

Contents list available at [Sinta](https://sinta)**A R M A T U R**

: Artikel Teknik Mesin &amp; Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>**Perbandingan kekuatan adhesi pelapisan elektroplating dan cat pada baja karbon****Muhammad Riva Bagus Prakasa<sup>1\*</sup>, Nani Mulyaningsih<sup>2</sup>, Adityo Noor Setyo Hadi Darmo<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Tidar, Jl. Kapten Suparman No.39, Potrobangsari, Kec. Magelang Utara, Kota Magelang, Jawa Tengah, Indonesia<sup>2-3</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Tidar, Jl. Kapten Suparman No.39, Potrobangsari, Kec. Magelang Utara, Kota Magelang, Jawa Tengah, Indonesia**A R T I C L E  
I N F O**

*Keywords:*  
carbon steel  
adhesion strength  
electroplating  
epoxy coating  
pull-off test

**A B S T R A C T**

*This research investigates the adhesion strength of two surface protection methods electroplating (copper–nickel–chrome) and epoxy coating with 1, 2, and 3 layers on SS400 carbon steel. The study aims to determine which method provides better adhesion and corrosion resistance. Pull-off adhesion tests based on ASTM D4541 were conducted to evaluate bonding performance. Results indicate that electroplated specimens exhibit higher adhesion strength, with chrome plating reaching up to 2.60 MPa, compared to the maximum 1.48 MPa achieved by three-layer epoxy coatings. Failure mode analysis showed cohesive failures in electroplated samples, indicating strong metallurgical bonding, while epoxy coatings experienced more adhesive failures due to weaker interfacial adhesion. These findings confirm that electroplating provides superior bonding and durability under mechanical stress and corrosive environments. Therefore, electroplating is recommended for applications requiring long-term performance, while epoxy coatings remain a viable option for less aggressive conditions.*

**Pendahuluan**

Baja karbon merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan di industri karena harganya yang ekonomis,

mudah dikerjakan, dan memiliki kekuatan mekanik yang baik. Namun, baja karbon sering mengalami permasalahan dalam hal adhesi ketika dilakukan pelapisan permukaan. Adhesi yang buruk antara

\*Corresponding author: rivamuhammad22@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.24127/armatur.v6i2.9632>

Received 29 Juli 2025; Received in revised form 29 September 2025; Accepted 29 September 2025

Available online 30 September 2025

lapisan pelindung dan substrat baja karbon dapat menyebabkan pengelupasan lapisan, menurunkan efektivitas perlindungan, dan mempercepat kerusakan material. Faktor-faktor seperti kondisi permukaan, kontaminasi, serta ketidaksesuaian sifat material pelapis dengan substrat menjadi penyebab utama lemahnya adhesi. Oleh karena itu, diperlukan metode dan perlakuan permukaan yang tepat untuk meningkatkan kekuatan adhesi dan memastikan daya tahan lapisan pelindung dalam memperpanjang umur pemakaian baja karbon.

Salah satu metode perlindungan permukaan adalah pelapisan elektroplating, yaitu proses pelapisan logam menggunakan arus listrik untuk menghasilkan lapisan tipis logam pelindung seperti nikel, seng, atau krom. Untuk menaikkan kekuatan adhesi antara lapisan pelindung dan substrat baja, diperlukan beberapa langkah penting, seperti pembersihan permukaan secara menyeluruh untuk menghilangkan oksida, minyak, atau kontaminan lainnya; penggunaan perlakuan awal (*pretreatment*) seperti pengamplasan, etsa, atau aktivasi kimia; serta pengaturan parameter proses elektroplating seperti arus listrik, temperatur, dan komposisi larutan. Dengan penerapan langkah-langkah ini, kualitas adhesi dapat ditingkatkan secara signifikan sehingga lapisan pelindung mampu memberikan ketahanan korosi dan kekerasan permukaan yang optimal [1]. Penelitian [2] menunjukkan bahwa peningkatan waktu dan tegangan elektroplating dapat meningkatkan ketebalan lapisan dan kekuatan adhesi pada baja karbon rendah. Kekuatan adhesi pada baja karbon rendah.

