

**PENGARUH VARIASI ARUS LISTRIK TERHADAP
TEMPERATUR BENDA KERJA DAN LAJU PEMOTONGAN
PADA PROSES *DRILLING EDM***

SKRIPSI

Konsentrasi Teknik Produksi

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

**ARI NOVI YANTO
NIM. 0210623016-62**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
MALANG
2009**



**PENGARUH VARIASI ARUS LISTRIK TERHADAP
TEMPERATUR BENDA KERJA DAN LAJU PEMOTONGAN
PADA PROSES DRILLING EDM**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
Memperoleh gelar sarjana teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Disusun oleh:

ARI NOVIYANTO
NIM. 0210623016

Telah diperiksa dan disetujui oleh :



Pembimbing I

Pembimbing II

Sugiarto, ST. MT
NIP. 132 137 956

Ir. Tjuk Oerbandono, MSc. CSE
NIP. 132 048 543

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Arus Listrik Terhadap Temperatur Benda Kerja Dan Laju Pemotongan Pada Proses *Drilling EDM*”** dapat terselesaikan.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung tersusunnya skripsi ini hingga dapat terselesaikan dengan baik, kepada:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST, MT., selaku Ketua Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
2. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc, CSE., selaku Sekretaris Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Sekaligus dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan dan masukan pada penyusun dalam menyusun skripsi ini.
3. Bapak Ir Marsoedi Wirohardjo MMT., selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Produksi Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Bapak Sugiarto, ST, MT., selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan, dan meluangkan waktunya untuk berdiskusi.
5. Bapak Ishardita Pambudi, ST, MT., selaku dosen wali yang telah memberikan dukungan dan konsultasi dalam menentukan perkuliahan.
6. Seluruh Staf Pengajar dan Administrasi Jurusan Teknik Mesin serta Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
7. Keluarga H. ABD Wahab (Bapak Wahab, Ebo' Yatik, Mas Hendri+Mbak Desy, Mas Fery+Mbak Titin, Mbak Lin+mas Iwan, Na3q Evi). Terima kasih telah memberikan motivasi dan doanya dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Pak Armen ST, MT selaku kepala laboratorium CNC VEDC Malang. Terima kasih atas bimbingan dalam penelitian skripsi ini.
9. Rekan-rekan Teknik Mesin Angkatan 2002 Non Reguler yang banyak membantu menyelesaikan skripsi ini.
10. Semua pihak yang telah memberikan dorongan, semangat serta do'a dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Februari 2009

Penyusun



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	4
2.2 Prinsip Dasar <i>EDM</i> (<i>Electrical Discharge Machining</i>).....	4
2.2.1 Loncatan Bunga Api Listrik (<i>Sparking</i>)	6
2.2.2 Proses Terjadinya Saluran Ion	7
2.2.3 Proses Pemotongan Material.....	8
2.3 Kategori Permesinan <i>EDM</i> (<i>Electrical Discharge Machining</i>).....	9
2.3.1 Proses Sinking.....	10
2.3.2 Proses Cutting	11
2.3.3 Proses Grinding.....	12
2.4 Komponen Dasar <i>EDM</i>	13
2.4.1 Generator.....	13
2.4.2 Rangkaian Elektronik <i>EDM</i> (<i>Electrical Discharge Machining</i>).....	14
2.4.3 Elektroda (Pahat)	15
2.4.4 Fluida Dielektrik	20
2.4.5 Flushing.....	21
2.4.6 Ketelitian (<i>Accuracy</i>)	24
2.4.7 Kehausan Pahat)	24
2.5 Parameter Permesinan <i>EDM</i>	25
2.5.1 Arus Listrik	25
2.5.2 <i>On Time</i>	25
2.5.3 <i>Off Time</i>	25
2.5.4 <i>Servo</i>	26
2.5.5 Polaritas.....	26
2.5.6 Intensitas Arus	26
2.5.7 <i>Discharge Time</i>	27
2.6 Karakteristik Proses permesinan <i>EDM</i>	27
2.6.1 Permukaan Benda Kerja <i>EDM</i>	27
2.7 Laju Pemotongan Material.....	28

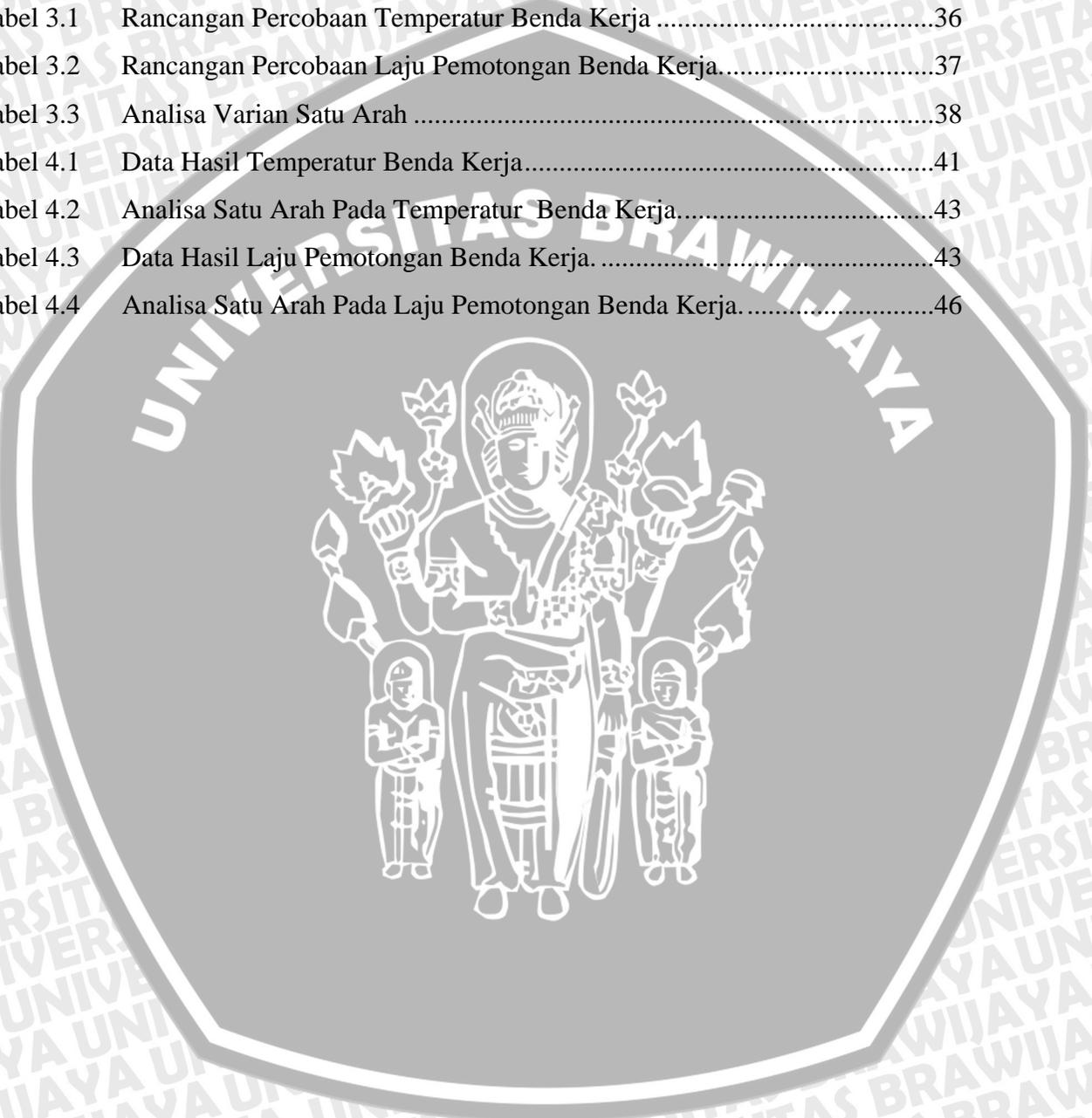
2.8	Baja Karbon (<i>Carbon Steel</i>).....	30
2.7.1	Klasifikasi Baja Karbon.....	30
2.9	Hipotesa	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		32
3.1	Metode Penelitian	32
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian.....	32
3.3	Alat dan Bahan.....	32
3.3.1	Alat yang Digunakan	32
3.3.2	Bahan yang Digunakan.....	33
3.4	Variabel Penelitian.....	34
3.5	Prosedur Penelitian	34
3.6	Dimensi Benda Kerja.....	36
3.7	Rancangan Penelitian.....	36
3.8	Analisa Varian	37
3.9	Analisa Grafik	39
3.10	Diagram Alir Penelitian	40
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		41
4.1	Data Hasil Pengujian.....	41
4.1.1	Data Hasil Temperatur Benda Kerja.....	41
4.1.1.1	Analisa Varian Data Temperatur Benda Kerja	41
4.1.2	Data Hasil Laju Pemotongan Benda Kerja.....	43
4.1.2.1	Perhitungan RMR	44
4.1.2.2	Analisa Varian Data Laju Pemotongan Benda Kerja	44
4.2	Pembahasan.....	46
4.2.1	Hubungan Variasi Arus Listrik Dengan Nilai Temperatur Benda Kerja	46
4.2.2	Hubungan Variasi Arus Listrik Dengan Nilai Laju Pemotongan Benda Kerja.....	47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		49
5.1	Kesimpulan	49
5.2	Saran	49

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Macam-macam Fluida Dielektrik.....	21
Tabel 3.1	Rancangan Percobaan Temperatur Benda Kerja.....	36
Tabel 3.2	Rancangan Percobaan Laju Pemotongan Benda Kerja.....	37
Tabel 3.3	Analisa Varian Satu Arah.....	38
Tabel 4.1	Data Hasil Temperatur Benda Kerja.....	41
Tabel 4.2	Analisa Satu Arah Pada Temperatur Benda Kerja.....	43
Tabel 4.3	Data Hasil Laju Pemotongan Benda Kerja.....	43
Tabel 4.4	Analisa Satu Arah Pada Laju Pemotongan Benda Kerja.....	46



DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Skema Dasar EDM (<i>Electrical Discharge Machine</i>).....	5
Gambar 2.2	Komponen Dasar EDM (<i>Electrical Discharge Machine</i>).....	5
Gambar 2.3	Proses Terjadinya <i>Sparking</i>	7
Gambar 2.4	Proses <i>Ionisasi</i>	8
Gambar 2.5	Proses Pengikisan Material EDM (<i>Electrical Discharge Machine</i>)	9
Gambar 2.6	Kategori Permesinan EDM (<i>Electrical Discharge Machine</i>)	9
Gambar 2.7	Proses <i>Drilling</i> EDM (<i>Electrical Discharge Machine</i>)	10
Gambar 2.8	Proses <i>Die Sinking</i> EDM (<i>Electrical Discharge Machine</i>).....	10
Gambar 2.9	Proses <i>Cutting</i> Dengan Lempeng Berputar.....	11
Gambar 2.10	Proses <i>Cutting</i> Dengan Pita	11
Gambar 2.11	Proses <i>Cutting</i> Dengan Elektroda Kawat.....	12
Gambar 2.12	Proses Gerinda Luar EDM (<i>Electrical Discharge Machine</i>).....	12
Gambar 2.13	Proses Gerinda Dalam EDM (<i>Electrical Discharge Machine</i>).....	13
Gambar 2.14	Proses Gerinda Profil EDM (<i>Electrical Discharge Machine</i>)	13
Gambar 2.15	Elemen Dasar Sirkuit <i>Relaxation</i> EDM	14
Gambar 2.16	Pengontrol Elektroda Pahat EDM.....	16
Gambar 2.17	<i>Flushing</i> Sisi.	22
Gambar 2.18	<i>Flushing</i> Tekan	23
Gambar 2.19	<i>Flushing</i> Hisap.....	23
Gambar 2.20	<i>Flushing</i> Kombinasi.....	24
Gambar 2.21	Polaritas Arus.....	26
Gambar 2.22	Permukaan Benda Kerja Hasil EDM.	28
Gambar 3.1	Skema Pengambilan Data Temperatur.....	35
Gambar 3.2	Dimensi Benda Kerja.....	36
Gambar 4.1	Grafik Pengaruh Arus Listrik Terhadap Temperatur.....	47
Gambar 4.2	Grafik Pengaruh Arus Listrik Terhadap Ljau Pemotonagn.	48

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul
Lampiran 1	: Foto Alat dan Bahan Penelitian
Lampiran 2	: Tabel F untuk $\alpha = 5\%$



RINGKASAN

ARI NOVIYANTO, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya, Februari 2009, “Pengaruh Variasi Arus Listrik Terhadap Temperatur Benda Kerja Dan Laju Pemotongan Pada Proses *Drilling EDM*”, **Dosen Pembimbing : Sugiarto ST, MT. dan Ir. Tjuk Oerbandono, MSc. CSE.**

Pengoperasian mesin *EDM* terutama *drilling EDM* umumnya hanya mengandalkan pengalaman operator dan belum ada standar yang digunakan sehingga untuk pengerjaan produk yang sama dengan operator yang berbeda sering kali menghasilkan kualitas produk yang berbeda. Untuk mengatasi permasalahan tersebut perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh variasi beberapa parameter pada pemotongan menggunakan mesin *drilling EDM*. Dengan tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi arus listrik terhadap temperature benda kerja dan laju pemotongan benda kerja pada proses *drilling EDM*.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental nyata (*true experimental research*) dengan variasi arus listrik, sebesar 8.5A, 12.5A, 18A, 25A, dan 36A, arus listrik tersebut sebagai variabel bebas untuk variabel terikatnya temperatur benda kerja dan laju pemotongan benda kerja, sedangkan untuk bahan yang digunakan adalah untuk spesimen baja ST 42, untuk elektrode memakai tembaga, dan untuk fluida yang digunakan adalah kerosin. Dalam penelitian ini memakai *flushing* sisi dan polaritas positif. Kemudian dengan adanya variasi tersebut barulah dilakukan proses EDM terhadap benda kerja dengan pengulangan tiga kali pengujian dari masing-masing arus listrik. Kemudian data yang diperoleh dianalisa dengan menggunakan analisa varian satu arah.

Hasilnya adalah bahwa besar arus listrik berpengaruh terhadap temperatur benda kerja dan laju pemotongan benda kerja. Arus listrik dari 8.5A sampai dengan 36A akan menyebabkan peningkatan nilai temperatur dari 53.1 °C hingga 119.9 °C, sedangkan nilai laju pemotongan mengalami peningkatan dari 16.9805 mm³/menit hingga 40.7158 mm³/menit.

Kata Kunci : EDM, Arus Listrik, Temperatur Benda Kerja, Laju Pemotongan

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Saat ini industri manufaktur mengalami perkembangan yang cukup pesat. Karena adanya tuntutan terhadap produk manufaktur yang memiliki kualitas dan tingkat akurasi tinggi serta waktu pengerjaan sesingkat mungkin. Maka dicarilah solusi melalui parameter proses yang tepat, pemilihan alat yang akan digunakan agar diperoleh kualitas produk yang baik dengan seminimal mungkin. Hal yang demikian tentu akan sulit jika hanya mengandalkan pemotongan secara konvensional. Untuk memperoleh hasil pemotongan dengan tingkat akurasi yang tinggi pada material dengan *machinability* yang rendah mungkin bisa diatasi dengan teknologi permesinan non konvensional (*non conventional machinery*).

