

ANALISA PERHITUNGAN MRR, *OVERCUT*, DAN KETIRUSAN PADA *STAINLESS STEEL* 304 DAN ALUMINIUM 1100 DENGAN PENGARUH VARIASI TEGANGAN DAN *GAP* PADA PROSES ELECTRO-CHEMICAL MACHINING (ECM) MENGGUNAKAN ELEKTRODA TERISOLASI

Purna Septiaji

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta, 55183, Indonesia
purnaseptiaji@gmail.com

Abstrak

Untuk mempelajari prinsip kerja dan unjuk kerja proses ECM, maka telah dikembangkan mesin ECM skala laboratorium dengan daya 1000 Watt atau 1/100 mesin ECM skala industri. Pada proses ECM peran dari tegangan dan *gap* sangatlah penting. Tanpa adanya tegangan dan *gap* proses pemesinan tidak akan terjadi. Untuk itu perlu adanya pemilihan nilai konsentrasi tegangan dan *gap* yang sesuai sehingga proses pemesinan pada ECM dapat berjalan dengan baik. Pengujian pemesinan dilakukan dengan membuat lubang dengan variasi tegangan dan jarak celah (*gap*), pengaruhnya terhadap MRR, *overcut*, dan ketirusan. Tegangan diatur sebesar 7, 10, 13 volt sementara *gap* diatur 0.5, 0.75, 1 mm. Benda kerja dari bahan *stainless steel* 304, dan aluminium 1100 dengan ketebalan 0.4 mm, sementara *tool* terbuat dari bahan kuningan pejal berdiameter 3 mm. Pada material *stainless steel* membutuhkan waktu pemesinan selama 371 detik, sementara pada material aluminium 1100 membutuhkan waktu pemesinan 193 detik. Dari data yang disajikan didapat nilai MRR material *stainless steel* yang terbesar yaitu $5.57 \times 10^{-2} \text{ mm}^3/\text{dt}$, dan terkecil 2.77×10^{-4} sedangkan nilai MRR material aluminium yang terbesar yaitu $8.10 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{dt}$, dan terkecil 4.84×10^{-4} . Nilai *overcut* pada material *stainless steel* yang terbesar yaitu 2.24 mm, dan terkecil 1.00 mm dengan sudut ketirusan terbesar yaitu 45.07° , dan terkecil 23.10° sedangkan material aluminium nilai *overcut* terbesar yaitu 1.66 mm, dan terkecil 0.64° dengan sudut ketirusan terbesar yaitu 25.81° , dan terkecil 1.04° .

Kata Kunci: *Electrochemical machining*, MRR, *overcut*, ketirusan, *stainless steel* 304, aluminium 1100

I. PENDAHULUAN

Electro Chemical Machining (ECM) adalah proses pemesinan yang bergantung pada penghapusan atom dari permukaan benda kerja [1]. ECM merupakan salah satu mesin non konvensional yang didasarkan pada proses *anodic dissolution* dan elektrolisis dengan jenis material benda kerja yang bersifat konduktor. ECM mempunyai kelebihan yaitu bisa melakukan pemesinan dengan jenis material yang keras, *tool* yang digunakan juga tidak akan aus seperti pada mesin konvensional. Proses tersebut menggunakan prinsip faraday, yaitu jika ada dua logam elektrode direndam dalam larutan elektrolit dan dihubungkan dengan sumber arus DC, maka partikel logam akan terlepas dari *anode* dan kemudian akan melekat ke *cathode*. Aliran elektrolit yang cukup kuat akan mencegah partikel logam melekat pada *cathode* dan akan membuang partikel-partikel tersebut dari area pemesinan [2].

Besarnya MRR yang terjadi pada benda kerja berbanding lurus dengan besarnya *feed rate*. Sebaliknya, *overcut* yang terjadi pada benda kerja berbanding terbalik dengan besarnya *feed rate*. *Surface roughness* yang dihasilkan pada pemesinan juga berbanding terbalik dengan laju pemakanan / *feed rate* [3].

