

## DAFTAR PUSTAKA

- Dharsono Sony Kartika. 2004. *Pengantar Estetika*. Bandung: Rekayasa Sains.
- D.K. Ching. 2003. *Interior Design Illustrated*. New York: Van Nostrand Reinhold Company.
- Eko Nurmiyanto. 2003. *Ergonomi, Konsep Dasar dan Aplikasinya*. Surabaya: Guna Widya.
- Mill, Edward D. 1976. *Planning*, London: Newness-Butterworth.
- Neufert, Ernst. 1987. *Data Arsitek*. Jakarta: Erlangga.
- Pamudji Suptandar. 1982. *Interior Design*. Jakarta: Usakti.
- Pheasant, Stephen. 1987. *Ergonomics, Standards and Guidelines for Designers*. London: Dept. of Anatomy, Royal Free Hospital School of Medicine.
- Reznikoff, SC. 1979. *Specifications for Commercial Interiors*. New York: Whitney Library of Design.
- John M. Echols dan Hassan Shadily. 1987. *Kamus Inggris Indonesia*. Jakarta: Gramedia.
- W.J.S. Poerwadarminta. 1976. *Kamus Umum Bahasa Indonesia*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Trisma Gumbira. 1992. *Penerapan Bahan dan Warna Lantai Ruang Tidur Suite Room Hotel Bintang Lima di Yogyakarta*. ISI Yogyakarta: Skripsi.

## ANALISIS PENGGUNAAN MATERIAL ELEKTRODA BERBAHAN DASAR Cu, PADA PROSES EDM BAJA EMS 45 DITINJAU DARI ASPEK KEAUSAN ELEKTRODA PENGURANGAN MASSA DAN KEHALUSAN PERMUKAAN

Oleh:  
Tiwan

Staf Pengajar FT UNY

### Abstract

The aim of this research is to analyze characteristic of Cu-based material that has been used as electrode in EDM process. The research variables are wearness of electrode, weightloss and roughness of specimens of EMS 45 steel. Experimental methode was used in this research, which consists of: preparation process and EDM test, EDM process, characterization and testing process. Analysis was done based on characterization and testing process. Testing process comprises electrode wearness, weightloss and roughness of the specimen.

The result show that wearness of brass electrode is higher than bronze electrode. However, bronze electrode gives rapid weight loss. At current of 45 A and pulse on time 3 s, weight loss of EMS 45 steel was 1,8 time faster using bronze electrode, but wearness of brass electrode was 18,67 times faster. Surface roughness of EMS 45 steel was smoother using bronze electrode. Weight loss of EMS 45 steel and electrode wearness affected by current and pulse on time. Nevertheless, surface roughness of EMS 45 influenced by current, but not by pulse on time.

Keywords: EDM Process, electrode, bronze, brass, weight loss, wear, roughness, current, pulse on time

## PENDAHULUAN

Pada proses permesinan menurut cara penghilangan atau pemakanan material dapat dibedakan menjadi dua yaitu, proses permesinan konvensional dan proses permesinan non konvensional. Proses permesinan konvensional melakukan proses penghilangan atau pemakanan dengan jalan penyayatan dengan mata potong yang selalu menghasilkan tatal atau geram, sedangkan pada proses permesinan non konvensional proses pemotongan atau penghilangan material dengan jalan abrasi dengan menggunakan aliran cairan atau aliran listrik atau paduan aliran cairan dan listrik. Salah satu proses permesinan modern yaitu EDM (*Electro Discharge Machine*)

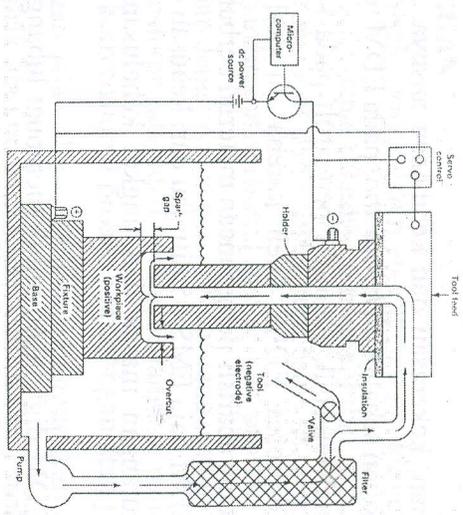
Dalam proses EDM pemakanan atau penghilangan material dengan mekanisme electro thermal. Pembentukan permukaan benda kerja dengan jalan abrasi yang disebabkan loncatan elektron dari elektroda dan permukaan benda kerja. Proses permesinan EDM banyak digunakan pada industri pembuatan alat potong dan cetakan (*tool and dies*).

