



REVIEW APLIKASI DARI PERMESINAN ELECTROCHEMICAL MACHINING (ECM) PADA BIDANG AVIASI, ENERGI DAN BIOMEDIS

Fadzkurisma Robbika^{1,*}, G. K. Suryaman², Romario A. Wicaksono³

¹Teknologi Pengolahan Kulit, Politeknik ATK Yogyakarta, Jl. Ateka, Ngoto, Bangunharjo, Sewon, Bantul, 55187

²Pusat Riset Teknologi Daur Bahan Bakar Nuklir dan Limbah Radioaktif, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Kawasan PUSPITEK Serpong, Tangerang, Banten, 15314

³Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Jl Prof Dr Hadari Nawawi, Pontianak, Kalimantan Barat, 78124

*Email fadzkurisma.risma@gmail.com

Diterima: 16 04 2022

Direvisi: 20 05 2022

Disetujui: 25 07 2022

ABSTRAK

Electrochemical machining (ECM) merupakan salah satu proses manufaktur non konvensional yang banyak digunakan untuk memproduksi produk dari bahan dasar logam dan paduannya dengan kualitas yang sangat baik. Kelebihan dari ECM diantaranya adalah tidak dipengaruhi oleh kekerasan benda kerja, tidak terjadi keausan tools, dapat membentuk benda kerja yang kompleks, dapat membentuk lubang dengan rasio diameter dan kedalaman yang tinggi dan benda kerja bebas dari tegangan sisa. Berdasarkan dari keuntungan-keuntungan tersebut, ECM banyak diaplikasikan di berbagai sektor diantaranya pada sektor aviasi, energi dan biomedis.

Kata kunci: Electrochemical machining (ECM), manufaktur, aviasi, energi, biomedis

ABSTRACT

Electrochemical machining (ECM) is a non-conventional manufacturing process that is widely used to produce high quality products from metal base materials and their alloys. The advantages of ECM include that it is not affected by the hardness of the workpiece, there is no tool wear, can form complex workpieces, can form holes with a high diameter to depth ratio and the workpiece is free from residual stresses. Based on these advantages, ECM is widely applied in various sectors including the aviation, energy and biomedical sectors.

Keywords: : Electrochemical machining (ECM), manufacturing, aviation, energy, biomedical

PENDAHULUAN

ECM merupakan proses pemesinan non konvensional, dimana mekanisme proses pemotongan atau penghilangan sebagian material dari benda kerja dilakukan dengan memanfaatkan proses disolusi mekanik. Pada proses tersebut dua buah elektroda direndam dalam aliran larutan elektrolit dan dihubungkan dengan suatu arus listrik searah DC. Sebagaimana telah diketahui, ECM memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan berbagai macam proses pemesinan yang lain. Beberapa kelebihan dari ECM seperti kemampuannya untuk diaplikasikan pada material dengan tingkat kekerasan tinggi, tidak terjadi keausan tool, memiliki removal rate yang tinggi jika dibandingkan dengan proses pemesinan yang lain, dapat digunakan untuk memproduksi geometri yang kompleks, dengan permukaan yang halus dan cerah (bright). Selain itu, kemampuannya untuk memproduksi lubang (holes) dengan rasio antara diameter dan kedalaman yang tinggi menjadikan ECM pilihan pada proses pemesinan berbagai aplikasi.

Perkembangan teknologi yang semakin pesat di bidang otomotif, kedirgantaraan, elektronik, optik, perangkat medis, komunikasi industri dan lain sebagainya, mengakibatkan permintaan akan komponen-komponen produk baik komponen makro maupun mikro yang memiliki kriteria yang sulit untuk dikerjakan dengan pemesinan konvensional. Salah satu komponen yang sulit untuk dilakukan pemesinan diantaranya komponen dengan material yang sangat keras seperti paduan super dan paduan titanium. Bahan-bahan ini menimbulkan banyak tantangan untuk proses pemesinannya. Misalnya paduan titanium yang sangat keras sedangkan memiliki konduktivitas termal yang rendah dan reaktivitas kimia yang tinggi menyebabkan dalam proses pemesinannya rentan menghasilkan suhu pemotongan tinggi dan adhesi yang kuat antara pahat dan benda kerja. Hal ini akan berdampak pada keausan pahat apabila menggunakan pemesinan konvensional. Pada kasus ini Electrochemical Machining (ECM) menawarkan alternatif pemesinan yang lebih baik dalam menghasilkan fitur berbentuk kompleks 3-D yang akurat dari material yang sulit dikerjakan ini.

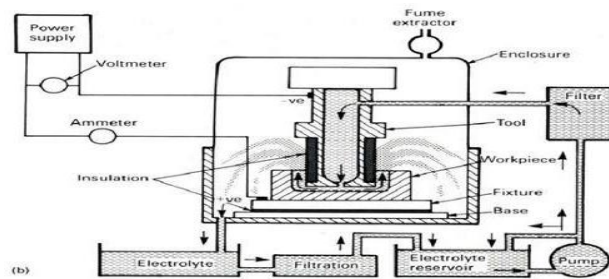
METODE PENELITIAN

Pada makalah ini menyajikan ulasan singkat tentang State of The Art dari penelitian-penelitian dan pengembangan dalam aplikasi pemesinan ECM pada bidang aviasi, energi dan biomedis yang sudah pernah dilakukan. State of The Art yang dimaksud pada makalah ini yaitu turut memberikan penjabaran mengenai perbedaan antara penelitian terdahulu dan penelitian yang akan dilakukan. Penelitian ini memfokuskan pada pengkajian berbagai literatur dan penelitian-penelitian terkait yang membahas mengenai aplikasi pemesinan ECM pada bidang aviasi, energi dan biomedis yang ditujukan untuk meningkatkan atau mengembangkan pengetahuan terkait aplikasi pemesinan ecm dan membantu memberikan gambaran dan pertimbangan akan penggunaan pemesinan ECM.

