



**STUDI PENGARUH VARIASI ARUS PROSES PEMESINAN EDM  
*SINKING* TERHADAP KEKERASAN DAN KARAKTERISTIK  
STRUKTUR MIKRO MATERIAL BAJA SKD 11**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Fakultas Teknik dan mencapai gelar sarjana teknik

Oleh

**I FATA SAGEDISTIRA  
NIM 071910101095**

**JURUSAN TEKNIK MESIN (S1)  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2012**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. **Allah SWT.** Puji syukur atas kebesaran Allah SWT atas segala karunia yang telah diberikan semoga apa yang telah diberikan-Nya akan mampu membentuk pribadiku menjadi pribadi yang tangguh, berwawasan luas dan menjadi seorang amirul mukminin yang soleh.
2. **Rasulullah SAW.** Terima kasih atas petunjuk dan keteladanan yang telah kau berikan hingga jiwa ini ingin selalu mengikuti sifat-sifat terpujimu agar aku mampu menjalani hidup yang penuh cobaan.
3. **Bapak dan Ibuku tersayang, Imra Enda Hadiwinata dan Endang Mardiani.** Terima kasih atas kasih sayang, kepercayaan dan kesabarannya sehingga pada akhirnya aku mampu menyelesaikan kuliah ini dan kelak aku akan membuat kalian bangga atas didikan yang selalu kalian berikan padaku.
4. **Novadyana Setyaningrum.** Dengan kasih sayang dan cintamu yang telah menjadi motivasiku, sandaranku dan semangatku.
5. **Almamaterku, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin - Universitas Jember.** Yang telah mengantarkanku kejenjang pendidikan yang lebih tinggi.
6. **Teman-teman Mesin.** Edy Sultoni, Endika Pratama, Rio Mahadi Wibowo, Windu Prasetyawan, Mochamad Alfian Arga, Berry Marshal terimakasih untuk kebersamaannya selama serta canda, tawa, dan segala semua kebodohan yang kita lakukan selama ini. Karena persaudaraan dengan kalian telah membuat hidupku di Jember terasa lebih indah dan lebih berarti. Untuk teman-teman lain yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu. Terima kasih atas bantuan dan kebersamaan kita selama mengenyam ilmu di Unej. Semoga tali pertemanan kita akan tetap kuat walau usia kita semakin termakan umur dan terpisahkan jarak.

## MOTTO

*Allah mencintai orang yang selalu berusaha  
Allah selalu perhatian pada hambanya, karena itu Dia  
memberikan cobaan pada hambanya  
Allah menyayangi orang yang selalu sabar dalam menghadapi  
cobaan yang Dia berikan*

*Kesuksesan tidak akan kita peroleh dengan mudah  
Karena segala sesuatu untuk mencapai puncak kesuksesan  
pasti akan mengalami sebuah proses  
Dimana setiap proses akan membutuhkan pengorbanan yang  
tak pernah kita duga  
Dan ketahuilah, semua itu adalah cara Allah mendidik kita  
untuk menjadi insan yang lebih baik  
Maka janganlah kau putus asa dan berkeluh kesah akan hal  
itu*

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : I FATA SAGEDISTIRA

NIM : 0710101095

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis yang berjudul: “*Studi Pengaruh Variasi Arus Proses Pemesinan EDM Sinking Terhadap Kekerasan dan Karakteristik Struktur Mikro Material Baja SKD 11*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 27 Januari 2012

Yang menyatakan,

I Fata Sagedistira  
NIM 071910101095

## **SKRIPSI**

# **STUDI PENGARUH VARIASI ARUS PROSES PEMESINAN EDM *SINKING* TERHADAP KEKERASAN DAN KARAKTERISTIK STRUKTUR MIKRO MATERIAL BAJA SKD 11**

Oleh

**I FATA SAGEDISTIRA**  
NIM 071910101095

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Mahros Darsin S.T., M.Sc

Dosen Pembimbing Anggota : Sumarji ST., MT.

## PENGESAHAN

Skripsi berjudul Studi Pengaruh Variasi Arus Proses Pemesinan EDM Sinking Terhadap Kekerasan dan Karakteristik Stuktur Mikro Material Baja SKD 11 telah diuji dan disahkan oleh Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

hari : Jumat

tanggal : 27 Januari 2012

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

### Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Mahros Darsin, S.T., M.Sc.  
NIP 19700322 199501 1001

Sumarji, S.T., M.T.  
NIP 19680202 199702 1001

Anggota I,

Anggota II,

Ir. FX. Kristianta, M. Eng.  
NIP 19650120200112 1001

Hari Arbiantara, ST., M.T  
NIP 19670924199412 1001

Mengesahkan  
Dekan,

Ir. Widyono Hadi, MT.  
NIP 196806171995011001

## RINGKASAN

Studi Pengaruh Variasi Arus Proses Pemesinan EDM *Sinking* Terhadap Kekerasan dan Karakteristik Stuktur Mikro Material Baja SKD 11; I Fata Sagedistira, 071910101095; 2012; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dewasa ini proses pembuatan punch dies mampu diselesaikan dengan teknologi pemesinan non-konvensional layaknya pada mesin EDM Sinking. Mesin ini mampu menghasilkan sebuah dies dengan berbagai bentuk dan kepresisian yang tinggi. Untuk menghasilkan sebuah dies yang memuaskan dan mampu digunakan dalam tempo yang lebih lama, maka sebuah dies harus memiliki karakteristik permukaan dan kekuatan mekanik yang baik, seperti harus bebas dari cacat porositas, memiliki kekerasan yang tinggi dan ketahanan aus yang baik. Dalam proses pemesinan EDM Sinking, parameter yang sangat berpengaruh terhadap dies yang dihasilkan adalah parameter arus. Besarnya nilai variasi arus akan berpengaruh terhadap temperatur lokal yang dihasilkan dari percikan bunga api saat proses *discharge*. Temperatur lokal yang terjadi sangatlah mempengaruhi nilai kekerasan dan mikro struktur tiap-tiap lapisan yang terbentuk.

Pada penelitian ini variasi nilai parameter arus yang digunakan adalah 15 ampere, 30 ampere, 45 ampere, dan 60 ampere dengan daerah yang diamati yaitu zona *white layer* dan zona terkena panas (HAZ). Dari hasil penelitian didapatkan dengan seiring peningkatan nilai parameter arus maka nilai kekerasan turut meningkat dimana nilai rata-rata kekerasan maksimum didapat pada variasi arus sebesar 60 ampere untuk tiap layer yang diamati dengan nilai 432.67 HVN untuk zona *white layer* dan 324.00 HVN pada lapisan terkena panas (HAZ). Pada pengamatan struktur mikro material hasil dari proses pemesinan EDM sinking didapatkan bahwa kenaikan variasi arus yang semakin tinggi dapat memicu terjadinya fenomena *microcrack* dan porositas dimana porositas mulai ditemukan pada variasi 30 ampere dan semakin meningkat intensitas porositasnya pada variasi arus 45 ampere dengan disertai *microcrack* pada lapisan *white layer*. Pada variasi arus 60

ampere porositas yang terbentuk semakin besar daripada variasi arus 45 ampere dan juga disertai dengan microcrack pada permukaan *white layer*. Pada pengamatan mikrostruktur zona terkena panas (HAZ) untuk variasi arus sebesar 15 ampere, 30 ampere dan 45 ampere ditemukan struktur mikro berupa pearlite dan bainite. Pada variasi 60 ampere mikrostruktur yang menyusun lapisan terkena panas (HAZ) berupa martensite, bainite dan pearlite.



## SUMMARY

**Study of Current Variation Effect of EDM Sinking Machining Process toward Hardness and Microstructure Characteristics of SKD 11 Steel Materials;** I Fata Sagedistira, 071910101095; 2012; Mechanical Engineering Of Jember University.

Today the process of making punch dies can be solved with non-conventional machining technology like the Sinking EDM machine. This machine is capable to produces variety dies with high precision. To produce a satisfactory dies and can be used within a longer time, dies should have a good characteristic surface and good mechanical strength, such as free from defects porosity, have high hardness and good wear resistance. At the machining process of sinker EDM, the parameters that have greatly affect of generating dies are the current parameters. The value of the current variation will affect the local temperature that generated during the process of spark discharge. Local temperature is vitally affect the hardness and micro structure of each layer is formed.

In this study the variation of the current parameter values that used were 15 ampere, 30 ampere, 45 ampere and 60 ampere, with the observed zone were the white layer and heat affected zone (HAZ). Explaining the result that the value of hardness will increase by increasing the value of the current parameter where the maximum average hardness values reach on current variation 60 ampere by 432.67 HVN at the white layer zone and 324.00 HVN at the heat affect zone (HAZ). The microstructure material of EDM Sinking process was find that increases higher of the current variations can lead microcrack and porosity phenomenon, where porosity will began in the variation of 30 ampere and the intensity of porosity will increases on the current variation by 45 ampere, accompanied by microcrack on the white layer layer. When the current variation is 60 ampere, which porosity that formed was greater than porosity on the current variation of 45 ampere and it also accompany by microcrack

on the surface of the white layer. The heat affected zone (HAZ) microstructure observations for variation of a current of 15 A, 30 A and 45 A has been found by pearlite and bainite microstructure. When the current variation is 60 ampere, the microstructure of the heat affected zone (HAZ) consists of martensite, bainite and pearlite.

