

**LAJU KOROSI ST 37 DAN KETAHANAN GORES LAPISAN
KHROMIUM HITAM**

1,2,3,4,5,6,7) Jurusan Teknik
Mesin, Politeknik Negeri
Malang, Jl. Soekarno-Hatta
9, Malang, Indonesia

**Syamsul Hadi ¹⁾, Hery Setyawan ²⁾, Sza Sya Monica Valeria ³⁾,
Mochamad Muzaki ⁴⁾, Nurhadi ⁵⁾, Zakki Fuadi Emzain ⁶⁾,
Andika Angger Nugraha ⁷⁾**

Corresponding email ¹⁾ :
syamsul.hadi@polinema.ac.id

Received: 23-09-20
Accepted: 10-06-21
Published: 28-06-21

©2021 Politala Press.
All Rights Reserved.

Abstrak. *Mudahnya terkorosi ST37 dan kurang estetikanya lapisan Khromium putih sebagai masalah yang dihadapi. Tujuan penelitian untuk mengetahui hubungan antara tegangan dan durasi elektroplating terhadap laju korosinya dan ketahanan gores lapisan Khromium hitam. Metode penelitian meliputi studi literatur, elektroplating, pengujian korosi, penghitungan laju korosi, pengujian gores, pengukuran kedalaman goresan dan ketebalan lapisan Khromium hitam dengan SEM, dan analisis data. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju korosi pada 4V ke 5V menurun, tetapi pada 5,5V ke 6V laju korosi meningkat dengan laju korosi tertinggi 0,2476 mm/tahun pada 4V durasi 4 menit dan laju korosi terendah 0,0521 mm/tahun pada 5V durasi 8 menit, kedalaman goresan berturut-turut untuk beban 81; 85,5; 90; dan 94,5 g adalah 5,82; 7,42; 8,09; dan 8,48 μm serta ketebalan lapisan Khromium hitam senilai 30,5 μm .*

Kata Kunci: *baja karbon rendah, ST37, elektroplating, tegangan, durasi pencelupan*

Abstract. *The easy corrosion of ST37 and the less aesthetics of the white chromium layer are the problems faced. The research objective was to determine the relationship between the voltage and duration of electroplating on the corrosion rate and the scratch resistance of black chromium coating. The research methods include literature study, electroplating, corrosion testing, calculating the corrosion rate, scratch testing, measuring the depth of scratches and black chromium layer thickness, and data analysis. The results showed that the corrosion rate at 4V to 5V decreased, but at 5.5V to 6V the corrosion rate increased with the highest corrosion rate of 0.2476 mm/year at 4V with a duration of 4 minutes and the lowest corrosion rate of 0.0521 mm/year at 5V duration 8 minutes, depth of scratch for load 81, 85.5, 90, and 94.5 g respectively is 5.82, 7.42, 8.09, and 8.48 μm and black chromium layer thickness is 30.5 μm .*

Keywords: *low carbon steel, ST37, electroplating, voltage, duration of immersion.*

To cite this article at <https://doi.org/10.34128/je.v8i1.139>

1. Pendahuluan

Telah diteliti untuk proses pelapisan Khromium hitam pada tembaga dengan variasi larutan elektrolit trivalent dan elektrolit heksavalent untuk hasil yang baik dengan tempertatur elektrolit 5 atau 10°C, kerapatan arus harus 60 A/dm² dan 55 A/dm² [1].

Variasi waktu dan rapat arus elektroplating terhadap ketebalan lapisan pada bahan baja karbon rendah dilaksanakan dengan variasi waktu 5, 10, 15 menit diperoleh ketebalam lapisan dengan semakin lama proses elektroplating, maka tebal lapisan semakin tinggi. Variasi rapat arus 27,3 A; 22,7 A; 17,8 A diperoleh ketebalan tertinggi dengan variasi waktu 15 menit dan kuat arus 27,3 A dihasilkan ketebalan 0,483 mm hasil pengamatan mikroskop dengan pembesaran 400x [2].

Rapat arus dan waktu kontak efektif elektrolit gel terhadap ketebalan lapisan Khromium pada baja dengan metode elektroplating disimpulkan bahwa ketebalan lapisan 6 μm dengan variasi rapat arus dan waktu optimal yaitu 0,6 A/dm^2 dan 900 detik [3].

