

**PEMBUATAN LUBANG SARUNG INJEKTOR
DENGAN PROSES *ELECTRIC DISCHARGE MACHINE* (EDM)**

Purnawan (23103017)

A. Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi telah menuntut adanya usaha-usaha untuk perbaikan proses sebagai upaya untuk peningkatan produktivitas dan efisiensi. Perkembangan dalam proses dan teknologi pemesinan terutama disebabkan oleh penemuan material-material baru yang lebih kuat dan lebih keras sehingga dituntut adanya material perkakas yang lebih baik, juga akibat kebutuhan komponen-komponen dengan bentuk-bentuk kontur yang semakin kompleks dan rumit, serta perlunya komponen-komponen dengan tingkat kepresisian yang sangat tinggi. Hal tersebut menuntut adanya suatu mesin perkakas maupun proses pengerjaan yang baru yang tidak dapat dilakukan dengan mesin atau proses yang konvensional. Teknologi baru tersebut dikenal dengan istilah *Non Conventional Machinery*.

Berbagai bentuk *Non Conventional Machinery* telah ditemukan dan dikembangkan. Klasifikasi proses pengerjaan non konvensional dapat dilakukan menurut beberapa aspek, diantaranya : energi yang dibutuhkan, mekanisme proses pengerjaan, transformasi energi untuk proses pengerjaan, dan media untuk transformasi energi. Berdasarkan aspek klasifikasi tersebut terdapat beberapa istilah yang mempergunakan singkatan, antara lain : AJM (*Abrasive Jet Machining*), USM (*Ultrasonic Machining*), CHM (*Chemical Machining*), ECM (*Electro Chemical Machining*), ECG (*Electro Chemical Grinding*), EDM (*Electro Discharge Machining*), LBM (*Laser Beam Machining*), IBM (*Ion Beam Machining*), dan PAM (*Plasma arc Machining*).

Dengan pesatnya kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi tidak menutup kemungkinan akan ditemukan proses lain yang mempunyai kelebihan dibandingkan proses-proses yang telah ada saat ini.

B. Kajian Teori

1. Pengantar Proses *Electric Discharge Machine*

Electric Discharge Machine (EDM) adalah suatu mesin perkakas Non Konvensional yang proses pemotongan material (*material removal*) benda kerjanya berupa erosi yang terjadi karena adanya sejumlah loncatan bunga api listrik secara periodik pada celah antara katoda (pahat) dengan anoda (benda kerja) di dalam cairan *dielektrik*.

Proses *Electric Discharge Machine* (EDM) memiliki kemampuan dasar, diantaranya :

- (1) mampu mengerjakan metal atau paduan yang sangat keras yang tidak mudah untuk dikerjakan dengan proses pemesinan konvensional, sehingga proses EDM banyak digunakan dalam pembuatan peralatan-peralatan pembentuk (cetakan) dan perkakas pemotong yang dibuat dari baja yang dikeraskan, Karbida, Tungsten, dll.
- (2) Mampu mengerjakan kontur permukaan benda kerja yang kompleks, dengan dimensi sama secara berulang-ulang selama proses pembentukan tidak membutuhkan gerakan elektroda diluar jangkauan gerakan utama proses *Electric Discharge Machine* (EDM).

Selain kemampuan dasar di atas proses EDM juga memiliki beberapa keuntungan, diantaranya :

- (a) *Handling* benda kerja di atas mesin tidak rumit
- (b) Permukaan benda kerja hasil proses EDM relatif halus
- (c) Tingkat kebisingan rendah
- (d) Kemudahan dalam pembuatan elektroda

Namun demikian, proses EDM juga mempunyai beberapa kerugian, diantaranya :

- (a) Mesin EDM dan perlengkapannya masih relatif mahal
- (b) Proses erosi benda kerja sangat kecil, sehingga waktu operasinya relatif lama
- (c) Harus dioperasikan oleh operator yang tidak elergi terhadap cairan dielektrik.

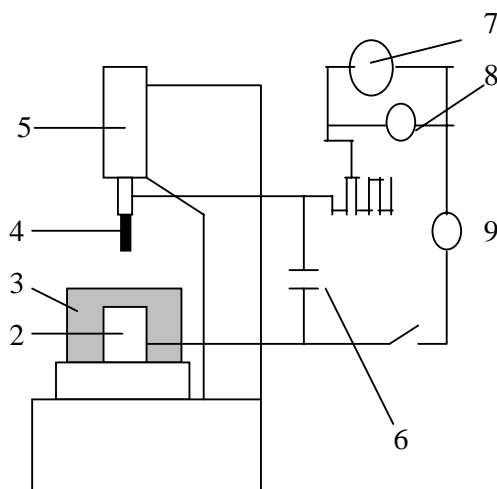
Proses pengerjaan dengan EDM dapat dikelompokkan secara garis besar ke dalam bentuk-bentuk proses sebagai berikut :

- (1) *Sinking Procces* ;
 - (a) *Driling*
 - (b) *Die sinking*
- (2) *Cutting process* ;
 - (a) *Slicing* dengan pahat yang berupa keping yang diputar
 - (b) *Slicing* dengan pahat yang berupa pita metal
 - (c) *Cutting* dengan pahat yang berupa kawat (wirecut)
- (3) *Grinding procces* :
 - (a) *Extrenal grinding*
 - (b) *Internal grinding*
 - (c) Gerinda permukaan atau gerinda bentuk.

