**Madani: Jurnal Ilmiah Multidisiplin**
**Volume 4, Nomor 1, February 2026, P. 634-645**
**E-ISSN: 2986-6340**
**Licenced by CC BY-SA 4.0**
**DOI:** https://doi.org/10.5281/zenodo.18464034

# Analisis Variasi Waktu Elektroplating Nikel-Krom terhadap Ketebalan Lapisan dan Kekerasan Permukaan Material ST41

*Analysis of the Effect of Nickel–Chrome Electroplating Time Variations on Coating Thickness and Surface Hardness of ST41 Material*

**Ifan Sheva Arjuna[1], Firman Yasa Utama[2], Dewi Puspitasari[3], Aji Nugroho[4]**
[1,2]Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia 60231
E-mail: firmanutama@unesa.ac.id

**Abstrak**

Baja ST41 merupakan baja karbon rendah yang banyak digunakan dalam industri karena sifat keuletannya, namun memiliki kekerasan permukaan yang rendah sehingga kurang optimal untuk komponen yang mengalami gesekan. Untuk meningkatkan sifat permukaan tersebut, dilakukan proses elektroplating dengan pelapisan nikel sebagai lapisan dasar dan krom sebagai lapisan akhir. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi waktu elektroplating terhadap ketebalan dan kekerasan lapisan permukaan baja ST41. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan variasi waktu pelapisan nikel selama 30 menit, 45 menit, dan 60 menit pada tegangan 3 V dan suhu 55 °C. Pelapisan krom dilakukan selama 10 detik dengan tegangan 12 V. Pengujian ketebalan lapisan dilakukan menggunakan *coating thickness gauge*, sedangkan pengujian kekerasan permukaan dilakukan dengan metode Vickers sesuai standar ASTM E384 menggunakan beban 50 gf. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketebalan lapisan meningkat seiring bertambahnya waktu pelapisan, yaitu dari 18,18 µm pada 30 menit menjadi 20,79 µm pada 60 menit. Nilai kekerasan permukaan tertinggi diperoleh pada waktu pelapisan 45 menit sebesar 490,4 HV, kemudian menurun pada waktu 60 menit. Hal ini menunjukkan bahwa waktu pelapisan 45 menit merupakan kondisi paling optimal untuk menghasilkan lapisan elektroplating nikel–krom dengan kekerasan permukaan tertinggi pada baja ST41.
**Kata kunci**: *Baja ST41, Elektroplating, Ketebalan, Kekerasan Vickers, Krom, Nikel, Waktu pelapisan*

***Abstract***

*ST41 steel is a low-carbon steel widely used in the industry due to its toughness, but it has low surface hardness, making it less suitable for components subject to friction. To enhance these surface properties, an electroplating process is performed using nickel as the base layer and chromium as the top layer. This study aims to analyze the effect of varying electroplating time on the thickness and hardness of the ST41 steel surface layer. The research method used was an experiment with variations in nickel coating time of 30 minutes, 45 minutes, and 60 minutes at a voltage of 3 V and a temperature of 55 °C. Chrome plating was carried out for 10 seconds at a voltage of 12 V. Layer thickness testing was conducted using a coating thickness gauge, while surface hardness testing was performed using the Vickers method according to ASTM E384 standards with a load of 50 gf. The research results show that the coating thickness increases with longer plating time, from 18.18 µm at 30 minutes to 20.79 µm at 60 minutes. The highest surface hardness value was obtained at a plating time of 45 minutes, reaching 490.4 HV, then decreased at 60 minutes. This indicates that a plating time of 45 minutes is the most optimal condition for producing a nickel–chrome electroplated layer with the highest surface hardness on ST41 steel.*
***Keywords:*** *ST41 Steel, Electroplating, Thickness, Vickers Hardness, Chromium, Nickel, Plating Time.*

**Article Info**
Received date: 22 January 2026 Revised date: 29 January 2026 Accepted date: 1 February 2026

## PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun Penggunaan material logam paduan semakin meningkat dalam berbagai sektor industri. Salah satu material yang banyak digunakan adalah baja ST41. Baja ST41 memiliki keunggulan berupa sifat keuletan yang tinggi, mudah dibentuk, serta biaya produksi yang relatif rendah. Namun demikian, baja ST41 memiliki kelemahan berupa kekerasan

permukaan yang tergolong rendah, sehingga dapat menurunkan kualitas dan performa material, khususnya pada aplikasi yang melibatkan gesekan dan beban berulang[1].

Baja ST41 termasuk dalam kategori baja karbon rendah dengan kandungan karbon sekitar 0,08% dan kandungan besi (Fe) mendekati 99%. Berdasarkan penelitian[2], baja ST41 memiliki komposisi kimia mangan (Mn) sebesar 0,27%, silikon (Si) 0,13%, dan tembaga (Cu) 0,004%, dengan nilai kekerasan awal sebesar 165 HV. Baja ini dikenal sebagai baja ringan (*mild steel*) dan banyak digunakan dalam bidang industri manufaktur, otomotif, serta konstruksi bangunan[3].

Rendahnya kekerasan permukaan baja ST41 menyebabkan material ini kurang optimal digunakan pada komponen yang bekerja dalam kondisi gesekan tinggi atau beban berulang. Hal tersebut dapat mengakibatkan keausan dini dan menurunkan ketahanan aus serta umur pakai komponen[4]. Oleh karena itu, diperlukan perlakuan khusus untuk meningkatkan kekerasan permukaan material tanpa mengurangi sifat keuletan dan kekuatan material secara keseluruhan. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah perlakuan permukaan melalui proses elektroplating, yang bertujuan meningkatkan kekerasan permukaan dan ketahanan terhadap gesekan[5].

