

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Sandi Subakti (2011) telah melakukan penelitian mengenai “pengaruh proses pemotongan menggunakan *wire* EDM terhadap lapisan *recast* dan *Heat Affcted Zone* (HAZ) pada baja *High Speed Steel* (HSS) Bohler MO Rapid Extra 1200”. Permasalahan yang timbul pada proses pemotongan ini adalah adanya lapisan baru pada permukaan material hasil pemotongan, dengan tebal lapisan yang berbeda-beda serta nilai kekerasan dan struktur mikro yang juga berbeda dengan karakteristik material utamanya. Lapisan ini adalah lapisan *recast* dan *heat affected zone* (HAZ). Faktor kontrol dalam penelitian ini adalah: *on time* 4 dan 8 (μ s), *open voltage* 6 dan 8 (V), *Arc on time* 3 dan 6 (Amp), *off time* 12 dan 18 (μ s), *servo voltage* 38 dan 45 (V). Untuk faktor konstannya yaitu *wire feed* 4 (mm/sec), *wire tension* 8 (gram). Berdasarkan hasil penelitian dengan menggunakan metode eksperimental didapatkan kekerasan yang paling rendah adalah pada lapisan *recast* dengan nilai kekerasan 31,77-42,89 HRC, dan nilai kekerasan yang paling tinggi adalah pada daerah HAZ dengan nilai kekerasan 60,98-67,7 HRC. Serta ketebalan *recast* paling kecil dengan paramater *on time* 4 μ s, *open voltage* 6 V, *Arc on time* 3 Amp, *off time* 18 μ s, *servo voltage* 38 V.

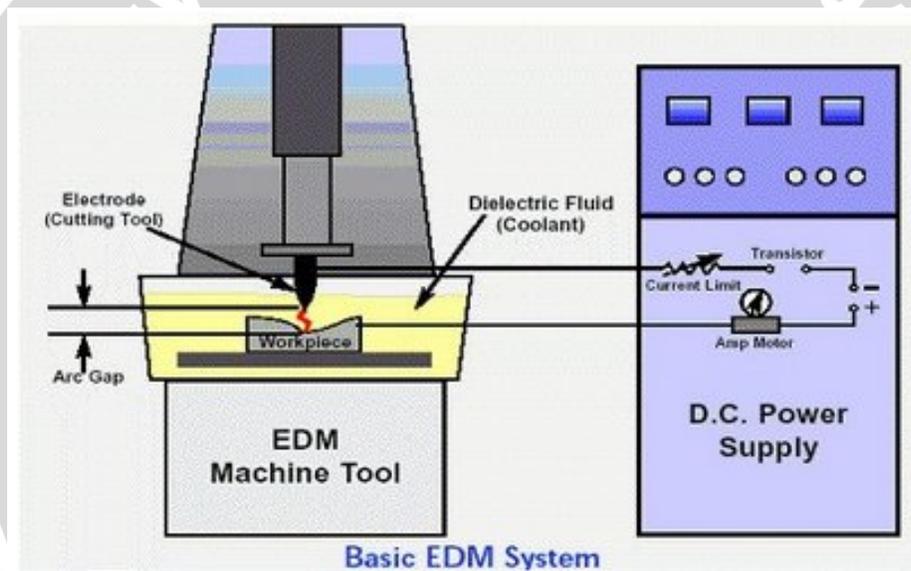
Bagus Nugroho (2012) telah melakukan penelitian mengenai “pengaruh besar arus listrik pada proses *wire* EDM terhadap *profile error involute* roda gigi lurus”. Melalui metode eksperimental, variabel bebas yang digunakan adalah arus listrik dengan variasi 3 *ampere*, 4 *ampere*, 5 *ampere*, 6 *ampere*, dan 7 *ampere*. Serta variabel terikat yang digunakan adalah *profile error involute*. Dari hasil penelitian didapatkan nilai penyimpangan *profile error involute* terendah terjadi pada variasi besar arus listrik 3 *ampere* sebesar 0,0907 mm, sedangkan *profile error involute* terbesar terjadi pada variasi besar arus listrik 7 *ampere* sebesar 0,1256 mm.

Dede Wahyu Kurniawan (2010) telah melakukan penelitian mengenai “optimasi kekasaran permukaan, tebal lapisan *recast*, lebar pemotongan, dan waktu pengerjaan dalam cairan *dielektric* yang mengandung serbuk Aluminium pada *wire* EDM menggunakan metode *taguchi*”. Penelitian ini dilakukan pada baja HSS dengan

menggunakan elektroda kuningan. Optimasi dilakukan dengan menggunakan metode taguchi mendapatkan hasil penelitian nilai respon paling minimum adalah *on time* 4 μ s, *open voltage* 6 V, dan *servo voltage* pada nilai 38 V.

2.2 Electric Discharge Machine (EDM)

Electric Discharge Machine (EDM) adalah suatu mesin perkakas *non konvensional* yang proses pemotongan material (*material removal*) benda kerjanya berupa erosi yang terjadi karena adanya sejumlah loncatan bunga api listrik secara periodik pada celah antara katoda (pahat) dengan anoda (benda kerja) di dalam cairan dielektrik. Pada proses permesinan *non konvensional* ini berbasis komputer sebagai pengendali utamanya.



Gambar 2.1 Mesin EDM
Sumber : Anonymous 2 : 2012

Proses *Electric Discharge Machining (EDM)* memiliki kemampuan dasar, antara lain:

1. Mampu mengerjakan kontur permukaan benda kerja yang kompleks, dengan dimensi sama secara berulang-ulang selama proses pembentukan tidak membutuhkan gerakan elektroda diluar jangkauan gerakan utama proses *Electric Discharge Machine (EDM)*.
2. Mampu mengerjakan *metal* atau paduan yang sangat keras yang tidak mudah untuk dikerjakan dengan proses permesinan konvensional, sehingga proses

EDM banyak digunakan dalam pembuatan peralatan-peralatan pembentuk (cetakan) dan perkakas pemotong yang dibuat dari baja yang dikeraskan, karbida, tungsten, dll.

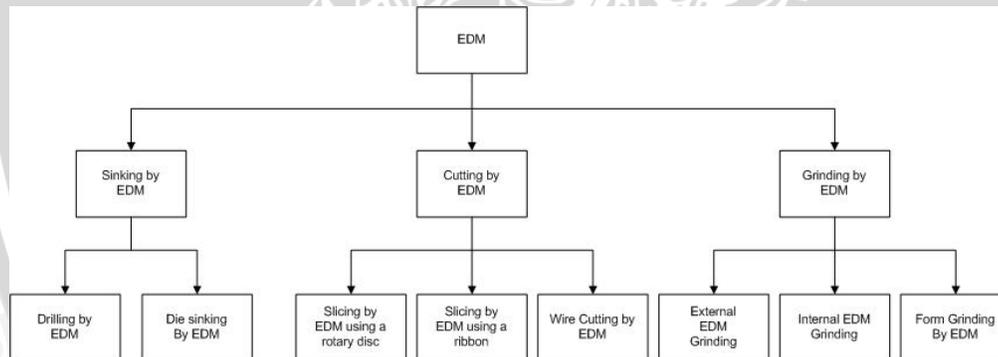
Selain kemampuan dasar di atas, proses EDM juga memiliki beberapa keuntungan, antara lain :

- Kontrol benda kerja di atas mesin tidak rumit.
- Permukaan benda kerja hasil proses EDM relatif halus.
- Tingkat kebisingan rendah
- Kemudahan dalam pembuatan elektroda.

