

PENINGKATAN KEMAMPUAN LAJU PEMAKANAN DAN PENURUNAN TINGKAT KEAUSAN RELATIF ELEKTRODA PADA *ELECTRIC DISCHARGE MACHINE* DI LABORATORIUM PEMESINAN POLITEKNIK NEGERI SEMARANG DENGAN MENGGUNAKAN ELEKTRODA KOMPOSIT MATRIKS LOGAM Cu-Fe GRAFIT

Aryo Satito dan Hariyanto

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. H. Sudarto, SH., Tembalang, Kotak Pos 6199, Semarang 50329
Telp. 7473417, 7499585, 7499586 (Hunting), Fax. 7472396

Abstrak

Penelitian ini mempelajari pengaruh penambahan partikel grafit sebagai penguat terhadap kemampuan material removal rate (*MRR*) dan electrode relative wear (*ERW*) dari komposit Cu-Fe sebagai elektroda EDM yang dibuat dengan metode metalurgi serbuk. Grafit sebesar 0 wt%, 2,5 wt%, 5,0 wt%, dan 7,5 wt% ditambahkan pada Cu-1wt% Fe. Tiap komposisi serbuk dicampur dengan menggunakan mixing rotator kemudian dikompaksi menjadi green body menggunakan uniaxial pressing single action, kemudian disinter dengan horizontal tube furnace dalam lingkungan gas argon. Pengujian *MRR* dan *ERW* dilakukan pada mesin EDM Genspark 50P dengan polaritas normal dan besar arus 10 A. Untuk menentukan komposisi komposit paling optimum dan ekonomis, digunakan metode kuota dan hasil kemampuan *MRR* terbaik sebesar 0.037g/menit dan *ERW* terkecil 29,12 % dicapai oleh komposit dengan komposisi 5 wt% grafit yang dikompaksi pada tekanan 650 MPa dan disinter pada temperatur 870 °C.

Kata kunci : “Komposit Cu-Fe”, “sinter”, “EDM”, “*MRR,ERW*”

1. Pendahuluan

Electrical Discharge Machining (EDM) adalah suatu proses pemesinan nonkonvensional yang pemakanan material benda kerja dilakukan oleh loncatan bunga api listrik (*spark*) melalui celah antara elektroda dan benda kerja yang berisi cairan dielektrik (Fuller, 1989). Tidak terjadi kontak antara benda kerja dan elektroda pada saat proses pemakanan material terjadi. Kondisi pemakanan material yang ideal adalah *ERW* yang seminimum mungkin *MRR* semaksimal mungkin. Oleh karena itu diperlukan material elektroda yang mampu memenuhi kondisi tersebut. Beberapa jenis material yang lazim digunakan sebagai elektroda pada proses EDM antara lain tembaga, grafit, dan tungsten.

Tembaga murni walaupun memiliki sifat konduktivitas elektrik dan panas yang baik, tahan terhadap korosi, dan mampu terhadap temperatur tinggi tetapi memiliki *machinability* yang buruk sehingga sangat sulit dikerjakan

dengan metode pemesinan konvensional. Untuk memperbaiki *machinability* dan sifat mekanis tembaga perlu ditambahkan unsur-unsur logam atau nonlogam agar mudah dibentuk dengan metode pemesinan konvensional.

Grafit adalah material yang paling umum digunakan sebagai bahan elektroda EDM karena memiliki sifat *machinability* yang baik dan juga karakteristik keausan yang rendah. Kelemahan yang adapada grafit adalah sifatnya yang rapuh yang menjadi kendala apabila dikehendaki bentuk elektroda bersudut tajam karena bagian ini akan terabrasi oleh aliran cairan dielektrik pada saat proses pemesinan EDM berlangsung.

Menggabungkan tembaga dan grafit menjadi sebuah komposit matriks logam (MMCs, *Metal Matrix Composites*) merupakan hal yang banyak dilakukan pada pembuatan elektroda EDM, karena MMCs merupakan gabungan logam matriks dan material penguat tertentu

(serat, *whisker* atau partikel) pada skala makroskopis untuk mendapatkan sifat yang lebih baik dari material pembentuknya. MMCs memiliki potensi yang besar pada perkembangan teknologi karena dapat menghasilkan paduan baru ke arah hasil yang lebih baik (Kainer, 2006).