Overcut didefinisikan sebagai penyimpangan yang menunjukkan bahwa ukuran lubang hasil *drilling* lebih besar dari ukuran pahat yang digunakan. Pada dasarnya

overcut pada ECM tidak dapat dihilangkan 100%, karena *overcut* tetap diperlukan untuk kelangsungan sirkulasi dari cairan elektrolit dan elektroda sebagai pahat tidak boleh bersentuhan dengan benda kerja agar tidak terjadi hubung singkat (*short circuit*). Namun bila *overcut* yang dihasilkan terlalu besar maka hal tersebut akan berpengaruh terhadap menurunnya kualitas produk, terutama faktor yang berkaitan dengan ketelitian ukuran maupun geometri produk. Sedangkan ketirusan didefinisikan sebagai sudut yang terbentuk sebagai penyimpangan atau deviasi antara lubang terbesar dan yang terkecil [4]. Tujuan dari jurnal ini untuk mengetahui pengaruh variasi tegangan dan jarak celah (*gap*) terhadap nilai MRR, *overcut*, dan ketirusan pada material *stainless steel* 304, dan aluminium 1100 hasil *drilling* ECM menggunakan elektroda kuningan terisolasi.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian merupakan suatu metode tentang segala kegiatan yang dilakukan dalam suatu penelitian.

A. Benda kerja dan Elektroda

Material yang digunakan sebagai *tool* sebaiknya bersifat anti-karat, mempunyai konduktivitas termal dan konduktivitas listrik yang baik, serta mudah dilakukan pemesinan sesuai geometri yang dibutuhkan. Aluminium, kuningan, tembaga, karbon, perak,

stainless steel, dan monel adalah material yang biasa digunakan sebagai elektroda pada pemesinan ECM. Adapun material *tool* elektroda yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuningan pejal berdiameter 3 mm seperti terlihat pada Gambar 1.

Benda kerja pada ECM haruslah mampu menghantarkan listrik. Beda potensial yang terkandung dalam unsur benda kerja sangat menentukan terciptanya efisiensi arus dalam pemesinan. Kereaktifan unsur benda kerja juga menjadi salah satu faktor yang dapat mempengaruhi hasil pemesinan pada benda kerja. Selain itu, benda kerja yang diproses dengan pemesinan ECM adalah benda kerja yang bersifat mampu mendapat perlakuan panas. Adapun material benda kerja yang digunakan dalam penelitian ini adalah *stainless steel* 304 dan aluminium 1100 seperti pada Gambar 2.



Gambar 1. Elektroda kuningan terisolasi



Gambar 2. Ukuran benda kerja

B. Prosedur Penelitian

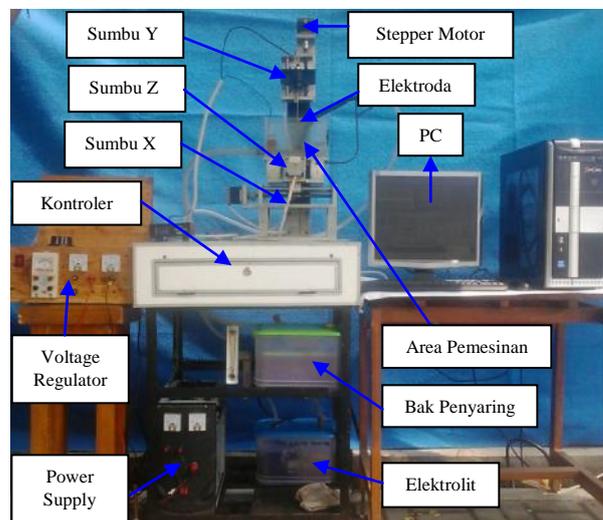
Benda kerja di jepit pada penjepit, kemudian *tool* ditempelkan tepat pada lubang stiker. Elektrolit diatur dengan kecepatan 3 lpm. Proses pemesinan dimulai dengan mengatur jarak celah (*gap*) 0.5 mm antara elektroda dan benda kerja. Pemesinan berlangsung selama 371 detik untuk material *stainless steel* dan elektroda bergerak 0.05 mm ke arah benda kerja tiap 60 detik, sementara untuk material aluminium membutuhkan waktu pemesinan selama 193 detik dan elektroda bergerak 0.1 mm ke arah benda kerja tiap 45 detik. Ketika proses pemesinan selesai, tombol *power* dimatikan, kemudian elektroda dijauhkan dari area pemesinan.