PEMBAHASAN

PERKEMBANGAN TERBARU DALAM ELECTROCHEMICAL MACHINING

Pada tahun 1993, Rajurkar, Kozak dan Wei menjelaskan dalam papernya mengenai karakteristik dari Electrochemical Machining (ECM). Pada penelitiannya disebutkan bahwa arus DC yang digunakan berkisar 10 – 25 volts. Benda kerja dialiri arus yang bermuatan positif yang kemudian menjadi anoda. Sedangkan pahat dialiri arus listrik bermuatan negatif yang kemudian akan menjadi katoda. Selanjutnya bila energi listrik yang dibutuhkan telah mencukupi maka akan terjadi proses kimia elektrolisis pada anoda yang menyebabkan partikel anoda terlepas dan terbawa oleh aliran elektrolit. Ion-ion metal yang terlepas akan tertarik pada elektrolit dan akan berikatan dengan ion hidoksida dan membentuk metal hidrosida. Elektrolit dapat berupa NaCl dan NaNO₃. Elektrolit sendiri dipilih berdasarkan sifat konduktivitasnya terhadap listrik, sifat korosinya, tidak beracun dan memiliki sifat kimia yang stabil. Elektrolit harus tidak menyebabkan korosi pada benda kerja maupun pahat. Rajurkar (1993), pada papernya disebutkan bahwa elektrolit mengalir dengan kecepatan tinggi yaitu antara 10 – 60 m/s melalui gap antara katoda dan anoda. Laju pemakanan anoda pada ECM berdasarkan hukum Faraday mengenai elektrolisis, dimana prosesnya bergantung pada sifat elektro-kimia pada metal, sifat dan karakter dari elektrolit, dan arus listrik [1].



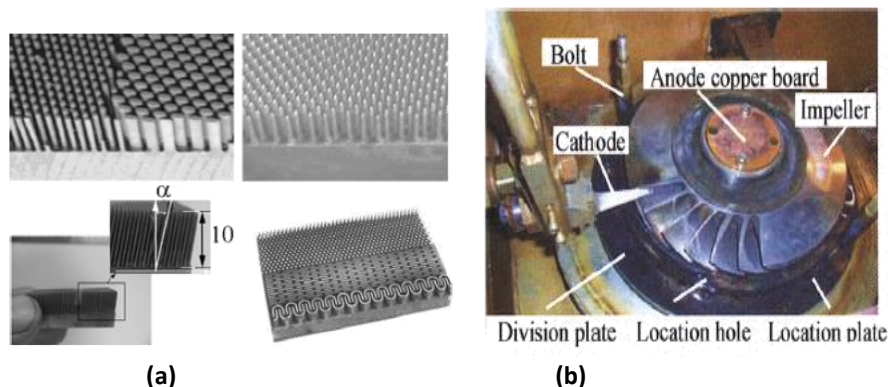
Gambar 1. Diagram skematik kerja ECM [2]

Prinsip kerja ECM seperti terlihat pada gambar 1, benda kerja dihubungkan dengan sumber arus searah yang bermuatan positif sedangkan pahat dihubungkan dengan sumber arus yang bermuatan negatif dan cairan elektrolyte dialirkan diantara pahat dan benda kerja. Sehingga terjadilah proses pengerjaan material benda kerja atau pelatutan anoda karena adanya reaksi elektrokimia dan juga reaksi kimia. Adanya proses pelarutan anodis dari material benda kerja maka terbentuklah senyawa metal hidroksida yang bercampur dengan cairan elektrolyte semacam lumpur. Cairan yang berlumpur ini kemudian diendapkan dalam bak pengendap elektrolyte. Keluar dari bak pengendap ini, cairan elektrolyte tersebut kemudian dijernihkan pada bak filtrasi dan akhirnya baru dialirkan kedalam reservoir elektrolyte. Dengan mempergunakan pompa, cairan elektrolyte ini dialirkan kedalam celah antara benda kerja dengan pahat.

Penelitian mengenai laju pemakanan pada proses ECM telah dilakukan oleh Zhujian Feng, Everardo Granda dan Wayne Hung [3]. Dalam papernya disebutkan bahwa teknik hibrid dapat diterapkan untuk meningkatkan laju pemakanan. Pada teknik ini diamati laju pemakanan yang terjadi ketika menggabungkan vibrasi mekanik dibawah 50Hz dengan amplitudo 25 μ m dan pulsa arus sampai dengan 100 HZ. Teknik hibrid dengan menggunakan elektroda yang terinsulasi dapat menurunkan stray current, meningkatkan densitas arus dan menghasilkan profil lubang dengan 50% energi yang lebih untuk laju pemakanan yang sama.

