

PERANCANGAN, PEMBUATAN DAN PENGUJIAN PENDAHULUAN *ELECTROCHEMICAL MACHINE* SKALA LABORATORIUM

Aris Widyo Nugroho, E. Sulistiyo, Sudarisman, M. Budi Nur Rahman

¹Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Indonesia

^bariswidyo.nugroho@umy.ac.id

Abstrak

Electrochemical Machine (ECM) merupakan salah satu mesin yang efektif dalam pemesinan material yang sulit di-*machining* dan buatan bentuk yang kompleks. Dengan memanfaatkan prinsip elektrolisis, pemesinan pada ECM dilakukan tanpa adanya kontak langsung tool dan benda kerja. Pengikisan benda kerja terjadi karena pelarutan secara proses kimia dari benda kerja menggunakan arus listrik dan cairan elektrolit sampai bentuk akhir yang diinginkan. Dalam tulisan ini disampaikan bahwa mesin ECM skala laboratorium telah berhasil didisain dan dibuat, kemudian dilanjutkan dengan pengujian pemesinan pembuatan lubang pada bahan SS 304 dengan kuningan sebagai tool dan larutan NaCl 15 % sebagai elektrolitnya. Tegangan sebesar 7 volt dengan 3 variasi gap masing-masing 0.5, 0.75 dan 1.0 mm digunakan dalam proses pemesinan ini. Tool bergerak dengan kecepatan 0.1 mm per 50 detik dengan debit aliran elektrolit sebesar 3 lt/menit. Laju pemakanan, overcut dan ketirusan hasil pemesinan telah dihitung dan menunjukkan bahwa besaran tersebut sangat dipengaruhi oleh nilai gap. Selain itu percobaan ini juga menunjukkan bahwa Mesin ECM yang dibuat telah dapat berfungsi dengan baik.

Kata kunci : *Electrochemical Machine* (ECM), Elektrolisis, Pemesinan, MRR

Pendahuluan

Electrochemical machining merupakan proses manufaktur non konvensional yang didasarkan pada proses *anodic dissolution* dan elektrolisis dengan jenis material benda kerja yang bersifat konduktor [1]. Proses ini dilakukan dengan melewatkan arus listrik melalui elektrolit yang mengalir di antara elektroda dimana tool sebagai katoda dan benda kerja sebagai anoda. Fenomena elektrolisis dapat terjadi jika ada dua buah logam yang dihubungkan dengan sumber arus DC direndam dalam larutan elektrolit, maka partikel logam benda kerja sebagai anoda akan terkikis dan kemudian melekat ke tool sebagai katoda. Aliran elektrolit yang cukup kuat akan mencegah partikel logam melekat pada tool dan akan membuang partikel-partikel tersebut dari

area pemesinan. Produk akhir benda kerja mempunyai bentuk yang terbalik dengan bentuk toolnya.

Akurasi pada proses pemesinan ECM tergantung dari beberapa faktor salah satunya adalah densitas arus listrik yang diaplikasikan. Menurut El Houfy [2] nilai dari densitas arus tersebut sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti : material ekivalen, tegangan listrik, jarak antara tool dan benda kerja dan properti dari elektrolit yang digunakan.

Pada proses ECM, tool tidak mengalami keausan karena gesekan dengan benda kerja dan mampu melakukan pemakanan pada benda kerja yang sangat keras, laju pemakanan tinggi dengan kualitas permukaan yang bagus dan bebas tegangan sisa, dan mampu melakukan pemesinan bentuk sulit. Keunggulan ini

