

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Suhardjono (2004) melakukan penelitian mengenai pengaruh waktu pemakanan dan waktu tunggu pada EDM *sinking*. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kekasaran permukaan dan MRR. Suhardjono memakai elektroda tembaga dan benda kerja baja SKD 11. Penelitian ini menghasilkan semakin besar waktu pemakanan mempengaruhi nilai kekasaran permukaan semakin kasar. Sebaliknya waktu tunggu hampir tidak mempengaruhi nilai kekasaran permukaan.

Setiawan (1996) melakukan penelitian mengenai waktu tunggu, tekanan statis pada cairan dielektrik, waktu pemakanan dan arus. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui laju pemotongan benda kerja dan keausan elektroda. Pada penelitian ini didapatkan elektroda yang dipakai yaitu tembaga dan kuningan serta benda kerja yang digunakan yaitu SKD 11. Maka diperoleh dari penelitian ini yaitu arus listrik, tekanan statis cairan dielektrik dan waktu pemakanan bersifat menambah laju pemotongan benda kerja dan elektroda, serta waktu tunggu akan menghambat laju pemotongan baik pada benda kerja dan elektroda.

Mandaloi (2004) melakukan penelitian mengenai struktur kristal dari baja AISI M2 dengan menggunakan elektroda paduan tembaga pada proses EDM *Sinking*. Tujuan penelitian ini yaitu laju pemotongan (MRR), tingkat keausan elektroda (EWR) dan kekasaran permukaan (SR). Hasil penelitian didapatkan bahwa dari dasar parameter proses yang dianalisis ialah kekasaran permukaan terendah $1,19 \pm 0,9 \mu\text{m}$ dan $9,25 \pm 0,5 \text{ nm}$ diamati melalui permukaan profiler optik (OSP) dan gaya atom mikroskopi (AFM). Nilai MRR tertinggi 0.015276 mg/min dan EWR terkecil 0.014113 mg/min diamati untuk sampel memiliki input yang sama dengan parameter arus 7A , *on time* 45 μs dan celah percikan 5 μm .

Vaani (2005) melakukan penelitian mengenai waktu pemakanan, arus listrik, tekanan cairan dielektrik dan beda potensial terhadap laju pemotongan (MRR) dan kekasaran permukaan. Elektroda yang digunakan alumunium yang dilapisi tembaga dan benda kerja pahat potong yang dikeraskan. Hasil penelitian ini bahwa beda potensial dan waktu pemakanan akan mempengaruhi MRR. Sedangkan kekasaran permukaan dipengaruhi oleh besar beda potensial, arus listrik dan nilai waktu pemakanan.

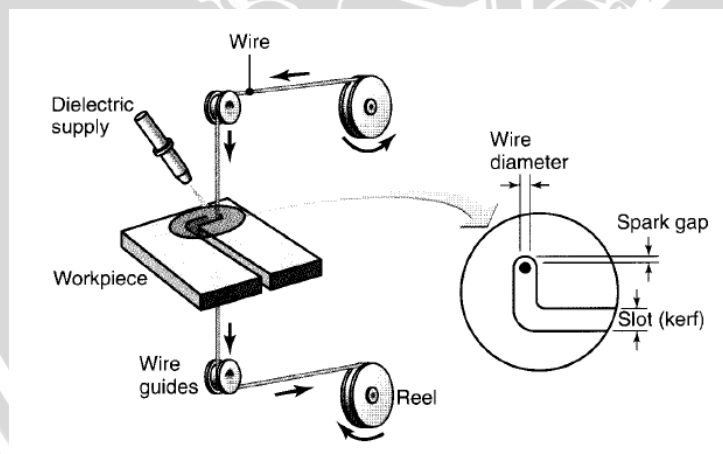
2.2 EDM (*Electrical Discharge Machining*)

Mesin EDM yaitu mesin bermuatan listrik sebagai erosi percikan api, kawat erosi. EDM yaitu suatu proses penghapusan atau pengikisan logam yang dilakukan dengan cara menciptakan rubuan percikan buanga api per detik yang dialirkan melalui elektroda menuju ke benda kerja. Benda kerja pada EDM ini merupakan logam yang bersifat konduktor atau penghantar listrik. Proses tersebut diharapkan menguapkan logam sehingga melelehkan benda kerja pada wilayah yang dituju (Widarto, 2008:422).

2.3 Jenis-Jenis EDM

2.3.1 *Wire Electrical Discharge Machining (WEDM)*

WEDM yaitu proses pemesian dengan menggunakan proses erosi dari sebuah kawat. Proses WEDM memakai elektroda kawat yang biasa dipakai terbuat dari tembaga, brass dan zink. Elektroda yang digunakan berupa gulungan kawat yang terus berputar secara kontinyu selama proses berlangsung. Sepanjang proses berlangsung kawat terus keluar kebawah agar selama proses pemotongan kawat yang digunakan tidak putus dan baru. Pada saat kawat melewati benda kerja proses percikan bunga api terjadi sehingga mengikis benda kerja. Dengan ini kemampuan *wire cut* EDM memotong benda kerja yang diprogram untuk memotong bentuk yang sangat rumit dan bentuk yang dihasilkan halus.