Namun demikian, proses EDM juga mempunyai beberapa kerugian antara lain :

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

Proses pengerjaan dengan EDM dapat dikelompokkan secara garis besar ke dalam bentuk-bentuk proses seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2 berikut :



Gambar 2.2 Kategori permesinan menggunakan EDM

Sumber : Pandey, PC dan H.S Shan (1983 : 86)

EDM tidak dipengaruhi oleh kekerasan material benda kerja, sehingga sangat bermanfaat bila digunakan untuk mengerjakan benda kerja dengan kekerasan di atas 38 HRc. Bahan tersebut meliputi baja yang telah dikeraskan, Stellite and Tungsten Carbide. Karena proses EDM menguapkan material sebagai ganti penyayatan, kekerasan dari benda kerja bukan merupakan faktor penting. Maka dari itu mesin Wire EDM dan Ram EDM digunakan untuk membuat bentuk kompleks dan perkakas potong dari material yang amat keras.

Bagian lain yang hanya bisa dikerjakan dengan EDM adalah kemampuannya membuat sudut dalam (*internal corners*) yang runcing. Pemesinan konvensional tidak mungkin mengerjakan kantong dengan pojok runcing, yang bisa dicapai adalah radius minimal sekitar 1/32 inci yang paralel dengan sumbu pahat. Jenis pengerjaan dan ukuran minimal yang dapat dicapai oleh EDM dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Ukuran minimal beberapa jenis pengerjaan dengan EDM

Jenis Pengerjaan	Wire EDM	Ram EDM
1. Radius dalam	0,0007" (0,0175 mm)	0.001" (0,025 mm)
2. Radius luar	runcing	runcing
3. Diameter lubang	0,0016" (0,04 mm)	0.0006" (0,04 mm)
4. Lebar alur	0,0016" (0,04 mm)	0.0004" (0,01 mm)

Sumber : Widarto (2008 : 427)

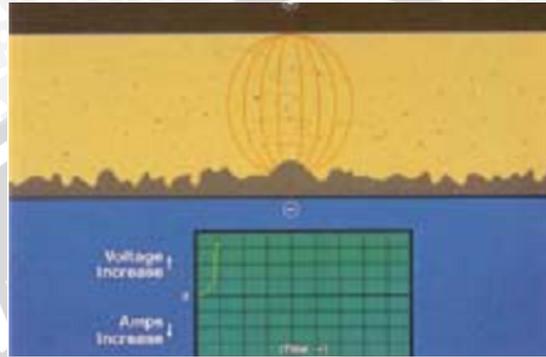
2.3 Prinsip Kerja *Electric Discharge Machining (EDM)*

Seperti peralatan permesinan lainnya, EDM melepaskan material dari benda kerjanya. Pada dasarnya mekanisme pelepasan logam pada EDM ditimbulkan oleh efek merusak dari percikan listrik yang ditimbulkan diantara dua elektroda yang dipisahkan oleh cairan dielektrik. Oleh karena itu benda kerja harus merupakan material yang memiliki sifat konduktif terhadap listrik.

Percikan listrik tersebut mampu menghasilkan panas yang dapat melelehkan material benda kerja, sehingga benda kerja dapat dibentuk sesuai dengan keinginan. Proses percikan (*sparking*) listrik terjadi secara periodik dan beraturan dalam suatu media cairan dielektrik yang berfungsi sebagai isolator. Percikan akan timbul jika terdapat tegangan pada elektroda dan benda kerja.

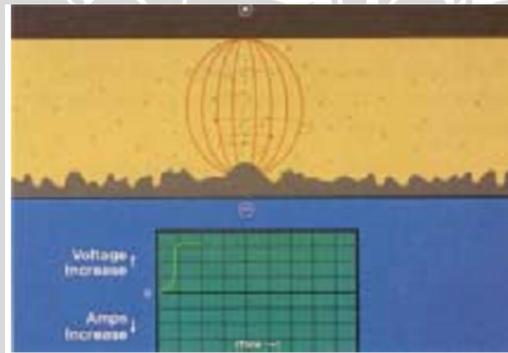
Pada Proses awal EDM, elektroda yang berisi tegangan listrik didekatkan ke benda kerja (elektroda positif mendekati benda kerja/turun). Elektroda yang bertegangan didekatkan ke benda kerja oleh mekanisme motor servo. Mekanisme servo tersebut mempertahankan suatu *gap* yang konstan dengan jarak 0,0005-0,001 in (0,01-0,02 mm) antara elektroda dan benda kerja untuk mencegah gesekan langsung satu sama lain. Secara keseluruhan proses pengerjaan material dengan proses EDM adalah suatu proses yang kompleks. Di antara dua elektroda ada cairan dielektrik (tidak menghantarkan arus listrik). Walaupun cairan dielektrik adalah sebuah isolator yang bagus, beda potensial listrik yang cukup besar menyebabkan cairan membentuk partikel yang bermuatan, yang menyebabkan tegangan listrik

melewatinya dari elektroda ke benda kerja. Daerah yang memiliki tegangan listrik paling kuat adalah pada titik di mana jarak antara elektroda dan benda kerja paling dekat, seperti pada titik tertinggi yang terlihat di gambar 2.3 d bawah ini. Grafik menunjukkan bahwa tegangan (beda potensial) meningkat, tetapi arusnya nol.



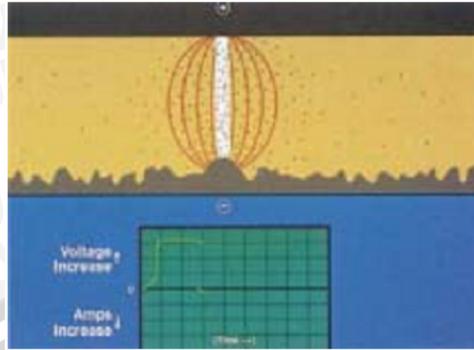
Gambar 2.3 Elektroda yang Bertegangan Listrik Didekatkan ke Benda Kerja
Sumber : Widarto (2008 : 423)

Ketika jumlah partikel bermuatan meningkat, sifat isolator dari cairan dielektrik menurun sepanjang tengah jalur sempit pada bagian terkuat di daerah tersebut. Tegangan meningkat hingga titik tertinggi tetapi arus masih nol. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.4 di bawah ini.