MMCs dengan material penguat partikel, dibuat dengan metode metalurgi serbuk yang prosesnya meliputi: pencampuran serbuk (*mixing*), kompaksi serbuk (*compaction*), dan proses sinter. Kelebihan metode metalurgi serbuk diantaranya adalah dapat diperoleh bentuk akhir komponen sehingga mengurangi biaya permesinan, mengurangi tahap-tahap proses produksi selanjutnya, laju produksi yang tinggi sehingga sangat cocok untuk produksi massal, dan hampir tanpa material limbah (German, 1994).

Serbuk tembaga merupakan salah satu material dasar pada pembuatan komponen dengan metode metalurgi serbuk yang menduduki peringkat ketiga setelah besi dan baja. Komposit tembaga secara umum digunakan untuk komponen elektrik. Sedangkan penambahan serbuk besi dalam jumlah tertentu pada matriks komposit tembaga akan meningkatkan densitas komposit tersebut (Heikkinen, 2003). Dengan meningkatnya densitas maka porositas komposit akan menurun sehingga konduktivitas elektrik akan meningkat. Selain daripada hal tersebut diatas, partikel besi juga akan mengikat unsur karbon yang terdapat pada grafit dengan lebih baik.

Grafit di industri juga digunakan sebagai elektroda EDM karena memiliki sifat tahan terhadap temperatur tinggi dan tahan kejutan panas (*thermal-shock*) yang terjadi pada saat proses *discharge* berlangsung, harganya lebih murah. Kelemahan material grafit adalah bersifat *abrasive* dan getas (Bagiasna, 1979).

Pada penelitian ini dipelajari pengaruh penambahan partikel grafit pada komposit matriks logam Cu-1 weight percent (wt%, dan selanjutnya ditulis % berat) Fe terhadap *Material Removal Rate*, dan *Electrode*

Relative Wear yang digunakan sebagai elektroda EDM. Komposisi grafit pada komposita adalah 0 % berat, 2,5 % berat, 5 % berat, dan 7,5 % berat. Variasi tekanan kompaksi adalah 350 MPa, 500 MPa dan 650 MPa sedangkan sintering dilakukan pada temperature 840 °C, 870 °C dan 900 °C.

2. Kajian Pustaka

Penelitian tentang metode metalurgi serbuk dengan material dasar tembaga telah dilakukan oleh beberapa orang peneliti, antara lain : Heikkinen (2003), Husain dan Han (2005), Chen dkk (2004), Tsai dkk (2003), Kovacic dkk (2004), Mataram (2007), dan Nawangsari (2008).

Heikkinen (2003) menyatakan bahwa cara terbaik untuk meningkatkan konduktivitas termal dan elektrik dari tembaga adalah mengurangi tingkat ketidakmurnian (*impurity levels*). Tetapi penambahan unsur lain juga diperlukan untuk meningkatkan densitas material paduan tersebut. Sedangkan densitas berkaitan erat dengan porositas pada material yang ada dan semakin rendah porositas suatu material maka konduktivitas elektrikalnya akan lebih baik (German, 1994). Penambahan unsur besi sebesar 1% berat pada tembaga menghasilkan nilai resistivitas elektrikal terendah, yaitu $0,016 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$. (Heikkinen, 2003).

Hussain dan Han (2005) telah melakukan penelitian tentang pengaruh variasi partikel penguat alumina (Al_2O_3) berdasar fraksi berat sebesar 2,5; 5; 7,5 dan 10 % pada matriks tembaga yang dikompaksi pada tekanan 200 MPa dan disinter pada temperatur 950 °C selama 1 jam, dari hasil penelitiannya dilaporkan bahwa meningkatnya kandungan alumina (Al_2O_3) nilai kekerasan komposit akan meningkat, sedangkan nilai konduktivitas elektrik dan densitas menurun seiring dengan meningkatnya komposisi Al_2O_3 . Komposisi yang stabil untuk mencapai keseimbangan

pada kekerasan dan konduktivitas elektrik dicapai pada kandungan 5 % berat.