Beberapa macam proses pemotongan logam non konvensional antara lain: *Chemical Machining* (CHM), *Electro Chemical Machining* (ECM), *Ultrasonic Machining* (UCM), *Electrical Discharge Machining* (EDM). Proses pengerjaan dengan EDM adalah proses pengerjaan material dengan menggunakan loncatan bunga api listrik (*Sparking*) yang terjadi antara elektroda pahat dan benda kerja melalui suatu media isolator yang disebut fluida dielektrik (Abdulkadir ERDEN, 2002). Proses ini mampu mengerjakan logam atau paduan yang sangat keras sekalipun dan juga mampu mengerjakan benda kerja dengan bentuk permukaan yang rumit sehingga EDM sering digunakan untuk pengerjaan pada proses pembuatan cetakan (*dies*) dan pahat dari baja yang sangat keras. Akan tetapi jika dibandingkan dengan mesin perkakas konvensional, pengerjaan dengan EDM bisa dikatakan relatif lebih mahal. Dengan adanya dorongan kebutuhan untuk menghasilkan produk yang berkualitas sesuai dengan kebutuhan menyebabkan proses permesinan dengan EDM tetap digunakan (Abdulkadir ERDEN, 2002).

Pengoperasian mesin EDM terutama *drilling EDM* umumnya hanya mengandalkan pengalaman operator dan belum ada standar yang digunakan sehingga untuk pengerjaan produk yang sama dengan operator yang berbeda sering kali menghasilkan kualitas produk yang berbeda. Untuk mengatasi permasalahan tersebut perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh variasi beberapa parameter pada pemotongan menggunakan mesin *drilling EDM* (Complete Handbook, 2000).

Parameter permesinan *EDM* terdiri dari parameter dasar yang meliputi arus listrik, *on time*, *off time*, polaritas dan mekanik *servo*. Pada penelitian ini parameter yang digunakan adalah arus listrik. Parameter arus berhubungan erat dengan energi *sparking*, yang mana energi yang terkandung tiap terjadinya *sparking* digunakan untuk melelehkan dan menguapkan sejumlah kecil material yang akan meninggalkan bekas berupa kawah-kawah halus pada permukaan benda kerja.

Dalam penelitian sebelumnya, permasalahan pengaruh variasi arus listrik terhadap temperatur benda kerja dan laju pemotongan benda kerja hasil proses *drilling EDM* belum jelas diketahui, sehingga perlu dilakukan penelitian tentang hal tersebut.

1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut: Bagaimanakah pengaruh variasi arus listrik pada proses *drilling EDM* terhadap perubahan temperatur benda kerja dan laju pemotongan benda kerja.

1.2 Batasan Masalah

Untuk lebih menyederhanakan dan memudahkan penelitian maka perlu diambil batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Mesin yang digunakan merk *King Spark Pulse YH-120* dalam keadaan normal.
2. Benda kerja yang dipakai adalah baja ST 42 karena bahan tersebut banyak digunakan di bengkel-bengkel perkakas.
3. Elektroda yang digunakan Tembaga (Cu).
4. *Flushing* yang digunakan *flushing* sisi.
5. Jenis pengerjaan adalah proses *drilling EDM*.
6. Fluida dielektrik yang digunakan adalah *kerosene*.
7. Benda kerja diameter 25 mm, tebal 20 mm, diameter *drilling* 16 mm, kedalaman pemakanan 2 mm.
8. Tidak membahas mikro struktur.
9. Tidak membahas keausan pahat dan ketelitian benda kerja.
10. Polaritas yang digunakan adalah polaritas positif

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi arus listrik terhadap perubahan temperatur benda kerja dan laju pemotongan benda kerja pada proses *drilling EDM*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dan hubungan antara variasi arus listrik terhadap temperatur benda kerja dan laju pemotongan benda kerja. Selain itu juga dapat dijadikan acuan lebih lanjut bagi penelitian maupun masyarakat industri manufaktur yang menggunakan mesin *drilling EDM* dan untuk pengembangan ilmu permesinan dimasa mendatang.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

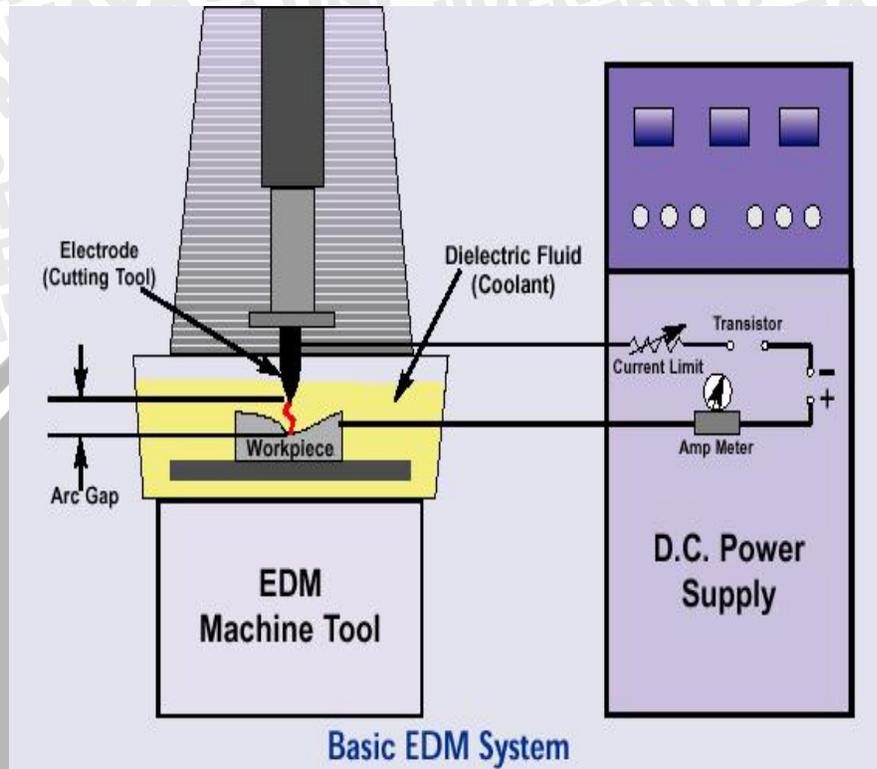
Iman Mauludin, 2004. Meneliti tentang pengaruh variasi arus terhadap keausan pahat dengan polaritas berbeda pada proses *die sinking* dengan EDM (*Electro Discharge Machining*). Variabel penelitiannya menggunakan variasi arus listrik, dimana arus yang dipakai antara lain : 6A, 12A, 18A, dan 24A. Variabel terkontrol adalah polaritas, material untuk elektrode adalah tembaga dan untuk benda kerja dipakai baja jenis HPM 22 (buatan HITACHI). Hasil penelitian yang diperoleh adalah pada polaritas positif, semakin besar arus maka keausan pahat semakin menurun. Sedangkan pada polaritas negatif, semakin besar arus didapatkan keausan pahat yang semakin meningkat.

2.2 Prinsip Kerja EDM (*Electro Discharge Machining*)

Prinsip kerja EDM (*electro discharge machining*) dalam memotong atau mengikis benda yaitu dengan pemanfaatan loncatan bunga api (*sparking*) yang terjadi antara benda kerja dengan elektroda. Oleh karena itu elektroda dan benda kerja harus terbuat dari bahan yang bersifat konduktor. Proses permesinan dimulai dari pemasangan benda kerja dan elektroda yang dipasang dengan posisi sedemikian rupa sehingga keduanya tidak bersentuhan secara langsung. Keduanya dipisahkan oleh jarak, dimana jarak tersebut diisi oleh cairan *isolator*. Seiring dengan berkurangnya jarak antara tool dan benda kerja maka akan terjadi loncatan bunga api yang akan berubah menjadi kalor. Setiap loncatan elektroda yang bergerak dengan kecepatan tinggi akan menumbuk permukaan benda kerja.

Bagian dari permukaan benda kerja yang tertumbuk loncatan bunga api akan mengalami kenaikan temperatur sekitar 8000 – 12000 °C yang akan mengakibatkan terjadinya pelelehan lokal pada bagian tersebut. Setelah terjadinya loncatan bunga api listrik, maka aliran listrik menjadi terhenti, yang menyebabkan terjadinya penurunan temperatur secara mendadak dan akan mengakibatkan gelembung uap. Bagian material yang meleleh akan terpancar keluar dari permukaan meninggalkan bekas – bekas berupa kawah halus pada permukaan material, bagian yang terpancar ini secepatnya akan membeku dan kembali membentuk partikel – partikel halus yang terbawa oleh cairan

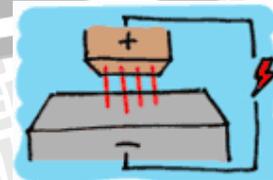
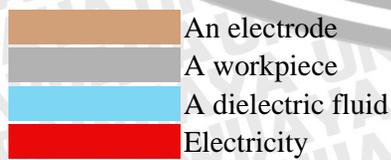
dielektrik yang bersirkulasi dan dibersihkan oleh filter. Proses erosi yang terjadi bukan hanya pada permukaan benda kerja tetapi juga dipermukaan pahat.



Gambar 2.1 Skema dasar EDM
Sumber : Brown, 1998:119

Untuk melakukan proses permesinan dengan EDM (*electro discharge machining*) dibutuhkan 4 komponen, yaitu :

1. elektroda
2. Benda kerja
3. fluida dielektrik
4. arus listrik DC



Gambar 2.2 Komponen Dasar Mesin EDM
Sumber : [www.charmilles.com/edm principle](http://www.charmilles.com/edm%20principle)

EDM memiliki banyak kelebihan dibandingkan mesin – mesin konvensional, antara lain : (Sumber : Panday P.C. Shan, 1980:85)

- Mampu mengerjakan logam yang sangat keras yang tidak mudah dikerjakan oleh mesin konvensional.
- Proses EDM mampu mengerjakan permukaan dalam bentuk yang kompleks.
- Mampu memotong logam yang memiliki paduan sangat keras dengan keakuratan tinggi dan hasil yang baik
- Proses mampu dikerjakan dengan mudah tanpa banyak memerlukan pengawasan dari operator karena mesin bekerja dengan otomatis
- Selama proses permesinan, tidak terjadi kontak langsung antara *tool* dengan benda kerja.

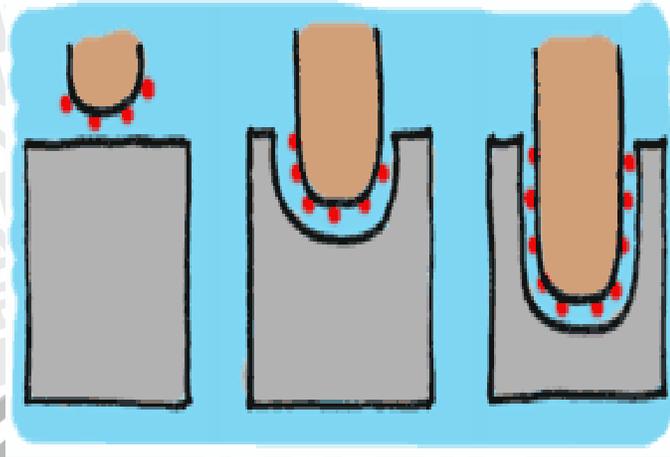
2.2.1 Loncatan bunga api listrik (*sparking*)

Secara keseluruhan proses pengerjaan material dengan EDM (*electro discharge machining*) adalah suatu proses yang kompleks. Elektroda (pahat) dan benda kerja berada dalam fluida dielektrik yang berfungsi sebagai media *isolator*. Agar loncatan bunga api listrik bisa terjadi maka beda tegangan listrik pada celah antara pahat dan benda kerja harus lebih besar dari *break down voltage* atau tegangan yang memungkinkan terjadinya loncatan bunga api listrik, *Break down voltage* tergantung pada: (Sumber : Bagiasna K, 1978:70)

- Jarak terdekat antara pahat dan benda kerja
- Sifat isolator fluida dielektrik
- Tingkat pengotoran geram pada celah dielektrik

Proses terjadinya *sparking* dapat diuraikan sebagai berikut :

- Pengaruh medan listrik yang ada antara pahat dan benda kerja menyebabkan terjadinya pergerakan ion positif dan elektron yang masing-masing menuju kutub yang berlawanan. Akhirnya terbentuklah suatu saluran ion yang bersifat konduktif.
- Pada kondisi tersebut maka arus listrik dapat mengalir melalui saluran ion tersebut dan terjadilah loncatan bunga api.



Gambar 2.3 : Proses terjadinya *sparking*

Sumber: [anonymous.www.charmilles.com/ EDM principle](http://anonymous.www.charmilles.com/EDM_principle)

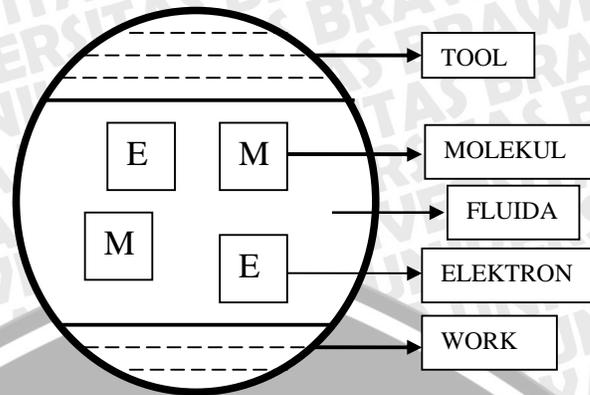
2.2.2 Proses terjadinya saluran ion

Dengan adanya medan listrik antara pahat dan benda kerja. Elektron – elektron bebas yang berada dipermukaan pahat akan tertarik menuju benda kerja. Dalam pergerakan menuju benda kerja, elektron – elektron yang mempunyai energi kinetik ini akan bertumbukan dengan molekul – molekul fluida dielektrik.

Dalam proses tumbukan tersebut maka akan terjadi suatu keadaan, yaitu :
(Sumber : Panday P.C. Shan, 1980:89)

1. Tumbukan biasa, dimana elektron tersebut kurang energi kinetiknya.
2. Jika energi kinetik elektron tersebut sangat tinggi, maka akan menghasilkan elektron baru yang berasal dari molekul dari fluida dielektrik. Molekul dari fluida dielektrik yang telah kehilangan elektron akan menjadi ion positif dan akan tertarik kearah elektroda pahat.
3. Dengan adanya proses tabrakan tersebut akan menghasilkan elektron-elektron baru dan ion-ion positif baru, maka akan terbentuk suatu saluran ion.

