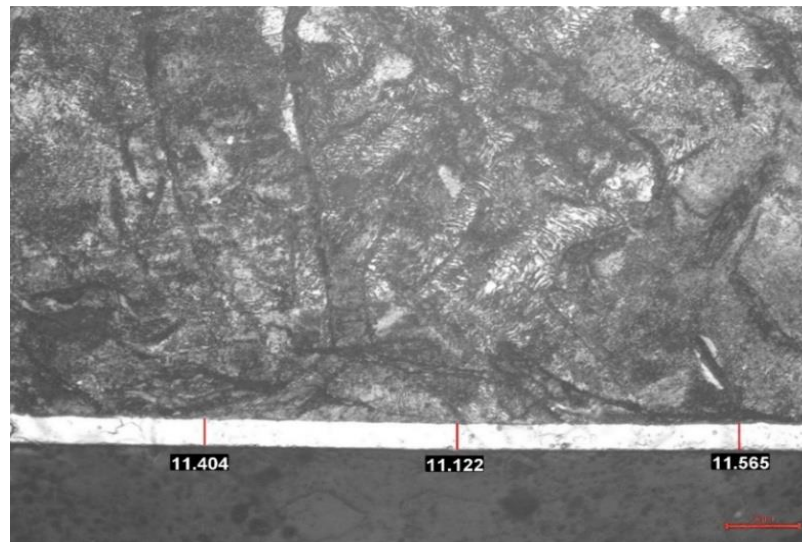
Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Ketebalan Lapisan

Pengujian ketebalan lapisan ini bertujuan untuk melakukan pengamatan ukuran tebal lapisan nikel pada spesimen besi cor kelabu setelah dilakukan proses elektroplating dengan variasi waktu pencelupan 60 menit, 75 menit, dan 90 menit menggunakan tegangan 12 Volt DC dan kuat arus 5 Ampere. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta menggunakan mikroskop optik dengan standar ASTM B487 dan aplikasi *Image J*.

Hasil pengujian ketebalan lapisan pertama dilakukan pada spesimen uji elektroplating nikel dengan variasi waktu pencelupan 60 menit. Ketebalan lapisan nikel yang terbentuk pada permukaan spesimen uji dapat dilihat pada gambar 2.



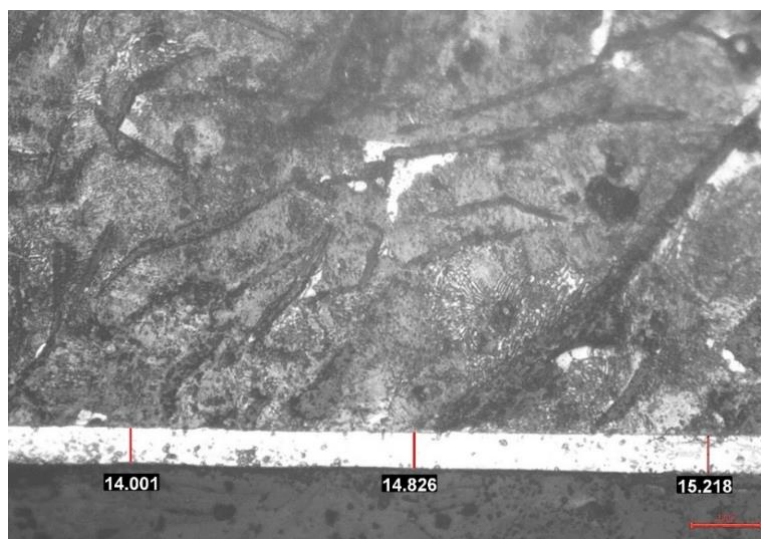
Gambar 2 Ketebalan Lapisan Nikel Pada Variasi Waktu Pelapisan 60 Menit

Hasil dari pengukuran ketebalan lapisan nikel pada spesimen variasi pencelupan 60 menit ini dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Hasil Ketebalan Spesimen Uji Variasi Pencelupan 60 Menit

Variasi Spesimen	Ketebalan Pada Titik Uji (μm)			Ketebalan Rata - rata (μm)
	Titik Uji 1	Titik Uji 2	Titik Uji 3	
Pelapisan 60 menit	11,404	11,122	11,565	11,363

Hasil pengujian ketebalan lapisan kedua dilakukan pada spesimen uji elektroplating nikel dengan variasi waktu pencelupan 75 menit. Ketebalan lapisan nikel yang terbentuk pada permukaan spesimen uji dapat dilihat pada gambar 3.