Baja dibedakan menjadi 3 bagian yaitu baja karbon rendah, baja karbon menengah, dan baja karbon tinggi dengan kadar karbon berturut-turut antara 0,01% dan 0,025; 0,025 dan 0,55; dan 0,55 dan 1,9%. Baja karbon rendah dikenal pula sebagai ST37 [4]. Baja karbon rendah yang digunakan dalam elektroplating berkadar karbon hingga sekitar 0,025% yang bersifat ulet.

Sifat Khromium yang sangat tahan terhadap korosi, goresan dan keausan [5] banyak digunakan sebagai bahan pelapis logam dekoratif.

Elektroplating Khromium dikenal dengan 2 jenis pelapisan diantaranya elektroplating Khromium dekoratif dan elektroplating Khromium keras (*hard chromium*) untuk industri [6].

Prosedur persiapan spesimen meliputi pembentukan spesimen uji dengan dimensi 50x20x3 mm, penandaan, pengeboran bagian atas berdiameter 3 mm, penggerindaan pada bagian sisi tajam, dan penghalusan dengan gerinda poles [7]. Persiapan hingga permukaan spesimen dibuat cukup halus agar dapat menunjang kelekatan lapisan pada spesimen.

Data keadaan warna dinyatakan dalam ΔE , sebagai hasil perhitungan dari rumus $\Delta E = \sqrt{(L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2}$. Untuk nilai L^* didapatkan dengan mengurangi nilai standar L^* sesuai dengan <https://colorlib.com/etc/metro-colors/> yaitu $L^* = 10,767$ dengan nilai yang didapat dari pembacaan pada mesin Colorflex [8]. Kecerah-pudaran warna diindikasikan dengan nilai ΔE yang asalnya ditunjukkan dari nilai L^* , a^* , dan b^* untuk keadaan warna yang mana jika L bernilai 0 (nol) berarti warna hitam kelam dan jika bernilai 100 berarti warna putih, bila " a " bernilai negatif (-) berarti warna hijau dan bila " a " bernilai positif (+) berarti warna merah, dan jika " b " bernilai negatif (-) berarti warna biru dan bila " b " bernilai positif (+) berarti warna kuning [8].

2. Tinjauan Pustaka

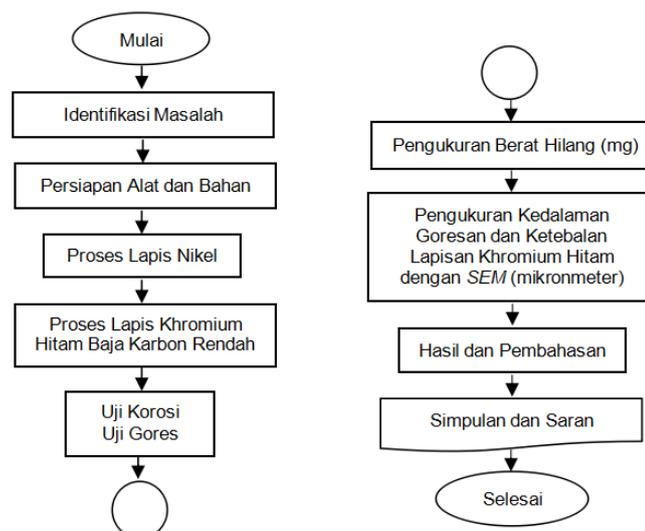
Prinsip dari Hukum Faraday meliputi: (1) massa zat yang diendapkan dalam suatu elektroda sebanding dengan arus listrik (aliran elektron) yang terlibat di dalam sel elektrokimia, dan (2) massa setara zat yang diendapkan pada elektroda sebanding dengan arus listrik yang dialirkan dalam sel elektrokimia [9].

$$\text{Rumus Faraday adalah } w = \frac{(e \cdot i \cdot t)}{F} \quad (1)$$

dengan: w : massa zat (g), e : massa setara atau ($M/\text{valensi}$), i : arus listrik (A), t : waktu (detik), F : konstanta Faraday = 96500 Coulomb, 1 F = 1 mol elektron.

3. Metodologi

Diagram alir penelitian laju korosi dan ketahanan gores lapisan Khromium hitam pada baja karbon rendah sebagaimana Gambar 1.