Elektroplating merupakan proses pelapisan logam menggunakan metode elektrolisis yang termasuk dalam proses *metal finishing*. Proses ini memanfaatkan arus listrik dan larutan elektrolit untuk mengendapkan ion logam pelapis ke permukaan material. Beberapa jenis logam yang umum digunakan dalam proses elektroplating antara lain seng, tembaga, nikel, dan krom, yang pemilihannya disesuaikan dengan fungsi dan kebutuhan material[6]. Kualitas lapisan elektroplating dipengaruhi oleh beberapa parameter, seperti waktu pelapisan, besar arus listrik, tegangan, konsentrasi larutan, dan temperatur. Di antara parameter tersebut, waktu pelapisan dan kuat arus memiliki pengaruh signifikan terhadap ketebalan lapisan dan kekerasan permukaan yang dihasilkan[7].

Peningkatan kekerasan permukaan baja ST41 melalui elektroplating terjadi akibat terbentuknya lapisan logam yang memiliki sifat mekanik lebih keras dibandingkan material dasar. Untuk mengevaluasi pengaruh proses tersebut, dilakukan pengujian kekerasan permukaan menggunakan metode Vickers, yang umum digunakan untuk menilai keberhasilan pelapisan serta memprediksi ketahanan aus material [8].

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa waktu pelapisan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik hasil elektroplating. Menurut[9] melaporkan bahwa peningkatan waktu pelapisan elektroplating pada baja ST41 (15 menit, 30 menit, dan 45 menit) menghasilkan peningkatan nilai kekerasan dan massa lapisan nikel yang terendap. Penelitian lain oleh[10] menunjukkan bahwa semakin lama waktu pelapisan, semakin besar ketebalan lapisan yang dihasilkan pada baja ST41.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu pelapisan elektroplating terhadap ketebalan lapisan permukaan serta nilai kekerasan permukaan baja ST41.

## DASAR TEORI

### *Material ST41*

Material ST41 merupakan baja karbon rendah (*low carbon steel*) yang memiliki kandungan karbon kurang dari 0,2%, sehingga tidak tergolong sebagai baja keras. Kandungan karbon yang rendah menyebabkan baja ST41 memiliki keuletan yang baik, mudah dibentuk, serta dapat dikerjakan baik pada kondisi panas maupun dingin. ST merupakan singkatan dari *steel*, sedangkan angka 41 menunjukkan kekuatan tarik maksimum baja yang berada di bawah 41 kg/mm²[11]. Baja ST41 banyak digunakan dalam berbagai aplikasi teknik, seperti konstruksi bangunan, otomotif, dan industri manufaktur, antara lain pada pipa, roda gigi, dan poros.

Berdasarkan penelitian[2], baja ST41 memiliki komposisi kimia utama berupa besi (Fe) sebesar 99%, karbon (C) sebesar 0,08%, silikon (Si) sebesar 0,13%, dan mangan (Mn) sebesar 0,27%. Dengan komposisi tersebut, baja ST41 memiliki nilai kekerasan awal sebesar 165 HV berdasarkan metode pengujian Vickers.

### Elektroplating

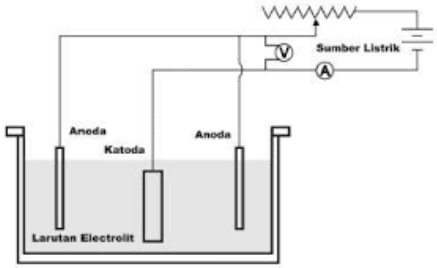
Elektroplating merupakan proses pelapisan logam pada permukaan benda padat melalui larutan elektrolit dengan memanfaatkan arus listrik searah (*direct current/DC*). Proses ini banyak

digunakan dalam berbagai aplikasi industri maupun nonindustri untuk meningkatkan sifat permukaan material, seperti ketahanan terhadap korosi, keausan, dan kekerasan permukaan[9]. Elektroplating termasuk dalam proses elektrokimia yang bekerja berdasarkan prinsip elektrolisis, yaitu konversi energi listrik menjadi energi kimia.

Pada proses elektroplating, logam pelapis seperti tembaga, nikel, krom, dan perak diendapkan pada permukaan logam dasar sehingga membentuk lapisan pelindung yang melekat kuat. Selama proses elektrolisis, ion-ion logam dalam larutan elektrolit mengalami reaksi reduksi di katoda dan reaksi oksidasi di anoda, sehingga terjadi pengendapan logam secara kontinu pada permukaan benda kerja. Proses ini memerlukan pengaturan arus dan tegangan listrik yang stabil agar lapisan yang terbentuk memiliki ketebalan dan kualitas yang optimal[12].

Prinsip dasar elektroplating berlandaskan pada Hukum Faraday, yang menyatakan bahwa massa zat yang diendapkan pada elektroda selama proses elektrolisis berbanding lurus dengan jumlah muatan listrik yang mengalir melalui larutan elektrolit. Selain itu, massa zat yang diendapkan juga sebanding dengan berat ekivalen zat tersebut. Dengan demikian, besar arus listrik dan lama waktu pelapisan menjadi parameter utama yang mempengaruhi jumlah dan ketebalan lapisan elektroplating yang terbentuk.

Gambar 1 memperlihatkan mekanisme proses elektroplating yang melibatkan sumber arus listrik searah (*direct current*), anoda berupa logam pelapis, katoda berupa benda kerja, serta larutan elektrolit sebagai media penghantar ion. Ketika arus listrik dialirkan, atom logam pada anoda mengalami reaksi oksidasi dan berubah menjadi ion bermuatan positif, kemudian bergerak melalui larutan elektrolit menuju katoda. Pada permukaan katoda, ion-ion tersebut mengalami reaksi reduksi sehingga mengendap dan membentuk lapisan logam yang melekat pada permukaan benda kerja. Proses pengendapan berlangsung secara kontinu selama arus dan tegangan diberikan, sehingga ketebalan dan kualitas lapisan yang terbentuk dipengaruhi oleh besar arus listrik dan lama waktu pelapisan.