## PRAKATA

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Studi Pengaruh Variasi Arus Proses Pemesinan EDM Sinking Terhadap Kekerasan dan Karakteristik Stuktur Mikro Material Baja SKD 11. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tiada terhingga kepada:

1. Ir. Widiono Hadi, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Sumarji, S.T., M.T. selaku ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember.
3. Mahros Darsin S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Sumarji, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota serta selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya skripsi ini.
4. Ir. FX. Kristianta, M. Eng., serta Hari Arbiantara, ST., M.T. selaku dosen penguji.
5. Ayahanda Imra Enda Hadiwinata dan Ibunda Endang Mardiani tercinta, terima kasih atas semua doa, semangat, motivasi dan kasih sayang kalian semua sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
6. Novadyana Setyaningrum tercinta yang sabar memberikan motivasi dan mendengarkan keluh kesahku.
7. Semua teman Teknik Mesin baik S1 maupun D3 yang telah menjadi rekan dalam kuliahku, terima kasih atas segala canda, motivasi, bantuan dan doanya.
8. Rio Mahadi Wibowo, Edi SulTony, Angger Sudrajat dan Yoga Aldia Anggadipta, yang tidak hanya telah menemaniku setiap harinya tetapi juga melakukan *sharing* untuk menyelesaikan skripsi ini
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis mengucapkan terimakasih atas segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga tulisan ini dapat bermanfaat.

Jember, 28 Januari 2010

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN MOTTO .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PEMBIBINGAN .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>ix</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GRAFIK.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Batasan Masalah .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Tujuan dan Manfaat.....</b>	<b>3</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Electrical Discharge Macining.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Jenis-jenis EDM .....</b>	<b>5</b>
2.2.1 Sinker EDM .....	5
2.2.2 Wire EDM .....	6
<b>2.3 Cara Kerja Mesin EDM Sinking .....</b>	<b>8</b>

2.4	Metode <i>Flushing</i> .....	11
2.5	Elektroda .....	12
2.6	Cairan Dielektrik .....	13
2.7	Baja Karbon .....	13
2.8	Material Dies .....	15
2.9	Kekerasan .....	15
2.10	Surface Integrity .....	17
<b>BAB 3.</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>19</b>
3.1	Pendekatan Penelitian .....	19
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian .....	19
3.2.1	Tempat dan waktu Penelitian 1 .....	19
3.2.2	Tempat dan waktu Penelitian 2 .....	19
3.3	Alat dan Bahan Penelitian.....	19
3.3.1	Peralatan Penelitian .....	19
3.3.2	Bahan Penelitian .....	20
3.4	Variabel Penelitian.....	22
3.4.1	Variabel Bebas .....	22
3.4.2	Variabel Terikat .....	22
3.4.3	Variabel Kontrol .....	22
3.5	Langkah-langkah Penelitian .....	22
3.6	Pengujian Material .....	23
3.6.1	Pengujian Kekerasan Vickers .....	23
3.6.2	Pengujian Struktur Mikro .....	24
3.7	Metode Pengambilan Data .....	24
3.8	<i>Flowchart</i> .....	26
<b>BAB 4.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>27</b>
4.1	Data Penelitian .....	27
4.2	Nilai Rata-Rata Data Penelitian .....	28
4.3	Analisa Hasil Pengujian Kekerasan <i>Micro Vickers</i> .....	30

<b>4.4 Pengamatan Struktur Mikro .....</b>	<b>31</b>
4.4.1 Hasil Pengamatan Struktur Mikro <i>White Layer</i> .....	32
4.4.2 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Heat Affect Zone .....	36
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>41</b>
<b>5.1 Kesimpulan .....</b>	<b>41</b>
<b>5.2 Saran .....</b>	<b>42</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>43</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>45</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.3 Komposisi <i>Transformer Oil</i> .....	21
Tabel 3.7 Metode Pengukuran Kekerasan Hasil Proses Permesinan EDM Sinking .....	24
Tabel 4.1 Data Hasil Percobaan .....	27
Tabel 4.2 Nilai rata-rata kekerasan bagian <i>white layer</i> ... ..	29
Tabel 4.3 Nilai rata-rata kekerasan bagian <i>Heat Affect Zone</i> .....	29
Tabel A.1 Tabel Descriptives dan Signifikasi One Way Anova bagian <i>white layer</i> ..... ..	44
Tabel A.2 Tabel Descriptives dan Signifikasi One Way Anova bagian <i>Heat Affect Zone</i> .....	44



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Proses EDM fase pertama .....	7
Gambar 2.2 Proses EDM fase ke-2.....	8
Gambar 2.3 Proses EDM fase ke-3.....	8
Gambar 2.4 Proses EDM fase ke-4.....	9
Gambar 2.5 Proses EDM fase ke-5.....	9
Gambar 2.6 Proses EDM fase ke-6.....	10
Gambar 2.7 Proses EDM fase ke-7.....	10
Gambar 2.8 Proses EDM fase ke-8.....	11
Gambar 2.9 Proses EDM fase ke-9.....	11
Gambar 2.10 Identasi Vickers .....	17
Gambar 2.11 Lapisan Hasil Proses EDM .....	18
Gambar 2.12 Foto Lapisan Hasil Proses EDM.....	18
Gambar 2.13 Foto Fenomena <i>Microcrack</i> .....	18
Gambar 3.1 Mesin EDM Sinking .....	20
Gambar 3.2 Dimensi Elektroda.....	20
Gambar 3.4 Dimensi Benda Kerja .....	21
Gambar 3.5 Lokasi Pengujian Kekerasan Pada Spesimen.....	23
Gambar 3.6 <i>Microscope</i> Olympus .....	24
Gambar 3.8 <i>Flowchart</i> Penelitian .....	26
Gambar 4.7 Identasi Area HAZ dan <i>White Layer</i> .....	28
Gambar 4.3.a Permukaan lapisan white layer dengan arus 15 ampere .....	33
Gambar 4.3.b Permukaan lapisan white layer dengan arus 30 ampere .....	33
Gambar 4.3.c Permukaan lapisan white layer dengan arus 45 ampere .....	33
Gambar 4.3.d Permukaan lapisan white layer dengan arus 60 ampere .....	34
Gambar 4.4 Base metal material SKD 11 .....	36
Gambar 4.5.a Struktur mikro HAZ dengan arus 15 ampere .....	36

Gambar 4.5.b Struktur mikro HAZ dengan arus 30 ampere .....	37
Gambar 4.5.c Struktur mikro HAZ dengan arus 45 ampere .....	37
Gambar 4.5.d Struktur mikro HAZ dengan arus 60 ampere .....	37

## DAFTAR GRAFIK

	Halaman
Grafik 4.2. nilai rata-rata uji Kekerasan Hasil Pengujian EDM Sinking ...	42
Grafik A1. Grafik rata-rata kekerasan <i>white Layer</i> .....	45
Grafik A2. Grafik rata-rata kekerasan <i>Heat Affect Zone</i> .....	47

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A.1 One-Way Anova Analisis Terhadap Nilai Kekerasan <i>White Layer</i>	45
Lampiran A.2 One-Way Anova Analisis Terhadap Nilai Kekerasan <i>HAZ</i> .....	46
Lampiran B Foto Alat dan Bahan Penelitian .....	49

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi sebagai akibat dari tuntutan masyarakat yang terus meningkat memberikan respon bagi ahli permesinan untuk menciptakan maupun memperbaiki metode pengerjaan dan peralatan yang telah ada untuk menghasilkan produk yang lebih baik. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut maka diciptakan suatu mesin yang bernama EDM (Electrical Discharge Machining).

Teknologi EDM dewasa ini makin banyak digunakan di industri manufaktur untuk cetakan maupun proses permesinan material yang sangat kuat dan keras seperti *tool steel* dan *advance material* (super alloys, keramik, dan komposit matrik) dengan menghasilkan produk yang mempunyai kepresisian yang tinggi, bentuk yang rumit, dan kualitas permukaan yang baik. Selain itu ditinjau dari segi metallurgy material hasil proses EDM yang digunakan sebagai dies untuk cetakan dibutuhkan sifat-sifat mekanik seperti ketahanan tempering yang baik, hot yield strenght yang tinggi, ketangguhan yang baik selain itu tahan terhadap hot wear yang merata disemua bagian (ASSAB Steels Indonesia).

Untuk menghasilkan kualitas permukaan material yang baik, ada banyak variabel proses yang mempengaruhi integritas permukaan seperti lama pengerjaan, kuat arus, tegangan, polaritas elektroda, propertis material elektroda, cairan dielektrik, konsentrasi debris, dan ukuran elektroda. Efek ini sangat berpengaruh pada propeties mekanis dari bahan yang diproses seperti kelelahan, kekerasan, korosi dan ketahanan aus (Choudhary, 2010).

Diambil dari salah satu parameter yaitu arus, dimana setting besarnya arus pada mesin EDM memiliki peranan penting terhadap hasil akhir dalam proses EDM. Variasi dari besarnya arus proses akan mengakibatkan perbedaan kekasaran dan kekerasan yang akan mempengaruhi hasil dari proses pengerjaan yang dilakukan.

Besar kecilnya dan lama durasi percikan bunga api listrik yang terjadi saat proses *discharge* akan mempengaruhi temperatur termal yang terjadi. Dengan semakin besar percikan bunga api listrik yang terjadi akan mengakibatkan peningkatan temperatur pada saat proses pengikisan. Perbedaan dan perubahan temperatur juga akan mengakibatkan perbedaan di setiap lapisan pada material yang diproses. Perubahan temperatur proses EDM akan berdampak pada perubahan kekerasan material yang diproses. Gradien temperatur pada proses discharge akan terus menurun dari pusat percikan menuju ke samping percikan. Suhu tertinggi berada pada titik pusat percikan dimana pada daerah tersebut terjadi penguapan beberapa komponen dari lelehan material yang sedang diproses. Perubahan kekerasan akan terjadi seiring terjadinya penguapan selama proses berlangsung dimana pada saat itu material tersebut kehilangan sejumlah karbon. Pada zona lain beberapa perubahan metallurgy memungkinkan terjadi, dari alasan ini kekerasan juga akan berubah (Karastojkovic et al., 2003).