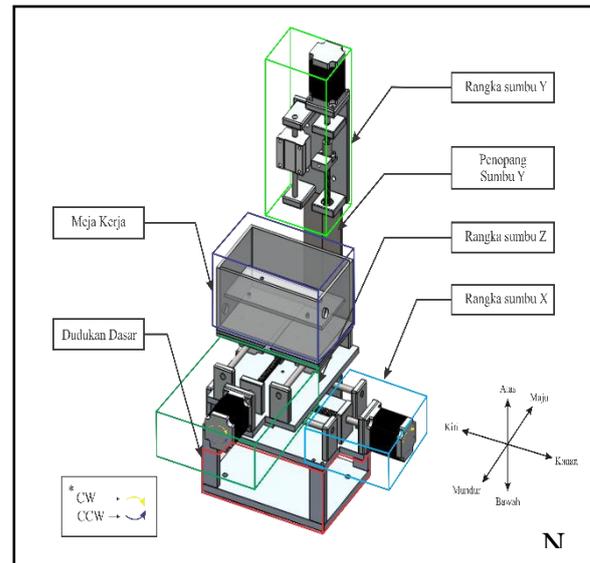
yang menyebabkan ECM banyak digunakan di berbagai jenis industri, seperti industri dies, kimia, komponen turbin, komponen engine, peralatan biomedik, peralatan elektronik, industri militer dan lain-lain [3-7]. Pada penelitian ini telah dirancang dan dirakit mesin ECM skala laboratorium beserta pengujian pemesinan awal pada plat SS 304 dengan tebal 0.4 mm.

Metode Penelitian

Penelitian ini terbagi menjadi tiga tahap meliputi tahap perancangan, tahap pembuatan dan tahap pengujian awal pemesinan. Tahap perancangan dan tahap pembuatan mesin ECM dibagi ke dalam tiga bagian besar; sistem mekanikal, sistem aliran elektrolit dan sistem elektrikal. Sistem mekanikal pertama kali dikerjakan sebelum dua sistem lainnya. Sistem mekanikal ini meliputi perancangan rangka mesin dalam CAD beserta simulasi uji beban dan proses pembuatan rangka mesin. Bagian elektrikal meliputi pemilihan perakitan catu daya dan sistem kontrol mesin ECM. Sedangkan perancangan bagian sistem elektrolit mencakup saluran elektrolit, pompa dan reservoir beserta filternya. Untuk mempermudah mobilitas dan pengoperasian mesin ini maka dirancang juga meja untuk penempatan ke tiga sistem tersebut.

• Sistem Mekanikal.

Analisa kebutuhan dilakukan, kemudian dilakukan sketsa kasar konstruksi Mesin ECM skala laboratorium. Hasil sketsa selanjutnya digambar dalam CAD untuk menentukan secara detail baik bentuk, ukuran maupun dimensi masing-masing elemen dan kemudian diassembling (Gambar 1).



Gambar 1. Disain Mesin ECM dalam CAD

Dari gambar *shopdrawing* kemudian dilakukan proses pembuatan elemen-elemen Mesin ECM dan kemudian dirakit seperti menjadi konstruksi Mesin ECM ditunjukkan Gambar2.



Gambar 2. Konstruksi sistem mekanikal Mesin ECM.

Konstruksi rangka Mesin ECM terbuat dari alumunium pejal dengan tebal 10 mm sebagai penyangga utama meja kerja. Sedangkan pergerakan benda kerja dan tool menggunakan 3 buah motor stepper sebagai penggerak sumbu X, Y dan Z. Putaran motor stepper pada maing-masing sumbu

pada benda kerja diteruskan oleh kopling ke *ballscrew* menuju meja kerja dengan dua buah *linier bearing* sebagai penstabil gerakan. Sedangkan pergerakan tool (naik-turun) yang dipasangkan pada chuck, dilakukan oleh motor stepper yang diteruskan oleh kopling ke *ballscrew* dengan panduan *satu liner bearing*. Plat siku digunakan sebagai pilar yang menyangga kepala alat.