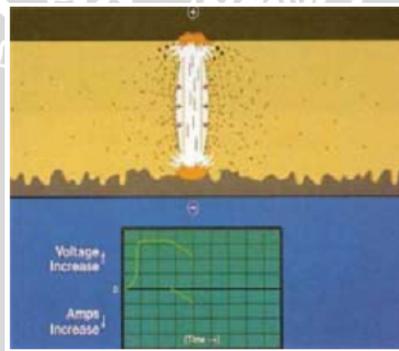
Gambar 2.4 Peningkatan Jumlah Partikel Bermuatan Serta Tegangan Hingga Titik Tertinggi
Sumber : Widarto (2008 : 423)

Kemudian arus mulai muncul ketika cairan berkurang sifat isolatornya menjadi yang paling kecil. Beda tegangan mulai menurun. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.5 di bawah ini



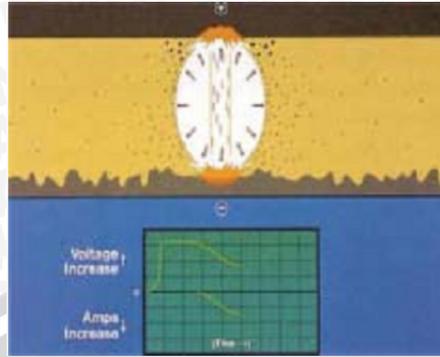
Gambar 2.5 Arus Mulai Muncul Dan Beda Tegangan Mulai menurun
Sumber : Widarto (2008 : 423)

Selanjutnya panas muncul secara cepat ketika arus listrik meningkat dan tegangan terus menurun drastis. Panas tersebut muncul karena terjadi loncatan bunga api listrik yang menumbuk permukaan benda kerja menyebabkan terjadinya kenaikan temperatur (8000°C - 12000°C) dan menyebabkan pelelehan lokal pada benda kerja. Pada saat yang bersamaan terjadi penguapan pada permukaan benda kerja, elektroda maupun cairan dielektrik yang menghasilkan gelembung uap. Hal ini seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6 di bawah ini.



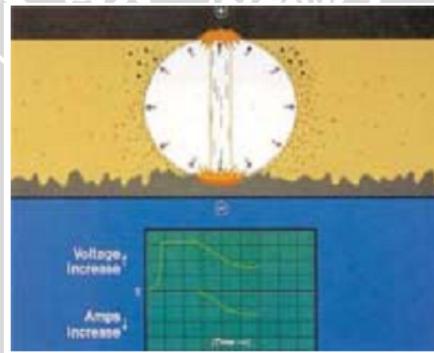
Gambar 2.6 Mulai Terbentunya Jalur *Discharge*
Sumber : Widarto (2008 : 423)

Gelembung uap melebar ke samping, tetapi gerakan melebarnya dibatasi oleh kotoran-kotoran ion di sepanjang jalur *discharge*. Ion-ion tersebut dilawan oleh daerah magnet listrik yang telah timbul. Arus terus meningkat dan tegangan menurun. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.7 di bawah ini.



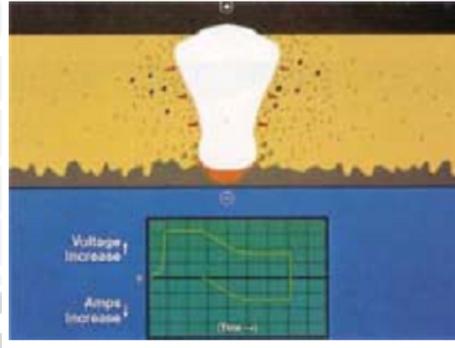
Gambar 2.7 Gelembung Uap Melebar Ke Samping
Sumber : Widarto (2008 : 424)

Sebelum jalur *discharge* berakhir, arus dan tegangan menjadi stabil. Panas dan tekanan di dalam gelembung uap telah mencapai ukuran maksimal dan sebagian logam telah dihilangkan. Lapisan dari logam di bawah kolom *discharge* pada kondisi mencair, tetapi masih berada di tempatnya karena tekanan dari gelembung uap. Jalur *discharge* sekarang berisi plasma dengan suhu sangat tinggi. Sehingga terbentuk uap logam, minyak dielektrik, dan karbon pada saat arus lewat dengan intensif melaluinya. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.8 di bawah ini.



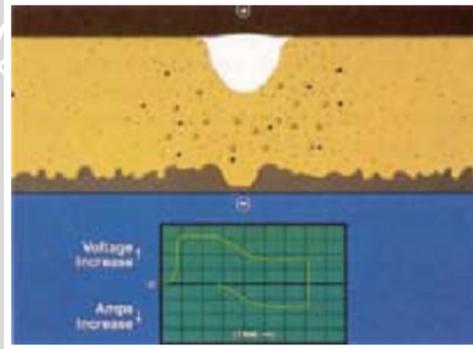
Gambar 2.8 Lapisan Logam Di Bawah Kolom Discharge Pada Kondisi Mencair
Sumber : Widarto (2008 : 424)

Pada akhirnya, arus dan tegangan turun menjadi nol. Temperatur turun dengan cepat, sehingga terjadi tabrakan gelembung dan menyebabkan logam yang telah dicairkan lepas dari benda kerja, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9 berikut.



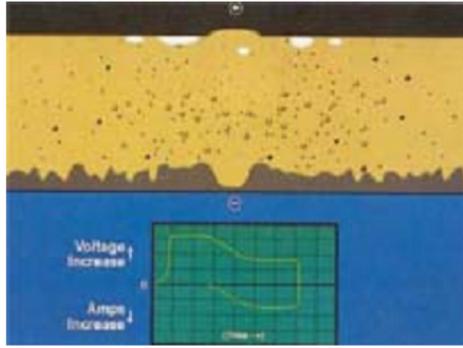
Gambar 2.9 Logam Cair Lepas Dari Benda Kerja
Sumber : Widarto (2008 : 424)

Selanjutnya cairan dielektrik baru masuk di antara elektroda dan benda kerja dan menyingkirkan kotoran-kotoran serta mendinginkan dengan cepat permukaan benda kerja. Logam cair yang tidak terlepas membeku dan membentuk lapisan baru hasil pembekuan yang disebut lapisan *recast (recast layer)*. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.10 di bawah ini.



Gambar 2.10 Terbentuknya Lapisan *Recast*
Sumber : Widarto (2008 : 425)

Logam yang terlepas membeku dalam bentuk bola-bola kecil menyebar di cairan dielektrik bersama-sama dengan karbon dari elektroda. Uap yang masih ada naik menuju ke permukaan. Hal ini seperti yang terlihat pada gambar 2.11 di bawah ini.



Gambar 2.11 Logam yang Terlepas Membeku Dan Sisa Uap Naik Ke Permukaan
Sumber : Widarto (2008 : 425)

Urutan waktu ON/OFF adalah satu siklus EDM yang dapat diulang sampai ribuan kali per detik. Penjelasan di atas hanyalah satu siklus yang muncul pada satu waktu tertentu.

Untuk memungkinkan terjadinya loncatan bunga api listrik, maka beda tegangan antara katoda dan anoda harus melampaui “ *dielectric breakdown voltage* “.

Breakdown voltage bergantung pada :

1. Sifat isolator cairan dielektrik.
2. Jarak dua posisi yang terdekat antara pahat dengan benda kerja.
3. Tingkat polusi yang terjadi pada celah dielektrik tersebut.

