

## PENGARUH LAJU PEMAKANAN MATERIAL (*FEED RATE*) DENGAN *TOOL* ELEKTRODA ALUMINIUM TERHADAP *OVERCUT* DAN *SURFACE ROUGHNESS* BENDA KERJA *STAINLESS STEEL* PADA MESIN ECM *PORTABLE*

Muslim Mahardika, Riyan Esapermana, Andi Sudiarso

Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Jalan Grafika No. 2, Yogyakarta, 55281

[Muslim\\_mahardika@yahoo.com](mailto:Muslim_mahardika@yahoo.com), [esapermana.riyan@yahoo.com](mailto:esapermana.riyan@yahoo.com), [ansoed03@yahoo.co.uk](mailto:ansoed03@yahoo.co.uk)

### Abstrak

Laju pemakanan (*feed rate*) merupakan parameter penting dalam suatu proses permesinan. Pengaruhnya terhadap akurasi, kualitas permukaan, dan kemudahan permesinan benda kerja sebagai alasan utama perlunya dilakukan studi lebih lanjut. Prinsip pengerjaan material pada proses *Electrochemical Machining* (ECM) berdasarkan pada kelangsungan proses elektrolisis yang dititik-beratkan pada anoda (benda kerja) sehingga terjadi pelarutan anodis. Namun adanya pelarutan dari benda kerja akibat adanya reaksi elektrokimia dengan bagian pahat (*tool* elektroda) menimbulkan permasalahan tersendiri yaitu sulitnya memprediksi ketelitian akibat *overcut* serta kualitas permukaan yang dihasilkan dari proses permesinan.

Dalam tugas akhir ini dilakukan penelitian tentang pengaruh laju pemakanan (*feed rate*) terhadap *overcut* dan *surface roughness* benda kerja. *Tool* elektroda yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium. Sedangkan benda kerja yang digunakan yaitu *Stainless Steel*. Untuk mengetahui ketelitian yang dihasilkan yaitu dengan menghitung *overcut* benda kerja, sedangkan untuk mengetahui kualitas permukaannya yaitu dengan menghitung *surface roughness average*. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan laju pemakanan yaitu: 1  $\mu\text{m/s}$ , 2  $\mu\text{m/s}$ , dan 3  $\mu\text{m/s}$  dengan diameter *tool* sebesar 6 mm. Dari hasil penelitian dapat diketahui sejauh mana pengaruh variasi laju pemakanan terhadap *overcut* dan *surface roughness* benda kerja pada proses permesinan ECM.

Hasil yang diperoleh yaitu nilai *overcut* dan *surface roughness* paling kecil didapat pada laju pemakanan 3  $\mu\text{m/s}$ . Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi laju pemakanan yang diberikan maka semakin baik pula hasil permesinan yang diperoleh, tentunya dengan batas kemampuan mesin ECM yang digunakan.

**Keywords:** *Electrochemical Machining* (ECM), laju pemakanan (*feed rate*), *overcut*, *surface roughness*, dan *Stainless Steel*.

### Pendahuluan

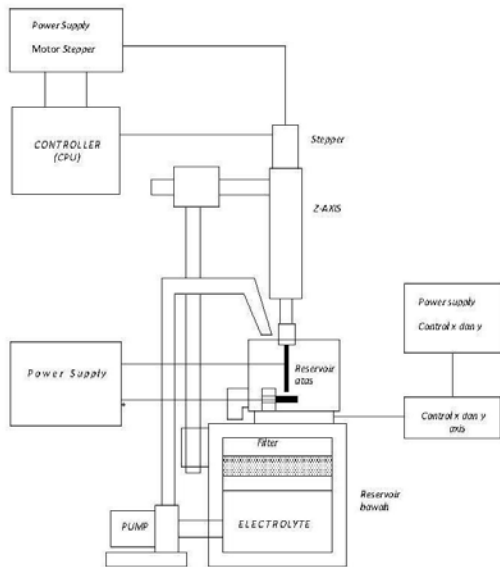
Salah satu mesin non-konvensional yang telah berkembang saat ini adalah *Electrochemical Machining* (ECM). *Electrochemical Machining* merupakan proses pengerjaan material dengan cara pelarutan anodis (*anodic dissolution*) dari benda kerja yang bermuatan positif (anoda) oleh cairan elektrolit yang mengalir melalui celah (*gap*) antara benda kerja dan pahat yang bermuatan negatif (katoda). Mesin ECM memiliki kelebihan yaitu mampu melakukan proses permesinan pada benda kerja dengan material yang memiliki sifat kekerasan sangat tinggi dengan bentuk yang kompleks, mampu melakukan pengeboran miring serta pengeboran pada posisi yang tidak terjangkau, dan tidak adanya *cutting force* serta *Electrode Wear* pada saat permesinan. Akan tetapi, akurasi dan kualitas permukaan yang dihasilkan merupakan masalah utama dalam proses permesinan. Dengan adanya proses permesinan non konvensional