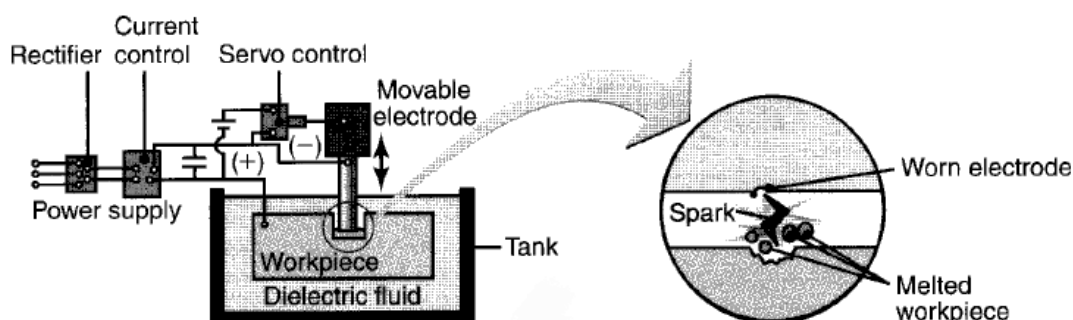
Gambar 2.1 *Wire Cut EDM*

Sumber: Kalpakjian (2009 : 772)

2.3.2 Sinking EDM / Ram EDM

EDM *Sinking* yaitu mesin yang memakai sistem komputer yang proses pemotongan material benda kerjanya berupa percikan bunga api secara fluktuasi. Komponen tersebut terdiri dari elektroda dan benda kerja yang terendam didalam cairan isolator yang dinamakan cairan dielektrik. Proses ini menggunakan arus listrik AC yang di ubah menjadi arus DC yang di salurkan melalui elektroda (katoda) ke benda kerja (anoda) serta mempunyai cairan dielektrik yang merendami keduanya. Arus yang mengalir yang mempunyai beda potensial mengakibatkan partikel elektron listrik melompat di celah elektroda dan benda kerja. Pada partikel elektron yang melompat disebut juga bunga api yang menimbulkan terjadinya panas sehingga dapat melelehkan permukaan benda kerja.

Pada proses pengendalian bunga api ini biasanya disebut dengan istilah waktu pemakanan “*On Time*” dan waktu tunggu “*Off Time*” yang dikendalikan secara otomatis. Selain mengatur arus listrik yang dialirkan parameter lain yaitu panjang waktu pemakanan sangat dipertimbangkan untuk menciptakan durasi percikan bunga api listrik. Maka dari itu arus yang lebih besar mengakibatkan bunga api bertambah besar, sehingga lubang yang dihasilkan lebih dalam dan percikan bunga api yang lama akan mengakibatkan kekasaran permukaan yang kasar. Sebaliknya untuk waktu tunggu yang panjang memungkinkan cairan dielektrik untuk membilas sisa pemotongan gram yang berdampak pada hasil permukaan mendaji halus.



Gambar 2.2 EDM *Sinking*

Sumber: Kalpakjian (2009 : 770)

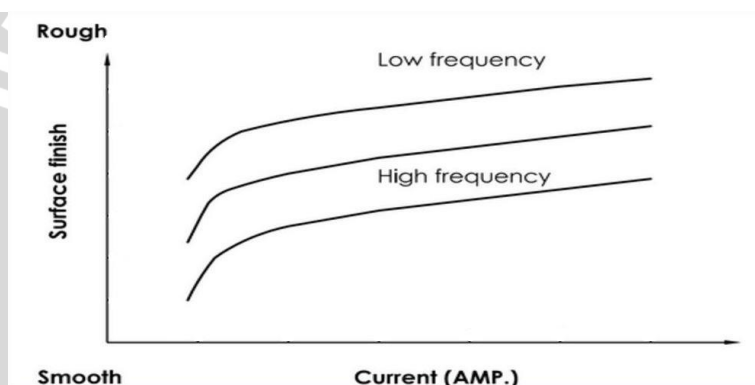
Gambar 2.2 menunjukan celah pada elektroda dan benda kerja terbentuk bunga api. Pada peristiwa ini terjadi di jarak yang paling dekat antara elektroda dan benda kerja. Pada cairan dielektrik membantu menghantarkan ion-ion bermuatan listrik. Terjadi panas dan suhu yang tinggi pada saat terbentuk percikan bunga api, menyebabkan melelehnya

permukaan benda kerja. Pada sisa pemotongan gram dibuang oleh cairan dielektrik yang berada diantara celah elektroda dan benda kerja.