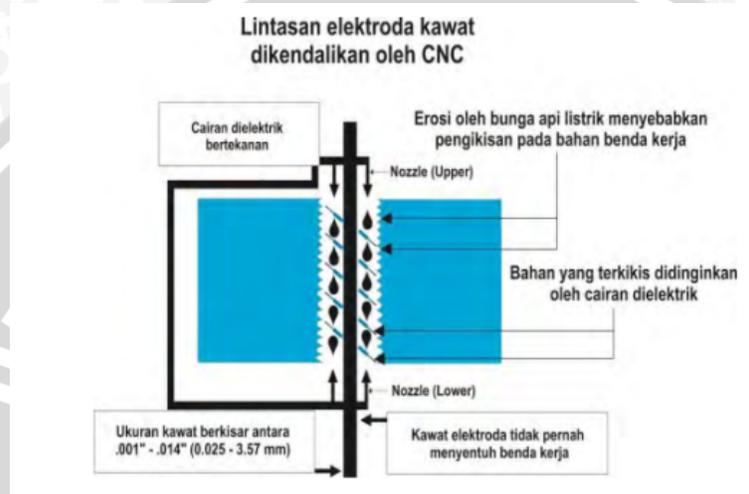
Proses terjadinya loncatan bunga api listrik (*spark*) dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Pengaruh medan listrik yang ada diantara elektroda dengan benda kerja menyebabkan terjadinya pergerakan ion positif dan elektron yang masing-masing menuju kutub yang berlawanan. Akhirnya terbentuklah saluran ion yang bersifat konduktif.
2. Pada kondisi tersebut maka arus listrik bisa mengalir melalui ion tersebut dan terjadilah loncatan bunga api listrik (*spark*).

2.4 Wire Electrical Discharge Machine (WEDM)

Wire EDM adalah salah satu jenis EDM yang menggunakan sebuah kawat elektroda yang bergerak secara terus menerus. Pelepasan material terjadi sebagai hasil erosi percikan listrik oleh kawat elektroda yang bergerak dari gulungan kawat baru memotong benda kerja (E.H. Hasan, 2005 : 132). Wire EDM menggunakan kawat kecil sebagai elektroda untuk memotong benda kerja, gerakan kawat ini

dikendalikan oleh CNC untuk menghasilkan suatu bentuk tertentu. Penggunaan *Wire EDM* mirip seperti *band saw*. Jika *band saw* menggunakan gerigi-gerigi untuk memotong, maka *Wire EDM* menggunakan percikan listrik untuk mengerosi benda kerja. Hal ini seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.12 di bawah ini.



Gambar 2.12 Percikan (*spark*) Mengerosi Benda Kerja Melalui Perantara Cairan Dielektrik

Sumber : Anonymous 3 : 2012

Wire EDM banyak digunakan untuk pembuatan produk yang menuntut kepresisian yang tinggi. Beberapa kemampuan dasar proses *Wire EDM* antara lain :

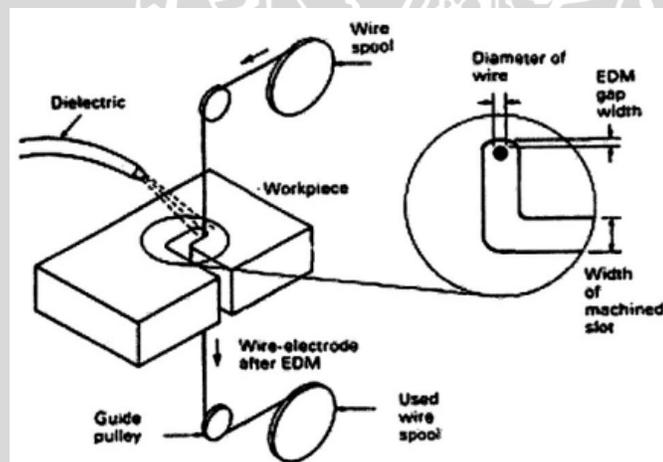
1. Dapat mengerjakan material keras.
2. Mampu mengerjakan bentuk yang kompleks.
3. Toleransi proses yang sangat akurat hingga 0,0001 inch.
4. Gaya pemotongan yang kecil.
5. Tidak ada keausan pahat (pahat secara kontinyu diganti).

2.4.1 Prinsip Kerja *Wire EDM*

Seperti peralatan EDM lainnya, *Wire EDM* melepaskan material dengan percikan listrik yang dihasilkan oleh elektroda yang dialiri listrik dari sebuah generator. Mekanisme sistem *Computer Numerical Control (CNC)* menjaga agar kawat elektroda tidak menempel ke benda kerja dan menjalankan mesin untuk memotong benda kerja sesuai dengan bentuk yang diinginkan.

Diantara benda kerja dan kawat terdapat sebuah pelindung berupa *deionized water*, yang biasa disebut cairan dielektrik. Untuk memotong konduktivitas, air harus melalui tangki resin untuk melepaskan elemen yang menyebabkan air menjadi terlalu konduktif. Sebuah pompa secara otomatis akan memaksa air untuk melalui sebuah tangki resin ketika konduktivitas air terlalu tinggi.

Ketika sebuah percikan listrik terjadi diantara kawat dan benda kerja maka akan terjadi peningkatan temperatur yang menyebabkan benda kerja meleleh dan menguap. Hal tersebut dengan gerakan elektroda kawat yang terus menerus mengalami perputaran sehingga elektroda yang digunakan selalu baru. Cairan pendingin atau cairan dielektrik akan mendinginkan metal yang menguap dan menjadikannya partikel padat. Partikel padat ini selanjutnya akan terbawa keluar dari celah antar benda kerja dan elektroda kawat. Kemudian cairan dielektrikakan melalui filter yang akan memisahkan antara cairan dielektrik itu sendiri dengan partikel sisa pemotongan. Untuk menjaga keakuratannya, cairan sebuah dielektrik melalui sebuah *chiler* untuk menjaga tempertur agar tetap konstan. Proses permesinan dengan *Wire EDM* dapat ditunjukkan pada gambar 2.13 berikut :



Gambar 2.13 Skema Proses *Wire EDM*

Sumber : Anonymous 4 : 2012

2.4.2 Komponen Utama *Wire EDM*

Wire EDM memiliki empat komponen utama sebagai berikut :

1. Generator pembangkit

Komponen ini memberikan energi listrik agar terjadi beda tegangan antara elektroda kawat dan benda kerja.

2. Sistem kontrol gerakan
Sistem ini berfungsi untuk mengontrol gerakan benda kerja serta menjaga jarak antara kawat elektroda dengan benda kerja.
3. Unit fluida dielektrik
Unit ini berfungsi untuk mengatur sirkulasi aliran fluida dielektrik yang mengalir melewati celah antar elektroda kawat dan benda kerja. Unit ini meliputi reservoir, pompa, *nozzle*, *filter*, *chiller* dan pengukur tekanan.
4. Unit elektroda kawat
Elektroda kawat bergerak dari kumparan kawat pengisi ke kumparan kawat penggulung, sehingga elektroda kawat yang baru selalu berada di daerah *spark gap*. Hal ini akan membuat keausan yang terjadi pada elektroda kawat tidak mempengaruhi keakurasian pemotongan.

