

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Budiyanto, Sugiyanto (2016) pengaruh kekerasan bahan terhadap kepresisian hasil pemotongan pada mesin *wire cutting electric discharge machining* (EDM). Penelitian itu mengemukakan bahwa tingkat kekerasan bahan baja ASSAB 760 jika dipotong oleh *wire cut* EDM akan terjadi hasil lebar potong yang berbeda-beda semakin keras bahan jika dipotong dengan *wire cut* EDM akan diperoleh lebar potong semakin kecil atau sempit dan penyimpangan lebar potong juga semakin kecil atau sempit semakin lunak. Bahan jika dipotong dengan *wire cut* EDM akan diperoleh lebar potong yang semakin lebar dan penyimpangan lebar potong juga semakin lebar.

Sandi Subakti (2011) telah melakukan penelitian mengenai “pengaruh proses pemotongan menggunakan *wire* EDM terhadap lapisan *recast* dan *heat affected 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 parameter *on time* 4 μ s, *open voltage* 6V, *Arc on time* 3 Amp, *off time* 18 μ s, *servo voltage* 38V.

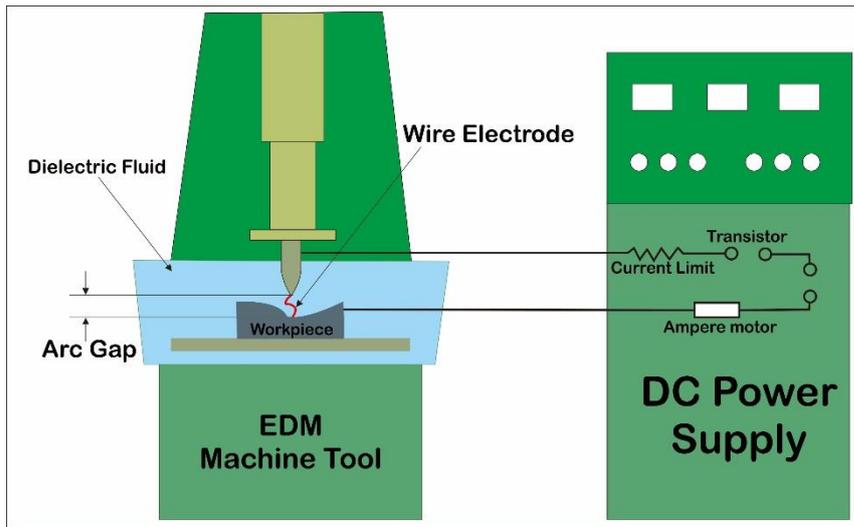
Ifata Sagedistira (2012) studi pengaruh variasi arus proses pemesinan EDM *sinking* terhadap kekerasan dan karakteristik struktur mikro material baja SKD11. Penelitian ini mengemukakan bahwa harga kekerasan material hasil *discharge* EDM *Sinking* berbanding lurus dengan kenaikan variasi arus proses *discharge* EDM *sinking*, nilai kekerasan tertinggi pada bagian *white layer* ditemukan pada parameter arus 60 A dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 432,67 VHN dan nilai kekerasan terendah terdapat pada settingan

parameter arus 15 A dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 248,33 HVn., Nilai kekerasan tertinggi pada daerah terkena panas (HAZ) ditemukan pada variasi arus 60 A dengan nilai rata-rata kekerasan 342 HVN dan nilai kekerasan terendah pada variasi arus 15 A dengan nilai rata-rata kekerasan 266,50 HVN.

Yasid (2013) pengaruh *power supply current* terhadap lapisan *recast* pada pemotongan baja S45C menggunakan *wire EDM*. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui kekerasan pada nilai lapisan *recast* yang semakin meningkat akibat arus listrik yang di berikan semakin tinggi. Pada penelitian tersebut mengemukakan bahwa nilai kekerasan minimum dan maksimum masing-masing adalah 223,6 VHN dan 277,3 VHN pada ketebalan lapisan *recast* 5 μm dan 35 μm dengan peningkatan arus listrik yang di berikan dari 4 ampere hingga 8 ampere. Penelitian ini menyatakan bahwa semakin tinggi nilai *power supply current* yang di berikan maka akan mengakibatkan nilai kekerasan dan lapisan *recast* meningkat. Hal ini mengakibatkan semakin dalam energi panas yang terserap oleh benda kerja, sehingga membentuk bagian yang terkena panas semakin dalam yang mengakibatkan lapisan material yang mengalami fase austenit semakin besar, selanjutnya dengan pendinginan cepat dari cairan dielektrik menyebabkan terjadinya perubahan fase dari austenit menjadi martensit yang semakin banyak, sehingga menyebabkan lapisan *recast* yang terbentuk semakin tebal dan keras.

2.2 Electrical 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 periodic pada celah antara katoda (pahat) dengan anoda (benda kerja) di dalam cairan dielektrik. Pada proses permesinan non konvensional ini berbasis computer sebagai pengendali utamanya.



Gambar 2.1 Mesin EDM

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Proses *electric discharge machining* (EDM) memiliki kemampuan dasar, antara lain:

1. Memotong 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. Memotong 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.