Metode lainnya adalah penggunaan pelapisan cat (*coating*), yang bekerja sebagai penghalang fisik antara baja dan lingkungan. Pelapisan cat, khususnya cat epoxy dan *polyurethane*, telah digunakan secara luas karena kemudahan aplikasi, fleksibilitas, dan kemampuan melindungi baja dari korosi [3]. Namun, kekuatan adhesi cat sangat bergantung pada persiapan permukaan, jenis cat, serta proses curing.

Penelitian [4] menunjukkan bahwa cat polyurethane dengan persiapan sandblasting memiliki adhesi lebih tinggi dibandingkan cat epoxy maupun alkyd pada baja SS400.

Studi [5] meneliti pengaruh variasi waktu dan temperatur pada proses elektroplating lapisan krom terhadap ketebalan, kekerasan, dan struktur mikro baja SS400. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekerasan dan ketebalan lapisan meningkat seiring dengan peningkatan temperatur dan waktu pelapisan. Nilai kekerasan tertinggi, yaitu 77 HRB, dan ketebalan lapisan maksimum, yaitu 270  $\mu\text{m}$ , diperoleh pada kondisi pelapisan dengan temperatur 750°C selama 60 menit. Pengamatan struktur mikro memperlihatkan dominasi fase pearlit pada temperatur tinggi, yang berkontribusi terhadap peningkatan nilai kekerasan [6].

Penelitian [7] membahas pengaruh variasi kuat arus dan waktu elektroplating nikel terhadap nilai kekerasan serta laju korosi pada baja. Variasi kuat arus yang digunakan adalah 2A dan 3A, dengan waktu pencelupan 10, 20, dan 25 menit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekerasan terendah, yaitu 16,33 HRC, diperoleh pada arus 2A dengan lama pencelupan 25 menit, sedangkan kekerasan tertinggi diperoleh pada arus 3A dengan waktu yang sama. Pengujian laju korosi memperlihatkan bahwa laju korosi tertinggi terdapat pada material tanpa perlakuan 2424,25 mmpy, sementara laju korosi terendah terdapat pada spesimen dengan arus 3A selama 25 menit 1385,28 mmpy [8].

Studi [9] bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jumlah lapisan serta jarak aplikasi penyemprotan pada baja AISI 1020 terhadap tingkat kekasaran permukaan dan laju korosi dengan menggunakan media air garam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekasaran permukaan terbaik, yaitu 0,857  $\mu\text{m}$ , diperoleh pada spesimen dengan tiga lapisan pelapisan dan jarak aplikasi 10 cm. Sementara itu, laju korosi terendah, yaitu 2,376 mpy, ditemukan pada spesimen dengan tiga lapisan dan jarak aplikasi 20 cm.

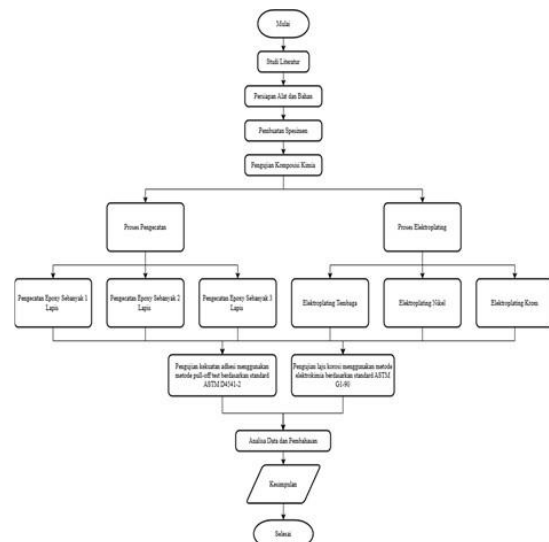
Penelitian ini menyimpulkan bahwa jarak penyemprotan yang optimal berada pada kisaran menengah, karena jarak terlalu dekat menghasilkan lapisan yang terlalu tebal dan tidak merata, sedangkan jarak terlalu jauh menyebabkan cat mengering sebelum menempel, sehingga lapisan menjadi tipis dan kasar [10].