2.4.3 Cairan Dielektrik (*Dielectric Fluid*)

Cairan dielektrik adalah cairan yang digunakan pada proses *EDM* yang berada pada celah diantara kawat elektroda dengan benda kerja. Fungsi utama dari cairan dielektrik adalah:

1. Menyediakan suatu kondisi *insulation* diantar kawat elektroda dengan benda kerja, dalam keadaan terionisasi cairan dielektrik bersifat seperti konduktor sehingga memungkinkan suatu percikan (*spark*) listrik dapat terjadi.
2. Membilas partikel-partikel pada celah diantara elektroda kawat dan benda kerja yang timbul akibat proses pengerjaan material.
3. Media pendingin untuk benda kerja dan kawat elektroda.

Pada dasarnya cairan dielektrik dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu:

1. Air murni
Digunakan pada proses pengerjaan kecil (*micro machining*), misalnya pada pengerjaan dengan menggunakan *Wire EDM*.
2. Cairan dengan senyawa hidrokarbon.
 - a) Minyak mineral (*mineral oil*)
Banyak digunakan dalam proses EDM, memberikan hasil yang baik bila tidak ditambahkan zat pencampur (*additive*). Memiliki titik nyala rendah yang menyebabkan terjadinya gelembung-gelembung uap.

b) Kerosin

Memiliki viskositas yang rendah sehingga bagus digunakan pada pengerjaan *finishing*.

Pada pengerjaan *wire EDM* biasanya digunakan air murni (*aqua destilata*) sebagai cairan dielektriknya. Air murni merupakan air yang telah mengalami proses deionisasi (*deionized water*) sehingga memiliki sifat ionisasi yang baik.

2.4.4 Elektroda Kawat

Fungsi elektroda ialah menghantarkan tegangan listrik serta mengerosi benda kerja menjadi bentuk yang diinginkan. Bahan elektroda yang berbeda akan memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap proses pemesinan. Beberapa akan menghilangkan benda kerja secara efisien tetapi keausannya tinggi, elektroda yang lain memiliki keausan rendah tetapi kemampuan menghilangkan material benda kerja sangat lambat.

Pemilihan elektroda kawat merupakan salah satu hal terpenting karena akan menentukan hasil akhir benda kerja. Secara teoritis semua material yang bersifat konduktif terhadap listrik dapat digunakan sebagai elektroda pahat. Elektroda dapat dikategorikan baik apabila memiliki titik leleh tinggi dan tahanan listrik rendah. Pada *Wire EDM* elektroda yang digunakan harus memiliki beberapa karakteristik sebagai berikut :

- a. Menghasilkan pelepasan material (*material removal*) yang efisien.
- b. Konduktor listrik dan panas yang baik.
- c. Ketahanan terhadap keausan akibat pengerjaan benda kerja.
- d. Tahan terhadap deformasi selama proses pengerosian.

Elektroda yang digunakan dapat terbuat dari logam murni, logam paduan ataupun logam yang dilapisi dengan logam lain. Beberapa logam yang sering digunakan adalah sebagai berikut :

1. Tembaga (*copper*)

Elektroda kawat jenis ini mempunyai kekuatan tarik yang rendah, mudah mulur, mudah putus, memiliki titik leleh rendah, memiliki konduktivitas listrik dan termal yang tinggi.

2. Kuningan (*kuningan*)

Elektroda merupakan campuran tembaga (Cu) dan seng (Zn). Biasanya memiliki prosentase kandungan 65%-35% dan 63%-37%. Penambahan seng (Zn) menyebabkan kenaikan signifikan pada kekuatan tarik dan titik leleh elektroda. Hal ini menyebabkan kuningan secara cepat menjadi elektroda yang paling umum digunakan pada *Wire EDM*.

3. *Molybdenum*

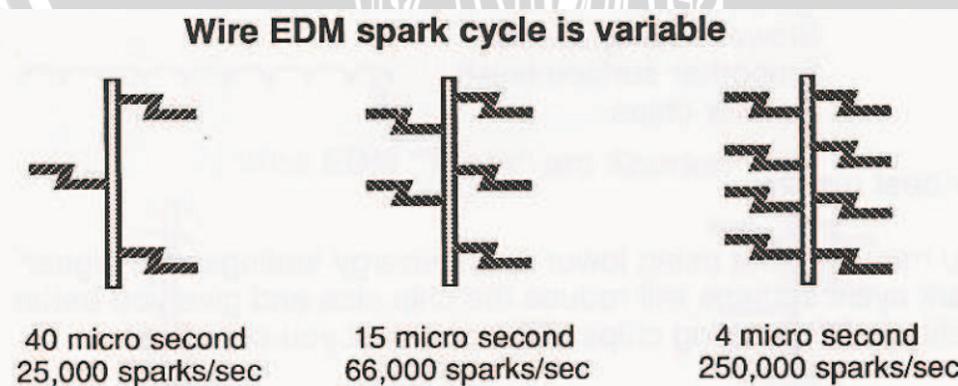
Jenis elektroda kawat ini memiliki kekuatan tarik yang tinggi, tidak mudah putus dan titik leleh yang tinggi. Kawat elektroda jenis ini hanya digunakan secara khusus dikarenakan harganya yang tinggi dan *machining time* yang rendah.

4. Kawat yang dilapisi (*coated wire*).

Elektroda kawat seperti ini dapat diperoleh dengan menggunakan metode *electroplating*. Elektroda kawat ini memiliki inti dari kuningan atau tembaga untuk memperoleh konduktivitas dan kekuatan tarik. Sedangkan untuk meningkatkan formasi percikan (*spark formation*) dan karakteristik dari *flush*, digunakan lapisan seng (Zn) murni atau paduannya.

2.4.5 *Spark Cycle*

Spark Cycle (siklus percikan) merupakan jumlah waktu *pulse on/off* berlangsung. Satu siklus berarti jumlah 1 *pulse time on* ditambah 1 *pulse time off*. Satu siklus berlangsung dalam satuan seperibu detik. Ilustrasi siklus percikan ditunjukkan pada gambar 2.14 di bawah ini.



Gambar 2.14 Siklus *On/Off Pulse* Pada *Wire EDM*

Sumber : Jonh Portt (1992 : 8)

2.4.6 Flushing

Flushing merupakan sirkulasi cairan dielektrik diantara benda kerja dan kawat elektroda. *Flushing* memegang peranan yang penting dalam proses EDM. Suatu proses *flushing* yang kurang cukup baik dapat menurunkan umur elektroda, penurunan waktu produksi, dan penurunan efisiensi permesinan.

Saat belum terjadi loncatan bunga api (*Sparking*), cairan dielektrik diantara benda kerja dan elektroda merupakan medium isolator yang sempurna. Setelah terjadi loncatan bunga api akan timbul partikel-partikel kecil di dalam cairan dielektrik hasil dari pengerosian benda kerja. Sehingga kemampuan isolator cairan dielektrik akan menurun.