Berdasarkan uraian tersebut maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang *Studi Pengaruh Variasi Arus Proses Permesinan EDM Sinking Terhadap Kekerasan dan Karakteristik Struktur Mikro Material Baja SKD 11*.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah pengaruh variasi arus pada proses EDM terhadap nilai kekerasan permukaan *white layer/recast layer* material baja SKD 11?
2. Bagaimanakah pengaruh variasi arus pada proses EDM terhadap nilai kekerasan pada area *Heat Affect Zone* material baja SKD 11?
3. Bagaimanakah struktur mikro dari material baja SKD 11 setelah proses *discharge* EDM Sinking dengan parameter arus yang berbeda?

### 1.3 Batasan Masalah

Sementara itu ruang lingkup penelitian sebagai batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Elektroda yang digunakan adalah tembaga berbentuk silinder pejal dan benda kerja yang digunakan baja SKD 11.
2. Alat-alat pengujian dan pengukuran dalam keadaan baik dan benar, serta proses pemesinan berjalan dengan baik.
3. Hasil yang diamati adalah kekerasan dan struktur mikro material SKD 11 hasil proses EDM.
4. Semua parameter selain arus proses EDM tidak divariasikan (*On Time 10, Off Time 1, GAP 1*) dengan arus yang digunakan adalah 15 A, 30 A, 45 A, 60 A.
5. Tidak membahas rangkaian dalam mesin EDM sinking.
6. Cairan dielektrik yang dipakai adalah transformer oil.

### 1.4 Tujuan Dan Manfaat

#### 1.4.1 Tujuan penelitian :

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi arus proses permesinan EDM terhadap nilai kekerasan *white layer* material baja SKD 11.
2. Untuk mengetahui nilai kekerasan dari dengan adanya pengaruh variasi arus proses permesinan EDM pada zona HAZ material SKD 11.
3. Untuk mengetahui pengaruh variasi arus proses permesinan EDM terhadap struktur mikro material SKD 11.

#### 1.4.2 Manfaat penelitian :

1. Diharapkan dapat memberikan masukan pada instansi dan perencana yang terkait agar dapat men-*set up* mesin EDM guna memperoleh hasil permesinan material yang memuaskan.
2. Diharapkan dapat bermanfaat bagi disiplin ilmu metalurgi bahan dan manufaktur umumnya dan para rekayasawan khususnya tentang proses produksi.

3. Dunia pendidikan, akan memberikan wawasan guna meningkatkan ilmu pengetahuan seputar proses permesinan EDM.



## **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 EDM (*Electrical Discharge Machining*)**

Pengeluaran muatan listrik machining (EDM singkatan *Electrical Discharge Machining*), bahasa sehari-hari juga disebut sebagai spark machining, erosi percikan, terbakar, kawat erosi. Istilah dari *Electrical Discharge Machining* (EDM) adalah suatu proses penghapusan atau pengikisan logam yang dilakukan dengan cara penciptaan ribuan kotoran per detik listrik yang mengalir antara elektroda dan benda kerja dalam cairan dielektrik. Memiliki efek menguap logam yang sangat kecil wilayah dikendalikan (Firstiawan, 2005).

Asal mula EDM (*Electrical Discharge Machining*) adalah pada tahun 1770, ketika ilmuwan Inggris Joseph Priestly menemukan efek erosi dari percikan arus listrik. Pada tahun 1943, ilmuwan Rusia B. Lazarenko dan N. Lazarenko memiliki ide untuk memanfaatkan efek merusak dari percikan arus listrik untuk membuat proses yang terkontrol untuk pemesinan secara elektrik pada bahan konduktif. Dengan adanya ide tersebut, proses EDM telah lahir. Lazarenko bersaudara menyempurnakan proses dengan cara menempatkan cairan tidak konduktif dimana percikan listrik terjadi di antara dua konduktor, cairan tersebut dinamakan dielektrik (*dielectric*). Pada saat ini telah banyak unit EDM yang digunakan lebih maju daripada milik Lazarenko. Pada saat ini ada dua macam mesin EDM yaitu: EDM konvensional (Biasanya disebut *Sinker* EDM atau *Ram* EDM) dan *Wire* EDM (Firstiawan, 2005).

### **2.2 Jenis-jenis EDM**

#### **2.2.1 Sinker EDM / Ram EDM**

Setempel EDM kadang-kadang juga disebut sebagai tipe rongga EDM atau volume. Setempel EDM terdiri dari elektroda dan benda kerja yang terendam dalam cairan isolasi seperti, minyak atau, lebih jarang, cairan dielektrik lainnya. Elektroda dan benda kerja yang terhubung ke catu daya yang sesuai. Listrik menghasilkan potensial listrik antara dua bagian. Sebagai elektroda mendekati benda kerja,

dielektrik kerusakan terjadi di dalam cairan plasma membentuk saluran dan percikan kecil melompat. Bunga api ini biasanya menyerang satu per-satu kali karena sangat kecil kemungkinannya bahwa lokasi yang berbeda dalam ruang antar-elektroda memiliki sangat identik karakteristik listrik lokal yang memungkinkan percikan terjadi secara bersamaan di semua lokasi tersebut. Bunga api ini terjadi dalam jumlah besar di lokasi acak antara elektroda dan benda kerja. Sebagai dasar logam terkikis, dan celah elektroda kemudian meningkat, elektroda diturunkan secara otomatis oleh mesin sehingga proses dapat terus berlanjut tanpa gangguan. Beberapa ratus ribu bunga api terjadi setiap detiknya dalam proses ini. Pengaturan yang tepat waktu menentukan durasi percikan. Oleh karena itu, pada waktu yang lebih lama menghasilkan rongga yang lebih mendalam untuk itu dan semua percikan bunga api berikutnya untuk menciptakan siklus kasar pada benda kerja selesai (Firstiawan, 2005).

### 2.2.2 Wire EDM

Kawat listrik di discharge machining (WEDM), atau kawat-cut EDM, tipis untaian tunggal kawat logam, biasanya kuningan, diberi makan melalui benda kerja, biasanya terjadi tenggelam dalam sebuah tangki dengan cairan dielektrik, yang biasanya air deionised. Proses ini biasanya tidak digunakan untuk menghasilkan 3D yang kompleks geometri. Hal ini bukannya biasanya digunakan untuk memotong pelat setebal 300mm dan untuk membuat tinju, peralatan, dan mati dari logam keras yang terlalu sulit untuk mesin dengan metode lainnya. Kawat yang terus-menerus disuplai dari spul, diadakan antara atas dan bawah panduan berlian. Panduan bergerak dalam arah  $x - y$  pesawat, biasanya menjadi CNC dikontrol dan pada hampir semua mesin modern panduan atas juga dapat bergerak secara independen di  $z - u - v$  sumbu, sehingga menimbulkan kemampuan untuk memotong runcing dan transisi bentuk (lingkaran di bawah persegi di atas misalnya) dan dapat mengontrol pergerakan sumbu  $x - y - u - v - i - j - k - l$  -. Ini memberikan EDM memotong

kawat kemampuan untuk diprogram untuk dipotong sangat rumit dan halus bentuk (Firstiawan, 2005).

### 2.3 Cara Kerja Mesin EDM Sinking

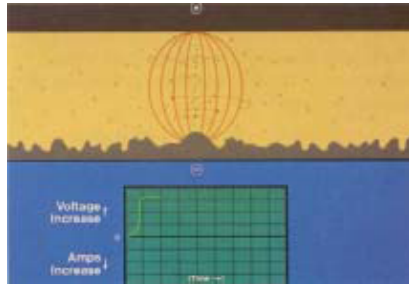
Pada Proses awal EDM, elektrode yang berisi tegangan listrik didekatkan ke benda kerja (elektrode positif mendekati benda kerja/turun). Di antara dua elektrode ada minyak isolasi (tidak menghantarkan arus listrik), yang pada EDM dinamai cairan *dielectric*. Walaupun cairan dielektrik adalah sebuah isolator yang bagus, beda potensial listrik yang cukup besar menyebabkan cairan membentuk partikel yang bermuatan, yang menyebabkan tegangan listrik melewatinya dari elektrode ke benda kerja. Dengan adanya *graphite* dan partikel logam yang tercampur ke cairan dapat membantu transfer tegangan listrik dalam dua cara: partikel-partikel (konduktor) membantu dalam ionisasi minyak dielektrik dan membawa tegangan listrik secara langsung, serta partikel-partikel dapat mempercepat pembentukan tegangan listrik dari cairan. Daerah yang memiliki tegangan listrik paling kuat adalah pada titik di mana jarak antara elektrode dan benda kerja paling dekat, seperti pada titik tertinggi yang terlihat pada gambar 2.1. Gambar menunjukkan bahwa tegangan (beda potensial) meningkat, tetapi arusnya nol (Firstiawan, 2005).



Gambar 2.1 proses EDM fase pertama

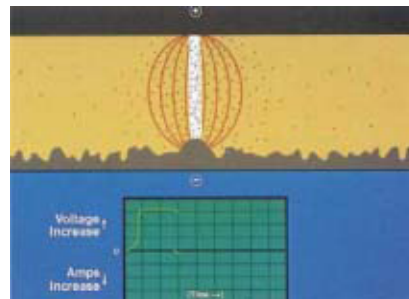
Ketika jumlah partikel bermuatan meningkat, sifat isolator dari cairan dielektrik menurun sepanjang jalur sempit pada bagian terkuat di daerah tersebut.

Tegangan meningkat hingga titik tertinggi tetapi arus masih nol seperti tampak pada gambar 2.2.