Selanjutnya dalam penelitian dengan penambahan partikel penguat juga dilakukan oleh Chen dkk (2004), penelitiannya mempelajari pengaruh kandungan tembaga dan perunggu sebesar 0, 4, 8, dan 15 % berat yang ditambahkan pada Stainless Steel 316L dengan tekanan kompaksi 650 MPa dan disinter pada temperatur 1150 °C selama 1 jam. Hasilnya menunjukkan bahwa dengan meningkatnya kandungan tembaga maka densitas komposit meningkat. Hal ini disebabkan oleh aktivasi fase cair sintering terjadi pada tembaga dan perunggu dan dalam penambahan partikel penguat, densitas tembaga dan perunggu lebih besar dibanding dengan Stainless Steel 316L sehingga komposit matriks Stainless Steel 316L apabila dipadukan dengan penguat tembaga dan perunggu nilai densitas aktual komposit akan meningkat. Sedangkan penelitian Mataram (2007) menggunakan serbuk karbon sebagai penguat sebesar 0, 5, 10, dan 15% berat dengan matriks tembaga yang dikompaksi pada tekanan 333 MPa dan disinter pada variasi temperatur 800 °C, 850 °C, 900 °C, dan 950 °C menyimpulkan bahwa dengan penambahan penguat karbon sampai 5% berat dan meningkatnya temperatur sintering akan meningkatkan sifat mekanis dari komposit.

Penelitian mengenai pembuatan elektroda EDM dengan metalurgi serbuk telah dilakukan oleh Tsai dkk (2003) tembaga sebagai matriks dipadukan dengan partikel penguat Cr sebesar 0, 20, dan 43% berat untuk membentuk elektroda EDM dan dikompaksi pada tekanan 10 MPa, 20 MPa, dan 30 MPa hasilnya menunjukkan bahwa Cu-0% berat Cr yang dikompaksi 20 MPa diperoleh yang paling baik.

Elektroda EDM dengan matriks tembaga dan penguat karbon diteliti oleh Nawangsari (2008) dengan partikel penguat C sebesar 0% berat; 2.5% berat; 5% berat, dan 7.5% berat pada tekanan kompaksi 350 MPa hasilnya

menunjukkan MRR tertinggi sebesar 0,067 g/min dicapai oleh spesimen pengujian dengan penambahan 0% karbon yang disinter pada 900°C. Sedangkan ERW terendah sebesar 16,13% dicapai oleh spesimen dengan penambahan 5% karbon yang disinter pada 900°C.

3. Metodologi

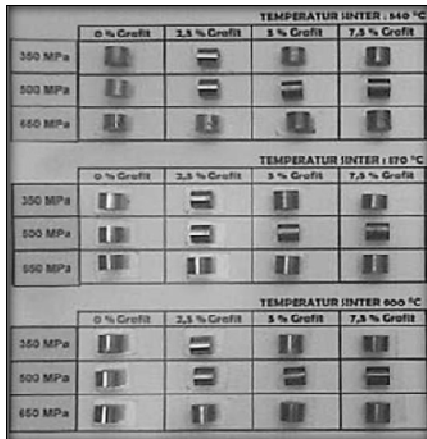
3.1 Bahan

Material yang digunakan adalah *copper fine powder* ukuran +230 mesh ASTM (<63 µm) ex Merck sebagai matriks, *iron powder extra pure* ukuran + 270 mesh ASTM (<53 µm) ex Merck sebagai penguat dan serbuk grafit ex Cina ukuran +270 mesh ASTM (<53µm) sebagai penguat.

3.2 Pembuatan spesimen dan Prosedur Pengujian

Serbuk tembaga dan serbuk besi dicampur terlebih dahulu dengan *rotating cylinder mixer* selama 2 jam untuk mendapatkan distribusi partikel tercampur merata kemudian serbuk grafit ditambahkan sesuai komposisi masing-masing dan pencampuran dilanjutkan hingga 5 jam.