2. Prinsip Kerja

Material removal yang berupa erosi terjadi akibat adanya loncatan bunga api listrik diantara elektroda dan benda kerja dalam cairan dielektrik. Loncatan bunga api listrik terjadi apabila beda tegangan antara pahat dan benda kerja melampaui "*break down voltage*" celah dielektrik. *Break down voltage* bergantung pada :

- (a) Jarak terdekat antara elektroda (pahat) dengan benda kerja
- (b) Karakteristik tahanan dari cairan dielektrik
- (c) Tingkat kotoran pada celah diantara elektroda dengan benda kerja.
- (d) Jenis elektroda yang digunakan



Keterangan :

- 1. Meja mesin EDM
- 2. Benda kerja
- 3. Cairan dielektrik
- 4. Elektroda
- 5. Kepala mesin EDM
- 6. Rangkaian kapasitor
- 7. Generator arus pulsa
- 8. Voltmeter
- 9. Amperemeter

Gambar 1. Skema Proses EDM

Proses terjadinya loncatan bunga api listrik diantara elektroda dan benda kerja adalah sebagai berikut:

Pengaruh medan listrik yang ada diantara elektroda dan benda kerja menyebabkan terjadinya pergerakan ion positif dan elektron masing-masing menuju kutub yang berlawanan sehingga terbentuklah saluran ion yang bersifat konduktif. Pada kondisi tersebut arus listrik dapat mengalir melalui saluran ion dan terjadilah loncatan bunga api listrik.²

Proses terbentuknya saluran ion tersebut dapat diuraikan sebagai berikut :

- (1) Dengan adanya medan listrik antara elektroda dengan benda kerja, elektron-elektron bebas yang terdapat dalam permukaan elektroda akan tertarik menuju anoda. Dalam pergerakannya menuju benda kerja elektron-elektron yang berenergi kinetis ini akan bertubrukan dengan molekul-molekul dielektrik tersebut.
- (2) Dalam proses tumbukan antara elektron bebas dengan molekul dielektrik terjadi dua macam keadaan :
 - (a) tumbukan biasa, dimana elektron tersebut berkurang energi kinetisnya
 - (b) bila energi kinetis elektron bebas tersebut demikian tingginya sehingga terjadi tumbukan yang menghasilkan elektron baru yang berasal dari molekul dielektrik. Molekul dielektrik yang telah kehilangan elektronnya itu akan menjadi ion yang bermuatan positif dan akan tertarik ke arah katoda.
- (3) Dengan adanya tumbukan elektron dengan molekul yang menghasilkan elektron-elektron baru dan juga membentuk ion-ion positif yang baru maka terbentuklah saluran ion.
- (4) Dengan terbentuknya saluran ion tersebut maka tahanan listrik pada saluran tersebut menjadi rendah sekali, sehingga terjadilah pelepasan energi listrik dalam waktu yang sangat singkat (pulsa energi listrik) berupa loncatan bunga api listrik.

Mekanisme pengerjaan material benda kerja (*material removal*) di dalam proses EDM dapat diuraikan sebagai berikut :

Setiap loncatan bunga api listrik yang terjadi, menyebabkan suatu pemusatan aliran elektron yang bergerak dengan kecepatan tinggi dan menumbuk permukaan benda kerja. Bagian permukaan benda kerja ini akan mengalami kenaikan temperatur sekitar $8000\text{ }^{\circ}\text{C}$ - 12.000°C dan akan menyebabkan pelelehan lokal pada bagian tersebut. Kondisi seperti ini terjadi pula pada permukaan pahat. Pada saat yang bersamaan terjadi penguapan (vaporisation) baik pada permukaan benda kerja, pahat, maupun dielektrik. Kenaikan temperatur menyebabkan membesarnya volume maupun tekanan gelembung uap tersebut.

Setelah terjadinya loncatan bunga api listrik maka aliran listrik terhenti, menyebabkan penurunan temperatur secara mendadak, mengakibatkan gelembung uap tersebut mengkerut dan menyebabkan bagian material yang leleh tersebut akan terpancar keluar dari permukaan meninggalkan bekas berupa kawah-kawah halus pada permukaan material. Bagian-bagian yang terpancar ini secepatnya membeku kembali berbentuk partikel-partikel halus yang terbawa pergi oleh aliran cairan dielektrik.

Proses erosi yang terjadi pada permukaan elektroda (pahat atau benda kerja) adalah asimetris. Proses erosi yang terjadi pada pahat menyebabkan keausan pahat, sedangkan proses pengerjaan material (*material removal*) adalah proses erosi pada permukaan benda kerja. Proses erosi yang asimetris pada permukaan elektroda tersebut bergantung kepada : polaritas, konduktivitas panas dari material elektroda, titik leleh, interval waktu dan intensitas loncatan bunga api listrik yang terjadi. Dengan mengatur parameter di atas memungkinkan untuk memperoleh proses erosi sebanyak 99,5 % terjadi pada permukaan benda kerja sedang 0,5% terjadi pada pahat.