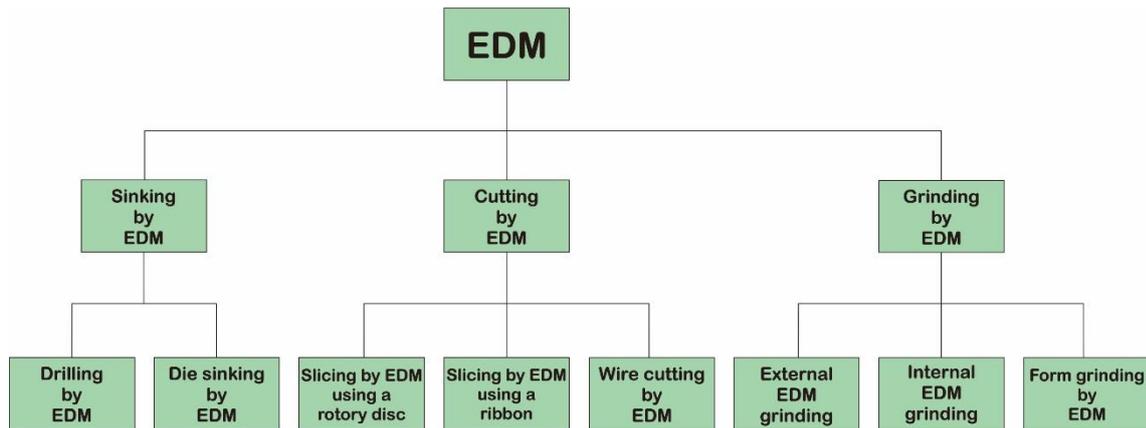
Selain kemampuan dasar diatas, proses EDM juga memiliki beberapa keuntungan antara lain:

1. Control benda kerja di atas mesin tidak rumit.
2. Permukaan benda kerja hasil proses EDM relatif halus.
3. Tingkat kebisingan rendah.
4. Kemudahan dalam pembuatan elektroda.

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

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

dalam bentuk-bentuk proses seperti pada gambar bagan di bawah ini:



Gambar 2.2 Kategori permesinan menggunakan mesin edm

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

Electric discharge machine (EDM) tidak di pengaruhi oleh kekerasan benda kerja, sehingga sangat diutamakan untuk mengerjakan benda kerja dengan kekerasan yang sangat tinggi. Karena proses EDM menguapkan material sebagai ganti proses penyayatan, kekerasan dari material benda kerja bukanlah faktor penting. Maka dari itu mesin EDM digunakan untuk membuat bentuk kompleks dan perkakas dari material yang memiliki kekerasan tinggi.

Jenis pengerjaan dan ukuran minimal yang dapat di capai oleh mesin EDM dapat di lihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1

Ukuran Minimal Beberapa Jenis Pengerjaan dengan Mesin EDM

No	Jenis Pengerjaan	Wire EDM	Ram EDM
1.	Radius dalam	0,000" (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)

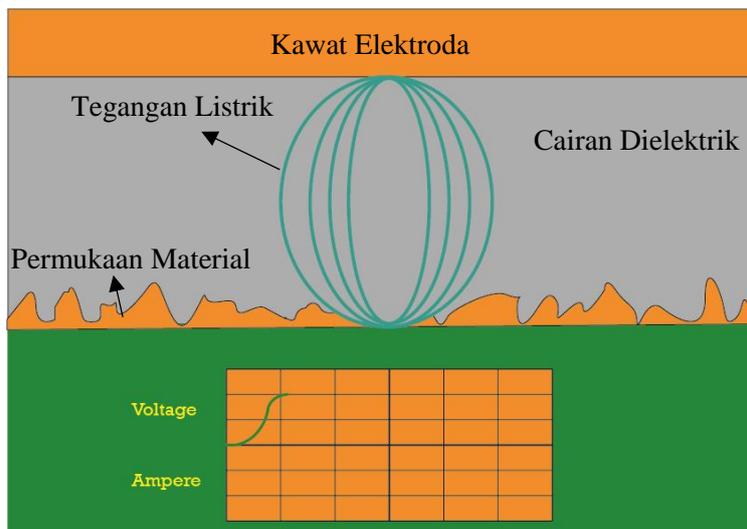
2.3 Prinsip Kerja EDM

Seperti peralatan mesin 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 periodic dan beraturan dalam suatu media cairan dielektrik

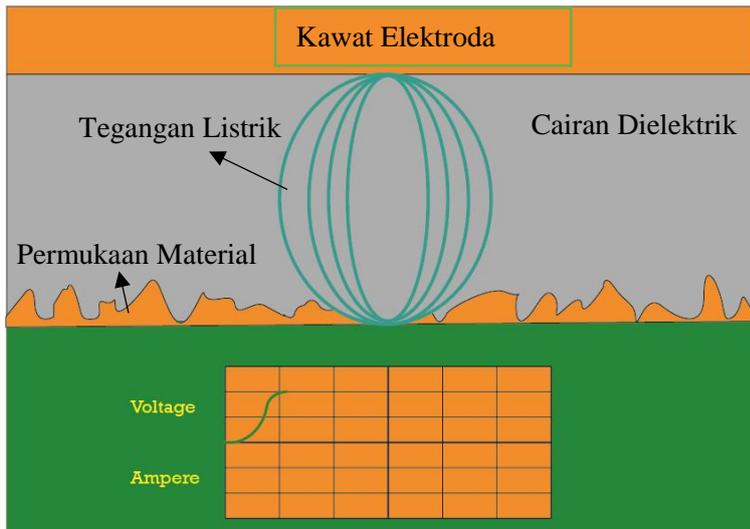
yang berfungsi sebagai isolator. Percikan akan timbul jika terdapat tegangan pada elektroda dan benda kerja.

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 konstanta 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 dimana jarak antara elektroda dan benda kerja paling dekat, seperti pada titik dimana jarak antara elektroda dan benda kerja paling dekat, seperti pada titik tertinggi yang terlihat di Gambar 2.3. Grafik menunjukkan bahwa tegangan (beda potensial) meningkat, tetapi arusnya nol.