TABEL I
PARAMETER PENGUJIAN ECM

Tegangan Listrik	7, 10, 13 volt
Working Gap	0.5, 0.75, 1.0 mm
Kecepatan Elektrolit	3 lpm
Cairan Elektrolit	Natrium Chloride (NaCl)
Konsentrasi Elektrolit	15 % NaCl + 85 % Aquades
Benda Kerja	Stainless steel 304 dan Aluminium 1100

C. Mesin ECM

Mesin ECM yang digunakan selama penelitian terlihat pada Gambar 3. Mesin ini seperti halnya mesin EDM. Mesin ini memiliki 3 sumbu yang dapat dikontrol secara individual melalui computer atau PLC. Namun mesin ini menggunakan sistem sirkulasi elektrolit berbeda dari EDM.



Gambar 3. Mesin ECM

D. Perhitungan MRR

Material Removal Rate (MRR) adalah jumlah massa benda kerja yang terkikis per satuan waktu. Secara aktual MRR dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini [5]:

$$MRR = \frac{m_0 - m_t}{\rho \times t} \dots\dots\dots (1)$$

dimana,

- MRR : *Material Removal Rate* (mm³/dt)
- m₀ : Massa benda kerja sebelum pemesinan (gram)
- m_t : Massa benda kerja setelah pemesinan (gram)
- ρ : Massa jenis benda kerja (g/cm³)
- t : Waktu pemesinan (detik)

E. Perhitungan Overcut dan Ketirusan

Overcut didefinisikan sebagai penyimpangan yang menunjukkan bahwa ukuran lubang hasil *drilling* lebih besar dari ukuran *tool* yang digunakan. Sedangkan ketirusan didefinisikan sebagai sudut yang terbentuk sebagai penyimpangan atau deviasi antara lubang terbesar dan yang terkecil.

Jadi overcut *Oc* dirumuskan di persamaan 2 [4] :

$$Oc = d_2 - d_0 \dots\dots\dots (2)$$

Sedangkan ketirusan α dihitung berdasarkan rumus [4]:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{d_2 - d_1}{h} \dots\dots\dots (3)$$

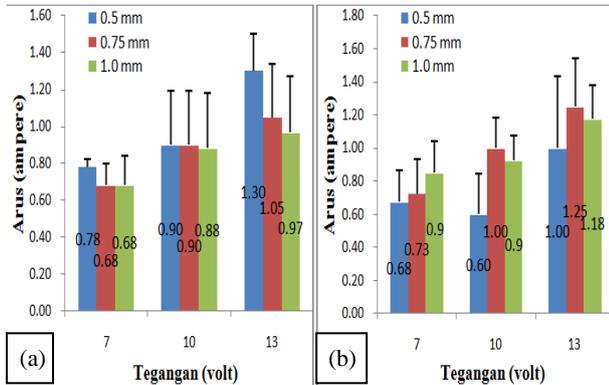
dengan,

- d₂ : diameter benda kerja sisi belakang, (mm)
- d₀ : diameter *tool*, (mm)
- d₁ : diameter benda kerja sisi depan, (mm)
- h : ketebalan benda kerja, (mm)
- α : sudut benda kerja, (°)
- tan⁻¹ : sudut tangent

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Proses Pemesinan ECM

Besar arus rata-rata yang keluar selama proses pemesinan dapat dilihat pada grafik di bawah ini dengan ketebalan material *stainless steel* 304 dan aluminium 1100 yaitu 0,4 mm menggunakan elektroda terisolasi.



Gambar 4. Grafik besar arus rata-rata pada material: (a) *stainless steel* 304, (b) aluminium 1100

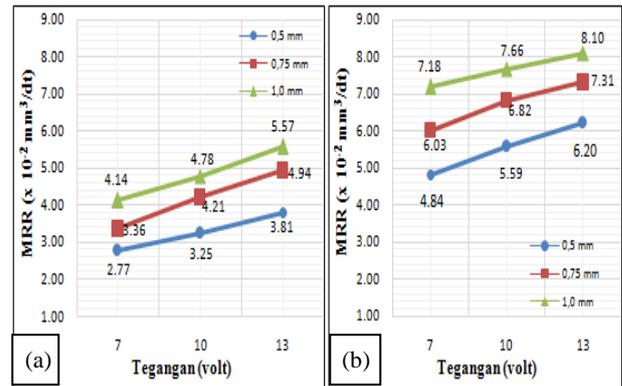
Gambar 4 menjelaskan bahwa besar tegangan berbanding lurus dengan nilai arus. Semakin besar tegangan yang diatur semakin besar pula arus yang keluar. Hal ini dikarenakan muatan listrik meningkat ketika tegangan ditingkatkan. Pada material *stainless steel* 304 arus yang tertinggi berada pada *gap* 0,5 mm dengan tegangan 13 volt yaitu 1,30 ampere, sementara nilai arus terendah pada *gap* 0,75 dan *gap* 1 mm dengan tegangan 7 volt yaitu 0,68 ampere. Pada material aluminium 1100 arus tertinggi berada pada *gap* 0,75 dengan tegangan 13 volt yaitu 1,00 ampere, sementara nilai arus terendah pada *gap* 0,5 mm dengan tegangan 10 volt yaitu 0,60 ampere.

