

PENGARUH MINYAK KELAPA SEBAGAI DIELEKTRIK ALTERNATIF TERHADAP KINERJA EDM DIESINKING PADA BENDA KERJA AISI P21

Tjun Mahsunadi

Politeknik Manufaktur Negeri Bandung,
Jl. Kanayakan No. 21 – Dago, Bandung 40135
Phone/Fax : 022. 250 0241 / 250 2649
Email : cun_sunadi@yahoo.com

Abstrak

Perkembangan industri manufaktur dunia demikian cepat dan dengan sendirinya membutuhkan bahan bakar semakin meningkat untuk operasionalnya. Meningkatnya kebutuhan bahan bakar dunia, dengan fluktuasi harga yang terus melonjak sedangkan persediaan dipasar dunia mulai menipis, bahkan diprediksi pakar, akan segera habis dari perut bumi. Untuk mengantisipasinya dibutuhkan energi alternatif yaitu energi diperbarukan yang ramah lingkungan dan tidak berbasis minyak mineral. Salah satu diantaranya adalah minyak kelapa(coconut oil) yang banyak tumbuh dinegara tropis. Dari hasil penelitian sebelumnya di Negara Srilanka, India, Malaysia dan Indonesia bahwa minyak kelapa(coconut oil) dapat digunakan sebagai dielektrik EDM Diesinking, tapi dituntut kajian dan eksperimen yang lebih banyak untuk dapat digunakan dan dijadikan sebagai energi standar. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh minyak kelapa(coconut oil) dengan memakai elektroda tembaga terhadap kinerja pemesinan EDM diesinking yaitu MRR yang tinggi, TWR dan SR yang rendah pada benda kerja AISI P21. Disamping itu juga untuk pengembangan agar minyak kelapa dapat digunakan sebagai dielektrik standar, dan meningkatkan penelitian melalui eksperimen. Metodologi dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dimana akan dikaji pengaruh minyak kelapa terhadap kinerja EDM Die Sinking untuk pemesinan benda kerja AISI P21. Eksperimen dilakukan menggunakan fluida dielektrik minyak kelapa(coconut oil) yang banyak diproduksi masyarakat Indonesia yang dikenal dengan minyak kelapa curah dan minyak tanah dengan menggunakan elektroda tembaga. Sebagai respons kinerja proses yang dihasilkan adalah MRR (Material Removal Rate), TWR(tool wear rate) dan SR (Surface Roughness) benda kerja. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa dengan menggunakan elektroda tembaga, maka minyak kelapa menghasilkan MRR, TWR dan SR benda kerja yang lebih besar daripada minyak tanah. MRR minyak kelapa lebih besar dari MRR minyak tanah ($0,0141 > 0,0028$) gram/menit. TWR minyak kelapa lebih besar dari TWR minyak tanah ($0,0066 > 0,0056$) gram/menit dan SR minyak kelapa lebih besar dari SR minyak tanah ($1,93 > 0,82$) μm . Dengan hasil tersebut, tujuan yang diharapkan dalam penelitian ini MRR yang tinggi, TWR dan SR yang rendah tidak terpenuhi. Hal ini disebabkan MRR yang cukup tinggi mempengaruhi harga TWR dan SR yang tinggi. Dengan hasil tersebut, maka minyak kelapa cocok untuk digunakan pada proses pemotongan kasar.

Keywords: *EDM, coconut oil, material removal rate, tool wear rate, surface roughness*

NOMENCLATURE :

EDM : *Electrical discharged machining*
 V_o : *Tegangan(V)*
 T_{on} : *Pulse on time(μs)*
 T_{off} : *Pulse off time(μs)*
 Cu : *Tembaga*

I_p : *Arus (A)*
 MRR : *Material removal rate (gram.min⁻¹)*
 TWR : *Tool wear rate (gram/menit)*
 SR : *Surface roughness(μm)*
 Ra : *Average surface roughness (μm)*