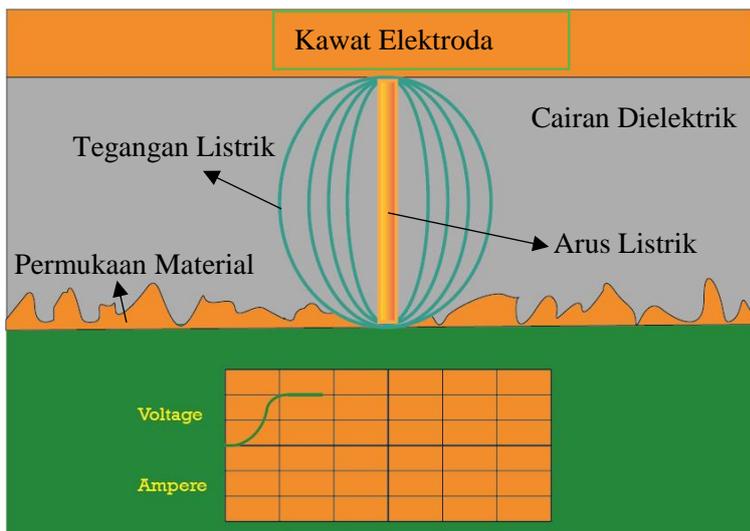
Gambar 2.3 Elektroda yang bertegangan listrik didekatkan ke benda kerja
Sumber: Widarto (2008)

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.



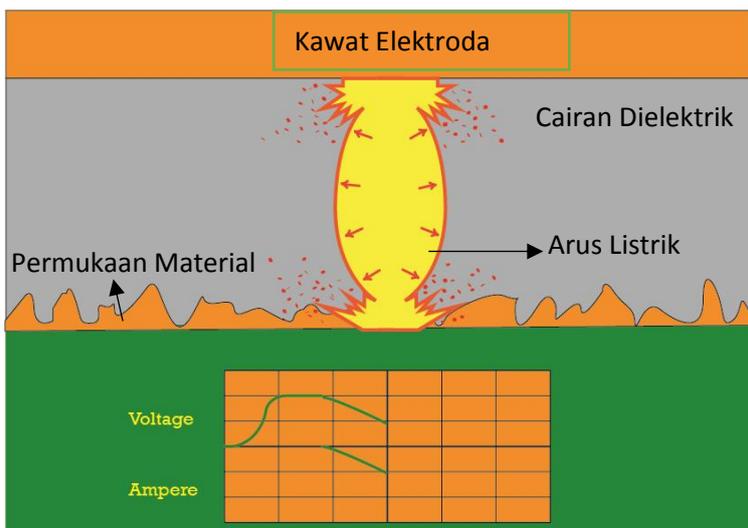
Gambar 2.4 Peningkatan jumlah partikel bermuatan serta tegangan hingga titik tertinggi
 Sumber: Widarto (2008)

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



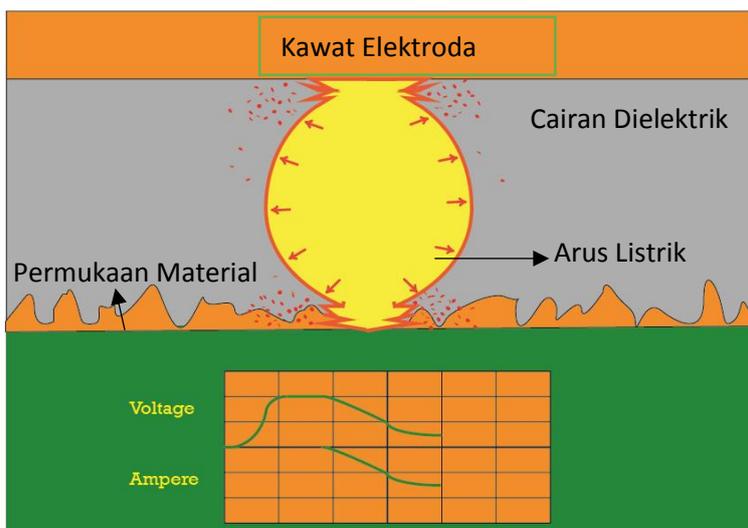
Gambar 2.5 Arus mulai muncul dan beda tegangan mulai menurun
 Sumber: Widarto (2008)

Selanjutnya panas muncul serta cepat ketika arus listrik meningkat dan tegangan terus menurun dratis. Panas tersebut muncul karena terjadi loncatan bunga api listrik yang menumbuk permukaan permukaan benda kerja yang menyebabkan terjadinya kenaikan temperature ($8000^{\circ}\text{C} - 12000^{\circ}\text{C}$) dan menyebabkan pelelehan local 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 di tunjukkan pada Gambar 2.6.



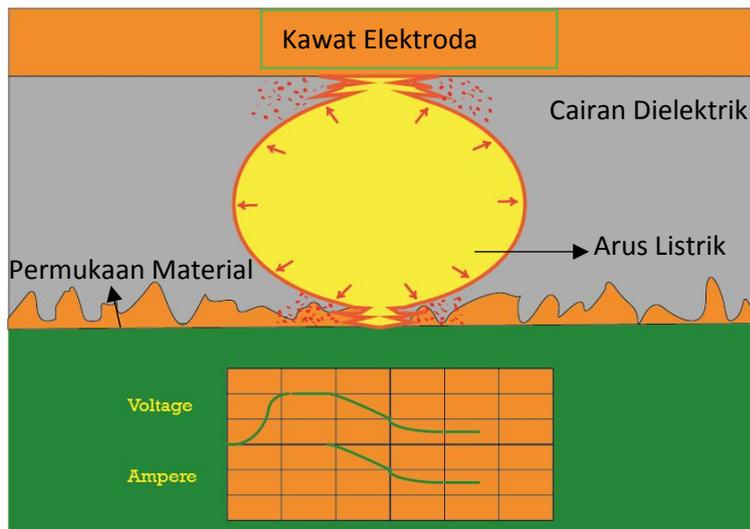
Gambar 2.6 Mulai terbentuknya jalur discharge
Sumber: Widarto (2008)

Gelembung uap melebar kesamping, tetapi gerakan melebarnya dibatasi oleh kotoran-kotoran ion disamping 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.