Sebagai pembentuk dalam proses ini yaitu bentuk dari elektroda yang digunakan. Elektroda yang digunakan terdiri bahan atau material konduktor atau penghantar listrik. Elektroda biasanya menggunakan material baja, tembaga dan tungsten. Dilihat dari sifat material, masing-masing material memiliki sifat tersendiri. Material baja, tembaga dan tungsten memiliki sifat penghantar listrik yang berbeda. Demikian juga sifat mekanisnya juga berbeda,

seperti kekuatan, kekerasan dan ketahanan ausnya. Sehubungan dengan pemakaian sebagai *elektrode tool* pada EDM tentu masing-masing material tersebut memiliki pengaruh pada kualitas hasil benda yang diproses EDM. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang analisis penggunaan material berbahan dasar Cu pada proses EDM baja EMS 45 ditinjau dari keausan elektroda itu sendiri, pengurangan massa dan tingkat kehalusan permukaan benda kerja.

Mesin EDM digunakan untuk membuat lubang, celah, atau rongga-rongga pada suatu bahan. Bahan yang digunakan merupakan bahan penghantar listrik. Cara kerjanya yaitu dengan mengendalikan pengkisan bahan melalui peleburan atau penguapan yang disebabkan oleh pelepasan loncatan api frekuensi tinggi. Benda kerja pada posisi anoda dan perkakas pada posisi katoda. Dalam prosesnya benda kerja dan perkakas dicelup dengan fluida dielektrik dengan celah loncatan api antara 0,005 inci hingga 0,020 inci.

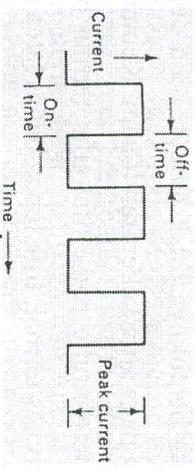
Keuntungan utama proses EDM adalah dapat membuat lubang atau celah dengan ketelitian tinggi dan dapat membuat celah atau lubang yang bentuknya tidak teratur. Laju pelepasan logam tidak tergantung pada sifat kekerasan logam. Kemampuan laju pelepasan logam tergantung pada sifat-sifat termal benda tersebut, seperti konduktivitas termal, titik lebur, panas laten peleburan, dan penguapan.



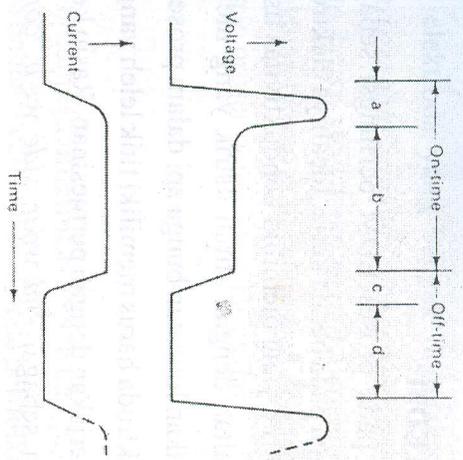
Gambar 1. Skema proses EDM

**Mekanisme Pengurangan Massa pada Benda kerja**

Massa umumnya diartikan sebagai berat atau bobot suatu benda. Dalam proses EDM benda kerja akan mengalami pengu-rangan massa atau bobot akibat terjadinya erosi. Erosi terjadi karena adanya loncatan bunga api antara elektroda dan benda kerja yang mengakibatkan terkelupasnya permukaan material.



