

PENGARUH AMPERE PADA PROSES HARDCHROME PADA KETEBALAN DI PERMUKAAN MILDSTEEL

Bintang Pramudya^{1*}, Heri Kustanto²

- 1 Sekolah Tinggi Teknologi "Warga" Surakarta ; email : bintangprmdysmk@gmail.com
- 2 Sekolah Tinggi Teknologi "Warga" Surakarta ; email : herikustanto1@gmail.com

* Penulis : Bintang Pramudya

Abstract: This research aims to investigate the effect of current variation (ampere) in the hardchrome electroplating process on the coating thickness of low-carbon steel (Mildsteel/ST 37). The current variations applied were 4 A, 5 A, and 6 A, at a constant voltage of 2 V, solution temperature of 50–60 °C, and immersion time of 10 minutes. The material used was ST 37 steel, coated using Nickel Sulphate as the undercoat and Chromic Acid as the main coating solution. The results showed that an increase in current leads to a thicker coating layer. The average coating thickness obtained was 10.1 μm at 4 A, 19.9 μm at 5 A, and 23.7 μm at 6 A. Linear regression analysis resulted in a determination coefficient (R^2) of 0.644, indicating that current variation contributed 64.4% to the coating thickness. It can be concluded that the increase in applied current significantly affects the thickness of the hardchrome coating on the surface of Mildsteel.

Keywords: Electroplating; Hardchrome; Current; Thickness; Mildsteel.

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kuat arus listrik (ampere) pada proses electroplating hardchrome terhadap ketebalan lapisan pada baja karbon rendah (Mildsteel/ST 37). Variasi arus yang digunakan adalah 4 Ampere, 5 Ampere, dan 6 Ampere dengan tegangan konstan 2 Volt, temperatur larutan 50–60 °C, serta waktu pencelupan konstan 10 menit. Material yang digunakan adalah baja ST 37 dengan proses pelapisan menggunakan larutan Nickel Sulphate sebagai undercoat dan larutan Chromic Acid sebagai pelapis utama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar kuat arus yang digunakan maka semakin tebal lapisan yang terbentuk. Ketebalan rata-rata yang diperoleh berturut-turut yaitu 10,1 μm pada arus 4 A, 19,9 μm pada arus 5 A, dan 23,7 μm pada arus 6 A. Berdasarkan analisis regresi linear diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,644, yang menunjukkan bahwa variasi kuat arus berpengaruh sebesar 64,4% terhadap ketebalan lapisan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa peningkatan kuat arus listrik berpengaruh signifikan terhadap peningkatan ketebalan lapisan hardchrome pada permukaan Mildsteel.

Kata kunci: Electroplating; Hardchrome; Ampere; Ketebalan; Mildsteel.

Diterima: Agustus 20, 2025
Direvisi: Agustus 28, 2025
Diterima: Agustus 25, 2025
Diterbitkan: Oktober 6, 2025
Versi sekarang: Oktober 6, 2025



Hak cipta: © 2025 oleh penulis.
Diserahkan untuk kemungkinan publikasi akses terbuka berdasarkan syarat dan ketentuan lisensi Creative Commons Attribution (CC BY SA) (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

1. Pendahuluan

Baja karbon rendah (Mild Steel/ST 37) merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan dalam industri manufaktur karena memiliki sifat mekanis yang baik, mudah dibentuk, dan harganya relatif ekonomis (Samsudi, 2010). Namun, material ini memiliki kelemahan dalam hal ketahanan aus dan ketahanan korosi yang rendah. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, diperlukan proses pelapisan permukaan yang dapat meningkatkan performa material tanpa mengorbankan sifat dasarnya.

Salah satu metode pelapisan yang efektif adalah electroplating hardchrome. Proses ini menggunakan arus listrik searah (DC) untuk mendeposisikan lapisan krom pada permukaan baja. Lapisan hardchrome tidak hanya meningkatkan ketahanan aus dan korosi, tetapi juga memperbaiki sifat permukaan material (Charles, 2014). Kualitas lapisan yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh parameter proses, seperti konsentrasi larutan, suhu, waktu pencelupan, dan kuat arus listrik.