B. Hasil Pengukuran MRR

Setelah pemesinan selesai, maka didapatkan data perhitungan MRR seperti terlihat pada Tabel II dan ditunjukkan oleh Gambar 4.

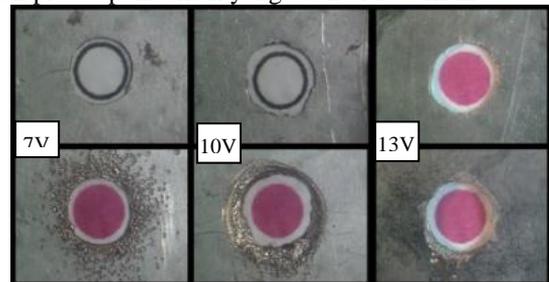
TABEL II
PERHITUNGAN MRR

No	Tegangan (volt)	Gap (mm)	MRR (mm ³ /dt)	
			<i>Stainless Steel</i> 304	Aluminium 1100
1	7	0,5	2,77 x 10 ⁻²	4,84 x 10 ⁻²
2		0,75	3,25 x 10 ⁻²	5,59 x 10 ⁻²
3		1	3,81 x 10 ⁻²	6,20 x 10 ⁻²
4	10	0,5	3,36 x 10 ⁻²	6,03 x 10 ⁻²
5		0,75	4,21 x 10 ⁻²	6,82 x 10 ⁻²
6		1	4,94 x 10 ⁻²	7,31 x 10 ⁻²
7	13	0,5	4,14 x 10 ⁻²	7,18 x 10 ⁻²
8		0,75	4,78 x 10 ⁻²	7,66 x 10 ⁻²
9		1	5,57 x 10 ⁻²	8,10 x 10 ⁻²



Gambar 5. Grafik pengaruh tegangan dan *gap* terhadap nilai MRR pada material: (a) *stainless steel* 304, (b) aluminium 1100

Dari data yang disajikan oleh Tabel II dan Gambar 5 dapat dilihat pengaruh *gap* antara elektroda dengan benda kerja terhadap MRR benda kerja *stainless steel* 304 dan aluminium 1100. Pada gambar 5 besar (*gap*) berbanding lurus terhadap nilai MRR baik material *stainless steel* 304 maupun aluminium 1100, dimana semakin besar jarak celah (*gap*) dan tegangan, maka semakin besar MRR yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan muatan listrik meningkat ketika tegangan ditingkatkan, dan arus yang keluar juga semakin besar. Dari data yang disajikan didapat nilai MRR pada material *stainless steel* 304 yang terbesar yaitu benda kerja hasil pemesinan dengan variasi *gap* 1 mm yaitu sebesar 5,57 x 10⁻² mm³/dt. Sedangkan nilai MRR pada material aluminium 1100 yang terbesar yaitu benda kerja hasil pemesinan dengan variasi *gap* 1 mm yaitu sebesar 8,10 x 10⁻² mm³/dt. Di bawah ini merupakan hasil proses pemesinan yang telah di foto makro.