• Sistem Saluran Elektrolit

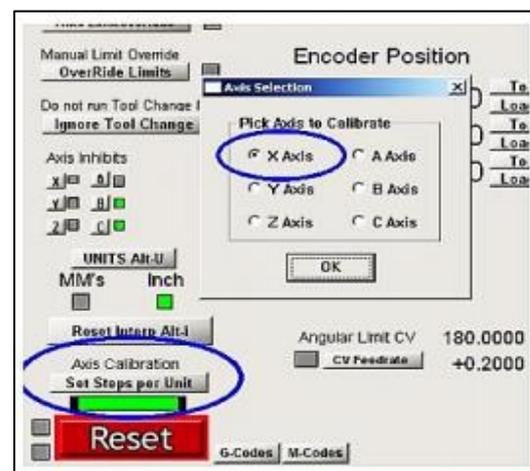
Sistem elektrolit ini meliputi hosing dan kran dari dari reservoir elektrolit ke benda kerja (upper hose) dan dan sebaliknya (lower hose). Ukuran flexible *upper hose* kerja dibuat lebih kecil (3/8") dibanding *lower hose* nya(5/8). Pengaturan debit aliran elektrolit dilakukan oleh kran dan diukur menggunakan flow meter. Pompa benam dengan kapasitas 3,5 m³/h dengan tinggi *head* 3 m digunakan untuk mengalirkan cairan elektrolit. Bak pengendap yang dilengkapi filter digunakan untuk membersihkan larutan elektrolit dari partikel-partikel logam hasil pemesinan di bak meja kerja sebelum ke bak reservoir untuk dialirkan kembali ke benda kerja.

• Sistem Elektrikal.

Perancangan sistem kelistrikan meliputi pemilihan *power supply* (PS) dan kontroler yang akan menjadi sumber arus listrik Mesin ECM skala laboratorium. *Power supply* tipe resistor-kapasitor dipilih karena mudah digunakan murah dan relatif lebih stabil bila dibandingkan dengan tipe *pulse*. Dua perangkat *power supply* digunakan dimana satu perangkat *power supply* digunakan untuk kontrol pergerakan motor stepper (tegangan output dan arus output masing-masing 24 VDC dan 10 A) dan satu perangkat *power supply* lain digunakan untuk supply daya pemesinan Mesin ECM (Tegangan 5-20 Volt dan arus 5-60 A).

Setelah sistem kelistrikan dan kontrol terpasang, maka dilakukan setting software

dengan cara mengalibrasi perintah pada software Mach 3 yang digunakan untuk menggerakkan motor stepper dengan gerak translasi yang sebenarnya terjadi. Apabila sudah cocok baru dilakukan pengujian permesinan. Proses kalibrasi dilakukan melalui tab setting pada software Mach 3 lalu masukkan pergeseran aksis yang diinginkan. \



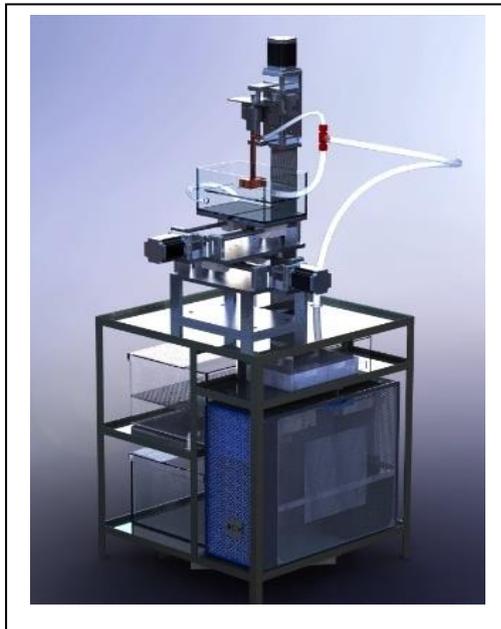
Gambar 3. Setting kalibrasi Mach 3 secara otomatis

Langkah selanjutnya adalah menghitung jarak pergeseran yang terjadi sebenarnya. Apabila terdapat perbedaan jarak maka masukkan panjang pergeseran yang terjadi sebenarnya pada software Mach 3 sehingga didapatkan motor step per unit secara otomatis. Langkah-langkah tersebut digambarkan pada Gambar 3.