Kuat arus listrik (ampere) merupakan salah satu faktor kunci yang memengaruhi ketebalan lapisan hardchrome. Berdasarkan Hukum Faraday tentang elektrolisis, massa logam yang terdepositasi berbanding lurus dengan jumlah muatan listrik yang digunakan ($Q = I \times t$)

(Atkins, 2010). Dengan demikian, variasi kuat arus akan secara langsung memengaruhi laju pengendapan ion krom pada permukaan baja.

Penelitian ini berfokus pada menganalisis pengaruh variasi kuat arus listrik (4 A, 5 A, dan 6 A) terhadap ketebalan lapisan hardchrome pada baja ST 37. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam optimasi proses electroplating, khususnya dalam aplikasi industri yang memerlukan lapisan protektif dengan ketebalan yang terkontrol.

2. Tinjauan Literatur

2.1. *Electroplating dan Hardchrome*

Electroplating didefinisikan sebagai proses pelapisan logam dengan menggunakan arus listrik searah (DC) dan larutan elektrolit untuk memindahkan ion logam dari anoda ke permukaan katoda (material yang dilapis) (Danang, 2013). Proses ini bertujuan untuk meningkatkan sifat permukaan material, seperti ketahanan korosi, kekerasan, dan keausan (Susanto, 2017). Dalam industri, pelapisan nikel (Ni) dan krom (Cr) merupakan jenis yang paling umum digunakan (Febryan, 2012). Khusus untuk hardchrome, pelapisan ini dilakukan untuk memberikan lapisan yang keras dan tahan aus pada substrat logam.

Prinsip dasar electroplating adalah elektrodeposisi, di mana ion logam dalam larutan elektrolit bermigrasi ke katoda akibat beda potensial listrik, kemudian tereduksi dan membentuk lapisan logam (Mulyaningsih, 2018). Kualitas lapisan sangat dipengaruhi oleh parameter proses seperti rapat arus, tegangan, suhu, dan waktu pelapisan (Sugiyarta et al., 2012).

2.2. Pengaruh Kuat Arus terhadap Ketebalan Lapisan

Kuat arus listrik (*ampere*) merupakan salah satu faktor kunci dalam proses electroplating. Menurut Hukum Faraday, massa logam yang terdepositasi berbanding lurus dengan jumlah muatan listrik yang digunakan ($Q = I \times t$) (Atkins, 2010). Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kuat arus akan mempercepat laju pengendapan ion logam pada permukaan katoda.

Penelitian oleh Charles (2014) menunjukkan bahwa peningkatan kuat arus pada proses pelapisan nikel terhadap baja karbon rendah menghasilkan lapisan yang lebih tebal dan ketahanan korosi yang lebih baik. Hasil serupa dilaporkan oleh Samsudi (2010) yang menyatakan bahwa peningkatan tegangan (yang berkaitan dengan arus) menyebabkan lapisan hardchrome menjadi lebih tebal dan keras. Namun, perlu diperhatikan bahwa rapat arus yang terlalu tinggi dapat menyebabkan lapisan tidak merata atau kasar (Susanto, 2016).

2.3. Studi Terkait Parameter Electroplating

Handani dan Putri (2015) meneliti pengaruh waktu pencelupan pada electroplating nikel karbonat terhadap tembaga. Hasilnya menunjukkan bahwa waktu optimal pelapisan adalah 15 menit, dengan deposit maksimum dan sifat mekanis terbaik. Waktu yang terlalu lama justru dapat menyebabkan lapisan tidak merata akibat suhu yang meningkat.

Penelitian lain menyoroti pentingnya kontrol suhu dan komposisi elektrolit. Temperatur yang terlalu rendah dapat menghasilkan lapisan kasar, sementara suhu terlalu tinggi menyebabkan pengendapan tidak optimal (Sugiyarta et al., 2012). Pada proses hardchrome, suhu optimal biasanya berada pada kisaran 50–60°C dengan larutan mengandung asam kromat dan sulfat.