1. Pendahuluan

Aspek yang merangsang pengembangan teknik dan proses manufaktur adalah kebutuhan untuk ketelitian dimensi, meningkatnya kualitas pengerjaan dan kualitas permukaan benda kerja. Disamping itu, faktor yang penting pula, adalah tuntutan untuk menciptakan metode pengerjaan yang tidak berbahaya bagi kesehatan operator dan ramah bagi lingkungan [1]. Keunggulan minyak berbasis mineral dalam aspek kinerja pengerjaan cukup baik dibandingkan dengan gas namun mudah terbakar, merusak lingkungan dan saat ini harganya fluktuatif dan mahal. Berkembangnya industri manufaktur, dengan sendirinya membutuhkan minyak untuk kegiatan operasional terutama sebagai fluida pelumas dan pendinginan mesin. Kebanyakan jenis minyak komersial untuk operasional mesin industri berbasis minyak mineral, karena mempunyai beberapa keuntungan yaitu meningkatkan produktifitas dan kualitas operasi selama proses produksi maupun pendinginan produk. Demikian pula kebutuhan akan fluida pemotong (*cutting fluid*) juga meningkat. Meskipun fluida pemotong digunakan secara luas di industri, para pengguna berharap agar ada jaminan kesehatan bagi operator selama proses produksi berlangsung. Minyak berbasis mineral harus higienis dan harus ramah lingkungan. Beberapa literatur menyatakan bahwa sekitar 80% dari semua penyakit yang timbul akibat pekerjaan operator disebabkan oleh kontak fluida pemotong dengan kulit [2-6]. Menurut perkiraan, di Amerika Serikat ada sekitar 700.000 sampai 1 juta operasi mesin menggunakan fluida pemotong dapat menyebabkan iritasi

atau alergi [7]. Bakteri dan jamur yang larut dalam fluida pemotong dapat menghasilkan toksin mikroba yang sangat berbahaya bagi operator [8]. Untuk mengatasi masalah tersebut, dicoba berbagai alternatif pemakaian pelumas sintesis, pelumas padat, gas dan pelumas berbasis tumbuhan (minyak jarak, kedelai dan lain-lain). Pada pengoperasian mesin EDM, minyak berfungsi sebagai fluida dielektrik dan isolator. Fluida dielektrik komersial kebanyakan berbasis minyak mineral seperti juga fluida pemotong. Fluida yang umum digunakan pada EDM *Die Sinking* adalah minyak tanah. Berbagai literatur hasil penelitian menyatakan bahwa pengerjaan logam, dengan fluida berbasis organik yang alami yaitu minyak nabati (*vegetable oil*), dapat menjadi modus pengerjaan ramah lingkungan dengan kinerja yang diperoleh sama dengan menggunakan fluida berbasis minyak mineral dalam pengerjaan logam[9]. Fluida dielektrik digunakan dalam EDM memiliki karakteristik kekuatan dielektrik tinggi, pendinginan efektif, kemampuan pembilasan dan sifat fluiditas yang baik. *Material Removal Rate* (MRR) dipengaruhi oleh jenis dielektrik dan metode pembilasan [10]. Berbagai jenis pembilasan dapat dilakukan, yaitu pembilasan injeksi, pembilasan hisap, pembilasan sisi dan pembilasan dengan memompa dielektrik [11]. Menurut Lonardo dan Bruzzone bahwa pembilasan selama operasi pemotongan kasar akan mempengaruhi MRR, sedangkan dalam operasi penghalusan/akhir, dapat mempengaruhi *Surface Roughness* (SR) [12]. Dalam pembilasan digunakan fluida dielektrik senyawa hidrokarbon atau air. Air deionisasi digunakan untuk EDM *Wire Cut*

dan untuk EDM *Die Sinking* presisi tinggi karena viskositas rendah dan bebas karakteristik karbon. Fluida dielektrik melalui celah antara kedua elektroda (benda kerja dan pahat) untuk menghilangkan kotoran gas dan padat selama proses pemesinan dan untuk mempertahankan suhu fluida dielektrik sehingga berfungsi pula sebagai pendingin.