APLIKASI DIBIDANG AVIASI

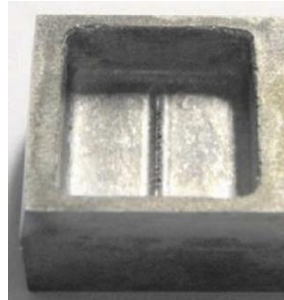
Paduan titanium merupakan material yang banyak digunakan dalam bidang penerbangan. Material ini diantaranya digunakan untuk mesin pesawat dan struktur pesawat. Paduan titanium banyak dimanfaatkan dalam aplikasi penerbangan dikarenakan kekuatan spesifik yang tinggi (rasio kekuatan per berat) dan ketahanan korosinya yang baik. Paduan titanium memiliki sifat mampu mesin yang tidak terlalu baik, oleh karena itu dilakukan permesinan dengan menggunakan metode non konvensional yaitu ECM. Penelitian telah banyak dilakukan mengenai permesinan paduan titanium untuk aplikasi di bidang penerbangan. Beberapa komponen pesawat terbang yang dihasilkan dengan menggunakan proses ECM tersaji pada gambar 2 (a) dan (b).



Gambar 2. (a) *Ridges* hasil proses ECM untuk *Aerodynamic seal* [4] (b) Impeller hasil permesinan dengan menggunakan ECM [5]

Pada tahun 2015, Zhengyang, Dong, Ningsong, Xiaolong, dan Xuezhen menjelaskan mengenai elektrolyte yang terbaik untuk digunakan dalam proses ECM material Ti40 [6]. Paduan Ti40 memiliki ketahanan korosi yang

sangat baik dan tahan api namun material ini sulit untuk difabrikasi. Ti40 cenderung membentuk lapisan pasif yang muncul secara alami di permukaannya yang memberikan dampak terhadap stabilitas dan kontinuitas pada permesinan dengan menggunakan ECM. Dalam jurnal dijelaskan bahwa elektrolit yang paling baik untuk melakukan permesinan ECM pada material Ti40 adalah campuran antara NaCl dan KBr. Paper ini pun menjelaskan bahwa dengan menggunakan ECM pada material Ti40 dihasilkan rongga dengan permukaan yang halus seperti yang tersaji pada gambar 3.



GAMBAR 3. Rongga hasil pemesinan menggunakan ECM pada material Ti40 [6].

Penelitian fabrikasi paduan titanium untuk jet engine dengan menggunakan ECM telah dilakukan pula oleh Ningsong, Xiaolong, Wei, Yongbin dan Di [7]. Mereka menggunakan wire electrochemical machine dengan axial electrolyte flushing untuk memotong plat paduan titanium (TC1). Aplikasi di bidang penerbangan banyak membutuhkan bentuk-bentuk non sirkular pada pelat paduan titanium. Penelitian Ningsong dkk menyebutkan bahwa bentuk non sirkular dapat dibuat dengan WECM dengan waktu yang lebih efisien karena tidak perlu dibuat satu-persatu. WECM dapat dilakukan dengan metoda multi wire. Hasil permesinan dengan multi wire ECM seperti tersaji dalam gambar 4.



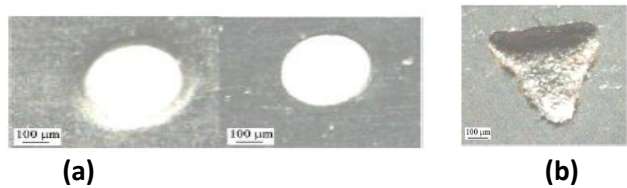
Gambar 4. Hasil permesinan dengan multiwire WECM pada paduan titanium [7].

Material lain yang dimanfaatkan untuk komponen mesin pesawat adalah paduan logam nikel salah satunya adalah LEK94. Paduan ini digunakan untuk *low pressure-turbine* mesin GP7000 pada pesawat airbus A380 [10]. Paduan nikel sangat sulit untuk dibentuk dengan menggunakan permesinan konvensional. ECM menjadi pilihan untuk permesinan material ini. Namun demikian, belum ada studi yang khusus membahas mengenai proses ECM pada material LEK94. Akhirnya pada tahun 2011, M. Burger, L.Koll, E.A Werner dan A.Platz melakukan studi ECM pada material LEK94 untuk mesin pesawat [8]. Dari publikasi mereka diketahui bahwa densitas arus memiliki pengaruh terhadap kualitas permukaan dari LEK94. Densitas arus dipengaruhi oleh jarak antar elektroda dengan benda kerja, voltase dan konduktivitas elektrolit yang digunakan.