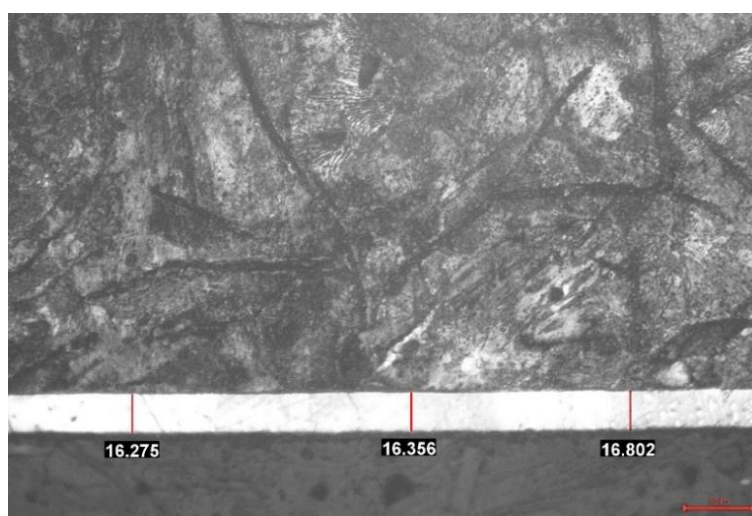
Gambar 3 Ketebalan Lapisan Nikel Pada Variasi Waktu Pelapisan 75 Menit

Hasil dari pengukuran ketebalan lapisan nikel pada spesimen variasi pencelupan 75 menit ini dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Hasil Ketebalan Spesimen Uji Variasi Pencelupan 75 Menit

Variasi Spesimen	Ketebalan Pada Titik Uji (μm)			Ketebalan Rata - rata (μm)
	Titik Uji 1	Titik Uji 2	Titik Uji 3	
Pelapisan 75 menit	14,001	14,826	15,218	14,681

Hasil pengujian ketebalan lapisan ketiga dilakukan pada spesimen uji elektroplating nikel dengan variasi waktu pencelupan 90 menit. Ketebalan lapisan nikel yang terbentuk pada permukaan spesimen uji dapat dilihat pada gambar 4.



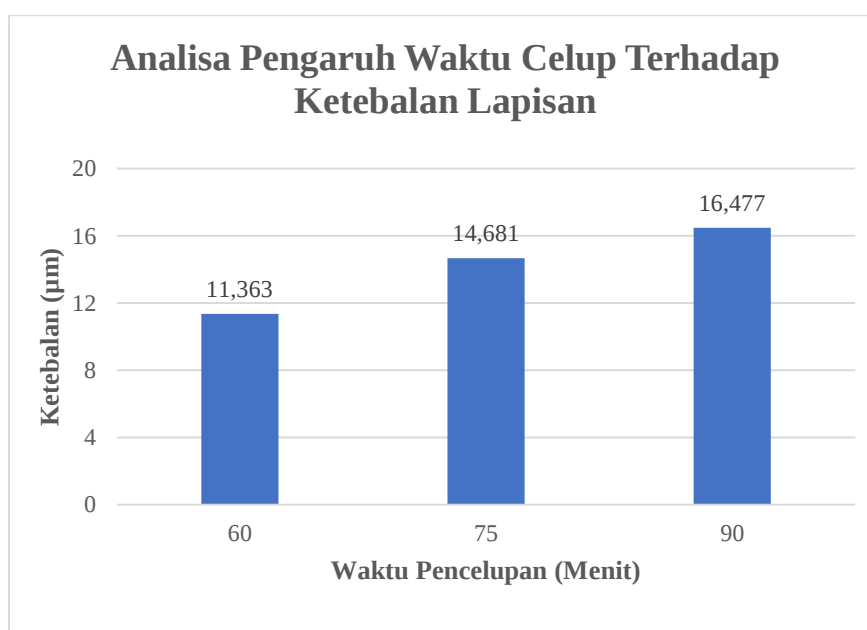
Gambar 4 Ketebalan Lapisan Nikel Pada Variasi Waktu Pelapisan 90 Menit