Penelitian dalam pengembangan EDM bermaksud agar fluida dielektrik berbasis organik diganti dengan air murni atau larutan konsentrasi air yang rendah [7]. Beberapa larutan konsentrasi air yang rendah adalah minyak kedelai, minyak kacang, minyak bunga matahari, minyak kelapa, minyak zaitun, minyak sawit dan ekstrak minyak dari biji Moringa oleifera. Minyak kelapa, dinyatakan sebagai fluida dielektrik alternatif pengganti minyak mineral dan ramah lingkungan [13-15]. Pemilihan minyak kelapa sebagai fluida dielektrik pada EDM *Die Sinking* karena minyak kelapa mudah didapat dan ramah lingkungan. Namun belum banyak dilakukan kajian lanjut sebagai fluida dielektrik EDM. Penelitian mengenai penggunaan minyak kelapa sebagai fluida dielektrik telah dilakukan di beberapa negara tropis seperti India, Sri Lanka, Malaysia dan Indonesia. Agar dapat digunakan sebagai fluida dielektrik standar, perlu kajian lebih banyak lagi melalui eksperimen.

Walaupun saat ini minyak tanah lebih murah dibandingkan dengan minyak kelapa namun minyak tanah sudah mulai langka, sejak pemerintah Republik Indonesia mensosialisasikan penggunaan gas sebagai bahan bakar. Dengan meningkatnya harga minyak mineral dunia, maka tidak ada alternatif lain selain mencari sumber energi lain diluar minyak mineral atau energi terbarukan yang ramah lingkungan.

Fluida dielektrik mempunyai peranan penting selama operasi pengerjaan EDM. Kinerja proses pengerjaan sangat dipengaruhi oleh sifat fluida dielektrik yang digunakan. Jadi, jenis fluida dielektrik tersebut akan mempengaruhi kinerja proses pemesinan EDM *Die Sinking*, yaitu:

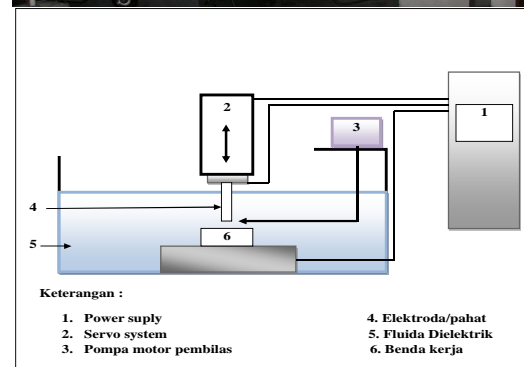
- MRR (*Material Removal Rate*) yaitu kecepatan penghasilan geram benda kerja.
- TWR (*Tool Wear Rate*) yaitu kecepatan keausan elektroda.
- VR (*Volumetric Relative*) yaitu perbandingan antara TWR dan MRR.
- SR (*Surface Roughness*) yaitu kekasaran permukaan benda kerja.

Optimasi kinerja EDM yang diinginkan adalah nilai MRR yang tinggi, nilai TWR dan nilai SR yang rendah.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh fluida dielektrik minyak kelapa dengan menggunakan elektroda tembaga terhadap kinerja proses pemesinan EDM, yaitu: MRR, TWR dan SR benda kerja.

2. Metodologi

2.1 Peralatan EDM dan parameter pemesinan



Gambar 1 EDM die sinking 4-LC, modifikasi

Mesin perkakas yang digunakan dalam penelitian ini adalah Mesin EDM *Die Sinking*, 4-LC(Charmilles Technologies SA) yang ada di laboratorium Teknik Manufaktur Negeri Bandung, dengan

modifikasi tanki fluida dielektrik dan pembilasan memakai pompa (gambar 1) Fluida dielektrik adalah minyak kelapa dan minyak tanah sebagai pembanding. Sifat-sifat dielektrik minyak kelapa dan minyak dielektrik standar ditampilkan pada tabel 1. Elektroda yang digunakan adalah tembaga dengan diameter 10 mm dan panjang 20 mm. Berat jenis tembaga 8890 kg/mm^3 . Parameter proses pemesinan yang dipilih adalah: Tegangan $V_o = 100 \text{ V}$, Arus (I_p) = 1 A, pulse on-time(T_{on}) = 1 μs dan pulse off-time(T_{off}) = 1 μs . Polaritas yang dipilih adalah normal (elektroda negatif, benda kerja positif), dan waktu pengerjaan 60 menit setiap eksperimen.