APLIKASI DI BIDANG ENERGI

Penelitian yang dilakukan oleh Bao Huaiqiana, Xu Jiawena, dan Li Yinga pada tahun 2008, memperkenalkan teknologi permesinan mikro yang presisi dan ramah lingkungan untuk diaplikasikan pada dunia aviasi [9]. Teknologi permesinan mikro yang dibahas pada penelitian ini adalah Electrochemical Machining (ECM) [9]. ECM dianggap merupakan teknologi yang cocok untuk manufaktur komponen pembangkit karena material yang digunakan umumnya merupakan material yang kuat dan tahan panas, oleh karena itu akan sulit dimanufaktur dengan menggunakan permesinan konvensional. Basis kerja dari ECM adalah disolusi anoda dimana benda kerja yang berperan sebagai anoda dihilangkan secara atomik atau ionik. Pada penelitian ini elektrolit yang digunakan yaitu berupa *pure water* (air murni) agar ramah lingkungan. Pada penelitian ini PW-ECM (Pure Water-

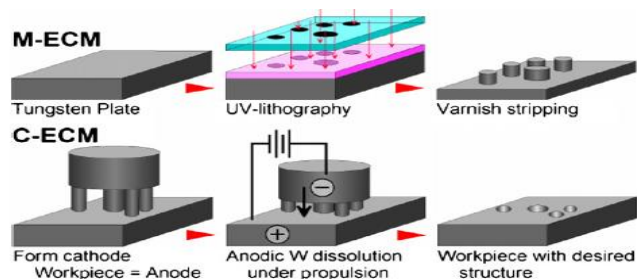
Electrochemical Machining) dikombinasikan dengan vibrasi ultrasonik. Pada penelitian ini dilakukan percobaan menggunakan teknologi PW-ECM/USV (*Pure Water-Electrochemical Machining/ Ultrasonic Vibration*) untuk membuat segitiga, lubang persegi dan lubang yang membentuk alphabet. Pada penelitian ini terbukti bahwa memungkinkan PW-ECM/USV untuk menjadi teknologi yang efisien dan presisi untuk diaplikasikan pada aplikasi energi.



Gambar 5. Hasil permesinan dengan PW-ECM (a) Mikrograph lubang hasil PW-ECM (b) Rongga hasil PW-ECM [9].

Pada tahun 2010, Krauss, Holstein, dan Konys melakukan penelitian mengenai manufaktur tungsten dengan menggunakan ECM [10]. Material tungsten tersebut dimaksudkan untuk komponen dari divertor pada pembangkit listrik. Material untuk divertor didesain agar tahan panas, oleh karena itu tungsten merupakan material yang cocok untuk diaplikasikan. Namun sifat material tungsten yang sangat keras menyebabkan manufakturnya menjadi mahal dan apabila dilakukan dengan permesinan konvensional akan menyebabkan *structural defect*. Oleh karena itu ECM merupakan teknologi yang sesuai untuk memaanufaktur tungsten. Namun muncul masalah akibat sifat fisik, kimia dan elektro-kimia dari tungsten yang unik menyebabkan tungsten sulit untuk dimanufaktur dengan menggunakan ECM biasa. Sifat tungsten yang unik tersebut mengakibatkan efek pasivasi pada permukaan tungsten saat dilakukan proses manufaktur menggunakan ECM. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan modifikasi metode manufaktur ECM.

Modifikasi dilakukan dengan pengaplikasian lapisan isolator yang disebut M-ECM (*Masking-ECM*), serta modifikasi dengan membentuk katoda/pahatnya yang disebut C-ECM (*Cathode-ECM*). Pada M-ECM, permukaan benda kerja dilapisi suatu isolator, dimana isolator tersebut akan mencegah permukaan benda bereaksi dengan elektrolit. Karena pengaplikasian isolator pada permukaan yang tidak ingin dimanufaktur, maka proses manufaktur akan hanya terfokus pada permukaan yang tidak diisolasi. Keunggulan dari M-ECM adalah metodenya yang sederhana dan murah untuk manufaktur dalam jumlah besar. Sedangkan pada C-ECM, katoda akan dibentuk menjadi cetakan negatif dari benda kerja yang ingin dihasilkan. Pada C-ECM ini memanfaatkan hubungan laju pemakanan benda kerja terhadap jarak antara katoda dan anoda. C-ECM lebih mudah memaanufaktur benda kerja pada arah 3 dimensi dibanding dengan M-ECM. C-ECM lebih mudah untuk memaanufaktur benda kerja yang memiliki dimensi yang rumit.



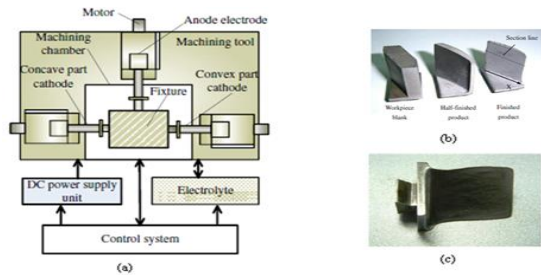
Gambar 6. Skema Proses M-ECM dan C-ECM [10].