Meskipun kedua metode pelapisan ini memiliki fungsi yang sama yaitu melindungi baja dari korosi, mekanisme adhesi yang dihasilkan berbeda. Elektroplating menghasilkan ikatan metalurgi yang kuat, sedangkan cat menghasilkan ikatan fisik dan kimia yang sifatnya lebih dipengaruhi oleh kondisi permukaan. Oleh karena itu, perlu dilakukan perbandingan kekuatan adhesi antara pelapisan elektroplating dan cat pada baja karbon, untuk menentukan metode pelapisan yang lebih efektif digunakan sesuai kebutuhan aplikasinya.

### Metode Penelitian

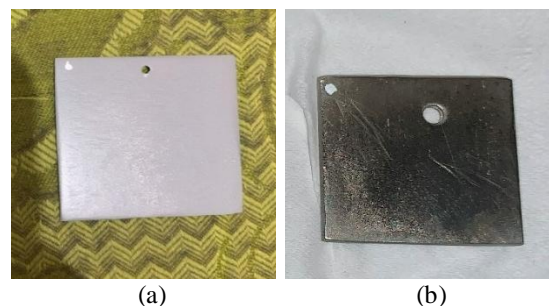
Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif untuk membandingkan kekuatan adhesi dan laju korosi pada baja karbon SS400 yang diberi pelapisan elektroplating tembaga-nikel-krom serta cat epoxy. Bahan yang digunakan meliputi plat baja SS400 berukuran 70×40×2 mm seperti yang ditunjukkan pada gambar 1, larutan elektrolit CuSO<sub>4</sub>, NiSO<sub>4</sub>, CrO<sub>3</sub>, cat epoxy, thinner, serta larutan pembersih HCl dan NaCl 3,5%. Peralatan yang digunakan antara lain *spray gun*, kompresor, bak plating, *power supply* DC, *heater*, *spectrometer OES*, *pull-off adhesion tester*, serta *CorrTest*.

Variabel penelitian terdiri atas variabel bebas yaitu jumlah lapisan pelapisan 1, 2, dan 3 lapisan untuk kedua metode pelapisan, variabel terikat yaitu kekuatan adhesi dan laju korosi, serta variabel terkontrol seperti jenis material, jarak penyemprotan cat 20 cm, waktu antar lapisan 15 menit, dan parameter suhu, arus, serta waktu elektroplating.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian  
Sumber : Pribadi

Prosedur penelitian diawali dengan studi literatur mengenai pelapisan logam dan metode uji adhesi ASTM D4541. Selanjutnya dilakukan persiapan spesimen berupa pemotongan plat SS400, penghalusan permukaan dengan amplas bertahap, dan pembersihan menggunakan HCl serta air sabun. Proses pelapisan permukaan dilakukan dengan dua metode. Pengecatan epoxy diaplikasikan menggunakan *spray gun* dengan variasi 1–3 lapisan, jarak semprot 20 cm, jeda antar lapisan 15 menit, dan curing selama 24 jam. Sementara itu, elektroplating dilakukan secara bertahap dengan pelapisan tembaga, nikel, dan krom menggunakan parameter suhu, arus, dan waktu tertentu (misalnya pelapisan krom pada 55°C, 2 ampere, selama 25 menit). Gambar 2 menunjukkan spesimen setelah dilakukan pengecatan dan elektroplating.