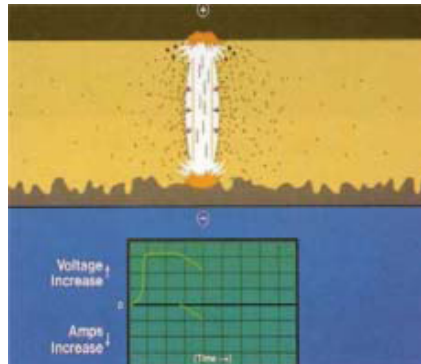
Gambar 2.2 proses EDM fase ke-2

Gambar 2.3 arus mulai muncul ketika cairan berkurang sifat isolatornya menjadi yang paling kecil. Beda tegangan mulai menurun.



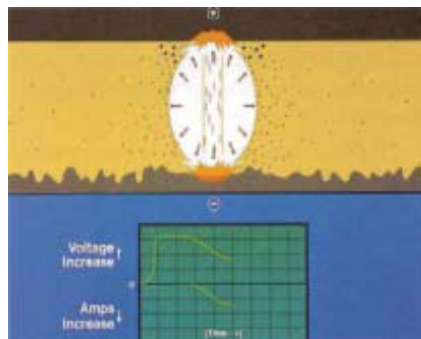
Gambar 2.3 proses EDM fase ke-3

Gambar 2.4 panas muncul secara cepat ketika arus listrik meningkat dan tegangan terus menurun drastis. Panas menguapkan sebagian cairan, benda kerja, dan elektrode, serta jalur *discharge* mulai terbentuk antara elektrode dan benda kerja.



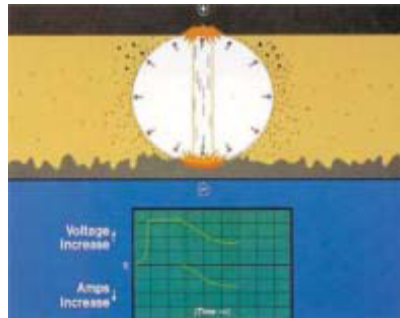
Gambar 2.4 proses EDM fase ke-4

Gambar 2.5 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.



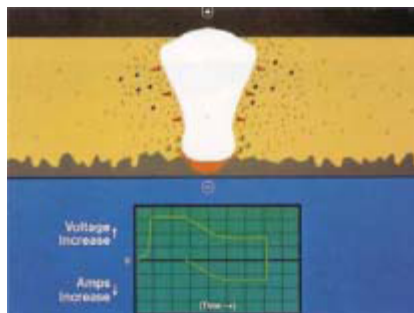
Gambar 2.5 proses EDM fase ke-5

Gambar 2.6 sebelum 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.



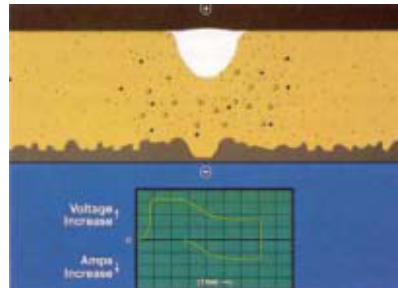
Gambar 2.6 proses EDM fase ke-6

Gambar 2.7 pada akhirnya, arus dan tegangan turun menjadi nol. Temperatur turun dengan cepat, tabrakan gelembung dan menyebabkan logam yang telah dicairkan lepas dari benda kerja.



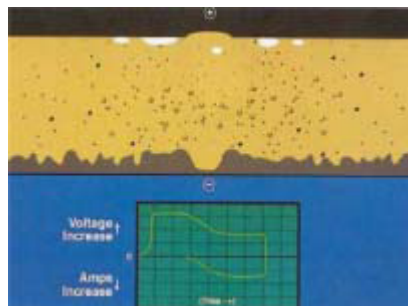
Gambar 2.7 proses EDM fase ke-7

Gambar 2.8 cairan dielektrik baru masuk di antara elektrode dan benda kerja, menyingkirkan kotoran-kotoran dan mendinginkan dengan cepat permukaan benda kerja. Logam cair yang tidak terlepas membeku dan membentuk lapisan baru hasil pembekuan (*recast layer*).



Gambar 2.8 proses EDM fase ke-8

Gambar 2.9 logam yang terlepas membeku dalam bentuk bola-bola kecil menyebar di cairan dielektrik bersama-sama dengan karbon dari elektrode. Uap yang masih ada naik menuju ke permukaan. Tanpa waktu putus yang cukup, kotoran-kotoran yang terbentuk akan terkumpul membentuk percikan api yang tidak stabil. Situasi tersebut dapat membentuk DC *arc*, yang mana dapat merusak elektrode dan benda kerja.



Gambar 2.9 proses EDM fase ke-9

#### 2.4 Metode *Flushing*

Metode *flushing* adalah sirkulasi yang tepat dari fluida dielektrik yang mengalir pada celah antara *elektrode* dan benda kerja. Fungsi dari metode *flushing* adalah membawa geram yang dihasilkan keluar dari *gap* agar dapat mempertinggi efisiensi proses pengerjaan material. Akibat yang ditimbulkan apabila pada proses EDM tidak menggunakan *flushing* adalah:

- a. Terjadinya hubungan singkat antara pahat (*elektrode*) dan benda kerja;
- b. Terjadinya busur api listrik yang dapat merusak benda kerja dan pahat;

- c. Loncatan bunga api listrik yang terjadi menjadi tidak teratur atau tidak normal.

### 2.5 *Electrode (Pahat)*

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

- a. Kemudahan material tersebut untuk dibentuk;
- b. Laju keausan dari material tersebut;
- c. Laju pengerjaan material sebesar mungkin;
- d. Pertimbangan ekonomis seperti harga dan ketersediaannya dipasaran.

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

- a. Material *electrode* dari logam
  - 1. Tembaga;
  - 2. Paduan tembaga: *Teliurium-copper*, *chromium-copper*, *Zinc-copper*, dan *wolfram-copper*;
  - 3. Paduan aluminium, silium;
  - 4. Kuningan;
  - 5. Tungsten;
  - 6. Baja.
- b. *Electrode* non logam
  - 1. Grafit.
- c. Kombinasi logam - non logam
  - 1. Tembaga-grafit.



## 2.6 Cairan Dielektrik

Cairan dielektrik adalah cairan yang digunakan pada proses EDM memiliki fungsi sebagai berikut:

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

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

- a. Tidak mudah terbakar;
- b. Sebagai media isolator sampai kebutuhan *break down voltage* tercapai;
- c. Tidak menghasilkan gelembung-gelembung uap atau gas yang berbahaya bagi operator;
- d. Mempunyai viskositas yang optimum;
- e. Harus memiliki sifat penghantar arus listrik yang baik.

Fluida yang sering digunakan untuk proses ini antara lain air, minyak mineral, kerosin dan lain-lain. Pada penelitian ini menggunakan *transformator oil* sebagai cairan dielektriknya (Firstiawan, 2005).

## 2.7 Baja Karbon

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

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

Baja karbon menurut komposisi kimianya dibedakan menjadi sebagai berikut:

- Baja karbon rendah 0,05 – 0,3% C (*low carbon steel*). Berbentuk pelat tipis dan tebal. Sifatnya mudah ditempa dan mudah di mesin. Biasanya digunakan untuk bodi mobil, bus dan lain-lain. Seperti benda kerja yang pembuatannya harus diregang.
- Baja karbon menengah 0,3 – 0,5% C (*medium carbon steel*). Kekuatan lebih tinggi daripada baja karbon rendah. Sifatnya sulit dibengkokkan, dilas, dipotong. Penggunaan untuk konstruksi bangunan, bahan pada komponen mesin, golok, pisau.
- Baja karbon tinggi 0,60 – 1,50% C (*high carbon steel*). Sifatnya sulit dibengkokkan, dilas, dipotong. Penggunaannya seperti pada baja kawat, kabel tarik dan angkat, kikir, pahat dan gergaji.

Baja yang kadar karbonnya sangat rendah 0% disebut ferit, baja yang mengandung  $\pm 2\%$  disebut sementit dan yang mengandung 0,8% disebut perlit. Ferit hampir serupa besi murni atau hanya sedikit mengandung karbon. Karbon memberi sifat kuat dan keras. Ferit sifatnya lemah tapi plastis, hanya terbentuk pada temperatur rendah dan bersifat magnetik. Sementit adalah besi karbon yang dikenal sebagai besi karbida dengan rumus  $Fe_3C$ , mengandung karbon 1,6 – 20 %, bersifat kuat dan keras serta bersifat magnetik, perlit adalah baja yang merupakan campuran antara ferit dan sementit ( $\alpha + Fe_3C$ ), keras dan bersifat magnetik. Semakin banyak unsur karbon, maka struktur martensit yang terbentuk juga akan semakin banyak. Karena martensit terbentuk dari fase austenit yang didinginkan secara cepat. Hal ini disebabkan karena atom karbon tidak sempat berdifusi keluar dan terjebak dalam struktur kristal dan membentuk struktur tetragonal yang ruang kosong antar atomnya kecil, sehingga kekerasannya meningkat (Suherman, 1988).

## 2.8 Material Dies

Dies atau press tool menurut Donalson (1977) adalah adalah suatu alat yang di gunakan untuk melakukan pemotongan atau pembentukan plat menjadi produk yang di inginkan berdasarkan prinsip penekanan. Pada untuk menghasilkan produk dies maka dibutuhkan material *special alloy* yang dapat dilakukan hardening sampai kekerasan diatas 60 HRC misalnya material baja SKD 11. Karena digunakan untuk proses membentuk suatu produk, maka pembuatan dies dituntut memiliki kepresisian yang tinggi serta sifat mekanik yang bagus tanpa adanya cacat, sehingga pada penggunaannya dies akan memiliki *lifetime* yang panjang dan dapat menghasilkan produk sesuai rencana (<http://senyawapagie.blogspot.com>).