TABEL 1. Perbedaan M-ECM dan C-ECM

No	Metode ECM	Katoda	Anoda
1	M-ECM	Pahat katoda biasa	Plat tungsten yang telah di masking
2	C-ECM	Katoda yang telah dibentuk	Plat tungsten

N.S.Qu dan Z.Y.Xu pada tahun 2013, melakukan penelitian mengenai manufaktur pada blade [7]. Pada penelitian

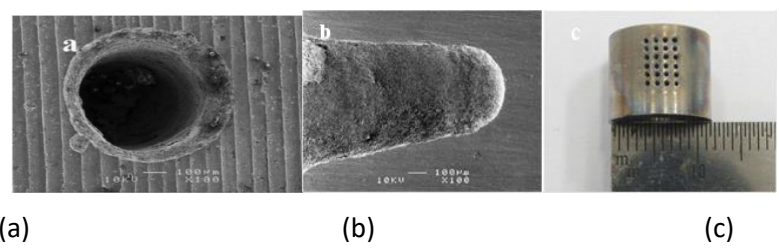
ini manufaktur dilakukan dengan menggunakan ECM. ECM adalah teknik permesinan yang efektif untuk memmanufaktur sebuah *blade* mengingat tingkat akurasi dari blade yang tinggi dan juga bentuknya yang kompleks. Pada manufaktur *blade* dengan menggunakan ECM, sudut pemakanan katoda dan anoda memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap akurasi dari proses permesinan ECM. Akurasi dari ECM ditentukan oleh kombinasi sudut antara instalasi anoda dan arah pemakanan dari katoda. Penentuan kombinasi sudut terbaik penting dilakukan untuk meminimalisir sudut antara arah pemakanan katoda terhadap posisi normal anoda. Dari penelitian ini didapat bahwa kombinasi optimal antara sudut antara instalasi anoda dan arah pemakanan dari katoda, diperoleh sudut antara katoda dan anoda berkurang dan celah antara katoda dan anodanya lebih seragam. Oleh karena itu akurasi dari permesinan akan meningkat dan maksimum kesalahan yang terjadi kurang dari 0.055 mm. Pemakanan permukaan *blade* yang cekung dapat dengan mudah dilakukan dengan dilakukan penyesuaian pada kecepatan pemakanan relatif pada masing-masing elektrodanya.



Gambar 7. Skema ECM untuk pembuatan *blade* (a) Skema ECM untuk pembuatan *blade* (b) Proses ECM dari *blank* menjadi *Blade* (c) *Blade* hasil proses ECM [7].

APLIKASI DIBIDANG BIOMEDIS

Pada tahun 2004, Xiong Lu dari Hong Kong University of Science and Technology, menggunakan ECM untuk membuat *load bearing implant* pada operasi orthopedic [11]. *Load bearing* implan merupakan sebuah permukaan dengan dimensi tertentu yang digunakan sebagai perekat (*mechanical interlocking*) antara jaringan tulang dengan permukaan implan, yang dikenal dengan *osteointegration*. Pada penelitiannya, titanium dipilih karena memiliki ketahanan korosi yang baik, sifat mekaniknya, dan yang paling utama *biocompatibility*-nya. Pada prosesnya, sebuah sistem Jet-EMM (*Electrochemical Micromachining*) digunakan untuk pemesinan. Metode ini dilakukan dengan cara memfokuskan reaksi elektrokimia dengan menggunakan aliran elektrolit bertekanan pada permukaan benda kerja. Jet-EMM dipilih karena kemampuannya menghasilkan lubang berukuran mikro (*mikro-holes*) dengan aspek rasio yang tinggi pada permukaan titanium. Material yang digunakan adalah sebuah paduan Ti6Al4V dengan diameter 12 mm dan panjang 50 mm. Selanjutnya, pola mikro dengan diameter 300 µm menggunakan *photo-mask* dan ditransfer ke permukaan paduan titanium dengan menggunakan *contact printing photolithography*. Kemudian larutan 5 mol/L NaBr dan arus 200 V DC digunakan untuk menghasilkan *micro-holes*. Gambar 8 menunjukkan hasil pemesinan yang telah dilakukan.

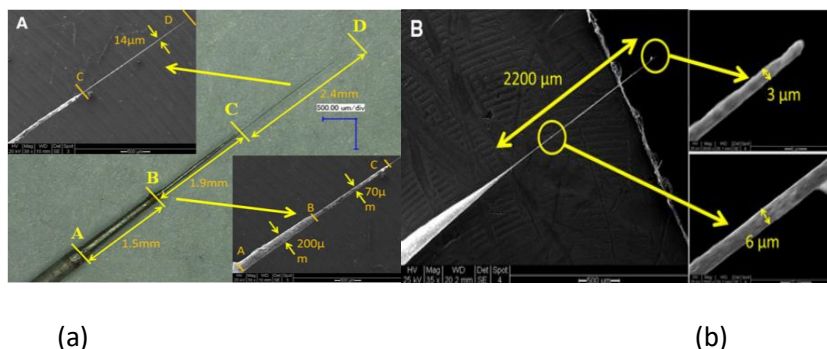


Gambar 8. Hasil pemesinan menggunakan Jet-EMM pada permukaan Ti6Al4V. (a) hasil SEM satu lubang hasil pemesinan, (b) penampang melintang dan (c) tampak makroskopis dari hasil pemesinan [11].

Tahun 2012, Kamaraj dari University of Cincinnati, menggunakan ECM untuk memfabrikasi *Penetrating microelectrode neural implant* [12]. *Penetrating microelectrode neural implants* telah banyak digunakan untuk menjelaskan bagaimana otak memproses informasi hingga bagaimana otak mengontrol fungsi tubuh. Alat ini

memungkinkan secara langsung merekam dan menstimulasi jaringan saraf yang dituju (otak). Maka dari itu, diameternya harus sangat kecil guna meminimalisir kerusakan pada jaringan saraf pada saat penetrasi. Sebagai konsekuensi dari diameter yang kecil, gaya penetrasi yang dapat ditahannya juga semakin kecil.