Gambar 2. (a) Spesimen setelah dilapisi cat epoxy  
(b) Spesimen setelah di elektroplating krom  
Sumber : Pribadi

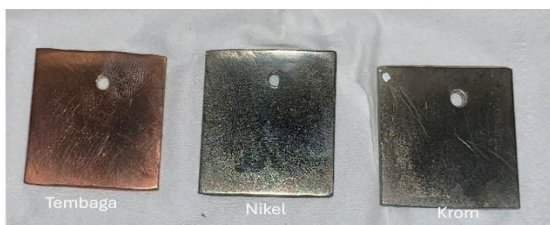
Tahap berikutnya adalah pengujian kekuatan adhesi menggunakan pull-off adhesion tester untuk mengukur gaya maksimum yang dibutuhkan sebelum lapisan terlepas. Data hasil pengujian dianalisis secara kuantitatif untuk membandingkan performa kedua metode pelapisan dalam meningkatkan daya rekat. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Tidar untuk proses elektroplating, CV. Cipta Agung Surabaya untuk uji adhesi. Gambar 3 menunjukkan proses pengujian *pull-off test*.



Gambar 3. Proses pengujian *pull-off test*  
Sumber : Pribadi

## Hasil dan Pembahasan

**Hasil Visual Pelapisan Menggunakan Cu-Ni-Cr.** Proses elektroplating dilakukan secara bertahap, dimulai dari pelapisan tembaga, dilanjutkan dengan nikel, dan diakhiri dengan krom. Tujuan dari metode pelapisan berlapis ini adalah untuk meningkatkan daya lekat antar lapisan serta memberikan ketahanan korosi yang optimal pada logam dasar [6].



Gambar 4. Hasil elektroplating Cu-Ni-Cr  
Sumber : Pribadi

Tahap pertama adalah pelapisan tembaga yang dilakukan menggunakan metode elektroplating dalam larutan  $\text{CuSO}_4$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Anoda yang digunakan berupa tembaga murni, sedangkan katodanya

adalah pelat baja SS400 yang telah dibersihkan dan diaktivasi. Proses dilakukan dengan arus 1 ampere selama 10 menit pada suhu ruangan. Lapisan tembaga yang dihasilkan berfungsi meningkatkan daya lekat lapisan berikutnya, memberikan konduktivitas listrik, serta perlindungan awal terhadap oksidasi. Spesimen setelah pelapisan tembaga bisa dilihat pada gambar 4.

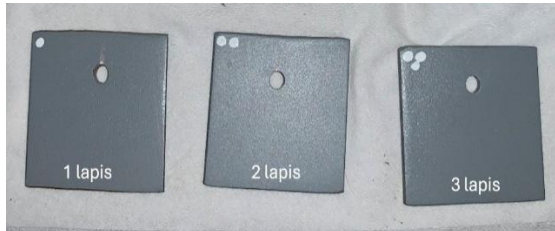
Tahap kedua adalah pelapisan nikel, di mana spesimen yang telah dilapisi tembaga dibilas kemudian dilapisi dengan nikel menggunakan larutan elektrolit yang mengandung  $\text{NiSO}_4$ ,  $\text{NiCl}_2$ , dan asam borat untuk menjaga pH larutan. Proses ini menggunakan anoda nikel murni, dengan arus 1 ampere selama 15 menit. Lapisan nikel bertindak memberikan permukaan yang lebih halus, sekaligus memperbaiki ketidakteraturan pada substrat sebelum dilapisi krom seperti yang bisa dilihat pada gambar 4.

Tahap terakhir adalah pelapisan krom yang menggunakan larutan  $\text{CrO}_3$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  sebagai elektrolit dengan anoda inert. Berbeda dengan tahap sebelumnya, proses ini memerlukan arus lebih besar, yaitu 3 ampere, selama 10 menit. Lapisan krom yang terbentuk memiliki sifat sangat keras, reflektif, serta tahan terhadap goresan dan korosi. Hasil pelapisan krom menghasilkan permukaan mengilap dan homogen, menunjukkan keberhasilan proses elektroplating berlapis seperti terlihat pada gambar 4.

Secara visual, ketiga lapisan menunjukkan perbedaan karakteristik: tembaga memiliki warna kemerahan metalik, nikel tampak keperakan redup, sedangkan krom menghasilkan tampilan paling mengilap. Urutan pelapisan ini terbukti efektif meningkatkan kualitas permukaan logam.