Tabel 1. Sifat-sifat dielektrik minyak kelapa dan dielektrik minyak standar [14]

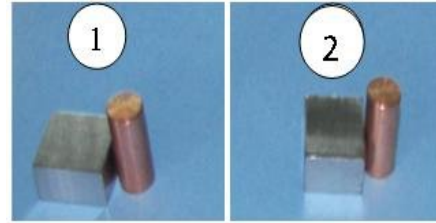
Property	Coconut oil / minyak kelapa	Standar oil (IEC296)
Dielectric Strength(kV)	60	50
Pour Point($^{\circ}\text{C}$)	20	40
Flash Point($^{\circ}\text{C}$)	170 - 225	154
Moisture Content(mg/kg)	1.0	1.5
Viscosity(cSt) at 40 $^{\circ}\text{C}$	29	13
Density(kg/dm^3) at 20 $^{\circ}\text{C}$	0.917	0.897

Tabel 2. Komposisi kimia baja AISI P21

Nama unsur paduan AISI P21	Prosentase
C	0.1-0.15
Si	0.15-1.0
Mn	1.0-2.0
Ni	2.50-3.50
Cu	0.70-1.50
Mo	0.10-0.40

2.2 Spesimen benda kerja dan elektroda

Spesimen benda kerja memakai material baja perkakas AISI P21, dengan ukuran 20 mm x 18 mm x 10 mm sebanyak 2 buah. Komposisi kimia AISI P21 dapat dilihat pada tabel 2. Elektroda : diameter 10 mm dan panjang 20 mm



Gambar 2. Benda kerja dan elektroda

2.3 Instrumen pengukur

Instrumen pengukur yang digunakan adalah:

- Vernier Caliper* digital digunakan untuk mengukur dimensi benda kerja dan elektroda, kecermatan mencapai 0.001 mm.
- Alat timbang merek *Electronic Scale TH-500*, kapasitas 500 gram dengan kecermatan 0.1 gram untuk mengukur massa benda kerja dan elektroda sebelum dan sesudah eksperimen.
- Alat pengukur kekasaran permukaan benda kerja adalah Mitutoyo SJ-301 *Surface roughness*.

2.4 Menghitung MRR, TWR dan mengukur SR benda kerja

2.4.1 Menghitung MRR

Persamaan untuk menghitung MRR adalah sebagai berikut.

$$\text{MRR} = (M_a - M_b) / t_m \quad [\text{gram} \cdot \text{menit}^{-1}] \quad (1)$$

dimana :

M_a : massa benda kerja sebelum diproses EDM [gram]

M_b : massa benda kerja setelah diproses EDM [gram]

t_m : waktu proses pengerjaan [menit]

$$\text{TWR} = (M_{pa} - M_{pb}) / t_m$$

Dimana :

M_{pa} : massa pahat/elektroda sebelum diproses EDM [gram]

M_{pb} : massa pahat setelah diproses EDM [gram]

T_m : waktu proses pengerjaan [menit]

2.4.2 Mengukur SR

Kekasaran permukaan diukur menggunakan SJ-301 *Surface Roughness Tester*. Permukaan kekasaran masing-masing sampel diukur pada tiga posisi yang berbeda yaitu, kiri, tengah, dan kanan.