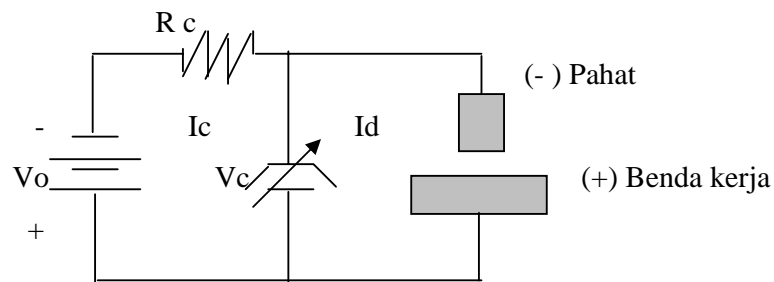
Proses erosi asimetris tersebut disebabkan karena kecepatan tumbukan oleh ion-ion positif terhadap katoda lebih rendah dari pada kecepatan tumbukan oleh elektron-elektron terhadap anoda. Total energi tumbukan oleh seluruh elektron adalah lebih besar dibandingkan dengan energi tumbukan oleh ion-ion positif.

3. Sistem Kelistrikan EDM

Terdapat beberapa macam rangkaian listrik untuk menyediakan energi listrik yang digunakan untuk membangkitkan loncatan bunga api listrik diantara elektroda dan benda kerja, namun pada dasarnya kesemua rangkaian tersebut mempergunakan satu kapasitor yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang akan dilepaskan pada proses pengerjaan benda kerja.

Jenis-jenis rangkaian listrik yang digunakan pada EDM antara lain ; *Basic*, Tahanan-Kapasitor (R-C) atau *Relaxation type*, *Rotary Impulse Generator* (RIG), *Controlled Pulse Vacuum Tube*, dan *Controlled Pulse Transistor*.

Salah satu rangkaian diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 2. Rangkaian *Relaxation*

Pada rangkaian di atas, di dalam operasi normal (tidak terjadi *short circuit*) maka harga tahanan R mempengaruhi cepat lambatnya pengisian kapasitor C. Apabila *break down voltage* telah dilampaui, maka terjadilah pelepasan energi listrik pada celah dielektrik, kemudian proses pengisian kapasitor terulang kembali. Siklus tersebut terjadi berulang kali secara periodik.

Beberapa parameter listrik yang berhubungan dengan rangkaian diatas dijelaskan sebagai berikut :

Arus listrik yang mengalir pada sirkuit pengisian :

$$I_c = (V_0 - V_c) / R_c$$

Tegangan pada kondensator :

$$V_c = V_0 (1 - e^{-t / R_c C})$$

Rc C dinamakan *time constan* yaitu waktu yang dibutuhkan untuk mengisi kondensator sehingga tegangan kondnsator mencapai harga 0,638 tegangan pengisi (Vo).

Energi yang diberikan kepada rangkaian pelepas :

$$E_n = ((V_o^2 \cdot \tau) / Rc) (\frac{1}{2} + \frac{1}{2} e^{-2t/\tau} - e^{-t/\tau})$$

$$\text{dimana } \tau = Rc C$$

Daya listrik rata-rata yang diberikan kepada rangkaian pelepas :

$$P_d \text{ avg} = ((V_o^2 / Rc) (\tau / \tau_c) (\frac{1}{2} + \frac{1}{2} e^{-2tc/\tau} - e^{-tc/\tau}))$$

dimana $tc / \tau = 1,26$, sehingga :

$$\begin{aligned} V_c &= V_o (1 - e^{-1,26}) \\ &= 0,76 V_o \end{aligned}$$

Dapat disimpulkan bahwa untuk pelepasan daya listrik maksimum maka tegangan kapasitor harus sekitar $\frac{3}{4}$ kali tegangan *power supply*.

Arus pelepasan energi listrik :

$$I_d = V_c / R_{LS}$$

Dimana R_{LS} adalah tahanan total dari bagian peloncatan bunga api listrik yang terdiri dari tahanan elektroda kabel RL dan tahanan dari saluran ion RS.

Tegangan pada kapasitor :

$$V_c = V_{co} e^{-t/R_{LS} C}$$

Besarnya energi yang didisipasikan pada tahanan R_{LS} adalah :

$$W_d = \frac{1}{2} C V_{co}^2$$

4. Penentuan *Rate of Metal Removal* pada Rangkaian R-C

Penentuan *Rate of Metal Removal* (RMR) sangat berguna untuk perhitungan waktu kerja mesin serta kalkulasi ongkos pemesinan.

Dari persamaan : $V_c = V_o (1 - e^{-t/R_c C})$ didapat :

$$t = Rc \cdot C \ln (1 / (1 - V_c / V_o))$$

Frekwensi pengisian muatan listrik pada kapasitor :

$$f_c = 1/t = (1/Rc) \left(\frac{1}{\ln 1/(1 - V_c/V_o)} \right)$$

Energi yang dilapaskan setiap bunga api listrik adalah $\frac{1}{2} CV_c^2$, sehingga total energi per detik adalah :

$$W = \frac{1}{2} f_c CV_c^2$$

Rate of Metal Removal pada mesin EDM dengan mempergunakan rangkaian R-C adalah :

$$RMR = \frac{1}{2} f_c CV_c^2 \quad \text{atau} \quad RMR = \frac{1}{2} (K_f / R_c) \cdot V_c^2$$

Dimana $K_f = 1 / (\ln (1 / 1 - V_c/V_o))$

Dapat disimpulkan bahwa RMR berbanding terbalik dengan Rc. Apabila Rc diperkecil akan menaikkan harga RMR, tetapi harga Rc tidak boleh lebih kecil dari Rc kritis. Harga Rc kritis adalah suatu limit bawah dari tahanan Rc sedemikian sehingga apabila $R_c < R_c$ kritis akan mengakibatkan terjadinya busur listrik (*electrical arcing*) yang akan merusak pahat dan benda kerja.