**Hasil Visual Pengecatan Epoxy.** Pada penelitian ini, proses pengecatan dilakukan menggunakan cat epoxy *primer* pada permukaan baja SS400 dengan variasi jumlah lapisan sebanyak satu, dua, dan tiga

kali. Pengecatan dilakukan menggunakan metode *spray coating* dengan *spray gun* bertekanan, di mana setiap lapisan diberi waktu pengeringan sebelum penambahan lapisan berikutnya.



Gambar 5. Hasil pengecatan epoxy 1,2 dan 3 lapis.  
Sumber : Pribadi

Pada proses pelapisan pertama, epoxy primer disemprotkan satu kali secara merata, kemudian dibiarkan mengering selama 15 menit pada suhu ruang. Hasil visual menunjukkan bahwa lapisan ini belum sepenuhnya menutupi permukaan, dengan beberapa bagian logam dasar masih terlihat samar. Ketebalan lapisan relatif tipis dan tekstur permukaan belum halus seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.

Pada pelapisan kedua, pengecatan dilakukan dua kali dengan jeda pengeringan yang sama, menggunakan pola semprotan silang untuk memastikan distribusi cat merata. Permukaan hasil pengecatan dua lapis tampak lebih tertutup, dengan warna cat lebih solid dan tekstur permukaan lebih halus. Dibandingkan satu lapisan, dua lapisan menunjukkan kualitas pelindung yang lebih baik karena ketebalan meningkat dan pori-pori lapisan berkurang seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.

Pada pelapisan ketiga, proses pengecatan dilakukan tiga kali dengan prosedur yang sama dan jeda waktu pengeringan di setiap lapisan. Hasil pengecatan menunjukkan permukaan yang paling rata, halus, dan tertutup sempurna seperti yang ditunjukkan pada gambar 5. Warna tampak pekat dan homogen tanpa area transparan. Penambahan hingga tiga lapisan secara signifikan meningkatkan ketahanan terhadap kelembaban dan memperkuat daya lekat antara cat dan substrat logam.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan jumlah lapisan epoxy menghasilkan permukaan yang lebih halus dan rapat.

### Hasil Pengujian Kekuatan Adhesi.

Pengujian kekuatan adhesi dilakukan menggunakan *Pull-Off Adhesion Tester* dengan *dolly* berdiameter 20 mm. Setiap spesimen ditempelkan satu *dolly* pada bagian tengah menggunakan lem epoxy dengan perbandingan 1:1 dan dibiarkan selama 24 jam untuk memastikan perekat menempel optimal. Setelah pengeringan, sisa lem dibersihkan, kemudian alat adhesi tester digunakan dengan menekan tuas secara perlahan hingga *dolly* terlepas.

Hasil pengujian memberikan data berupa nilai kekuatan ikatan (MPa) dan tampak *visual failure mode* pada permukaan setelah *dolly* terlepas. Jenis kegagalan diklasifikasikan menjadi adhesif (gagal pada antarmuka lapisan-substrat), kohesif (gagal di dalam lapisan cat), dan *mixed failure* (kombinasi keduanya). Selain itu, persentase luas lapisan yang terangkat dihitung secara visual untuk memperkuat analisis adhesi. Rumus yang digunakan untuk menghitung persentase luas permukaan yang terangkat sebagai berikut:

$$\text{Lapisan Terangkat} = \left( \frac{A_{\text{terangkat}}}{A_{\text{total}}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Setelah dilakukan perhitungan persentase terangkat menggunakan rumus diatas maka hasil perhitungan digunakan untuk menganalisa kegagalan pada uji *pull-off test*. Hasil analisa kegagalan dan kekuatan adhesi bisa dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai hasil *pull-off adhesive*

Substrat	Spesimen	Kekuatan Adhesi (Mpa)	Rata-rata (Mpa)	Jenis Kegagalan
Epoxy 1 Lapis	1A	1,23	1,36	Kohesif
	1B	1,32		Kohesif
	1C	1,54		Kohesif
Epoxy 2 Lapis	2A	1,39	1,39	Kohesif
	2B	1,47		Kohesif
	2C	1,33		Kohesif
	3A	1,45		1,48