Setting EDM Sinking yang paling penting adalah :

- arus listrik
- frekuensi (waktu pemakanan dan waktu tunggu)

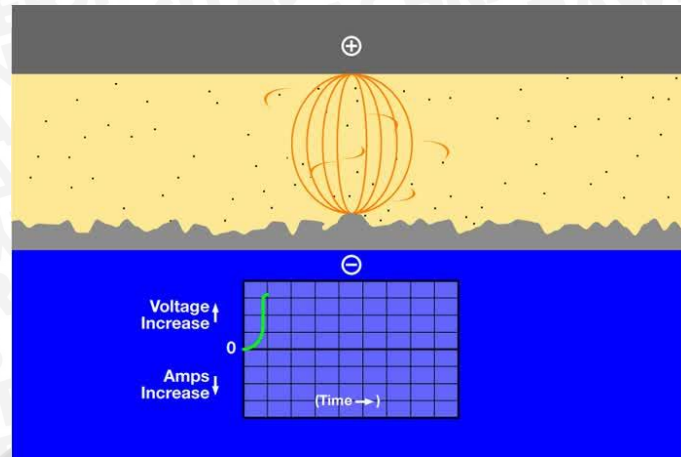
Apabila salah satu dari pengaturan ini dibesarkan mengakibatkan proses pemotongan material juga akan membesar. Membesarnya pemotongan material juga berdampak pada hasil kekasaran permukaan benda kerja. Pada arus dan frekuensi pemakanan berdampak pada kekasaran permukaan benda kerja seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.3 kekasaran permukaan yang paling bagus didapatkan pada frekuensi pemakanan yang tinggi dan arus yang rendah.



Gambar 2.3 Kekasaran Permukaan EDM *Sinking* Terhadap Arus dan Frekuensi
Sumber: Pandey (1999 : 92)

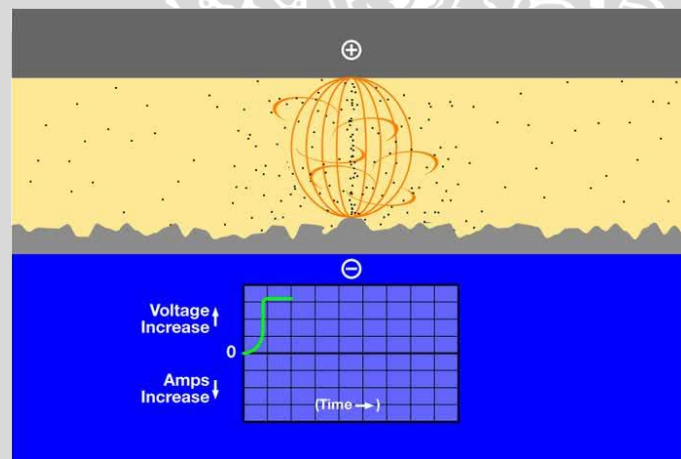
2.4 Prinsip Kerja EDM *Sinking*

Mula-mula EDM *sinking* berisi beda potensial listrik mengalirkan muatan arus listrik lewat elektroda (pahat) yang didekatkan ke benda kerja. Terdapat cairan isolator yang merendam elektroda dan benda kerja biasa disebut cairan dielektrik. Cairan dielektrik merupakan isolator yang bagus yang mengakibatkan partikel elektron listrik mampu melewatinya dari elektroda ke benda kerja. Pada posisi terdekat antara elektroda dan benda kerja terdapat beda potensial paling besar yang dapat dilihat pada gambar 2.4. Dimana beda potensial naik sedangkan arus listrik masih belum mengalir/muncul (Widarto, 2008:422).



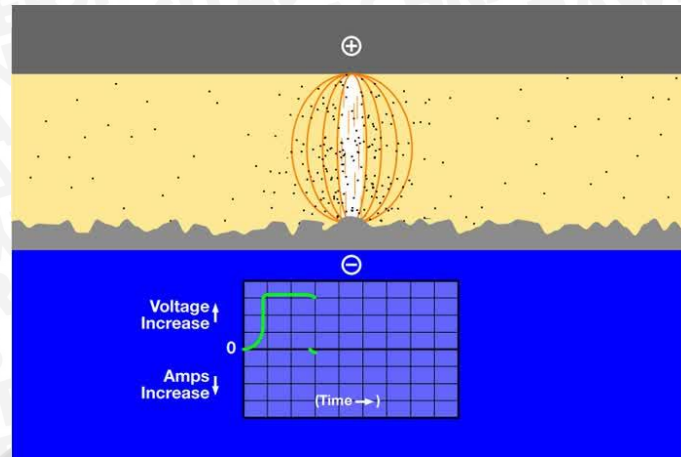
Gambar 2.4 Kondisi EDM Proses Pertama
Sumber: Poco EDM Technical Manual

Pada beda potensial naik sifat isolator dari cairan dielektrik turun pada kondisi beda potensial paling tinggi. Pada beda potensial naik stabil sampai paling tinggi namun arus masih belum muncul seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5.