seperti ECM diharapkan mampu menghasilkan produk dengan kualitas yang baik.

### Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

#### A. Setup Permesinan

Percobaan dilakukan pada mesin ECM *portable* dengan *setup* permesinan seperti yang terlihat pada gambar (1), terdiri dari *Power Supply*, *Machining Chamber*, *Control Panel*, dan *Electrolyte Circulation System*. Mesin ECM *portable* ini belum dilengkapi dengan *current sensing circuit* sebagai pencegah terjadinya *short-circuit*. Oleh karena itu, sebelum pengujian perlu dilakukan perhitungan teoritis *feed rate* maksimal yang diizinkan untuk benda kerja *stainless steel* agar proses permesinan berlangsung aman. Setelah memasukkan input parameter, proses yang akan dilakukan dapat dibaca dan ditampilkan pada layar komputer.



Gambar 1. Setup permesinan

Setiap kali selesai permesinan, benda kerja dan elektroda dikeringkan dan dibersihkan. Kemudian dilakukan pengamatan terhadap benda kerja hasil proses permesinan ECM yang meliputi MRR, *overcut*, dan *surface roughness*.

#### B. Tool Elektroda dan Benda Kerja yang digunakan

Tool elektroda yang digunakan adalah Alumunium berbentuk batang silindris dengan diameter 6 mm dan panjang 100 mm. Sedangkan plat *Stainless Steel* J-430 berbentuk persegi panjang digunakan sebagai benda kerja dengan dimensi panjang 40 mm, lebar 20 mm, dan ketebalan 1 mm.

#### C. Spesifikasi dan parameter eksperimen

Spesifikasi dan parameter percobaan yang dipakai pada mesin ECM *portable* ditunjukkan pada tabel (1) di bawah ini.

Tabel 1. Spesifikasi ECM *portable*

Working Gap	0,5 mm
Arus listrik	10 Ampere
Voltage	30 Volt
Kecepatan elektrolit ( <i>nozzle</i> )	6 m/s
Feed Rate	1 $\mu\text{m/s}$ – 3 $\mu\text{m/s}$
Cairan elektrolit	NaCl
Konsentrasi elektrolit	150 gr/L
Kedalaman pemakanan	0,8 mm
Tool Elektroda	Alumunium
Workpiece	<i>Stainless Steel</i> J-430

#### Feed Rate pada ECM

Untuk efisiensi arus tertentu, *material removal rate* dalam gram ( $MRR_g$ ) dihitung dengan persamaan di bawah :

$$MRR_g = \frac{\eta IE}{F} \quad (1)$$

Dari persamaan di atas dapat dihitung MRR volumetrisnya ( $MRR_v$ ) dan laju penetrasi ( $MRR_l$ ) sebagai berikut :

$$MRR_v = \frac{\eta IE}{F \rho_a} \quad (2)$$

$$MRR_l = \frac{\eta JE}{\rho_a F} \quad (3)$$

dengan,  $\rho_a$  adalah densitas dari material anoda,  $\eta$  adalah efisiensi arus dan  $J$  adalah rapat arus ( $J = I/A$ ).  $MRR_l$  (*penetration rate*) mengakibatkan laju perubahan jarak antar elektroda ( $dy/dt$ ) menjadi berubah.