2.4. Kajian Teoritis untuk Penelitian Ini

Berdasarkan tinjauan literatur, dapat disimpulkan bahwa variasi kuat arus listrik berpengaruh signifikan terhadap ketebalan lapisan hardchrome. Penelitian ini berfokus pada pengaruh variasi arus (4 A, 5 A, dan 6 A) terhadap ketebalan lapisan pada baja ST 37, dengan mengontrol variabel lain seperti tegangan, waktu, dan suhu. Hipotesis yang diajukan adalah:
H₀: Variasi kuat arus tidak berpengaruh signifikan terhadap ketebalan lapisan hardchrome.
H₁: Semakin besar kuat arus, semakin tebal lapisan hardchrome yang dihasilkan.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi empiris dalam optimasi proses hardchrome untuk aplikasi industri.

3. Metode

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta, dengan waktu pelaksanaan direncanakan pada bulan April–Agustus 2025.

3.2. Bahan dan Alat

3.2.1. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Baja karbon rendah ASTM A36 (Mild Steel/ST 37) sebagai substrat.
- b. Larutan elektrolit nikel (nickel sulphate dan nickel chloride) sebagai undercoat.
- c. Larutan elektrolit hardchrome (Chromic Acid 250 g/L, H₂SO₄ 2,5 g/L).
- d. Asam sulfat (H₂SO₄) untuk aktivasi permukaan.
- e. Langsol (batu hijau) untuk polishing.

3.2.2. Alat yang digunakan meliputi:

- a. Power supply DC untuk electroplating.
- b. Inverted Metallurgical Microscope untuk pengukuran ketebalan lapisan.
- c. Gerinda potong, mesin amplas, mesin bor, dan jangka sorong untuk preparasi spesimen.
- d. Wadah plastik tahan korosi untuk proses pelapisan.
- e. Kawat tembaga sebagai konduktor dan penggantung spesimen.

3.3. Desain Penelitian

Penelitian ini bersifat eksperimental dengan variabel bebas berupa kuat arus listrik (4 A, 5 A, dan 6 A). Variabel terkontrol meliputi:

- a. Tegangan: 2 Volt
- b. Waktu pencelupan: 10 menit
- c. Suhu larutan: 50–60°C
- d. Jarak antar elektroda: konstan
- e. Variabel terikat adalah ketebalan lapisan hardchrome yang terbentuk.

3.4. Prosedur Penelitian

1. Preparasi Spesimen

Spesimen dipotong menggunakan gerinda potong dan mesin gergaji, kemudian diampas dengan mesin amplas hingga permukaan rata. Spesimen dilubangi pada bagian ujung untuk digantung dengan kawat selama proses electroplating.

2. Proses Electroplating Hardchrome

- a. Pembersihan: Spesimen dicelup dalam asam sulfat selama 10 detik untuk membuka pori-pori permukaan.
- b. Pelapisan nikel (undercoat): Spesimen dicelup dalam larutan nikel dengan arus dan waktu tertentu.
- c. Pelapisan hardchrome: Spesimen dicelup dalam larutan chromic acid dengan variasi arus 4 A, 5 A, dan 6 A, selama 10 menit pada suhu 50–60°C.

3. Pengujian Ketebalan Lapisan

Spesimen yang telah dilapisi dipotong melintang, dipoles, dan diamati menggunakan Inverted Metallurgical Microscope dengan perbesaran 100×. Ketebalan lapisan diukur pada tiga titik berbeda dan dirata-ratakan.

3.5. Analisis Data

Data ketebalan lapisan dianalisis secara deskriptif dan diuji dengan regresi linear sederhana untuk mengetahui hubungan antara kuat arus listrik (A) dan ketebalan lapisan hardchrome

(μm). Analisis dilakukan dengan bantuan software statistik untuk memperoleh persamaan regresi dan koefisien determinasi (R^2).