Setelah semua pengaturan dan kalibrasi kontrol selesai dan mesin sudah bisa dioperasikan, langkah selanjutnya adalah membuat program *G-code* dengan menggunakan aplikasi *notepad* yang ada pada komputer dan kemudian me-load program tersebut ke software yang digunakan.

Mesin ECM kemudian diletakkan pada meja yang dirancang khusus sehingga dapat memuat sistem mekanikal, sistem saluran elektrolit dan sistem kelistrikan dan kontrol mesin meliputi *power supply* dan pengatur

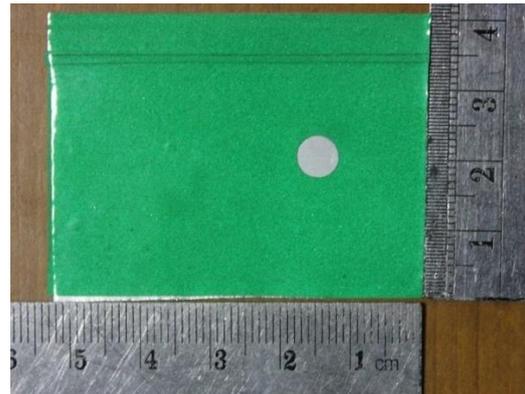
gerak dikendalikan melalui komputer dengan *software* Mach 3. Meja ini terbuat dari besi profil dan papan kayu di bagian atasnya dengan. Disain keseluruhan dari sistem mesin ECM ini dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Desain mesin ECM lengkap

• **Pengujian Pemesinan**

Uji coba permesinan dilakukan dengan cara melakukan percobaan awal terlebih dahulu. Berbagai percobaan dengan cara mengubah arah aliran, mengubah gaps awal, mengubah lama permesinan, mengubah teknik isolasi elektrode dan benda kerja, sampai dengan mengubah metode permesinan. Pada percobaan ini dilakukan pemesinan drilling 6 mm pada plat SS 304 dengan tebal 0.4 mm. Langkah pertama menyiapkan larutan elektrolit NaCl. Serbuk NaCl dicampur aquades dengan perbandingan 15 % NaCl dan 85 % aquades, Untuk membuat campuran yang homogen menggunakan *magnetic stirrer* dibutuhkan waktu sekitar 10 menit. Plat *stainless steel 304* dipotong menggunakan gunting plat menjadi spesimen ukuran 4 cm x 5 cm, dan ditimbang. Spesimen kemudian diisolasi pada satu sisi permukaan dengan lubang 6 mm (Gambar 5).



Gambar 5. Benda kerja *stainlesssteel 304* setelah diisolasi dengan stiker

Proses pemesinan menggunakan *tool* kuningan pejal dengan tegangan 7 volt. Variasi jarak antara *tool* dan benda kerja (*gap*) yang digunakan pada penelitian ini yaitu 0.5 mm, 0.75 mm, 1.0 mm dan *tool* disetting bergerak turun 0.1 mm per 50 detik dengan lama permesinan 5 menit 22 detik. Besar arus listrik yang terjadi dicatat berkisar 0.9 – 1.4 A. Debit cairan elektrolit yang mengalir sebesar 3 lt/menit dengan kondisi spesimen disemprot larutan elektrolit dan tidak terendam. Setelah pemesinan selesai dilakukan perhitungan MRR, overcut dan ketirusannya.

MRR dihitung dengan rumus :

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

Dimana, m_0 : massa benda kerja sebelum pemesinan (g), m_t : massa benda kerja setelah pemesinan (g) dan t : waktu pemesinan (detik).

Overcut, O_c dihitung dengan rumus sebagai-berikut (Wahyudi, 2010):

$$o_c = d_1 - d_0 \dots\dots\dots(2)$$

Dimana ; d_2 : diameter hasil drilling ECM bagian depan *workpiece* (mm) dan d_0 : diameter tool (mm).