Volume kawah yang terjadi :

$$V_c = \pi/6 h_c (3/4 D_c^2 + h_c^2)$$

Dimana : h_c = tinggi kawah = $K_1 W_p^{1/3}$, $W_p = \frac{1}{2} CV_c^2$

$$D_c = \text{diameter kawah} = K_2 W_p^{1/3}$$

K_1 = Konstanta material pahat

K_2 = Konstanta cairan dielektrik

Secara teoritis, besarnya kawah yang terjadi dapat ditentukan dengan rumus :

$$V_c = 1,42 CV_c^2$$

Apabila frekwensi loncatan bunga api listrik f_c per detik, maka *Rate of Metal Removal* per detik adalah :

$$RMR = V_c t_c = 1,42 f_c \cdot C \cdot V_c^2$$

Pengaruh dari masing-masing komponen elektronik terhadap RMR adalah sebagai berikut :

- (a) RMR berbanding terbalik dengan Rc
- (b) RMR berbanding lurus dengan C pada Rc konstant.

5. Material Elektroda dan Benda Kerja

Secara teoritis setiap material yang bersifat konduktor listrik dapat dipergunakan sebagai elektroda pahat di dalam proses EDM. Sifat utama dari elektroda adalah memiliki titik leleh yang tinggi dan tahanan listrik yang rendah.

Material elektroda pahat dalam proses EDM dikategorikan dalam tiga kelompok, yaitu ;

- (1) Elektroda Metal : Tembaga (Cu), *Tellurium –Copper*, *Chromium-Copper*, *Zinc-Copper*, Tembaga-Wolfram, *Aluminium Alloy*, Kuningan, Tungsten (*Wolfram*) dan Baja (*Steel*).
- (2) Elektroda Non Metal : Grafit
- (3) Elektoda kombinasi Metal dan Non Metal : Tembaga-Grafit.

Pemilihan jenis material elektroda pahat dipengaruhi oleh berbagai hal, diantaranya adalah jenis material benda kerja, rangkaian kelistrikan yang dipakai, bentuk kontur yang harus dikerjakan, *surface* benda kerja yang dihasilkan, harga bahan dan ongkos pembuatan.

Secara umum material benda kerja yang biasa dikerjakan dengan proses EDM adalah baja yang telah dikeraskan, namun dapat pula mengerjakan material lainnya. Ada beberapa kombinasi antara bahan elektroda pahat dan benda kerja yang dikeluarkan oleh CHARMILLES TECHNOLOGIES SA, sebuah produsen EDM. Kombinasi tersebut ditunjukkan dalam tabel berikut :

Tabel 1. Kombinasi material elektroda dan benda kerja

No	Material Elektroda	Material Benda Kerja
1.	Copper	Steel
2.	Grafite	Steel
3.	Steel	Grafite
4.	Tungsten	Carbide
5.	Tungsten	Copper

6. Cairan Dielektric

Cairan dielektric adalah cairan yang digunakan untuk merendam benda kerja dalam proses EDM. Fungsi cairan dielektic dalam proses EDM iantaranya adalah :

- (a) Sebagai pendingin antara elektroda (pahat) dengan benda kerja
- (b) Dalam keadaan terionisasi, berfungsi sebagai konduktor yang memungkinkan terjadinya loncatan bunga api listrik.
- (c) Sebagai media pembawa serbuk-serbuk geram yang terjadi dalam proses pengerjaan material.
- (d) Membantu proses pengerjaan material.

Persyaratan yang harus dimiliki oleh cairan dielektrik antara lain :

- (a) memiliki viskositas / kekentalan yang optimum
- (b) tidak menghasilkan gelembung-gelembung uap atau gas yang membahayakan operator
- (c) tidak mudah terbakar

Tingkat kekentalan dielektrik sangat penting dalam proses EDM. Cairan dengan viskositas tinggi tidak cocok untuk operasi *finishing*, karena bila viskositasnya tinggi maka cairan dielektrik akan susah mengalir melalui celah yang sempit sebaiknya akan memberi efisiensi pengerjaan yang tinggi untuk proses yang kasar (*roughing*).

Titik api yang rendah tidak diharapkan dari cairan dielektrik, karena titik api yang rendah akan menyebabkan mudahnya pembentukan gelembung-gelembung uap yang mengakibatkan menurunnya RMR serta mempertinggi resiko kebakaran.

Terdapat bermacam-macam cairan dielektrik yang dipergunakan dalam proses EDM. Pemilihan cairan dielektrik tergantung dari jenis operasi yang dilakukan. Charmilles meyarankan bahwa untuk proses *finishing* sebaiknya menggunakan cairan dielektrik dengan viskositas $2 - 5 \text{ mm}^2 / \text{s}$ (cSt) dan untuk proses yang umum menggunakan cairan dielektrik dengan viskositas $5 - 10 \text{ cSt}$.