Baja SKD 11 merupakan material yang pada umumnya digunakan sebagai bahan pembuatan *punch die*. Menurut JIS penggunaan baja SKD 11 sangatlah tepat digunakan sebagai bahan dasar *punch dies* karena pada baja SKD 11 memiliki kriteria bahan yang layak untuk digunakan sebagai *punch dies* sebagaimana kriteria bahan yang dibutuhkan diantaranya yaitu harus memiliki sifat mekanik yang mumpuni misalnya ketahanan deformasi, keausan, kompresi yang baik dan kekerasan rata-rata bahan yang digunakan sebagai *punch-dies* adalah 56-61 HRC (<http://diemold.wordpress.com>).

## 2.9 Kekerasan

Kekerasan suatu bahan didefinisikan sebagai ketahanan suatu bahan terhadap penetrasi material lain pada permukaannya. Ada tiga jenis mengenai ukuran kekerasan, yang tergantung pada cara melakukan pengujian. Ketiga jenis tersebut adalah:

1. Kekerasan goresan (*scratch hardness*).
2. Kekerasan lekukan (*indentasi hardness*).
3. Kekerasan pantulan (*rebound hardness*).

Proses pengujian logam kekerasan dapat diartikan sebagai kemampuan suatu bahan terhadap pembebanan dalam perubahan yang tetap, artinya ketika gaya tertentu

diberikan pada suatu benda uji dan karena pengaruh pembebanan benda uji akan mengalami deformasi. Harga kekerasan bahan tersebut dapat dianalisis dari besarnya pembebanan yang diberikan terhadap luasan bidang yang menerima pembebanan.

Pengujian kekerasan logam ini secara garis besar ada tiga metode yaitu penekanan, goresan dan dinamik. Proses pengujian yang mudah dan cepat dalam memperoleh angka kekerasan yaitu dengan metode penekanan. Dikenal ada tiga jenis metode penekanan, yaitu: *Rockwell*, *Brinell* dan *Vickers*, yang masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan. Pengujian kekerasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan metode pengujian kekerasan mikro vickers. Uji kekerasan Vickers menggunakan penekan berupa piramida intan dengan sudut diantara 2 bidang yang berhadapan adalah  $136^\circ$ . Angka kekerasan Vickers (VHN) adalah beban dibagi dengan pengukuran mikroskopik dari panjang diagonal jejak (Suherman, 1988).

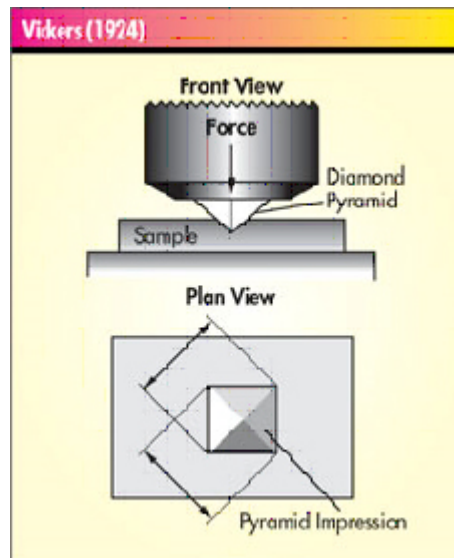
$$VHN = \frac{2.P.\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{L^2} = \frac{1.854P}{L^2}$$

dimana:

P : beban penekan (Kg)

L : panjang diagonal rata-rata (mm)

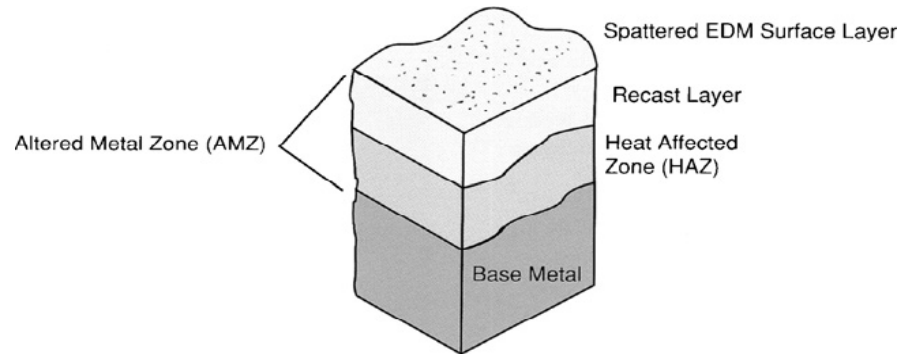
: sudut antara permukaan intan yang berlawanan ( $136^\circ$ )



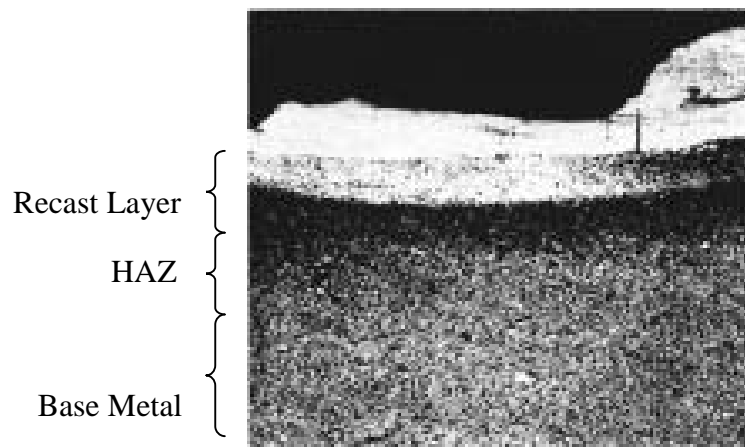
Gambar 2.10 Identasi vikers

### 2.10 *Surface Integrity*

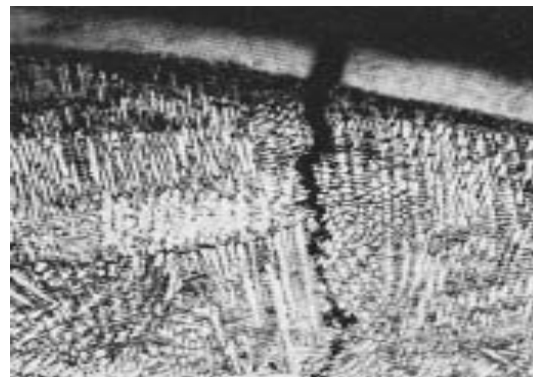
Istilah *surface integrity* pada dasarnya terbagi menjadi dua macam yaitu topografi permukaan dan metalurgi permukaan. *Surface integrity* ini sangat mempengaruhi daripada kinerja, lifetime material dan keandalan komponen. Studi mikroskopis dari hasil permesinan EDM mengungkapkan adanya tiga jenis lapisan yaitu recast layer, HAZ, converted layer. Lapisan putih (recast layer atau white layer) merupakan lapisan yang telah mengalami proses discharge, pada lapisan ini ditemukan struktur pepadatan kaya karbon. Di bawah zona recast layer, merupakan zona HAZ. Daerah ini terbentuk karena adanya pemanasan cepat dan siklus pendinginan selama proses EDM, lapisan tersebut memiliki ketebalan sekitar 25 mikronmeter. Siklus pemanasan-pendinginan dan tersebarnya bahan selama permesinan mengakibatkan adanya zona tersebut. Tegangan sisa termal, kelemahan batas butir, dan retak batas butir adalah beberapa karakteristik dari zona HAZ dengan struktur mikro martensit. Conversion layer atau transition layer diidentifikasi keberadaannya berada dibawah zona HAZ dan merupakan karakteristik oleh perubahan dalam struktur butir dari struktur aslinya. (Rajesh Choudhary, 2010)



Gambar 2.11 Lapisan hasil proses EDM



Gambar 2.12 Foto lapisan hasil proses EDM



Gambar 2.13 Foto fenomena crack

## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Pendekatan Penelitian

Pendekatan penelitian merupakan suatu sistem pengambilan data dalam suatu penelitian. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yaitu suatu metode yang mengusahakan timbulnya variabel-variabel dan selanjutnya dikontrol untuk dilihat pengaruhnya.

### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

3.2.1. Tempat Penelitian 1 : Politeknik Negeri Malang Jl. Veteran III/29  
Malang-Jawa Timur.

Waktu Penelitian : Juli 2010 – Oktober 2011

3.2.2. Tempat Penelitian 2 : -Laboratorium Kemasan Unej

-Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Brawijaya

Waktu Penelitian : Juli 2010 – Oktober 2011

### 3.3 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.3.1. Peralatan Penelitian

Mesin EDM merk Jiann Sheng tipe NCF 304 N (Gambar 3.1) dan mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

1) Dimensi : 2860 x 1800 x 2510 mm

2) Arah pergerakan : X – 600 mm

Y – 350 mm

Z – 600 mm

3) Tegangan maksimum : 300 V

4) Arus maksimum : 60 A

5) *On time* maksimum : 2000  $\mu$ s

6) *Off time* maksimum : 900  $\mu$ s



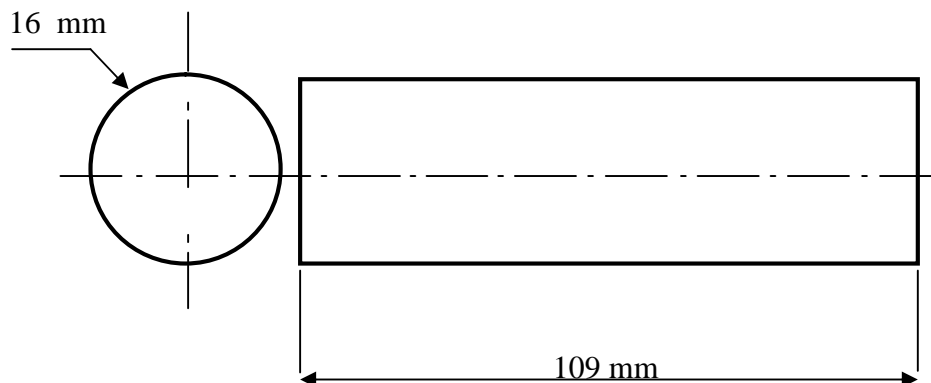
Gambar 3.1 Mesin EDM sinker

### 3.3.2. Bahan Penelitian

#### a. *Electrode* Tembaga

Spesifikasinya adalah:

1. Nilai konduktivitas listriknya :  $6,0 \times 10^7$  ( $\text{ohm}^{-1} \cdot \text{m}^1$ )
2. Titik lebur :  $1085^{\circ}\text{C}$



Gambar 3.2 Dimensi Elektroda

#### a. Cairan dielektrik menggunakan *transformer oil*. Spesifikasinya adalah sebagai berikut:

- 1) Titik didih :  $140^{\circ}\text{C}$
- 2) Titik beku :  $-6^{\circ}\text{C}$
- 3) Kekuatan dielektrik :  $12 - 24$  MV/m (RMS)



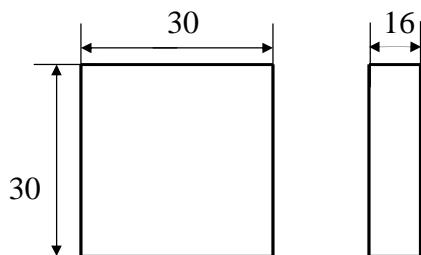
- 4) Massa jenis :  $0,8 \text{ g/cm}^3$   
 5) Viskositas : 25 cSt

Tabel 3.3 komposisi *transformer oil* (www.netaworld.org)

		Fault Type				
		T1	T2	T3	D1	D2
Ratio Description	Gas Ratio	Thermal Fault < 300 deg C	Thermal Fault 300-700 deg C	Thermal Fault >700 deg C	Low Energy/ Partial Discharge	High Energy Discharge
<b>Doernenberg Ratios</b>						
R1 - Methane/Hydrogen	$\text{CH}_4/\text{H}_2$		$1.0 < R1$		$R1 < 0.1$	$0.1 < R1 < 1.0$
R2 - Acetylene/Ethylene	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$		$R2 < 0.75$			$0.75 < R2$
R3 - Acetylene/Methane	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{CH}_4$		$R3 < 0.3$		$R3 < 0.3$	$0.3 < R3$
R4 - Ethane/Acetylene	$\text{C}_2\text{H}_6/\text{C}_2\text{H}_2$		$R4 < 0.4$		$0.4 < R4$	$R4 < 0.4$
<b>Rogers Ratios</b>						
R1 - Methane/Hydrogen	$\text{CH}_4/\text{H}_2$	$1.0 < R1$	$1.0 < R1$	$1.0 < R1$	$R1 < 0.1$	$0.1 < R1 < 1.0$
R2 - Acetylene/Ethylene	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$	$R2 < 0.1$	$R2 < 0.1$	$R2 < 0.1$	$R2 < 0.1$	$1.0 < R2 < 3.0$
R5 - Ethylene/Ethane	$\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$	$1.0 < R5 < 3.0$	$1.0 < R5 < 3.0$	$3.0 < R5$	$R5 < 1.0$	$3.0 < R5$

c. Baja karbon tinggi SKD 11 dengan komposisi sebagai berikut:

- 1) Cr 12 %
- 2) C 1.55
- 3) Mn 0.3%
- 4) Mo 0.8%



Gambar 3.4 Dimensi Benda kerja

### 3.4 Variabel Penelitian

#### 3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi terjadinya sesuatu atau variabel penyebab. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu low voltage current (arus) proses EDM dengan settingan tegangan 15 A, 30 A, 45 A, 60 A.

#### 3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas, adapun variabel terikat dalam penelitian ini yaitu pengaruh tegangan proses EDM terhadap kekerasan, dan struktur mikro material SKD 11.

#### 3.4.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi hasil penelitian. Dalam penelitian ini variabel kontrolnya adalah prosedur pelaksanaan proses EDM dengan baja karbon tinggi SKD 11.

### 3.5 Langkah-Langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian adalah sebagai berikut:

- a. Mempersiapkan benda kerja dan *electrode*;
- b. Memasang *electrode* pada *holder* mesin EDM dan dikencangkan;
- c. Memasang benda kerja dan dikencangkan agar posisinya tidak berubah;
- d. Mengatur posisi pemakanan benda kerja (koordinat x, y) dengan cara mengatur meja;
- e. Mengatur kerataan permukaan benda kerja dengan permukaan *electrode*;
- f. Mengatur parameter-parameter mesin EDM sesuai dengan tabel rancangan percobaan;
- g. Menyalakan pompa cairan dielektrik dan mengatur nozle dengan tujuan menyesuaikan laju cairan dielektrik;
- h. Memulai pengerjaan dengan menekan tombol *start* sampai kedalaman gap 1 mm. Apabila pemakanan sudah mencapai kedalaman 1 mm, maka mesin akan otomatis berhenti dan alarm akan berbunyi;
- i. Mematikan alarm, mengangkat *electrode*, dan mengeluarkan benda kerja;
- j. Membersihkan benda kerja dari kotoran dan mengeringkannya;
- k. Percobaan diulang dengan memvariasikan low voltage current (arus) pada mesin EDM;

1. Setelah semua proses permesinan selesai maka material siap untuk dilakukan pengujian kekerasan dengan alat uji kekerasan mikro vickers untuk setiap layer, dan uji mikro dengan mikroskop optik selanjutnya mencatat hasilnya pada tabel yang tersedia.

### 3.6 Pengujian Material

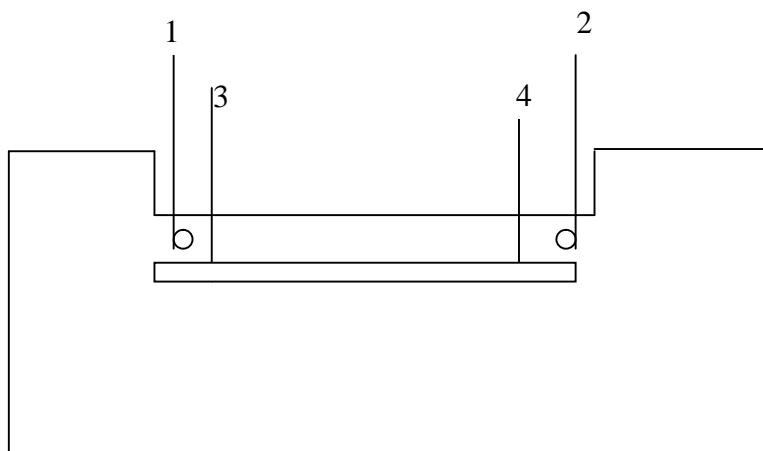
#### 3.6.1 Uji Kekerasan Vickers

Uji kekerasan Vickers menggunakan penekan berupa piramida intan dengan sudut diantara 2 bidang yang berhadapan adalah  $136^\circ$ . Angka kekerasan Vickers (VHN) adalah beban dibagi dengan pengukuran mikroskopik dari panjang diagonal jejak.

Langkah-langkah dalam melakukan pengujian kekerasan:

- a) Menghaluskan spesimen dengan kertas amplas sampai rata dan halus
- b) Memasang Indentor pada mesin uji,
- c) Memasang spesimen pada mesin uji,
- d) Melakukan penetrasi dengan beban 1N. Kemudian ditahan pada beban tersebut sampai indentor terlepas sendirinya dari spesimen,
- e) Mengukur diameter tapak tekan dengan mikroskop optic.

Lokasi pengujian mikro vickers dapat dilihat pada gambar 3.4 dimana pengujian dilakukan pada 4 lokasi yang terpengaruh proses EDM sinking, dimana no 1, 2 adalah zona white layer dan 3, 4 adalah zona HAZ (Heat Affect Zone).



Gambar 3.5 Lokasi Pengujian Kekerasan Pada Spesimen

### 3.6.2 Uji Struktur Mikro

Pada penelitian ini menggunakan mikroskop optik untuk melihat struktur mikro setiap lapisan pada spesimen hasil proses permesinan EDM. Mikroskop optik yang digunakan merupakan salah satu tipe dari mikroskop Olympus, dengan menggunakan pembesaran 100x dan 400x.



