

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Penelitian

Penelitian ini dilakukan tiga pengulangan setiap variasinya. Ada 3 pengujian yang dilakukan pada spesimen hasil *anodizing*. Untuk data pendukung dilakukan pengujian ketebalan lapisan dan kekerasan permukaan. Pengujian yang terakhir adalah pengujian laju keausan. Berikut ini adalah data pengujian :

Tabel 4.1 : Data hasil pengujian ketebalan lapisan (μm)

	15 V			20 V			25 V		
60"	51	51	64	66	65	69	76	69	75
	53	58	56	63	66	67	78	74	70
	66	64	65	70	66	64	76	73	72
90"	67	67	67	72	74	71	77	76	76
	66	64	68	71	70	69	77	75	75
	67	67	66	71	71	73	76	77	76
120"	72	74	68	77	78	75	80	80	79
	76	70	74	78	77	76	81	78	80
	71	76	69	76	76	78	79	77	78

Tabel 4.2 : Data pengujian kekerasan permukaan (VHN)

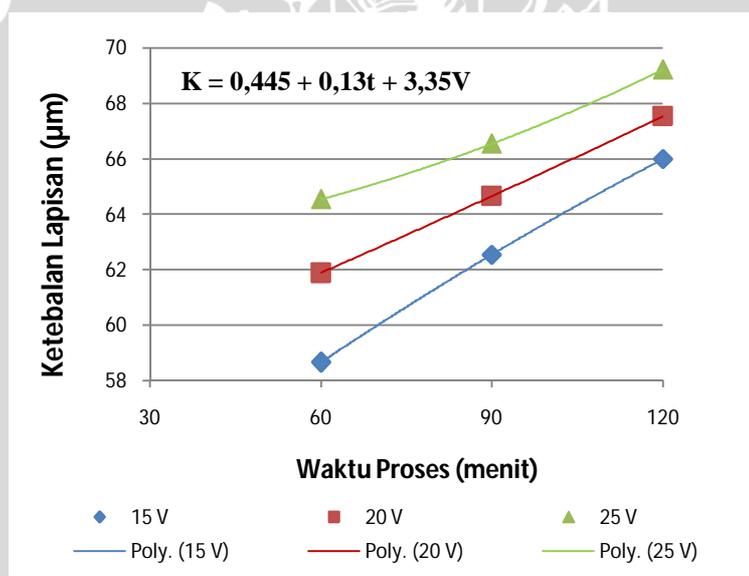
	15 V			20 V			25 V		
60"	81,55	85,96	92,61	99,89	114,36	109,63	132,43	126,83	139,63
	81,33	94,36	94,34	104,53	104,31	103,36	112,46	130,68	113,56
	83,43	82,84	89,94	106,46	96,87	113,77	115,67	129,06	129,76
90"	98,85	106,31	121,63	135	152,63	139,64	147,29	156,39	156,76
	104,2	112,69	119,37	144,13	137,96	147,66	167,16	160,03	148,36
	104,9	99,78	121,66	136	146,39	158,83	145,23	156,87	147,86
120"	134,68	131,6	141,64	172,38	156,71	161,36	197	187,7	211,36
	116,79	126,73	119,63	143,67	173,76	153,26	194,36	201,36	194,76
	121,2	121,63	123,63	149,33	156,21	167,86	221,54	213,47	213,61

Tabel 4.3 : Data hasil pengujian keausan (gr/s)

	15 V			20 V			25 V		
60"	0,000163	0,000116	9,2E-05	4,53E-05	6,03E-05	6,59E-05	3,3E-05	3,68E-05	3,3E-05
	0,000107	0,000124	0,000143	6,03E-05	5,5E-05	5,5E-05	2,95E-05	3,3E-05	2,95E-05
	9,95E-05	0,000133	0,000107	5E-05	4,53E-05	5E-05	4,09E-05	4,09E-05	3,68E-05
90"	7,19E-05	6,59E-05	7,83E-05	5,5E-05	4,53E-05	6,03E-05	4,09E-05	2,95E-05	2,62E-05
	7,83E-05	7,19E-05	9,2E-05	5E-05	2,95E-05	4,53E-05	2,62E-05	2,32E-05	3,3E-05
	8,5E-05	9,2E-05	7,19E-05	7,19E-05	2,32E-05	4,53E-05	2,95E-05	4,09E-05	2,04E-05
120"	6,59E-05	6,03E-05	6,59E-05	4,53E-05	4,53E-05	9,95E-05	3,68E-05	2,32E-05	2,62E-05
	6,59E-05	7,19E-05	6,03E-05	3,68E-05	4,09E-05	3,3E-05	2,32E-05	2,04E-05	1,79E-05
	6,59E-05	7,83E-05	5,5E-05	4,53E-05	3,3E-05	3,68E-05	2,62E-05	2,62E-05	2,04E-05