Dengan terbentuknya saluran ion tersebut maka tahanan listrik pada saluran tersebut menjadi rendah sehingga terjadi pelepasan energi listrik dalam waktu singkat berupa loncatan bunga api listrik

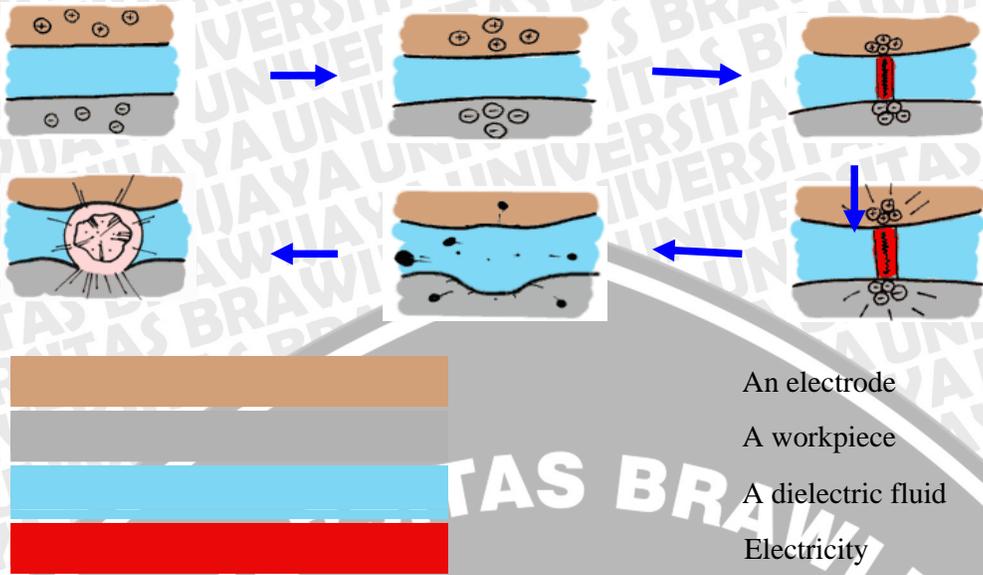


Gambar 2.4 : Proses ionisasi
Sumber : Panday P.C. Shan, 1980:89

2.2.3. Proses pemotongan material

Pada Pemotongan Material (*Discharge Process*) dengan mesin EDM dapat diuraikan sebagai berikut : (Sumber : Bagiasna K, 1978:73)

- Setiap *sparking* yang terjadi menyebabkan suatu pemusatan aliran elektron yang bergerak dengan kecepatan tinggi dan menumbuk permukaan benda kerja.
- Bagian dari benda kerja ini akan mengalami kenaikan temperatur dan akan menyebabkan pelelehan lokal pada bagian tersebut. Kondisi seperti ini terjadi juga pada permukaan elektroda. Pada saat bersentuhan terjadi juga penguapan, baik pada elektroda kerja maupun fluida dielektrik. Kenaikan temperatur menyebabkan membesarnya volume maupun tekanan gelembung uap tersebut.
- Setelah terjadi *sparking* maka aliran listrik terhenti yang akan menyebabkan penurunan temperatur secara mendadak yang akan menyebabkan gelembung uap dan akhirnya bagian material yang meleleh tersebut akan terpancar keluar dari permukaan dan meninggalkan bekas berupa kawah-kawah halus, bagian – bagian yang terpancar tersebut akan membeku dengan cepat dan akan terbawa oleh aliran fluida dielektrik

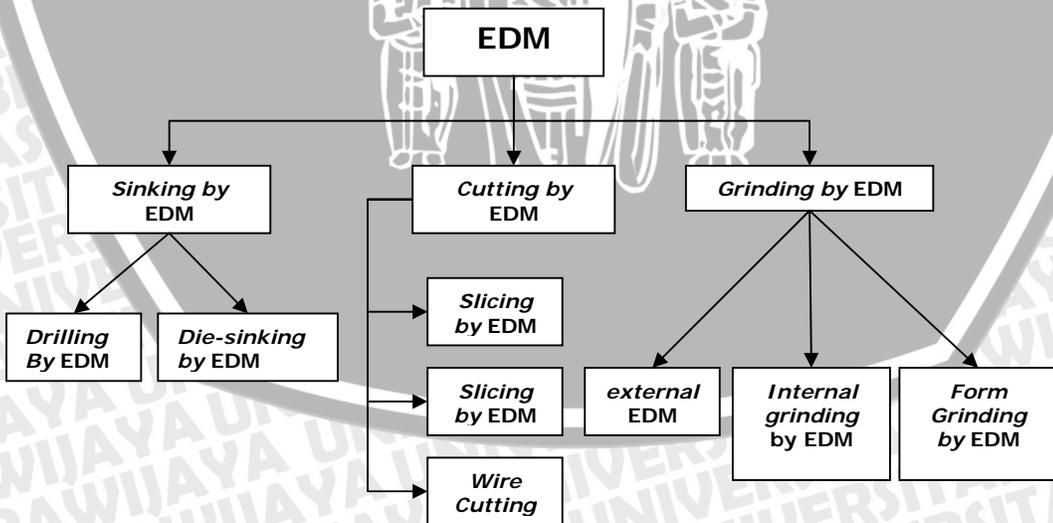


Gambar 2.5 Urutan Proses Pengikisan Material EDM
 Sumber : www.charmilles.com/ EDM prnciple

2.3 Kategori Permesinan EDM (*Electro Discharge Machining*)

Berdasarkan proses pengerjaannya, EDM dapat dikelompokkan secara garis besar sebagai berikut:

1. proses *sinking*
2. proses *cutting*
3. proses *grinding*



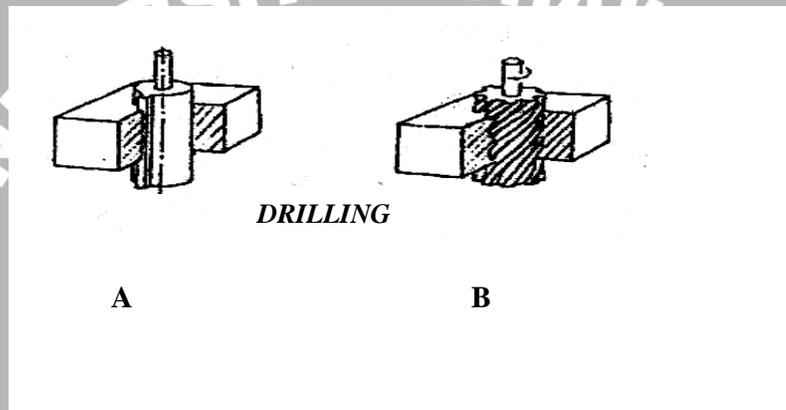
Gambar 2.6 Katagori permesinan EDM
 Sumber: Panday P.C. Shan, 1980:86

2.3.1 Proses *sinking*

Adalah Proses Permesinan EDM dimana bentuk akhir dari benda kerja ditentukan langsung oleh bentuk elektroda. Proses ini dibagi menjadi dua, yaitu :

1. *Drilling*

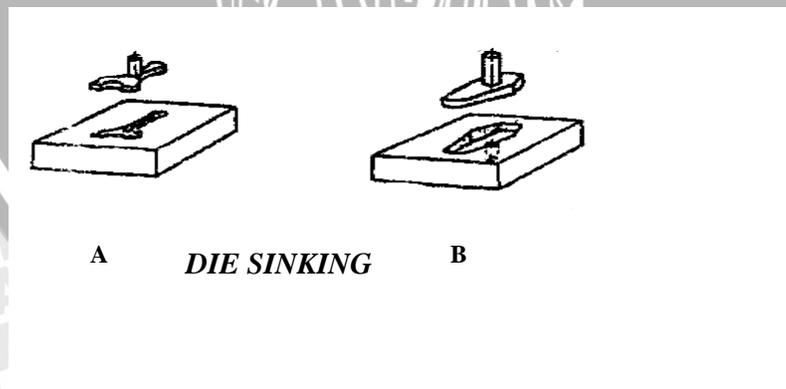
Proses ini meliputi semua proses pengerjaan pembuatan lubang atau lekukan dengan elektroda berpenampang tetap. Lubang yang dihasilkan dapat berupa lubang tembus (*through hole*), ataupun lubang tidak tembus (*blind hole*). Pembuatan lubang dalam permesinan EDM dapat dilakukan dengan dua cara yaitu. Elektroda menekan sambil berputar atau hanya menekan.



Gambar 2.7 Proses drilling EDM
Sumber: Panday P.C. Shan, 1980:87

2. *Die sinking*

Proses ini meliputi semua proses pengerjaan lekukan (*cavity*) dengan elektroda berpenampang tertentu

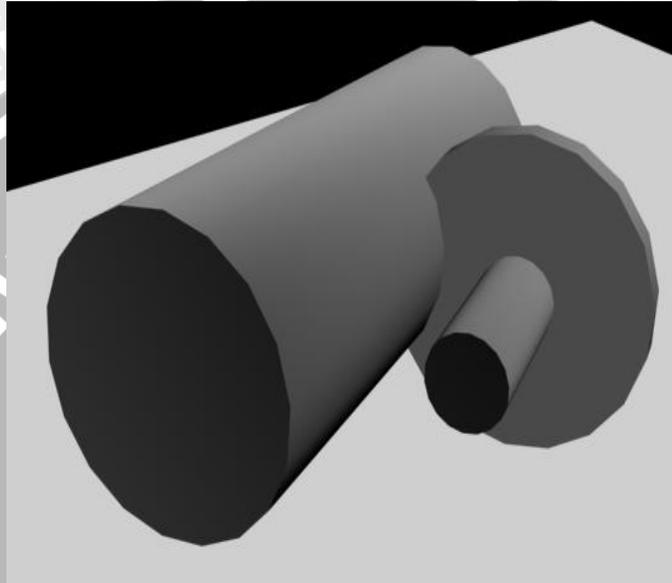


Gambar 2.8 Proses die sinking EDM
Sumber: Panday P.C. Shan, 1980:87

2.3.2 Proses *cutting*

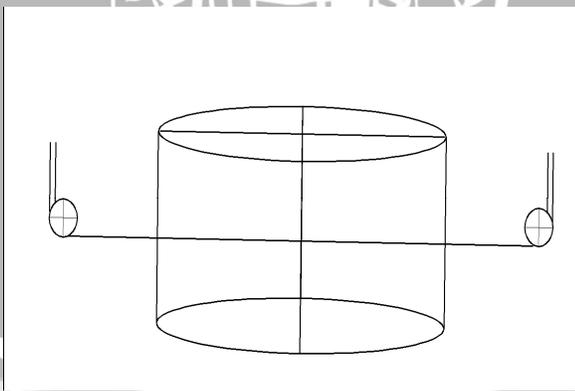
Adalah proses pemotongan logam dengan elektroda bergerak memotong benda kerja bersamaan dengan timbulnya loncatan bunga api. Proses *cutting* dalam EDM dibagi dalam tiga macam, yaitu :

1. *Slicing* dengan dengan elektroda lempeng berputar



Gambar 2.9 Proses *Cutting* dengan lempeng berputar
Sumber: Panday P.C. Shan, 1980:88

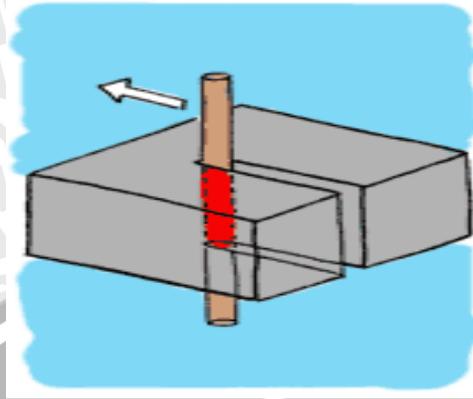
2. *Slicing* dengan pahat bentuk pita



Gambar 2.10 Proses *Cutting* dengan pita
Sumber: Panday P.C. Shan, 1980:88



3. *Cutting* dengan elektroda kawat

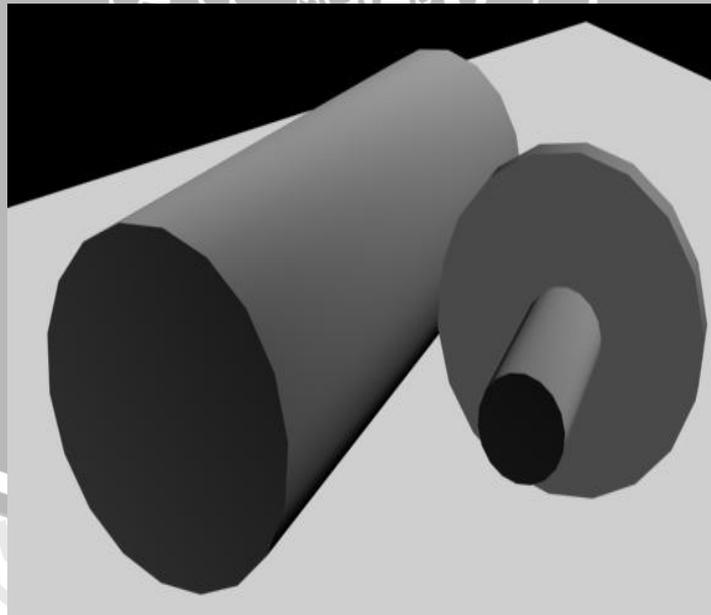


Gambar 2.11 *Cutting* dengan elektroda kawat
 Sumber: anonymous.www.charmilles.com/machining type

2.3.3 Proses *grinding*

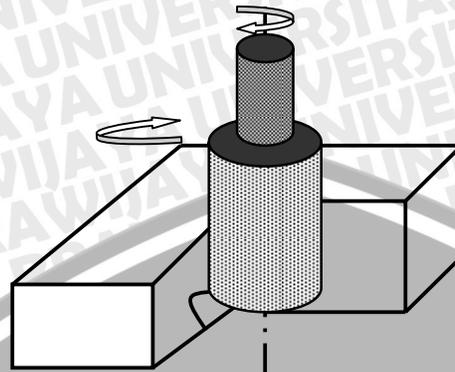
Proses ini menggunakan elektroda yang berputar atau benda kerja yang ikut berputar bentuk akhir benda kerja tergantung pada profil benda kerja dan gerakan relatif antara benda kerja dan elektroda, proses ini dibagi tiga macam yaitu :

1. *Eksternal grinding*



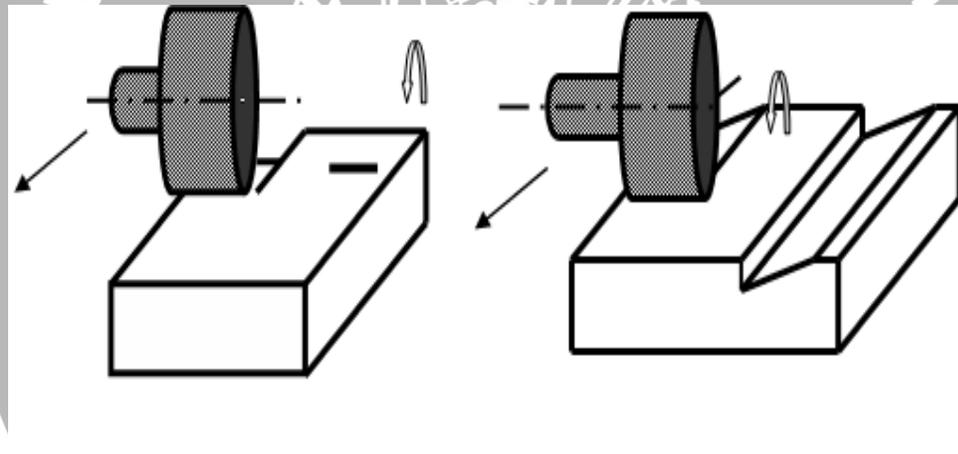
Gambar 2.12 Proses gerinda luar dengan EDM
 Sumber: Panday P.C. Shan, 1980:88

2. Internal grinding



Gambar 2.13 Proses gerinda dalam dengan EDM
 Sumber: Panday P.C. Shan, 1980:88

3. Profile grinding



Gambar 2.14 Gerinda *surface* atau profil dengan EDM
 Sumber: Panday P.C. Shan, 1980:88

2.4 Komponen Dasar EDM (*Electro Discharge Machining*)

2.4.1 Generator

Fungsi dari generator adalah mengedarkan energi listrik yang dibutuhkan secara periodik pada celah diantara pahat dan benda kerja. Generator terdiri dari suatu rangkaian elektronik, dimana rangkaian ini sekaligus juga berfungsi untuk mengatur dan mengendalikan karakteristik proses permesinan yang sedang berlangsung.

Generator merupakan salah satu komponen dasar yang memegang peranan penting . Generator berhubungan langsung dengan servo yang berfungsi untuk menjaga jarak antara elektroda dan benda kerja agar tidak terjadi *konsleting*.