Green body dengan ukuran Ø 10 mm seberat 4 gram dibuat dengan menggunakan peralatan kompaksi tipe *uniaxial pressing single action* yang terbuat dari *stainless steel AISI 304* untuk *die* dan baja *Special K* (ex *Böhler*) untuk *punch*, pada tekanan yang telah ditentukan dengan menggunakan mesin Tarno Grocky tipe UPHG 20. Selanjutnya *green body* disinter dengan *horizontal tube furnace* (Type HVT 15/75/450 Carbolite) di lingkungan gas argon dengan variasi temperatur sinter 840 °C, 870 °C, dan 900 °C selama 1 jam dengan laju pemanasan 5 °C/min. Hasil dari contoh spesimen yang sudah disinter dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Spesimen setelah disinter dengan variasi temperatur dan tekanan kompaksi

Spesimen yang telah disinter digunakan sebagai elektroda EDM untuk uji MRR dan ERW pada material benda kerja baja S45C dengan menggunakan mesin Genspark 50P. Besar arus 10 A dan polaritas normal dalam cairan dielektrik ESSOU volt 64, waktu pengujian ditentukan 10 menit.

3.3 Pengukuran *Material Removal Rate (MRR)* dan *Electrode Relative Wear (ERW)*

Material Removal Rate (MRR) adalah laju pengerjaan material terhadap waktu dengan menggunakan elektroda EDM. MRR diukur dengan membagi berat benda kerja sebelum dan setelah proses *machining* terhadap waktu yang dicapai (Rival, 2005) atau volume material yang telah dikerjakan terhadap waktu (Bagiasna, 1979).

Persamaan yang digunakan adalah :

$$MRR = \frac{W_b - W_a}{t_m} \text{ (g/min)}$$

dengan,

W_b : berat benda kerja sebelum *machining* (g)

W_a : berat benda kerja setelah *machining* (g)

t_m : waktu yang digunakan untuk proses *machining* (min)

Nilai MRR sangat penting untuk menunjukkan efisiensi dan efektivitas biaya dari proses EDM.

Sedangkan ERW adalah *material removal* yang terjadi pada elektroda dan persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai ERW adalah :

$$ERW = \frac{EWW}{WRW} \times 100\%$$

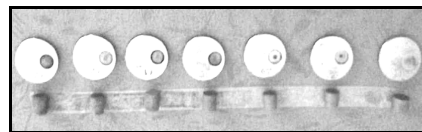
dengan,

EWW : selisih berat elektroda sebelum dan setelah digunakan (g)

WRW : selisih berat benda kerja sebelum dan setelah dikerjakan (g)

Semakin kecil nilai ERW menunjukkan minimumnya perubahan bentuk dari elektroda, sehingga akan menghasilkan ketelitian yang lebih baik dari produk yang dihasilkan.

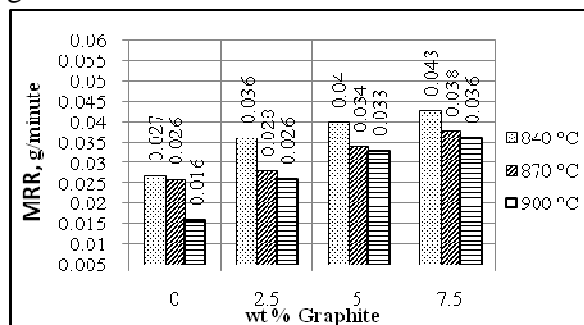
Contoh specimen elektroda komposit dan benda kerja S45C yang telah diuji MRR dan ERW dapat dilihat pada Gambar 2.