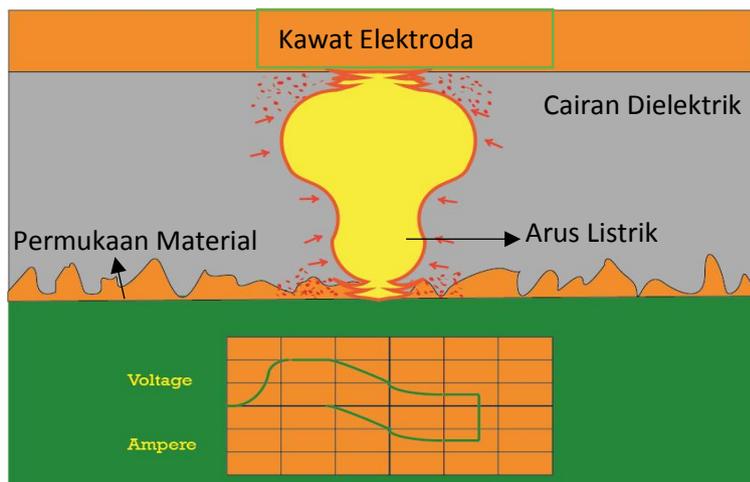
Gambar 2.7 Gelembung uap melebar ke samping
Sumber: Widarto (2008)

Sebelum jalur *discharge* berakhir, arus dan Tegangan menjadi stabil. Panas dan tekanan didalam gelembung uap telah mencapai ukuran maksimal dan sebagian logam telah dihilangkan. Lapisan dari logam di bawah kolom discharge dalam 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 di tunjukan pada Gambar 2.8.



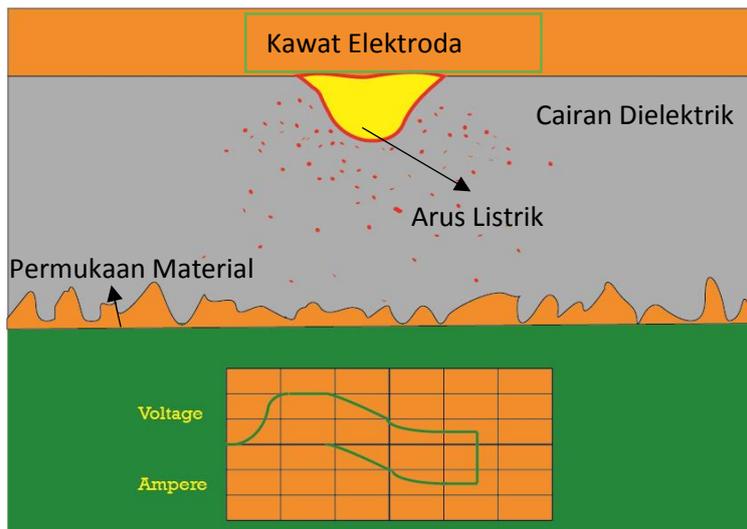
Gambar 2.8 Lapisan logam di bawah kolom discharge pada kondisi mencair.
Sumber: Widarto (2008)

Pada akhirnya, arus dan tegangan turun menjadi nol. Temperature turun dengan cepat, sehingga terjadi tabrakan gelembung dan menyebabkan logam yang telah dicairkan lepas dari benda kerja, seperti yang di tunjukan pada Gambar 2.9.



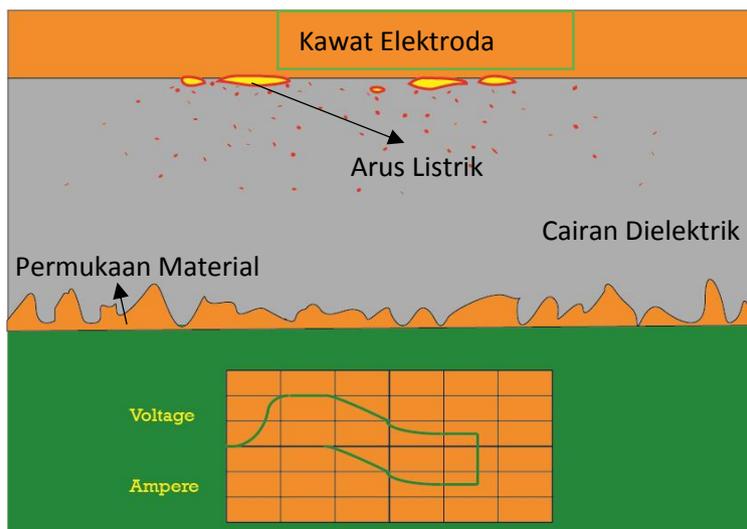
Gambar 2.9 Logam cair lepas dari benda kerja.
Sumber: Widarto (2008)

Selanjutnya cairan dielektrik baru masuk diantara 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 permukaan di sebut lapisan *recast* (*recast layer*). Hal ini di tunjukan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Terbentuknya lapisan recast
Sumber: Widarto (2008)

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.



Gambar 2.11 Logam yang terlepas membeku dan sisa uap naik ke permukaan
Sumber: Widarto (2008)

Urutan waktu *on/off* adalah satu siklus EDM yang dapat diulang sampai ribuan kali per detik. Penjelasan diatas 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 breakdoewn voltage*” *breakdown voltage* bergantung pada:

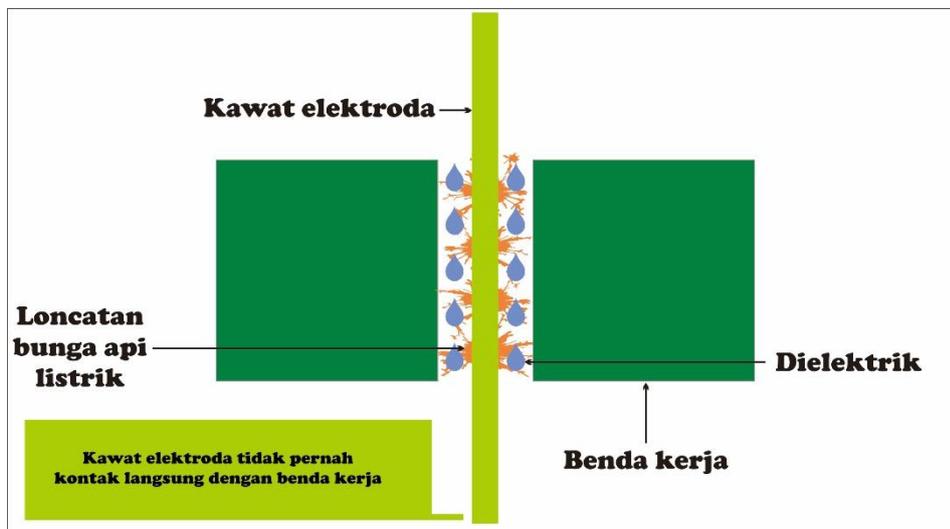
1. Sifat isolator cairan dielektrik.
2. Jarak dua posisi yang terdekat antara pahat dengan benda kerja.
3. Tingkat polusi yang terjadi pada celah dielektrik tersebut.

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 electron yang masing-masing menuju kutub yang berlawanan. Akhirnya terbentuknya 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. *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.



Gambar 2.12 Percikan (*spark*) mengerosi benda kerja melalui perantara cairan dielektrik
Sumber: Dokumentasi pribadi

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

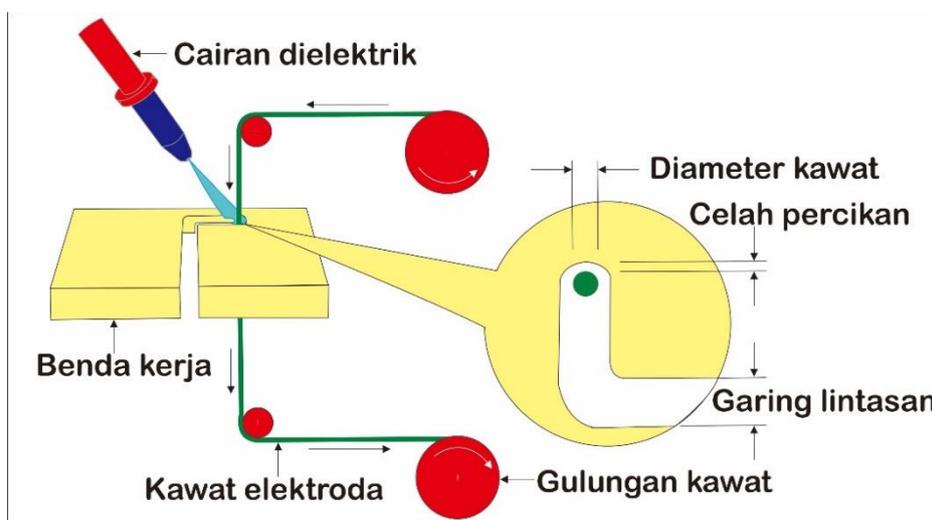
1. Dapat mengerjakan material keras.
2. Mampu mengerjakan bentuk yang kompleks.
3. Toleransi proses yang sangat akurat hingga 0,0001 inch.
4. Gaya pemotongan yang kecil.
5. Tidak ada keausan pahat (pahat secara kontinyu diganti).

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 tanki resin untuk melepaskan elemen yang menyebabkan air menjadi terlalu konduusif. Sebuah pompa secara otomatis akan memaksa air untuk melalui sebuah tanki 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 dielektrik akan melalui filter yang akan memisahkan antara cairan dielektrik itu sendiridengan partikel sisa pemotongan. Untuk menjaga keakuratannya cairan dielektrik akan melalui sebuah *chiller* untuk menjaga temperatur agar tetap konstan. Proses permesinan dengan *wire* EDM dapat ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Skema proses *wire* EDM
Sumber: Dokumentasi pribadi

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 dan benda kerja.
3. Unit fluida dielektrik
Unit ini berfungsi untuk mengatur sirkulasi aliran fluida dielektrik yang mengalir melewati celah antara 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 keakuratan 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* di antara 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 di antara 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 dua jenis, yaitu:

1. Air murni
Digunakan pada proses pengerjaan kecil (*micro machining*), misalnya pada pengerjaan dengan menggunakan *wire EDM*.
2. Cairan dengan senyawa hidrokarbon.
 - 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.

- 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 deonisasi (*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. Lanjut bahan elektroda yang berbeda akan memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap proses permesinan. 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 tahan listrik rendah. Pada *wire* EDM elektroda yang digunakan harus memiliki beberapa karakteristik sebagai berikut:

1. Menghasilkan pelepasan material (*material removal*) yang efisien.
2. Konduktor listrik dan panas yang baik.
3. Ketahanan terhadap keausan akibat pengerjaan benda kerja.
4. 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 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

Elektroda merupakan campuran tembaga (Cu) dan seng (Zn). Biasanya memiliki persentase kandungan 65% sampai 35% dan 63% sampai 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*