Gambar 2. Gelombang Square pada Proses EDM



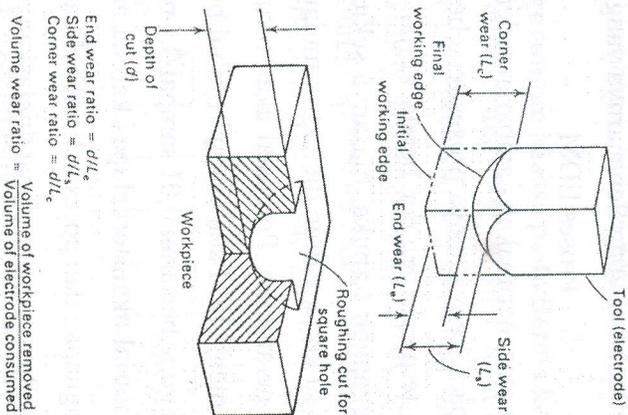
Gambar 3. Gelombang yang Sebenarnya yang Terjadi pada Proses EDM

**Proses EDM**

Gambar 2 di atas merupakan gambaran sederhana proses kerja EDM, namun pada kenyataannya proses tersebut lebih kompleks. Ketika elektroda terpisah dengan benda kerja, potensial dalam keadaan sirkuit tegangan terbuka, biasanya sekitar 100 V. ketika elektroda mendekati kerja, cairan dielektrik mulai terionisasi pada saat titik terakhir penutupan. Potensial akan turun (sekitar 35 V) ketika arus mulai mengalir. Pada saat ini timbul bunga api. Hal ini terjadi pada *spark gap* berjarak 0,01 sampai 0,4 mm. Dengan adanya bunga api material akan terkelupas karena adanya fenomena peleburan dan penguapan dan goresan kecil kelihatan pada elektroda dan benda kerja. Proses di atas dapat dijelaskan pada gambar 3.

## Elektroda pada EDM

Elektroda pada proses EDM berfungsi sebagai alat (*tool*) pembentuk rongga pada benda kerja. Idealnya elektroda pada EDM terbuat dari material yang memiliki konduktivitas listrik yang tinggi, karena berkaitan dengan aliran listrik yang melalui elektroda untuk menghasilkan loncatan bunga api dalam proses pengurangan benda kerja. Elektroda harus memiliki titik leleh yang cukup tinggi, kuat, mudah dikerjakan dengan permesinan. Rasio keausan elektroda digambarkan sebagai *end wear*, *side wear*, *corner wear* dan *volume wear* seperti terlihat pada gambar 4.



Gambar 4. Mekanisme Pengurangan Massa dan Keausan Elektroda pada Proses EDM

Material elektroda yang banyak digunakan dalam proses EDM terdiri dari *graphite*, *copper*, *copper tungsten*, *silver tungsten*, *copper graphite*, *brass*, *steel* dan *tungsten*. Penentuan jenis elektroda dalam pemakaian biasanya di selaraskan dengan material benda kerja, kemudahan proses pemesinan, harga dan kemudahan didapat di pasaran.

### Keausan

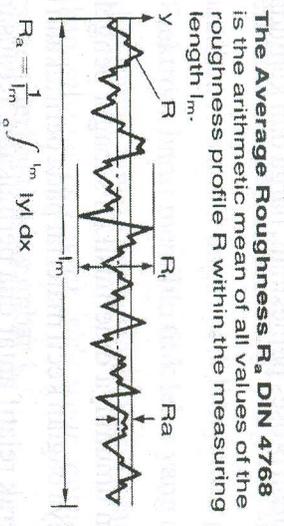
Keausan umumnya didefinisikan sebagai pengelupasan atau perpindahannya bagian kecil material pada permukaan benda kerja, akibat dari gerak relatif antar dua permukaan. Keausan bukan merupakan sifat dasar dari material tetapi respon dari suatu penggunaan yang berhubungan dengan gerak. Suatu material menjadi aus oleh beberapa mekanisme seperti adhesi, abrasi, erosi dan oksidasi. Perbedaannya terlelak pada kondisi temperatur, pembebanan dan kondisi permukaan.

Umumnya keausan diukur dari pengurangan massa atau berat, pengurangan volume, kelulusan atau kedalaman abrasi. Atau dapat pula diukur secara tidak langsung terhadap perubahan dimensi secara geometri. Teknik pengukuran keausan tergantung dari taraf kemampuan ukur dari specimen dan alat ukur yang tersedia.

### Kehalusan (Kekasaran) permukaan

Kehalusan permukaan benda kerja terbentuk akibat proses pengerjaan, baik itu melalui penetakan atau pemesinan. Ada

beberapa cara untuk menyatakan tingkat kehalusan permukaan. Pada umumnya digunakan yaitu tingkat kehalusan yang dinyatakan dengan penyimpangan rata-rata aritmetik dari garis rata-rata profil. Hal ini didukung dengan perkembangan alat ukur yang tersedia.