Epoxy 3 lapis	3B	1,47	2,1	Kohesif
	3C	1,52		Kohesif
Tembaga	4A	2,21	2,4	Mixed
	4B	2,28		Kohesif
	4C	1,98		Mixed
Nikel	5A	2,51	2,6	Adhesif
	5B	2,47		Adhesif
	5C	2,36		Mixed
Krom	6A	2,74	2,6	Adhesif
	6B	2,61		Adhesif
	6C	2,59		Adhesif

Tabel 1. menunjukkan data kualitatif dan kuantitatif pada hasil pengujian pull off yang diperoleh dari alat *adhesion tester*. Berdasarkan tabel 1, mayoritas spesimen 1 sampai 9 menunjukkan kegagalan kohesif dengan 100% lapisan terangkat, yang mengindikasikan bahwa kerusakan terjadi di dalam lapisan pelapis itu sendiri akibat kuatnya adhesi antara pelapis dan substrat. Spesimen 10 mulai menunjukkan transisi ke kegagalan mixed dengan 90% lapisan terangkat, diikuti oleh spesimen 11 dan 12 dengan jenis kegagalan kohesif dan *mixed* pada persentase 95% dan 85%. Selanjutnya, spesimen 13 hingga 18 memperlihatkan penurunan persentase terangkat 70–80% dan didominasi oleh kegagalan adhesif, yang berarti kerusakan terjadi pada antarmuka pelapis-substrat akibat lemahnya daya lekat. Pola ini menunjukkan bahwa semakin rendah persentase lapisan yang terangkat, semakin besar kemungkinan kegagalan disebabkan oleh lemahnya adhesi. Kemudian berdasarkan tabel berikut untuk menentukan gaya maksimum saat *dolly* terlepas, maka dilakukan perhitungan menggunakan rumus ASTM D4541 sebagai berikut:

$$F_{maks} = \sigma \times A \quad (2)$$

Dimana:

$F_{maks}$  =Gaya maksimum (N)

$\sigma$  =Tegangan adhesi atau kekuatan tarik adhesi (Pa atau N/m<sup>2</sup>)

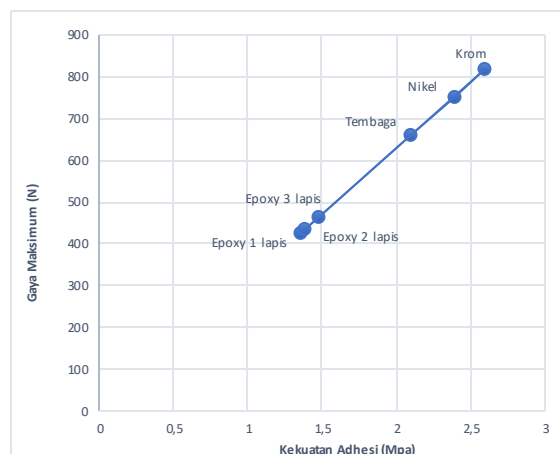
A =Luas permukaan kontak yang diuji (m<sup>2</sup>) disini luasnya adalah dengan dengan diameter dolly 20mm

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan rumus tersebut, maka didapatkan hasil gaya maksimum dolly terlepas seperti yang terlihat pada tabel 3. dibawah ini.

Tabel 2. Nilai rata-rata kekuatan adhesi dan gaya maksimum

Substrat	Rata-Rata Adhesi (Mpa)	Gaya Maksimum (N)
Epoxy 1 Lapis	1,36	427,26
Epoxy 2 Lapis	1,39	436,68
Epoxy 3 Lapis	1,48	464,96
Tembaga	2,1	659,73
Nikel	2,4	753,98
Krom	2,6	816,81

Berdasarkan data yang disajikan pada tabel 1. dan Tabel 2., diperoleh grafik yang menunjukkan hubungan antara kekuatan adhesi dengan gaya maksimum, sebagaimana ditampilkan pada gambar 6.