Gambar 6. Foto makro *overcut stainless steel* 304 dengan *gap* 0,5 mm dan waktu pemesinan 371 detik, bagian depan (gambar atas), bagian belakang (gambar bawah)

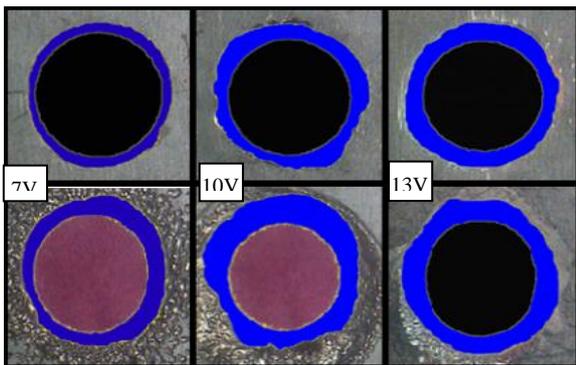


Gambar 7. Foto makro *overcut aluminium* 1100 dengan *gap* 0,5 mm dan waktu pemesinan 193 detik, bagian depan (gambar atas), bagian belakang (gambar bawah)

C. Hasil Pengukuran Overcut

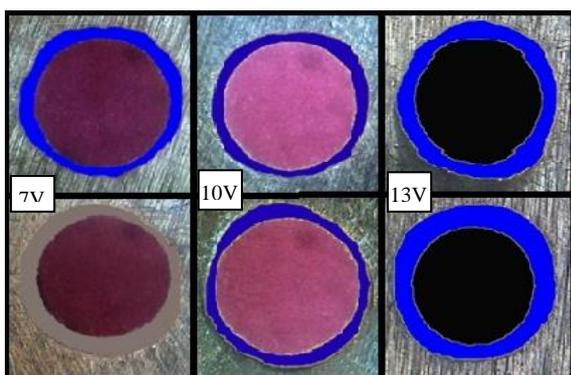
Pengujian *overcut* dilakukan untuk mengetahui perbedaan diameter hasil pemesinan dengan diameter tool pada permukaan benda kerja bagian depan dan bagian belakang. Penggunaan variasi tegangan dan jarak celah (*gap*) antara elektroda (*tool*) dengan benda kerja akan memberikan pengaruh yang berbeda terhadap hasil *overcut* benda kerja.

Sebelum menghitung *overcut*, luas area diameter hasil pemesinan dan diameter tool harus dicari terlebih dahulu menggunakan *software ImageJ*. Di bawah ini merupakan hasil foto makro yang telah diolah menggunakan *Image-J*.



Gambar 8. Hasil *overcut* material SS 304 dengan *gap* 0,5 mm dan waktu pemesinan 371 detik, bagian depan (gambar atas), bagian belakang (gambar bawah)

Pada gambar 8 merupakan hasil pemesinan ECM yang sukses (berlubang). Material tanpa stiker di bagian belakang terdapat kerak pada permukaan tersebut dikarenakan adanya bekas percikan dari elektrolit selama pemesinan. Lubang yang terlalu besar di bagian belakang disebabkan karena material tersebut tidak diisolasi dengan stiker.

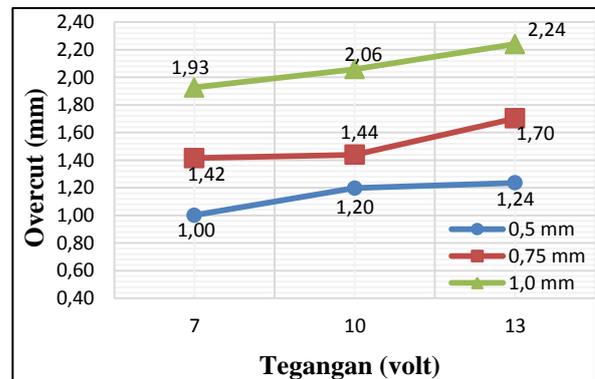


Gambar 9. Hasil *overcut* material AL 1100 dengan *gap* 0,5 mm dan waktu pemesinan 193 detik, bagian depan (gambar atas), bagian belakang (gambar bawah)

Gambar 9 menjelaskan *overcut* pada bagian belakang tidak terlalu besar dengan bagian depan, hal ini disebabkan karena waktu pemesinan cukup cepat yang akhirnya tidak adanya kelebihan percikan elektrolit.