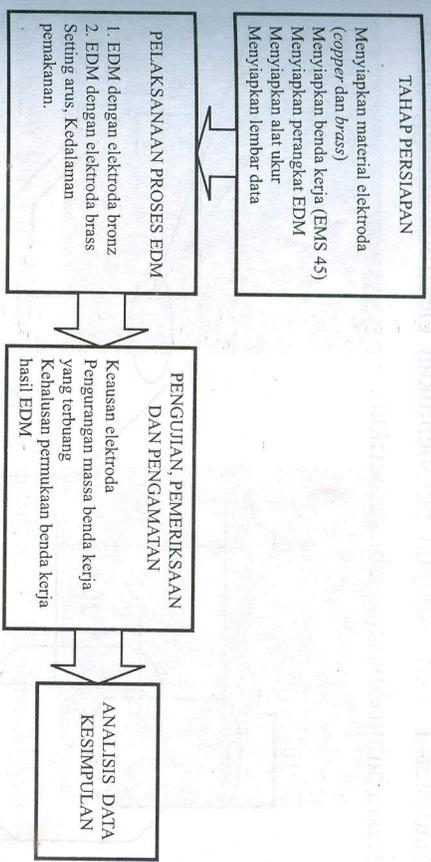


Gambar 5. Pengukuran Kekasaran Rata-rata

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini menitikberatkan pada analisis pengaruh jenis material elektroda pada pengurangan massa dan kehalusan permukaan benda kerja pada proses EDM baja EMS 45. Oleh karena itu sebagai sampel diambil dari material berbahan dasar Cu yang digunakan sebagai elektroda pada proses EDM. Adapun material yang menjadi sampel dalam penelitian ini Tembaga (*Copper*) dan Kuningan (*Brass*). Sedangkan penerapannya dilakukan pada baja EMS 45.

### Alur Proses Penelitian



Gambar 6. Diagram Alir Proses Penelitian

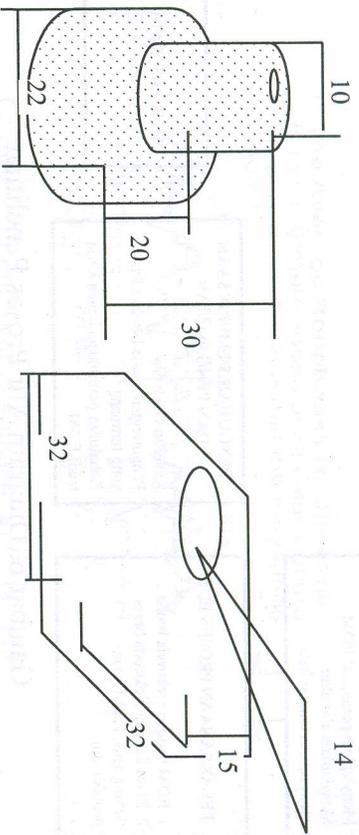
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Pelaksanaan dan Penyajian Data

Mesin EDM yang digunakan pada penelitian ini yaitu mesin EDM King Spark Model YH 120 buatan Taiwan. Elektroda yang digunakan berbahan dasar Cu, yang terdiri dari jenis *brass* dan *bronz*. Adapun komposisi bahan dari elektroda adalah sebagai berikut.

Jenis Elektroda	Komposisi (% berat)					
	Cu	Zn	Sn	Pb	Fe	P
Brass	66	28	5	0,1	0,07	0,03
Bronz	94	0,3	5,4	0,05	0,10	0,10

Kedua elektroda berasal dari bahan batangan dengan diameter 1 inch. Adapun pembentukan elektroda menggunakan mesin bubut dibentuk sebagai berikut :



Gambar 7. Elektroda sebagai Tool / Gambar 8. Benda Kerja

Material yang dikerjakan baja EMS 45 dalam bentuk batangan segi empat dengan ukuran seperti gambar di atas.

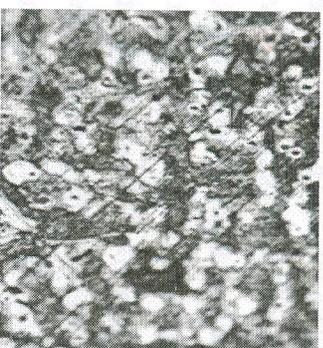
Adapun karakteristik elektroda yang digunakan adalah sebagai berikut.