4.2 Analisa Grafik

Untuk penelitian ini, dapat diketahui pada gambar 4.1 dibawah ini adalah grafik hubungan antara ketebalan lapisan dengan waktu proses :



Gambar 4.1 : grafik hubungan antara ketebalan lapisan dengan waktu proses

Dari grafik hubungan antara ketebalan lapisan dengan waktu proses diatas dapat diketahui bahwa grafik dari variasi waktu proses dengan tegangan listrik 15V cenderung meningkat. Nilai ketebalan lapisan pada variasi waktu proses 60, 90 dan 120 menit adalah berturut-turut 58.667, 62.556 dan 66 μm .

Untuk grafik variasi waktu proses dengan tegangan listrik 20 V cenderung meningkat. Nilai ketebalan lapisan pada variasi waktu proses 60, 90 dan 120 menit adalah berturut-turut 61.889, 64.6679 dan 67.556 μm .

Selanjutnya, untuk grafik variasi waktu dengan tegangan listrik 25 V terlihat cenderung meningkat. Nilai ketebalan lapisan untuk masing-masing variasi adalah 64.556, 66.556 dan 69.222 μm .

Data hasil penelitian diatas yaitu hubungan antara nilai ketebalan lapisan dengan waktu proses sesuai dengan persamaan berikut :

Grafik Hubungan Antara Ketebalan Lapisan (K) dengan Waktu Proses (t) pada Tegangan Listrik (V) 15 V :

$$K = F(V, t)$$

$$K = F(V) \rightarrow K = a - bV$$

$$K = F(t) \rightarrow K = ct + d$$

- Substitusi dengan nilai K, V dan t untuk waktu proses 60 menit

$$58,667 = a - b(15)$$

$$58,667 = 60c + d \quad +$$

$$117,334 = (a + d) + 60c - 15b \quad (1)$$

- Substitusi dengan nilai K, V dan t untuk waktu proses 90 menit

$$62,556 = a - b(15)$$

$$62,556 = 90c + d \quad +$$

$$125,112 = (a + d) + 90c - 15b \quad (2)$$

- Eliminasi (1) dan (2)

$$125,112 = (a + d) + 90c - 15b$$

$$117,334 = (a + d) + 60c - 15b \quad -$$

$$7,778 = 30c$$

$$c = 0,26 \quad (3)$$

- Substitusi (3) ke (1)

$$117,334 = (a + d) + 60 \cdot (0,26) - 15b$$

$$117,334 = (a + d) + 15,6 - 15b$$

$$101,734 = (a + d) - 15b$$

$$b = -6,78(a + d) \quad (4)$$

- Substitusi (3) dan (4) ke (2)

$$125,112 = (a + d) + 90c - 15b$$

$$125,112 = (a + d) + 90.(0,26) - 15(-6,78(a+b))$$

$$125,112 = (a + d) + 23,4 + 101,7 (a+b)$$

$$(a+b) = 0,99 \quad (5)$$

- Substitusi (5) ke (4)