Pada pengujian ketebalan lapisan spesimen uji variasi waktu pencelupan 90 menit, didapatkan nilai ketebalan rata – rata lapisan nikel sebesar 16,477 μm . Nilai rata – rata ketebalan lapisan ditentukan dari pengukuran tiga titik lapisan seperti pada gambar 4. Hasil dari pengukuran ketebalan lapisan nikel pada spesimen variasi pencelupan 90 menit ini dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 Hasil Ketebalan Spesimen Uji Variasi Pencelupan 90 Menit

Variasi Spesimen	Ketebalan Pada Titik Uji (μm)			Ketebalan Rata - rata (μm)
	Titik Uji 1	Titik Uji 2	Titik Uji 3	
Pelapisan 90 menit	16,275	16,356	16,802	16,477

Hasil uji ketebalan lapisan material besi cor kelabu yang dilakukan proses elektroplating dengan lama waktu celup 60 menit menunjukkan adanya lapisan nikel (Ni) yang mengendap pada permukaan spesimen besi cor kelabu dengan rata-rata ketebalan 11,363 μm . Pada gambar 3 lapisan nikel pada permukaan besi cor kelabu yang dilakukan proses elektroplating nikel (Ni) dengan lama waktu pencelupan 75 menit didapatkan ketebalan rata-rata 14,681 μm . Pada gambar 4 menunjukkan spesimen besi cor kelabu yang dilakukan proses elektroplating nikel (Ni) dengan lama waktu pencelupan 90 menit didapatkan rata-rata ketebalan lapisan 16,477 μm . Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu pencelupan elektroplating nikel berpengaruh terhadap ketebalan lapisan yang terbentuk, semakin lama waktu pencelupan maka lapisan yang terbentuk akan semakin tebal.

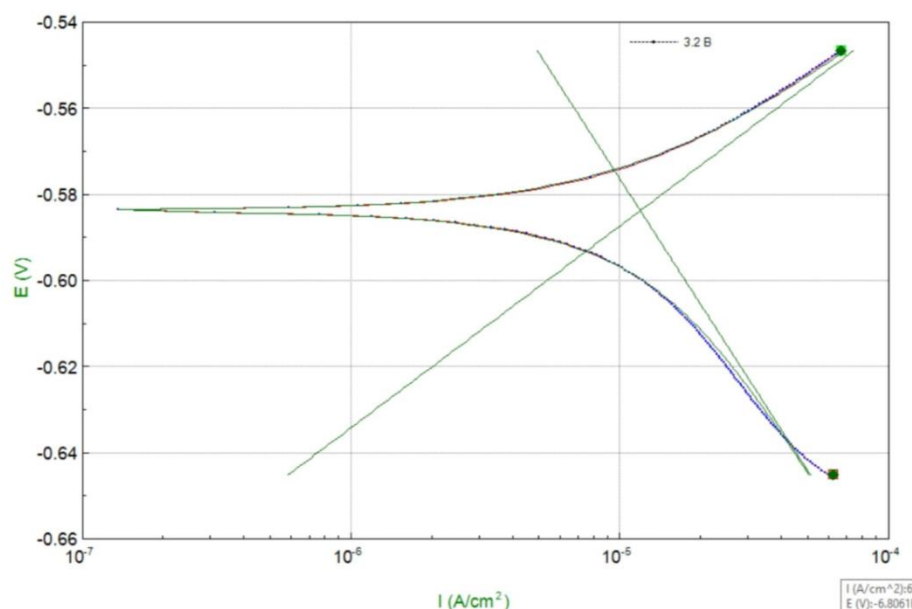


Gambar 5 Histogram Hasil Pengujian Ketebalan Lapisan

3.2 Hasil Pengujian Laju Korosi

Pengujian laju korosi dilakukan dengan metode elektrokimia potensiostat tiga sel elektroda yang dilakukan di Laboratorium Material Departemen Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang. Pengujian laju korosi ini menggunakan media korosif (elektrolit) air laut dengan menggunakan standar ASTM G102 (*Standard Practice For Calculation of Corrosion Rates And Related Information From Electrochemical Measurements*) dan ASTM G59-97 (2009) (*Standard Test Method for Conduction Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements*).

