

OPTIMASI TEGANGAN DAN JARAK ANODA-KATODA PROSES *ELECTROPLATING*

BAJA KARBON RENDAH TERHADAP KETAHANAN KOROSI

Mohamad Ismail¹, Priagung Hartono², Artono Raharjo³

Jurusan Teknik Mesin¹²³

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang¹²³

Jl. MT. Haryono 193 Malang, Jawa Timur 65144

E-mail : mohamadismail21032000@gmail.com¹, priyagung@unisma.ac.id², artonor@unisma.ac.id³

ABSTRAK

Pelapisan logam krom sangat penting di negara berkembang seperti Indonesia, terutama di sektor industri, logam memiliki korosi sesuai media korosif atau jenis logam. Untuk menghindari terjadinya korosi ada beberapa pelapisan logam diantaranya adalah *electroplating*. Dengan menggunakan metode optimasi Taguchi dan variasi level *electroplating* tegangan listrik 4V, 6V dan 8V, sedangkan variasi level parameter jarak anoda-katoda 6cm, 12cm dan 18cm, dalam penelitian ini peneliti bertujuan untuk menghasilkan parameter dengan hasil yang optimal untuk ketahanan korosif baja ST 41. Perhitungan korosif memakai *weight loss* media perendaman air laut murni selama waktu pengkorosian 600 jam. Penelitian menghasilkan nilai laju korosif terendah terletak diparameter tegangan 8V dan jarak anoda-katoda 6cm dengan nilai laju korosif sebesar 0,00183 mpy dengan *weight loss* sebesar 0,094 gr dan laju korosif tertinggi terletak pada parameter tegangan 4V dan jarak anoda-katoda 12cm dengan nilai laju korosi sebesar 0.01003 mpy parameter yang optimal dengan nilai SNR yang dihasilkan lebih tinggi terletak pada level 3 dan level 1. Semakin tingginya tegangan listrik dan dekat jarak anoda-katoda maka akan menghasilkan kualitas pelapisan yang baik. Hal ini dikarenakan pada jarak anoda-katoda mempercepat *ion-ion* (anoda) untuk melapisi benda kerja (katoda) secara terus-menerus, sedangkan pada tegangan listrik yang tinggi diikuti kuat arus yang tinggi juga mendapatkan penguraian ion yang cepat sehingga pelekatan lapisan *specimen* menjadi kokoh/kuat.

Kata Kunci : *Laju Korosi, Electroplating, chrome, Tegangan Listrik, Jarak Anoda-Katoda, Metode Taguchi, Baja ST 41.*

ASBTRACT

In developing countries like Indonesia, chrome metal plating plays an important role, especially in the industrial sector, metal has corrosion according to corrosive media or metal type, one of which is ST41 steel. To avoid corrosion, there are several metal coatings, the process of electroplating is one of them. Using the Taguchi optimization method with levels of variation, the purpose of this study is to find the optimal parameters and results for the electroplating process of chrome plating on the corrosion resistance of low carbon steel ST 41. parameters of the electric voltage 4V, 6V and 8V, while variations in the level parameters of the anode distance cathode 6cm, 12cm and 18cm. Corrosion rate calculation using pure seawater immersion medium for 600 hours corrosion time. Based on the study's findings, the lowest corrosion rate value lies in the parameter voltage 8V and the anode-cathode distance of 6cm with a corrosion rate value of 0.00183 mpy with a weight loss of 0.094 gr and the largest corrosion rate lies in the parameter voltage 4V and anode-cathode distance of 12cm with a value the corrosion rate is 0.01003 mpy, the optimal parameter with a higher SNR value is located at level 3 and level 1. The higher the voltage and the closer the anode-cathode distance, the better the coating quantity will be. This is because anode-cathode distance accelerating the ions (anode) to coat the workpiece (cathode) continuously, whereas at a high electric voltage followed by a high current strength it also gets fast decomposition of ions so that the sticking of the specimen layer becomes sturdy/strong.

Keywords : *Corrosion Rate, Electroplating, Chrome, Electrical Voltage, Anode-Cathode Distance, Taguchi Method, ST 41 Steel.*

I. PENDAHULUAN

Pelapisan logam krom memainkan peran penting, terutama di sektor industri, di negara berkembang seperti Indonesia. Industri elektronik, instalasi minyak dan gas, industri otomotif, industri manufaktur, industri pertanian, dan industri kedirgantaraan hanyalah beberapa industri yang menggunakan lapisan logam krom [1].