$$b = -6,78. (0,99)$$

$$= - 6,7122$$

- Persamaan grafik hubungan antara ketebalan lapisan dengan waktu proses

$$K = \frac{1}{2} ((a+d) + ct - bV)$$

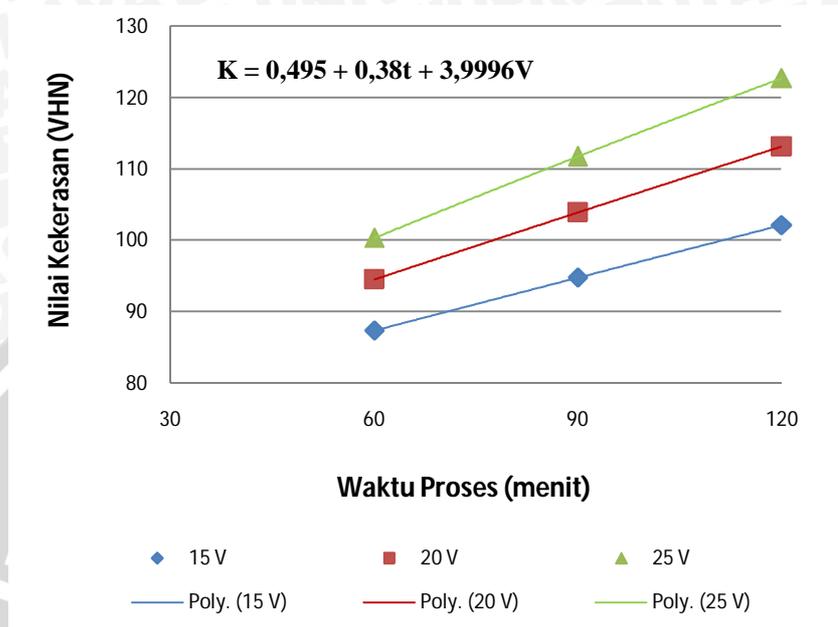
$$K = \frac{1}{2} (0,99 + 0,26t + 6,7122V)$$

$$\mathbf{K = 0,445 + 0,13t + 3,35V}$$

Dari grafik hubungan antara ketebalan lapisan dengan variasi waktu proses pada variasi tegangan yang digunakan dapat dilihat kecenderungannya meningkat. Ketebalan lapisan terendah didapatkan pada variasi tegangan listrik 15 V dengan waktu proses 60 menit yaitu 58.667 μm dan untuk ketebalan lapisan tertinggi didapatkan pada variasi tegangan listrik 25 V dengan waktu proses 120 menit yaitu 69.222 μm . Hal ini disebabkan karena semakin tinggi tegangan yang digunakan maka beda potensial yang terjadi juga semakin tinggi sehingga energi ionisasi yang dihasilkan akan semakin tinggi juga. Hal ini akan mengakibatkan energi untuk melepaskan ikatan ion pada titanium akan semakin besar, sehingga ion-ion titanium yang lepas dari ikatannya akan semakin banyak. Dengan semakin banyaknya ion-ion titanium yang lepas dari ikatannya, maka semakin besar pula energi kinetik yang dihasilkan sehingga semakin banyak juga ion-ion titanium yang menempel pada permukaan benda kerja (aluminium). Hal ini menyebabkan ketika spesimen diuji ketebalan lapisan, nilainya akan semakin meningkat, begitu pula sebaliknya.

Untuk variasi waktu proses, semakin lama waktu proses yang digunakan, maka durasi kesempatan ion-ion titanium untuk menempel ke permukaan aluminium 6061 lebih lama, sehingga ketika diuji ketebalan lapisan, lapisannya akan semakin tebal.

Pada gambar 4.2 dibawah ini adalah grafik hubungan antara tingkat kekerasan dengan waktu proses pada *anodizing* :



Gambar 4.2 : grafik hubungan antara nilai kekerasan dengan waktu proses

Dari grafik hubungan antara nilai kekerasan dengan waktu proses diatas dapat diketahui bahwa grafik dari variasi waktu proses dengan tegangan listrik 15V cenderung meningkat. Nilai tingkat kekerasan pada variasi waktu proses 60, 90 dan 120 menit adalah berturut-turut 87.373, 94.781 dan 102.14 VHN.

Untuk grafik variasi waktu proses dengan tegangan listrik 20 V cenderung meningkat. Nilai tingkat kekerasan pada variasi waktu proses 60, 90 dan 120 menit adalah berturut-turut 94.548, 103.934 dan 113.152 VHN.

Selanjutnya, untuk grafik variasi waktu dengan tegangan listrik 25 V terlihat cenderung meningkat. Nilai tingkat kekerasan untuk masing-masing variasi adalah 100.368, 111.746 dan 122.666 VHN.