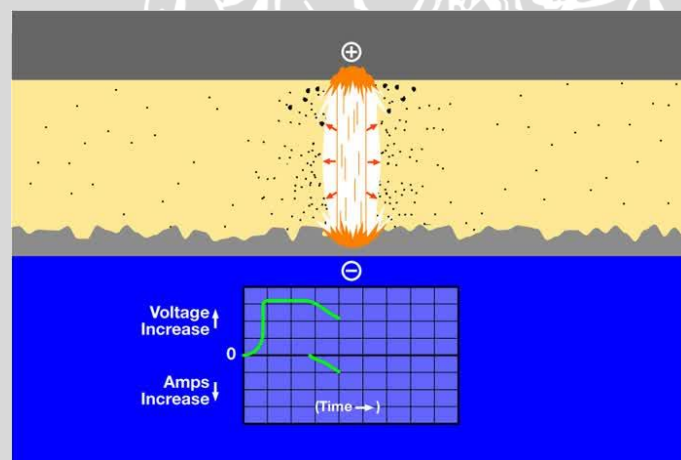
Gambar 2.5 Kondisi EDM Proses ke 2
Sumber: Poco EDM Technical Manual

Pada gambar 2.6 menjelaskan arus mulai keluar saat cairan dielektrik menurun sifat isolatornya hingga yang paling kecil di ikuti juga dengan beda potensial kondisi turun.



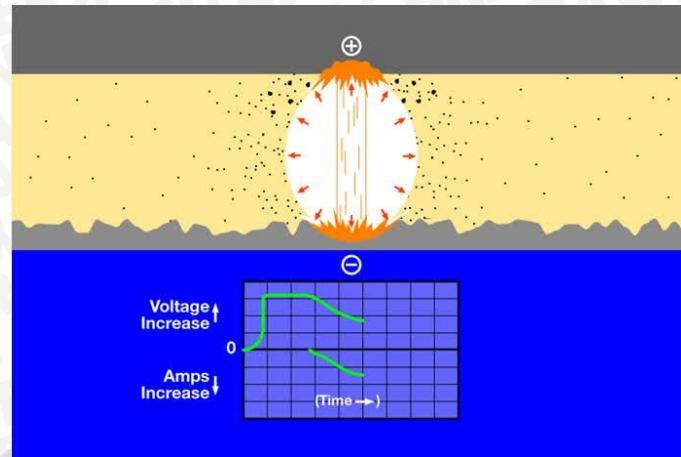
Gambar 2.6 Kondisi EDM Proses ke 3
Sumber: Poco EDM Technical Manual

Pada gambar 2.7 menjelaskan terjadi panas pada saat arus naik dan beda potensial terus menurun. Pada panas yang timbul karena arus yang naik memanaskan elektroda, cairan dielektrik dan benda kerja. Percikan bunga api mulai terjadi antara elektroda dan benda kerja.



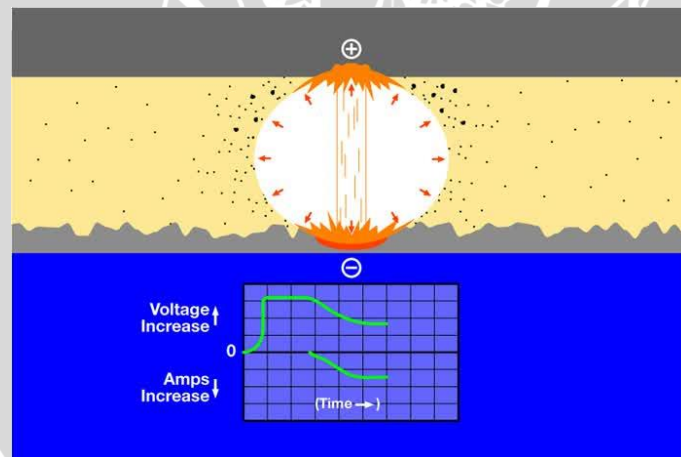
Gambar 2.7 Kondisi EDM Proses ke 4
Sumber: Poco EDM Technical Manual

Pada gambar 2.8 dapat dilihat terbentuk gelembung uap yang melebar ke samping namun melebarnya terhalang oleh cairan dielektrik pada jalur percikan bunga api. Pada kondisi ini arus terus naik dan beda potensial terus turun.



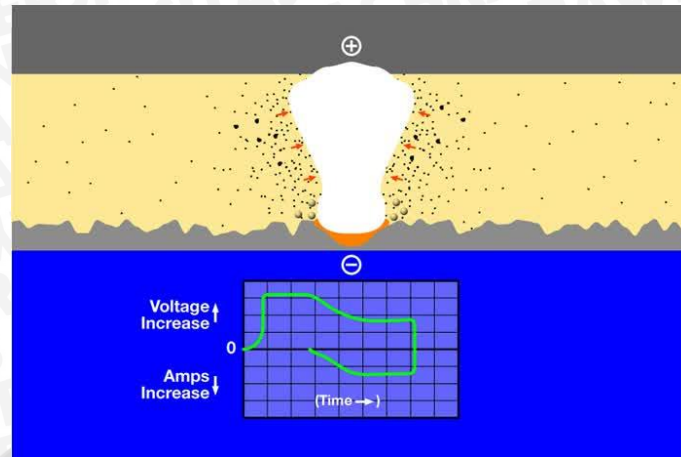
Gambar 2.8 Kondisi EDM Proses ke 5
Sumber: Poco EDM Technical Manual