Sifat Fisis Mekanis	Material Elektroda	
	Bronz	Brass
Melting point (C)	1049	932
Relatif thermal conductivity (% IACS)	48	30
Electrical conductivity (% IACS)	48	28
Hardness (Hv)	86	137

Jika dilihat struktur mikro dari kedua material elektroda adalah sebagai berikut:



Gambar 9. Struktur Mikro Bronz (40 x)



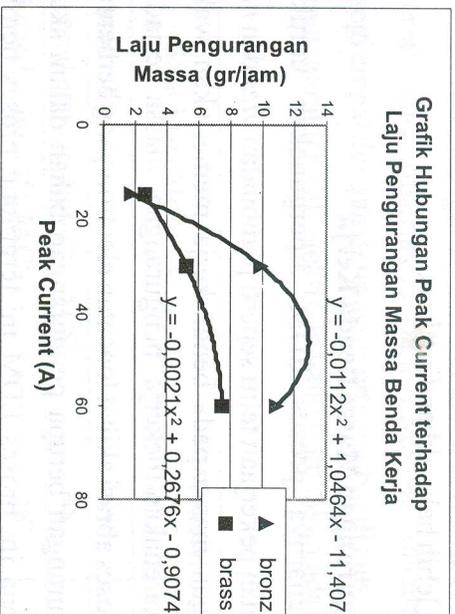
Gambar 10. Struktur Mikro Brass

Kedua material memiliki struktur yang berbeda. *Bronz* memiliki butir yang lebih halus dibanding *brass*.

### Laju Pengurangan Massa Benda Kerja

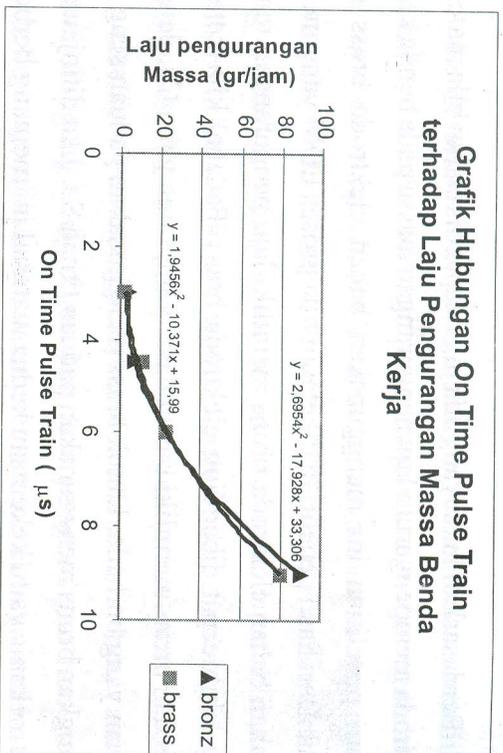
Sebenarnya proses EDM dipergunakan untuk proses finishing dan pekerjaan teliti seperti pembuatan *dies* dan *moulding*. Pengurangan massa pada benda kerja memerlukan waktu yang lama, dikarenakan bekerja pengurangan massa terjadi karena adanya proses abrasi akibat loncatan electron yang berbentuk bunga api. Pengurangan berupa pengurangan bahan dalam skala atom. Oleh karena itu proses EDM ini tergolong proses pembentukan yang sangat teliti.

Berdasarkan hasil pengamatan dari eksperimen yang dilakukan dapat diketahui bila laju pengurangan massa dipengaruhi oleh arus yang diberikan (*Peak Current*) lamanya waktu singgung elektroda pada benda kerja (*On Time Pulse Train*) dan bahan elektroda yang digunakan sebagai tool. Kondisi tersebut dapat dilihat pada gambar 11 dan 12. dimana dapat diketahui bila pengurangan massa dipengaruhi oleh faktor arus, waktu singgung dan bahan elektroda. Dari tabel tersebut dapat diketahui pula bila semakin besar arus dan waktu singgung yang digunakan laju pengurangan massa pada benda kerja semakin besar. Artinya bila digunakan arus yang besar dan waktu singgung yang lama maka proses pengerjaan untuk volume yang sama waktu yang diperlukan lebih singkat.