Data hasil penelitian diatas yaitu hubungan antara nilai kekerasan dengan waktu proses sesuai dengan persamaan berikut :

Grafik Hubungan Antara Nilai Kekerasan (K) dengan Waktu Proses (t) pada

Tegangan Listrik (V) 15 V :

$$K = F(V,t)$$

$$K = F(V) \rightarrow K = a - bV$$

$$K = F(t) \rightarrow K = ct + d$$

- Substitusi dengan nilai K, V dan t untuk waktu proses 60 menit

$$83,373 = a - b(15)$$

$$83,373 = 60c + d \quad +$$

$$166,746 = (a + d) + 60c - 15b \quad (1)$$

- Substitusi dengan nilai K, V dan t untuk waktu proses 90 menit

$$94,781 = a - b(15)$$

$$94,781 = 90c + d \quad +$$

$$189,562 = (a + d) + 90c - 15b \quad (2)$$

- Eliminasi (1) dan (2)

$$189,562 = (a + d) + 90c - 15b$$

$$166,746 = (a + d) + 60c - 15b \quad -$$

$$22,816 = 30c$$

$$c = 0,76 \quad (3)$$

- Substitusi (3) ke (2)

$$189,562 = (a + d) + 90 \cdot (0,76) - 15b$$

$$189,562 = (a + d) + 68,4 - 15b$$

$$121,162 = (a + d) - 15b$$

$$b = -8,08(a + d) \quad (4)$$

- Substitusi (3) dan (4) ke (2)

$$189,562 = (a + d) + 90c - 15b$$

$$189,562 = (a + d) + 90 \cdot (0,76) - 15(-8,08(a + d))$$

$$125,112 = (a + d) + 68,4 + 121,2(a + d)$$

$$(a + d) = 0,99 \quad (5)$$

- Substitusi (5) ke (4)

$$b = -8,08 \cdot (0,99)$$

$$= -7,9992$$

- Persamaan grafik hubungan antara ketebalan lapisan dengan waktu proses

$$K = \frac{1}{2}((a + d) + ct - bV)$$

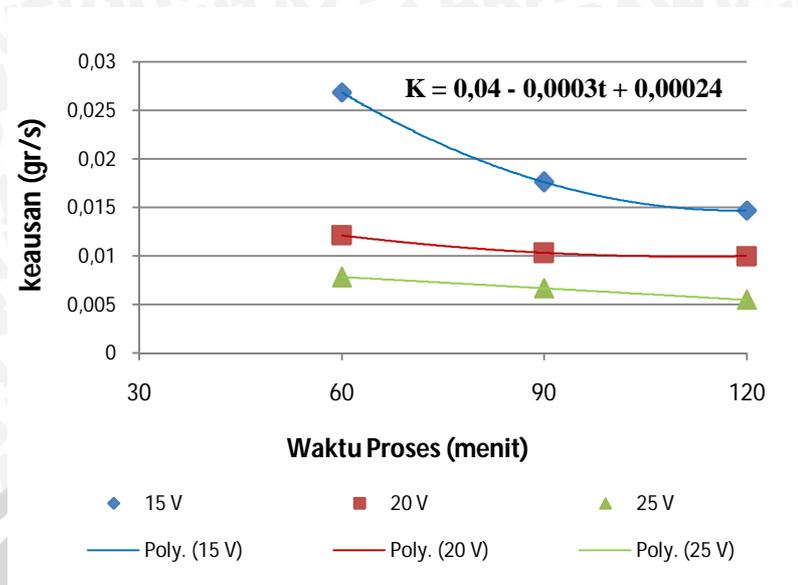
$$K = \frac{1}{2}(0,99 + 0,76t + 7,9992V)$$

$$K = 0,495 + 0,38t + 3,9996V$$

Dari grafik hubungan antara tingkat kekerasan dengan variasi waktu proses dengan variasi tegangan yang digunakan dapat dilihat kecenderungannya meningkat. Tingkat kekerasan tertinggi didapatkan pada variasi tegangan listrik 25 V dengan waktu proses 120 menit yaitu 122.666 VHN dan untuk tingkat kekerasan terendah didapatkan pada variasi tegangan listrik 15 V dengan waktu proses 60 menit yaitu 87.3373 VHN. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi tegangan yang digunakan maka beda potensial yang terjadi juga semakin tinggi sehingga energi ionisasi yang dihasilkan akan semakin tinggi juga. Hal ini akan mengakibatkan energi untuk melepaskan ikatan ion pada titanium akan semakin besar, sehingga ion-ion titanium yang lepas dari ikatannya akan semakin banyak. Dengan semakin banyaknya ion-ion titanium yang lepas dari ikatannya, maka semakin besar pula energi kinetik yang dihasilkan sehingga semakin banyak juga ion-ion titanium yang menempel pada permukaan benda kerja (aluminium). Hal ini menyebabkan ketika spesimen diuji kekerasan dengan menggunakan *vickers*, nilai tingkat kekerasannya lebih tinggi, begitu pula sebaliknya.