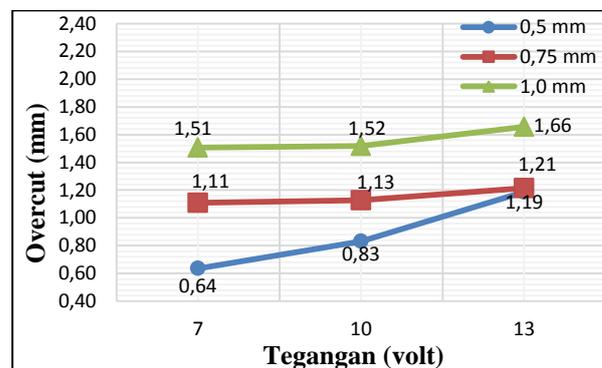
TABEL III
PERHITUNGAN *OVERCUT*

No	Gap (mm)	Tegangan (volt)	Overcut, Oc (mm)	
			Stainless Steel 304	Aluminium 1100
1	0,5	7	1,00	0,64
2		10	1,20	0,83
3		13	1,24	1,19
4	0,75	7	1,42	1,11
5		10	1,44	1,13
6		13	1,70	1,21
7	1	7	1,93	1,51
8		10	2,06	1,52
9		13	2,24	1,66



Gambar 10. Pengaruh variasi tegangan dan *gap* terhadap *overcut* pada material stainless steel 304

Dari gambar 10 menjelaskan bahwa semakin besar jarak celah (*gap*) maka semakin besar pula *overcut* yang dihasilkan. *Gap* yang besar akan membuat proses pemakanan benda kerja semakin cepat, sehingga dengan waktu pengujian yang sama akan didapatkan hasil peningkatan *overcut* yang signifikan. Pada grafik diatas didapatkan *overcut* tertinggi pada *gap* 1 mm dan tegangan 13 volt yaitu 2,24 mm.



Gambar 11. Pengaruh variasi tegangan dan *gap* terhadap *overcut* pada material aluminium 1100

D. Hasil Pengukuran Ketirusan

Setelah melakukan perhitungan *overcut* kemudian dilakukan juga perhitungan pada objek ketirusan pada

hasil pemesinan ECM. Benda kerja yang dipakai adalah *stainless steel* 304 dengan ketebalan 0,4 mm. Dibawah ini merupakan hasil foto makro material yang telah diolah menggunakan *image-j*.



Gambar 12. Foto makro ketirusan pemesinan ECM material *stainless steel* 304 dengan *gap* 0,5 mm dan waktu pemesinan 371 detik

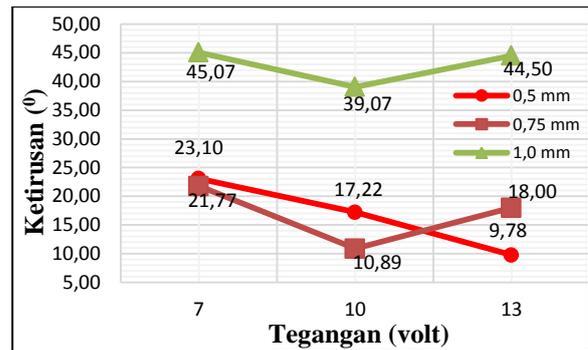


Gambar 13. Foto makro ketirusan pemesinan ECM material aluminium 1100 dengan *gap* 0,5 mm dan waktu pemesinan 193 detik

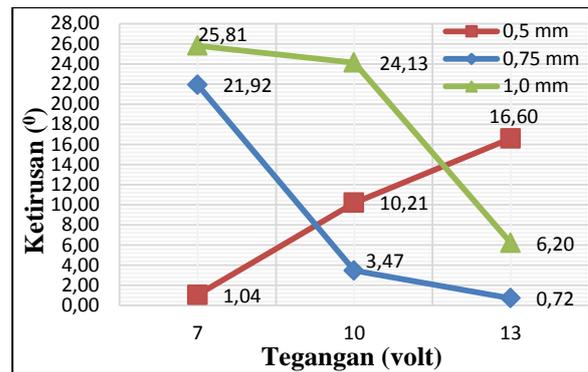
Gambar di atas adalah hasil foto makro material yang telah diresin. Foto makro tersebut diolah menggunakan *image-j* untuk mencari berapa besar panjang ketirusan tersebut. Jika dilihat pada seperti gambar 12 dan 13, benda kerja sisi belakang lebih besar dibandingkan sisi depan. Hal ini terjadi karena benda kerja yang terisolasi hanya di sisi depan, sehingga arus yang keluar dari *tool* mengenai benda kerja sisi belakang lebih banyak, yang mengakibatkan diameter benda kerja sisi belakang lebih besar.