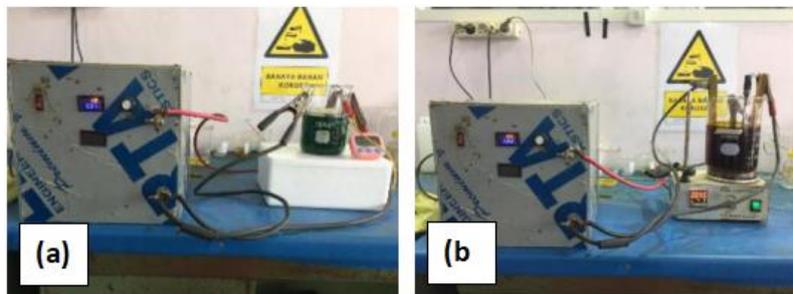
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian Laju Korosi dan Ketahanan Gores Lapisan Khromium Hitam

Variabel penelitian berupa variabel bebas untuk tegangan pada 4; 4,5; 5; 5,5; 6 V, dan waktu pencelupan spesimen ke dalam larutan elektroplating Khromium hitam selama 4, 5, 6, 7, dan 8 menit, sedangkan variabel terikatnya sebagai laju korosi (mm/tahun). Untuk variabel terkontrol yang dijaga dalam kondisi konstan meliputi temperatur larutan Khromium hitam pada 50°C, jarak antara anoda dan katoda, jenis larutan, dan ukuran spesimen.

Persiapan spesimen diawali dengan penentuan dimensi dan penandaan spesimen, seperti yang dilakukan pada spesimen elektroplating lainnya yang pada bagian atas dibor beriameter 3 mm, penggerindaan sisi bagian tajam, dan penghalusan dengan gerinda poles [5].

Proses *pretreatment* dilakukan dengan pengkondisian awal dengan pembersihan spesimen dengan *metal cleaner*, kemudian direndam larutan *activion* yang mengandung HCl dan aquadest dengan perbandingan 1:1 selama 3 menit pada temperatur 50°C.

Elektroplating terdiri dari 2 macam pelapisan, yaitu pelapisan dengan Nikel selama 20 menit pada temperatur 40°C sebagai warna dasar dan menghasilkan warna yang terbaik, dan kemudian dengan cara pelapisan Khromium hitam sebagaimana Gambar 2.



Gambar 2. Elektroplating: (A) Nikel dan (B) Khromium Hitam

Untuk pengukuran laju korosi, pada spesimen yang telah dielektroplating, kemudian direndam dengan larutan NaCl dengan konsentrasi yang mendekati konsentrasi air laut yaitu 36,05 g/l selama 336 jam (14 hari) sebagaimana Gambar 3.



Gambar 3. Pengujian Laju Korosi

Analisis data laju korosi dilakukan dengan penimbangan berat spesimen sebelum dan sesudah dikorosi dalam larutan asam yang menggunakan timbangan digital analitik dengan akurasi sepersepuluh ribu gram sebagaimana Gambar 4.



Gambar 4. Timbangan Digital Analitik

Satu diantaranya metode untuk penentuan nilai laju korosi adalah dengan penghitungan berat persatuan waktu atau kedalaman penetrasi persatuan waktu. Laju korosi dapat dinyatakan dalam *inches per year (ipy, mils per year (mpy), millimeter per year (mmpy), micronmeter per year (umpy)*.

Selisih berat spesimen dapat ditentukan dengan persamaan (2), kedalaman penetrasi pada permukaan logam dengan persamaan (3), dan perhitungan laju korosi yang terjadi dengan persamaan (4).

$$\Delta W = \Delta V \times \rho \tag{2}$$

dengan: ΔW : Selisih berat spesimen (g)

ΔV : Selisih volume spesimen (mm³)

ρ : Berat jenis spesimen (g/cm³)

Kedalaman penetrasi pada permukaan logam:

$$t = \Delta V / A \quad (3)$$

dengan: t: Kedalaman penetrasi (mm)
 ΔV : Selisih volume spesimen (mm³)
 A: Luas Permukaan (mm²)

Laju korosi yang terjadi:

$$r = t / T \quad (4)$$

dengan: r: Laju korosi (mm/tahun)
 t: Kedalaman penetrasi (mm)
 T: Waktu (tahun)

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis Metode *DOE (Design of Experiment) Factorial* yang diolah menggunakan *software* Minitab 16 sebagaimana Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis dengan *DOE factorial*

Analysis of Variance for Laju Korosi (mm/year), using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tegangan (Volt)	4	0.039718	0.039718	0.009929	2.61	0.047
Waktu (menit)	4	0.154752	0.154752	0.038688	10.16	0.000
Tegangan (Volt)*Waktu (menit)	16	0.003347	0.003347	0.000209	0.05	1.000
Error	50	0.190445	0.190445	0.003809		
Total	74	0.388261				