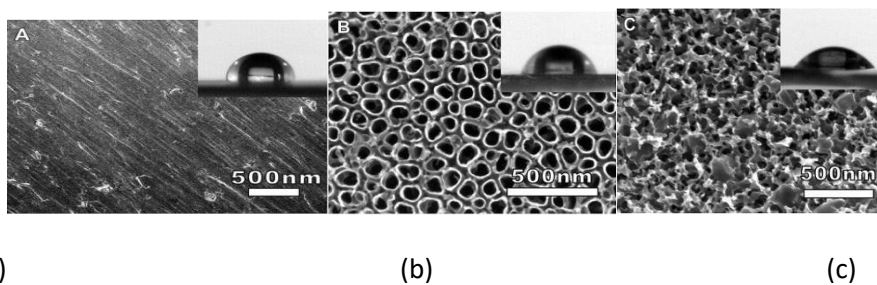
Pulse electrochemical micromachining (PECMM) digunakan untuk pemesinan *Penetrating microelectrode neural implant*. PECMM sendiri merupakan jenis dari ECM yang menggunakan arus yang tidak tetap (*pulsed current*) untuk melakukan pemesinan. Pada penelitian ini PECMM yang digunakan menggunakan prinsip arus terbalik (*reverse pulses*) untuk mendapatkan *microelectrode* dengan aspek rasio yang tinggi agar memenuhi kebutuhan implant saraf (*neural implant*). Tabel 1 menunjukkan parameter pemesinan *Penetrating microelectrode neural implants* dengan menggunakan ECM. Pemesinan dilakukan dengan menjaga gap antara benda kerja dan tool adalah 0.15 mm. Kemudian Gambar 9 menunjukkan hasil pemesinan dengan menggunakan PECMM yang telah dilakukan.



Gambar 9. *High aspect ratio microelectrode.* (a) *microelectrode* bertingkat dengan total panjang 5.8 mm dengan diameter 200, 70, dan 15 μm . (b) *microelectrode* dengan diameter $\text{\O}6 \mu\text{m}$ dan $\text{\O}3 \mu\text{m}$ pada ujungnya [12].

Liwen Lin (2014), dari a State Key Laboratory of Physical Chemistry of Solid Surfaces and College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University mengerjakan peningkatan pengaruh *osteointegration* pada implant berbahan dasar titanium dengan memodifikasi struktur mikro dan makronya [13]. *Osteointegration* adalah sebuah penguat pada implant yang bekerja dengan pembentukan jaringan tulang disekitar implant. Pertumbuhan ini dipengaruhi oleh secara luas dipengaruhi oleh lokasi anatominya, ukuran implant dan desain, prosedur operasi, efek pembebanan, *biological fluid*, usia, jenis kelamin dan yang paling utama adalah karakteristik dari permukaan implant. Lapisan oksida yang terjadi pada permukaan adalah parameter yang paling berpengaruh karena *hydrocarbon adsorption* nya. Peralatan medis sangat pada umumnya sangat diuntungkan dari perlakuan hidrofobik dari permukaan untuk mengurangi respon negatif dari tubuh dan meningkatkan pembentukan jaringan tulang baru.

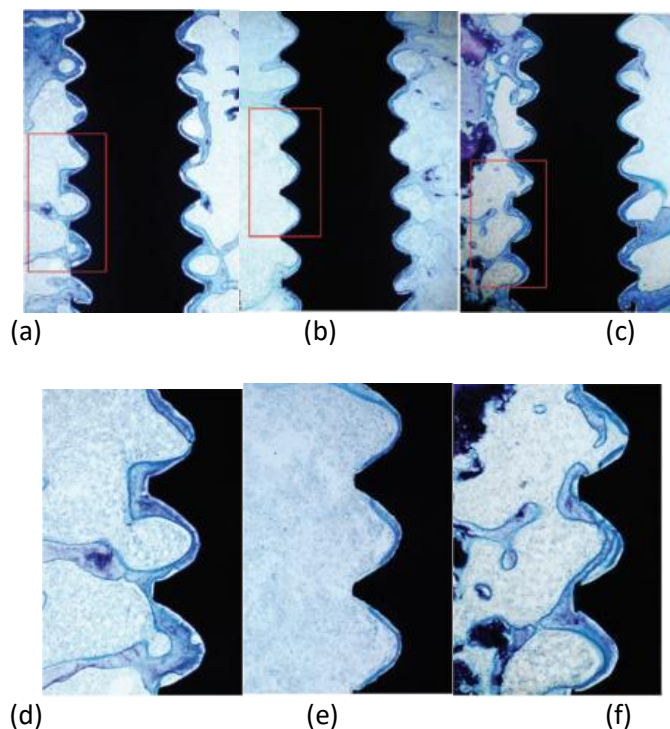
Prinsip elektrokimia digunakan dalam memperbaiki permukaan implan untuk alasan integrasi pada *orthopedic*. Pada penelitian ini, elektrokimia digunakan pada lembaran Titanium dengan menggunakan sumber tegangan DC. Lapisan film TiO_2 (*nanotubes*) terbentuk secara potensiostatik pada 20V menggunakan lembaran Platinum sebagai elektroda dengan elektrolit 0.5 wt.% larutan asam *hydrofluoric* dengan kondisi di aduk pada suhu ruang. Setelah 2 jam proses elektrokimia dilakukan, temperatur proses meningkat hingga 450°C . sedangkan untuk membentuk struktur yang menyerupai *sponge* perlakuan yang dilakukan sama seperti yang sebelumnya, hanya saja tegangan yang digunakan 50V. Gambar 10 menunjukkan efek dari variasi *electrochemical* pada *wettability* permukaan Titanium.