TABEL IV
PERHITUNGAN KETIRUSAN

No	Gap (mm)	Tegangan (volt)	Ketirusan (°)	
			Stainless Steel 304	Aluminium 1100
1	0,5	7	23,10	1,04
2		10	17,22	10,21
3		13	9,78	16,60
4	0,75	7	21,77	21,92
5		10	10,89	3,47
6		13	18,00	0,72
7	1	7	45,07	25,81
8		10	39,07	24,13
9		13	44,50	6,20



Gambar 14. Grafik pengaruh tegangan dan *gap* terhadap nilai ketirusan pada material *stainless steel* 304



Gambar 15. Grafik pengaruh tegangan dan *gap* terhadap nilai ketirusan pada material aluminium 1100

Dari gambar 14 dan 15 menjelaskan bahwa perbedaan selisih diameter depan dengan diameter belakang pada masing-masing variasi *gap* dan tegangan mempengaruhi grafik ketirusan. Semakin besar *gap* maka arus yang keluar akan menyebar ke samping permukaan material dan menyebabkan hasil pemesinan menjadi tidak rata, sehingga dengan waktu pengujian yang sama akan didapatkan hasil ketirusan yang berbeda-beda. Data di atas pada material *stainless steel* grafik tersebut lebih besar dibandingkan material aluminium, data yang terbesar dari kedua material berada di *gap* 1 mm.

E. Pembahasan

Dari hasil analisa pemesinan yang telah dilakukan dapat disimpulkan yaitu tegangan dan *gap* berbanding lurus dengan besarnya MRR (Material Removal Rate), semakin besar tegangan dan *gap*, semakin besar pula nilai MRR yang dihasilkan. Waktu pemesinan pun mempengaruhi nilai MRR, dan *overcut*, semakin lama waktu pemesinan, lubang yang dihasilkan semakin besar dari lubang yang diinginkan, serta semakin banyak pengurangan massa benda kerja. Semakin besar nilai MRR, semakin besar pula nilai *overcut*. Hal ini dipengaruhi oleh tegangan yang diatur, arus yang keluar selama proses pemesinan, serta *gap* yang divariasikan. Seperti pada penelitiannya Permana [3] yang menjelaskan bahwa besarnya MRR yang terjadi pada benda kerja berbanding lurus dengan besarnya *feed rate*

yang digunakan saat pemesinan. Sebaliknya, *overcut* yang terjadi pada benda kerja berbanding terbalik dengan besarnya *feed rate* pemesinan karena semakin tinggi *feed rate* yang digunakan maka semakin cepat waktu pemesinan, *overcut* yang terbentuk akan semakin kecil.

Pada penelitian ini nilai MRR pada material aluminium 1100 lebih besar dibandingkan material *stainless steel* 304, namun berbanding terbalik dengan nilai *overcut* dan ketirusan justru material *stainless steel* lebih besar dibandingkan material aluminium. Hal ini disebabkan *tool speed* yang berbeda dari 2 material tersebut. Pada material *stainless steel tool speed* 0.05/60 dimana tiap waktu 60 detik elektroda turun 0.05 mm, sedangkan pada material aluminium *tool speed* 0.1/45 dimana tiap waktu 45 detik elektroda turun 0.1 mm.

Data ketirusan yang didapatkan menjelaskan variasi *gap* mempengaruhi nilai ketirusan. Semakin besar *gap* semakin besar pula ketirusan yang dihasilkan, hal ini dikarenakan dengan *gap* yang tinggi mengakibatkan arus sudah keluar sebelum *tool* menyentuh benda kerja sehingga benda kerja menghasilkan lubang yang lebih cepat. Waktu pemesinan yang sama tiap percobaan mengakibatkan lubang pada bagian yang tidak tertutupi stiker menjadi lebih melebar sehingga muncullah efek tirus dari permukaan tersebut. Besarnya nilai ketirusan dipengaruhi juga dari hasil selisih lubang pada permukaan bagian depan dengan belakang pada tiap variasi.

IV. KESIMPULAN

Dari data dan hasil perhitungan yang didapat dari penelitian pemesinan ECM untuk benda kerja *Stainless Steel 304* dan aluminium 1100 menggunakan *tool* elektroda kuningan terisolasi didapat kesimpulan sebagai berikut.