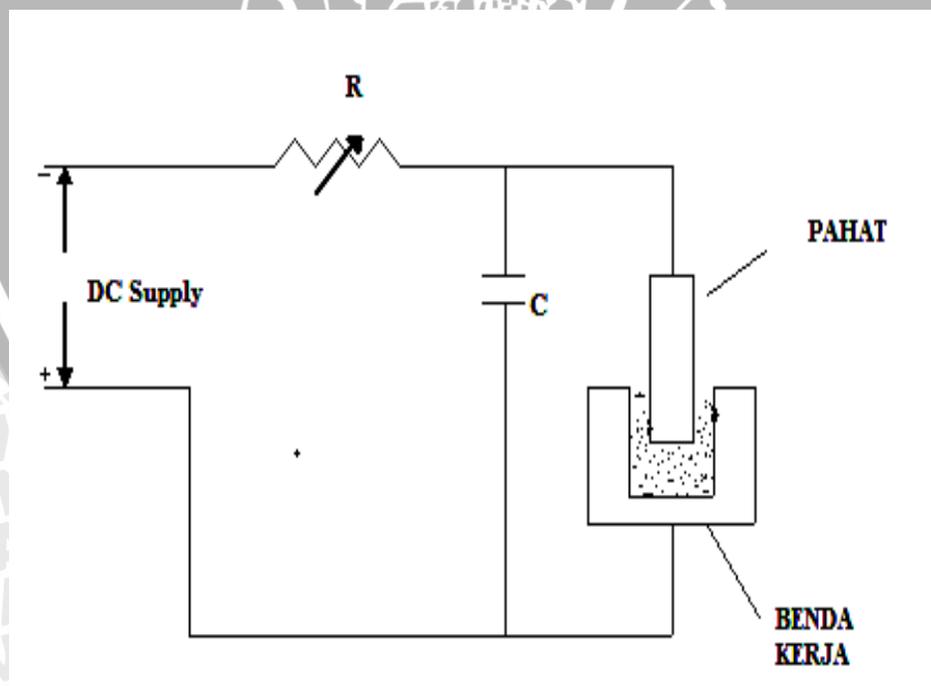
2.4.2 Rangkaian elektronik pada EDM (*Electro Discharge Machining*)

1. Rangkaian *Basic*

Apabila saklar (switch) S, berada pada posisi 1 maka arus listrik mengalir mengisi kapasitas C. apabila tegangan listrik di kapasitor C telah melampaui *break down voltage* celah dielektrum, maka saklar S berpindah ke posisi 2. akibatnya terjadilah pelepasan energi listrik dalam bentuk loncatan bunga api listrik pada celah dielektrum tersebut.

2. Rangkaian *Relaxation*.

Untuk mengatasi persoalan gerakan mekanis sektor yang terdapat pada rangkaian *BASIC*, maka saklar tersebut diganti dengan tahanan R pada rangkaian R-C tersebut. Dalam operasi normal, harga tahanan R mempengaruhi cepat lambatnya kapasitor. Apabila *break down voltage* dilampaui, maka terjadilah pelepasan energi listrik pada celah dielektrum tersebut, kemudian proses pengisian kapasitas C terulang kembali.



Gambar 2.15 Elemen dasar sirkuit *relaxation EDM*
Sumber : Panday. P.C Shan 1980 : 91

3. Rotari *Impulse* Generator

Dalam rangkaian elektronik ini, energi listrik di supply oleh sebuah “ rotary motor generator “ yang menghasilkan impulse-impulse energi listrik yang polaritasnya berubah-ubah. Dengan mempergunakan sebuah dioda D, maka terjadi pengisian kapasitor C pada setengah siklus yang pertama. Pada setengah siklus selanjutnya tidak terjadi pengisian kapasitor, tetapi tegangan listrik dari generator bersama-sama dengan tegangan listrik yang sebelumnya pada kapasitor dipergunakan untuk menimbulkan loncatan bunga api listrik pada celah dielktrum.

4. *Controlled pulse* dengan *vacuum tube* atau transistor

Rangkaian ini terdiri dari bermacam-macam konfigurasi, diantaranya :

- ❖ *Oscillator*
- ❖ *Vacuum tube* transformator
- ❖ *Oscillator controlled vacuum tube* dengan 2 buah *power supply*
- ❖ *Controlled pulse transistor*.

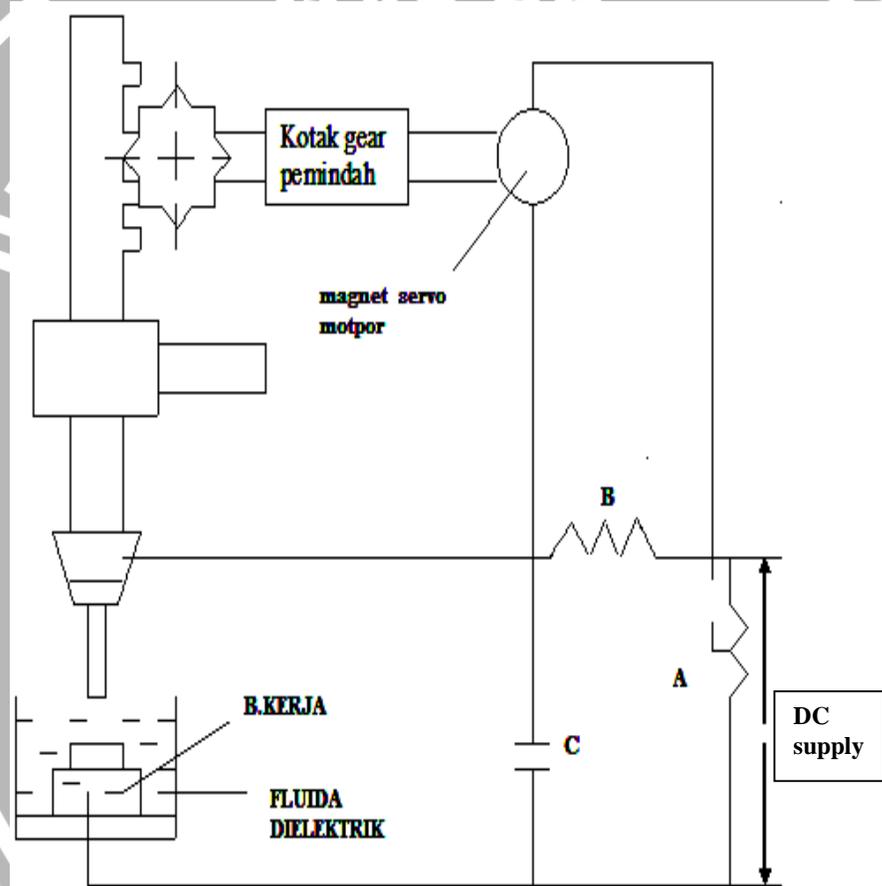
Pada prinsipnya dalam rangkaian tersebut, terdapat suatu pembangkit sinyal *pulse* pada umumnya berupa suatu *oscillator*. Sinyal yang berasal dari *oscillator* ini dihubungkan dengan kisi daripada *vacuum tube* tersebut. Dalam keadaan normal, tahanan listrik *vacuum tube* tersebut rendah sehingga arus listrik mudah mengalir dan mengisi kapasitor secara normal. Tetapi jika terjadi hubungan singkat antara pahat dan benda kerja, maka *oscillator* akan berfungsi sedemikian rupa sehingga *vacuum tube* mempunyai tahanan yang cukup besar menyebabkan arus listrik yang mengalir dalam rangkaian menjadi rendah sehingga pahat maupun benda kerja tidak rusak.

2.4.3 Elektroda (Pahat)

Elektroda yang digunakan dalam *drilling* EDM harus dibuat sesuai dengan bentuk produk yang diinginkan. Secara teoritis setiap material yang bersifat konduktor dapat digunakan sebagai elektroda pahat. Namun ada beberapa persyaratan sehingga suatu material dapat digunakan sebagai elektroda.

Persyaratan tersebut antara lain : (Sumber : Panday. P.C Shan 1980 : 93)

- Bahan penghantar (konduktor) yang baik.
- Mudah dibentuk dengan harga yang terjangkau.
- Mempunyai ketahanan keausan yang baik/tinggi
- Tahan terhadap deformasi selama proses pemotongan
- Menghasilkan *metal removal* yang efisien dari benda kerja.
- Dapat digunakan untuk mengerjakan material benda kerja dengan kekerasan dan ketangguhan yang lebih tinggi.



Gambar 2.16 Pengontrol elektroda pahat EDM
 Sumber : Panday. P.C Shan 1980 : 93

Dalam hal ini elektroda yang paling baik adalah yang memiliki titik leleh yang tinggi dan tahanan listrik yang rendah. Dalam proses EDM ada dua macam elektroda, yaitu :

1. Elektroda Logam

elektroda logam mempunyai beberapa jenis, antara lain :

a. Tembaga

Jenis elektroda yang paling umum digunakan adalah tembaga (*copper*) dengan komposisi :

- massa jenis : 8900 kg/m^3
- titik leleh : $1083 \text{ }^\circ\text{C}$
- kekuatan tarik : kira – kira 200 N/mm^2
- regangan patah : kira – kira 40 %

Elektroda jenis ini bersifat konduktor, harganya lebih murah dan menghasilkan permukaan yang halus pada benda kerja. Selain itu elektroda jenis ini dapat digunakan untuk semua jenis pengerjaan *roughing* dan *finishing*.

b. Tembaga paduan

Penambahan unsur paduan Chromium (Cr) dan seng (Zn) akan memperbaiki machinability dari material paduan tembaga pada proses permesinan konvensional. Dibanding tembaga, material ini mempunyai keausan 15% -25 % lebih tinggi dan *rate of metal removalnya* (RMR) 10 % lebih rendah untuk kandungan energi yang sama.

c. Tembaga wolfram (Cu-W)

Penambahan unsur wolfram sampai dengan 50 % pada unsur tembaga menaikkan ketahanan aus, namun hal ini akan menyebabkan paduan akan lebih sulit dikerjakan dengan proses permesinan konvensional. Harga tembaga - wolfram ini termasuk mahal dan pembuatan pahat dengan metode konvensional akan lebih susah, namun terlepas dari kelemahan yang dimiliki paduan ini sangat baik untuk pengerjaan dengan sisi-sisi yang tajam dan pembuatan lubang yang tajam.

Sifat mekanik / listrik dari elektroda Cu-W :

- Tahanan jenis : 0.045 – 0.055 ohn.mm²/m
- Rapat jenis : 15-18 g/cm³

Kelebihan elektroda tembaga – Wolfram :

- Mudah dikerjakan
- Mempunyai rigility yang bagus
- Surface finish bagus
- Cocok untuk pemakaian pahat yang membutuhkan ketelitian yang tinggi

d. Tungsten

Penggunaan elektroda ini dari bahan tungsten, digunakan untuk pembuatang lubang yang kecil (*microchole*) , ataupun dapat digunakan sebagai kawat elektroda pada permesinan EDM

e. Paduan alumunium

Paduan alumunium digunakan untuk proses pengerjaan saluran *cavity* tiga dimensi dengan hasil pengerjaan yang tidak begitu halus, sehingga akan lebih baik jika menggunakan elektroda dari bahan paduan alumunium, dengan komposisi kimia dari material sebagai berikut :

Al 85%, Si 11%, Mg 0,4 % - 0.6 %, Zn 1 %, Mn + Fe + Cu 1 %.

Material ini mempunyai kelebihan:

- Pembuatan pahatnya lebih mudah, karena material dapat dituang dengan mudah
- Proses – proses konvensional dapat digunakan dalam pembuatan pahatnya
- Mampu mengerjakan dalam pembuatan *cavity* dengan volume besar (500 cm³) dengan benda kerja perkakas maupun paduan tertentu.
- Mudah untuk dibentuk ataupun dituang.
- Mampu mengerjakan bentuk – bentuk yang rumit.

f. Kuningan

Pembuatan elektroda dari bahan ini mudah dikerjakan dengan mesin konvensional dan dapat digunakan pada beberapa jenis material namun khusus untuk pengerjaan benda kerja dari titanium. Namun elektroda kuningan ini jarang digunakan karena tingkat keausannya cukup tinggi namun dalam prakteknya pembuatan pahatnya sangat mudah dikerjakan dengan mesin konvensional.

g. Baja (*steel*)

Baja tidak hanya digunakan sebagai benda kerja, namun juga bisa digunakan sebagai elektroda sangat terbatas karena effesiensinya yang rendah bila dibandingkan dengan tembaga dan grafit. Pembuatan elektroda ini dapat dikerjakan dengan mesin konvensional atau untuk membuat cetakan plastik (*plastic mould*) dan *die casting*

2. Elektroda non logam

- Grafit

Grafit memiliki sifat-sifat antara lain :

- ✓ Tahanan jenis : $8 - 15 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$.
- ✓ Rapat jenis : $1.6 - 1.85 \text{ gt}/\text{cm}^3$
- ✓ Titik lebur : 3600°C (6512°F)
- ✓ Koefisien muai panjang : $2 - 4 \times 10^{-6} \text{ C}$
- ✓ Kekuatan Tarik : $200 - 700 \text{ kg}/\text{cm}^2$

Dibandingkan dengan elektroda metal, grafit lebih ringan sehingga tidak memberikan pegangan pahat. Selain itu grafit juga lebih tahan terhadap kejutan panas pada proses pengerjaan dengan mesin konvensional. Namun pada pembuatan pahat harus benar hati – hati, karena grafit sangat getas sehingga mudah patah. Selain itu pahat grafit juga cukup mahal dibandingkan jenis pahat yang lain. Elektroda ini digunakan untuk membuat profil yang sulit pada benda kerja.

2.4.4 Fluida dielektrik

Fluida dielektrik adalah fluida yang memisahkan dua konduktor listrik, elektroda dan benda kerja tanpa adanya aliran listrik. Fungsi fluida dielektrik dalam proses permesinan EDM adalah sebagai berikut : (Sumber : Bagiasna K, 1978:102)

- a. Sebagai pendingin antara pahat dan benda kerja.
- b. Dalam keadaan terionisasi, fluida dielektrik ini bersifat semacam konduktor sehingga memungkinkan terjadinya *sparking*.
- c. Untuk mengeluarkan geram (chip) dari celah antara elektroda pahat dan benda kerja.

Fluida dielektrik harus mempunyai sifat – sifat sebagai berikut :

- Tidak menghasilkan gelembung – gelembung uap dan gas yang berbahaya bagi kesehatan operator.
- Sifat kimianya netral terhadap mesin dan benda kerja.
- Tidak mudah terbakar.
- Murah dan mudah dalam pengoperasiannya.

Jenis – jenis fluida dielektrik yang biasa dipakai dalam proses EDM yaitu :

- Air (*aqua destilasi*)

Air sebagai fluida dielektrik dipergunakan terutama untuk proses pengerjaan *micromachining*.

- Minyak mineral (*mineral oil*)

Hal yang perlu diperhatikan adalah viskositasnya minyak. Minyak dengan viskositas tinggi tidak cocok dipergunakan pada proses finishing, sebaliknya akan menguntungkan apabila digunakan pada proses pengkasaran (*roughing*)

- Kerosine

Kerosine mempunyai viskositas yang rendah sehingga cocok digunakan untuk proses pengerjaan *finishing* dan *superfinishing*.

Tabel 2.1
Macam-macam Fluida Dielektrik EDM

NO	JENIS FLUIDA DIELEKTRIK	VISKOSITAS (Centipoises)
1	BP Dielectric 250	6
2	Castrol HONILO 409	6,4
3	Chevron EDM Fluid 71	5,7
4	Esso Mentor 20 / SOMENTOR 43	7,4
5	Esso LECTOR 40	6,8
6	Esso UNIVOLT 64	20
7	Fuchs RATAK FE	5,6
8	Gulf Mineral Seal Oil	5,8
9	Mobil Oil VELOCITE 4	9
10	Mobil Oil VELOCITE 6	19,1
11	Socal Fina LYRAN D 50	12
12	White Spirit - Kerosene	2

Sumber : G, Semon : 1975 : 78

2.4.5 Flushing

Flushing adalah sirkulasi fluida dielektrik yang mengalir pada celah antara pahat dan benda kerja. *Flushing* sangat penting dalam proses EDM karena dengan metode *flushing* yang tepat akan mempertinggi efisiensi proses pengerjaan material.