Pada ECM, *tool* selalu bergerak terhadap benda kerja dengan laju  $f$  satuan/s sehingga laju efektif perubahan jarak antar elektroda dapat dihitung dengan persamaan (4) berikut ini :

$$\frac{dy}{dt} = \frac{\eta JE}{\rho_a F} - f \quad (4)$$

Pada kondisi seimbang ( $dy/dt=0$ ) dimana jarak *gap* konstan saat permesinan, laju pemakanan (*feed rate*) permesinannya adalah :

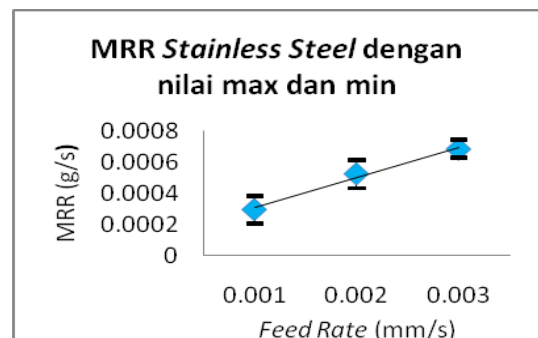
$$f = \frac{\eta JE}{\rho_a F} \quad (5)$$

dengan,  $f$  merupakan laju pemakanan (*feed rate*).

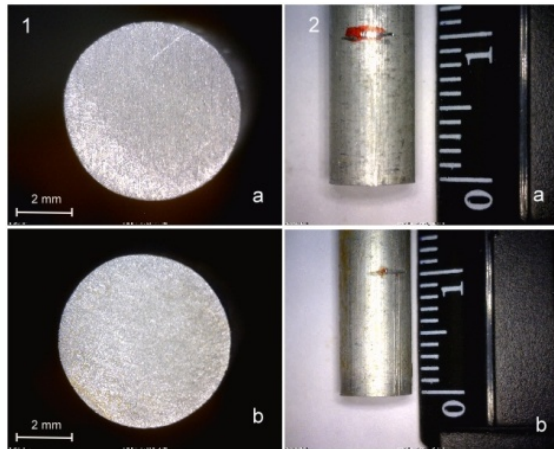
#### Hasil dan Pembahasan

##### A. Hasil uji MRR *Stainless Steel*

Pengujian *material removal rate* (MRR) dilakukan untuk mengetahui massa benda kerja (*workpiece*) yang tererosi per satuan waktu.

Gambar 2. Grafik *Feed Rate* vs MRR *Stainless Steel*

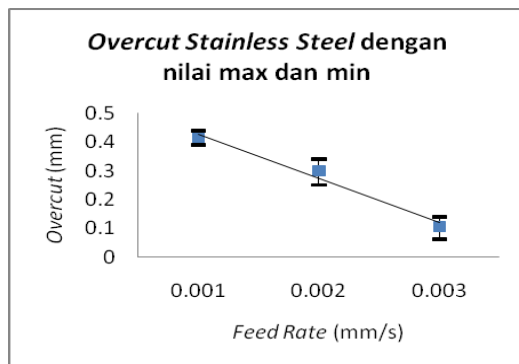
Salah satu keuntungan pada permesinan ECM seperti yang ditunjukkan pada gambar (3) adalah tidak adanya *Electrode Wear* (EW), yaitu keausan yang terjadi pada *tool* elektroda akibat proses permesinan.



Gambar 3. Keausan *tool*, (a) sebelum dan (b) sesudah permesinan.

#### B. Hasil uji *Overcut Stainless Steel*

*Overcut* merupakan parameter penting untuk mengetahui kualitas suatu produk material hasil proses manufaktur. Semakin kecil *overcut* yang dihasilkan maka semakin baik kualitas produk material tersebut dan sebaliknya. Grafik hasil uji *overcut* ditunjukkan pada gambar (4) di bawah ini.



Gambar 4. Grafik *Feed Rate* vs *Overcut Stainless Steel*

Dalam proses permesinan untuk mencapai kedalaman tertentu dengan *feed rate* yang lebih kecil tentunya membutuhkan waktu yang lebih lama sehingga material benda kerja yang terlepas menjadi lebih tinggi. Dengan semakin banyaknya material yang terlepas maka *overcut* yang dihasilkan pun semakin tinggi.