Gambar 10. Hasil SEM terhadap permukaan Titanium dan pengaruh perlakuan permukaannya pada *wettability* permukaannya. (A) Titanium tanpa perlakuan. (B) TiO₂ nanotubes. (C) *Sponge-like structure* [13].

Osteopenia merupakan gejala awal sebelum terjadi osteoporosis dan menjadi factor yang harus diperhatikan pada implant *orthodontic* dan implant gigi. Osteoporosis pada dasarnya adalah proses *pathology* yang dimanana densitas mineral tulang pada tubuh manusia mengalami penurunan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Liang dari Hebei United University, Tangshan, China pada tahun 2014 menggunakan proses *electrochemical deposition* pada implant berbahan dasar Titanium dan mengujinya pada tikus untuk mendapatkan hasil dari pelapisan dengan metode ini [14].

Pada penelitian ini metode *electrochemical deposition* (ECD) digunakan untuk mempersiapkan pelapisan Strontium pada permukaan implant Titanium. Penambahan Strontium pada implant bertujuan untuk menstimulasi pembentukan tulang baru dan menghambat penyerapan (*adsorption*) dari tulang. Selanjutnya pengujian dilakukan secara *in vivo* pada 24 tikus Sprague-Dawley secara *bilateral ovariectomy* (OVX) dan 12 tikus dengan pembedahan "sham". Penelitian ini dilakukan dengan *gap* 2 cm yang dengan tegangan konstan 2.5V pada temperatur 60°C selama satu jam. Elektrolit yang digunakan NH₄H₂PO₄ 0.036 mol/l, CaCl₂ + SrCl₂ 0.06 mol/l dan NaCl₂ 0.1 mol/l, pH 4.5. Gambar 11 menunjukkan efek dari ECD pada material implan yang telah dilakukan.



Gambar 11. Hasil peninjauan secara mikroskopis pada hasil implan pada tikus SD. (a, d) sham. (b, e) OV X dan (c, f) pelapisan dengan Sr. (a-c) x40 dan (d-f) x100 [14].

DISKUSI

Seperti yang dapat dilihat pada bagian sebelumnya, bahwa Electrochemical Machining (ECM) memiliki sangat banyak keunggulan diantaranya proses pemesinan yang tidak dipengaruhi oleh kekerasan benda kerja, tidak terjadi keausan tools, dapat membentuk benda kerja yang kompleks, dapat membentuk lubang dengan rasio diameter dan kedalaman yang tinggi dan benda kerja bebas dari tegangan sisa. Berdasarkan dari keuntungan-keuntungan tersebut, ECM menjadi pilihan utama pada berbagai sektor diantaranya pada sektor penerbangan, pembangkitan energi dan peralatan medis yang membutuhkan ketelitian dan ketepatan dalam proses pengerjaannya.

Pada prakteknya, proses pemesinan menggunakan ECM mengaplikasikan berbagai macam metode dengan maksud dan tujuan tertentu. Jet ECM merupakan metode yang paling banyak digunakan pada peroses pengerjaan

berbagai komponen baik untuk dunia penerbangan, komponen pembangkit energi bahkan untuk pengerjaan peralatan medis. Metode ini digunakan Dong Zhengyang untuk memproduksi salah satu komponen untuk dunia penerbangan berbahan paduan Ti40 yang memiliki ketahanan korosi yang sangat baik dan tahan api namun material ini sulit untuk difabrikasi [6]. Kemudian metode yang sama digunakan Burger untuk memfabrikasi low pressure-turbine pada mesin GP7000 pada pesawat airbus A380 dengan material LEK94. LEK94 merupakan material paduan nikel dangat sulit untuk dibentuk dengan menggunakan permesinan konvensional, sehingga ECM menjadi pilihan untuk permesinan material ini [8]. Pada komponen pembangkitan energi, Krauss berhasil menggunakan ECM untuk menghasilkan divertor dari material tungsten dan Qu memmanufaktur sebuah *blade* yang memiliki tingkat akurasi dan kompleksitas yang tinggi [10] [7]. Sedangkan aplikasinya pada peralatan medis, *osteointegration* pada permukaan *load bearing* implan berbahan dasar Ti6Al4V berhasil difabrikasi dengan metode yang sama [11].

Selain metode Jet-ECM, berbagai metode pemesinan dengan ECM juga banyak dikembangkan sesuai dengan kebutuhan pemesinan. Masking Electrochemical Machining (M-ECM) digunakan untuk memproduksi *Ridges* sebahai aerodynamic seal dan Numerical Control ECM digunakan untuk memproduksi impleter [4] [5]. *Pulse electrochemical micromachining* (PECM) diaplikasikan pada proses pembuatan *Penetrating microelectrode neural implant* dan *electrochemical deposition* (ECD) digunakan untuk memperbaiki permukaan [12][14].