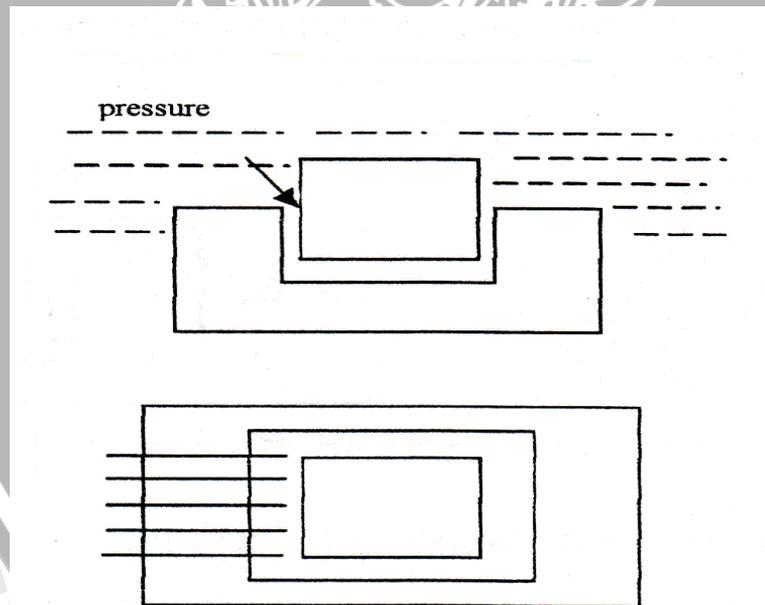
Pada awal pengoperasian mesin dengan suplai delektrik yang bersih akan didapat kekuatan isolasi yang lebih besar daripada fluida dielektrik mengalami kontaminasi oleh geram. Geram timbul segera saat terjadinya proses *sparking*, sehingga menurunkan kemampuan isolasi dari fluida dielektrik. Geram – geram yang bertindak sebagai kotoran yang berlokasi pada celah antara pahat dan benda kerja bila terkumpul dalam jumlah yang besar akan menyebabkan : (Sumber : Bagiasna K, 1978:103).

- Terjadinya loncatan bunga api listrik yang tidak normal sehingga menurunkan laju pengerjaan material.
- Terjadinya efek hubungan singkat (*konsleting*) antara pahat dan benda kerja.
- Terjadinya busur api listrik antara pahat dan benda kerja yang bisa merusak keduanya

Macam – macam metode *flushing* :

1. *Flushing sisi (side flushing)*

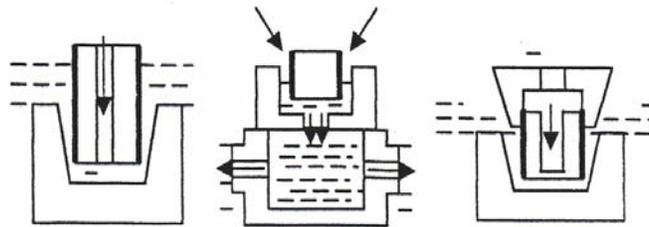
Metode ini dilakukan bila tidak memungkinkan untuk membuat saluran *flushing* pada benda kerja atau pahat. Pada metode ini nozel yang bisa mengarahkan aliran dielektrik sedemikian rupa sehingga terjadi *flushing* yang baik pada daerah pengerjaan material benda kerja. Metode *flushing* sisi ini dikombinasikan pada waktu tertentu dengan menaikkan-menurunkan elektrode pahat sehingga terjadi efek pemompaan cairan dielektrik yang berada pada celah pahat benda kerja sehingga membantu terjadinya sirkulasi yang baik dari pada cairan dielektrik tersebut. Hal ini dapat dijelaskan pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 *Flushing sisi*
Sumber : G, Semon, 1975 : 53

2. *Flushing injeksi (injection Flushing)*

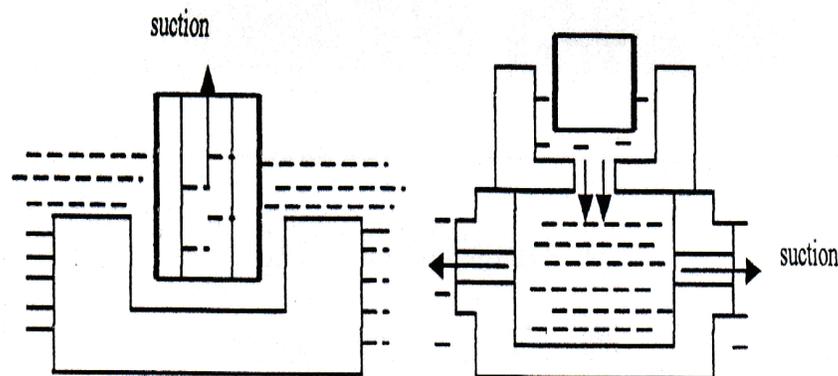
Metode ini dilakukan dengan menyemprotkan fluida dielektrik kedalam celah secara kontinyu melalui saluran (lubang) yang dibuat pada elektroda atau benda kerja. Metode ini cenderung menghasilkan produk tirus akibat *lateral discharge* sewaktu aliran dieleketrik dan partikel – partikel benda kerja melewati celah tersebut. Hal ini sebagaimana dijelaskan pada gambar 2.18



Gambar 2.18 *Flushing tekan*
Sumber : G, Semon, 1975 : 50

3. *Flushing hisap (suction flushing)*

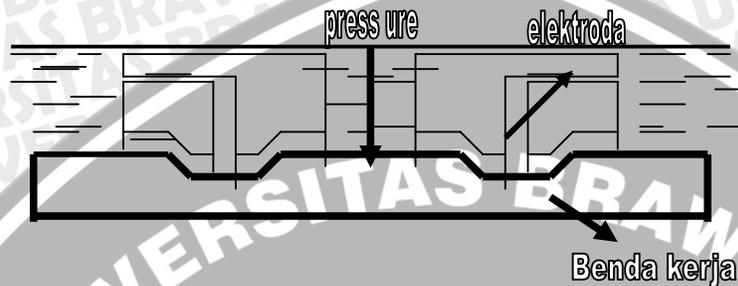
Dalam metode ini fluida dielektrik dihisap dari dalam celah melalui saluran pada elektroda atau benda kerja. Dengan cara ini efek *tapering* dapat diminimalkan sehingga sangat cocok untuk proses pembuatan lubang yang dalam. Hal ini sebagaimana dijelaskan pada gambar 2.19.



Gambar 2.19 *Flushing hisap*
Sumber : G, Semon, 1975 : 51

4. *Flushing kombinasi (combination flushing)*

Metode ini adalah kombinasi antara *flushing* hisap dan *flushing* injeksi. Penggunaan metode ini biasa digunakan untuk pembuatan cetakan dalam dimensi yang sangat besar. Hal ini sebagaimana dijelaskan pada gambar 2.20.



Gambar 2.20 Flushing kombinasi
Sumber : G. Semon , 1975 : 61

2.4.6 Ketelitian (Accuracy)

Karena selama proses berlangsung terjadi proses *sparking* kearah radial dari pahat, maka akan berpengaruh terhadap ketelitian. Ketelitian pada proses EDM meliputi dua hal yaitu :

1. Gejala taper

Disebabkan oleh *side sparking* (*sparking* kearah tepi). Hal ini dapat dikurangi dengan menggunakan metode *flushing* hisap.

2. *Overcut*

Adalah deviasi yang menunjukkan bahwa *bearnya* (diameter) lubang yang dikerjakan oleh proses EDM, lebih besar daripada ukuran elektrodanya. Besarnya *overcut* ini tergantung pada kedalaman kawah yang terjadi, berarti dalam hal ini sangat tergantung dari besarnya energi yang digunakan oleh elektron untuk menubruk benda kerja.

2.4.7 Keausan Pahat

Keausan pahat didefinisikan sebagai pengikisan material yang terjadi pada elektroda (Pahat). Perlu dicemati bahwa keausan pahat yang terjadi pada pahat harus lebih kecil daripada RMR (*Rate Of Metal Romeval*), sehingga proses permesinan lebih efisien. Biaya penggantian merupakan faktor yang paling mempengaruhi dalam

perhitungan keausan pahat, sehingga penggantian pahat harus bisa diminimalisirkan. Keausan pahat sangat tergantung pada kondisi yang berlaku saat permesinan, baik dalam pemakaian bahan maupun parameter permesinan yang diterapkan.

Pada proses EDM dapat terjadi tiga macam keausan pahat, yaitu :

1) Keausan frontal

Adalah keausan yang diukur pada ujung pahat (elektroda) atau tinggi pahat (elektroda).

2) Keausan Linier

Adalah keausan yang diukur terhadap pengecilan diameter elektroda setelah proses berlangsung.

3) Keausan Volume Relatif

Adalah suatu perbandingan keausan pahat dengan keausan benda kerja.

Volume elektroda yang terkikis

$$\frac{\text{Volume elektroda yang terkikis}}{\text{Volume benda kerja yang terkikis}} \times 100 \%$$

2.5 Parameter EDM (*Electro discharge machining*)

2.5.1 Arus listrik

Pada proses permesinan EDM, arus sangat memegang peranan penting. Besar kecilnya arus akan berpengaruh langsung terhadap kekasaran permukaan, laju pengerjaan benda kerja dan keausan pahat yang akan terjadi. Besarnya arus yang digunakan pada proses permesinan EDM akan terlihat pada saat terjadinya *sparking* dari elektroda (pahat) terhadap benda kerja. Semakin besar yang digunakan akan membuat terjadinya *sparking* atau pengerosian yang besar pada benda kerja. Hal ini menyebabkan permukaan benda kerja yang dihasilkan semakin besar dan laju pengerjaan semakin cepat

2.5.2 *On time*

On Time adalah waktu pelepasan arus listrik melalui celah antar pahat dan benda kerja. Satuannya adalah mikrodetik. *On time* berhubungan dengan *offtime* karena keduanya terjadi saling bergantian.

2.5.3 *Off time*

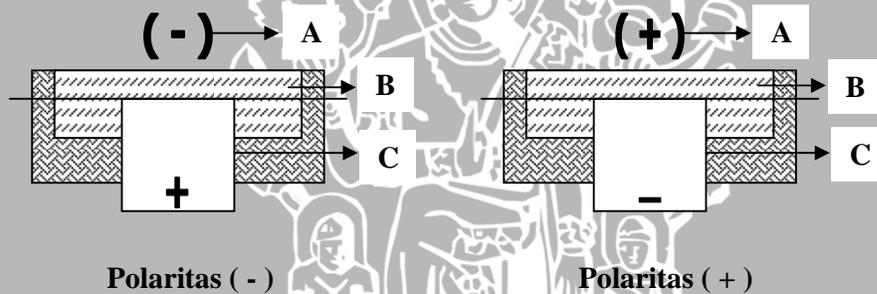
Off time adalah waktu sela antara dua *on time*. Satuannya juga mikrodetik. Pada periode ini terjadi pendinginan pada celah pahat dan benda kerja.

2.5.4 Servo

Servo berfungsi sebagai pengatur tegangan yang diterapkan untuk pemotongan dan berhubungan langsung dengan pengaturan celah antara elektroda (pahat) dengan benda kerja. Servo pada mesin EDM juga berfungsi untuk mengarahkan elektroda menuju benda kerja dan menarik kembali elektroda menuju benda kerja dan menarik kembali elektroda setelah proses pemotongan logam dengan energi *sparking* secara otomatis.

2.5.5 Polaritas

Polaritas adalah hubungan antara benda kerja dengan kutub listrik. Ada dua macam polaritas yang digunakan pada proses permesinan dengan EDM, yaitu polaritas positif (+) , apabila elektroda dihubungkan dengan kutub positif dan benda kerja dihubungkan dengan kutub negatif, dan polaritas negatif (-), apabila elektroda dihubungkan dengan kutub negatif sedangkan benda kerja dihubungkan dengan kutub positif .



Gambar 2.21 Polaritas arus

Sumber : G.Semon, 1975 :30

Keterangan gambar Polaritas (-) :

- A = Elektrode
- B = Fluida dielektrik
- C = Benda kerja

Keterangan gambar polaritas (+)

- A = Elektrode
- B = Fluida dielektrik
- C = Benda kerja

2.5.6 Intensitas arus

Intensitas arus disini adalah batas arus maksimum yang diterapkan pada proses pemotongan dengan EDM. Arus pada benda kerja dan pahat sendiri merupakan fungsi pada tegangan yang diterapkan. Kenaikan tegangan akan menaikkan arus. Kondisi ini diterangkan sebagai berikut :

- Gerakan elektron adalah fungsi dari tegangan dan arahnya berlainan arah dengan arus listrik sehingga jika suatu tegangan diterapkan antara dua elektroda arus akan bergerak kearah katoda dan bertambah secara perlahan – lahan sesuai dengan pertambahan elektron.

2.5.7 Discharge time

Dalam praktek *discharge time* disebut dengan *On Time*. Satuan dari *discharge time* ini adalah *micro second* (μs). *Discharge time* ini sangat berhubungan erat dengan *interval time*, karena keduanya saling bergantian. Yang dimaksud dengan *discharge time* sendiri adalah waktu pelepasan arus listrik melalui celah antara elektroda pahat dan benda kerja dimana pada waktu yang singkat ini akan terjadi proses erosi logam dan juga peningkatan suhu pada permukaan benda kerja. *Discharge time* mempunyai *interval* antara 1 - 1600 μs . Mesin yang digunakan dalam praktek tingkat *discharge time* dinyatakan dengan angka-angka sebagai berikut:

1 = 2 μs	7 = 50 μs
2 = 3 μs	8 = 100 μs
3 = 4 μs	9 = 200 μs
4 = 6 μs	10 = 400 μs
5 = 12 μs	11 = 800 μs
6 = 25 μs	12 = 1600 μs

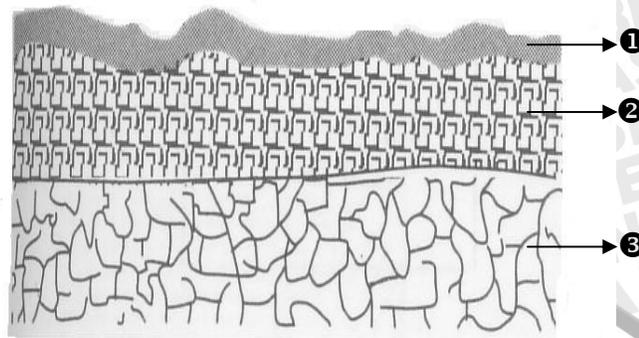
(Sumber : G. Sémon, 1975 : 40)

2.6 Karakteristik Proses Permesinan EDM (*Electro Discharge Machining*)

2.6.1 Permukaan benda kerja yang dikerjakan dengan EDM

Pada dasarnya proses pengerjaan pada EDM terjadi karena timbulnya loncatan bunga api listrik, sehingga temperaturnya mencapai 8000-12000 $^{\circ}\text{C}$. Temperatur yang sangat tinggi ini tentu akan mempengaruhi karakteristik permukaan benda kerja tersebut dan hal ini tergantung pada jenis materialnya.

Efek dari pada pengaruh panas terhadap permukaan benda kerja dapat dilihat pada gambar 2.22 :



Gambar 2.22 permukaan benda kerja
Sumber : El-Hofy H, 1998:129

Keterangan Gambar

1. Lapisan leleh dan beku kembali. Sebagian daripada lapisan ini telah terlempar keluar karena pecahan gelembung uap, sisanya masih melekat pada material induk.
2. Lapisan yang mengalami pengerasan. Pengerasan terjadi karena adanya efek quenching dan efek kandungan karbon yang tinggi pada lapisan ini.
3. Lapisan lunak, bagian lapisan ini memiliki struktur yang berubah dan kekerasan yang lebih lunak sedikit daripada material induknya. Semuanya ini adalah karena efek thermal-annealing yang terjadi selama proses berlangsung. Lapisan ini tergantung daripada energi yang terkandung pada bunga api listrik tersebut.