Tujuan dari proses *Flushing* adalah sebagai berikut :

- a. Mensuplai cairan dielektrik baru pada celah diantara benda kerja dan elektroda dimana merupakan daerah terjadinya loncatan bunga api (*spark gap*).
- b. Mendinginkan benda kerja dan elektroda.
- c. Membawa dan mengeluarkan geram dan pengotor lain dari daerah loncatan bunga api.

Pada proses *wire EDM*, metode *flushing* yang digunakan adalah :

1. *Flushing pressure*

Flushing jenis ini dilakukan dengan cara menyemprotkan cairan dielektrik ke daerah *spark gap* menggunakan *nozzle* dari atas maupun dari bawah benda kerja, sehingga kawat akan dikelilingi oleh cairan dielektrik. Jarak *nozzle* dengan benda kerja dapat mempengaruhi hasil akhir proses pemotongan.

2. *Flushing submerge*

Flushing jenis ini dilakukan dengan cara merendam seluruh benda kerja dan elektroda kawat di dalam cairan dielektrik yang terus bersirkulasi. Biasanya digunakan untuk pemotongan benda kerja dengan bentuk yang rumit.

2.4.7 Parameter Wire EDM

2.4.7.1 Servo Voltage

Servo voltage adalah tegangan yang dihasilkan dan diatur oleh servo. Tegangan inilah yang memiliki pengaruh pada intensitas arus dan lebar *kerf*.

2.4.7.2 Pulse Time On

Pulse time on merupakan waktu dimana terjadi aliran arus listrik saat pengerosian benda kerja. *Pulse time on* memiliki pengaruh signifikan pada keseluruhan kecepatan pengerjaan serta kekasaran benda kerja. Penambahan nilai *pulse time off* akan menyebabkan kenaikan jumlah periode percikan.

2.4.7.3 Pulse Time Off

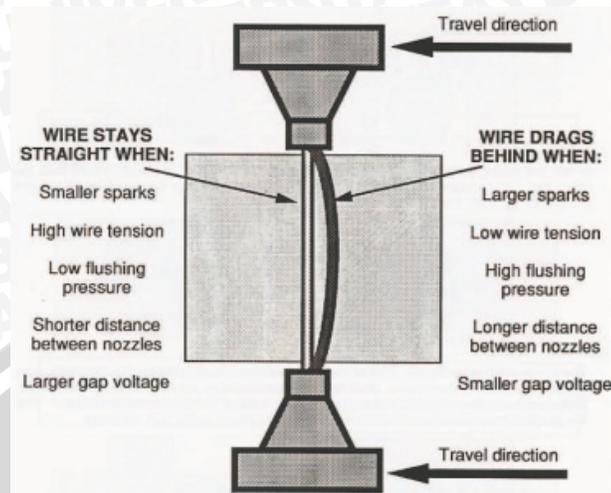
Pulse time off ialah waktu dimana terjadi ionisasi awal pada cairan dielektrik dan pembersihan sisa partikel sisa pengerosian benda kerja pada celah diantara benda kerja dan elektroda kawat. *Pulse time off* memiliki pengaruh signifikan pada keseluruhan kecepatan pengerjaan dan stabilitas proses permesinan. Penambahan nilai *pulse time off* akan berakibat pada penurunan jumlah periode percikan yang menyebabkan penurunan pemakanan.

2.4.7.4 Discharge Time

Discharge time adalah waktu pelepasan arus listrik diantara benda kerja dan kawat elektroda (*spark gap*). Satuan dari *discharge time* adalah seperseribu detik (*micro second*).

2.4.7.5 Wire Tension

Wire tension adalah gaya tarik yang dikenakan pada kawat sebelum proses pemotongan dilakukan. Setiap jenis elektroda kawat mempunyai kekuatan tarik yang berbeda-beda, dimana akan menentukan gaya tarik yang dikenakan pada elektroda kawat tersebut. Besar penarikan kawat yang tinggi akan mengurangi getaran sehingga akan menurunkan simpangan yang terjadi. Tetapi penarikan kawat yang terlalu tinggi dapat menyebabkan putusnya kawat elektroda. Ilustrasi mengenai *wire tension* dapat dilihat pada gambar 2.15 berikut.



Gambar 2.15 Ilustrasi *Wire Tension*
Sumber : Jonh Portt (1992)

2.4.7.6 *Wire Feet Rate*

Wire feet rate ialah kecepatan pemakanan kawat elektroda terhadap benda kerja yang dinyatakan dalam satuan *inch per second* atau *mm per second*. Semakin besar harga *wire feet rate* maka semakin banyak jumlah siklus percikan listrik dalam satu satuan panjang tertentu. Hal ini menyebabkan nilai laju pelepasan logamnya naik.

2.4.7.7 *Intensitas Arus*

Intensitas arus atau *power supply current* merupakan batas arus maksimum yang diterapkan pada EDM. Dengan semakin besar arus yang dikeluarkan, elektron yang dilepaskan juga semakin besar untuk mengerosi benda kerja sehingga akan semakin tinggi laju pelepasan logamnya. Tetapi semakin besar arus yang digunakan maka akan semakin besar energi loncatan tiap bunga api yang mengakibatkan semakin lebar pemotongan (*kerf*).

Arus pada elektroda merupakan fungsi dari tegangan yang digunakan, sehingga kenaikan tegangan akan menghasilkan arus listrik menjadi naik. Pengaturan tegangan diatur menggunakan *servoentivity*

2.4.7.8 *Polaritas Pahat dan Benda Kerja*

Polaritas merupakan hubungan antara benda kerja dan elektroda dengan kutub listrik. Dua jenis polaritas yang digunakan dalam proses permesinan EDM

adalah polaritas negatif dan polaritas positif. Polaritas negatif adalah kondisi dimana elektroda dihubungkan dengan kutub positif.

2.5 Karakter Permesinan *Wire Electric Discharge Machine*

2.5.1 Kecepatan Pemotongan (*Cutting Speed*)

Secara umum kecepatan pemotongan (*cutting speed*) didefinisikan sebagai jumlah volume benda kerja yang terbuang dalam inch persegi per jam (*square inch per hour*), dan tiap mesin WEDM yang dibuat oleh perusahaan yang berbeda memiliki karakteristik kecepatan pemotongan yang berbeda-beda.

Tetapi perbedaan dalam penentuan ketebalan benda kerja, jenis material dan ketelitian hasil pengerjaan yang diinginkan akan sangat menentukan kecepatan pemotongan pada proses pengoperasian WEDM. Konduktivitas dan properti keluluhan (*melting property*) juga akan berpengaruh pada kecepatan pemotongan. Sebagai contohnya, aluminium memiliki kecepatan pemotongan yang lebih cepat dari pada baja karbon. Tabel 2.2 di bawah ini merupakan contoh penentuan parameter pemotongan.