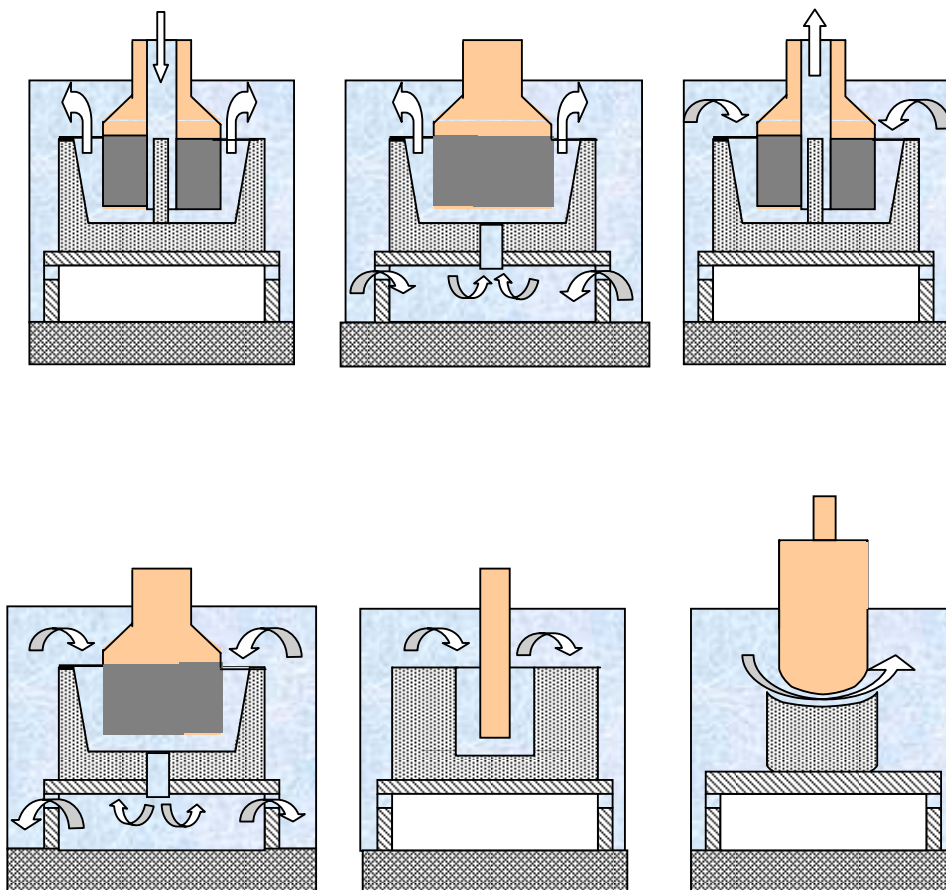
7. *Flushing*

Flushing adalah sirkulasi yang tepat dari cairan dielektrik yang mengalir pada celah antara pahat dan benda kerja. Metode *flushing* yang tepat akan mempertinggi efisiensi proses pengerjaan material. Jika tidak ada *flushing* maka

partikel-partikel benda kerja akan menumpuk pada celah antara pahat dengan benda kerja, yang akan berakibat :

- (a) terjadinya loncatan bunga pai listrik secara tidak normal
- (b) timbulnya efek hubung singkat antara pahat dengan benda kerja
- (c) terjadinya busur api listrik antara pahat dengan benda kerja yang akan merusak kedua benda tersebut.

Secara umum metode *flushing* yang sering digunakan dalam proses EDM meliputi : *Pressure flushing*, *Suction flushing*, *Lift of flushing*, *Interval flushing*, *Lateral flushing*, dan *Combined flushing*. Metode *flushing* ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 3. Metode *flushing*

8. Proses Kerja dengan EDM

Dalam suatu perencanaan pengerjaan dengan mesin EDM, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan diantaranya :

- a. Urutan proses pengerjaan
- b. Pemilihan material untuk pahat
- c. Pengaturan beberapa parameter yang mempengaruhi karakteristik proses EDM, diantaranya :

1) Pada mesin EDM yang menggunakan rangkaian RC atau RLC, parameter dasarnya adalah besarnya kapasitas kapasitor. Kapasitas kapasitor akan mempengaruhi ; *surface finish*, RMR, keausan pahat, gap antara pahat dengan benda kerja.

Parameter sekundernya adalah ; (a) besarnya arus listrik yang dapat diatur dengan mengubah nilai tahanan pada sirkuit pengisian, (b) pengaturan servo yang berpengaruh terhadap perubahan besarnya celah frontal antara pahat dengan benda kerja.

2) Pada mesin EDM yang menggunakan generator pulsa, parameter dasarnya adalah ; (a) polaritas pahat dan benda kerja yang tergantung pada material pahat dan benda kerja, (b) tingkat intensitas arus listrik yang di dalam praktek tingkat intensitas dinyatakan dalam angka-angka tertentu yang mempunyai hubungan dengan besarnya arus, (c) dan waktu pelepasan energi listrik (TA) yaitu periode terjadinya aliran listrik melalui gap.

Parameter sekundernya adalah ; (a) servo dimana pengaturan servo berpengaruh terhadap celah frontal dan *break down voltage*. Servo dengan gap mempunyai hubungan terbalik.,(b) waktu sela (TB) adalah waktu sela antara pulsa-pulsa, yang merupakan periode pengisian kapasitor dan pendinginan celah.