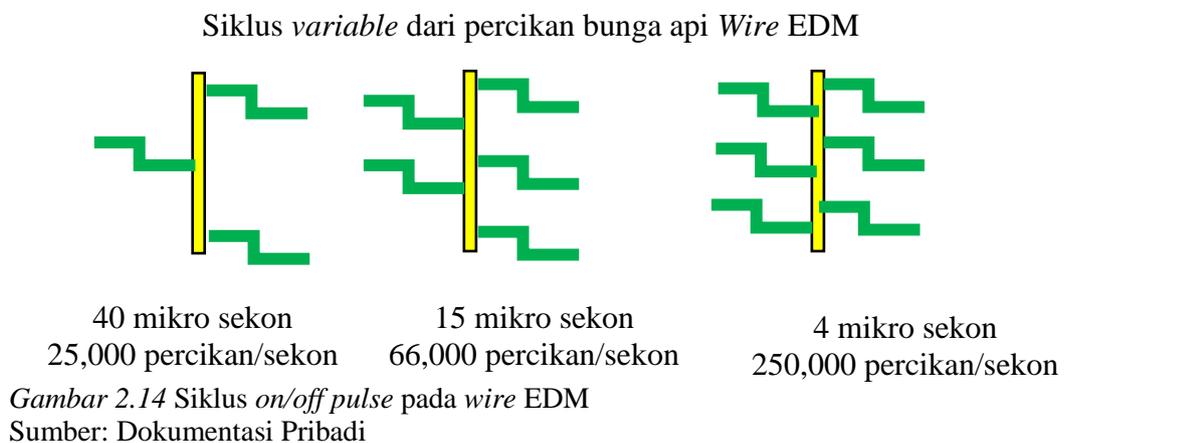
Jenis elektroda kawat ini memiliki kekuatan tarik yang tinggi, tidak mudah putus dan titik leleh yang tinggi. Kawat elektroda jenis ini hanya digunakan secara khusus dikarenakan harganya yang tinggi dan *machining time* yang rendah.

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 satu *pulse time on* ditambah satu *pulse time off*. Satu siklus berlangsung dalam satuan perseribu detik. Ilustrasi siklus percikan ditunjukkan pada Gambar 2.14.



2.4.6 *Flushing*

Flushing merupakan sirkulasi cairan dielektrik di antara 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 didalam cairan dielektrik hasil dari pengerosian benda kerja. Sehingga kemampuan isolator cairan dielektrik akan menurun.

Tujuan dari proses *flushing* adalah sebagai berikut.

1. Mensuplai cairan dielektrik baru pada celah diantara benda kerja dan elektroda dimana merupakan daerah terjadinya loncatan bunga api (*Spark gap*).
2. Mendinginkan benda kerja dan elektroda.
3. Membawa dan mengeluarkan geram dan pengotor lain dari daerah loncatan bunga api.

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

1. *Flushing prassure*

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

2. *Flushing submarge*

Flushing jenis ini dilakukan dengan cara merendam seluruh benda kerja dan elektroda kawat didalam 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 di atur oleh servo. Tegangan inilah yang memiliki pengaruh pada intensitas arus dan lebar *kerf*.

2.4.7.2 Wire Feed

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

2.4.7.3 Feed Rate

Kecepatan pemakanan adalah kecepatan makan benda kerja oleh kawat elektroda dalam suatu proses *machining*. Satuan dari *feed rate* ini adalah mm/menit. Kecepatan pemakanan yang digunakan dan diameter kawat akan menentukan hasil dari benda kerja yang akan

dipotong, sehingga diperlukan penentuan yang sesuai agar hasil yang didapatkan setelah proses pemotongan dapat maksimal.

2.4.7.4 Current Supply

Current supply merupakan batas arus maksimum yang diterapkan pada EDM. Dengan semakin besar arus yang di keluarkan, 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*).

2.5 Tool Steel (Baja Perkakas)

Tool Steel adalah baja dengan kandungan *Carbon* antara 0.3 – 1.6% dan mengandung unsur-unsur paduan lainnya (Cr, V, W, Mo, dll). Unsur-unsur paduan tersebut membuat baja tersebut mempunyai sifat mekanik (kekerasan, ketahanan abrasi, kemampuan potong, kekerasan pada temperatur tinggi) yang sangat baik sehingga baja tersebut dapat digunakan sebagai *tool* (perkakas), misalkan sebagai *mould*, *dies* atau pisau. Umumnya tool Steel digunakan setelah di *heat treatment* (perlakuan panas), hal ini untuk mendapatkan sifat mekanik yang benar-benar sesuai dengan kebutuhan. *Tool steel* diproduksi dalam berbagai tipe atau *grade*. Pemilihannya tergantung pada jenis pembebanannya (*impact*, abrasi) atau pada pekerjaannya : *stamping*, *cutting*, *extrusi*, *forging*, dll.

2.5.1 Klasifikasi Baja Perkakas

Baja perkakas berdasarkan aplikasinya terbagi menjadi 4 (empat) kelompok, diantaranya adalah : Baja perkakas pengerjaan dingin (*cold work tool steel*), baja perkakas pengerjaan panas (*hot-work tool steel*), *high speed tool steel*, dan *special purpose tool steel*.

1. Baja Perkakas Pengerjaan Dingin (*Cold-Work Tool Steel*)

Jenis baja perkakas ini dapat dikelompokkan menjadi 4 kelompok tergantung dari proses pengerasannya yang terjadi.

a. Water-hardening toolsteel

- Simbol : tipe W
- Baja karbon (1%) dengan sedikit atau tanpa penambahan unsur paduan (misalnya V dan Cr)

- Memiliki sifat hardenability yang rendah
 - Pada proses pengerasannya, baja karbon pada temperatur *austenit* di *quenching* dengan media air.
- b. *Oil hardening tool steel*
- Simbol : tipe O
 - Di *quenching* dengan media oli
 - Mengandung kadar karbon antara 0,9%- 1,5% dengan penambahan paduan dalam jumlah kecil, misalnya W, Mn, Cr, dan Mo.
 - Memiliki sifat *hardenability* lebih baik daripada di *quenching* dengan air.
 - Digunakan untuk *cold forming dies*, *blanking dies*, dan *gauges*.
- c. *Air-hardening tool steel*
- Simbol : tipe A.
 - Mengandung karbon sebesar 1% dengan paduan utamanya :Mn, Cr, dan Mo.
 - Proses pengerasannya dengan pendinginan di udara terbuka.
 - Memiliki sifat tahan aus dan perubahan dimensi yang kecil.
- d. *High carbon High Chromium*
- Simbol : tipe D.
 - Mengandung 1-2,3% C; 12–14% Cr, dan sedikit V, Mo, W dan Co.
 - Memiliki sifat tahan aus yang tinggi.
 - Dapat ditingkatkan kekerasannya dengan media air atau oli.
2. Baja Perkakas Pengerjaan Panas (*Hot-Work Tool Steel*)
- a. Simbol : tipe H.
 - b. Baja perkakas jenis ini digunakan untuk proses *hot working* seperti *stamping* dan *drawing*.
 - c. Memiliki sifat mekanis seperti :kekuatan tinggi, tahan aus, toughness tinggi, dan tahan terhadap temperatur tinggi.
3. Baja Perkakas Kecepatan Tinggi (*High Speed Tool Steel*)
- a. Memiliki kekerasan tinggi pada temperatur diatas 550°C.
 - b. Digunakan sebagai alat potong dengan kecepatan tinggi.
 - c. Memiliki ketahanan aus yang tinggi dan mampu potong yang baik.
 - d. Berdasarkan elemen paduannya terbagi menjadi 2 (dua) kelompok.