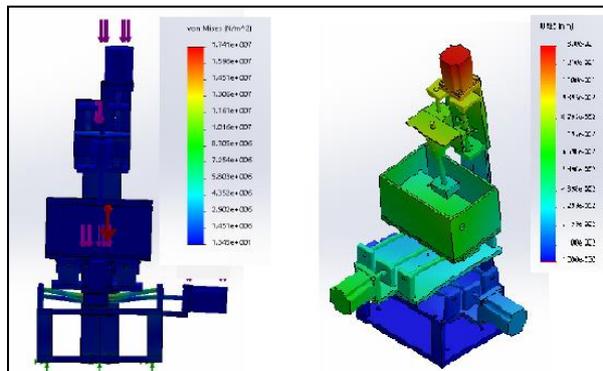
Ketirusan didefinisikan sebagai sudut yang terbentuk sebagai penyimpangan atau deviasi antara lubang terbesar dan yang terkecil. Ketirusan α dihitung berdasarkan rumus:

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

Dimana, d_2 : diameter hasil drilling ECM bagian depan *workpiece* (mm), d_1 : diameter hasil drilling ECM bagian belakang *workpiece*, (mm) dan h : ketebalan *workpiece*, (mm)

Hasil dan Pembahasan

Simulasi yang dilakukan pada rangka mesin ECM adalah studi pembebanan statis, yang menghitung besarnya perpindahan material saat terbeban dan gaya aksi-reaksi yang terjadi saat pembebanan. Studi ini membantu untuk menghindari gagalnya desain karena pembebanan berlebih. Ada dua pengujian yaitu kekuatan dan defleksi yang terjadi.

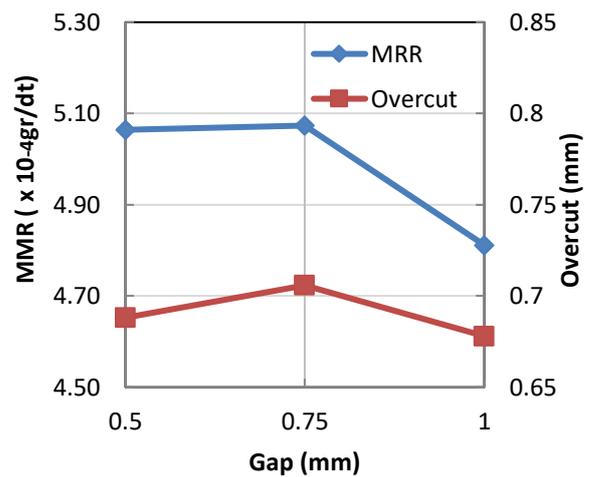


Gambar 5. Hasil simulasi (a) pembebanan dan (b) defleksinya

Pada tiap titik beban diasumsikan menderita beban 10 N. Material yang digunakan adalah *aluminium* *yield point value* = 218.1 MPa sementara *Von Mises stress* maksimum yang terdeteksi adalah 17.41 MPa. Sedangkan defleksi maksimum terjadi pada bagian ujung atas mesin ECM dengan defleksi maksimum 0.032 mm. Dengan demikian maka desain di bagian ini dinyatakan aman. Gambar simulasi pembebanan dan defleksi ditunjukkan oleh Gambar 5. Kedua gambar menunjukkan bahwa desain dan pemilihan material pada

mesin ECM dinyatakan aman dari segi pembebanan statis.

Pengujian MRR dilakukan untuk mengetahui massa benda kerja yang terbuang per satuan waktu. Penggunaan variasi gap antara tool dengan benda kerja akan memberikan pengaruh yang berbeda terhadap hasil MRR benda kerja. Dengan menggunakan persamaan (1) MRR pada masing-masing gap dihitung dan kemudian ditampilkan pada Gambar 6.