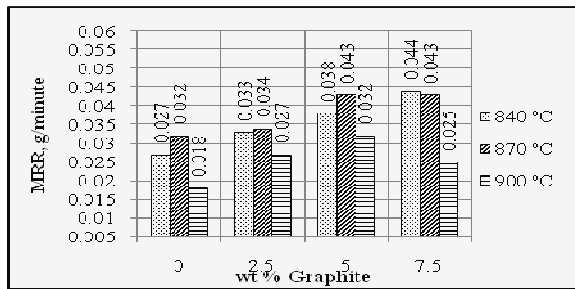
Gambar 2. Contoh hasil Uji MRR dan ERW

4. Hasil dan Pembahasan

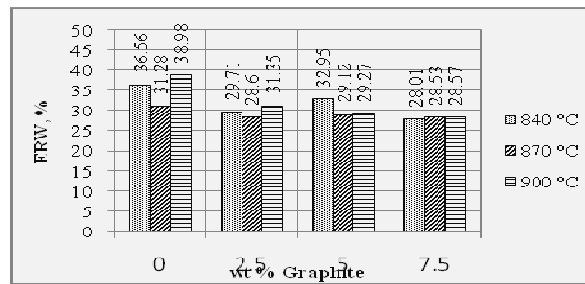
Hasil pengujian MRR dan ERW untuk masing-masing specimen dapat dilihat pada grafik-grafik di bawah ini.



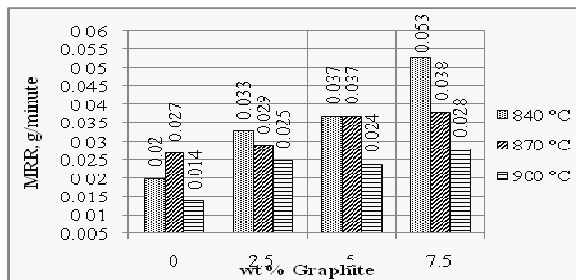
Gambar 3. Grafik % berat graphite vs MRR (tekanan kompaksi = 350 MPa)



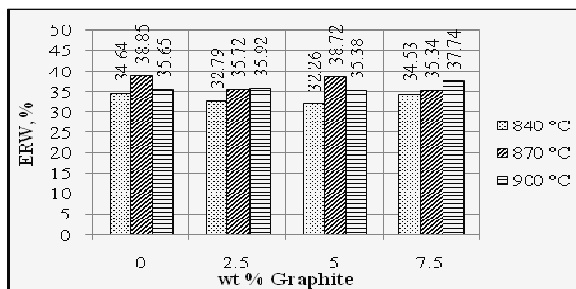
Gambar 4. Grafik% berat graphite vs MRR (tekanan kompaksi = 500MPa)



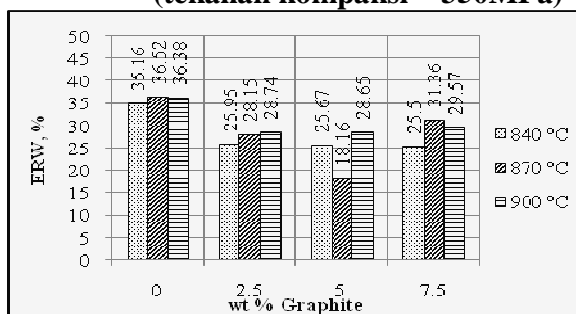
Gambar 8. Grafik% berat graphite vs ERW (tekanan kompaksi = 650MPa)



Gambar 5. Grafik% berat graphite vs MRR (tekanan kompaksi = 650 MPa)



Gambar 6. Grafik% berat graphite vs ERW (tekanan kompaksi = 350MPa)



Gambar 7. Grafik% berat graphite vs ERW (tekanan kompaksi = 500MPa)

Penambahan partikel grafit akan meningkatkan MRR komposit yang disinter pada temperatur 840 °C dalam berbagai variasi tekanan kompaksi. Nilai MRR tertinggi dicapai oleh komposit dengan penambahan grafit sebesar 7.5 % berat tetapi kemampuan MRR akan cenderung menurun apabila partikel grafit > 7.5 % berat seperti yang telah dilakukan Nawangsari (2008). Sedangkan pengaruh peningkatan % berat partikel grafit terhadap nilai ERW menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan bertambahnya % berat partikel grafit. Nilai ERW paling rendah dicapai oleh komposit dengan partikel grafit sebesar 15 % berat.