S = 0.0617163 R-Sq = 50.95% R-Sq(adj) = 27.40%

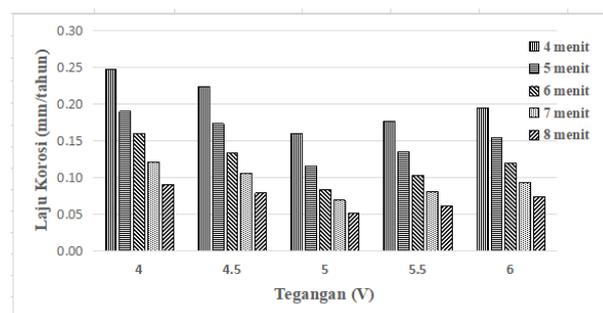
Adapun perbandingan antara F_{Tabel} dan F_{Hitung} sebagaimana Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan antara F_{Tabel} dan F_{Hitung}

	F_{Hitung} (manual/minitab16)	F_{Tabel}	Keterangan
Variabel bebas Durasi	10,16	$F(0,05;4;74) = 2,50$	$F_{Hitung} > F_{Tabel}$
Variabel bebas Tegangan	2,61	$F(0,05;4;74) = 2,50$	$F_{Hitung} > F_{Tabel}$
Interaksi variabel bebas Durasi dan Tegangan	0,05	$F(0,05;16;74) = 1,78$	$F_{Hitung} < F_{Tabel}$

Dari Tabel 2 menunjukkan bahwa F_{Hitung} lebih besar daripada F_{Tabel} untuk variabel bebas Durasi yang berarti terdapat pengaruh signifikan variabel bebas Durasi terhadap variabel terikat Laju Korosi. Demikian juga untuk variabel bebas Tegangan, nilai F_{Hitung} lebih besar daripada F_{Tabel} berarti terdapat pengaruh signifikan variabel bebas Tegangan terhadap variabel terikat Laju Korosi. Untuk Interaksi variabel bebas Durasi dan Tegangan tidak memiliki pengaruh signifikan karena F_{Hitung} lebih kecil daripada F_{Tabel} -nya.

Data laju korosi pada spesimen hasil elektroplating Khromium hitam pada tegangan dan durasi perendaman spesimen di dalam larutan asam ditunjukkan sebagaimana Gambar 5.

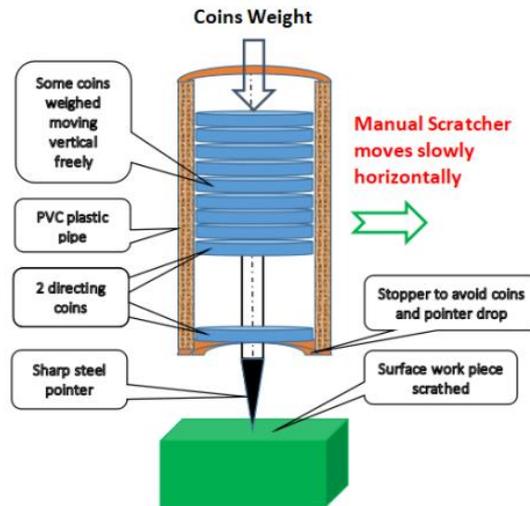


Gambar 5. Rata-rata Laju Korosi terhadap Tegangan dan Durasi

Pada Gambar 5 dapat dilihat rata-rata laju korosi pada tegangan 4V pada durasi 4 menit memiliki rata-rata laju korosi tertinggi, sedangkan pada durasi 8 menit pada tegangan 5V memiliki rata-rata laju korosi terendah. Hal tersebut menunjukkan bahwa kedua variabel bebas tegangan dan durasi elektroplating Khromium hitam berpengaruh signifikan terhadap laju korosi yang terjadi pada baja karbon rendah. Karena semakin lama durasi proses Khromium hitam menyebabkan semakin tebalnya lapisan Khromium hitam yang terbentuk pada baja

karbon rendah, sehingga saat dilakukan pengkorosian membutuhkan durasi yang lebih lama, tidak hanya hal tersebut, semakin tingginya tegangan yang digunakan menyebabkan semakin tebal lapisan yang terbentuk dan semakin rata, mampu melindungi seluruh permukaan baja karbon rendah dari lingkungan yang menyebabkan korosi. Dapat disimpulkan bahwa pada tegangan 4V dan 5V laju korosi mengalami penurunan/lambat dikarenakan ketebalan lapisan yang terbentuk semakin tebal, tetapi pada 5,5V dan 6V laju korosi mengalami kenaikan/semakin cepat dikarenakan lapisan yang terbentuk semakin menipis. Hal tersebut terjadi karena tegangan yang terlalu tinggi, sehingga lapisan yang terbentuk tidak sempurna dan menyebabkan laju korosi semakin cepat.