Gambar 3.6 *Microscope Olympus*

### 3.7 Metode Pengambilan Data

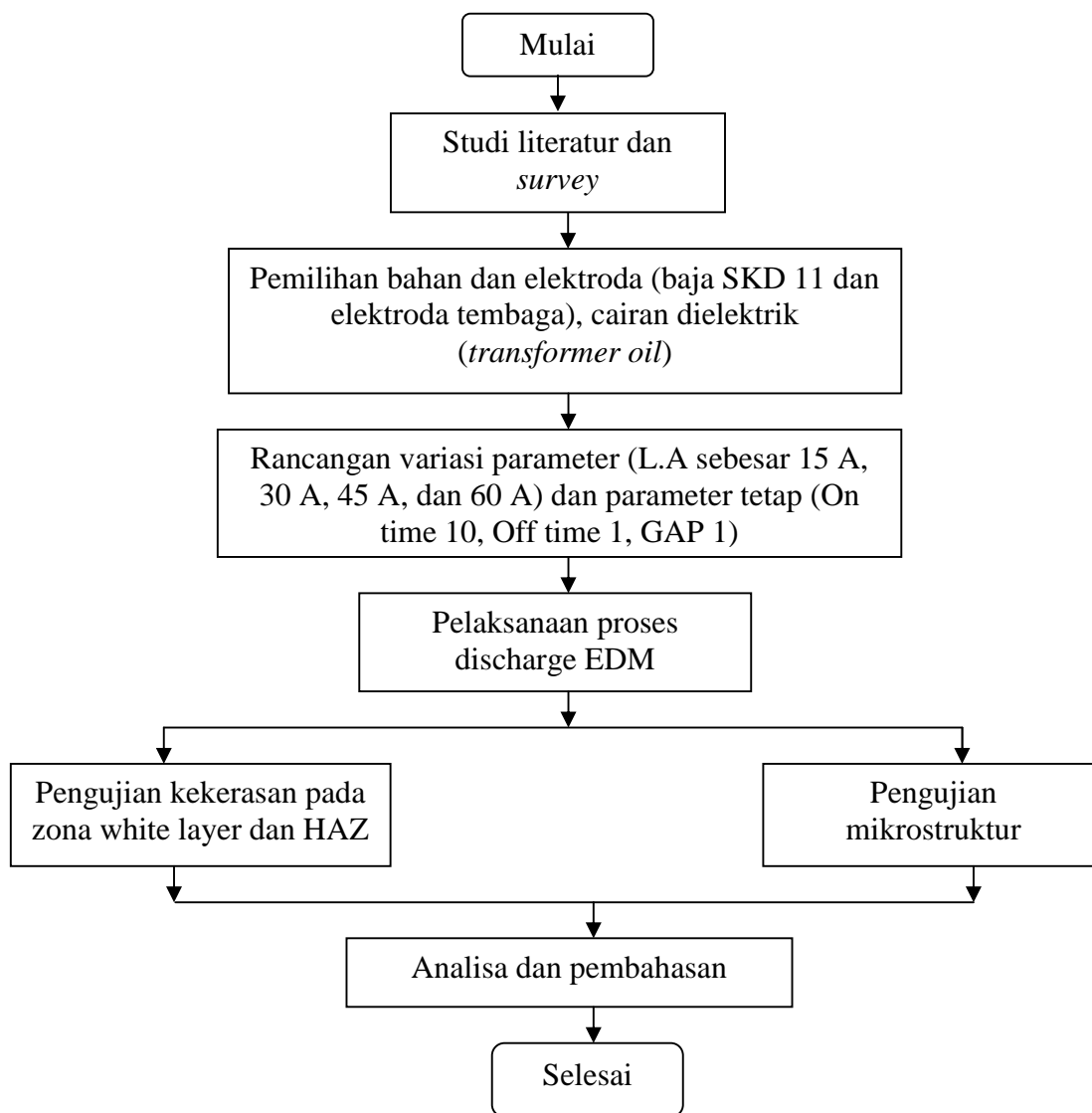
Tabel 3.7 Metode pengukuran kekerasan hasil proses permesinan EDM Sinking

No	Arus	Kekerasan (VHN)		Titik ke-	Material ke-
		White Layer	HAZ		
1	15 A			1	1
2				2	
3				1	2
4				2	
5				1	3

6				2	
7	30 A			1	1
8				2	
9				1	2
10				2	
11				1	3
12				2	
13	45 A			1	1
14				2	
15				1	2
16				2	
17				1	3
18				2	
19	60 A			1	1
20				2	
21				1	2
22				2	
23				1	3
24				2	

### 3.8 Flowchart

Diagram alir dalam penelitian bertujuan memudahkan kita untuk melaksanakan penelitian dan memperjelas tahap-tahapan dalam penelitian. Diagram alir penelitian akan ditunjukkan pada Gambar 3.8



Gambar 3.8 Flowchart penelitian

## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Penelitian

Data hasil penelitian kekerasan dan foto mikro diperoleh dengan menggunakan alat digital *Micro Vickers Hardness Tester* tipe TH712 yang dilaksanakan di Universitas Brawijaya Malang. Tabel 4.1 merupakan data hasil pengukuran kekerasan material baja SKD 11 hasil discharge EDM Sinking.

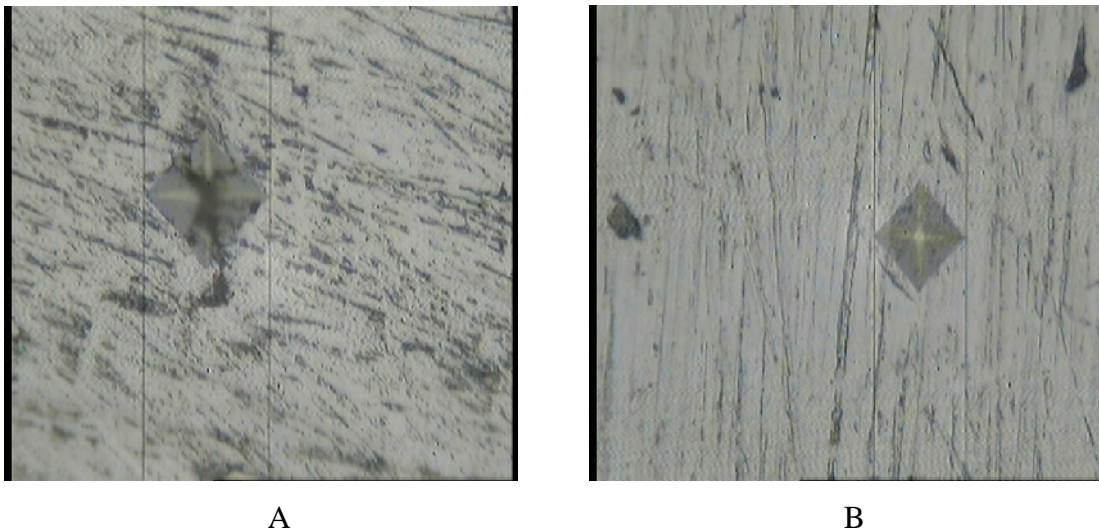
Tabel 4.1 Data Hasil Percobaan

No	Arus	Kekerasan (VHN)		Titik ke-	Material ke-
		White Layer	HAZ		
1	15 A	286	269	1	1
2		288	269	2	
3		283	261	1	2
4		280	268	2	
5		282	265	1	3
6		287	267	2	
7	30 A	346	288	1	1
8		337	292	2	
9		322	301	1	2
10		340	294	2	
11		335	290	1	3
12		322	289	2	
13	45 A	385	293	1	1
14		343	290	2	
15		360	291	1	2
16		373	294	2	
17		360	292	1	3
18		380	292	2	

19	60 A	430	332	1	1
20		484	316	2	
21		405	307	1	2
22		420	332	2	
23		430	327	1	3
24		427	330	2	

\*kekerasan basemetal: 256 HVN

Sampel foto identasi uji kekerasan microvickers disajikan pada gambar 4.1 sebagai berikut:



Gambar 4.1(a) Indentasi area HAZ dan (b) area *white layer*

#### 4.2 Nilai Rata-Rata Data Penelitian

Dari data yang diperoleh pada tabel 4.1 maka untuk mengetahui nilai kekerasan rata-rata material SKD 11 pada setiap variasi proses EDM sinking dengan begitu data pada tabel 4.1 perlu diolah dengan analisis one-way anova yang disajikan pada tabel 4.2 sebagai berikut:



Tabel 4.2 Nilai rata-rata kekerasan bagian *white layer*

Variasi Arus	Nilai Rata-rata
15 A	284.33 HVN
30 A	333.67 HVN
45 A	366.83 HVN
60 A	432.67 HVN
<b>Total Rata-rata</b>	354.38 VHN

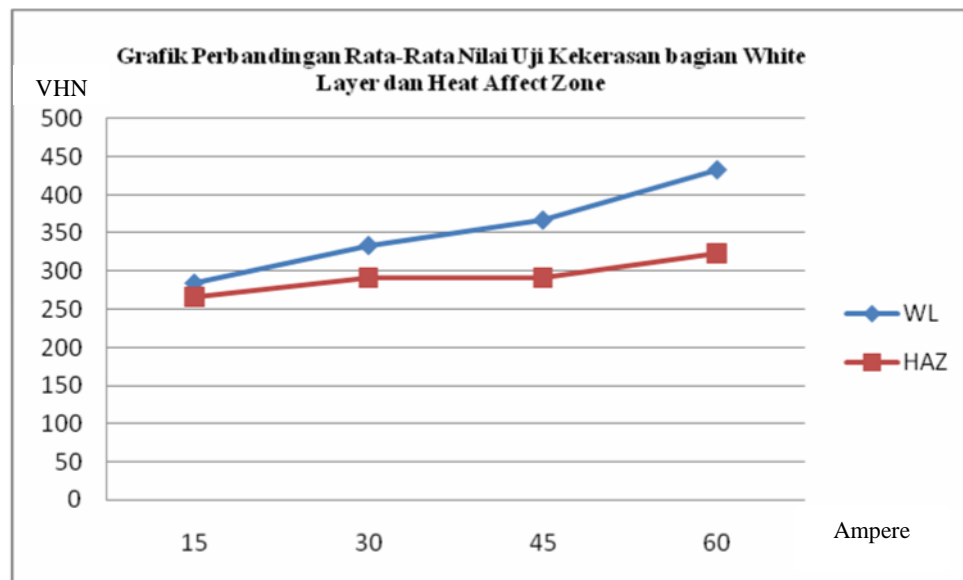
Dari tabel 4.2 kita dapatkan nilai rata-rata kekerasan spesimen pada bagian white layer yaitu pada arus 15 ampere didapat harga kekerasan rata-rata 284.33 VHN, arus 30 ampere harga kekerasan rata-rata adalah 333.67 VHN, arus 45 ampere harga kekerasan rata-rata adalah 366.83 VHN, Pada arus maksimum 60 ampere didapat harga kekerasan rata-rata 432.67 VHN.