2.7 Laju pemotongan material

Laju pemotongan logam didefinisikan sebagai besaran volume pengerjaan logam setiap satuan waktu. Pemotongan material adalah akibat terjadinya pembentukan kawah pada permukaan benda kerja. Apabila parameter – parameter lain dijaga tetap konstan maka besarnya kawah yang terjadi akan tergantung pada energi yang dilepaskan didalam proses pelepasan bunga api listrik (*sparking*). Apabila energi *sparking* yang digunakan terlalu besar maka akan menyebabkan adanya kawah – kawah yang dalam sehingga permukaan benda kerja akan semakin kasar.

Akan tetapi bila energi *sparking* terlalu kecil akan menyebabkan proses pemotongan berjalan lama atau bahkan tidak terjadi proses pemotongan.

Untuk mengetahui besarnya *Rate of metal Removal* (RMR), maka harus dihitung dengan persamaan – persamaan sebagai berikut : (*G.Semon, 1975:87*)

Laju pemotongan material adalah :

$$RMR = V_{bk} / T$$

Dimana :

$$V_{bk} = \text{Volume benda kerja yang terpotong (mm }^3 \text{)}$$

$$t = \text{Waktu (menit)}$$

Berdasarkan variabel bebas dalam penelitian yang dilakukan, dapat diketahui bahwa arus listrik itu mewakili volume logam. Hal ini dapat diketahui dengan mengetahui hubungan arus listrik dengan volume logam. Arus listrik berpengaruh terhadap besarnya tegangan yang timbul antara elektrode dan pahat, sehingga berdasarkan persamaan energi listrik.

$$W = P \cdot t$$

$$W = Vit$$

$$W = I^2 Rt$$

Dimana :

$$W = \text{Energi listrik (Joule)}$$

$$I = \text{Arus listrik (Ampere)}$$

$$V = \text{Tegangan (Volt)}$$

$$t = \text{Waktu (Detik)}$$

$$P = \text{Daya listrik (Watt)}$$

Berdasarkan persamaan diatas, maka akibat perubahan arus listrik akan menyebabkan perubahan energi listrik setiap sparking. Sedangkan energi listrik setiap sparking itu akan menentukan besarnya volume logam yang tererosi.

Kedalaman kawah yang terjadi secara sistematis ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$Hc = K_1 \cdot Wp^{1/3}$$

Dimana :

$$Hc = \text{Tinggi kawah (mm)}$$

$$Wp = \text{Energi (joule)}$$

$$K_1 = \text{konstanta elektrode dan cairan dielektrik}$$

Sedangkan untuk diameter kawah yang terjadi dirumuskan sebagai berikut :

$$D_c = K_2 \cdot W_p^{1/3}$$

Keterangan :

D_c = diameter kawah (mm)

W_p = Energi (joule)

K_2 = konstanta elektrode dan cairan dielektrik

2.8 Baja Karbon (*Carbon steel*)

Baja adalah sebuah paduan besi karbon dan unsur-unsur lain yang kadar karbonnya jarang melebihi 0,2%. Baja dapat dibentuk melalui pengecoran, pencanaian, dan penempaan. Baja merupakan logam yang paling banyak digunakan dalam dunia teknik. Klasifikasinya mengikuti standart *SAE (Society of Automotif Engineers)* dan *AISI (America Iron and Steel Institute)*. Kelebihan baja diantaranya : memiliki kekuatan yang tinggi, memiliki titik lebur yang tinggi, mudah membentuk logam dan untuk bahan las yang baik. Sedangkan kekurangan baja dibandingkan dengan logam yang lain, yaitu mudah berkarat, memiliki berat jenis yang tinggi (Tata Surdia,1995:72).

2.8.1 Klasifikasi baja karbon

Berdasarkan kadar karbonnya, baja karbon dibedakan atas tiga jenis yaitu:

1. Baja karbon rendah (*low karbon steel*)

Kandungan karbon yang dimiliki baja karbon rendah berkisar antara 0,08%-0,30%C. Baja karbon ini mempunyai kemampukerasan (*hardena bility*) yang rendah. Baja karbon ini sering digunakan untuk konsrtuksi umem. Contohnya pada struktur bangunan, jembatan, lokomotif kerangka dan mobil. Jika pada baja ini diberi perlakuan dingin maka akan memperbaiki sifat mekanik, tegangan tarik dan tegangan luluhnya akan meningkat.

2. Baja karbon sedang (*medium karbon steel*)

Kandungan karbon yang dimiliki baja karbon menengah berkisar 0,30%-0,45%C. Baja ini di aplikasikan untuk baja tempa kekuatan tinggi, untuk roda turbin, poros pinion, lengan kemudi, poros kereta api dan chanksaft.

3. Baja karbon tinggi (*high carbon steel*)

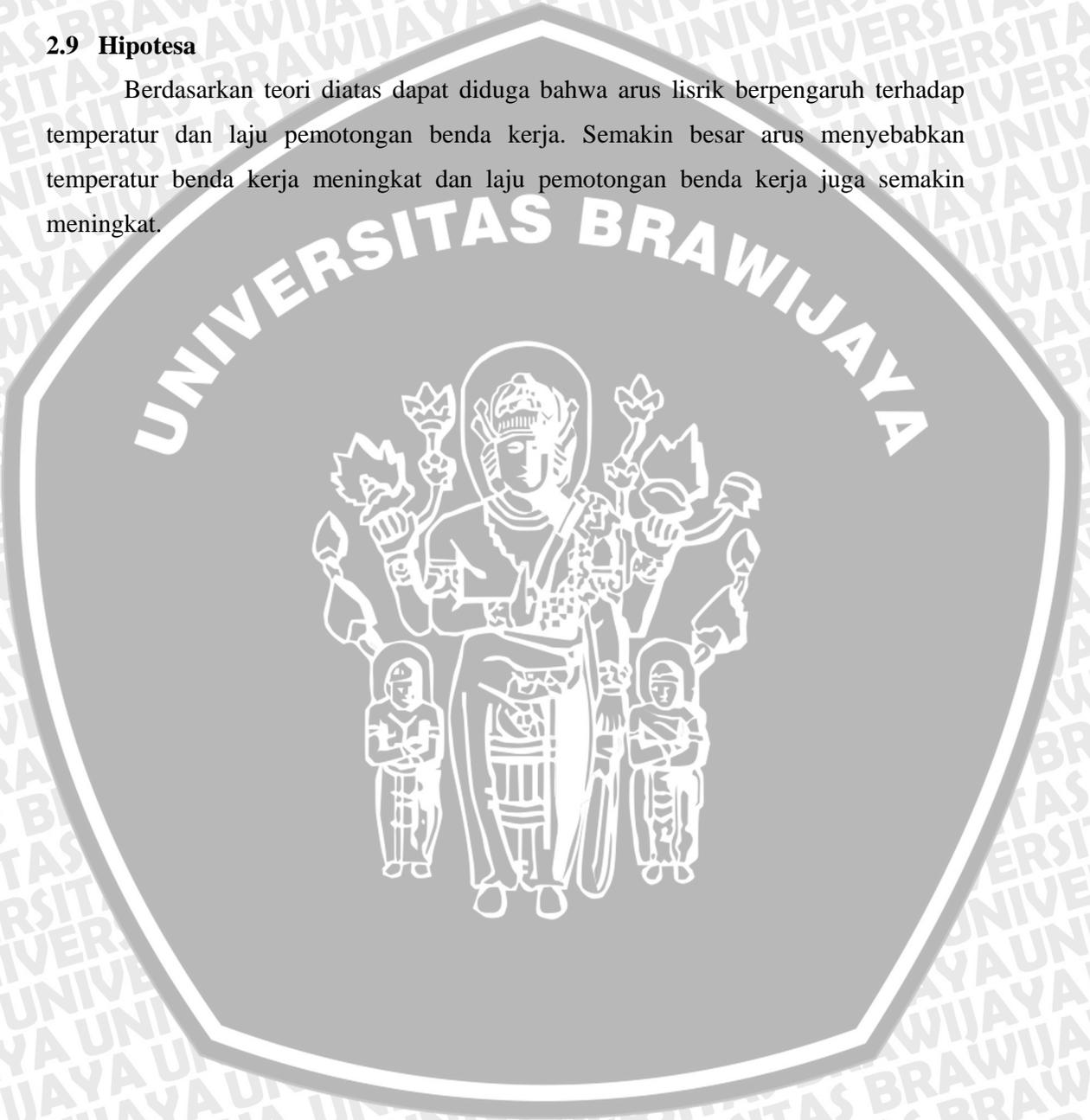
Kandungan karbon yang dimiliki baja ini berkisar antara 0,45%-1,7%C.

Biasanya di berikan perlakuan panas pada baja ini untuk memperbaiki mutunya.

Baja ini biasanya di aplikasikan untuk produk *tools*, cetakan (*die*).

2.9 Hipotesa

Berdasarkan teori diatas dapat diduga bahwa arus listrik berpengaruh terhadap temperatur dan laju pemotongan benda kerja. Semakin besar arus menyebabkan temperatur benda kerja meningkat dan laju pemotongan benda kerja juga semakin meningkat.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan yaitu dengan cara penelitian sesungguhnya. Untuk memperoleh informasi yang dapat diperoleh dengan eksperimen yang semuanya ditujukan untuk mengetahui pengaruh suatu variasi terhadap peristiwa yang terjadi

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus s/d Desember 2008. tempat pelaksanaan penelitian ini adalah :

1. Pusat Pengembangan Penataran Guru Teknologi (PPPGT) VEDC Malang, bagian instalasi logam, dipakai untuk melakukan proses permesinan dengan EDM.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat yang dipergunakan

Alat dan bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Alat yang digunakan:

1. Mesin EDM

Merek	: King Spark Pulse
Buatan	: Jerman
Tipe	: YH-120
Spesifikasi	
<i>Work tank volume (WxDxH)</i>	: 800x510x280 (dalam mm)
<i>Work able area (LxW)</i>	: 600x300 (dalam mm)
<i>Travel (X axis)</i>	: 300 mm
<i>Travel (Y axis)</i>	: 200 mm
<i>Machine head stroke</i>	: 200 mm
<i>Quil stroke</i>	: 150 mm
<i>Max electrode load</i>	: 60 kg
<i>Dimension (WxDxH)</i>	: 1600x1000x2000 kg
<i>Weight</i>	: 1060 kg

- Max output current* : 50 A
Power input : 4,5 kVA
- Mesin gergaji
 - Merek : Kasto
 - Buatan : Jerman
 - Tipe : BSM 210/240
 - Daya motor : 0,29 kW
 - Voltage* : 380 V
 - Kikir dan amplas
 - Jangka sorong
 - Sand paper*
 - Stopwatch*

3.3.2 Bahan yang digunakan adalah:

Bahan untuk benda kerja yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Baja St 42 dengan kandungan sebagai berikut (www.efunda.com) :

- Material : Baja St 42 (AISI 1020)
- Phospor (P) : 0,04 %(max);
- Karbon (C) : 0,18-0,23 %;
- Mangan (Mn) : 0,30-0,60 %;
- Sulfur (S) : 0,05 % (max)

Material ini mempunyai :

- *Yield strength* : 294,8 MPa
- *Tensile strength*: 394,7 MPa

- Bahan elektroda yang digunakan tembaga (Cu)
 - Bahan ini cukup luas dipakai sebagai elektroda pahat proses EDM
 - Mudah didapat dan dikerjakan dengan mesin konvensional
 - Harga relatif ekonomis

3.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya kita tentukan dan berfungsi sebagai sebab dalam penelitian. Pada penelitian ini variabel bebas yang dipakai adalah arus listrik, arus listrik yang digunakan yaitu 8,5A, 12,5A, 18A, 25A, 36A.

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya itu dipengaruhi oleh parameter variabel bebas. Pada penelitian ini variabel terikatnya adalah temperatur benda kerja dan laju pemotongan benda kerja.

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya tetap dan ditentukan sebelum penelitian. Dalam penelitian ini parameter kendalinya adalah

- *Low voltage current* : 1,5 A
- *High voltage current* : 1 A
- *Off time* : 2,5 second

3.5 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang diambil dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pembuatan pahat EDM dari bahan tembaga (Cu)

- Bahan elektroda dipotong sesuai dengan ukuran pahat yang dikehendaki, yaitu dengan diameter 16 mm dan tebalnya 20 mm.

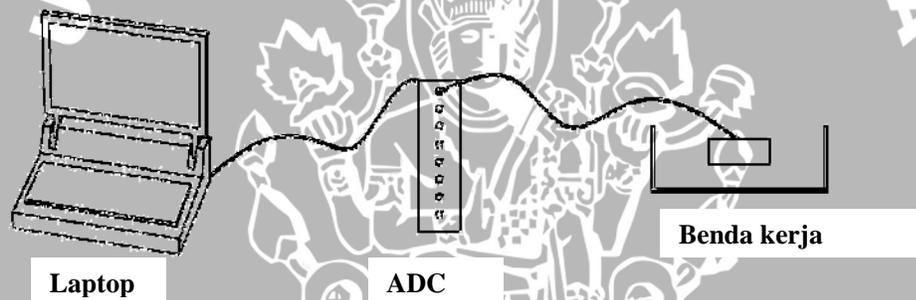
2. Pembuatan benda kerja

- Memotong bahan benda kerja sesuai ukuran yang dikehendaki menjadi 15 potong yang berdiameter 25 mm dengan tebal 20 mm
- Dilakukan *facing* benda kerja untuk mendapatkan permukaan yang halus, yang dikakukan dengan mesin bubut dan *sand paper*

3. Pengerjaan benda kerja dengan mesin EDM

- Benda kerja diletakkan pada pemegang benda kerja.
- Pemasangan elektroda pahat pada holder

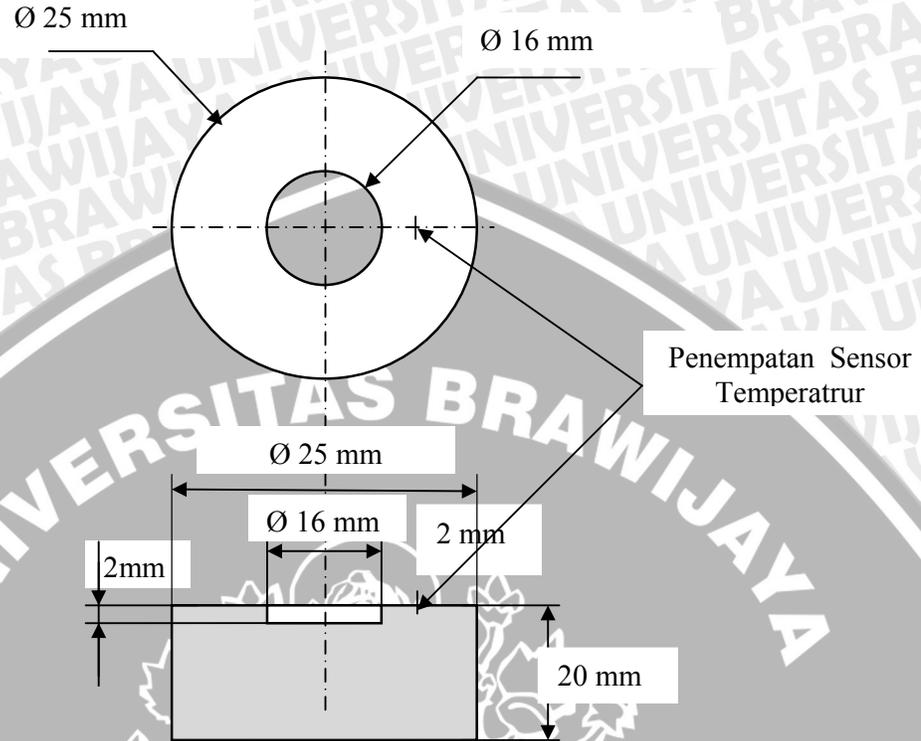
- Dilakukan seting untuk memperoleh posisi permukaan benda kerja dan permukaan elektrode yang sejajar.
 - Menghidupkan mesin dengan menekan tombol *ON*
 - Dilakukan setting parameter permesinan.
 - Mencari datum *zero point* kemudian dicari titik tengah benda kerja sehingga hasilnya terlihat rapi
 - Pangaturan kedalaman lubang yang akan dicapai yaitu 2 mm
 - Mengisi fluida dielektrik pada bak penampung sampai elektrode terendam dari permukaan fluida.
 - Dilakukan proses permesinan.
 - Setiap satu kali proses permesinan benda kerja maupun elektroda diganti
4. Pengambilan data temperatur benda kerja dengan skema pengerjaan sebagai berikut:



Gambar 3.1 : Skema Pengambilan Data Temperatur

5. Pengambilan data laju pemotongan benda kerja
- Menghitung volume benda kerja yang terpotong
 - Menghitung RMR
6. Melakukan analisa dan pengolahan data yang telah didapat.
7. Kesimpulan

3.6 Dimensi Benda Kerja



Gambar 3.2 : Dimensi benda kerja

3.7. Rancangan Penelitian

Model rancangan penelitian yang akan digunakan adalah rancangan model klasifikasi satu arah dengan masing-masing perlakuan replikasi sebanyak tiga kali. Untuk menyelesaikannya menggunakan analisa varian satu arah dimana akan dihitung pengaruh variasi arus listrik terhadap beda temperatur benda kerja dan laju pemotongan benda kerja.