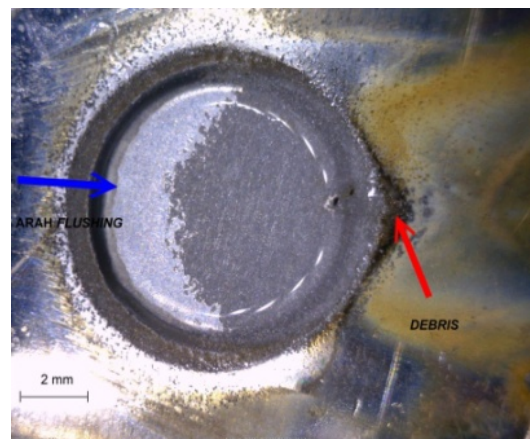
Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan, seperti yang terlihat pada gambar (5) didapat bahwa tidak semua benda kerja hasil permesinan berbentuk lingkaran secara utuh dan merata. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh bentuk lingkaran penampang *tool* elektroda aluminium yang juga tidak

merata dan teratur sehingga mempengaruhi bentuk pada hasil permesinan.



Gambar 5. Bentuk lingkaran benda kerja hasil permesinan yang dipengaruhi bentuk *tool*.

Kemungkinan lain adalah adanya pengaruh *flushing* dari aliran elektrolit sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.



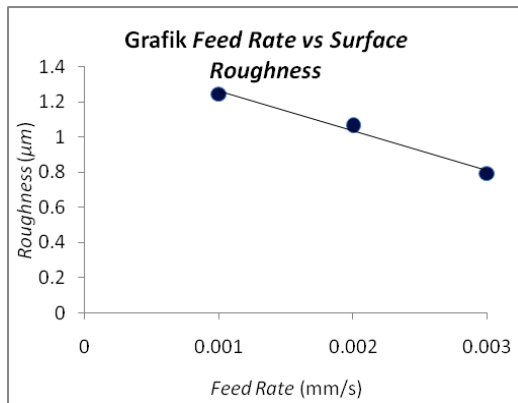
Gambar 6. Ketidakteraturan bentuk lingkaran benda kerja hasil permesinan

#### C. Hasil uji *Surface Roughness Stainless Steel*

Pengukuran *surface roughness* dilakukan untuk mengetahui kekasaran permukaan benda kerja hasil permesinan. Kualitas produk material dari proses manufaktur juga ditandai oleh parameter ini. Semakin rendah nilai *surface roughness* ( $R_a$ ) material maka semakin baik kualitasnya.

Grafik pengaruh *Feed Rate* terhadap *surface roughness* pada benda kerja *stainless steel* dapat dilihat pada gambar (7) berikut ini.

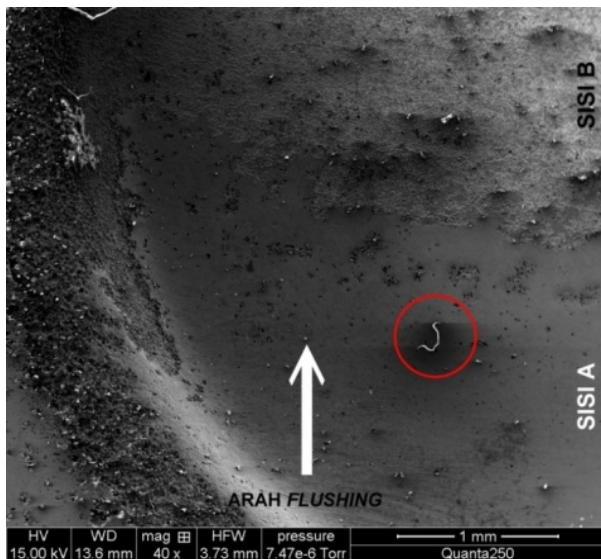




Gambar 7. Grafik *Feed Rate* vs *Roughness* Stainless Steel

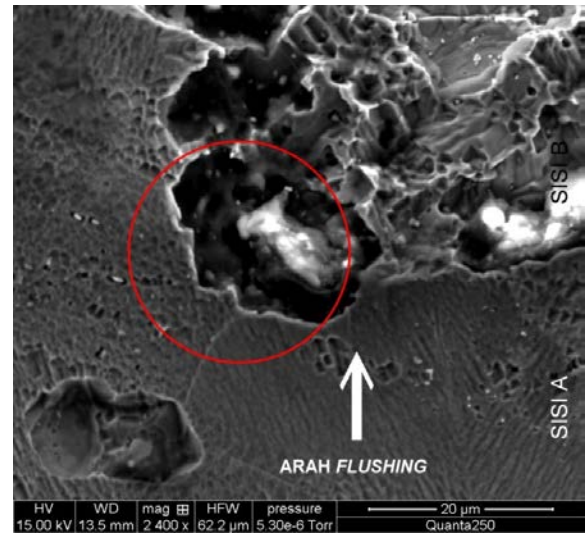
#### D. Hasil uji SEM

Pada penelitian ini dilakukan uji SEM untuk melihat struktur makro dari material benda kerja setelah dilakukan proses permesinan.