Hasil pengujian laju korosi dengan elektrolit air laut terhadap spesimen uji yang belum dilakukan elektroplating nikel didapatkan nilai arus korosi sebesar $11,943 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Adapun grafik hasil pengujian laju korosi pada spesimen raw material ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6 Kurva Polarisasi Spesimen Uji Raw Material

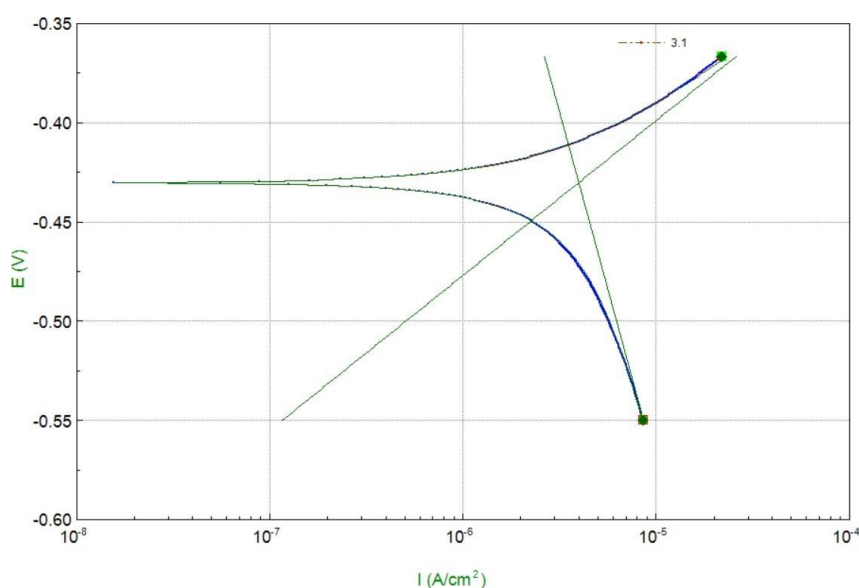
Hasil laju korosi yang didapatkan pada spesimen Raw material setelah dilakukan perhitungan dengan rumus didapatkan nilai sebesar 0,113396 mmpy. Perbedaan nilai laju korosi tersebut tidak signifikan dengan nilai laju korosi yang didapatkan dari *software* CS Studio 5 dengan nilai laju korosi sebesar 0,11305 mmpy. Nilai laju korosi tersebut dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4 Hasil Pengujian Laju Korosi pada Spesimen Uji Raw Material

Variasi Spesimen	Potensial (mV)	Kerapatan Arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Laju Korosi Perhitungan Rumus (mmpy)	Laju Korosi CS Studio 5 (mmpy)
------------------	----------------	--	--------------------------------------	--------------------------------

Raw Material	583,88	11,943	0,113396	0,11305
--------------	--------	--------	----------	---------

Hasil pengujian laju korosi dengan elektrolit air laut terhadap spesimen uji yang telah dilakukan elektroplating menggunakan tegangan 12 Volt dan arus 5 A dengan variasi waktu pencelupan 60 menit pada besi cor kelabu, didapatkan nilai arus korosi sebesar $3,9837 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Adapun grafik hasil pengujian laju korosi pada spesimen dengan variasi waktu pencelupan elektroplating 60 menit ditunjukkan pada gambar 7.



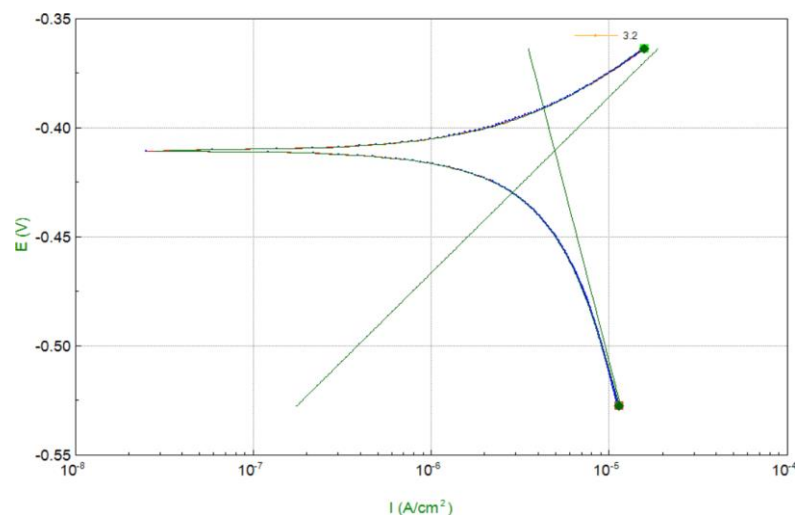
Gambar 7 Kurva Polarisasi Spesimen Uji Elektroplating Nikel (Ni) Waktu Pencelupan 60 Menit