2.5 Prosedur dan hasil eksperimen

2.5.1 Prosedur eksperimen

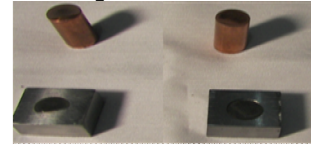
Eksperimen untuk mengkaji pengaruh minyak kelapa sebagai fluida dielektrik alternatif terhadap kinerja EDM die sinking pada benda kerja AISI P21, dilakukan dengan dua kali eksperimen: yaitu

1. Eksperimen pertama menggunakan dielektrik minyak tanah, benda kerja dari baja perkakas AISI P21 yang telah ditimbang massanya. Elektroda tembaga, parameter proses yang dipilih, polaritas elektroda negatif, benda kerja positif dan waktu proses 60 menit. Tanki EDM yang telah dimodifikasi diisi 5 liter dielektrik minyak tanah. Posisi benda kerja dan elektroda tembaga diatur harus terendam dalam cairan dielektrik. Proses dimulai dengan menghidupkan parameter proses yang telah dipilih, pada panel EDM yaitu arus I_p , V_o , T_{on} , T_{off} , dan waktu proses. Bersamaan dengan itu juga pompa pembilasan dihidupkan. Selesai eksperimen pertama, selama 60 menit, benda kerja dan elektroda dilepas. Tanki dikuras dan dibersihkan.
2. Eksperimen kedua menggunakan dielektrik minyak kelapa. Pengaturan posisi benda kerja baja perkakas AISI P21, yang telah diukur massanya dan elektroda tembaga, parameter proses, polaritas dan waktu proses sama dengan eksperimen pertama. Setelah tanki diisi dielektrik minyak kelapa sebanyak 5 liter, pengaturan posisi benda kerja dan elektroda tembaga yang baru, sama seperti eksperimen pertama. Proses input dan pompa pembilasan dihidupkan dengan waktu proses sama dengan eksperimen pertama.

Hasil kedua eksperimen, setelah ditimbang massanya, dihitung masing-masing besarnya MRR. Demikian pula kekasaran permukaan benda kerja ditentukan dengan alat Mitutoyo SJ-301 *Surface roughness tester* dan ditabulasikan.

3. Hasil dan Pembahasan.

3.1 Benda kerja, elektroda dan tabel hasil eksperimen



Gambar 3 Benda kerja dan elektroda hasil eksperimen

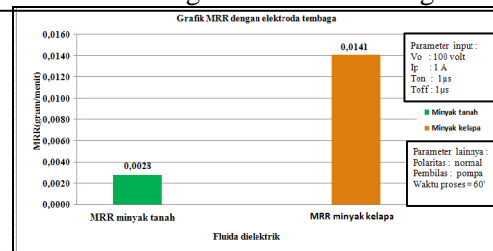
Tabel 3 Hasil perhitungan dan pengukuran

No Eksperimen	V_o Volt	I_p A	T_{on} us	T_{off} us	Dielektrik		Elektroda	Masa		MRR gram/menit	TWR gram/menit	SR μm	Polaritas
					Minyak tanah	Minyak kelapa		Pra EDM	Peaka EDM				
1	100	1	1	1	5 liter	-	Cu	26,90	26,73	0,0028	0,0056	0,32	Elektroda
2	100	1	1	1	-	5 liter	Cu	27,03	26,25	0,0141	0,0065	1,93	negatif

3.2 Hasil MRR dan analisisnya

Hasil dari eksperimen menunjukkan bahwa MRR dengan fluida minyak tanah menghasilkan MRR 0.0028 gram/menit, sedangkan pada eksperimen kedua dengan fluida minyak kelapa menghasilkan MRR 0.0141 gram/menit seperti diperlihatkan pada gambar 1. Dengan demikian maka MRR yang dihasilkan fluida dielektrik minyak kelapa lebih besar dibandingkan dengan hasil MRR dengan dielektrik minyak tanah. Hal ini menunjukkan bahwa fluida minyak kelapa lebih produktif dibandingkan dengan fluida minyak tanah pada parameter proses yang dipilih.