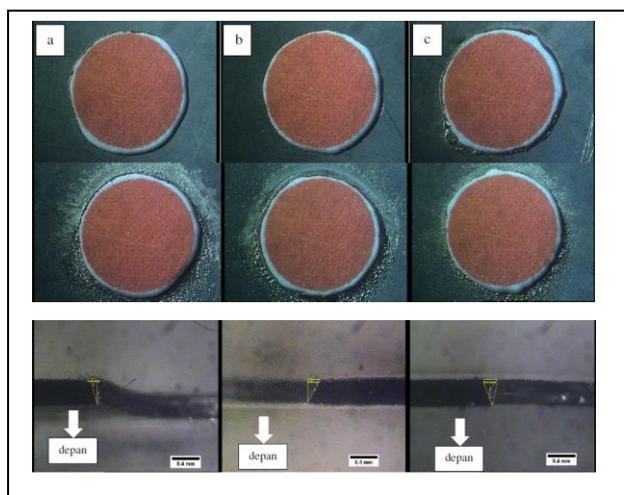
Gambar 6 Pengaruh gap terhadap MRR dan *overcut*,

Nilai MRR sedikit sekali naik pada gap 0.5 dan 0.75 mm kemudian turun pada gap 1 mm. Hal ini diduga pada gap 0.5 dan 0.7 mm semakin besar jarak gap akan sedikit meningkatkan proses elektrolisis karena kerapatan arus yang terjadi naik sedikit dan pemakanan juga terjadi pada permukaan belakang sedikit naik karena adanya hambatan aliran elektrolit. Namun pada jarak 1 mm terjadi pengurangan hambatan aliran elektrolit sehingga elektrolit langsung mengalir ke bak pemesinan. Tidak banyak elektrolit mengalir di permukaan bawah (tidak terisolasi) sehingga pemakanan permukaan tidak terisolasi sedikit (Gambar 7 tengah). Hasil ini sejalan dengan apa yang disampaikan oleh Bhattacharyya dan Sorkhel [8] bahwa peningkatan jarak gap akan membatasi kenaikan MRR dan selanjutnya menurunkannya. Dari data yang disajikan pada penelitian ini diperoleh nilai rata-rata MRR yang terbesar yaitu pada benda kerja hasil

pemesinan dengan variasi gap 0.75 mm yaitu sebesar 5.07×10^{-4} gr/dt.

Dari gambar 6 terlihat bahwa makin besar gap (0.50-0.75 mm) maka terjadi kenaikan kemudian pada gap selanjutnya terjadi penurunan *overcut* yang dihasilkan. Arus yang besar akan membuat proses pemakanan benda kerja semakin cepat, sehingga dengan waktu pengujian yang sama akan didapatkan hasil *overcut* meningkat pada jarak gap 0.75 mm. Namun pada jarak gap lebih tinggi terjadi arus akan sedikit menurun sehingga *overcut* juga menurun. Pada gap lebih besar pemakanan lebih melebar ke samping dibanding pemakanan ke dalam. Kondisi itu menyebabkan pada gap 0,5 dan 0,75 mm terjadi pengikisan tebal plat lebih besar dibanding pada gap 1.0 mm. Gambar 7-tengah menunjukkan bahwa pemakanan terjadi pada sisi tidak terisolasi setelah lubang terbentuk.

Pada ECM, *overcut* tidak dapat dihilangkan sepenuhnya. *Overcut* tetap diperlukan untuk kelangsungan sirkulasi dari cairan elektrolit. Ditambah lagi *tool* sebagai pahat tidak boleh bersentuhan dengan benda kerja agar tidak terjadi hubung singkat (*short circuit*). Nilai *overcut* harus dijaga seminimal mungkin sehingga pemesinan tetap berlangsung. 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.



Gambar 7 Foto *overcut* hasil pemesinan mesin ECM bagian permukaan terstiker (atas), permukaan tidak terisolasi (tengah) dan ketirusan (bawah) pada gap (a) 0.5 mm, (b) 0,75 mm dan (c) 1 mm.