Logam adalah bahan yang biasanya keras, tidak tembus cahaya, mengkilat, serta memiliki konduktivitas listrik dan termal yang baik. Itu bisa berupa elemen, senyawa, atau paduan [2].

Kemajuan industri dalam administrasi proses korosi pelindung sangat penting. Otomotif, kereta api, pembuatan mesin, dan industri lainnya adalah contoh dari perkembangan ini. Karena tingkat keasaman yang tinggi, peralatan mesin industri perminyakan sering berkinerja buruk dan menyebabkan kerusakan komponen mesin [3].

Baja karbon rendah atau baja ringan adalah baja dengan kandungan karbon 0,008 hingga 0,3 % C. Jumlah karbon dalam satu ton baja karbon rendah berkisar antara 10 hingga 30 kg. Baja karbon biasanya diproduksi sebagai baja batangan atau profil, baja strip, atau baja pelat. Baja dengan kandungan karbon rendah bersifat keras dan ulet, tetapi tidak memiliki kekerasan dan ketahanan aus. Baja jenis ini biasanya digunakan sebagai bahan baku pembuatan lambung kapal, pipa, jembatan, badan mobil, dan lain-lain [4].

Pengendapan terjadi dari anoda ke katoda melalui elektrolisis dikenal dengan dinamakan *electroplating*. Permukaan anoda

kemudian melepaskan ion logam, yang larut dalam elektrolit dan bermigrasi ke katoda (benda uji) setelah dihubungkan dengan arus listrik DC [5].

Pelapisan tembaga, nikel, dan tembaga-nikel pada baja karbon rendah 50 mm x 20 mm x 1 mm dengan variasi tegangan 6 V, 8 V, dan 10 V serta variasi waktu 15 menit, 30 menit, dan 45 menit menunjukkan efek dari tegangan yang diberikan pada proses *electroplating* [6].

Pelapisan hard chrome elektroplating dengan variasi 9 cm, 12 cm, 15 cm, dan 18 cm dengan durasi 45 menit dan 60 menit menunjukkan bahwa jarak anoda-katoda dan durasi pelapisan hard chrome elektroplating pada baja ST-37 cukup signifikan. mempengaruhi hasil uji kecepatan korosi atau tingkat penetrasi korosi [7].

Taguchi dikemukakan oleh Dr. Genichi Taguchi (1949) adalah cara yang digunakan untuk peningkatan mutu produk dengan tujuan untuk meminimalisir sumber daya dan biaya produksi terendah dengan cara memperhatikan pengaruh setiap kombinasi yang digunakan [8]. Metode ini berupaya untuk mencapai kualitas dan proses pembuatan produk dengan baik dengan menjadikan produk tidak sensitif terhadap faktor gangguan (*noise*) seperti kondisi operasional, tenaga manusia, tool manufacturing dan material. Metode Taguchi sebagai robust design dengan menjadikan produk sebagai hasil desain dari adanya faktor gangguan (*noise*). [9] Metode Taguchi pada penelitian ini digunakan untuk mengoptimalkan parameter tegangan listrik dan jarak anoda-

katoda proses *electroplating* menggunakan lapisan krom untuk meminimalisir terjadinya laju korosi terbesar dengan hasil minimum laju korosi dan SN Rasio yang paling berpengaruh (*smaller the better*).

Dalam penelitian ini banyak diperlukan pengembangan terbaru tentang kombinasi tegangan listrik dan jarak anoda-katoda selama proses elektroplating untuk ketahanan korosi guna mendapatkan hasil yang optimal sesuai dengan spesifikasi menggunakan spesimen ST 41 baja karbon rendah. Hal ini didasarkan pada latar belakang sebelumnya dan beberapa hasil dari penelitian sebelumnya.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode eksperimen yaitu memvariasikan variable bebas factor level dengan desain taguchi. Dalam penelitian ini memiliki tujuan untuk menganalisis optimasi tegangan dan jarak anoda-katoda proses electroplating terhadap ketahanan korosi pada baja ST41 dengan pengujian pencelupan pada air laut.