Hasil laju korosi yang didapatkan pada spesimen variasi pelapisan 60 menit setelah dilakukan perhitungan dengan rumus didapatkan nilai sebesar 0,037824 mmpy. Perbedaan nilai laju korosi tersebut tidak signifikan dengan nilai laju korosi yang didapatkan dari *software* CS Studio 5 dengan nilai laju korosi sebesar 0,037101 mmpy. Nilai laju korosi tersebut dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5 Hasil Pengujian Laju Korosi pada Spesimen Uji Waktu Pencelupan Elektroplating Nikel (Ni) 60 Menit

Variasi Spesimen	Potensial (mV)	Kerapatan Arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Laju Korosi Perhitungan Rumus (mmpy)	Laju Korosi CS Studio 5 (mmpy)
60 Menit	430,32	3,9837	0,037824	0,037101

Hasil pengujian laju korosi dengan elektrolit air laut terhadap spesimen uji yang telah dilakukan elektroplating menggunakan tegangan 12 Volt dan arus 5 A dengan variasi waktu pencelupan 75 menit pada besi cor kelabu, didapatkan nilai arus korosi sebesar $4,9478 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Adapun grafik hasil pengujian laju korosi pada spesimen dengan variasi waktu pencelupan elektroplating 75 menit ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8 Kurva Polarisasi Spesimen Uji Elektroplating Nikel (Ni) Waktu Pencelupan 75 Menit

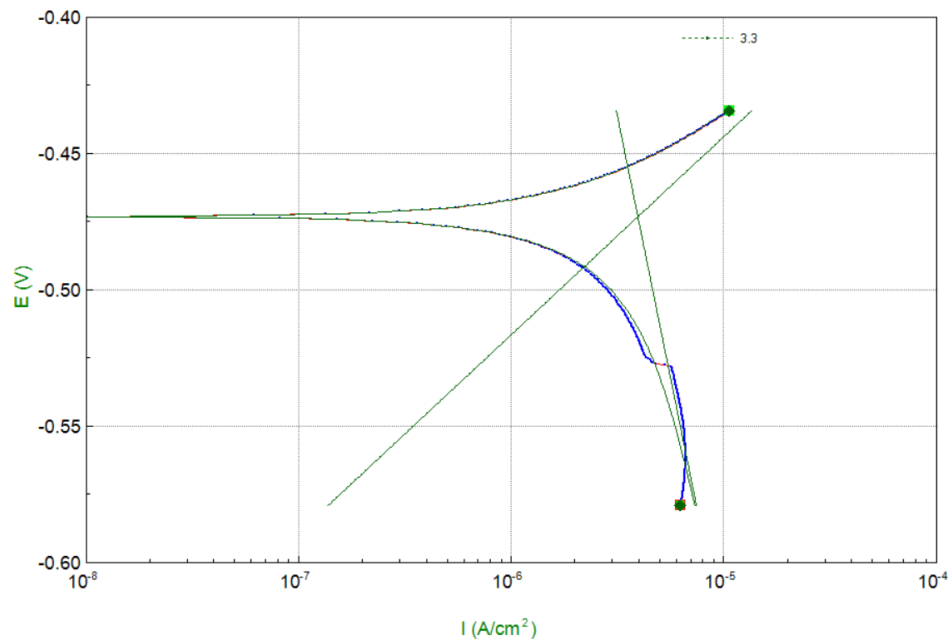
Hasil laju korosi yang didapatkan pada spesimen variasi pelapisan 75 menit setelah dilakukan perhitungan dengan rumus didapatkan nilai sebesar 0,046978 mmpy. Perbedaan nilai laju korosi tersebut tidak signifikan dengan nilai laju korosi yang didapatkan dari *software* CS Studio 5 dengan nilai laju korosi sebesar 0,04663 mmpy. Nilai laju korosi tersebut dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6 Hasil Pengujian Laju Korosi pada Spesimen Uji Waktu Pencelupan Elektroplating Nikel (Ni) 75 Menit

Variasi Spesimen	Potensial (mV)	Kerapatan Arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Laju Korosi Perhitungan Rumus (mmpy)	Laju Korosi CS Studio 5 (mmpy)
75 Menit	410,6	4,9478	0,046978	0,04663