1. Pengujian pemesinan mesin ECM untuk pelubangan menggunakan material *stainless steel* 304 pada variasi *gap* 0.5, 0.75, 1 mm dengan waktu 371 detik.
 - a. Dari hasil pengujian variasi tegangan dan *gap* terhadap nilai MRR yaitu : Semakin besar tegangan dan *gap* maka semakin besar nilai MRR benda kerja. Nilai MRR rata-rata pada pengujian ini adalah pada *gap* 0.5 mm yaitu $2.70 \times 10^{-4} gr/dtk$, *gap* 0.75 mm yaitu $3.23 \times 10^{-4} gr/dtk$, dan *gap* 1 mm yaitu $4.04 \times 10^{-4} gr/dtk$.
 - b. Dari hasil pengujian variasi tegangan dan *gap* terhadap *overcut* yaitu semakin besar tegangan dan *gap* semakin tinggi nilai *overcut* yang didapatkan. Nilai *overcut* yang diperoleh pada pengujian dengan variasi *gap* 0.5 mm yaitu 1.02 mm, *gap* 0.75 mm yaitu 1.40 mm, dan *gap* 1 mm yaitu 1.70 mm.
 - c. Dari hasil pengujian variasi tegangan dan *gap* terhadap ketirusan yaitu material *stainless steel* mempunyai pola ketika *gap* kecil nilai ketirusan akan turun, tetapi saat *gap* besar nilai ketirusan mengalami penurunan dan kemudian mengalami kenaikan ketika tegangan dibesarkan kembali. Nilai ketirusan tertinggi pada *gap* 1 mm yaitu 44.50° , sedangkan nilai ketirusan terendah pada *gap* 0.5 yaitu 9.78° .
2. Pengujian pemesinan mesin ECM untuk pelubangan menggunakan material aluminium 1100 pada variasi *gap* 0.5, 0.75, 1 mm dengan waktu 193 detik.
 - a. Dari hasil pengujian variasi tegangan dan *gap* terhadap nilai MRR yaitu : Semakin besar tegangan dan *gap* maka semakin besar nilai MRR benda kerja. Nilai MRR rata-rata pada pengujian ini adalah pada *gap* 0.5 mm yaitu $1.55 \times 10^{-4} gr/dtk$, *gap* 0.75 mm yaitu $1.55 \times 10^{-4} gr/dtk$, dan *gap* 1 mm yaitu $2.07 \times 10^{-4} gr/dtk$.
 - b. Dari hasil pengujian variasi tegangan dan *gap* terhadap *overcut* yaitu semakin besar tegangan dan *gap* semakin tinggi nilai *overcut* yang didapatkan. Nilai *overcut* yang diperoleh pada pengujian dengan variasi *gap* 0.5 mm yaitu 0.82 mm, *gap* 0.75 mm yaitu 1.09 mm, dan *gap* 1 mm yaitu 1.42 mm.
 - c. Dari hasil pengujian variasi tegangan dan *gap* terhadap ketirusan yaitu material aluminium mempunyai pola ketika *gap* kecil nilai ketirusan mengalami kenaikan, tetapi saat *gap* besar nilai ketirusan mengalami penurunan. Nilai ketirusan tertinggi pada *gap* 1 mm yaitu 25.81° , sedangkan nilai ketirusan terendah pada *gap* 0.5 yaitu 1.04° .

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] McGeough, J.A. 1988. *Advanced Methods of Machining*. Chapman and Hall Ltd, London.
- [2] Tlusty, G. 2000. *Manufacturing Processes and Equipment*. Prentice-Hall. Inc., New York.
- [3] Permana, Esa. 2012. *Pengaruh Pemakanan Material (Feed Rate) dengan Tool Elektroda Aluminium Terhadap Overcut dan Surface Roughness Benda Kerja Stainless Steel Pada Mesin ECM Portable*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada.
- [4] Suhardjono, 2014. *Studi Eksperimental Variasi Konsentrasi Elektrolit KCl pada Overcut dan Ketirusan Hasil Drilling Proses ECM*. Surabaya: Laboratorium Mesin Perkakas Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi dan Industri, Institut Teknologi Sepuluh November.
- [5] Neto Joao Cirilo da Silva, dkk. 2006. *Intervening variables in electrochemical machining*. Minas Gerais. Brazil