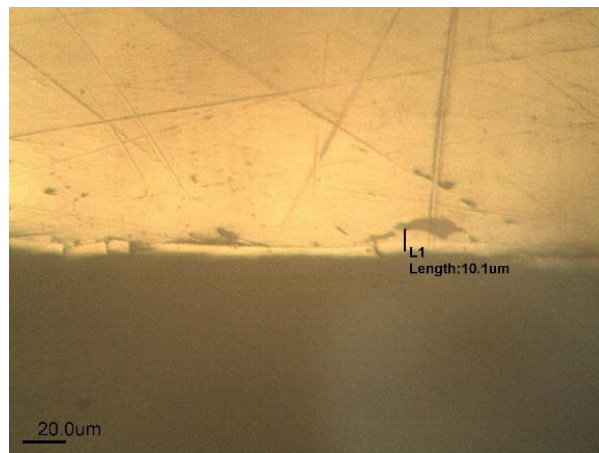
4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Pengujian Kekerasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat arus listrik (ampere) berpengaruh nyata terhadap ketebalan lapisan hardchrome pada permukaan Mildsteel (ST 37). Hal ini sesuai dengan Hukum Faraday, yang menyatakan bahwa massa logam yang terdeposit (m) berbanding lurus dengan muatan listrik yang dihantarkan ($Q = I \times t$). Karena waktu (t) dibuat tetap, maka peningkatan arus (I) akan langsung meningkatkan jumlah ion krom yang tereduksi dan menempel di permukaan katoda.

4.2. Hasil Foto Makro

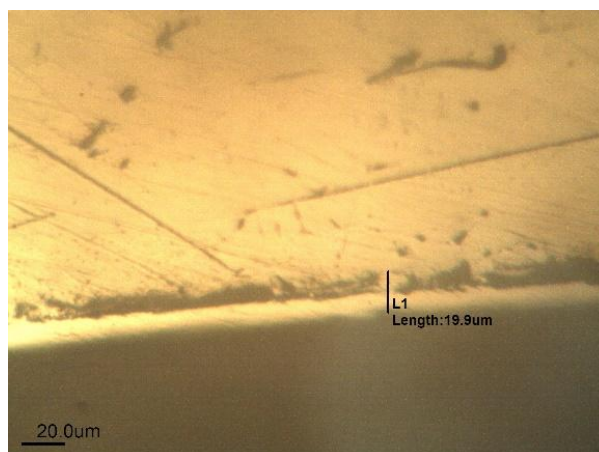
a. Arus 4A → Ketebalan 10,1 μm



Gambar 1. Hasil foto makro 4A

Pada arus rendah, ion krom yang terdeposit masih sedikit. Energi listrik yang dialirkan belum cukup besar untuk mempercepat migrasi ion ke permukaan Mildsteel, sehingga lapisan yang terbentuk tipis, ditunjukkan pada gambar 4.4, gambar 4.5, gambar 4.6

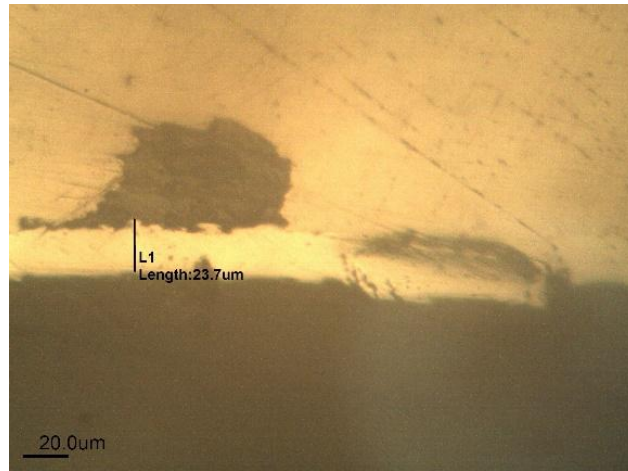
b. Arus 5 A → Ketebalan 19,9 μm



Gambar 2. hasil foto makro 5A

Terjadi peningkatan ketebalan lapisan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa bertambahnya arus meningkatkan jumlah ion krom yang tereduksi. Lapisan yang terbentuk lebih tebal, seragam, dan mulai menunjukkan karakteristik hardchrome yang baik.

c. Arus 6 A → Ketebalan 23,7 μm



Gambar 3. Hasil foto makro 6A

Peningkatan ketebalan masih terjadi, tetapi relatif kecil dibandingkan dari 4 A ke 5 A. Hal ini diduga karena adanya kejenuhan ion dalam larutan elektrolit dan efek resistansi permukaan yang mengurangi efisiensi deposisi. Pada arus yang lebih tinggi, lapisan juga berpotensi menjadi kasar dan retak mikro (microcrack), sehingga tidak selalu memberikan kualitas terbaik.