Gambar 6. Grafik hubungan kekuatan adhesi dan kekuatan gaya maksimum  
Sumber: Pribadi

Grafik pada gambar 6. menunjukkan korelasi linear positif antara kekuatan adhesi dan gaya maksimum, semakin besar gaya yang dibutuhkan untuk melepaskan lapisan, semakin tinggi kekuatannya. Elektroplating krom menunjukkan performa terbaik 2,60 MPa; 816,81 N, diikuti nikel, tembaga, dan pelapisan epoxy yang memiliki nilai terendah. Secara teknis, hal ini disebabkan oleh perbedaan mekanisme ikatan, yaitu elektroplating membentuk ikatan metalurgi yang kuat dan menyatu dengan substrat, sementara epoxy hanya

mengandalkan ikatan mekanis dan gaya *Van der Waals* yang lebih lemah. Struktur mikro elektroplating yang lebih rapat juga meningkatkan ketahanan terhadap delaminasi.

Perbandingan antara epoxy 1 lapis dengan elektroplating tembaga menunjukkan perbedaan kekuatan adhesi yang cukup signifikan. Epoxy 1 lapis menghasilkan nilai rata-rata adhesi sebesar 1,36 MPa dengan gaya maksimum 427,26 N, sedangkan elektroplating tembaga mencatat nilai sebesar 2,10 MPa dan 659,73 N. Hal ini menunjukkan bahwa elektroplating tembaga memiliki daya lekat sekitar 54% lebih tinggi. Keunggulan ini disebabkan oleh proses elektroplating yang membentuk ikatan metalurgi langsung antara ion tembaga dan permukaan logam substrat, menghasilkan ikatan yang kuat dan tahan terhadap gaya lepas. Sementara itu, pelapisan epoxy hanya membentuk ikatan mekanis di permukaan dan pada satu lapis masih tergolong tipis, sehingga rentan terhadap delaminasi atau pengelupasan saat terkena beban mekanis atau lingkungan korosif.

Pada perbandingan epoxy 2 lapis dengan elektroplating nikel, hasilnya juga menunjukkan bahwa metode elektroplating lebih unggul. Epoxy 2 lapis memiliki rata-rata adhesi sebesar 1,39 MPa dan gaya maksimum sebesar 436,68 N, sementara elektroplating nikel mencapai 2,40 MPa dan gaya maksimumnya 753,98 N, atau sekitar 72% lebih tinggi. Nikel membentuk lapisan logam yang lebih padat dan stabil secara elektrokimia, sehingga menghasilkan kekuatan lekat yang konsisten dan tahan lama. Di sisi lain, walaupun penambahan lapisan epoxy meningkatkan daya lekat secara bertahap, proses aplikasi cat masih rawan menghasilkan pori-pori mikro atau cacat adhesi antar lapisan jika tidak diaplikasikan secara merata, yang dapat menurunkan kekuatan adhesinya secara keseluruhan.

Terakhir, epoxy 3 lapis sebagai pelapisan terbaik dalam metode pengecatan mencatatkan nilai adhesi sebesar 1,48 MPa

464,96 N, namun masih berada di bawah elektroplating krom yang mencapai 2,60 MPa, 816,81 N, dengan selisih sekitar 75%. Elektroplating krom dikenal menghasilkan lapisan yang sangat keras, tahan aus, serta memiliki struktur rapat yang meningkatkan adhesi secara signifikan. Selain itu, ikatan logam pada krom memberikan ketahanan tambahan terhadap abrasi dan korosi, menjadikannya sangat unggul untuk aplikasi teknik berat. Sementara itu, epoxy tiga lapis meskipun lebih tebal dan kuat dibanding dua lapis sebelumnya, tetap terbatas pada kekuatan ikatan permukaan dan berpotensi mengalami delaminasi antar lapisan bila proses pengeringan tidak sempurna.