Grafik MRR dengan elektroda tembaga



Gambar 4. Perbandingan MRR antara dielektrik minyak kelapa dan minyak tanah

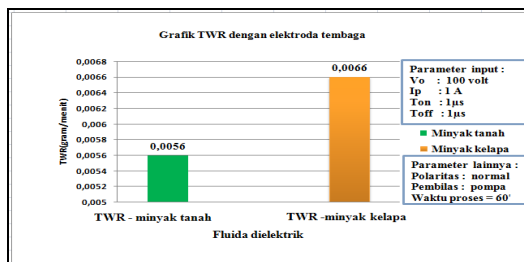
Analisis Grafik MRR

Hasil dari eksperimen menunjukkan bahwa MRR dengan fluida minyak kelapa lebih besar dibandingkan dengan MRR minyak tanah ($0,0141 > 0,0028$) gm/menit seperti diperlihatkan pada gambar 4.

Dengan pengaturan parameter proses , tegangan $V_0 = 100$ V, Arus (I_p) = 1 A, pulse on-time(T_{on}) = $1\mu s$ dan pulse off-time(T_{off}) = $1\mu s$. polaritas normal dengan waktu eksperimen selama 60 menit, menunjukkan bahwa MRR minyak kelapa lebih tinggi dan produktif dibandingkan dengan minyak tanah. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor :

- Pada minyak kelapa tidak mengandung carbon yang dapat menghalangi terbentuknya MRR, sedangkan pada minyak tanah mengandung karbon yang terurai saat suhu meningkat, sehingga terbentuk senyawa yang menutup permukaan benda kerja dan menghalangi terbentuknya MRR dengan energi yang sama pada minyak kelapa.
- Kekuatan dielektrik minyak kelapa(60 kV) lebih besar dibandingkan minyak dielektrik standar(50 kv)
- Penggunaan polaritas normal dimana elektroda, negatif dan benda kerja, positif.

3.3. Hasil TWR dan analisisnya



Gambar 5. Perbandingan TWR antara dielektrik minyak kelapa dan minyak tanah

TWR adalah selisih massa elektrode sebelum proses EDM dan setelah proses EDM dibagi waktu proses. TWR minyak kelapa lebih besar dari TWR minyak tanah. Ini menunjukkan bahwa dengan dielektrik minyak kelapa keausan elektrode lebih besar karena pengaruh sifat-sifat minyak kelapa

Dalam grafik menunjukkan bahwa TWR dari dielektri minyak kelapa lebih tinggi dibandingkan dengan minyak tanah.

Analisis grafik TWR:

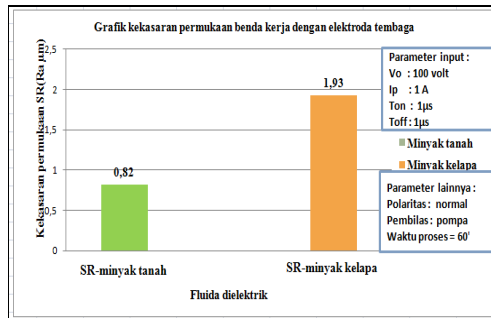
Dengan parameter proses , tegangan $V_0 = 100$ V, Arus (I_p) = 1 A, pulse on-time(T_{on}) = $1\mu s$ dan pulse off-time(T_{off}) = $1\mu s$. polaritas normal dengan waktu eksperimen selama 60 menit , menunjukkan bahwa TWR minyak kelapa lebih tinggi dan produktif dibandingkan dengan minyak tanah. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor :

- Sama seperti pada MRR minyak tanah mengandung karbon yang terurai saat suhu meningkat dan membentuk lapisan pelindung pada permukaan elektroda/pahat. Lapisan yang terbentuk tersebut melindungi dan membatasi keausan yang cepat pada permukaan elektroda selama mesining
- Kekuatan dielektrik minyak kelapa lebih tinggi dari minyak tanah