9. Evaluasi Hasil Proses Pengerjaan dengan EDM

Meskipun proses EDM dirancang untuk memperbaiki kelemahan proses pengerjaan dengan cara konvensional, namun benda yang dihasilkannya juga

tidak dapat sempurna. Beberapa efek yang terjadi dalam proses EDM diantaranya adalah :

a) Efek *Tapering*

Tapering adalah penyimpangan dimensi yang berupa ketirusan yang terjadi pada benda kerja yang dikerjakan dengan proses EDM. Besarnya *tapering* yang terjadi pada proses pembuatan lubang diukur dengan menggunakan rumus :

$$\delta_{\text{mak}} = K_3 \left(\frac{\pi}{4} \right) d^2 h$$

dimana : δ_{mak} = *Tapering* maksimum

K_3 = konstanta

d = diameter pahat

h = tebal benda kerja

b) *Over Cut*

Over cut adalah suatu deviasi yang menunjukkan bahwa besarnya diameter lubang yang dikerjakan dengan proses EDM lebih besar dari ukuran elektrodanya. Hal ini terjadi karena selama proses berlangsung terjadi loncatan-loncatan bunga api listrik dalam arah radial dari pahat. Besarnya *over cut* tergantung pada panjang loncatan bunga api listrik yang terjadi.

Rumus empiris besarnya *over cut* diperoleh dari percobaan Lazerenko adalah :

$$\text{Overcut} = A_L C^{1/3} + B_L$$

Dimana A_L dan B_L adalah konstanta-konstanta yang dapat dilihat dari tabel².

c) *Surface Finish*

Surface finish dalam proses EDM tergantung pada energi listrik yang terkandung pada setiap loncatan bunga api listrik. Pada besar arus yang konstan maka peningkatan frekwensi pelepasan bunga api listrik akan menghasilkan *surface finish* yang lebih baik.

C. Pembuatan Lubang Sarung Injektor dengan EDM

Sarung injektor yang dibuat akan digunakan dalam mesin cetak plastik. Pembuatan lubang pada sarung injektor harus dilakukan dengan proses EDM karena beberapa pertimbangan, diantaranya :

- a. Material benda kerja telah dikeraskan melalui proses *hardening* hingga mencapai kekerasan 52 – 56 HRC (lihat tabel lampiran).
- b. Bentuk lubang adalah tirus dengan diameter terkecil 7 mm, sehingga sulit untuk dikerjakan dengan mesin atau proses konvensional.
- c. Kehalusan lubang tidak terlalu diprioritaskan

1. Spesifikasi Mesin

Spesifikasi mesin EDM yang digunakan untuk pembuatan lubang pada sarung injektor ini adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Spesifikasi Mesin EDM

Deskripsi	Standart type
Machine	4 – LC (CHARMILLES TECH. SA)
Travel X, Y, Z	500 x 400 x 260 mm
Work tank	1250 x 700 x 500 mm
Distance worktable – quill plate	150 – 730 mm
Work piece weight, max	1500 kg
Electroda weight, max	250 kg
Machine dimensions, w x d x h	1600 x 1900 x 2800 mm
Machine weight	3200 kg
Impulse generator	
Operating current	75 A
Process monitor with process display	integrated
Electrical cabinet dimension	550 x 550 mm
Dielectric system	
Tank capacity	700 l
Flushing : continuous and pulsating	1,5 bar
sucion	0,5 bar
Suplies	
Supply voltage	380 V (220 – 415 – 440)
Phases and frequency	3 phase, 50 / 60 Hz
Power consumption	7 kVA
Water	Approk 8 l/ min, 15 8C
Compressed air for optional accessories	6 bar

2. Spesifikasi Benda Kerja

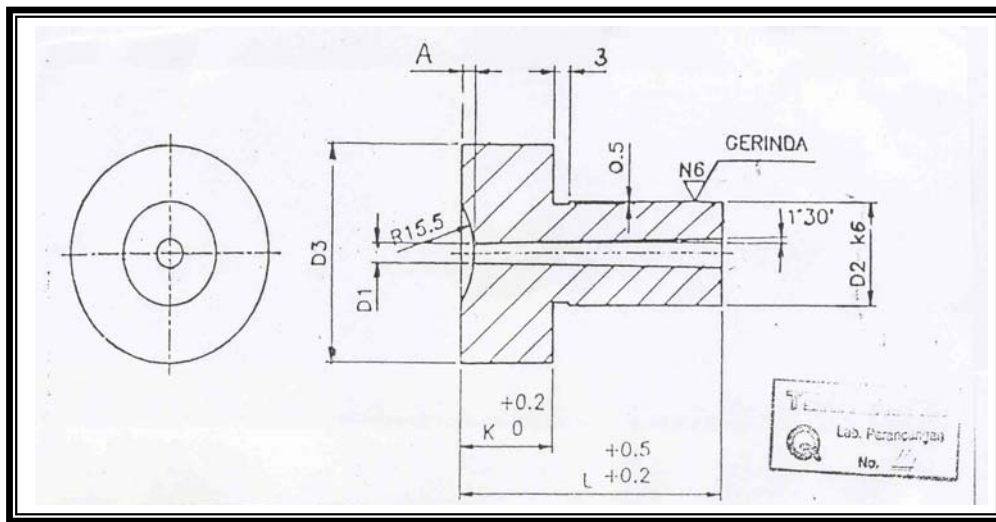
Spesifikasi benda kerja yang dibuat sarung suntikan adalah :

Ukuran : $\varnothing 38 \times 55$ mm

Bahan : AMUTIT

Kekerasan : 52 – 56 HRC

Gambar benda kerja beserta ukurannya secara lengkap ditunjukkan dalam lampiran.