Tahapan ada tiga eksperimen Taguchi diantaranya adalah sebagai berikut [10]:

- Tahapan perencanaan adalah pemilihan faktor dan level *specimen*.
- Tahapan pelaksanaan. adalah jika eksperimen direncanakan dan dapat menghasilkan hasil faktor dan *level* yang baik.
- Tahapan analisa.adalah proses terpenting untuk menganalisis hasil

Eksperimen	Faktor	
	Tegangan listrik	Jarak anoda-katoda
1	4	6
2	4	12
3	4	18
4	6	6
5	6	12
6	6	18
7	8	6
8	8	12
9	8	18

faktor dan level untuk mendapatkan hasil yang positif.

Tabel 1 Desain faktorial $L_9(3^2)$
(sumber : Tabel pribadi)

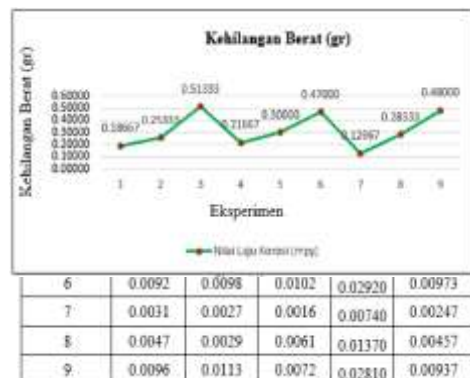
Eksp.	Faktor		Replikasi			Mean	Stdv.	S/N Rasio STB
	Tegangan Listrik	Jarak Anoda-Katoda	I	II	III			
1	4	6						
2	4	12						
3	4	18						
4	6	6						
5	6	12						
6	6	18						
7	8	6						
8	8	12						
9	8	18						

Tabel 2 Data hasil eksperimen $L_9(3^2)$

(sumber : Tabel pribadi)

III. HASIL DAN PEMBAHASA

Pada penelitian ini menggunakan *specimen* baja ST 41 berbentuk plat dengan ukuran panjang 6cm, lebar 4cm dan tebal 5mm. Proses pelapisan dengan variasi tegangan listrik (4,6 dan 8V) dan jarak anoda-katoda (6,12 dan 18cm). Pengujian korosi dilakukan dengan perendaman menggunakan media air laut murni dari Pantai Batu Bengkung Kabupaten Malang, waktu perendaman pengkorosian



selama 600 jam (25 Hari).

Tabel 3 Laju Korosi (*mpy*)

(sumber : Tabel pribadi)

Gambar 1 Grafik nilai laju korosi
(sumber : Dokumen pribadi)

Pada laju korosi membuktikan bahwa semakin tinggi tegangan listrik dan semakin dekat jarak anoda-katoda akan mendapatkan nilai laju korosi



terkecil. Laju korosi terkecil pada eksperimen 7 dengan laju korosi 0.00247 mpy sedangkan laju korosi terbesar pada eksperimen 3 dengan laju korosi 0.01003 mpy.

Eksperimen	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Jumlah	Rata-Rata
1	0.18	0.20	0.18	0.5600	0.18667
2	0.36	0.22	0.28	0.7600	0.25333
3	0.56	0.46	0.52	1.5400	0.51333
4	0.23	0.24	0.18	0.6500	0.21667
5	0.30	0.28	0.32	0.9000	0.30000
6	0.47	0.42	0.52	1.4100	0.47000
7	0.16	0.14	0.08	0.3800	0.12667
8	0.24	0.30	0.31	0.8500	0.28333
9	0.49	0.58	0.37	1.4400	0.48000

Tabel 4 Kehilangan berat (gr)

(sumber : Tabel pribadi)

Gambar 2 Grafik kehilangan berat
(gr)

(sumber : Dokumen pribadi)

Pada kehilangan berat membuktikan bahwa semakin tinggi tegangan listrik dan semakin dekat

jarak anoda-katoda akan mendapatkan nilai kehilangan berat terkecil. Kehilangan berat terkecil pada eksperimen 7 dengan kehilangan berat 0.12667 gr sedangkan kehilangan berat terbesar pada eksperimen 3 dengan kehilangan berat 0.51333 gr.