3.4 Hasil SR dan analisisnya

Kekasaran permukaan benda kerja (SR) yang dihasilkan dengan menggunakan fluida dielektrik minyak tanah sebesar $R_a = 0.82\ \mu m$, sedangkan menggunakan fluida dielektrik minyak kelapa menghasilkan $R_a = 1.93\ \mu m$. Jadi SR yang dihasilkan menggunakan dielektrik minyak kelapa lebih besar dibandingkan dengan SR menggunakan dielektrik minyak tanah. Hasil kedua eksperimen ditampilkan dalam grafik pada gambar 2, dengan parameter input yang dipilih. Dengan hasil eksperimen yang telah dilakukan maka minyak kelapa cocok digunakan untuk pengerjaan kasar pada EDM die sinking dengan parameter input (tegangan $V_0=100$ V, Arus $I_p = 1A$, pulsa on-time $T_{on} = 1\ \mu s$ dan pulsa off-time $T_{off} = 1\ \mu s$). Pengaruh parameter input akan dapat diprediksi lebih lanjut. Berdasarkan beberapa literatur bahwa MRR dan SR meningkat jika tegangan V_0 meningkat[16]. Dengan arus yang besar akan meningkatkan MRR tapi mengurangi kekasaran permukaan. Dengan menggunakan elektroda tembaga, maka arus harus tinggi, dan hasilnya tidak mengalami kerusakan. MRR berbanding

lurus dengan energi yang diterapkan selama on-time.

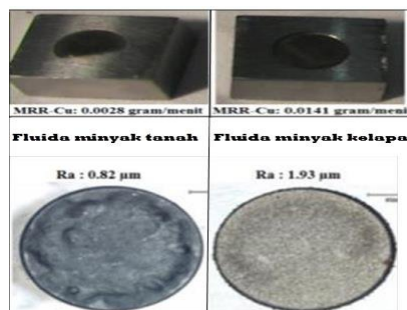


Gambar 6. Perbandingan SR antara dielektrik minyak tanah dan minyak kelapa

Kekasaran permukaan (SR) dan analisisnya

- Dengan elektroda tembaga kekasaran minyak kelapa lebih tinggi dibandingkan minyak tanah ($1.93 \mu\text{m} > 0.82 \mu\text{m}$)
- Kekasaran erat hubungannya dengan hasil MRR, jika MRR nya tinggi maka otomatis hasil pengerjaan kualitasnya rendah dalam arti kekasarnya tinggi. Rendahnya kekasaran dengan minyak tanah karena hasil MRR rendah yang disebabkan oleh unsur karbon yang membentuk lapisan pelindung pada permukaan elektrode sehingga keausan berkurang.
- Disamping itu kualitas permukaan antara minyak tanah dan minyak kelapa dapat dibandingkan dengan topografi makrostruktur (gambar 7), bahwa dengan minyak kelapa lebih kasar dibandingkan dengan minyak tanah.

Hasil fotografi/topografi



Gambar 7 Kekasaran permukaan dengan makrostruktur

4. Kesimpulan

Dari hasil kedua eksperimen, dapat dilihat bahwa pengaruh minyak kelapa terhadap kinerja EDM *die sinking* yaitu MRR TWR dan SR, dengan parameter input tegangan $V_o = 100 \text{ V}$, Arus $I_p = 1 \text{ A}$, pulsa *on-time* $T_{on} = 1 \mu\text{s}$ dan pulsa *off-time* $T_{off} = 1 \mu\text{s}$, elektroda tembaga dan polaritas elektroda negatif, dapat disimpulkan sebagai berikut:

Bahwa hasil kinerja EDM *die sinking* adalah MRR cukup tinggi. Tingginya MRR minyak kelapa mempengaruhi harga TWR dan SR lebih tinggi. Tingginya MRR minyak kelapa disebabkan oleh beberapa faktor yaitu :

- Pengaruh dari sifat-sifat minyak kelapa yaitu kekuatan dielektrik, konduktifitas termal dan viskositas kinematikanya lebih tinggi dibandingkan dengan minyak tanah.
- Minyak kelapa tidak mengandung karbon
- Polaritas normal (elektroda negatif dan benda kerja positif).
- Tujuan optimasi bahwa MRR tinggi dan TWR&SR rendah, tidak terpenuhi, sehingga minyak kelapa lebih baik jika digunakan pada proses yang mensyaratkan kekasaran yang tinggi dalam pemesinan Edm *die sinking*