Untuk variasi waktu proses, semakin lama waktu proses yang digunakan, maka durasi kesempatan ion-ion titanium untuk menempel ke permukaan aluminium 6061 lebih lama, sehingga ketika diuji kekerasan dengan *vickers*, sehingga nilai kekerasannya akan semakin tinggi.

Pada grafik 4.3 dibawah ini adalah grafik hubungan antara keausan dengan waktu proses *anodizing* :



Gambar 4.3: grafik hubungan antara keausan dengan waktu proses

Dari grafik hubungan antara keausan dengan waktu proses diatas dapat diketahui bahwa grafik dari variasi waktu proses dengan tegangan listrik 15 V cenderung menurun. Nilai tingkat keausan pada variasi waktu proses 60, 90 dan 120 menit adalah berturut-turut 0.027, 0.018 dan 0.015 gr/s.

Untuk grafik variasi waktu proses dengan tegangan listrik 20 V cenderung menurun. Nilai tingkat keausan pada variasi waktu proses 60, 90 dan 120 menit adalah berturut-turut 0.012, 0.0103 dan 0.0099 gr/s.

Selanjutnya, untuk grafik variasi waktu dengan tegangan listrik 25 V terlihat cenderung menurun. Nilai tingkat keausan untuk masing-masing variasi adalah 0.0079, 0.0066 dan 0.0054 gr/s.

Data hasil penelitian diatas yaitu hubungan antara keausan dengan waktu proses sesuai dengan persamaan berikut :

Grafik Hubungan Antara Keausan (K) dengan Waktu Proses (t) pada Tegangan

Listrik (V) 15 V :

$$K = F (V,t)$$

$$K = F (V) \rightarrow K = a - bV$$

$$K = F (t) \rightarrow K = ct + d$$

- Subtitusi dengan nilai K, V dan t untuk waktu proses 60 menit

$$\begin{aligned}
 0,027 &= a - b(15) \\
 0,027 &= 60c + d \quad + \\
 0,054 &= (a + d) + 60c - 15b \quad (1)
 \end{aligned}$$

- Substitusi dengan nilai K, V dan t untuk waktu proses 90 menit

$$\begin{aligned}
 0,018 &= a - b(15) \\
 0,018 &= 90c + d \quad + \\
 0,036 &= (a + d) + 90c - 15b \quad (2)
 \end{aligned}$$

- Eliminasi (1) dan (2)

$$\begin{aligned}
 0,036 &= (a + d) + 90c - 15b \\
 0,054 &= (a + d) + 60c - 15b \quad - \\
 -0,018 &= 30c \\
 c &= -0,0006 \quad (3)
 \end{aligned}$$

- Substitusi (3) ke (2)

$$\begin{aligned}
 0,036 &= (a + d) + 90 \cdot (-0,0006) - 15b \\
 0,036 &= (a + d) - 0,054 - 15b \\
 0,09 &= (a + d) - 15b \\
 b &= -0,006(a + d) \quad (4)
 \end{aligned}$$

- Substitusi (3) dan (4) ke (2)

$$\begin{aligned}
 0,036 &= (a + d) + 90c - 15b \\
 0,036 &= (a + d) + 90 \cdot (-0,0006) - 15(-0,006(a + d)) \\
 0,036 &= (a + d) - 0,054 + 0,09(a + b) \\
 (a + b) &= 0,08 \quad (5)
 \end{aligned}$$

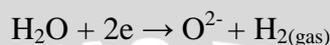
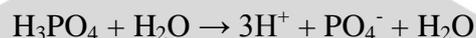
- Substitusi (5) ke (4)

$$\begin{aligned}
 b &= -0,006 \cdot (0,08) \\
 &= -0,00048
 \end{aligned}$$

- Persamaan grafik hubungan antara ketebalan lapisan dengan waktu proses

$$\begin{aligned}
 K &= \frac{1}{2}((a + d) + ct - bV) \\
 K &= \frac{1}{2}(0,08 - 0,0006t + 0,00048V) \\
 \mathbf{K} &= \mathbf{0,04 - 0,0003t + 0,00024V}
 \end{aligned}$$