Pada proses belum selesai arus dan beda potensial menjadi konstan, panas dan gelembung uap telah mencapai ukuran paling besar sehingga permukaan benda kerja meleleh. Pada proses ini berisi percikan bunga api dengan temperatur sangat tinggi, mengakibatkan terbentuk uap logam dan karbon pada saat arus melaluinya yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 .



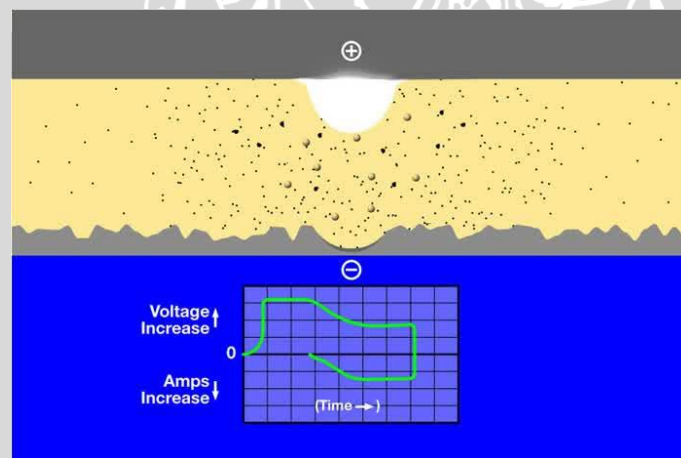
Gambar 2.9 Kondisi EDM Proses ke 6
Sumber: Poco EDM Technical Manual

Pada gambar 2.10 menjelaskan arus dan beda potensial turun sampai nol. Dengan suhu menurun dan mengakibatkan permukaan benda kerja yang telah melelehkan terlepas dari benda kerja.



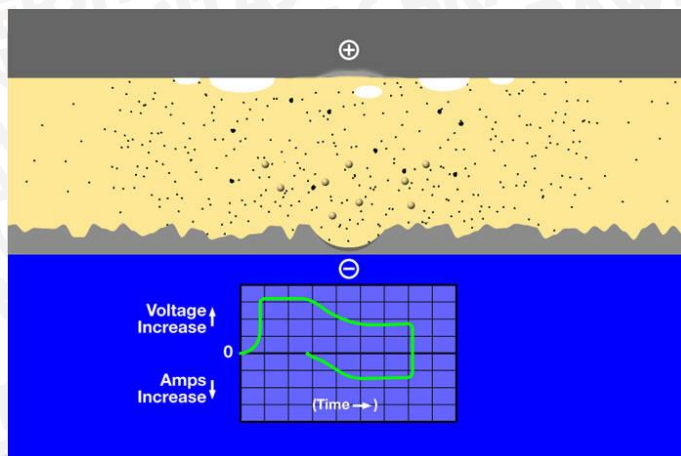
Gambar 2.10 Kondisi EDM Proses ke 7
Sumber: Poco EDM Technical Manual

Pada gambar 2.11 menjelaskan pada cairan dielektrik baru membersihkan sisa pemotongan diantara celah elektroda dan benda kerja untuk dan mendinginkan secara cepat pada benda kerja. Pada benda kerja yang tidak ikut terlepas mengeras dan menjadikan lapisan baru yang disebut (*recast layer*).



Gambar 2.11 Kondisi EDM Proses ke 8
Sumber: Poco EDM Technical Manual

Pada gambar 2.12 menunjukkan pada benda kerja yang terlepas membentuk bulatan berukuran kecil dan membeku bersamaan dengan karbon dari elektroda. Pada gelembung uap yang masih tersisa naik keatas permukaan. Pada sisa pemotongan yang tertinggal dikarenakan waktu tunggu yang kurang panjang akan menyebabkan percikan bunga api listrik tidak stabil. Pada kondisi ini dapat membentuk bunga api yang dapat merusak elektroda dan benda kerja.