Saran

Dengan tingginya hasil MRR, TWR dan SR karena sifat –sifat minyak kelapa, dan polaritas normal, maka untuk penelitian berikutnya disarankan polaritasnya dibalik, benda kerja negatif dan elektrode positif. Sedangkan parameter lainnya tetap, seperti V_o , I_p , T_{on} , dan T_{off}

4. Daftar Pustaka

- [1] Weinert, K., Inasaki, I., Sutherland, J. W. and Wakabayashi, T., "Machining and Minimum Quantity Lubrication", *CIRP Annals*,

- Manufacturing Technology*, Vol.53, Issue 2, (2004), pp. 511-537.
- [2] E.O. Bennett, E.O., "Water based cutting fluids and human health", *Tribol.Int.*, (1983), pp. 45-60.
- [3] HSE, "Health Surveillance Occupational Skin Diseases", MS 24, HSE Books, (1991), London.
- [4] HSE, "Medical Aspects of Occupational Ashma", MS 25, HSE Books, (1991), London.
- [5] HSE, "Health Risk from metalworking fluids-aspect of Good Machine Design", IND (G) 167 L, HSE Books, (1994), London.
- [6] HSE, "Metalworking Fluids(MWFs)Exposure Assesment", EH74/4, HSE Books, (2000), London.
- [7] Korde, V. M., Phelps, T. J., Bienkowski, P.R. and White, D. C., "Biodegradation of chlorinated aliphatics and aromatic compounds in total-recycle expanded-bed reactors", *Appl. Biochem, Biotechnol.*, 45/46, (1993), pp. 731-740.
- [8] Zeman A., Sprengel, A., D Niedermeier D., and Spath, M., "Biodegradable lubricants-studies on thermooxidation of metal-working fluids by differential scanningcalotimetry(DSC)", *Thermochim. Acta*, 268, (1995), pp. 9-15.
- [9] Leao, F. N. and Pashby, I. R., "A review on the use on environmentally-friendly dielectric fluids in electrical discharge machining", *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 149, Issues 1-3, (2004), pp. 341-346.
- [10] Van Tri, N. "Electrical Discharge Machining of Aluminum Alloy Using Classical Design of Experiment Approach", Master Thesis, (2002), Universiti Teknologi Malaysia.
- [11] Sommer, C., "Non-traditional machining handbook", First edition, Advance Publishing, (2000), Houston.
- [12] Lonardo, P.M. and Bruzzone. A.A., "Effect of flushing and electrode material on die sinking EDM", *Ann. CIRP*, Vol. 48, No. 1, (1999), pp. 123-126.
- [13] Lawal, S.A., Choudhury, L.A., and Y. Nukman' Y., "Application of vegetable oli-based metalworking fluids in machining ferrous metal-A review", *International Journal of Machine tool and Manufacture*, January 2012, Journal homepage : www.Elsevier.com/locate/ijmactool.
- [14] D.C. Abeyesundara*, C. Weerakoon* and J R Lucas*, K.A.I. Gunatunga and K.C. Obadage, Coconut Oil as an Alternative to Transformer Oil, Department of Electrical Engineering, University of Moratuwa, Lanka Transformer Ltd, Angulana Station22. <http://www.agriculturalproductsindia.com/edible-oils/edible-oils-coconut-oil.html>
- [15] Suwarno Aditama (2005) "*Dielectric Properties of Palm Oils as Liquid Insulating Materials: Effects of Fat Content*". Department of Electrical Engineering, Bandung Institute of Technology, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia. Proceedings of 2005 Intemational Symposium on Electrical Insulating Materials, June 5-9, 2005, Kitakyushu, Japan.
- [16] Kunieda M., Lauwers B., Rajurkar K. P., Schumacher B. M. (2005), "Advancing EDM through Fundamental Insight into the Process", *Journal of Materials Processing Technology*, Annals of CIRP, Vol. 54(2), pp. 599-622.(57)