2.2 Tabel contoh penentuan parameter pemotongan

Wire Diameter	0,08"	0,10"	0,12"
Feed per Pound	5,200 ft	3,300 ft	2,200 ft
Wire Feed Rate	6 ips	6 ips	5 ips
Avg. Usage per Hour			
Length	1,800 ft	1,800 ft	1,500 ft
Weight	,35 lbs	,55 lbs	,68 lbs

Sumber : Anonymous 5 : 2012

2.5.2 Laju Pelepasan Logam (*Material Removal Rate*)

Laju pelepasan logam adalah besarnya volume material yang dibuang tiap satuan waktu. Pada proses EDM pelepasan material logam bukan hanya pada benda kerja, melainkan juga pada elektroda pemotongnya. Hasil dari proses pengerjaan material ini adalah kawah-kawah halus pada permukaan benda kerja.

Laju pelepasan logam pada EDM didefinisikan sebagai berikut :

$$MRR = k \cdot t \cdot v_c \cdot \rho \quad (\text{Mahapatra, 2000: 4}) \quad (2.1)$$

Dimana :

k = lebar *kerf* (mm)

t = tebal benda kerja (mm)

v_c = kecepatan pemotongan (mm/menit)

ρ = densitas benda kerja (g/cm^3)

2.6 Baja

Baja merupakan jenis logam yang unsur paduan utamanya adalah karbon (C). Kandungan karbon dalam baja merupakan salah satu unsur terpenting karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Selain karbon yang terkandung di dalamnya, baja juga mengandung unsur kira-kira 0,25 % silikon (Si), 0,3-1,5% mangan (Mn), dan unsur lain seperti fosfor (P), sulfur (S), dan sebagainya. Dalam proses pembuatan baja akan terdapat unsur-unsur lain selain karbon yang akan tertinggal di dalam baja tersebut dan sulit untuk dihilangkan yaitu mangan (Mn), silikon (Si), chrom (Cr), Vanadium (V), molibdenum (Mb) dan unsur lainnya.

Berdasarkan kadar karbon yang terkandung di dalamnya, maka baja dapat dibagi menjadi tiga kategori yaitu :

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

Baja karbon rendah mengandung kadar karbon tidak lebih dari 0,2% C. Serta mengandung sejumlah kecil paduan-paduan lain seperti mangan (Mn), silikon (Si), dan tembaga (Cu) yang memiliki batas kandungan tidak lebih dari 2%.

2. Baja karbon menengah (*medium carbon steel*)

Baja karbon menengah mengandung kadar karbon berkisar 0,3-0,5% C. Sehingga baja ini memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan baja karbon rendah yaitu memiliki kekuatan yang lebih tinggi. Adapun sifat mekanik dari baja ini adalah sulit untuk dibengkokkan, dilas, dan dipotong. Oleh karena itu biasanya digunakan untuk pembuatan obeng, rel, gandar mobil, dan beberapa komponen otomotif (seperti : poros engkol, dan poros penghubung) yang membutuhkan sifat kekerasan lebih tinggi dari baja karbon rendah. Baja AISI 1045 merupakan salah satu baja karbon menengah dengan kandungan kadar karbon 0,45% C.

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

Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon berkisar antara 0,6-1,50% C. Sehingga nilai kekerasannya lebih tinggi dibandingkan dengan baja karbon

rendah dan menengah. Baja ini juga mempunyai sifat mekanik sulit dibengkokkan, dilas, dan dipotong.

Pada baja juga ditetapkan standart kodifikasi guna membantu mengetahui spesifikasi-spesifikasi teknis dari baja sehingga dapat digunakan untuk menjamin suatu barang ataupun prosesnya. Standart kodifikasi ini dikeluarkan oleh beberapa organisasi di dunia antara lain :

- ❖ AISI (*American Iron Steel Institute*)
- ❖ SAE (*Society for Automotive Engineering*)
- ❖ UNS (*Unified Numbering System*)
- ❖ ASTM (*American Standard for Testing and Material*)
- ❖ JIS (*Japanese Industrial Standard*)
- ❖ DIN (*Deutches Institute for Normung*)
- ❖ ASME (*American Society of Mechanical Engineering*)
- ❖ CEN (*Committee European de Normalization*)
- ❖ ISO (*International Standardization Organization*)
- ❖ NF (*association francaise de normalization/ANFOR*)

Kodifikasi baja berdasarkan AISI dinyatakan dengan empat atau lima angka, yang di dalamnya terkandung :

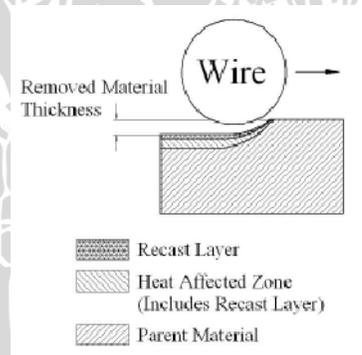
1. Angka pertama menunjukkan jenis baja.
Misal : 1= baja karbon, 2= baja nikel, 3= baja nikel chromium
2. Dua angka atau tiga angka yang terakhir menunjukkan kadar karbon perseratus persen.
Misal : AISI 1045 = baja karbon dengan kandungan 0,45% C.

2.7 Lapisan Recast

Pada permukaan benda kerja hasil pemotongan dengan *Wire EDM* akan selalu terbentuk lapisan *recast* yang mempunyai sifat mekanis yang berbeda dengan material induknya (tidak homogen). Ketidak homogenan ini bisa dimanfaatkan untuk mendapatkan lapisan *recast* yang lebih keras dari meterial induknya. Salah satu pemanfaatan lapisan ini untuk pembuatan produk roda gigi atau poros, dimana diperlukan lapisan permukaan yang keras dan lapisan dalam yang liat. Sehingga Proses pembuatan produk dengan *Wire EDM* ini bisa menghindari proses *surface hardening* yang biasanya dilakukan setelah proses pemotongan dengan mesin

lainnya. Hal ini memberikan keuntungan waktu produksi yang lebih singkat dan lebih menghemat biaya. Selain lapisan *recast*, pada benda kerja juga akan terbentuk *heat affected zone* yang merupakan lapisan dari material induk yang terpengaruh oleh panas selama proses permesinan berlangsung.

Lapisan *recast* adalah bagian benda kerja (material induk) yang ikut meleleh kemudian membeku kembali dan membentuk lapisan pada permukaan benda kerja. Lapisan *recast* terbentuk akibat pengaruh dari panas yang ditimbulkan oleh loncatan bunga api dari kawat dan berwarna putih. Dalam proses pemotongan dengan *Wire EDM*, lapisan *recast* merupakan suatu efek samping yang tidak bisa dihindari. Oleh karena itu untuk membuat produk seperti roda gigi atau poros, maka diperlukan terbentuknya lapisan *recast* yang tipis dan keras. Sedangkan *heat affected zone* merupakan lapisan dari material induk yang terpengaruh oleh panas selama proses permesinan berlangsung. Lapisan ini berada diantara lapisan *recast* dan lapisan material induk. Ilustrasi lapisan-lapisan yang terpengaruh panas ini ditunjukkan pada gambar 2.16 di bawah ini.