Gambar 4. Dimensi benda kerja

3. Proses Pengerjaan

Berdasarkan gambar kerja dari benda kerja, maka disusunlah langkah-langkah untuk pengerjaan khususnya dengan proses EDM. Secara umum langkah-langkah tersebut meliputi ; pembuatan elektroda, pengesetan/penyetingan mesin, pengoperasian mesin, dan pemeriksaan hasil proses pemesinan.

a. Pembuatan Elektroda

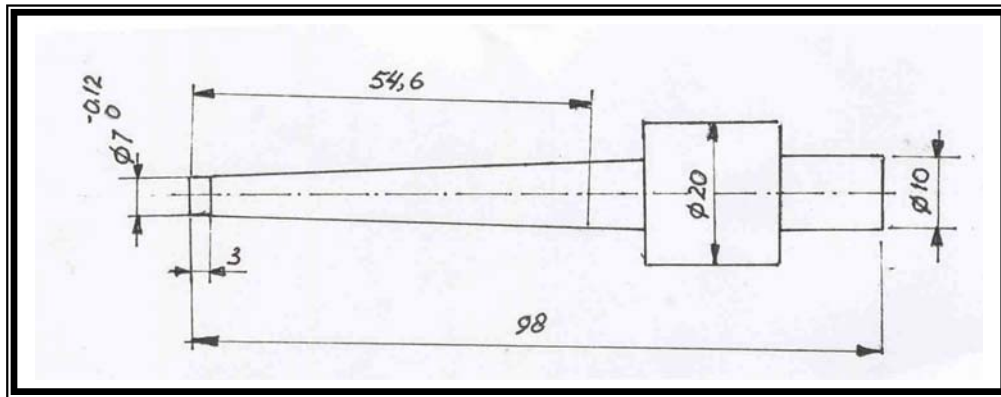
Elektroda dibuat dari bahan Tembaga, yang memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Massa jenis : $8,9 \text{ gr / cm}^3$

Titik leleh : $1083 \text{ }^\circ\text{C}$

Tahanan jenis : $0,0167 \text{ mm}^2 / \text{m}$

Dimensi elektroda pahat adalah sebagai berikut :



Gambar 5. Dimensi elektroda

b. Pengesetan Benda Kerja, Elektroda dan Mesin

Setelah elektroda selesai di buat dan diperiksa geometrinya, langkah selanjutnya adalah memasang dan mengeset benda kerja pada meja. Langkah-langkah yang dilakukan adalah :

- 1) Membuka penutup bak benda kerja
- 2) Meletakkan benda kerja pada meja mesin
- 3) Menyeting posisi benda kerja terhadap meja mesin dengan menggunakan dial indikator dapat juga menggunakan siku.
- 4) Menyalakan pengunci magnetik

Setelah benda kerja terpasang pada meja, langkah berikutnya adalah penyetelan elektroda. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

- 1) Memasang elektroda pada pemegang (*quill plate*)
- 2) Menyeting posisi elektroda dimana posisi elektroda harus paralel dengan sisi benda kerja serta tegak lurus dengan permukaan benda kerja. Untuk penyetingan ini dapat digunakan dial indikator. Penyetingan dilakukan dengan memutar baut penyetel.
- 3) Menyeting posisi nol elektroda untuk menentukan arah gerakan elektroda dan kedalaman pemakanan. Penyetelan dilakukan dengan menggunakan alarm.

Bila langkah-langkah dia atas telah selesai, maka pengoperasian mesin siap dilaksanakan.

c. Pengoperasian Mesin

Setelah langkah seting selesai, maka langkah pengoperasian mesin telah siap dilaksanakan, dengan terlebih dahulu menentukan jenis cairan dielektrik yang digunakan, dan parameter kelistrikan yang sesuai.

Dalam proses pembuatan lubang pada sarung injektor ini, beberapa data dari parameter yang dipilih adalah sebagai berikut :

- 1) Jenis cairan dielektrik : AVIA I.M.E. 110
- Viscositas : 3,4 cSt
- Flash point : 106
- 2) Metode *flushing* : *flushing* sisi
- 3) *Intensity level* : $1/2 = 12,5$ Ampere
- 4) *Pulsa On* : 10
- 5) *Pulsa off* : 7
- 6) *Volt discharging* : 50
- 7) 2 gap (mm) *flushing* : 0,12
- 8) *Surface roughness* (μmRa) : 14
- 9) *Electrode wear length* % : 0,1
- 10) *Material Removal Rate* : $35 \text{ mm}^3 / \text{minute}$

Pemilihan parameter untuk point 3,4,dan 5 telah ditetapkan di panel mesin, sehingga tinggal memilih. Untuk parameter nomor 6 sampai 10 dapat dilihat di tabel *manual working data* mesin.

4. Perhitungan Harga Pemesinan EDM

Perhitungan harga pemesinan merupakan hal yang penting untuk dilakukan sebagai dasar untuk menentukan harga produksi dan harga jual produk lebih lanjut. Dalam makalah ini hanya dibatasi pada perhitungan harga pemesinan EDM saja, tidak termasuk harga pembuatan elektroda.