Tabel 5 Hasil Pengolahan Data DoE
L₉ Laju Korosi

Eksperimen	Tegangan Listrik (A)	Jarak Anoda Katoda (H)	Laju Korosi			Mean	Std.	S/N Ratio
			Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3			
1	4	0	0.0035	0.0039	0.0031	0.0035	0.00023	48.77828
2	4	12	0.0011	0.0043	0.0012	0.0022	0.00081	46.01346
3	4	18	0.0109	0.0090	0.0102	0.0100	0.00096	39.93144
4	6	6	0.0041	0.0047	0.0035	0.0043	0.00064	47.96732
5	6	12	0.0029	0.0025	0.0063	0.0039	0.00040	44.56304
6	6	18	0.0062	0.0098	0.0102	0.0087	0.00050	40.22317
7	8	6	0.0011	0.0027	0.0016	0.0024	0.00078	51.74718
8	8	12	0.0047	0.0029	0.0061	0.0045	0.00160	46.90260
9	8	18	0.0096	0.0113	0.0072	0.0093	0.00206	40.36317
Jumlah/Design	6	18	0.0062	0.0098	0.0102	0.0087	0.00050	40.22317
Best L ₉	8	6	0.0011	0.0027	0.0016	0.0024	0.00078	51.74718

(sumber : Tabel pribadi)

Hasil pengolahan data laju korosi yang dilakukan replikasi sebanyak 3 kali, rata-rata, standar deviasi, dan S/N rasio dari hasil pengukuran laju korosi tersebut. Untuk initial design merupakan desain awal atau desain parameter yang biasanya digunakan dalam proses electroplating pada kondisi yang sama dengan penelitian. Sedangkan Best L₉ adalah desain terbaik yang didapatkan dari hasil pengukuran ke-9 eksperimen.

Tabel 6 Perhitungan ANOM

FAKTOR	ANOM Terhadap Rata Laju Korosi			Mean Effect			Rank
	Level 1	Level 2	Level 3	Mean	M1	M2	
A	0.006211	0.006022	0.005467	0.005900	0.000111	0.000572	2
B	0.003444	0.005144	0.004711	0.004400	-0.000956	-0.000855	1

Terhadap Rerata Laju Korosi pada L₉

(sumber : Tabel pribadi)

Tabel 7 Perhitungan ANOM Terhadap S/N Rasio Laju Korosi pada L_9

FAKTOR	ANOVA Terhadap S/N Rasio Laju Korosi				Main Effect			Rank
	Level 1	Level 2	Level 3	Mean	M1	M2	M3	
A	44.90710	44.05118	46.13768	45.03199	-0.12	-0.98	1.01	2
B	49.29696	45.62640	40.17259	45.03199	4.26	0.39	-4.86	1

(sumber : Tabel pribadi)



Gambar 3 Grafik *Effect Plot* Rata - Rata Laju Korosi



(Sumber : Dokumen Pribadi)

Gambar 4 Grafik *Effect Plot* S/N Rasio Laju Korosi

(Sumber : Dokumen Pribadi)

Gambar efek plot 3 dan 4 diatas merupakan parameter yang optimum dari proses electroplating terhadap laju korosi. Parameter dan hasil yang optimal teletak pada level 3 (A3) tegangan listrik 8V dan level 1 (B1) jarak anoda-katoda 6cm. Pada plot mean maupun SN Rasio disetiap level 3 tegangan listrik dan level 1 jarak anoda-katoda memberikan pengaruh yang signifikan terhadap laju korosi untuk mendapatkan hasil yang optimal dengan nilai laju korosi dan kehilangan berat paling sedikit akan terjadi pada tegangan yang

lebih tinggi dan jarak anoda-katoda yang lebih dekat.

Prediksi parameter optimal pada pelapisan terhadap laju korosi dapat dilihat setelah Effect Plot didapat dari parameter yang sudah digunakan pada proses electroplating yang memberikan pengaruh terhadap output yang signifikan dan dapat digunakan sebagai prediksi parameter yang optimal pada pelapisan terhadap laju korosi sebagai berikut :

Tabel 8 Prediksi Parameter

Prediksi Parameter Optimal	Tegangan Listrik (A)	Jarak Anoda-Katoda (B)
	Level 3	Level 1
	8 V	6 cm

Optimal

(sumber : Tabel pribadi)