Tabel 3.1. Rancangan percobaan temperatur benda kerja

Ulangan	Variasi arus listrik				
	8,5A	12,5A	18A	25A	36A
1	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	Y ₁₄	Y ₁₅
2	Y ₂₁	Y ₂₂	Y ₂₃	Y ₂₄	Y ₂₅
3	Y ₃₁	Y ₃₂	Y ₃₃	Y ₃₄	Y ₃₅
Jumlah	∑Y _{i1}	∑Y _{i2}	∑Y _{i3}	∑Y _{i4}	∑Y _{i5}
Rata-rata	M ₁	μ ₂	M ₃	μ ₄	μ ₅

Tabel 3.2. Rancangan percobaan laju pemotongan benda kerja

Ulangan	Variasi arus listrik				
	8,5A	12,5A	18A	25A	36A
1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}	Y_{15}
2	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{24}	Y_{25}
3	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{34}	Y_{35}
Jumlah	$\sum Y_{i1}$	$\sum Y_{i2}$	$\sum Y_{i3}$	$\sum Y_{i4}$	$\sum Y_{i5}$
Rata-rata	M_1	μ_2	M_3	μ_4	μ_5

3.8. Analisa Varian

Model rancangan penelitian yang digunakan adalah rancangan acak lengkap (RAL) klasifikasi satu arah dengan pengulangan sebanyak tiga kali. Untuk penyelesaian rancangan acak lengkap digunakan varian satu arah dan dari analisis tersebut akan diketahui ada tidaknya pengaruh variasi arus listrik terhadap beda temperatur benda kerja dan laju pemotongan benda kerja.

Dari data pada tabel 3.1 dan tabel 3.2 di atas, maka temperatur benda kerja rata-rata dan laju pemotongan benda kerja rata-rata yang disebut sebagai variabel terikat dianggap sebagai $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4,$ dan μ_5 . Maka dengan mengambil hipotesis:

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$ (Tidak ada pengaruh variasi variabel bebas terhadap variabel terikat)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$ (Ada pengaruh variasi variabel bebas terhadap variabel terikat)

Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima, artinya ada pengaruh nyata akibat dari variasi arus listrik. Berdasarkan tabel di atas dapat dihitung:

- Jumlah seluruh perlakuan

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}$$

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2$$

- Faktor koreksi (FK)

$$FK = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right]^2}{n.k}$$

- Jumlah kuadrat total (JK_T)

$$JK_T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - FK$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JK_P)

$$JK_P = \frac{\sum_{j=1}^k \left[\sum_{i=1}^n Y_{ij} \right]^2}{n} - FK$$

- Jumlah Kuadrat galat (JK_G)

$$JK_G = JK_T - JK_P$$

- Kuadrat tengah perlakuan (KT_P)

$$KT_P = \frac{JK_P}{k-1}$$

- Kuadrat tengah perlakuan (KT_G)

$$KT_G = \frac{JK_G}{n-k}$$

Ada tidaknya pengaruh variasi arus listrik terhadap Variabel terikat (temperatur benda kerja dan laju pemotongan benda kerja) dapat diuji melalui metode uji F dengan jalan mencari besar F_{hitung} dari rumusan:

$$F_{hitung} = \frac{KT_P}{KT_G}$$

Untuk melakukan uji analisa varian, dapat dibuat tabel analisa varian satu arah sebagai berikut:

Tabel 3.3. Analisa varian satu arah

Sumber Varian	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F _{hitung}
Perlakuan	k-1	JK _P	KT _P	F _{hitung}
Galat	n-k	JK _G	KT _G	
Total	n-1	JK _T		

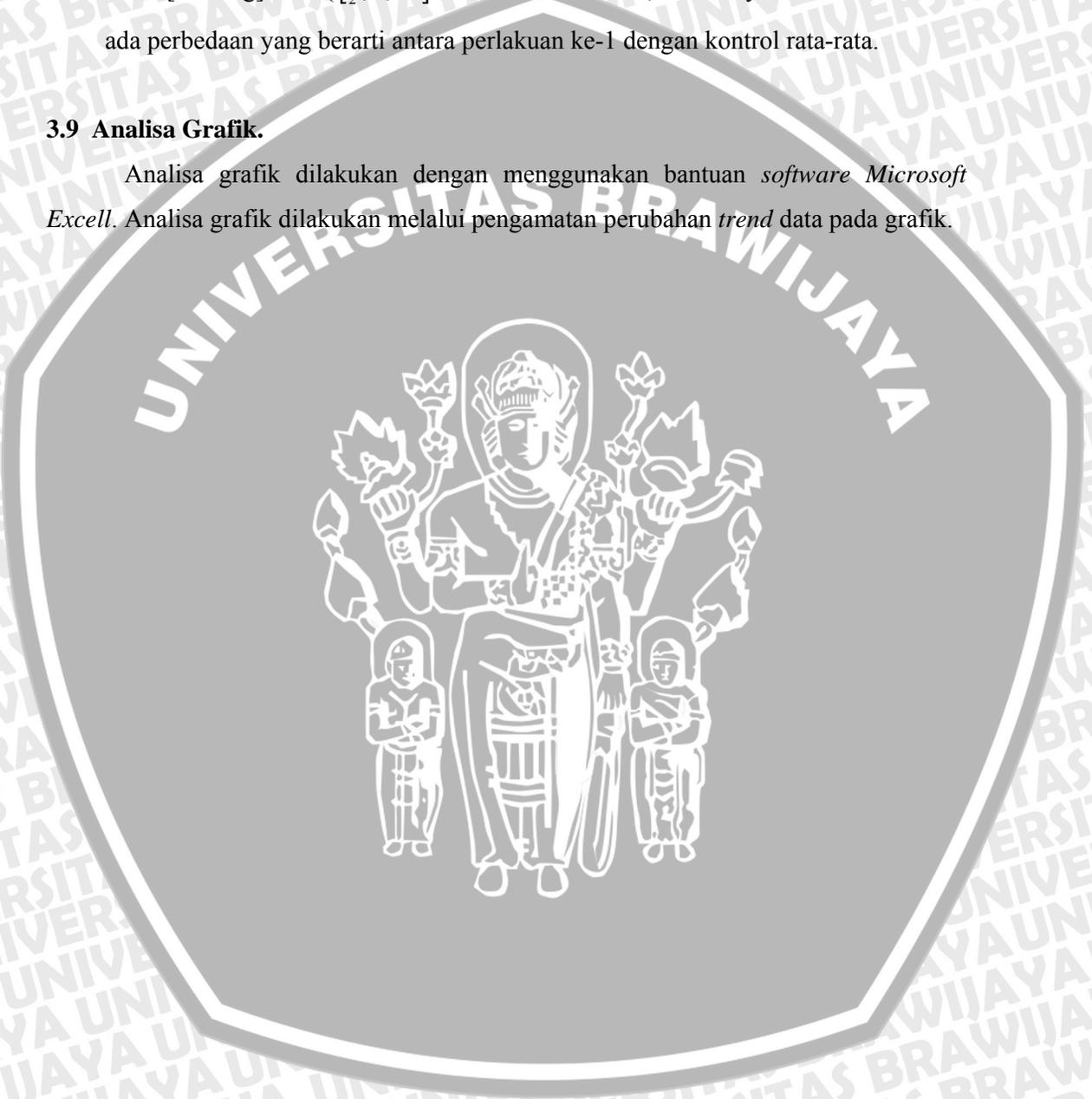


Pengujian adanya pengaruh ada tidaknya perlakuan adalah dengan cara membandingkan F hitung dengan F tabel sehingga :

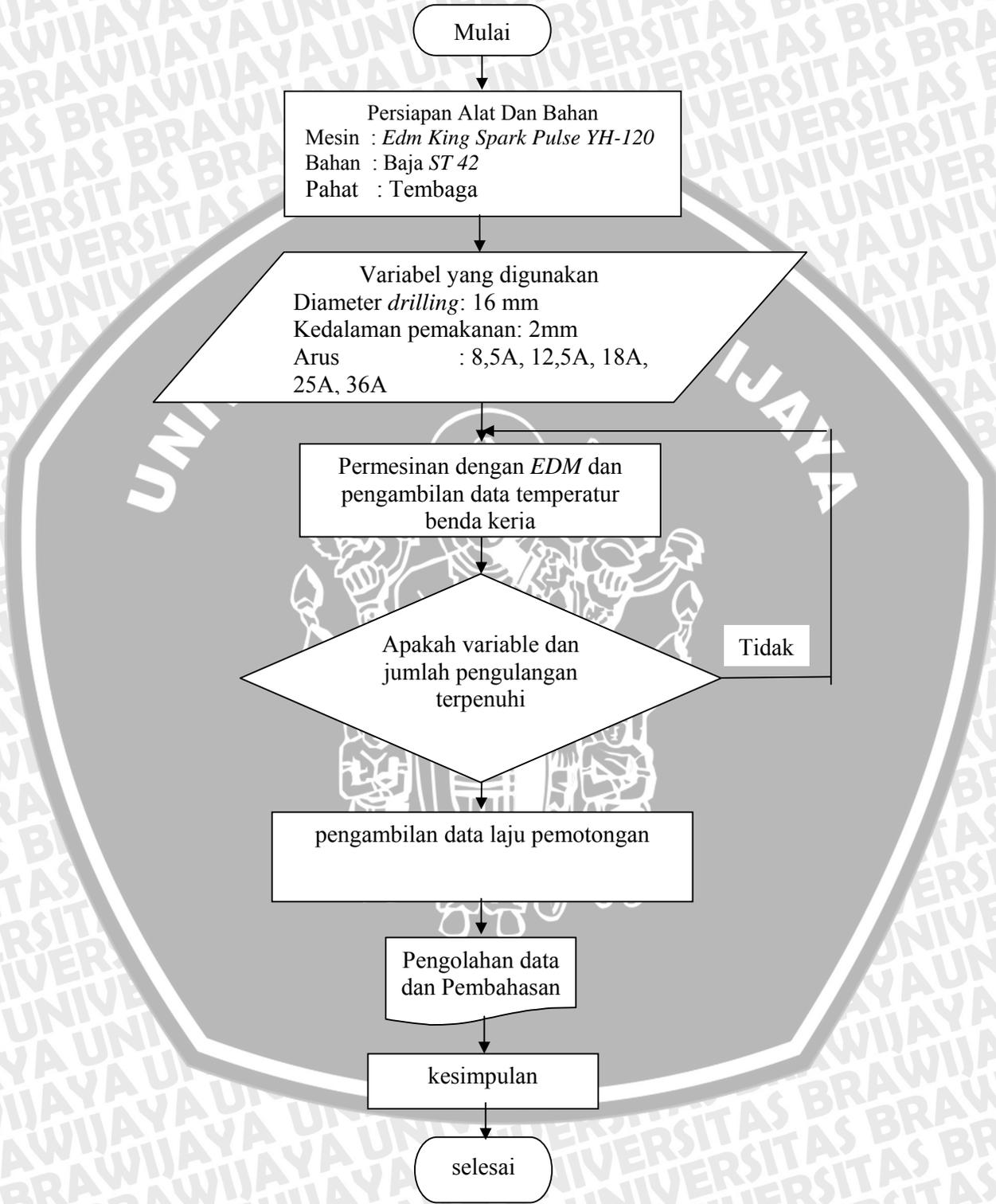
1. Jika $[F_{hitung}] > F \left\{ \left[\frac{\alpha}{2}, k, db \right] \right\}$ berarti H_0 ditolak, ini menyatakan bahwa ada perbedaan yang berarti antara perlakuan ke-1 dengan kontrol rata-rata
2. Jika $[F_{hitung}] < F \left\{ \left[\frac{\alpha}{2}, k, db \right] \right\}$ berarti H_0 diterima, ini menyatakan bahwa tidak ada perbedaan yang berarti antara perlakuan ke-1 dengan kontrol rata-rata.

3.9 Analisa Grafik.

Analisa grafik dilakukan dengan menggunakan bantuan *software Microsoft Excell*. Analisa grafik dilakukan melalui pengamatan perubahan *trend* data pada grafik.



3.10 DIAGRAM ALIR PENELITIAN



BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data hasil pengujian

4.1.1 Data Hasil Pengujian Temperatur Benda Kerja

Dari pengujian didapatkan data hasil pengujian temperature benda kerja yang disajikan dalam tabel 4.1 dimana pada pengujian ini diambil 3 sampel untuk tiap variasi arus listrik.

Tabel 4.1. Data Hasil Temperatur Benda Kerja

Spesimen	Variasi Arus Listrik (A)				
	8,5 A	12,5 A	18 A	25 A	36 A
Nilai Temperatur benda kerja (°C)					
1	53,4	71,2	96,7	115,5	120,8
2	53	68,9	96,5	115,4	119,5
3	52,9	68,9	96,5	115,5	119,5
Jumlah	159,3	209	289,7	346,4	359,8
Nilai Rata-rata	53,1	69,7	96,6	115,5	119,9

4.1.1.1. Analisis Varian Data Pengujian Temperatur Benda Kerja

Dilakukan analisa varian untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh arus listrik terhadap temperatur benda kerja, dengan perhitungan sebagai berikut:

- Jumlah seluruh perlakuan

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} = 159,3 + 209 + \dots = 1364,2$$

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 = 159,3^2 + 209^2 + \dots = 312976,5$$

- Faktor Koreksi (Fk):

$$FK = \frac{\left[\sum_{n=1}^n \sum_{j=1}^j Y_{ij} \right]^2}{\sum n.i}$$

$$= \frac{1364,2^2}{3.5} = 124069,4$$

- Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$JKT = \sum_{n=1}^n \sum_{j=1}^j Y_{ij}^2 - FK$$

$$= 312976,5 - 124069,4$$

$$= 188907,1$$

- Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{j=1}^k \left[\sum_{n=1}^n Y_{ij} \right]^2}{ni} - fk = \frac{(159,3)^2}{3} + \frac{(209)^2}{3} + \dots + \frac{(359,8)^2}{3} - 148907,1$$

$$= 316128,6 - 148907,1$$

$$= 167221,5$$

- Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP$$

$$= 188907,1 - 167221,5$$

$$= 21685,6$$

- Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{k-1} = \frac{167221,5}{15-1} = 11944,39$$

- Kuadrat Tengah Galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{k(n-1)} = \frac{21685,6}{15(3-1)} = 722,8533$$

- F Hitung

$$= \frac{KTP}{KTG} = \frac{11944,39}{722,8533} = 16,52395$$

- F tabel

$$\begin{aligned} F_{\text{tabel}} &= F(\alpha; k; \text{db}) \\ &= F(0,05; 3; 2) = 3,48 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas, dihasilkan tabel analisis varian satu arah data pengujian temperatur benda kerja seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.2. sebagai berikut:

Tabel 4.2 Rancangan Analisa Varian Satu Arah

Sumber Keseragaman	db	JK	KT	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	4	167221,5	11944,39		
Galat	10	21685,6	722,8533	16,52395	3,48
Total	14	188907,1	0		

Berdasarkan dari hasil perhitungan statistic analisis varian satu arah di atas di dapatkan kesimpulan bahwa nilai $F_{\text{hitung}} > \text{nilai } F_{\text{tabel}}$ sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima. Hal ini berarti perubahan arus listrik pada proses EDM berpaengaruh terhadap nilai temperatur benda kerja secara nyata atau signifikan.