TABEL 2. Aplikasi ECM di bidang aviasi, energi dan biomedis.

No	Application	Parts	Materials	References
1	Aviation	Aerodynamic seal	20X13 Chromium Steel	(S.P.P Pavinlinch 2008)
2	Aviation	Impeller	Titanium Alloy	(Z.Yongwei, 2006)
3	Aviation	Jet Engine	Ti40	(Xu Zhengyang, 2015)
4	Aviation	Jet Enggine, Low Pressure Turbin	Nikel Alloy (LEK94)	(Qu Ningsong, 2012)
5	Energy	Reactor	Tungsten	(Huaiqin, Et Al., 2008)
6	Energy	Divertor Power Plant	Tungsten	(Krauss, et.al. 2010)
7	Energy	Blade	Tungsten	(Qu, et al. 2013)
8	Biomedical	Load bearing implant	Ti64I4V	(Lu,et al., 2005)
9	Biomedical	Penetrating Micro Electrode Neural Implant	Ti64I4V	(Kamaraj, et. al. 2013)
10	Biomedical	Implant	TiO2	(Liang, Et. al. 2015)

KESIMPULAN

Electrochemical Machining (ECM) merupakan permesinan non konvensional yang banyak dimanfaatkan di bidang-bidang industri yang membutuhkan produk dengan bentuk-bentuk komponen yang kompleks, tingkat akurasi yang tinggi, bebas dari cacat permesinan, dan bebas tegangan sisa. Dalam industri aviasi, ECM dimanfaatkan untuk pembuatan komponen mesin pesawat terbang seperti *turbin blade*, *airfoils*, *aerodyanmic seals* dan *disc*. Dalam bidang energi, ECM dimanfaatkan untuk pembuatan komponen seperti *divertor* dan *turbin blade*. Sedangkan dalam bidang biomedis, ECM dimanfaatkan untuk pembuatan komponen dengan rasio diameter dan panjang yang besar (*microholes*, *microelectrode*) selain itu juga untuk mempersiapkan permukaan implan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rajurkar K. P. [et al.] New Developments in Electro-Chemical Machining [Journal] // Manufacturing Technology. - 1999. - pp. 567-579.
- [2] Umakar Ashish Slide Share [Online] // Slide Share. - July 21, 2012. - 12 5, 2016. - <http://www.slideshare.net/MECHV/non-traditional-machining-processes-13712854>.
- [3] Zhujian Feng Everardo Granda, Wayne Hung Experimental Investigation of Vibration-Assisted Pulsed Electrochemical Machining [Conference] // 44th Proceedings of The North American Manufacturing. - 2016. - pp. 798-814.
- [4] S.P.Pavinlich A.R. Mannapova, N.Z. Gimaev and A.N. Zaitsev Electrochemical Shaping of Aerodynamic Seal Elements [Journal]. - 2008.
- [5] Z.Yongwei X.Jiawen The Basic Application Study on Electrochemical Machining Integral Impeller with Big-Twisted Blades [Conference] // International TEchnology and Innovation Conference. - 2006.
- [6] Xu Zhengyang Liu Jia, Zhu Dong, Qu Ningsong, Wu Xialong, Chen Xuenzhen Electrochemical Machining of Burn-Resistant Ti40 alloy [Journal] // Chinese Journal of Aeronautics. - 2015. - pp. 1263-1272.
- [7] Qu N. S. and Xu Z. Y. Improving Machining Accuracy of Electrochemical Machining Blade by Optimization of Cathode Feeding Directions [Journal] // International Journal Advanced Manufacturing Technology. - 2013. - pp. 1565-1572.
- [8] M. Burger L.Koll, E.A. Werner, A.Platz Electrochemical Machining Characteristics and Resulting Surface Quality of The Nickel-Base Single- Crystalline Material LEK94 [Journal] // Journal of Manufacturing Processes. - 2011. - pp. 62-70.
- [9] Huaiqian Bao, Jiawen Xu and Ying Li New Developments in Electro-Chemical Machining [Journal] // Chinese Journal of Aeronautics 21. - 2008. - pp. 455-461.
- [10] Krauss W., Holstein N. and Konys J. Advanced electro-chemical processing of tungsten components for He-cooled [Journal] // Fusion Engineering and Design 85. - 2010. - pp. 2257–2262.
- [11] Lu Xiong and Leng Yang Electrochemical micromachining of titanium surfaces for biomedical applications [Journal] // Journal of Materials Processing Technology 169. - 2005. - pp. 173–178.
- [12] Kamaraj Abishek B., Sundaram Murali M. and Mathew Ronnie Ultra high aspect ratio penetrating metal microelectrodes for biomedical applications [Journal] // Microsyst Technology 19. - 2013. - pp. 179–186.
- [13] Lin Liwen [et al.] Enhanced osteointegration of medical Enhanced osteointegration of medical in micro/nanoscale structures [Journal] // Journal of Orthopaedic Translation. - 2014. - pp. 35-42.
- [14] LIANG YONGQIANG [et al.] Strontium coating by electrochemical deposition improves implant osseointegration in osteopenic models [Journal] // EXPERIMENTAL AND THERAPEUTIC MEDICINE. - 2015. - pp. 172-176.