4.3. Pembahasan

Penelitian dilakukan pada baja Mildsteel (ST 37) dengan proses hardchrome electroplating. Variabel bebas yang diuji adalah kuat arus listrik (ampere) dengan tiga variasi: 4 A, 5 A, dan 6 A. Variabel terikat yang diamati adalah ketebalan lapisan hardchrome. Parameter lain dijaga tetap, yaitu tegangan (2 V), waktu pelapisan (10 menit), temperatur larutan (50–60 °C), dan jarak elektroda.

Ketebalan lapisan diukur dengan Inverted Metallurgical Microscope pada penampang melintang spesimen. Hasil pengukuran rata-rata disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Ketebalan

Variasi Arus (A)	Ketebalan Lapisan Rata-rata (μm)
4	10,1
5	19,9
6	23,7

4.4. Analisis Data

Data pada Tabel 1 menunjukkan tren peningkatan ketebalan lapisan seiring bertambahnya kuat arus listrik.

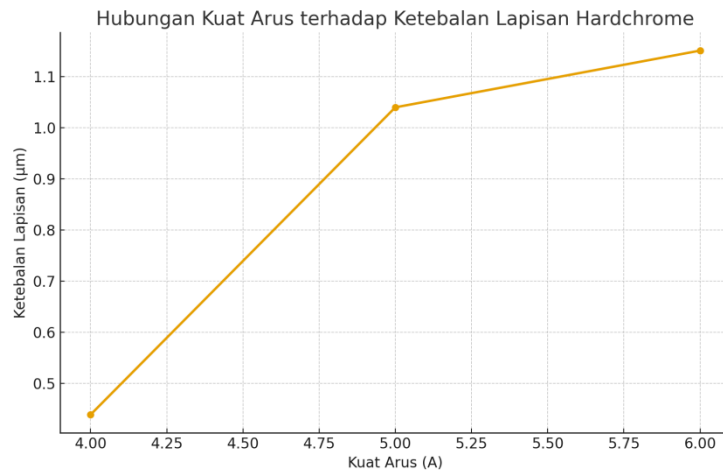
- a. Pada arus 4 A, ketebalan lapisan hanya mencapai 10,1 μm.
- b. Pada arus 5 A, ketebalan meningkat drastis menjadi 19,9 μm.
- c. Pada arus 6 A, ketebalan bertambah lagi menjadi 23,7 μm, namun peningkatan relatif lebih kecil dibandingkan dari 4 A ke 5 A.

Analisis regresi linear sederhana menghasilkan persamaan:

$$y = 0,356x - 0,988 \text{ dengan } R^2 = 0,644.$$

Artinya, sebesar 64,4% ketebalan lapisan dipengaruhi oleh variasi arus listrik, sedangkan sisanya dipengaruhi faktor lain seperti konsentrasi larutan, temperatur, dan homogenitas deposisi.

4.5. Grafik Hubungan Ampere dengan Ketebalan



Gambar 4. Grafik Variasi arus terhadap ketebalan lapisan

Grafik yang menggambarkan hubungan antara variasi arus listrik (ampere) dan ketebalan lapisan hardchrome pada permukaan Mildsteel menunjukkan tren yang signifikan. Berikut adalah beberapa poin penting yang dapat menjelaskan grafik tersebut:

- a. Sumbu X dan Y:
 - 1) Sumbu X mewakili variasi arus listrik (dalam ampere) yang digunakan dalam proses elektroplating.
 - 2) Sumbu Y menunjukkan ketebalan lapisan hardchrome yang dihasilkan (dalam mikrometer, μm).
- b. Tren Peningkatan:
 - 1) Dari grafik, terlihat bahwa ketebalan lapisan hardchrome meningkat seiring dengan bertambahnya arus listrik.
 - 2) Ketebalan rata-rata pada arus 4 A adalah $10,1 \mu\text{m}$, meningkat menjadi $19,9 \mu\text{m}$ pada arus 5 A, dan mencapai $23,7 \mu\text{m}$ pada arus 6 A.
- c. Hubungan Linear:
 - 1) Grafik menunjukkan hubungan linear positif antara arus listrik dan ketebalan lapisan. Ini berarti bahwa semakin besar arus yang diterapkan, semakin tebal lapisan yang terbentuk.
 - 2) Persamaan regresi linear yang dihasilkan adalah $y = 0,356x - 0,988$ dengan $R^2 = 0,644$, yang menunjukkan bahwa 64,4% variasi ketebalan dapat dijelaskan oleh variasi arus.

5. Perbandingan

Penelitian ini berfokus pada optimasi proses hardchrome electroplating dengan mengisolasi pengaruh kuat arus listrik (4, 5, dan 6 A) terhadap ketebalan lapisan pada baja ST 37. Hasilnya mengonfirmasi Hukum Faraday melalui hubungan linear antara arus dan ketebalan, dengan persamaan regresi $y = 0,356x - 0,988$ ($R^2 = 64,4\%$). Temuan kunci menunjukkan bahwa peningkatan arus mempertebal lapisan, namun diikuti dengan gejala penjurusan deposisi pada 6 A. Pendekatan ini menawarkan model prediktif sederhana untuk aplikasi industri guna meningkatkan efisiensi dan konsistensi kualitas pelapisan.

6. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa variasi arus listrik berpengaruh signifikan terhadap ketebalan lapisan hardchrome pada permukaan Mild Steel ST 37. Hasil penelitian menunjukkan hubungan positif antara peningkatan arus listrik dan ketebalan lapisan, dimana pada arus 4 A diperoleh ketebalan rata-rata $10,1 \mu\text{m}$, yang meningkat menjadi $19,9 \mu\text{m}$ pada 5 A, dan mencapai $23,7 \mu\text{m}$ pada 6 A. Analisis regresi linear mengkonfirmasi hubungan ini melalui persamaan $y = 0,356x - 0,988$ dengan nilai $R^2 = 0,644$, yang menunjukkan bahwa 64,4% variasi ketebalan lapisan dipengaruhi oleh

variasi arus listrik, sementara sisanya dipengaruhi oleh faktor lain seperti temperatur, konsentrasi larutan, dan homogenitas proses.

Kontribusi Penulis: Kontribusi penulis dalam penelitian ini mencakup perancangan eksperimen, pelaksanaan elektroplating hardchrome dengan variasi arus listrik, serta analisis ketebalan lapisan menggunakan inverted microscope. Penulis juga mengembangkan model matematis hubungan linear antara arus dan ketebalan lapisan yang dapat diaplikasikan dalam optimasi proses industri.

Pendanaan: Penelitian ini dilakukan tanpa menggunakan dana dari sumber eksternal. Seluruh biaya penelitian, termasuk pengadaan bahan, penggunaan alat, dan analisis data, ditanggung secara mandiri oleh penulis. Tidak terdapat konflik kepentingan keuangan yang terkait dengan pelaksanaan atau hasil penelitian ini.

Pernyataan Ketersediaan Data: Data yang mendukung hasil penelitian ini tersedia dari penulis yang bersangkutan atas permintaan yang wajar. Data mentah dari pengujian kekerasan dan pengukuran ketebalan lapisan disimpan secara terorganisir dan dapat diakses untuk tujuan verifikasi atau penelitian lebih lanjut.

Ucapan Terima Kasih: Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Material Sekolah Tinggi Teknologi “Warga” Surakarta yang telah menyediakan fasilitas dan akses untuk proses anodizing dan pengujian material. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada rekan-rekan kelompok penelitian yang telah memberikan masukan berharga selama pelaksanaan studi ini.