Gambar 2.12 Kondisi EDM Proses ke 9
Sumber: Poco EDM Technical Manual

2.5 Perhitungan Pada EDM Sinking

Untuk mengetahui laju pemakanan material yaitu proses pemotongan material dapat dicari dengan cara menghitung dengan rumus dibawah ini :

$$MRR = \frac{\text{Electrode Area (m}^2\text{)} \times \text{Depth Of Cut (m)}}{\text{Time Of Cut (min)}} \times 60 \quad (\text{m}^3/\text{jam}) \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

Keterangan:

Volume = panjang x lebar x tinggi (m³)

Waktu = Waktu proses EDM (min)

Pahat aus yaitu kemampuan pahat tahan terhadap aus. Dapat diketahui dengan cara menimbang massa elektroda yang hilang selama proses, yang merupakan selisih massa sebelum pemesinan dan massa setelah pemesinan dengan cara menghitung keausan pahat dibawah ini:

$$m_{\text{aus}} = \frac{\Delta m}{t} = \frac{m_1 - m_2}{t} \quad (\text{g/min}) \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

Keterangan:

m₁ = Massa elektroda sebelum proses (g)

m₂ = Massa elektroda setelah proses (g)

t = Waktu selama proses EDM (min)

m_{aus} = Massa elektroda yang hilang selama proses (g/min)

Duty cycle adalah siklus pemesinan yang merupakan persentase dari *on time* relatif terhadap total waktu siklus. Secara umum, siklus yang lebih tinggi berarti meningkatkan efisiensi pemotongan. Rumus siklus pemesinan sebagai berikut:

$$\text{Duty cycle} = \frac{\text{on time } (\mu\text{s})}{\text{on time} + \text{off time } (\mu\text{s})} \times 100\% \quad (\%) \quad \dots\dots\dots (2-3)$$

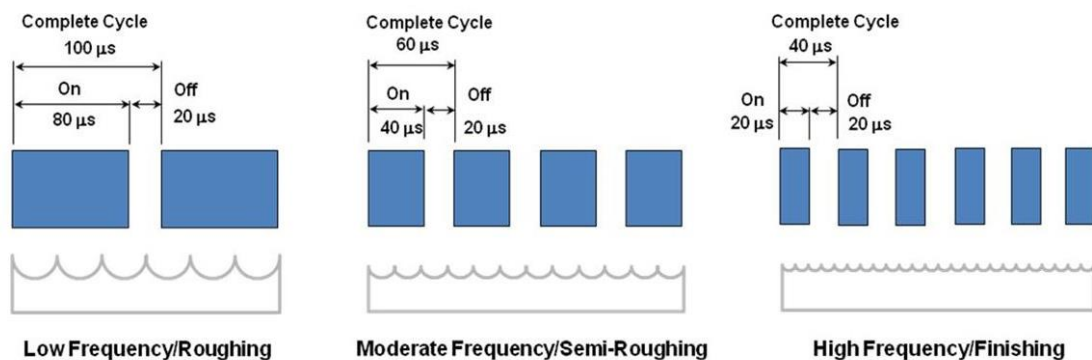
Keterangan:

On time = waktu pemakanan (μs)

Off time = waktu tunggu (μs)

Frekuensi adalah jumlah siklus yang terjadi pada EDM *sinking* secara periodik. Semakin tinggi frekuensi hasil permukaan benda kerja yang diperoleh semakin halus. Rumus frekuensi sebagai berikut:

$$\text{Frekuensi} = \frac{1000}{\text{on time} + \text{off time } (\mu\text{s})} \quad (\text{KHz}) \quad \dots\dots\dots (2-4)$$



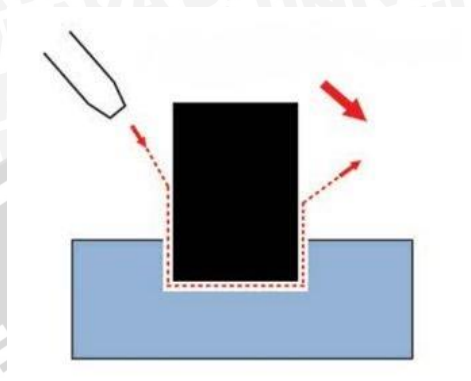
Gambar 2.12 Frekuensi Pada Hasil Permukaan Benda Kerja
Sumber: Poco EDM Technical Manual

2.6 Flushing

Flushing adalah proses pendinginan dari mesin EDM *sinking* serta membersihkan sisa pemotongan gram dengan nozel. Proses ini merupakan sirkulasi dari cairan dielektrik dengan cara menyemprotkan pada celah antara elektroda dan benda kerja.

Kekurangan apabila tidak menggunakan *flushing* adalah:

1. Pahat (*elektrode*) dan benda kerja terjadi hubungan pendek ;
2. Percikan bunga api menjadi tidak stabil.



Gambar 2.13 Proses *Flushing*

Sumber: Poco EDM Technical Manual

2.7 *Electrode* (Pahat)

Secara teoritis setiap material yang bersifat konduktor dapat digunakan sebagai *electrode* (pahat). Dalam hal ini *electrode* yang terbaik adalah material yang memiliki titik leleh yang tinggi dan tahanan listrik yang rendah. Untuk itu perlu hal-hal di bawah ini sebagai pertimbangan yaitu:

1. Kemudahan material tersebut untuk dibentuk;
2. Laju keausan dari material tersebut;
3. Laju pengerjaan material sebesar mungkin;
4. Pertimbangan ekonomis seperti harga dan ketersediaannya dipasaran.