**Gambar 1.** Mekanisme Proses Elektroplating[13]

**Difusi**

Dalam proses elektroplating, difusi berperan sebagai mekanisme utama perpindahan ion logam dalam larutan elektrolit menuju permukaan katoda yang dipengaruhi oleh medan listrik dan perbedaan konsentrasi ion. Ion-ion logam melewati lapisan difusi (*diffusion layer*) di sekitar permukaan katoda sebelum mengalami reaksi reduksi dengan menerima elektron dan terendapkan sebagai atom logam padat. Atom-atom logam yang terbentuk selanjutnya mengalami tahap pembentukan inti kristal dan pertumbuhan kristal hingga membentuk lapisan logam yang padat dan melekat kuat pada permukaan substrat. Karakteristik lapisan yang dihasilkan, seperti ketebalan, kekasaran permukaan, dan kekuatan adhesi, dipengaruhi oleh laju difusi ion, kuat arus listrik, temperatur larutan, serta komposisi kimia elektrolit termasuk penggunaan zat aditif[14].

**Waktu Pencelupan**

Waktu pelapisan merupakan parameter penting dalam proses elektroplating yang mempengaruhi ketebalan lapisan, struktur mikro, dan sifat mekanik permukaan material. Variasi waktu pelapisan 30, 45, dan 60 menit digunakan untuk menganalisis pengaruh durasi proses terhadap kualitas lapisan yang terbentuk. Semakin lama waktu pelapisan, semakin banyak ion logam yang tereduksi dan terdeposit pada permukaan katoda, sehingga meningkatkan ketebalan lapisan dan kekerasan permukaan. Namun, durasi pelapisan yang terlalu lama dapat menyebabkan pertumbuhan kristal berlebihan dan menurunkan daya lekat lapisan jika tidak diimbangi dengan pengaturan arus dan temperatur yang sesuai[15]. Pemilihan rentang waktu

tersebut mengacu pada penelitian terdahulu yang menunjukkan pembentukan lapisan elektroplating yang stabil dan merata.

**Bahan Pelapis Pada Elektroplating**

Proses ekstrusi plastik Pelapisan logam secara elektroplating menggunakan nikel (Ni) dan krom (Cr) umumnya dilakukan melalui dua tahap, yaitu pelapisan nikel sebagai lapisan dasar dan pelapisan krom sebagai lapisan akhir. Sistem pelapisan bertingkat ini bertujuan untuk mengombinasikan sifat unggul masing-masing logam sehingga diperoleh lapisan permukaan dengan daya lekat yang baik, ketahanan korosi tinggi, serta peningkatan kekerasan dan kualitas estetika permukaan.

**Pelapisan Nikel**

Pelapisan nikel berfungsi sebagai lapisan dasar yang mempersiapkan permukaan substrat sebelum pelapisan krom. Nikel memiliki kemampuan adhesi yang baik terhadap baja karbon rendah serta mampu menutup pori-pori mikro pada permukaan benda kerja, sehingga menghasilkan permukaan yang lebih halus dan seragam. Dari aspek mikrostruktur, lapisan nikel berperan sebagai fondasi kristal yang stabil, yang mendukung terbentuknya lapisan krom yang merata dan memiliki ikatan yang kuat terhadap substrat[16].



**Gambar 2**. Hasil Pelpaisan Nikel

**Pelapisan Krom**

Pelapisan krom berfungsi sebagai lapisan penutup sekaligus pelindung utama pada sistem pelapisan Ni–Cr. Krom memiliki kekerasan tinggi, ketahanan aus yang baik, serta ketahanan korosi yang sangat baik, sehingga banyak digunakan pada aplikasi dekoratif dan komponen industri. Selain memberikan tampilan permukaan yang mengilap, lapisan krom juga mampu menahan kondisi lingkungan ekstrem, seperti suhu dan kelembapan tinggi. Namun, krom memiliki daya lekat yang rendah apabila diaplikasikan langsung pada substrat logam, sehingga keberadaan lapisan nikel sebagai lapisan perantara sangat diperlukan untuk meningkatkan daya lekat dan mencegah terjadinya pengelupasan lapisan krom.



**Gambar 3**. Hasil Pelapisan Krom

**Uji Ketebalan**

Uji Ketebalan lapisan merupakan parameter penting dalam proses elektroplating karena berpengaruh langsung terhadap kualitas dan kinerja lapisan yang dihasilkan. Oleh karena itu, pengukuran ketebalan menjadi salah satu tahapan pengujian utama untuk mengevaluasi keberhasilan proses pelapisan. Dalam perencanaan pengukuran ketebalan, perlu ditentukan jenis ketebalan yang akan dianalisis, yaitu ketebalan rata-rata atau ketebalan pada titik tertentu. Mengingat proses elektroplating umumnya menghasilkan distribusi ketebalan yang tidak sepenuhnya seragam, pengukuran dilakukan pada beberapa titik untuk memperoleh nilai ketebalan rata-rata yang memberikan gambaran ketebalan lapisan secara menyeluruh. Lamanya waktu pelapisan merupakan salah satu faktor yang berpengaruh signifikan terhadap ketebalan lapisan elektroplating yang terbentuk[17].