Tabel 9 Hasil Prediksi Parameter

Parameter Optimal	Laju Korosi (mpy)				
	Replikasi			Mean	Stdv.
	1	2	3		
	0,0023	0,0016	0,0016	0,00183	0,00040415
	54,52910				

Optimal

(sumber : Tabel pribadi)

Tabel 10 Hasil Estimasi dan

	Estimasi	Verifikasi	Error
Mean	0.002811	0.001833	0.34791889
S/N Rasio (dB)	50.40199	54.52091	-0.081721376

Verifikasi Parameter Optimal

(sumber : Tabel pribadi)

Tabel 10 merupakan nilai *mean* dan S/N rasio yang dihasilkan memiliki nilai yang optimal dibandingkan dengan nilai yang

dihasilkan secara prediksi, serta pada tabel tersebut juga dihasilkan nilai S/N rasio yang mendekati antara nilai S/N rasio secara estimasi maupun verifikasi. Sesuai karakteristik taguchi dimana nilai estimasi dibandingkan dengan tabel L9 penelitian ini mendapatkan SN Rasio yang mendekati antara nilai S/N rasio secara estimasi 50,40199 maupun verifikasi 54,52091, menunjukkan bahwa antara estimasi dengan verifikasi memiliki nilai yang masih mendekati dengan nilai *error* yang kecil. Tingkat *error* ini dapat disebabkan oleh *noise factor* (kondisi operasional maupun factor - faktor ketidakpastian lain) yang menyebabkan terjadinya variasi pada hasil eksperimen.

Tabel 11 Peningkatan hasil optimasi (*robust design*) terhadap

Laju Korosi	Estimasi	Verifikasi
<i>Initial Design</i>	39.19199	40.22317
<i>Robust Design</i>	50.40199	54.52091
<i>Gain</i>	11.21	14.3

initial design

(sumber : Tabel pribadi)

Gain merupakan selisih dari robust design dengan initial design [11]. Tabel diatas menjelaskan rasio verifikasi dan estimasi untuk mengetahui kualitas dari rancangan hasil verifikasi yang telah dilakukan. Kemudian untuk S/N Rasio yang telah terverifikasi mengalami peningkatan sebesar 14,3 (dari 40,22317 menjadi 54,52091).

Tabel 12 ANOVA mean terhadap

ANOVA Mean						
Mean	SS	Df	MS	F0	Ftabel (α=0,05; 2, 22)	Ɔ
Tegangan Listrik	0.000062	2	0.000031	5.1836076	3.443568	2.85%
Jarak Anoda Katoda	0.001190	2	0.000595	97.4568840	3.443568	87.30%
error	0.000215	22	0.0000097			9.85%
total	0.001366	26				100.00%

laju korosi

(sumber : Tabel pribadi)

Hasil Analisys of varians (ANOVA) maka faktor-faktor yang sangat berpengaruh signifikan terhadap laju korosi pada baja ST 41 adalah faktor A (tegangan) tidak memberikan pengaruh yang signifikan dikarenakan $F_{hitung} < F_{tabel}$ ($3.1836076 < 3,44$) dengan memberikan kontribusi sebesar 2.85%. Namun pada faktor B (jarak anoda-katoda) memberikan pengaruh yang signifikan dikarenakan $F_{hitung} > F_{tabel}$ ($97.4568840 > 3,44$) dengan memberikan kontribusi sebesar 87.30%. *Error* yang diberikan sebesar 9.85% merupakan faktor-faktor (*noise*) yang terjadi oleh faktor operasional seperti lewatnya batas jarak anoda-katoda yang ditentukan, lebihnya tegangan yang dipakai, adanya interaksi yang terjadi dari parameter yang digunakan selama *electroplating* dan adanya perubahan pH pada media korosi.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dengan variasi tegangan listrik dan jarak anoda-katoda proses electroplating nickel-chrome pada baja ST41 terhadap ketahanan korosi kesimpulan sebagai berikut :