Gambar 11. Grafik Hubungan *Peak Current* terhadap Laju Pengurangan Massa Benda Kerja

Berdasarkan fakta yang ada juga dapat diketahui bila material elektroda mempengaruhi laju pengurangan massa pada benda kerja. Dalam penelitian ini menggunakan bahan elektroda brass dan brons. Dari hasil penelitian diketahui bila proses EDM yang menggunakan bahan elektroda brons memiliki laju pengurangan massa yang lebih cepat dibanding elektroda brass. Padahal kita ketahui brass dan brons memiliki bahan dasar yang sama yaitu Cu, dengan paduan yang berbeda. Untuk brass menggunakan paduan seng Zn, sedangkan brons menggunakan paduan timah Sn. Jika ditinjau dari sifat mekanis yaitu kekerasan kedua material ini memang berbeda, brass kekerasannya 137 Hv dan bronz kekerasannya hanya 86 Hv. Kekerasan brass lebih tinggi dibanding bronz. Jika dilihat dari sifat kekerasannya belum bisa menjawab mengapa laju pengurangan massa material *bronz* lebih cepat dibanding elektroda *brass*. Selanjut ditinjau dari konduktivitasnya, dimana *bronz* memiliki konduktivitas yang lebih tinggi dibanding *brass* (48 dan 30). Konduktivitas memberi konsekuensi pada arus yang dialirkan. Semakin tinggi konduktivitas maka arus yang dialirkan semakin sempurna, karena hambatan kecil. Proses EDM pengurangan massa karena loncatan elektron dari arus yang dialirkan Sehingga wajar bila laju pengurangan massa benda kerja oleh *bronz* lebih cepat, karena memiliki konduktivitas yang lebih tinggi.



Gambar 12. Grafik Hubungan *On Time Pulse Train* terhadap Laju Pengurangan Massa Benda Kerja

### Keausan Elektroda

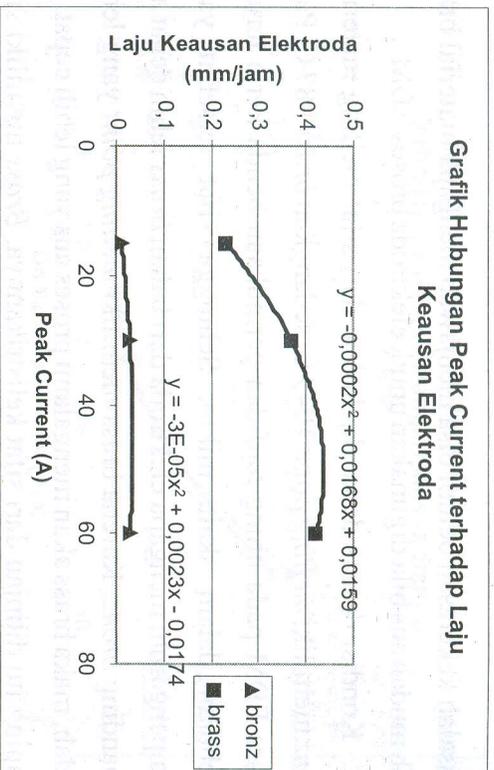
Tingkat keausan elektroda juga dipengaruhi oleh arus, waktu singgung dan jenis material elektroda yang digunakan. Elektroda *brass* memiliki tingkat keausan yang lebih tinggi dibanding elektroda jenis *bronz*. Yang menjadi pertanyaan mengapa tingkat keausan kedua material yang berbahan dasar sama memiliki tingkat keausan yang berbeda. Bila dilihat dari kekerasannya di atas telah dijelaskan bahwa kekerasan *brass* lebih tinggi dibanding kekerasan *bronz*. Menurut sifat mekanis umumnya logam yang keras memiliki tahanan aus yang lebih baik dari pada logam yang lunak. Namun kenyataananya untuk proses EDM itu tidak berlaku, karena untuk bahan *brass* yang lebih keras lebih cepat aus dalam penggunaannya. Tentu

masalah kekerasan belum bisa menjawab mengapa material *brass* lebih mudah aus bila digunakan untuk elektroda proses EDM

Kondisi di atas dapat dijelaskan dari sifat melting material.