Pengujian ketebalan lapisan pada penelitian ini dilakukan menggunakan alat *Thickness Gauge*, yang berfungsi untuk mengukur ketebalan lapisan logam hasil proses elektroplating. Gambar 4 menunjukkan alat uji ketebalan lapisan (*Thickness Gauge*) yang digunakan dalam penelitian ini.



**Gambar 4.** *Thickness Gauge*

**Uji Kekerasan**

Kekerasan merupakan salah satu sifat mekanis material yang menunjukkan ketahanan suatu logam terhadap deformasi plastis akibat penetrasi benda keras. Nilai kekerasan setiap material dapat berbeda, bergantung pada struktur mikro, komposisi kimia, serta sifat mekanis yang dimilikinya. Oleh karena itu, pengujian kekerasan digunakan untuk mengevaluasi perubahan sifat mekanis material, khususnya setelah dilakukan perlakuan permukaan seperti elektroplating.

Pengujian kekerasan pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode Vickers, yang didasarkan pada perbandingan antara beban penekanan dan luas bekas indentasi. Indentor yang digunakan berupa piramida intan dengan sudut puncak sebesar 136°. Pengujian dilakukan sesuai dengan standar ASTM E384 menggunakan beban sebesar 50 gf (0,05 kgf) dengan waktu penekanan selama 10 detik. Spesimen uji berbentuk persegi dengan dimensi panjang 60 mm, lebar 30 mm, dan tebal 10 mm. Gambar 5 menunjukkan alat uji kekerasan Hardness Vickers yang digunakan dalam penelitian ini.




**Gambar 5.** Alat Uji Kekerasan *Hardness Vickers*

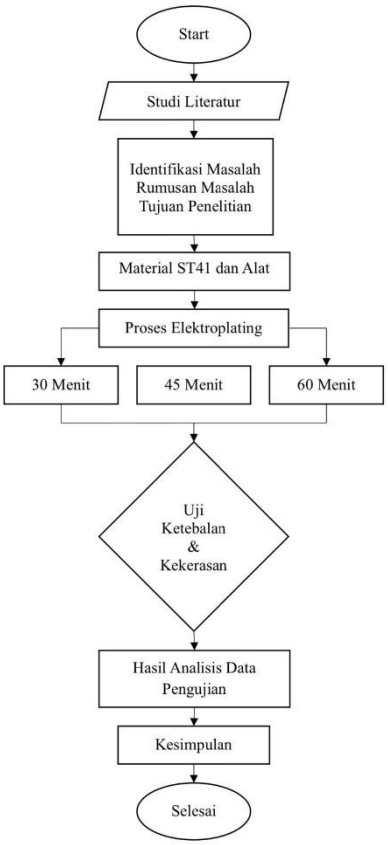
**METODE**

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2025 – November 2025 yang berlokasi di beberapa tempat yaitu :

1. Proses Pelapisan nikel-krom Dilakukan di Bengkel RPC yang beralamatkan di RT.03/RW.04, Ngampelsari, Kec. Candi, Kab. Sidoarjo, Jawa Timur 61271.
2. Pengujian ketebalan permukaan lapisan nikel-krom dilaksanakan di laboratorium PT. Mataram Paint yang beralamatkan di Jl. Mayjen Bambang Yuwono No.40, Kapas Melati, Jabaran, Kec. BalongBendo, kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur 61263.
3. Pengujian kekerasan permukaan lapisan nikel-krom dilaksanakan di laboratorium Politeknik Negeri Malang (Polinema) yang beralamatkan di Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65141.
4. Kegiatan pengolahan dan validasi data dilakukan di kampus 1 Universitas Negeri Surabaya (UNESA) Ketintang

**Diagram Alir Penelitian**

Proses penelitian dari awal sampai akhir dapat dapat dijelaskan melalui diagram alir pada gambar 6.




**Gambar 6.** Diagram alir penelitian

**Prosedur Penelitian**

1. **Studi literatur**
   Studi literatur dilakukan untuk memperoleh landasan teori dan referensi terkait elektroplating nikel–krom, karakteristik baja ST41, serta pengujian ketebalan dan kekerasan lapisan, yang digunakan sebagai dasar perumusan masalah dan penentuan metode penelitian.
2. **Identifikasi masalah**
   Identifikasi masalah difokuskan pada pengaruh variasi waktu elektroplating terhadap ketebalan dan kekerasan lapisan nikel–krom pada baja ST41, yang menjadi dasar penentuan tujuan dan batasan penelitian.
3. **Penyiapan material dan spesimen**
   Material baja ST41 dipotong sesuai ukuran, kemudian dibersihkan melalui pengamplasan dan pembersihan kimia untuk menghilangkan kotoran dan karat. Spesimen selanjutnya dikeringkan sebelum proses elektroplating.
4. **Proses elektroplating**
   Elektroplating dilakukan dengan baja ST41 sebagai katoda dan nikel sebagai anoda dengan variasi waktu 30, 45, dan 60 menit. Setelah pelapisan nikel, spesimen dilapisi krom dekoratif sebagai lapisan akhir selama 10 detik dan kemudian dikeringkan.
5. **Pengujian ketebalan dan kekerasan**
   Pengujian ketebalan lapisan dilakukan pada tiga titik pengukuran setiap spesimen. Selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan lapisan elektroplating menggunakan metode uji kekerasan mikro Vickers dengan beban yang telah ditentukan.
6. **Analisis data**
   Data hasil pengujian ketebalan dan kekerasan kemudian diolah dan dianalisis. Data tersebut kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk melihat pengaruh variasi waktu elektroplating terhadap ketebalan dan kekerasan lapisan nikel–krom pada baja ST41.