Gambar 8. Hasil uji SEM pada spesimen (*feed rate* =  $3\mu\text{m/s}$ ), skala 1 mm.

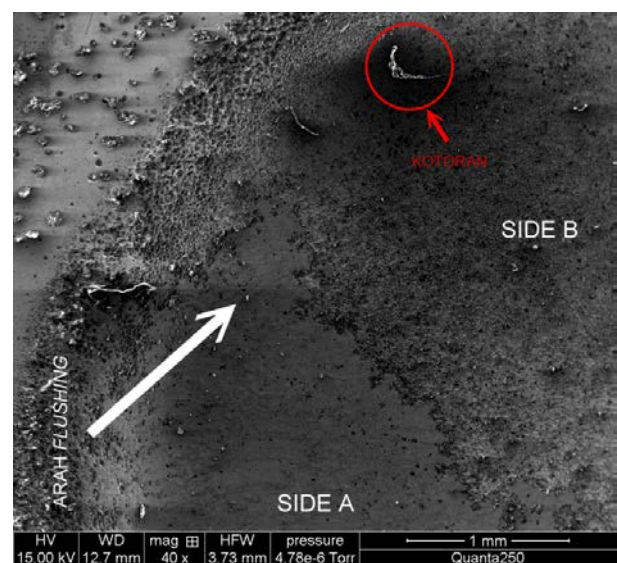
Berdasarkan gambar di atas, tampak bahwa struktur permukaan yang terkena *flushing* secara langsung lebih baik. Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh aliran arus permesinan yang terganggu akibat adanya kotoran yang tidak tersapu dengan baik oleh elektrolit sehingga disolusi anodis yang terjadi tidak merata. Hasil sisa permesinan (*debris*) juga dapat menempel pada *tool* elektroda sehingga mempengaruhi produk hasil permesinan dimana bentuk produk pada permesinan ECM merupakan duplikasi dari bentuk *tool*-nya.



Gambar 9. Hasil uji SEM (*feed rate* =  $3\mu\text{m/s}$ ), skala 20  $\mu\text{m}$ .

Kemungkinan lain adalah terjadinya kavitas akibat kenaikan temperatur yang dibangkitkan terus-menerus oleh arus permesinan. Apabila kenaikan temperatur pada elektrolit melebihi titik jenuhnya pada tekanan konstan maka akan terjadi pembentukan gelembung uap dan ledakan yang cepat (*immediately explotion*) sehingga mempengaruhi bentuk permukaan produk permesinan. Mesin ECM *portable* yang digunakan pada penelitian ini tidak dilengkapi pengendali temperatur pada elektrolitnya sehingga panas yang dihasilkan dari proses permesinan pun tidak dapat didisipasikan secara optimal.

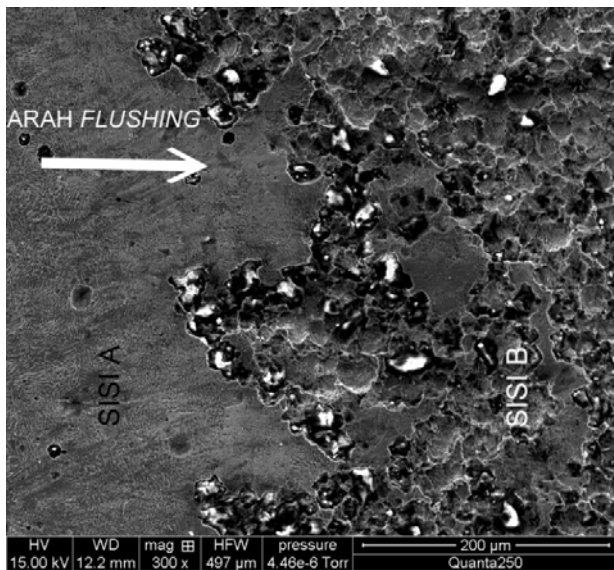
Hasil uji SEM untuk spesimen yang diuji dengan *feed rate* =  $2\mu\text{m/s}$  pada gambar (10) dan (11) adalah kurang lebih sama dengan spesimen yang diuji dengan *feed rate* =  $3\mu\text{m/s}$  namun dengan nilai  $R_a$  yang berbeda.