Berdasarkan data-data dari gambar kerja dan tabel manual working data,serta hasil pengamatan di tempat produksi dapat dilakukan perhitungan-perhitungan sebagai berikut.

a) Penentuan parameter-parameter proses :

(1) Intensity arus listrik

$$\begin{aligned} \text{Luas permukaan frontal} &= \pi / 4 \times D^2 = 0,785 \times 0,986^2 \\ &= 0,763 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Dipilih intensity level 1/2 = 12,5 A

(2) Volume material yang harus dikerjakan :

$$\begin{aligned} V_f &= (\pi \times 9,86^2 \times 188,24) / (4 \times 3) - (\pi \times 7^2 \times 133,64) / (4 \times 3) \\ &= 4076,73 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(3) Material Removal Rate (lihat tabel) = 35 mm³/minute

(4) Waktu Pengerjaan

$$\begin{aligned} T_f &= 4076,73 / 35 = 116,478 \text{ menit} \\ &= 1,9413 \text{ jam (catatan : waktu real 2 jam)}. \end{aligned}$$

(5) Waktu non produktif

Waktu non produktif dihitung berdasarkan kondisi saat proses berlangsung. Data waktu non produktif ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 3. Data waktu non produktif

No.	Jenis Kegiatan	Waktu (menit)
1.	Membuka pintu bak kerja	0,75
2.	Memasang benda kerja	0,80
3.	Menyeting benda kerja	1,20
4.	Memasang elektroda	1,30
5.	Menyeting elektroda	1,50
6.	Menyeting posisi nol dan tebal pemakanan	2,15
7.	Menyeting arah flushing	0,50
8.	Menutup pintu bak kerja	0,75
9.	Menyeting mesin	1,25
10.	Mengisi bak kerja dengan dielektric	10,94
11.	Membawa elektroda mendekati benda kerja	0,55
	Proses pengerjaan berlangsung	

12.	Membawa elektroda ke posisi semula	0,50
13.	Mengosongkan bak kerja	3,42
14.	Mengambil benda kerja	1,12
15.	Memeriksa benda kerja hasil EDM	2,05
16.	Mengambil / membuka elektroda	1,20
	Total waktu non produktif	29,98

b) Penentuan parameter ongkos produksi

Waktu kerja mesin : 1800 jam / tahun

Harga mesin dan perlengkapannya : Rp 500 juta

Ditetapkan penyusutan : 5 tahun

Bunga –pajak-asuransi : 25 % per tahun

$$(1) \text{ ongkos tetap mesin} = 500.000.000 (1/5 + (5+1 / 5 \times 2) (0,25) \\ = 175.000.000,- / \text{ tahun}$$

(2) Jika harga daya per kWh Rp 215,- , maka ongkos daya yang diperkirakan dari daya nominal (7 kW) dengan efisiensi beban 70 % serta aktifitas pemesinan rata-rata 60 %, maka :

$$\text{Ongkos daya per menit} : 7 \times 0,70 \times 0,6 \times 215 / 60 = \text{Rp } 10,54,- / \text{ menit}$$

$$(3) \text{ Ongkos operator per tahun} = 12 \times \text{Rp } 680.000,- = 8.160.000,-$$

$$(4) \text{ Ongkos variabel langsung} = (8.160.000 + 12,04 \times J) \text{ Rp} / \text{ tahun}$$

(5) Biaya tak langsung sesuai luas lantai yang digunakan mesin adalah :

$$2,72 \times \text{Rp } 500.000,- = \text{Rp } 1.360.000,- / \text{ tahun}$$

c) Penentuan ongkos operasi proses pemesinan

Dengan asumsi bahwa pekerjaan dilakukan satu shif, maka ongkos operasi adalah :

$$C_m = \frac{175.000.000,-}{110.000} + \frac{8.160.000}{110.000} + 10,54 + \frac{1.360.000}{110.000}$$

$$= 1590,91 + 74,18 + 10,54 + 12,36$$

$$= 1687,99 , - / \text{ menit}$$

$$= \text{Rp } 101.279,4,- / \text{ jam} \quad (\text{catatan : Berdasar informasi ongkos pemesinan EDM di tempat tersebut Rp } 100.000,- / \text{ jam})$$

Mengacu pada data di atas, maka ongkos operasi proses EDM untuk pembuatan lubang pada sarung injektor adalah :

$$\begin{aligned}C_p &= 101.279,4,- \times 2,5 \text{ jam} \\ &= 253.198,5,- \\ &= \text{Rp } 253.200,- / \text{ produk.}\end{aligned}$$

D. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan dapat ditarik dari analisis proses EDM, di antaranya :

1. Proses pemesinan dengan EDM memerlukan waktu yang relatif lama.
2. Harga atau ongkos operasi relatif mahal.
3. Kekasaran permukaan sangat dipengaruhi oleh penyetelan intensitas arus listrik, dimana semakin besar angka intensitasnya maka permukaan benda kerja semakin kasar.
4. Dengan hanya dilakukan sekali proses (tanpa finishing) permukaan benda kerja yang dihasilkan relatif bagus.

DAFTAR PUSTAKA

Charmilles Technologies, 1988. *Machine Manual Form 4 – LC*, Charmilles Technologies SA.

Komang Bagiasna, Sigit Yoewono, *Diktat Kuliah Proses-proses Non Konvensional*.

Mitsubhishi, 2003. *Machine Spesifikation FA 20 V*.

Taufiq Rochim, 1993. *Teori dan teknologi Proses Pemesinan*, HEDS Project