## 7. Kesimpulan

Kesimpulan disusun untuk menjawab tujuan penelitian serta menjelaskan pengaruh variasi waktu elektroplating terhadap ketebalan dan kekerasan lapisan elektroplating nikel–krom pada baja ST41. Selain itu, disusun pula saran sebagai bahan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan penelitian ini menyajikan data hasil pengujian serta analisis pengaruh variasi waktu proses elektroplating terhadap ketebalan dan kekerasan lapisan nikel–krom pada baja ST41.

### Hasil Proses Elektroplating

Proses elektroplating nikel–krom pada spesimen baja ST41 dilakukan dengan variasi waktu pelapisan nikel selama 30, 45, dan 60 menit, sedangkan pelapisan krom dilakukan sebagai lapisan akhir dengan waktu pelapisan selama 10 detik. Proses tersebut menghasilkan lapisan yang menutupi seluruh permukaan spesimen secara merata. Permukaan spesimen setelah pelapisan tampak lebih halus dan mengkilap dibandingkan dengan kondisi sebelum dilakukan elektroplating. Lapisan yang terbentuk terlihat relatif seragam dan tidak menunjukkan adanya cacat pelapisan yang jelas, seperti pengelupasan atau lapisan yang tidak merata.

Spesimen hasil elektroplating selanjutnya digunakan sebagai objek pengujian ketebalan dan kekerasan lapisan. Kondisi permukaan spesimen setelah proses elektroplating nikel–krom ditampilkan pada Gambar 7 sebagai gambaran awal sebelum dilakukan pengujian ketebalan dan kekerasan.



**Gambar 7.** Hasil Proses Elektoplating

### Ketebalan Lapisan Elektroplating

#### a. Ketebalan Lapisan Elektroplating

Pengujian ketebalan lapisan dilakukan menggunakan *Coating Thickness Gauge* pada tiga titik pengukuran di setiap spesimen. Data hasil pengujian tersebut disajikan pada Tabel 1 digunakan untuk mengetahui seberapa tebal lapisan logam yang terbentuk akibat variasi waktu elektroplating.

**Tabel 1.** Data pengujian ketebalan lapisan

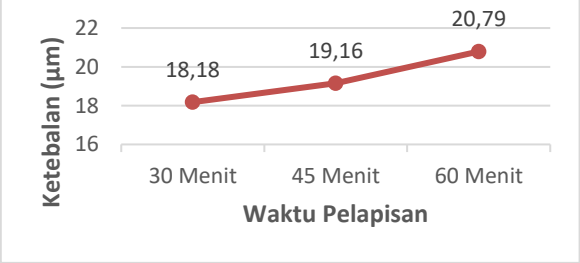
| Waktu Pelapisan | Spesimen | Titik 1 (µm) | Titik 2 (µm) | Titik 3 (µm) | Rata-rata Spesimen (µm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 30 menit | 1 | 18,2 | 18,2 | 18,4 | 18,27 |
| | 2 | 18 | 17,8 | 18,5 | 18,10 |
| | 3 | 17,9 | 18,4 | 18,2 | 18,17 |
| | Rata-rata | | | | 18,18 |
| 45 menit | 1 | 19,1 | 19,5 | 18,9 | 19,17 |
| | 2 | 18,7 | 18,8 | 19 | 18,83 |
| | 3 | 19,2 | 19,7 | 19,5 | 19,47 |

| Waktu Pelapisan | Spesimen | Titik 1 (µm) | Titik 2 (µm) | Titik 3 (µm) | Rata-rata Spesimen (µm) |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Rata-rata** | | | | 19,16 |
| **60 Menit** | **1** | 20,6 | 21,4 | 20,9 | 20,97 |
| | **2** | 20,5 | 20,1 | 19,8 | 20,13 |
| | **3** | 21,9 | 21,2 | 20,7 | 21,27 |
| | **Rata-rata** | | | | 20,79 |

Berdasarkan data pada tabel 1 tersebut, terlihat bahwa nilai ketebalan lapisan meningkat seiring dengan bertambahnya waktu pelapisan. Masing-masing spesimen menunjukkan pola yang konsisten, Menurut[18] hal ini terjadi karena semakin lama proses elektroplating berlangsung, semakin banyak ion logam yang tereduksi dan mengendap pada permukaan spesimen, sehingga lapisan yang terbentuk menjadi semakin tebal.

**b. Analisis Ketebalan**

Data hasil pengujian ketebalan permukaan lapisan elektroplating nikel-krom pada Gambar 8 menunjukkan perkembangan seiring bertambahnya waktu pelapisan semakin tebal. Pengukuran dilakukan pada tiga titik setiap spesimen untuk memastikan pemerataan lapisan, kemudian dihitung nilai rata-ratanya. Hasil penelitian memperlihatkan tingkat ketebalan lapisan nikel-krom setelah proses elektroplating menggunakan variasi waktu 30, 45, dan 60 menit.




**Gambar 8.** Grafik hasil rata-rata ketebalan

Pada variasi 30 menit, rata-rata ketebalan lapisan yang terbentuk adalah 18,18 µm. Ketebalan ini menunjukkan bahwa dalam waktu tersebut proses elektroplating telah mampu menghasilkan lapisan yang merata. Selanjutnya, pada variasi waktu 45 menit, ketebalan rata-rata lapisan meningkat menjadi 19,16 µm. Menurut [14] Peningkatan ini menunjukkan bahwa ion logam yang terlarut dalam elektrolit memiliki waktu lebih lama untuk mengendap dan menumpuk di permukaan material. Durasi 45 menit memberikan kondisi yang lebih optimal bagi proses difusi, sehingga lapisan yang terbentuk menjadi lebih tebal dibandingkan dengan waktu 30 menit. Menurut [19] perbedaan ketebalan antara kedua variasi ini menjadi bukti bahwa waktu pelapisan sangat memengaruhi terbentuknya lapisan elektroplating.