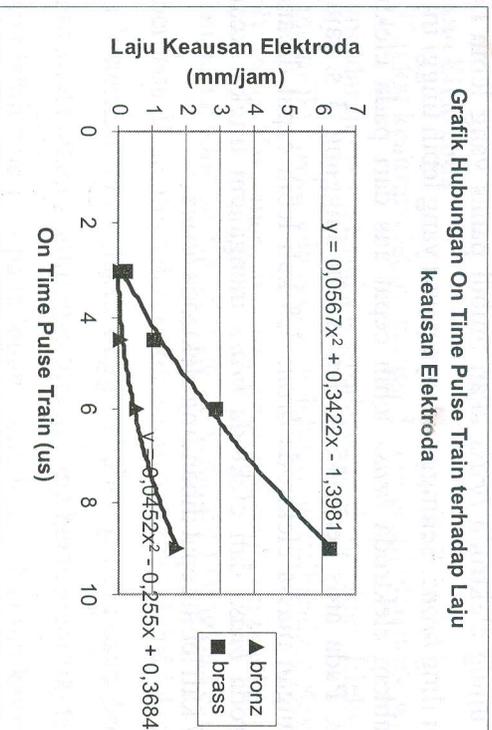
*Bronz* memiliki *melting point* 1049 C, sedangkan *brass* 987 C. Pada proses EDM pada ujung *tool* dan permukaan benda kerja terjadi peleburan dalam skala mikro. Sehingga sifat tersebut yang mempengaruhi mengapa elektroda dari bahan *brass* lebih cepat aus di banding *bronz*. Karena *brass* memiliki *melting point* yang lebih rendah, maka *brass* akan mengalami proses aus yang lebih cepat. Di samping itu ditinjau dari sifat kelistrikananya. *Brass* memiliki sifat konduktivitas yang lebih rendah dari *bronz*, artinya hambatan kelistrikan *brass* lebih tinggi. Karena hambatan lebih tinggi maka pada ujung elektroda *brass* akan timbul panas yang lebih tinggi dibanding *bronz*. Sehingga adanya panas yang lebih tinggi ini menyebabkan elektroda *brass* lebih cepat aus dari pada elektroda *bronz*. Pada arus kerja 45 A dan waktu singgung 3 s, laju pengurangan massa elektroda *bronz* 1,8 kali lebih cepat dibanding elektroda *brass* dan elektroda *brass* mengalami tingkat keausan 18,67 kali lebih cepat dibanding elektroda *bronz*.

Grafik Hubungan Peak Current terhadap Laju Keausan Elektroda



Gambar 13. Grafik Hubungan Peak Current terhadap Laju Keausan Elektroda

Grafik Hubungan On Time Pulse Train terhadap Laju keausan Elektroda

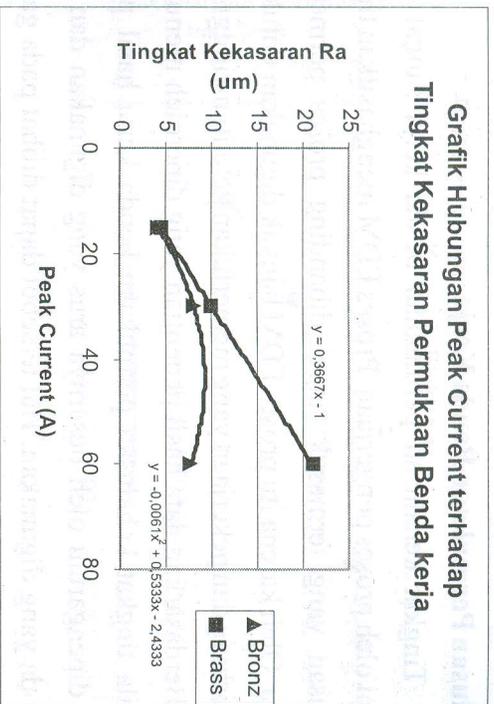


Gambar 14. Grafik Hubungan On Time Pulse Train terhadap Laju Keausan Elektroda

### Kehalusan Permukaan Benda Kerja

Tingkat kehalusan permukaan benda kerja sangat dipengaruhi oleh proses pengerjaan. Proses EDM menghasilkan tingkat kehalusan yang termasuk tinggi dibanding proses pemesinan lainnya. Oleh karena itu proses EDM banyak digunakan untuk proses finishing dan pekerjaan yang memerlukan ketelitian tinggi.