- *Tungsten high speed steel* (tipe T), mengandung kadar tungsten yang tinggi disertai penambahan Cr, V, dan Co.
 - *Molybdenum steel* (tipe M), mengandung Molybdenum dengan kadar tinggi disertai penambahan W, Cr, V, dan Co
4. Baja Perkakas Khusus (*Special Purpose Tool Steel*)
- Baja Perkakas jenis ini terbagi menjadi 4 (empat) tipe, diantaranya:
- a. Tipe S (*Shock resisting Tool Steel*)
 - Baja karbon medium (0,5% C) dengan elemen paduan Si, Cr, dan W.
 - Sifat mekanisnya adalah : kekerasan yang tinggi, tahan aus, tahan terhadap impak.
 - Diaplikasikan untuk pahat, palu, dan pisau
 - b. Tipe L (*Low-alloys tool steel*)
 - Mempunyai kesamaan dengan water-hardening tool steel.
 - Paduan utamanya adalah Chromium.
 - Digunakan untuk membuat alat yang membutuhkan ketahanan aus dan toughness yang tinggi
 - c. Tipe F (*Carbon tungsten tool steel*)
 - Baja karbon tinggi dengan tungsten (W) sebagai paduannya.
 - Memiliki sifat tahan aus dan abrasi.
 - Digunakan untuk membuat peniti, alat pemoles dan taps
 - d. Tipe P (*Molds Steel*)
 - Baja karbon rendah dengan paduan berupa Cr dan Ni.
 - Digunakan untuk membuat *plastic mold*.

2.5.2 Material

Baja AISI 1045 adalah baja karbon yang mempunyai kandungan karbon sekitar 0,43-0,50 dan termasuk golongan baja karbon menengah (Glyn,2001). Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen automotif misalnya untuk komponen roda gigi pada kendaraan bermotor komposisi kimia dari baja AISI 1045 dapat dilihat pada tabel

Tabel 2.2
komposisi kimia baja AISI 1045

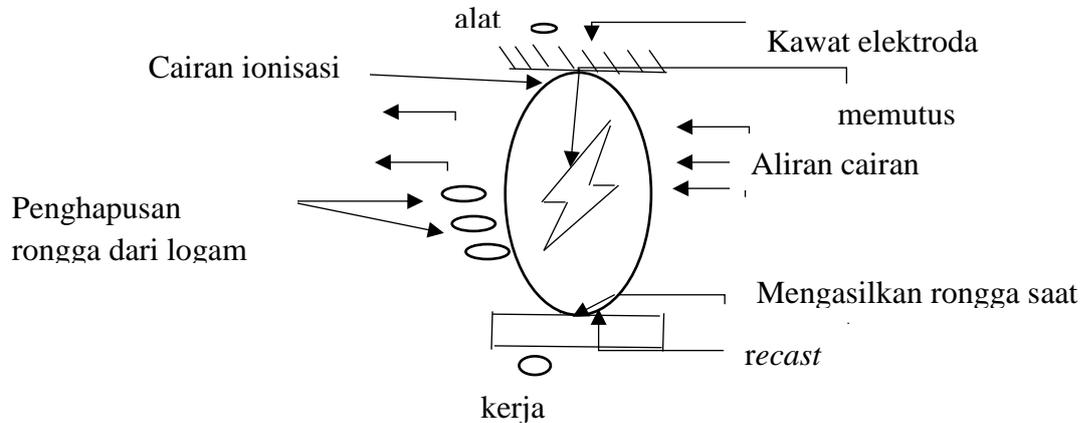
Kode	C %	Si %	Mn %	Mo %	P %	S %
AISI 1045	0,4-0,45	0,1-0,3	0,60-0,90	0,025	0,04 max	0,05 max

Baja AISI 1045 disebut sebagai baja karbon karena sesuai dengan pengkodean internasional yaitu seri 10xx berdasarkan nomenklatur yang dikeluarkan oleh AISI dari SAE (*society of automotive engineers*). Pada angka 10 menunjukkan komposisi karbon (Glyn,et,al,2001). Jadi baja AISI 1045 berarti baja karbon atau *plain carbon steel* yang mempunyai komposisi karbon sebesar 0,45%. Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen roda gigi,poros dan bantalan. Pada aplikasi ini baja tersebut harus mempunyai ketahanan aus yang baik karena sesuai dengan fungsinya harus mampu menahan keausan akibat gesekan dengan rantai. Ketahanan terhadap abrasi atau ketahanan terhadap pengurangan dimensi akibat suatu gesekan (avner, 1974). Pada umumnya ketahanan aus berbanding lurus dengan kekerasan.

2.6 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 material 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 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.