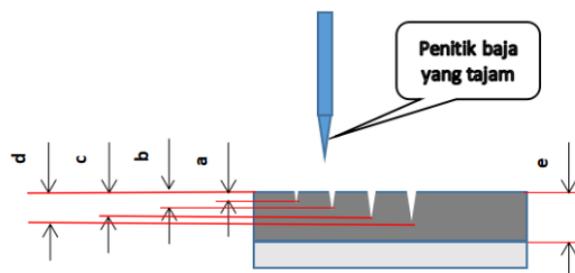
Pengujian gores dilakukan dengan menggunakan peralatan kreasi baru yang diberi nama Penggores-Penitik-Koin sebagaimana Gambar 6. Penggores digunakan penitik baja yang keras dan tajam, sehingga mampu menggores kebanyakan baja karbon rendah dan sebagian karbon menengah. Beban penggores digunakan sejumlah koin mata uang yang beratnya telah ditimbang terlebih dahulu termasuk batang penitik baja dan 2 silinder pengarahnya.



Gambar 6. Penggores-Penitik-Koin

Hasil kedalaman penggoresan yang diukur dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) sebagaimana Tabel 3.

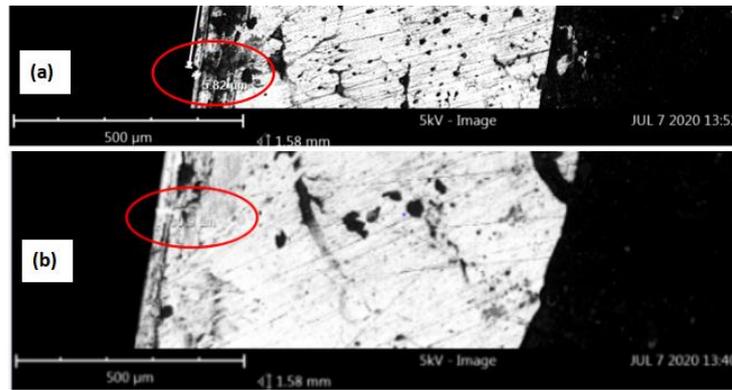
Tabel 3. Hasil kedalaman penggoresan yang diukur dengan SEM



Kode	Beban (g)	Ukuran yang dicari	μm
a	81	Kedalaman goresan 1	5,82
b	85,5	Kedalaman goresan 2	7,42
c	90	Kedalaman goresan 3	8,09
d	94,5	Kedalaman goresan 4	8,48
e	-	Ketebalan Lapisan Khromium Hitam	30,5

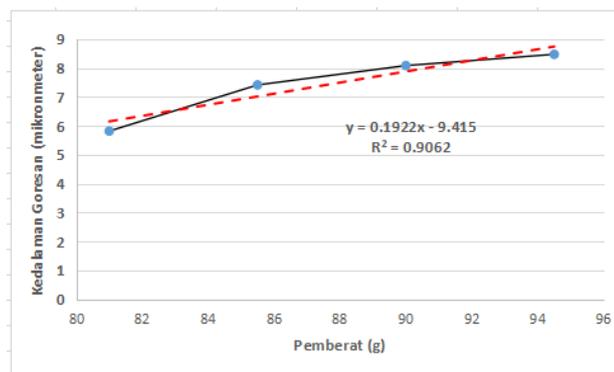
Kedalaman goresan permukaan baja karbon rendah berlapis Khromium hitam dengan menggunakan Penggores-Penitik-Koin yang diukur dengan SEM diperoleh untuk beban penggores berturut-turut 81; 85,5; 90, dan 94,5 g adalah 5,82; 7,42; 8,09; dan 8,48 μm dan ketebalan lapisan Khromium hitam adalah 30,5 μm .

Sebagian hasil pengamatan kedalaman goresan dan ketebalan lapisan Khromium hitam sebagaimana Gambar 7.