Berdasarkan data hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bila tingkat kehalusan permukaan benda kerja hasil proses EDM dipengaruhi oleh besarnya arus yang digunakan dan jenis elektroda yang digunakan. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 15. Berdasarkan gambar di atas dapat dilihat bila elektroda *bronz* menghasilkan permukaan yang lebih halus dibanding dengan menggunakan elektroda *brass*. Besarnya arus yang digunakan juga mempengaruhi tingkat kehalusan permukaan. Semakin besar arus yang digunakan permukaan benda kerja yang diperoleh semakin kasar. Namun dalam penelitian ini menyatakan bila besarnya *On Time Pulse Train* tidak mempengaruhi kekasaran permukaan benda kerja. Kekasaran permukaan benda kerja memiliki harga yang relatif sama yaitu sebesar  $Ra = 4,2-4,3$  mikron.



Gambar 15. Grafik Tingkat Kehalusan Permukaan Benda Kerja

## SIMPULAN

Berdasarkan uraian di atas maka dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Elektroda *bronz* memberikan laju pengurangan massa benda kerja yang lebih cepat di banding elektroda *brass* pada proses EDM baja EMS 45.
2. Elektroda *brass* mengalami laju keausan yang lebih tinggi di banding *bronz*.
3. Pada arus kerja 45 A dan waktu singgung 3 μs, laju pengurangan massa elektroda *bronz* 1,8 kali lebih cepat dibanding elektroda *brass* dan elektroda *brass* mengalami tingkat keausan 18,67 kali lebih cepat dibanding elektroda *bronz*.

4. Elektroda *bronz* memberikan tingkat kehalusan yang lebih halus dibanding penggunaan elektroda *brass*.
5. Besarnya *peak current* mempengaruhi laju pengurangan massa benda kerja dan laju keausan elektroda. Semakin tinggi *peak current* semakin besar laju pengurangan massa benda kerja dan laju keausan elektroda.
6. Besarnya *On Time Pulse Train* mempengaruhi laju pengurangan massa benda kerja dan laju keausan elektroda. Semakin besar *On Time Pulse Train* akan semakin besar pula laju pengurangan massa benda kerja dan laju keausan elektroda.
7. Tingkat kehalusan benda kerja dipengaruhi oleh besarnya *peak current*, dimana semakin besar *peak current* semakin kasar permukaan yang dihasilkan. Namun besarnya *On Time Pulse Train* tidak mempengaruhi tingkat kekasaran permukaan benda kerja.

## Daftar Pustaka

- Budinski. Kenneth, Michael., 1999. *Engineering Materials*, Prentice-Hall International. London.
- Callister, W.D., 1997. *Material Science and Engineering*, John Wiley & Sons, Inc. Canada,.
- Fuller, John E, 1997. *Electrical Discharge Machining*, ASM Metal Handbook.
- Lee, Hwa-Teng, Hsu, Fu-Chuan, Tai, Tzu-Yao, 2003. *Study of Integrity Using the Small are EDM Process with a Copper-*

tungsten Electrode. Materials science and Engineering, Elsevier.

Voort, G F. V, 1984. *Metallography Principle and Practice*, McGraw-Hill,

## PERUBAHAN KADAR PROTEIN TOTAL DAN PROTEIN TERCERNA SELAMA PROSES FERMENTASI TEMPE KACANG TOLO

Oleh:

Nani Ratnaningsih  
Staf Pengajar FT UNY

### Abstract

Kacang tolo (*Vigna unguiculata*) have potency as protein source instead soybean with appropriate processing such as fermentation of tempe. The objective of research was to study the nutrient changing especially total protein and digestible protein content during fermentation of tempe from kacang tolo. The research method was the experimental method with complete block design. Water content was analyzed by thermogravimetry, total protein by micro Kjeldahl, and digestible protein by in vitro method. Data were analyzed by one way anova at significant level 5%. If there are significant different, then is followed with Duncan Multiple Range Test (DMRT). Research result concluded that water content, total protein content, and digestible protein were increasing during tempe fermentation.

Keywords: tempe, kacang tolo, total protein, digestible protein

### PENDAHULUAN

Kacang tolo atau kacang tunggak (*Vigna unguiculata*) merupakan tanaman yang sudah dikenal dan dibudidayakan oleh masyarakat. Tanaman kacang tolo merupakan tanaman semusim dan biasanya tumbuh di daerah yang beriklim tropik dan subtropik (Rukmana dan Yuniarsih, 2000). Selama ini kacang tolo banyak dikonsumsi oleh masyarakat sebagai bahan tambahan dalam masakan seperti sayur brongkos, tetel dan lain-lain. Cara meng-