Hasil pengujian laju korosi dengan elektrolit air laut terhadap spesimen uji yang telah dilakukan elektroplating menggunakan tegangan 12 Volt dan arus 5 A dengan variasi waktu

pencelupan 90 menit pada besi cor kelabu, didapatkan nilai arus korosi $3,9508 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Adapun grafik hasil pengujian laju korosi pada spesimen dengan variasi waktu pencelupan elektroplating 90 menit ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9 Kurva Polarisasi Spesimen Uji Elektroplating Nikel (Ni) Waktu Pencelupan 90 Menit

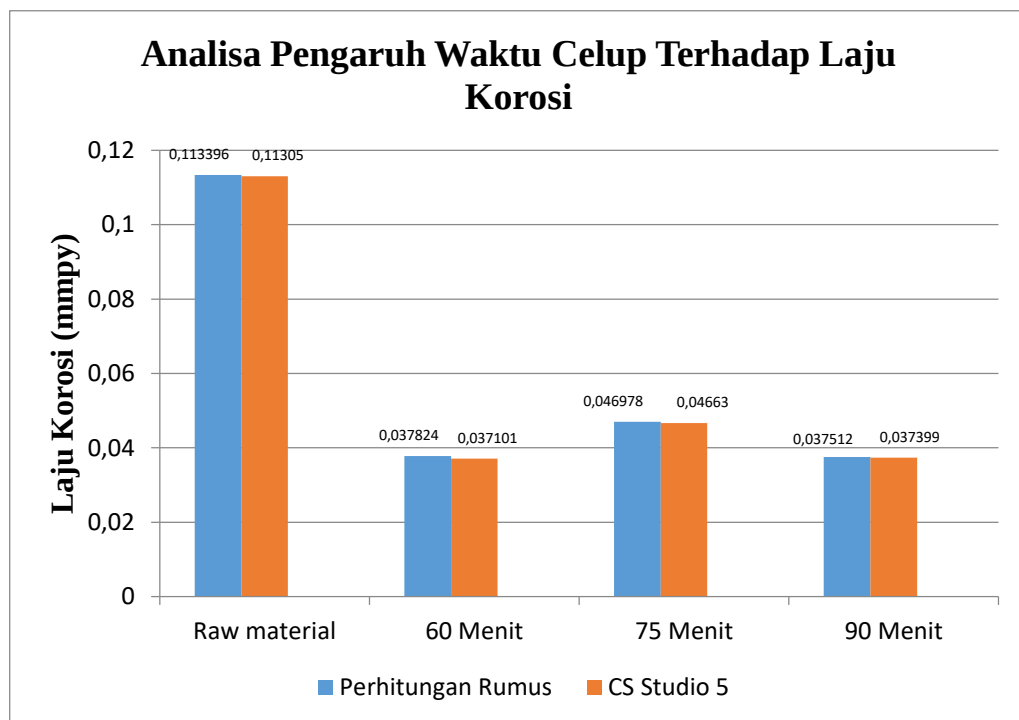
Hasil laju korosi yang didapatkan pada spesimen variasi pelapisan 90 menit setelah dilakukan perhitungan dengan rumus didapatkan nilai sebesar $0,037512 \text{ mmpy}$. Perbedaan nilai laju korosi tersebut tidak signifikan dengan nilai laju korosi yang didapatkan dari *software* CS Studio 5 dengan nilai laju korosi sebesar $0,037399 \text{ mmpy}$. Nilai laju korosi tersebut dapat dilihat pada tabel 7

Tabel 7 Hasil Pengujian Laju Korosi pada Spesimen Uji Waktu Pencelupan Elektroplatin Nikel (Ni) 90 Menit

Variasi Spesimen	Potensial (mV)	Kerapatan Arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Laju Korosi Perhitungan Rumus (mmpy)	Laju Korosi CS Studio 5 (mmpy)
90 Menit	473,31	3,9508	0,037512	0,037399