## Kesimpulan

Pelapisan elektroplating (tembaga, nikel, dan krom) memberikan kekuatan adhesi yang lebih tinggi dibandingkan pelapisan cat epoxy, bahkan dengan jumlah lapisan epoxy yang ditingkatkan. Elektroplating krom mencatat kekuatan adhesi tertinggi sebesar 2,60 MPa dengan gaya maksimum 816,81 N, diikuti oleh nikel dan tembaga. Sementara itu, epoxy tiga lapis hanya mencapai 1,48 MPa dan 464,96 N. Hasil uji *pull-off* menunjukkan bahwa elektroplating menghasilkan kegagalan kohesif, yang menandakan ikatan lapisan sangat kuat dengan substrat, sedangkan epoxy cenderung menunjukkan kegagalan adhesif terutama pada lapisan yang lebih sedikit. Secara keseluruhan, elektroplating terbukti lebih efektif dalam menghasilkan ikatan yang kuat dan tahan terhadap delaminasi dibandingkan pelapisan cat epoxy.

## Ucapan terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Tidar, khususnya Program Studi Teknik Mesin, yang telah memberikan dukungan fasilitas dan pendanaan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen pembimbing dan seluruh pihak laboratorium

yang turut membantu dalam proses eksperimen dan pengujian. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif dalam pengembangan ilmu di bidang teknik material.

## Referensi

- [1] M. N. Yanzdad, "Optimasi Waktu dan Temperatur Proses Electroplating Baja Karbon Rendah Terhadap Ketahanan Korosi," *J. Tek. Mesin*, vol. 18, no. 3, 2022.
- [2] A. E. Prabowo, H. Rarindo, S. Hadi, and A. Hardjito, "Pengaruh Tegangan dan Waktu Elektroplating Tembaga dan Nikel terhadap Laju Korosi pada Baja Karbon Rendah," *J. Ilm. Teknol. FST Undana*, vol. 15, no. 2, 2021.
- [3] Z. Sativa, P. Manik, and O. Mursid, "Analisis Pengaruh Perbedaan Surface Preparation dengan Variasi Jenis Cat terhadap Kekuatan Adhesi dan Ketahanan Impact Coating pada Baja SS400," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 15, no. 2, pp. 1129–1141, 2024.
- [4] I. Hariwijaya, "Analisis Laju Korosi terhadap Baja ST37 dengan Variasi Cat. Universitas Islam Malang," *J. Imiah Tek. Mesin*, vol. 16, no. 3, 2021.
- [5] O. D. Putri, Kardiman, and R. Hanfi, "Pelapisan Baja Karbon JIS S50C Menggunakan Metode Elektroplating: Variasi Pelapisan Nickel dan Chrom Terhadap Sifat Fisik dan Kimia," *J. Indones. Sos. Teknol.*, vol. 2, no. 6, 2021.
- [6] V. A. Setyowati and A. Choir, "Elektroplating Baja Karbon dengan Variasi Arus dan Lama Pelapisan Terhadap Ketahanan Korosi dengan Ordinary Least Squares Regression. Prosiding Senastitan," *Pros. Senastitan*, vol. 5, 2025.
- [7] B. Permadi, A. Asroni, and E. Budiyanto, "Proses elektroplating nikel dengan variasi jarak anoda katoda dan tegangan listrik pada baja ST-41," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 2, pp. 226–230, 2020, doi: 10.24127/trb.v8i2.1080.
- [8] R. Candra, U. Budiarto, and H. Yudo, "Pengaruh Temperatur dan Tegangan Listrik pada Proses Elektroplating Lapisan Seng Terhadap Laju Korosi pada Baja Karbon Rendah A36," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 12, no. 2, 2024.
- [9] M. H. Atras, A. U. Budiarto, and M. Parlindungan, "Analisis Pengaruh Coating Polyurethane dan Elektroplating Zinc Terhadap Laju Korosi Baja A36," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 12, no. 4, pp. 1–12, 2024.
- [10] S. Rifai and Suwahyo, "Pengaruh Variasi Jenis Cat Primer Dan Temperatur Terhadap Laju Korosi Pada Pengecatan Menggunakan Oven," *Automot. Sci. Educ. J.*, vol. 10, no. 1, pp. 11–17, 2021, [Online]. Available: <https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/asej/article/view/45748>