Gambar 7. Hasil Pengamatan dengan SEM: (a) Kedalaman Goresan 5,82 μm dan (b) Ketebalan Lapisan Khromium Hitam 30,9 μm

Hubungan antara kedalaman goresan pada lapisan Khromium hitam dan pemberat penggores sebagaimana Gambar 8 dan Persamaan (5).



Gambar 8. Hubungan antara Kedalaman Goresan dan Pemberat Penggores

$$\text{Kedalaman Goresan } (\mu\text{m}) = 0,1922 \times \text{Pemberat Penggores (g)} - 9,415 \quad (5)$$

5. Kesimpulan

Simpulan atas pembahasan meliputi: (1) laju korosi menurun pada tegangan 4V dan 5V karena ketebalan lapisan menebal, tetapi pada 5,5V dan 6V laju korosi semakin meningkat karena lapisan yang terbentuk semakin menipis, akibat tegangan yang tinggi, sehingga lapisan yang terbentuk tidak sempurna dan menyebabkan laju korosi semakin cepat, jadi tegangan berpengaruh signifikan terhadap laju korosi karena F_{Hitung} senilai 2,61 > F_{Tabel} senilai 2,50, nilai yang dicapai untuk laju korosi tertinggi 0,2476 mm/tahun pada 4V durasi 4 menit dan laju korosi terendah 0,0521 mm/tahun pada 5V durasi 8 menit, (2) semakin lama durasi elektroplating Khromium hitam, maka laju korosi semakin lambat karena durasi pencelupan lapisan Khromium hitam semakin tebal, jadi durasi pencelupan berpengaruh signifikan terhadap laju korosi karena F_{Hitung} senilai 10,16 > F_{Tabel} senilai 2,50; (3) interaksi kedua variabel bebas tegangan dan durasi pencelupan tidak berpengaruh signifikan terhadap laju korosi karena F_{Hitung} senilai 0,053 < F_{Tabel} senilai 1,78; dan (4) hubungan antara kedalaman goresan dan pemberat penggores sebagai: Kedalaman Goresan (μm) = 0,1922 x Pemberat Penggores (g) - 9,415.

6. Saran

Saran tindaklanjut atas simpulan, sebaiknya dalam penelitian lanjutan: (1) diamati parameter temperatur larutan dan rapat arus terhadap laju korosi untuk mengetahui interaksi yang signifikan, (2) perlu digunakan jenis bahan Khromium yang berbeda, (3) dilakukan pengujian ketahanan warna, dan (4) perlu selalu digunakan Alat Perlindungan Diri (APD) untukantisipasi zat berbahaya yang korosif dan toksit.

Daftar Pustaka

- [1] Sjöberg, J. Validation and development of an electrodeposition process to deposit a black chromium coating from a trivalent chromium electrolyte. Uppsala, Universitas. 2016.

- [2] Darmawan D. P. A. S., Okariawan, I. D. K., & Sari, N. H. Pengaruh variasi kuat arus listrik dan waktu proses electroplating terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan ketebalan lapisan pada baja karbon rendah dengan krom. *Dinamika Teknik Mesin*, 5(2), 66-71. 2015.
- [3] Furqon, N. G., & Sulistijono, S. Pengaruh Densitas Arus dan Waktu Kontak Efektif Elektrolit Gel terhadap Ketebalan dan Kekuatan Lekat Lapisan Krom pada Baja dengan Metode Elektroplating. *Jurnal Teknik ITS*, 4(1), F134-F139. 2015.
- [4] Hadi, S. *Teknologi Bahan*, ISBN 978-979-29-5586-6, Andi Offset Yogyakarta, Indonesia. 2016.
- [5] Snyder, D.L. *Decorative Chromium Plating* Engelhard Corp Beachwood Ohio <https://p2infohouse.org/ref/29/28168.pdf> diakses 10 Juli 2020.
- [6] Hadi, S. *Teknologi Bahan Lanjut*, ISBN 978-979-29-6366-3, Andi Offset Yogyakarta, Indonesia. 2018.
- [7] Hadi, S., & Buwono, H. P. *Elektroplating Tembaga pada Baja Karbon Rendah*. 4, 17-24. 2018.
- [8] Macary, R., & Taylor, D. *Black Chromium Finishing-Beauty and the Beast NASF Surf Tech White Papers*, 83(12), 1-7. 2019.
- [9] Anonim, *Exploring Faraday's Law Using Inexpensive Screen-Printed Electrodes: A simple electroplating experiment for the general chemistry laboratory*, Pine Research Instrumentation, Doc #: DRL10009, REV0044, 2019.