Dari hasil pengujian laju korosi melalui perhitungan rumus didapatkan nilai laju korosi pada spesimen variasi waktu pencelupan 60 menit didapatkan nilai laju korosinya sebesar $0,037824 \text{ mmpy}$. Kemudian laju korosi pada spesimen variasi waktu pencelupan 75 menit didapat nilai laju korosinya sebesar $0,046978 \text{ mmpy}$ dan pada spesimen variasi waktu

pencelupan 90 menit didapat nilai laju korosinya sebesar 0,037512 mmpy. Sedangkan pada spesimen Raw material didapatkan nilai laju korosi sebesar 0,113396 mmpy. Hal ini disimpulkan bahwa semakin tebal lapisan nikel yang terbentuk pada permukaan spesimen maka semakin rendah nilai laju korosinya. Namun, laju korosi pada spesimen dengan waktu pencelupan 75 menit nilai laju korosinya lebih besar dari spesimen dengan waktu pencelupan 60 menit. Hal ini terjadi dikarenakan nikel (Ni) yang menjadi anoda tidak terdepositasi dengan baik ke permukaan spesimen, sehingga menyebabkan lapisan yang terbentuk pada spesimen tidak merata. Analisa perbedaan hasil laju korosi yang didapatkan antara perhitungan rumus dengan *software* CS Studio 5 disebabkan karena adanya kesalahan dalam memasukan data pada *software* sehingga nilai laju korosi yang didapatkan pada *software* tidak sinkron dengan hasil laju korosi yang dihitung dengan perhitungan rumus. Histogram hasil laju korosi dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10 Histogram Hasil Pengujian Laju Korosi

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan hasil dengan kesimpulan sebagai berikut.

1. Setelah dilakukan pengujian ketebalan lapisan nikel menggunakan mikroskop optik dan *software image J*, didapatkan hasil ketebalan terendah pada spesimen variasi waktu pencelupan 60 menit dengan ketebalan nikel sebesar 11,363 μm . Pada spesimen variasi waktu pencelupan 75 menit mendapatkan nilai ketebalan sebesar 14,681 μm . Nilai ketebalan lapisan

nikel tertinggi didapatkan pada spesimen variasi waktu pencelupan 90 menit dengan ketebalan lapisan sebesar 16,477 μm . Hal ini disimpulkan bahwa lama waktu pencelupan berbanding lurus dengan ketebalan, semakin lama waktu pencelupan pada proses elektroplating nikel maka semakin tebal lapisan yang terbentuk pada spesimen uji.

2. Pengujian laju korosi dengan perhitungan rumus dan metode elektrokimia potensiostat sel tiga elektroda dengan media korosif air laut pada besi cor kelabu sebelum dilakukan proses elektroplating (Raw material) merupakan laju korosi tertinggi dengan nilai laju korosi sebesar 0,113396 mmpy. Pada spesimen besi cor kelabu setelah proses elektroplating nikel dengan variasi waktu pencelupan 60, 75, dan 90 menit secara berturut – turut mendapatkan nilai laju korosi sebesar 0,037824 mmpy, 0,046978 mmpy, dan 0,037512 mmpy. Nilai laju korosi terendah didapatkan pada spesimen dengan variasi waktu pencelupan selama 90 menit. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan nikel dapat menghambat laju korosi pada spesimen besi cor kelabu dibandingkan dengan spesimen besi cor kelabu tanpa dilakukannya pelapisan nikel. Semakin tebal lapisan yang terbentuk pada permukaan spesimen, maka semakin rendah nilai laju korosi pada spesimen.

4.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, tentu ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam penelitian serupa maupun pengembangannya, sehingga penulis menyarankan beberapa hal antara lain :

1. Menambahkan variasi temperatur elektrolit, jarak anoda-katoda, tegangan, dan kuat arus untuk mendapatkan hasil lapisan yang optimal.
2. Pengujian ketebalan lapisan dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) supaya lapisan yang terbentuk pada permukaan spesimen dapat terlihat lebih jelas.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, Y. K., Arief, I. S., & Amiadji. (2015). Analisa Laju Korosi Pada Plat Baja Karbon Dengan Variasi Ketebalan Coating. *Jurnal Teknik ITS*, 4(1).
- Akbar, B. G. (2022). “Karakteristik Korosi Ti 6Al 4V – ELI Dengan Metode Polarisasi Tafel Dalam Larutan Hank’s”. Tugas Akhir. Universitas Andalas.
- Callister Jr, W. D., & Rethwisch, D. G. (2014). “Materials Science and Engineering : An Introduction (2nd Edition)”. *Materials & Design* 12(1) : 59.
- Callister Jr, W. D., & Rethwisch, D. G. (2017). Characteristics, Application, and Processing of Polymers. In *Materials Science and Engineering – An Introduction*.