Pada variasi 60 menit, ketebalan rata-rata mencapai 20,79 µm, yang merupakan nilai tertinggi di antara seluruh variasi waktu. Menurut[20] hal ini menunjukkan bahwa semakin lama proses pelapisan berlangsung, semakin besar pula jumlah ion logam yang terdeposit pada permukaan material. Pada durasi 60 menit, tegangan dan arus listrik dijaga tetap sama selama proses pelapisan, sehingga arus mengalir secara stabil sesuai dengan hubungan antara tegangan (V), arus (I), dan hambatan (R) berdasarkan Hukum Ohm ($V = I \cdot R$). Menurut[21] Keadaan ini menyebabkan proses reduksi dan pengendapan ion logam berlangsung secara terus-menerus, sehingga ketebalan lapisan yang terbentuk menjadi lebih tebal. Nilai rata-rata yang dihasilkan menunjukkan bahwa lapisan pada durasi 60 menit terbentuk lebih tebal dibandingkan variasi waktu lainnya.

Secara keseluruhan, perbandingan ketebalan pada waktu 30, 45, dan 60 menit menunjukkan pola yang konsisten bahwa semakin lama waktu pelapisan, semakin tebal lapisan yang terbentuk, Menurut[19] hal ini dikarenakan lama waktu pelapisan mengakibatkan ion-ion logam akan bergerak menuju permukaan katoda secara terus menerus sehingga mengakibatkan permukaan lapisan pada material bertambah. Berdasarkan[22] pola peningkatan ketebalan ini juga sesuai dengan Hukum Faraday, yang menyatakan bahwa massa atau jumlah endapan logam berbanding lurus dengan lamanya waktu saat arus listrik mengalir.

**Kekerasan Lapisan Elektroplating**

**a. Hasil Kekerasan Lapisan**

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan *Vickers Hardness Tester* dengan beban 50 gf (0,05 kgf) dan waktu penekanan 10 detik. Nilai kekerasan diambil dari rata-rata tiga titik pengujian pada setiap spesimen.

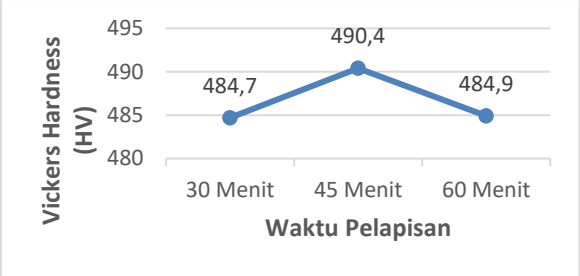
**Tabel 2.** Data pengujian kekerasan lapisan

| Waktu Pelapisan | Spesimen | Titik 1 | Titik 2 | Titik 3 | Rata-rata Spesimen (HV) |
|---|---|---|---|---|---|
| 30 menit | 1 | 485,8 | 471,4 | 475,4 | 477,53 |
| | 2 | 471,7 | 484,1 | 470,5 | 475,43 |
| | 3 | 500,9 | 508,7 | 494 | 501,2 |
| | Rata-rata | | | | 484,7 |
| 45 menit | 1 | 511 | 500,6 | 486 | 497 |
| | 2 | 506,5 | 512,9 | 485,8 | 501,73 |
| | 3 | 419,6 | 512,9 | 482,7 | 471,7 |
| | Rata-rata | | | | 490,4 |
| 60 Menit | 1 | 465,4 | 477,8 | 477,1 | 473,43 |
| | 2 | 463,7 | 492,6 | 495,4 | 483,9 |
| | 3 | 508,4 | 508,7 | 475,8 | 497,6 |
| | Rata-rata | | | | 484,98 |

Dari hasil data pada tabel 2, tampak bahwa nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada waktu pelapisan 45 menit, sedangkan pada 60 menit terjadi penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan waktu pelapisan tidak selalu diikuti peningkatan kekerasan, sehingga terdapat waktu pelapisan yang bekerja secara optimal.

**b. Analisis Kekerasan Lapisan**

Data hasil pengujian kekerasan permukaan lapisan elektroplating pada gambar 9 menunjukkan adanya variasi nilai kekerasan yang dipengaruhi oleh perbedaan waktu pelapisan. Setiap variasi waktu diuji per spesimen pada tiga titik permukaan untuk memastikan kondisi kualitas lapisan secara keseluruhan. Sebagai pembanding, kekerasan awal spesimen baja ST41 sebelum proses elektroplating adalah sebesar 150,1 HV, yang menunjukkan karakteristik material dasar tanpa perlakuan.