Material pahat yang dapat digunakan pada proses EDM dapat dikategorikan dalam tiga kelompok yaitu:

1. Material *electrode* dari logam

- Tembaga;
- Paduan tembaga: *Teliurium-copper, chromium-copper, Zinc-copper*, dan *wolfram-copper*;
- Paduan aluminium, silium;
- Kuningan;
- Tungsten;
- Baja.

2. *Electrode* non logam
 - Grafit.
3. Kombinasi logam - non logam
 - Tembaga-grafit.

2.8 Cairan Dielektrik

Cairan *dielektrik* adalah cairan yang memiliki daya hantar arus yang sangat kecil yang tau hampir tidak ada digunakan pada proses EDM memiliki fungsi sebagai berikut:

1. Membawa geram-geram yang terbentuk pada proses tersebut;
2. Dalam keadaan terionisasi, cairan dielektrik akan menjadi semacam konduktor sehingga memungkinkan terjadinya loncatan bunga api listrik;
3. Sebagai media pendingin antara pahat dan benda kerja.

Syarat dari cairan dielektrik agar dapat berfungsi pada proses EDM yaitu:

1. Tidak mudah terbakar;
2. Sebagai media isolator sampai kebutuhan *break down voltage* tercapai;
3. Tidak menghasilkan gelembung-gelembung uap atau gas yang berbahaya bagi operator;
4. Mempunyai viskositas yang optimum;
5. Harus memiliki sifat penghantar arus listrik yang baik.

Fluida yang sering digunakan untuk proses ini antara lain *transformator oil*, minyak mineral, kerosin dan lain-lain. Pada penelitian ini menggunakan solar dan kerosin dengan perbandingan 1:1 sebagai cairan dielektriknya.

2.9 Baja Karbon

Baja (*Steel*) adalah suatu produksi besi yang mengandung kadar karbon berkisar sekitar 1,7%. Produk ini secara teknik dinyatakan sebagai baja karbon (*Carboon Steel*). Baja mempunyai kandungan unsur utama yaitu besi (Fe). Baja juga terdapat unsur lain yang berasal dari pengotoran bijih besi (misalnya belerang dan phosphor) yang biasanya kadarnya ditekan serendah mungkin. Unsur besi (Fe) dalam baja rentan terhadap kelembaban dan keasaman. Ketika unsur Fe⁺ bersenyawa dengan udara, maka struktur bahan berubah dan timbul kerak berwarna hitam kekuningan pada permukaan bahan.

Baja karbon adalah paduan dari sistem Fe dan C, biasanya tercampur juga unsur-unsur bawaan lain seperti silikon 0,20%-0,70%, Mn 0,50%-1,00% P < 0.60% dan S < 0.06%.

Menurut komposisi kimia baja karbon dibedakan sebagai berikut:

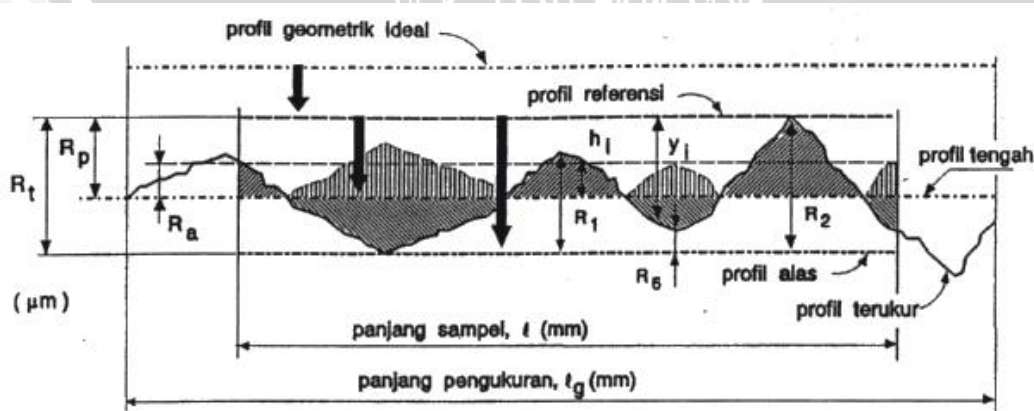
1. Baja karbon rendah 0,05 – 0,3% C (*low carbon steel*).
2. Baja karbon menengah 0,3 – 0,5% C (*medium carbon steel*).
3. Baja karbon tinggi 0,60 – 1,50% C (*high carbon steel*).

2.10 Klasifikasi Material Baja SKD 11

Baja SKD 11 merupakan material standart JIS yang pada umumnya digunakan sebagai bahan pembuatan *punch die*. Menurut standart JIS penggunaan baja SKD 11 sangatlah tepat digunakan sebagai bahan dasar *punch dies* karena pada baja SKD 11 memiliki kriteria bahan yang layak untuk digunakan sebagai *punch dies* sebagaimana kriteria bahan yang dibutuhkan diantaranya yaitu harus memiliki sifat mekanik yang mumpuni misalnya ketahanan deformasi, keausan, kompresi yang baik dan kekerasan rata-rata tinggi sebesar bahan yang digunakan sebagai *punch-dies* adalah 55-61 HRC.