4.1.2. Data Hasil Pengujian Laju Pemotongan Benda Kerja.

Dari pengujian didapatkan data hasil dari laju pemotongan benda kerja yang disajikan dalam tabel 4.3 dimana pada pengujian ini diambil 3 sampel untuk tiap variasi arus listrik.

Tabel 4.3. Data Hasil Laju Pemotongan Benda Kerja

Spesimen	Variasi Arus Listrik (A)				
	8,5 A	12,5 A	18 A	25 A	36 A
Nilai Laju Pemotongan (mm ³ / menit)					
1	16,6151	17,4368	21,0760	30,3794	37,9886
2	16,8519	17,0449	24,8098	32,5177	39,9920
3	17,4747	18,0071	26,2521	38,8704	44,1670
Jumlah	50,9417	52,4888	72,1379	101,7675	122,1476
Nilai Rata-rata	16,9805	17,4962	24,0459	33,9225	40,7158

4.1.2.1 Perhitungan RMR

Untuk mengetahui besarnya *Rate of metal Removal* (RMR), maka harus dihitung dengan persamaan – persamaan sebagai berikut : (*G.Semon, 1975:87*)

Laju pemotongan material adalah :

$$RMR = V_{bk} / T$$

Dimana :

V_{bk} = Volume benda kerja yang terpotong (mm^3)

t = Waktu (menit)

- Volume benda kerja terpotong

$$V_{bk} = \pi \cdot r^2 \cdot l$$

$$= 3,14 \cdot 8^2 \cdot 2$$

$$= 401,92 \text{ mm}^3$$

$$RMR = 401,92 : 24,19 = 16,6151 \text{ mm}^3 / \text{menit}$$

4.1.2.2. Analisis Varian Data Pengujian Laju Pemotongan Benda Kerja

Dilakukan analisa varian untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh arus listrik terhadap laju pemotongan benda kerja, dengan perhitungan sebagai berikut:

- Jumlah seluruh perlakuan

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} = 50,9417 + 52,4888 + \dots + 122,1476 = 399,4835$$

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 = 50,9417^2 + 52,4888^2 + \dots = 35830,67$$

- Faktor koreksi (FK)

$$FK = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right]^2}{\sum n_i} = \frac{399,4835^2}{3.5} = 10639,14$$

- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - FK = 35830,67 - 10639,14 \\ = 25191,53$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{j=1}^k \left[\sum_{i=1}^n Y_{ij} \right]^2}{ni} - fk = \frac{(50,9417)^2}{3} + \frac{(52,4888)^2}{3} + \dots - fk \\ = 25883,98 - 10639,14 \\ = 15244,84$$

- Jumlah Kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JK_T - JK_P \\ = 25191,53 - 15244,84 \\ = 9946,69$$

- Kuadrat tengah perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{k-1} = \frac{15244,84}{15-1} = 1588,917$$

- Kuadrat Tengah Galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{k(n-1)} = \frac{9946,69}{15(3-1)} = 331,5563$$

- F Hitung

$$\frac{KTP}{KTG} = \frac{1588,917}{331,5563} = 4,792202$$

- F tabel

$$F \text{ tabel} = F(\alpha; k; db) \\ = F(0,05; 3; 2) = 3,48$$

Dari hasil perhitungan diatas, dihasilkan tabel analisis varian satu arah data pengujian laju pemotongan benda kerja seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.4. sebagai berikut:

Tabel 4.4 Rancangan Analisa Varian Satu Arah

Sumber Keceragaman	db	JK	KT	F _{hitung}	F _{tabel}
Perlakuan	4	15244,84	1588,917		
Galat	10	9946,69	331,5563	4,792202	3,48
Total	14	25191,53	0		

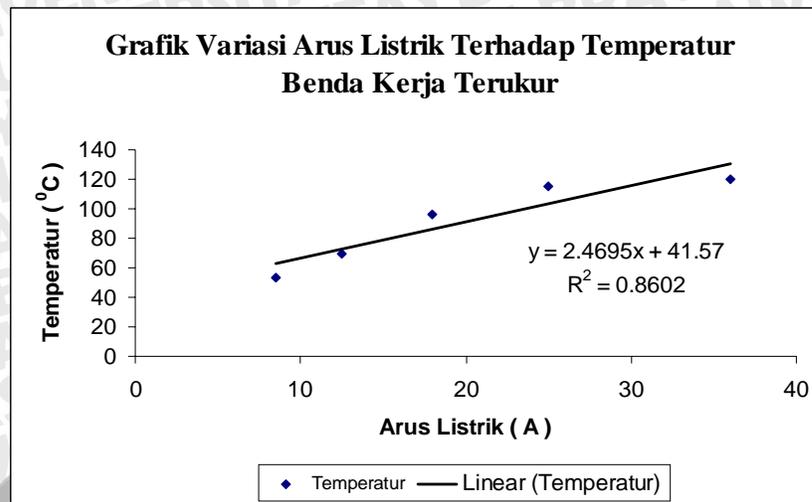
Berdasarkan dari hasil perhitungan statistic analisis varian satu arah di atas di dapatkan kesimpulan bahwa nilai $F_{hitung} >$ nilai F_{tabel} sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima. Hal ini berarti perubahan arus listrik pada proses EDM berpengaruh terhadap nilai laju pemotongan benda kerja secara nyata atau signifikan.

4.2. Pembahasan

Untuk memudahkan dalam menganalisa data adalah menyajikan data dalam bentuk grafik. Dari hasil perhitungan maka grafik dapat dibuat dengan menghubungkan antara variasi arus listrik dengan nilai temperatur benda kerja dan nilai laju pemotongan benda kerja.

4.2.1. Hubungan Variasi Arus Listrik Dengan Nilai temperatur benda kerja

Dari data hasil analisis varian satu arah pada tabel 4.2 dapat diketahui bahwa variasi arus listrik berpengaruh nyata terhadap temperatur benda kerja, hal ini dapat dilihat dari nilai $F_{hitung} >$ F_{tabel} ($16,52395 >$ $3,48$). Pengaruh nyata kenaikan arus listrik adalah berupa meningkatnya nilai temperatur benda kerja seiring dengan meningkatnya arus listrik seperti ditunjukkan pada gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4.1 Grafik pengaruh arus listrik terhadap temperatur benda kerja

Grafik diatas hanya menganalisa arus listrik dari 8,5 A sampai dengan 36 A sehingga dengan meningkatnya arus listrik temperatur benda kerja akan mengalami peningkatan. Pada arus listrik 8,5 A nilai temperatur 53,1 °C, sedangkan pada arus listrik 36 A nilai temperatur mengalami peningkatan menjadi 119,9 °C. Naiknya nilai temperatur benda kerja ini sangat dipengaruhi oleh loncatan bunga api yang terjadi. Semakin tinggi arus listrik maka semakin tinggi pula pelepasan panas dari energi sparking yang terjadi tersebut yang menyebabkan peningkatan temperatur benda kerja. Peningkatan temperatur benda kerja tersebut akibat dari kenaikan arus listrik antara 8,5 A sampai dengan 36 A tersebut mengikuti persamaan dibawah ini :

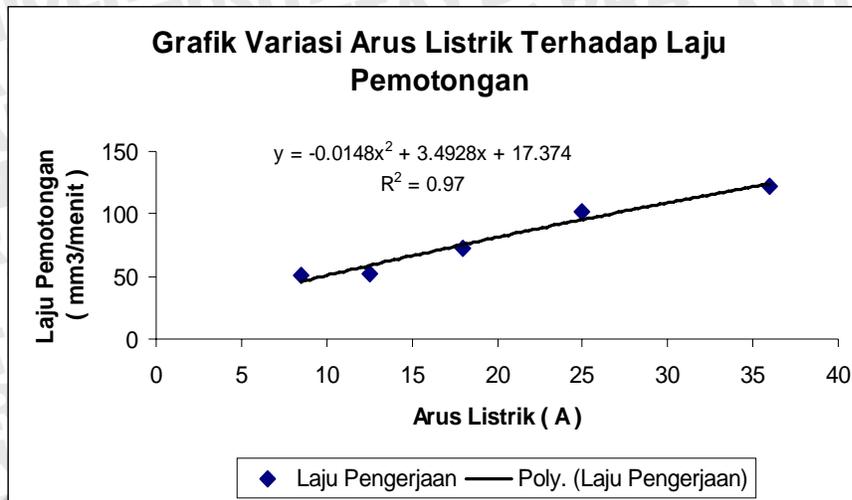
$$Y = 2,4695x + 41,57$$

Keterangan : y = temperatur benda kerja

x = arus listrik

4.2.2. Hubungan Variasi Arus Listrik Dengan Nilai Laju pemotongan benda kerja

Dari data hasil analisis varian satu arah pada tabel 4.4 dapat diketahui bahwa variasi arus listrik berpengaruh nyata terhadap laju pemotongan benda kerja, hal ini dapat dilihat dari nilai F hitung > F tabel (4,792202 > 3,48). Pengaruh nyata kenaikan arus listrik adalah berupa meningkatnya nilai laju pemotongan benda kerja seiring dengan meningkatnya arus listrik seperti ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik pengaruh arus listrik terhadap laju pemotongan benda kerja

Laju pemotongan benda kerja secara umum biasanya didefinisikan sebagai besarnya volume pengerjaan material setiap satuan waktu. Pemotongan material benda kerja adalah akibat terjadinya pembentukan kawah-kawah yang halus pada permukaan benda kerja. Apabila parameter-parameter permesinan dalam EDM dijaga konstan maka kecepatan pengerjaan material sebanding dengan energi yang dilepaskan selama proses sparking. Dengan kata lain bahwa apabila energi yang dilepaskan semakin besar, maka laju pemotongan benda kerja semakin meningkat.

Grafik diatas hanya menganalisa arus listrik dari 8,5 A sampai dengan 36 A, dan dengan meningkatnya arus listrik laju pemotongan akan mengalami peningkatan maka. Pada arus listrik 8,5 A nilai laju pemotongan 16,9805 mm³/ menit sedangkan pada arus listrik 36 A nilai laju pemotongan mengalami peningkatan menjadi 40,7158 mm³/ menit. Naiknya nilai laju pemotongan ini dipengaruhi oleh loncatan bunga api yang terjadi selama proses pengerjaan. Semakin tinggi arus listrik maka. Semakin tinggi pula energi sparking, sehingga kecepatan pemakanan benda kerja semakin cepat dan laju pemotongan benda kerja meningkat. Peningkatan laju pemotongan benda kerja tersebut akibat dari kenaikan arus listrik antara 8,5 A sampai dengan 36 A tersebut mengikuti persamaan dibawah ini :

$$Y = -0,0148x^2 + 3,4928x + 17,374$$

Keterangan : y = laju pemotongan

x = arus listrik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V

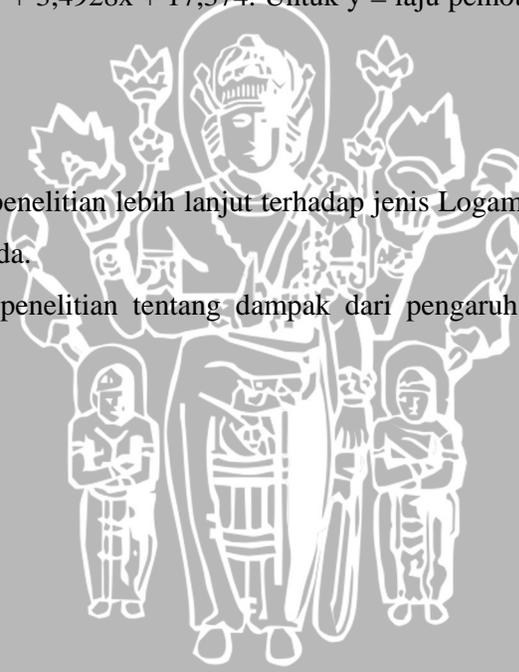
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.

Dari hasil penelitian tentang pengaruh variasi arus listrik terhadap temperatur benda kerja dan laju pemotongan benda kerja yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan. Bahwa semakin besar arus listrik dari (8,5A sampai dengan 36A) akan meningkatkan nilai temperatur benda kerja. Hal ini ditunjukkan dengan persamaan $Y = 2,4695x + 41,57$. Untuk y = temperatur dan x = arus listrik yang digunakan. Sedangkan semakin besar arus listrik dari (8,5A sampai dengan 36A) akan meningkatkan pula nilai laju pemotongan benda kerja. Hal ini ditunjukkan dengan persamaan $y = -0,0148x^2 + 3,4928x + 17,374$. Untuk y = laju pemotongan dan x = arus listrik yang digunakan.

5.2 Saran.

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap jenis Logam yang lain dan jenis Pahat yang berbeda.
2. Perlu dilakukan penelitian tentang dampak dari pengaruh jarak elektrode ke benda kerja.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdulkadir, Erden, 2002, *Manufacturing Of Smaller Holes by Using Electrical Discharge Machining*. Turkey
- Anonymous. <http://www.edmtt.com/articlesreports/index.html>
- Anonymous. www.charmilles.com / EDM principle
- Anonymous. www.ReliableEDM.com / Complete Handbook
- Bagiasna, Komang, 1978, *Diktat Kuliah Teknik Mekanik II*, Bandung, Departemen Mesin Institut Teknologi Bandung
- Brown, James, 1998, *Advanced Machining Technology Handbook*
- Dieter, George E, 1996, *Metalurgi Mekanik*, University of Maryland
- El – Hofy, Hassan, 1998, *Advanced Machining Processes*, Production Engineering Department Alexandria Egypt.
- G. Semon, ing, *A Practical Guide To Elektro-Discharge Machining*,
- Hifni, M, 1992. *Analisa Varian dan Penerapannya*. Malang : Universitas Brawijaya.
- Pandey, P.C, Shan, H,S, *Modern Machining Process*, Mc Graw Hill, New Delhi, 1980.
- Surdia Tata, dan Saito Shinroku, 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.

LAMPIRAN 1

Alat dan bahan yang Digunakan



Mesin EDM merek KING SPARK PULSE tipe YH 120



Benda Kerja Sebelum Proses EDM

LAMPIRAN 2

Tabel F untuk $\alpha = 5\%$



TABEL F UNTUK $\alpha = 5\%$

$v_1 \backslash v_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	40	60	120	∞
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246	248	250	251	252	253	254
2	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5	19.5
3	10.1	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.84	2.77	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.45	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
25	4.24	3.39	2.99	2.75	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.84	1.79	1.74	1.68	1.52
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.75	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.45	1.39	1.32	1.22	1.00



Benda Kerja Setelah Proses EDM



Pahat Yang Digunakan Proses EDM