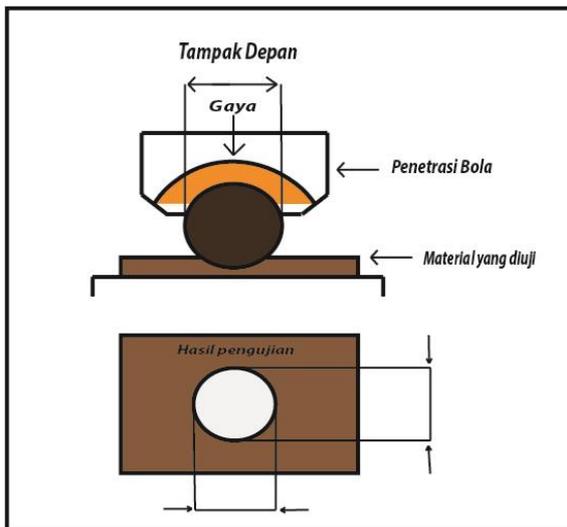
Gambar 2.15 Skema material yang terpengaruh panas
 Sumber : Dokumentasi Pribadi

2.7 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 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. Dalam bidang teknik, pada umumnya pengujian kekerasan menggunakan 3 macam metode pengujian, yaitu:

1. *Brinell* (HB/BHN)

Uji *brinell* dilakukan dengan penekanan sebuah bola baja yang dibuat dari baja *chrom* yang telah dikeraskan dengan diameter tertentu kedalam permukaan logam yang diuji. Kekerasan dalam uji ini disebut kekerasan *brinell* yang biasa disingkat HB atau HBN (*brinell hardness number*).



Gambar 2.16 Brinell Test

Sumber: Dokumentasi Pribadi

$$\text{BHN} = \frac{\text{Gaya tekan}}{\text{Luas tapak tekan}}$$

$$= \frac{2p}{\pi \cdot D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$$

BHN = angka kekerasan brinell (kg / mm²)

P = beban (kg)

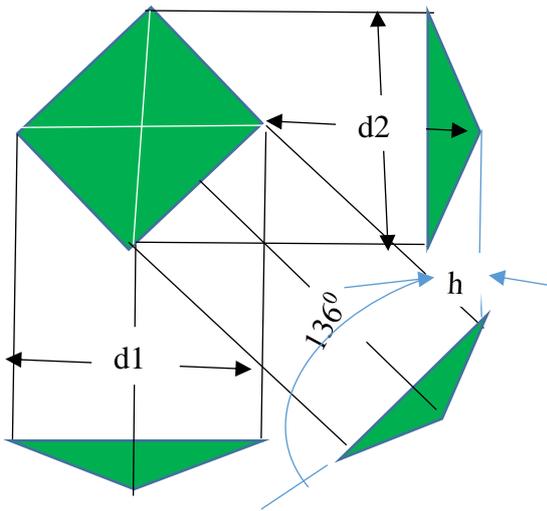
D = Diameter Indentor (mm)

d = Diameter tapak tahan (mm)

Dengan pembebanan 300 – 500 kg

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 136⁰ seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.18 dibawah. 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 2.17 Vickers Indentor
Sumber: Dokumentasi Pribadi

$$\text{VHN} = \frac{(2P \sin(\frac{\emptyset}{2}))}{d^2}$$

VHN = angka kekerasan (kg / mm²)

P = beban (kg)

d = Panjang diagonal tapak tekan. Dengan beban yang diberikan 5, 10, 20, 30, 50, 100, atau 120 kg.

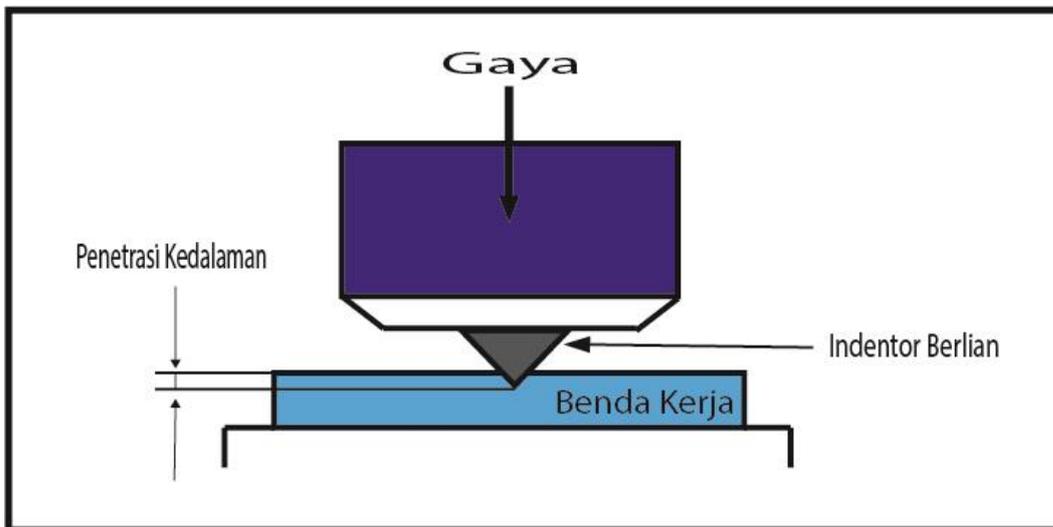
∅ = Sudut indentor

3. Rockwell (HR/RHN)

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

- a. Kerucut intan dengan besar sudut 120⁰ dikenal pula “*Rockwell come*”.
- b. Bola baja dengan berbagai ukuran.

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



Gambar 2.18 Rockwell Test
Sumber: Dokumentasi Pribadi

$$\text{HRC} = \frac{K - (h_1 - h_2)}{c}$$

HRC = angka kekerasan

K = konstanta intan

h_1 = kedalaman dari beban major

h_2 = kedalaman dari akibat beban minor

Dengan beban yang diberikan 60, 100, 150 kg

2.8 Hipotesis

Semakin besar nilai arus (ampere), serta *wire feed* dan *feed rate* yang diberikan pada saat pemotongan rendah maka hasil *recast* dan kekerasan semakin baik karena kecepatan pemotongan semakin rendah dan arus semakin besar maka panas yang dihasilkan untuk memotong benda dan juga disertai pendinginan dengan cairan secara langsung oleh cairan dielektrik maka nilai kekerasan akan meningkat.