- Darmawi. (2018). *Buku Pendukung Perkuliahan Pengendalian Korosi dan Perlakuan Permukaan : Pelapisan Logam*. 1 – 103. <https://123dok.com/document/zl93446z-welcome-eprints-sriwijaya-university-unsri-online-repository.html>
- Hutauruk, F. Y. (2017). “Analisa Laju Korosi Pada Pipa Baja Karbon dan Pipa Galvanis Dengan Metode Elektrokimia”. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Jamaludin. (2019). Pengaruh Ketebalan Elektroplating Menggunakan Nikel dan Krom Pada Aluminium Alloy 2024 Terhadap Laju Korosi. *Politeknik Penerbangan Surabaya*. 42 – 49.
- Manurung, C. (2014). Pengaruh Kuat Arus Terhadap Ketebalan Lapisan dan Laju Korosi (Mpy) Hasil Elektroplating Baja Karbon Rendah Dengan Pelapis Nikel. *Visi*, 21(2), 1857 – 1869.
- Mariana, E. (2019). “Korosi”. e – Modul Direktorat Pembinaan SMA – Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
- Mohruni, A. S., & Kembaren, B. H. (2013). Struktur Mikro Baja Karbon Rendah Dengan Elektroda E6013. 13(1), 1 – 8.
- Mouna, R., Noureddine, A., & Mosbah, F. (2023). Anticorrosive Properties of Nickel-Alumina Composite Coatings on A Steel Substrate. *Anal Bioanal Electrochem*, 15(5), 382 – 393. <https://www.doi.org/10.22034/abec.2023.705136>
- Permadi, B., Asroni, & Budiyanto, E. (2019). Proses Elektroplating Nikel Dengan Variasi Jarak Anoda Katoda dan Tegangan Listrik Pada Baja ST-41. *TURBO*, 8(2), 226 – 230. <http://ojs.umm metro.ac.id/index.php/turbo>
- Prambudi, A. A., Prasajo, B., & Wismawati, E. (2019). Pengaruh Jenis Katalis dan Variasi Susunan Layer FRP (Fiberglass Reinforced Plastic) Terhadap Kekuatan Tarik dan Ketahanan Korosi Pada Fluida Asam Phospat. *Proceeding 4rd Conference of Piping Engineering and Its Application, II*, 215.
- Pratama, S. D. & Sakti, A. M. (2018). Analisis Pelapisan Nikel-Krom Terhadap Laju Korosi Pada Knalpot Sepeda Motor. *Jptm*, 06(03), 207 – 214.
- Sebastyantito, A. (2019). “Pengaruh Temperatur Elektrolit dan Waktu Proses Elektroplating Kuningan Pada Baja Karbon Terhadap Daya Lekat, Ketebalan, dan Kekilauan Hasil Pelapisan”. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Sholikhin, M. A., Suprihanto, A., Umardani, Y. (2021). Analisis Pengaruh Perlakuan Panas (*Heat Treatment*) Terhadap Laju Korosi Pada Material Baja Karbon Menengah AISI 1045 Pada Air Laut. *Jtm (S-1)*, 9(1), 163 – 170.
- Sriwardani, N., Ranto, Rohman, N., Basori. (2019). Pengaruh Inhibitor Blimbing Wuluh Terhadap Pengendalian Korosi Baja Karbon Dalam Larutan NaCl. *JIPTEK*, 12(2), 126 – 131.

- Suarsana, I. K. (2008). Pengaruh Waktu Pelapisan Nikel Pada Tembaga Dalam Pelapisan Khrom Dekoratif Terhadap Tingkat Kecerahan dan Ketebalan Lapisan. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM*, 2(1), 48 – 60.
- Supriyono. (2017). Material Teknik. Surakarta : Muhammadiyah University Press.
- Syamsuir. (2022). Pelapisan Tembaga Nikel Pada Baja dan Pengaruhnya Terhadap Laju Korosi. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, 7(2), 96 – 104.
<http://journal.unj.ac.id/unj/index.php/jkem>
- Widiyanto, N. (2023). “Pengaruh *Post Weld Heat Treatment* Terhadap Pengelasan SMAW Pada Material AISI 1045 Terhadap Laju Korosi Di Air Laut”. Tugas Akhir. Universitas Diponegoro.
- Zhang, H., Xu, J., Hao, D., & Esmail, O. M. A. O. (2023). Microstructure and Mechanical Properties of Laser-Welded Joints between DP590 Dual-Phase Steel and 304 Stainless Steel with Preset Nickel Coating. *Materials*, 16(7). <https://doi.org/10.3390/ma16072774>