Gambar 2.16 Skema Material yang Terpengaruh Panas

Sumber : Anonymous 6 : 2012

2.8 Uji Mekanik

Uji mekanik adalah suatu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dari suatu material. Pengujian ini terdiri dari dua jenis metode pengujian yaitu metode pengujian *destruktif* dan metode pengujian *non destruktif*, dimana material yang diuji mengalami kerusakan dalam bentuk apapun. Baik itu goresan pengikisan, retakan atau secara kimiawi. Sebagai contohnya adalah pengujian tarik, pengujian kekerasan, pengujian impact, pengujian puntir, dan uji struktur. Sedangkan

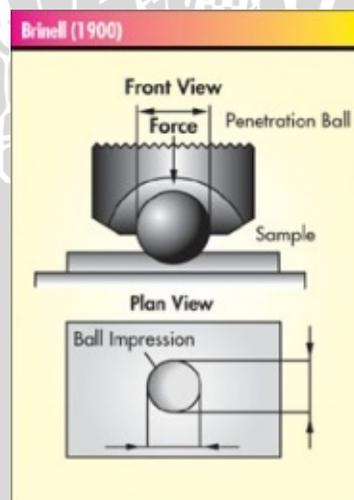
pengujian *non destruktif* yaitu metode pengujian yang tidak merusak material seperti uji elektromagnetik dan sinar x.

2.8.1 Kekerasan

Kekerasan (*hardness*) adalah salah satu sifat mekanik dan merupakan kemampuan material dalam menerima gaya berupa penetrasi (indentasi), pengikisan, ataupun penggoresan. Sifat kekerasan mempunyai korelasi dengan kekuatan dan juga sifat daya tahan aus. Kekerasan material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya mengalami gesekan dan deformasi plastis. Deformasi plastis ini merupakan perubahan ukuran atau bentuk material karena adanya gaya dari luar dan apabila gaya tersebut dihilangkan maka keadaan dari suatu material tidak dapat kembali ke bentuk awalnya. Di dunia teknik, umumnya pengujian kekerasan menggunakan 3 macam metode pengujian kekerasan, yakni :

1. *Brinell* (HB/BHN)

Uji *brinell* dilakukan dengan penekanan sebuah bola baja yang terbuat dari baja *chrom* yang telah dikeraskan dengan diameter tertentu ke dalam permukaan logam yang diuji. Kekerasan dalam uji ini disebut kekerasan *brinell* yang biasa disingkat HB atau BHN (*Brinell Hardness Number*).



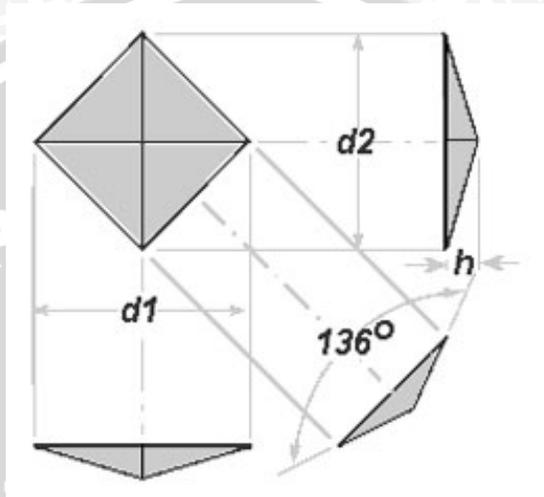
Gambar 2.17 *Brinell Test*

Sumber : Anonymous 7 : 2012

2. *Vickers* (HV/VHN)

Uji kekerasan *vickers* menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramida

yang saling berhadapan adalah 136° seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.18 di bawah. Sudut ini dipilih karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antar diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan *brinell*. Kekerasan dalam uji ini disebut kekerasan *vickers* yang biasa disingkat HV atau VHN (*Vickers Hardness Number*).



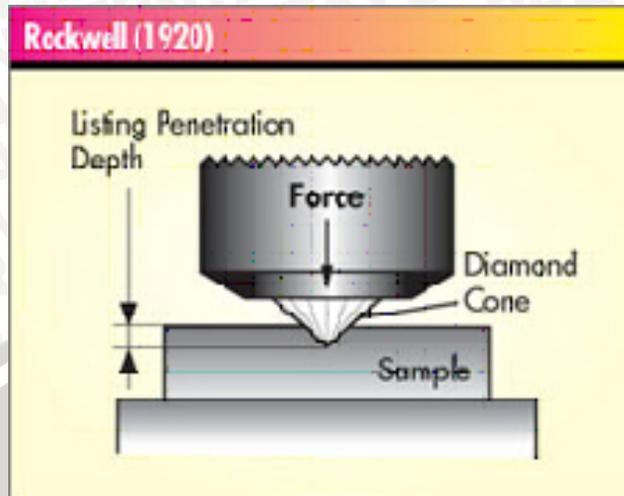
Gambar 2.18 *Vickers Indentor*
Sumber : Anonymous 8 : 2012

3. *Rockwell* (HR/RHN)

Dalam metode *rockwell* menggunakan dua macam *indentor* yang ukurannya bervariasi, kedua jenis *indentor* itu adalah :

- Kerucut intan dengan besar sudut 120° , dikenal pula '*rockwell cone*'.
- Bola baja dengan berbagai ukuran.

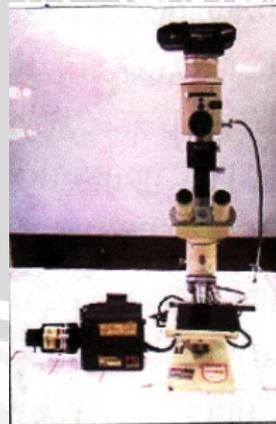
Kekerasan dalam uji ini disebut kekerasan *rockwell* yang biasa disingkat HR atau RHN (*Rockwell Hardness Number*).



Gambar 2.19 Rockwell Test
Sumber : Anonymous 9 : 2012

2.8.2 Uji Struktur

Uji struktur adalah pengujian untuk melihat atau mengetahui struktur logam. Dalam penelitian ini struktur yang dimaksud adalah lapisan *recast*. Sedangkan alat uji struktur yang digunakan dalam penelitian ini adalah foto makro. Foto makro merupakan alat untuk pemeriksaan makro yang digunakan untuk memeriksa permukaan yang terdapat celah-celah, lubang-lubang pada struktur logam yang sifatnya rapuh, bentuk-bentuk patahan benda bekas pengujian mekanis. Pemeriksaan secara makro ini biasanya untuk bahan-bahan yang memiliki struktur kristal yang tergolong besar dan kasar. Sedangkan dalam penelitian ini, foto makro digunakan untuk mengetahui batas antara lapisan *recast*, HAZ, dan material induknya.



Gambar 2.20 Mikroskop Logam
Sumber : Dokumen Pribadi

2.9 Hipotesis

Semakin besar nilai *Power supply current* maka memberikan jumlah panas yang lebih tinggi dipermukaan. Panas tersebut akan terserap lebih dalam yang mengakibatkan *heat affected zone* yang terbentuk semakin dalam, sehingga mengakibatkan lapisan *recast* semakin tebal dan keras.