A. Kesimpulan

1. Pengaruh proses electroplating semakin tingginya tegangan listrik dan semakin dekat jarak anoda-katoda akan mendapatkan hasil korosi dan kehilangan berat terkecil, dikarenakan semakin dekat jaraknya

menyebabkan lapisan yang kuat dan tebal. Karena pada jarak anoda-katoda mempercepat ion-ion (anoda) untuk melapisi benda kerja (katoda) secara terus-menerus. Sedangkan pada tegangan listrik yang tinggi diikuti kuat arus yang tinggi juga mendapatkan penguraian ion yang cepat sehingga lapisan specimen menjadi tidak mudah rusak dan memberikan kenaikan temperatur yang mempengaruhi konduktivitas dalam larutan dengan elektrolit. Lapisan specimen dapat menjadi lebih tipis akibat meningkatnya salinitas (kandungan garam gram) dalam air laut, yang akan menyebabkan logam berkarat (berkorosi), dalam jangka waktu yang lama terhadap korosif dan kadar NaCl air laut. Persentase laju korosi desain kokoh (*disturbance robust design*) terjadi peningkatan (laju korosi yang minimum) terhadap *initial design* yang terlihat pada *mean* maupun *gain S/N rasio* laju korosi. SN Rasio yang dihasilkan memberikan pengaruh yang sangat signifikan.

2. Kombinasi yang optimal untuk mendapatkan hasil laju korosi 600 jam yang optimum sesuai spesifikasi di tegangan listrik 8V dengan jarak anoda-katoda 6cm terletak pada level 3 tegangan dan level 1 jarak anoda-katoda yaitu

0,001833 mpy dengan *weight loss* 0,094 gr.

B. Saran

1. Penelitian mendatang dapat menggunakan kombinasi parameter sesuai DoE metode taguchi, seperti temperatur, waktu pencelupan, kuat arus, dan jenis-jenis lapisan.
2. Variasi media korosi, seperti pencampuran media korosi air laut atau cairan lain, diantisipasi untuk penelitian selanjutnya. Untuk melihat bagaimana media korosi dibandingkan satu sama lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. F. M. Hasan, "Proses Electro Plating," *J. Media Teknol.*, vol. 06, no. 02, pp. 29–34, 2020, [Online]. Available: <https://journals.unigal.ac.id/index.php/jmt/article/view/2522%0Ahttps://journals.unigal.ac.id/index.php/jmt/article/download/2522/1923>
- [2] Darmawi, "Pelapisan Logam," Pp. 1–88, 2018.
- [3] F. Gapsari, *Pengantar Korosi*. Malang: UB Press, 2017.
- [4] S. Wiyono, "Karakterisasi Baja ST 41 Hasil Proses Hot Equal Channel Angular Pressing (HECAP)," *Tek. Mesin Untirta*, Vol. II, No. 1, Pp. 55–63, 2016.
- [5] I. A. A. Saleh, *ELECTROPLATING Teknik Pelapisan Logam Dengan Cara Listrik*. Yrama Widya, 2014.
- [6] A. E. Prabowo, H. Rarindo, S. Hadi, A. Sujatmiko, And A. Hardjito, "Pengaruh Tegangan

- Dan Waktu Elektroplating Tembaga Dan Nikel Terhadap Laju Korosi Pada Baja Karbon Rendah,” *J. Teknol.*, Vol. 15, No. 2, Pp. 14–20, 2021.
- [7] A. F. Alphanoda, “Pengaruh Jarak Anoda-Katoda Dan Durasi Pelapisan Terhadap Laju Korosi Pada Hasil Electroplating Hard Chrome,” *J. Teknol. Rekayasa*, Vol. 1, No. 1, P. 1, 2017, Doi: 10.31544/Jtera.V1.I1.2016.1-6.
 - [8] N. W. S. & R. P. Lukodono, *Teori Dan Aplikasi DESAIN EKSPERIMEN TAGUCHI*. Malang: UB Press, 2017.
 - [9] I. Soejanto, *DESAIN ELKSPERIMEN DENGAN METODE TAGUCHI*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2019.
 - [10] D. C. Montgomery, *Design And Analysis Of Experiments Eighth Edition. Arizona State University*, Vol. 2009, No. 2005. 2013.
 - [11] T. H. S. Priyagung Hartono, Margianto, “ANALISIS LAJU KOROSI PADA BAJA KARBON A36 DENGAN 3 MEDIUM KOROSIF,” *Anal. LAJU KOROSI PADA BAJA KARBON A36 DENGAN 3 Mediu. KOROSIF*, Vol. 73, Pp. 12–14, 2022.