Dari grafik hubungan antara keausan dengan variasi waktu proses dengan variasi tegangan yang digunakan dapat dilihat kecenderungannya menurun. Keausan tertinggi didapatkan pada variasi tegangan listrik 15 V dengan waktu proses 60 menit yaitu 0.027 gr/s dan untuk tingkat keausan terendah didapatkan pada variasi tegangan listrik 25 V dengan waktu proses 120 menit dengan nilai 0.0054 gr/s. Ketika energi ionisasi diberikan, larutan elektrolit H_3PO_4 akan mengalami reaksi ionisasi. Reaksinya sebagai berikut :



Untuk anoda yaitu aluminium, pada awalnya akan terjadi reaksi oksidasi. Reaksi yang terjadi adalah :



Dari reaksi diatas menghasilkan O^{2-} yang akan dimanfaatkan ion-ion aluminium untuk membentuk lapisan oksida. Reaksi yang terjadi adalah :



Untuk titanium pada katoda akan terjadi reaksi reduksi. Reaksi yang terjadi adalah:



Setelah menghasilkan atom-atom titanium ini, selanjutnya akan bereaksi dengan H_2O hasil reaksi ionisasi H_3PO_4 dan membentuk titanium dioksida. Berikut reaksinya:



Titanium dioksida inilah yang akan menempel pada permukaan aluminium dan akan meningkatkan sifat-sifat mekanik pada aluminium. Pembentukan dan proses menempelnya titanium dioksida ini dipengaruhi oleh tegangan listrik dan waktu proses *anodizing*.

Semakin rendah tegangan yang digunakan maka beda potensial yang terjadi juga semakin rendah sehingga energi ionisasi yang dihasilkan akan semakin rendah juga. Hal ini akan mengakibatkan energi untuk melepaskan ikatan ion pada titanium akan semakin kecil, sehingga ion-ion titanium yang lepas dari ikatannya akan semakin sedikit. Dengan semakin sedikitnya ion-ion titanium yang

lepas dari ikatannya, maka semakin kecil pula energi kinetik yang dihasilkan sehingga semakin sedikit juga ion-ion titanium yang menempel pada permukaan benda kerja (aluminium). Hal ini menyebabkan ketika spesimen diuji keausan menggunakan *revolving disk* pada mesin uji keausan *Ogoshi*, maka lebar celah yang terabrasi (b) akan semakin besar. Dengan semakin besarnya lebar celah ini maka volume material yang terabrasi (W) juga akan semakin besar. Hal ini sesuai dengan rumus di bawah ini :

$$W = \frac{B \cdot b^3}{12 r}$$

Dengan :

B adalah tebal *revolving disk* (mm)

b adalah lebar celah material yang terabrasi (mm)

r adalah jari-jari *revolving disk* (mm)

W adalah volume material yang terabrasi (mm³)

Semakin meningkatnya volume material yang terabrasi (W) maka berat material yang terabrasi (B) akan semakin tinggi juga. Berat material yang terabrasi (B) ini bisa ditentukan dengan menggunakan berat jenis (γ) titanium. Hal ini sesuai dengan rumus di bawah ini :

$$\gamma = \frac{B}{V}$$

$$B = \gamma \cdot V$$

Dengan :

B adalah berat material yang terabrasi (gram)

V adalah volume material yang terabrasi (cm³)

γ volume berat jenis titanium (gr/cm³)

Semakin meningkatnya berat material yang terabrasi (B) ini, maka keausan (V) yang dihasilkan akan semakin meningkat juga. Hal ini sesuai persamaan di bawah ini :

$$V = \frac{B}{t}$$

Dengan :

B adalah berat material yang terabrasi (gr)

t adalah waktu pengujian (detik)

V adalah laju keausan (gr/detik)

Untuk variasi waktu proses, semakin rendah waktu proses yang digunakan, maka durasi kesempatan ion-ion titanium untuk menempel ke permukaan aluminium 6061 lebih sedikit, sehingga ketika diuji keausan, nilai tingkat keausannya akan semakin tinggi.

Dari penelitian ini, bisa disimpulkan bahwa, semakin tinggi tegangan listrik dan waktu proses yang digunakan, maka akan semakin tebal pula lapisan yang dihasilkan yaitu pada nilai 69.222 μm . Dengan semakin tebal lapisan yang dihasilkan, maka ketika duji tingkat kekerasannya, nilainya akan semakin tinggi yaitu pada nilai 122.666 VHN. Nilai kekerasan yang semakin tinggi ini, maka keausan yang dihasilkan akan semakin rendah yaitu pada 0.0054 gr/s.