2.11 Kekasaran Permukaan (*Surface Roughness*)

Kekasaran permukaan merupakan hasil dari pemesinan berupa goresan bentuk tidak teratur dari permukaan berupa bukit dan lembah. Kekasaran permukaan berpengaruh terhadap kualitas hasil pemesinan suatu benda kerja karena kekasaran dapat mempengaruhi kemampuan benda kerja dalam meminimalisir terjadinya korosi pada permukaan. Bukit dan lembah yang ada dapat menampung zat ataupun material yang bersifat korosif sehingga menyebabkan karat pada permukaan benda kerja. Beberapa istilah profil dan parameter permukaan dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.14 Parameter Kekasaran Permukaan Suatu Material
Sumber : Rochim (2001 : 56)

Keterangan gambar :

1. Profil geometri ideal (*geometrically ideal profile*).

Merupakan profil permukaan geometris ideal yang dapat berupa garis lurus ataupun garis lengkung.

2. Profil terukur (*measured profile*)

Merupakan profil permukaan yang terukur oleh alat ukur.

3. Profil referensi (*reference profile*)

Merupakan profil yang digunakan sebagai referensi untuk menganalisa ketidakraturan konfigurasi permukaan. Profil ini dapat berupa garis lurus atau garis dengan bentuk sesuai dengan profil geometri ideal, serta menyinggung puncak tertinggi dari profil geometri ideal, serta menyinggung puncak tertinggi dari profil terukur dalam suatu panjang sampel. Profil referensi biasa disebut sebagai profil puncak (*custline*).

4. Profil dasar (*root profile*)

Merupakan profil yang digeser ke bawah (arah tegak lurus terhadap profil geometris ideal pada suatu panjang sampel) hingga menyinggung titik terendah dari profil terukur.

5. Profil tengah (*center profile*)

Merupakan profil referensi yang digeser ke bawah sedemikian rupa, sehingga jumlah luas dari daerah-daerah diatas profil tengah sampai ke profil terukur adalah sama dengan jumlah luas dari daerah dibawah profil tengah sampai ke profil terukur. Pada gambar ditunjukkan oleh daerah yang diarsir tegak dan datar.

2.12 Parameter Kekasaran Permukaan

Di dalam metrologi industri, yaitu ilmu untuk melakukan pengukuran karakteristik geometris dari suatu produk atau komponen mesin dengan alat atau cara yang tepat sedemikian rupa sehingga hasil pengukurannya dianggap sebagai yang paling dekat dengan geometris sesungguhnya dari komponen mesin yang bersangkutan. Sehingga nantinya dapat diambil suatu tindakan segera untuk mencari sebab dan mengetahui variabel yang mempengaruhi variabel yang mempengaruhi proses produksi. Ukuran sangat penting bila ditinjau dari segi fungsi komponen, segi peakitan maupun segi pembuatan.

Berdasarkan profil-profil yang sudah dibahas maka dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan lain, yaitu:

1. Kedalaman total (*peak to valley height / total height*), R_t adalah jarak antara profil referensi dan profil dasar (μm).
2. Kedalaman perataan (*depth of valley surface smoothness / peak to mean line*), R_p adalah jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur. (μm)
3. Kedalaman rata-rata aritmetis (*mean roughness index / center line average*), R_a adalah harga rata-rata aritmetis dari harga absolutnya. (μm)

$$R_a = \frac{1}{\ell} \int_0^\ell |h_i| dx \dots\dots\dots (2-5)$$

4. Kekasaran rata-rata kuadrat (*root mean square height*), R_g (μm) adalah akar bagi jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah. (μm)
5. Kekasaran total rata-rata, R_z (μm), merupakan jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima lembah terendah. (μm)

2.13 Hipotesa

Sebagai parameter pemotongan nilai arus listrik dan waktu pemakanan yang semakin besar akan menyebabkan percikan bunga api listrik (*spark*) semakin besar dan panjang, hal ini menyebabkan pergerakan aliran elektron untuk menumbuk bagian permukaan benda kerja semakin cepat, sehingga terjadi peningkatan temperatur yang mengakibatkan pengikisan permukaan benda kerja, hal ini akan merubah hasil pemotongan yang berdampak kepada kekasaran permukaan hasil proses EDM *sinking*.

Maka didapat sebuah hipotesa yaitu semakin bertambahnya nilai arus listrik dan waktu pemakanan berpengaruh terhadap kekasaran permukaan semakin besar. Hal ini dikarenakan bertambah besar dan lamanya loncatan bunga api listrik. Sedangkan semakin bertambahnya nilai arus listrik akan meningkatkan keausan dari elektroda serta bertambahnya waktu pemakanan akan menghasilkan keausan elektroda yang rendah. Hal ini dikarenakan bertambah kecilnya frekuensi pemotongan.