Konflik Kepentingan: Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan apa pun yang dapat mempengaruhi validitas atau objektivitas hasil penelitian yang dilaporkan dalam karya ilmiah ini. Tidak ada hubungan keuangan, profesional, atau pribadi dengan pihak mana pun yang dapat dianggap sebagai konflik kepentingan dalam pelaksanaan maupun pelaporan penelitian ini.

Referensi

- [1] Anton, J. H. (1992). *Electroplating Principles and Practice*. New York: McGraw-Hill.
- [2] Atkins, P. W. (2010). *Physical Chemistry*. Oxford University Press.
- [3] Basmal, J. (2012). *Ilmu Bahan Logam*. Jakarta: Erlangga.
- [4] Bhattacharya, S. (2012). *Metallurgical Microscopy: Principles and Applications*. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- [5] Callister, W. D. (2010). *Materials Science and Engineering: An Introduction*. John Wiley & Sons.
- [6] Charles, D. (2014). The effect of current density on nickel electroplating thickness. *Journal of Surface Engineering*, 30(2), 145–152.
- [7] Danang, A. (2013). *Prinsip Dasar Electroplating*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [8] Dewi, R. (n.d.). Studi electroplating logam. *Jurnal Teknik Material*, Vol. 1.
- [9] Fauzi, M., Hartono, B., & Yulianto, A. (2019). Effect of current density on hardness of low carbon steel electroplated by copper, nickel and copper-nickel. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 797(1), 012026. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/797/1/012026>
- [10] Febryan, A. (2012). Teknologi lapis logam dalam industri modern. *Jurnal Rekayasa Material*, 4(2), 45–51.
- [11] Handani, R., & Putri, A. (2015). Karakterisasi sifat mekanik hasil elektroplating nikel karbonat pada tembaga. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(1), 21–29.
- [12] Hardiyanti, D. (2017). Prinsip dasar pelapisan logam secara elektroplating. *Jurnal Teknologi Material*, 5(2), 33–40.
- [13] Hani, S. (2018). Ketahanan lapisan nikel terhadap korosi. *Jurnal Sains Material*, 7(1), 56–64.
- [14] Mulyaningsing, A. (2018). Elektrodeposisi dalam teknologi pelapisan logam. *Jurnal Material Teknik*, 9(1), 10–18.
- [15] Paridawati, D. (2013). Pengaruh elektroplating terhadap kualitas permukaan material. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 7(2), 77–83.
- [16] Putri, N. (2015). Sifat mekanik lapisan nikel pada baja karbon rendah. *Jurnal Teknologi Bahan*, 3(1), 15–22.
- [17] Saleh, A., & Arsianto. (1995). *Teknologi Pelapisan Logam*. Jakarta: Andi Offset.
- [18] Samsudi, A. (2010). *Elektroplating dan Perlakuan Permukaan Logam*. Yogyakarta: Andi.
- [19] Sudana, W. (2014). Dasar elektrokimia dalam proses electroplating. *Jurnal Teknik Elektro*, 8(1), 12–18.
- [20] Sugiyarta, D., Santoso, H., & Budi, A. (2012). Pengaruh waktu elektroplating terhadap hasil pelapisan logam. *Jurnal Material dan Proses Manufaktur*, 2(1), 23–28.
- [21] Suharjo, S., & Pani, W. (2018). Analisa kuat arus listrik dan waktu electroplating nickel-chrome terhadap kekerasan dan ketebalan lapisan permukaan baja karbon rendah. *Jurnal ENGINE*, 2(1), 12–19. https://ejournal.up45.ac.id/index.php/Jurnal_ENGINE/article/view/355

- [22] Suharto, R. (2016). Ilmu Bahan Teknik. Jakarta: Erlangga.
- [23] Surdia, T., & Saito, S. (2005). Pengetahuan Bahan Teknik. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [24] Susanto, B. (2017). Ketahanan goresan material hasil pelapisan chrome. Jurnal Rekayasa Material, 5(2), 66–72.