Ketirusan hasil pemesinan ditunjukkan oleh Gambar 7 paling bawah. Perhitungan ketirusan hasil pemesinan dengan variasi gap 0.5, 0.75 dan 1 mm masing masing adalah -5.02° , -19.42° dan $+13.56^\circ$. dimana tanda negatif (-) menunjukkan lubang membesar dan tanda positif (+) menunjukkan lubang mengecil. Semakin besar gap maka arus yang keluar akan menyebar kesamping permukaan material. Besarnya sudut ketirusan berhubungan erat dengan besarnya *overcut* yang terjadi. Hal ini sesuai dengan pernyataan yang disampaikan oleh peneliti sebelumnya.

4. Kesimpulan

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

1. Mesin ECM telah berhasil dibuat dan telah berfungsi pada proses drilling dengan benda kerja SS 304 tebal 0.4 mm.
2. Pengujian pemesinan mesin ECM untuk pelubangan waktu 5.22 menit.
 - a. Jarak gap yang semakin besar akan menurunkan MRR. Harga MRR untuk variasi gap 0.5, 0.75, 1.0 mm masing-masing adalah 5.06×10^{-4} gr/dt, 5.07×10^{-4} gr/dt, dan 4.81×10^{-4} gr/dt.
 - b. Nilai *overcut* berhubungan positive dengan nilai MRR dimana nilai *overcut* yang diperoleh pada pengujian ini masih tinggi, dengan nilai terbesar 11,8% pada gap 0,75 mm.
 - c. Nilai ketirusan yang didapat pada pengujian masing-masing adalah -5.02° , -19.41° , dan $+13.5^\circ$.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Kemenristek Dikti yang telah membiayai Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi tahun ke dua ini (tahun I no kontrak : 007/HB-LIT/III/2015, No SP-DIPA 023.04.1673453/2015), juga terima kasih kepada Gunawan S.P., Tutik S., Muslim M. dan saudara Toriq F. atas segala

bantuan, diskusi dan inspirasi pada penelitian ini.

Daftar pustaka

- [1] Tlusty, G. *Manufacturing Processes and Equipment*. Prentice-Hall. Inc., New York, 2000
- [2] El-Hofy, H. *Advanced Machining Processes*. New York: McGraw-Hill, 2005
- [3] Kozak, J., Dabrowski, L., Lubkowski, K., Rozenek, M., Slawinski, R., 2000. "CAE-ECM system for electrochemical technology of parts and tools". *J. Mater. Process. Technol.*, 107, 293-299, 2013
- [4] Sundaram, M.M. and Rajurkar, K., *Electrical and Electrochemical Processes, in Intelligent Energy Field Manufacturing*. CRC Press. p. 173-212, 2010.
- [5] Taylor, E. J., McCrabb, H., Garich, H., Hall, T., Inman, M., A Pulse/Pulse Reverse Electrolytic Approach to Electropolishing and Through-Mask Electroetching, *Products Finishing Magazine*, September, 2011.
- [6] Kamaraj, A.B., M.M. Sundaram, and R. Mathew, Ultra high aspect ratio penetrating metal microelectrodes for biomedical applications. *Microsystem Technologies*, 2012.
- [7] Pavlinich, S., et al., *Electrochemical shaping of aerodynamic seal elements, Russian Aeronautics (Iz VUZ)*, 51(3): p. 330-338, 2008
- [8] Bhattacharyya, B. and Sorkhel, S., "Investigation for controlled electrochemical machining through response Surface methodology-based approach", *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 86, pp. 200-207, 1999.
- [9] Sudiarso, A. et al., "Overcut on Electrochemical Machining of Brass, Stainless Steel, and Aluminium using Brass Electrodes", *International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering (IJMMME)*, vol. 1, pp. 10-13, 2013.