Gambar 10. Hasil uji SEM pada spesimen (*feed rate* =  $2\mu\text{m/s}$ ), skala 1 mm.

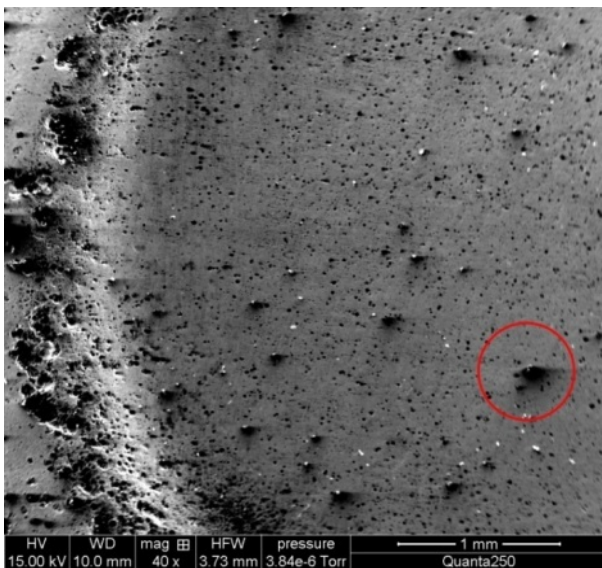
Terlihat bahwa bagian struktur permukaan yang lebih

halus merupakan bagian yang terkena *flushing* secara langsung.



Gambar 11. Hasil uji SEM pada spesimen (*feed rate* = 2  $\mu\text{m/s}$ ), skala 200  $\mu\text{m}$ .

Pengujian SEM untuk spesimen yang diuji dengan *feed rate* = 1  $\mu\text{m/s}$  menunjukkan hasil yang berbeda dibandingkan dengan hasil pengujian yang lain seperti ditunjukkan gambar di bawah ini.



Gambar 12. Hasil uji SEM pada spesimen (*feed rate* = 1  $\mu\text{m/s}$ ), skala 1 mm.

Pada gambar 12 terlihat adanya bagian logam yang timbul dan melekat kuat pada material spesimen. Kemungkinan hal ini disebabkan oleh perbedaan nilai MRR masing-masing unsur yang terdapat pada logam paduan tersebut. Apabila MRR untuk unsur tertentu pada logam paduan mempunyai nilai paling kecil maka unsur tersebut akan lebih lama tererosi daripada unsur yang lain sehingga akan tampak perbedaan struktur permukaannya setelah dilakukan proses permesinan.

## Kesimpulan

Dari data-data dan hasil perhitungan yang dilakukan terhadap hasil permesinan ECM *portable* untuk benda kerja *Stainless Steel* menggunakan *tool* elektroda Aluminium didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh variasi laju pemakanan (*feed rate*) terhadap MRR pada benda kerja *Stainless Steel*

Hubungan antara laju pemakanan (*feed rate*) dan MRR yaitu berbanding lurus. Laju pemakanan tersebut tentunya dibatasi oleh nilai *feed rate* maksimumnya sehingga pada saat permesinan tidak terjadi hubungan arus pendek (*short-circuit*). Nilai MRR terbesar diperoleh pada laju pemakanan 3  $\mu\text{m/s}$ , yaitu sebesar  $6,86 \times 10^{-4}$  gram/s.

2. Pengaruh variasi laju pemakanan (*feed rate*) terhadap *Overcut* pada benda kerja *Stainless Steel*

Hubungan antara laju pemakanan (*feed rate*) dan *overcut* yaitu berbanding terbalik. Nilai laju pemakanan dibatasi sampai titik maksimumnya yaitu ditandai dengan terjadinya hubungan arus pendek. Dari hasil pengujian nilai *overcut* terendah diperoleh pada laju pemakanan 3  $\mu\text{m/s}$ , yaitu sebesar 0,1 mm.