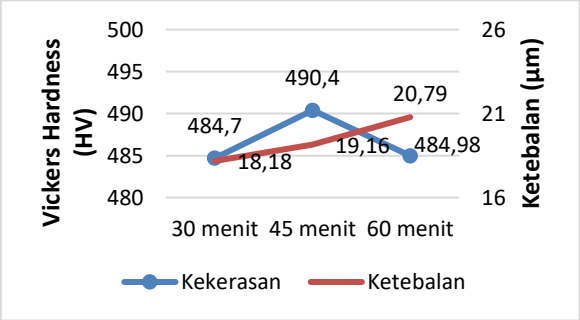

**Gambar 9.** Grafik hasil rata-rata kekerasan

Pada variasi waktu pelapisan 30 menit, nilai kekerasan permukaan meningkat dengan nilai rata-rata sebesar 484,7 HV. Menurut[16] peningkatan ini disebabkan oleh terbentuknya lapisan nikel–krom yang lebih keras dibandingkan material dasar baja ST41, sehingga mampu meningkatkan ketahanan permukaan terhadap penetrasi. Selanjutnya pada variasi waktu pelapisan 45 menit, nilai kekerasan permukaan meningkat dan diperoleh nilai rata-rata tertinggi sebesar 490,4 HV. Menurut[17] kestabilan arus listrik selama proses elektroplating mendukung terbentuknya kondisi pelapisan yang optimal, sehingga menghasilkan kekerasan permukaan tertinggi dibandingkan variasi waktu lainnya. Menurut[19] kondisi ini terjadi karena lapisan nikel–krom yang terbentuk semakin padat dan homogen, sehingga memberikan resistansi yang lebih besar terhadap beban indentasi saat pengujian. Namun pada variasi waktu pelapisan 60 menit, nilai kekerasan permukaan mengalami penurunan dengan nilai rata-rata sebesar 484,98 HV. Berdasarkan[23] penurunan kekerasan terjadi akibat pertumbuhan butir yang berlebihan, yang menyebabkan struktur lapisan menjadi kurang rapat dan lebih lunak, sehingga nilai kekerasan lapisan mengalami penurunan.

Berdasarkan hasil pengujian, variasi waktu pelapisan berpengaruh terhadap nilai kekerasan permukaan baja ST41 yang dilapisi nikel–krom. Kekerasan permukaan meningkat hingga mencapai nilai tertinggi pada waktu pelapisan 45 menit, kemudian mengalami penurunan pada waktu 60 menit. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa waktu pelapisan 45 menit merupakan kondisi yang paling optimal dalam menghasilkan lapisan dengan kekerasan permukaan yang tinggi.

**Analisis Hubungan Ketebalan dan Kekerasan**

Data hasil pengujian memperlihatkan bahwa variasi waktu pelapisan elektroplating nikel–krom memengaruhi ketebalan serta nilai kekerasan lapisan pada material baja ST41. Hubungan perubahan nilai kekerasan terhadap variasi waktu pelapisan tersebut ditunjukkan pada Gambar 10, di mana ketebalan lapisan meningkat seiring variasi waktu pelapisan 30, 45, dan 60 menit, sementara nilai kekerasan permukaan mengalami kenaikan hingga mencapai nilai tertinggi, kemudian menurun pada durasi pelapisan yang lebih lama. Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan lapisan tidak selalu sebanding dengan peningkatan kekerasan permukaan.




**Gambar 10.** Grafik ketebalan dan kekerasan

Pada waktu pelapisan 30 menit, ketebalan lapisan rata-rata tercatat sebesar 18,18 µm dengan nilai kekerasan permukaan 484,7 HV. Ketika waktu pelapisan ditingkatkan menjadi 45 menit, ketebalan lapisan bertambah menjadi 19,16 µm dan nilai kekerasan permukaan mencapai nilai tertinggi sebesar 490,4 HV. Selanjutnya, pada waktu pelapisan 60 menit, ketebalan lapisan kembali meningkat menjadi 20,79 µm, namun nilai kekerasan permukaan menurun menjadi 484,98 HV.

Berdasarkan hasil tersebut, ketebalan lapisan cenderung meningkat seiring bertambahnya waktu pelapisan, sedangkan nilai kekerasan permukaan mencapai nilai maksimum pada waktu pelapisan 45 menit dan mengalami penurunan pada waktu pelapisan 60 menit. Dari ketiga variasi waktu pelapisan yang digunakan, waktu 45 menit merupakan kondisi paling optimal karena menghasilkan lapisan dengan ketebalan yang cukup dan nilai kekerasan tertinggi.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi waktu elektroplating terhadap ketebalan dan kekerasan permukaan lapisan nikel–krom pada baja ST41, dapat disimpulkan bahwa variasi waktu pelapisan berpengaruh signifikan terhadap karakteristik lapisan yang terbentuk. Peningkatan waktu pelapisan menyebabkan ketebalan lapisan elektroplating meningkat, dengan ketebalan tertinggi diperoleh pada waktu pelapisan 60 menit sebesar 20,79 µm, yang menunjukkan bahwa durasi pelapisan berbanding lurus dengan jumlah ion logam yang terendapkan pada permukaan material.

Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan permukaan tertinggi diperoleh pada waktu pelapisan 45 menit, yaitu sebesar 490,4 HV. Peningkatan kekerasan ini disebabkan oleh terbentuknya lapisan nikel–krom yang padat dan memiliki sifat mekanik lebih keras dibandingkan material dasar. Namun, pada waktu pelapisan 60 menit, nilai kekerasan mengalami penurunan menjadi 484,9 HV. Penurunan ini disebabkan oleh pertumbuhan butir yang berlebihan, sehingga struktur lapisan menjadi kurang rapat dan lebih lunak.

## REFERENSI


[1] T. A. Irfandi and A. H. A. Rasyid, "Analisis Variasi Jarak Anoda Katoda Dan Waktu Pelapisan Hardchrome Terhadap Kekerasan Dan Ketebalan Lapisan Pada Baja …," *J. Tek. Mesin*, 2023, [Online]. Available: https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/53257/42640

[2] M. Nofri and A. Taryana, "ANALISIS SIFAT MEKANIK BAJA SKD 61 DENGAN BAJA ST 41 DILAKUKAN HARDENING DENGAN VARIASI TEMPERATUR," 2017.

[3] A. Hermawan, A. Sunardi, R. Ariyansah, S. Restuasih, and A. Gamayel, "Analisis Variasi Arus Pengelasan SMAW Terhadap Sifat Mekanis Mata Tekuk Baja ST 41 Dan ST 37 Pada Perancangan Alat Penekuk Besi Behel Manual," 2022.

[4] M. Variant, "PELAPISAN KHROM KERAS PADA POROS RODA UNTUK KEAUSAN YANG TERJADI PADA PERMUKAAN DIAMETER," 2023.