Kecenderungan yang sama terjadi pada komposit yang disinter pada temperatur 870 °C dan 900 °C dalam berbagai tingkat tekanan kompaksi.

Tingkat tekanan kompaksi yang bervariasi dari 350 MPa sampai 650 MPa pada saat pembuatan *green body* tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap kemampuan MRR dan ERW komposit.

5. Kesimpulan

- 1) Komposit Cu-1% berat Fe akan mengalami peningkatan MRR apabila ditambah dengan partikel grafit karena grafit adalah penghantar listrik yang baik dan berat grafit pada komposit densitas semakin rendah

peningkatan kemampuan MRR tertinggi dicapai oleh komposit pada penambahan partikel grafit sebesar 7.5 % berat, tetapi apabila penambahan partikel grafit > 7.5 % berat terjadi penurunan kemampuan MRR seiring besarnya % berat partikel grafit. Hal ini dikarenakan semakin besar %

- 2) Nilai ERW akan menurun sesuai peningkatan % berat partikel grafit pada komposit karena selain penghantar listrik yang baik grafit adalah material elektroda EDM yang terbaik.
- 3) Komposit Cu-1% berat Fe-Grafit yang memiliki komposisi 10 % berat grafit dengan tekanan kompaksi 350 Mpa dan disinter pada 840 °C merupakan bahan elektroda EDM yang terbaik karena memiliki kemampuan MRR terbesar dan ERW terendah, yaitu 0,0534 g/mnt dan 20,22 % masing-masing.

6. Daftar Pustaka

- Fuller, E. John, 2002, *Electric Discharge Machining*, ASM International vol. 16, pp. 557-564
- Bagiasna, K., 1979, *Proses-proses Pemesinan Non konvensional*, Departemen Mesin, Institut Teknologi Bandung, pp. 78-95
- Callister, W., 2001, *Fundamental of Material Science and Engineering*, John Willey & Son Inc.
- Chen, W., Wu, Y., dan Shen, L., 2004, *Effect of Copper and Bronze Addition on Corrosion Resistance of Alloyed 316L Stainless Steel on Plain Carbon Steel by Powder Metallurgy*, Journal Material Science Technology, vol. 20, pp.217-220.
- German, R.M, 1994, *Powder Metallurgy Science, 2nd edition*, Metal Powder Industries Federation, Princenton, New Jersey.
- Heikkinen, Samuli, 2003, *Copper Alloy Properties*, KovaveMaterialy, 38
- Hussain, Z., dan Han, K., 2005, *Studies on Alumina Dispersion - Strengthened Copper Composite Trough Ball Milling and Mechanical Alloying Method*, Jurnal Teknologi, vol. 43, pp. 1-10.
- Kainer, K.U., 2006, " *Metal Matrix Composites, Custom Made Material for Automotive and Aerospace Engineering*, Willey-VCH Verlag GmbH & Co. KGAA, WeinHeim.
- Kovacic,J., Emmer, S., Bielek, J., and Kalesi, L., 2004, *Thermal Properties of of Cu-graphite Composites*, Kovave Materialy, 42
- Mataram, A., 2007, *Studi Sifat Fisis dan Mekanis komposit Cu/C"*, Thesis S2, Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Nawangsari, Putri, 2008, *Pengaruh Penambahan Partikel Karbon Terhadap Densitas, Kekerasan, Konduktivitas Panas, Material Removal Rate, dan Electrode relative wear Pada Komposit Matriks Tembaga Sebagai Elektroda EDM*, Thesis S2, Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Rival, 2005, *Electrical Discharge Machining of Titanium Alloy Using Copper Tungsten Electrode With SiC Powder Suspension Dielectric Fluid*, Thesis S2, Fakultas Kejuruteraan Mekanikal, Universiti Teknologi Malaysia.
- Tsai, H.C., Yan, B.H., dan Huang, F.Y., 2003, *EDM Performance of Cu/Cr-Based Composite Electrode*, International Journal of Machine Tool & Manufacture, vol 43, pp. 245 – 252