3. Pengaruh variasi laju pemakanan (*feed rate*) terhadap *Surface Roughness* pada benda kerja *Stainless Steel*

Hubungan antara laju pemakanan (*feed rate*) dan *Surface Roughness* yaitu berbanding terbalik. Batas maksimum laju pemakanan ditandai dengan terjadinya hubungan arus pendek (*short-circuit*). Nilai *Surface Roughness* terendah didapatkan pada laju pemakanan 3  $\mu\text{m/s}$ , yaitu 0,8  $\mu\text{m}$ .

4. Pengaturan parameter yang tepat pada proses permesinan untuk hasil yang optimal pada benda kerja *Stainless Steel*

Hasil permesinan yang optimal didapatkan pada penggunaan laju pemakanan (*feed rate*) sebesar 3  $\mu\text{m/s}$  dengan MRR paling tinggi sebesar  $6,86 \times 10^{-4}$  gram/s, *Overcut* paling kecil (baik) sebesar 0,1 mm, dan *Surface Roughness* paling rendah (baik) sebesar 0,8  $\mu\text{m}$ .

## Ucapan Terima kasih

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Muhammad Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
2. Bapak Muslim Mahardika, S.T., M.Eng., Ph.D. dan Bapak Andi Sudiarso, ST., MT., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing.
3. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada.
4. Seluruh teman-teman Teknik Mesin

## Nomenklatur

$\mu$	mikro
$\rho$	berat jenis ( $\text{g/cm}^3$ )
$\rho_a$	berat jenis benda kerja ( $\text{g/cm}^3$ )
$\eta$	efisiensi arus (%)
$A$	luas ( $\text{cm}^2$ )
$E$	berat kimia ekuivalen (gram)
$F$	konstanta Faraday (96500 As)
$I$	arus ( <i>Ampere</i> )
$J$	rapat arus ( $\text{A/cm}^2$ )

## Referensi

- Amalnik, M.S., and McGeough, J., 1996, Intelligent Concurrent Manufacturability Evaluation Design for *Electrochemical Machining*, Journal of Material Processing Technology, 61 : 130-139.
- Bard, A.J., and Faulkner, L.R., 2001, Electrochemical Methods Fundamentals and Applications, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc.
- Bhattacharyya, B., and Munda, J., 2003, Experimental Investigation into Electrochemical Micro Machining (EMM) Process, International Journal of Materials Processing Technology, 140, pp.287-291.
- Brown, J., 1998, Advanced Machining Technology Handbook, McGraw-Hill, New York.
- Callister, Jr., William, D., 2003, Materials Sciences and Engineering an Introduction, 6<sup>th</sup> Edition, John Wiley Inc, Singapore.
- Cengel, A., 1994, Thermodynamics, An Engineering Approach, Second Edition, McGraw-Hill, Inc.
- Choudhury, A.K., 2011, Investigation on Electrochemical Machining (ECM) for Optimazitation of Surface Roughness using response Surface Methodology (RSM), Thesis National Institue of Technology Rourkela, India.
- De Silva, A., 1999, New Development in Electrochemical Machining, Annals of CIRP, 48 (2), pp. 567-579.
- Haisch, T., Mittemeijer, E.J., and Schultze, J.W., 2002, High Rate Electrochemical Dissolution of Iron-Based Alloys in NaCl and NaNO<sub>3</sub> Electrolytes, Stuttgart.
- Hewidy, M.S., Ebeid, S.J., El-Tawel, T.A., and Youssef, A.H., 2007, Modelling The Performances of ECM Assisted by Low Frequency Vibrations, Journal of Materials Processing Technology, 189 (2007), 466-472.
- McGeough, J.A., 1974, Principles of ECM, Chapman and Hall, London.
- Mohan, S., and Shan, H.S., 2004, A Review of Electrochemical Macro to Micro Hole Drilling Process, International Journal of Machine Tool & Manufacture, 45 (2005), 137-152.
- Pandey, P.C., and Shan, H.S., 1980, Modern Machining Process, Tata McGraw-Hill, India.
- Plieth, W., 2003, Electrochemistry for Material Sciences, Germany.
- <http://www.scribd.com/doc/53488913/LM-38>, diakses tanggal 7 Juli 2012.
- <http://www.vectron.cc/>, diakses tanggal 25 Juli 2012.