[5] B. T. Cahyanto and S. Anis, "Pengaruh Suhu dan Waktu Proses Hard Chrome pada Pelat Baja ST37 Terhadap Kekerasan dan Ketebalan Lapisan," *J. Din. Vokasional Tek. Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 124–128, 2020, doi: 10.21831/dinamika.v5i2.34786.

[6] J. Beno, A. . Silen, and M. Yanti, "ANALISIS KETEBALAN dan KEKERASAN PADA PROSES ELECTROPLATING CHROME PADA BAJA ST 37 DENGAN PELAPISAN DASAR COPPER SKRIPSI," *Braz Dent J.*, vol. 33, no. 1, pp. 1–12, 2022.

[7] A. Rasyad and B. Arto, "Analisis Pengaruh Temperatur, Waktu, dan Kuat Arus Proses Elektroplating terhadap Kekuatan Tarik, Kekuatan Tekuk dan Kekerasan pada Baja Karbon Rendah," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 9, no. 3, pp. 173–182, 2018, doi: 10.21776/ub.jrm.2018.009.03.4.

[8] J. Ilmu and I. Teknik, "Jurnal Ilmu - Ilmu Teknik dan Sains," vol. 11, no. April, 2014.

[9] F. Fatkhurrozak, F. L. Jaya, S. -, N. A. Aryanto, and R. A. Satrio, "Pengaruh Waktu Pencelupan Dan Tegangan Listrik Electroplating Terhadap Ketebalan Dan Kekerasan Baja St 41," *Nozzle J. Mech. Eng.*, vol. 11, no. 2, pp. 36–40, 2022, doi: 10.30591/nozzle.v11i2.5815.

[10] Andriawan and Aisyah Endah Palupi, "STRUKTUR MIKRO , KETEBALAN DAN KEKERASAN LAPISAN NIKEL BAJA St41," *Jtm*, vol. 07, pp. 125–134, 2019.

[11] I. Hanung, B. Setiawan, H. Yudo, and S. Jokosisworo, "Jurnal Teknik Perkapalan," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 2, p. 456, 2017, [Online]. Available: http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/naval

[12] E. Budiyanto, D. A. Setiawan, H. Supriadi, and K. Ridhuan, "Pengaruh Jarak Anoda-Katoda Pada Proses Elektroplating Tembaga Terhadap Ketebalan Lapisan Dan Efisiensi Katoda

Baja Aisi 1020," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 1, pp. 21–29, 2017, doi: 10.24127/trb.v5i1.115.
[13] F. Azmi, M. Haris, and S. Dharma, "Analisa Pengaruh Jarak Anoda Dan Katoda Terhadap Kualitas Produk Pada Proses Nikel Elektroplating," *Konf. Nas. Sos. dan Eng. Politek. Negeri Medan*, pp. 979–990, 2022.
[14] B. T. Subangga, E. Sutikno, and A. Arseno, "Pengaruh Variasi Anoda Dan Waktu Pelapisan Elektroplating Terhadap Laju Keausan Grinding Ball," *Jurnal*, vol. 6, no. 2, pp. 1–9, 2019.
[15] T. Pos and P. Kartasura, "SIFAT MEKANIK PERMUKAAN Cu DALAM STRUKTUR LAMINASI LAPISAN Cr-Cu," vol. 18, no. 1, pp. 8–14, 2017.
[16] Zha Zha Oktaviana Dela Putri, "PELAPISAN BAJA KARBON JIS S50C MENGGUNAKAN METODE ELEKTROPLATING: VARIASI PELAPISAN NICKEL (Ni) DAN CHROM (Cr) TERHADAP SIFAT FISIK DAN SIFAT KIMIA Zha," vol. 2, no. 6, 2021.
[17] Sumpena and Wardoyo, "16. 809-2628-1-Pb," vol. 4, no. 2, pp. 96–102, 2020.
[18] K. Bimariga, *PENGARUH VARIASI KUAT ARUS TERHADAP KOROSI HASIL ELEKTROPLATING NIKEL-HARD*. 2018.
[19] M. S. Ummah, "ANALISIS PENGARUH TEGANGAN LISTRIK DAN WAKTU PENCELUPAN PROSES ELEKTROPLATING TERHADAP KEKERASAN PERMUKAAN DAN KETEBALAN BAJA ST 41," *Sustain.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–14, 2019, [Online]. Available: http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI
[20] K. Kardiman and N. Fauji, "Pengaruh Kuat Arus dan Waktu Elektroplating Nikel terhadap Kekerasan dan Laju Korosi Baja," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 16, no. 2, p. 172, 2021, doi: 10.32497/jrm.v16i2.2461.
[21] Asiva Noor Rachmayani, "ANALISA PENGARUH ARUS PADA PROSES ELECHTROPLATING TERHADAP KEKERASAN DAN KETEBALAN LAPISAN HARDCHROME PADA AI,Cu,Cu+Zn," p. 6, 2015.
[22] D. Prasetyo, F. Azmi, and S. Dharma, "Analisis Pengaruh Variasi Tegangan Listrik dalam Proses Elektroplating," *Konf. Nas. Sos. dan Eng. Politek. negeri Medan*, vol. 3, no. 1, pp. 972–978, 2022.
[23] H. Apriantoni, G. Marausna, and F. Setiawan, "Pengaruh Variasi Suhu Terhadap Kekuatan Mekanika Pada Alumunium 7075-T6 Dengan Metode Elektroplating," *Tek. STTKD J. Tek. Elektron. Engine*, vol. 9, no. 1, pp. 28–35, 2023, doi: 10.56521/teknika.v9i1.779.