Tabel 4.3 Nilai rata-rata kekerasan bagian *Heat Affect Zone*

Variasi Arus	Nilai Rata-rata
15 A	266.50 HVN
30 A	292.00 HVN
45 A	292.33 HVN
60 A	324.00 HVN
<b>Total Rata-rata</b>	293.71 VHN

Sesuai table 4.3 didapatkan nilai kekerasan setiap variasi arus pada bagian HAZ dimana pada arus 15 ampere didapat harga kekerasan rata-rata 266.50 VHN, arus 30 ampere didapat harga kekerasan rata-rata yaitu 292.33 VHN, arus 45 ampere

didapat harga kekerasan rata-rata ialah 292 VHN, pada arus puncak yaitu 60 ampere didapat harga kekerasan rata-rata 324 VHN. Dari kedua tabel tersebut kita dapatkan nilai rata-rata kekerasan setiap variasi parameter berupa arus sehingga kita dapat membuat grafik perbandingan kekerasan antara bagian white layer dengan daerah terkena panas (HAZ), seperti Grafik 4.2



Grafik 4.2 Nilai rata-rata uji kekerasan hasil pengujian EDM sinking

### 4.3 Analisa Hasil Pengujian Kekerasan Mikro Vickers

Dari gambar grafik 4.2 dapat kita analisis bahwa pada proses pengerjaan permesinan EDM sinking pada arus 15 A rata-rata nilai kekerasan pada bagian *white layer* sebesar 284.33 VHN dan pada bagian HAZ sebesar 266.50 VHN. Pada proses selanjutnya dengan menambahkan besar arus sebesar 30 ampere nilai rata-rata kekerasan pada *white layer* naik menjadi 333.67 VHN dan pada daerah HAZ naik sebesar 292.33 VHN. Dengan parameter yang sama dengan menaikkan nilai arus proses permesinan EDM menjadi 45 ampere didapat nilai kekerasan *white layer* sebesar 366.83 VHN dan pada heat affect zone sebesar 292 VHN dimana rata-rata nilai kekerasan lapisan ini hampir sama dengan lapisan *white layer*. Selanjutnya pada

arus maksimal mesin EDM dapat bekerja yaitu pada arus 60 ampere didapatkan nilai kekerasan rata-rata paling tinggi jika dibandingkan pada arus 15 A, 30 A, 45 A dimana pada zona *white layer* ini didapati nilai kekerasan rata-rata sebesar 432.67 VHN dan pada daerah HAZ sebesar 324 VHN, hal ini membuktikan bahwa dengan semakin meningkatnya arus yang diberikan maka temperatur proses juga akan meningkat dan mengakibatkan asupan panas semakin besar sehingga pada saat itu proses pengkayaan carbon yang didapat dari peleburan antara kandungan carbon dari material dan cairan dielektrik pada bagian *white layer* semakin meningkat sehingga lapisan yang terbentuk akan memiliki kandungan karbon yang lebih banyak.

Rao, et al. (2008) mengungkapkan bahwa pada saat arus ditingkatkan maka terjadi peningkatan jumlah carbon yang mengendap pada material hal ini disebabkan dari pendeposisian carbon dari elektroda beserta cairan dielektrik yang terjadi pada saat proses *flushing* di permukaan material. Banyaknya pengendapan carbon pada material memicu peningkatan nilai kekerasan pada material material proses. Hal ini sejalan dengan hasil yang diperoleh Amorim dan Weingaertner (2004) menjelaskan bahwa ketika arus *discharge* semakin ditingkatkan maka kekerasan pada lapisan *recast layer* dan *thermally affect zone* secara berangsur-angsur akan meningkat.

#### **4.4 Pengamatan Struktur Mikro**

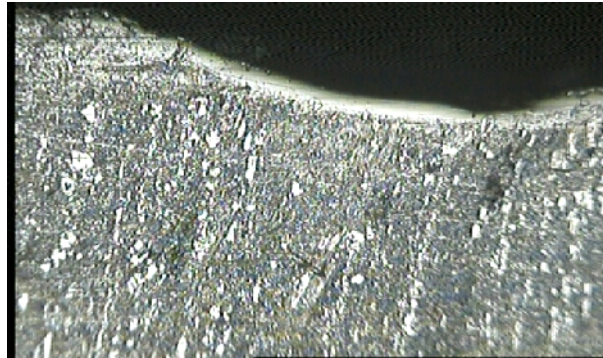
Pengamatan struktur mikro pada penelitian ini dilakukan dimaksudkan untuk mengetahui dampak dari proses discharge mesin EDM sinking, dikarenakan pada proses *discharge* ini terjadi perbedaan penggunaan arus proses sehingga perbedaan arus tersebut akan mengakibatkan perbedaan temperatur yang akan mempengaruhi struktur mikro benda uji. Menurut Prayoga (2010) dengan bertambahnya besar arus (A) maka akan meningkatkan pelepasan energi listrik pada proses EDM sehingga bunga api listrik yang menumbuk permukaan benda kerja akan mengalami kenaikan temperatur yang sangat tinggi sehingga terjadi pelelehan lokal pada benda kerja.

#### 4.4.1 Hasil Pengamatan Struktur Mikro *White Layer*

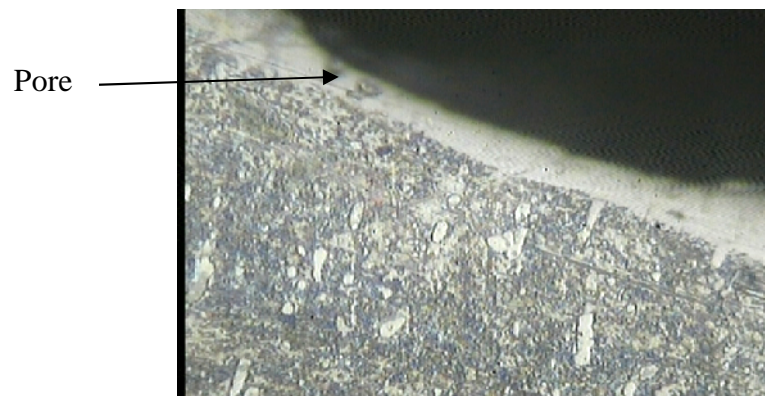
Lapisan *white layer* merupakan lapisan yang mengalami kontak langsung proses *discharge*. Pada lapisan ini terjadi fenomena yang dinamakan sebagai mikrocrack atau disebut juga retak secara mikro. Pada penelitian yang dilakukan oleh Amorim dan Weingaertner (2004) menjelaskan bahwa bagian recast layer atau disebut juga bagian *white layer* merupakan lapisan berupa karbida besi yang terdistribusikan dalam bentuk matrik austenite dimana pada lapisan ini terjadi pengkayaan kadar karbon yang didapat dari campuran antara kandungan karbon pada elektroda (tembaga atau grafit) dan benda kerja. Pengayaan karbon pada lapisan ini secara intrinsik berhubungan terhadap proses pirolisis yang ditimbulkan oleh cairan dielektrik pada saat flushing. Proses *flushing* mengakibatkan peleburan antara permukaan benda kerja dengan elektroda dan selanjutnya hasil peleburan kedua bahan tersebut bercampur menjadi satu lalu mengendap karena pengaruh pendinginan secara cepat cairan dielektrik. Karena pengaruh laju pendinginan yang cepat pada permukaan benda kerja oleh cairan dielektrik maka akan menimbulkan residual stress (tegangan sisa) pada permukaan *white layer*. Sedangkan kadar karbon pada lapisan ini sangat tinggi akan menimbulkan sifat yang cenderung getas sehingga tegangan sisa yang terjadi dapat memicu *microcrack* (keretakan) dan *porosity* (lubang).

Penggunaan arus yang besar tidak hanya akan mengakibatkan permukaan yang kasar sehingga hasil cetakan yang dihasilkan akan mengecewakan lebih-lebih *porosity* dan *microcrack* menyebabkan *lifetime* penggunaan dies akan menjadi semakin singkat dikarenakan kekuatan bahan menurun jika digunakan dalam rentang waktu yang lama. Dengan semakin banyak adanya *porosity* dan *microcrack* pada cetakan dies akan mengakibatkan sifat ketahanan aus bahan dies akan menurun.

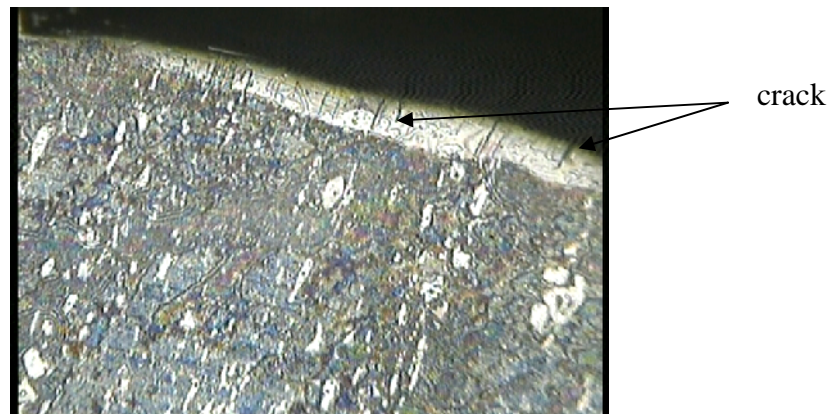
Gambar 4.3 merupakan foto mikro pada lapisan *White Layer* hasil penelitian EDM sinking dengan variasi arus sebesar 15 A, 30 A, 45 A, 60 A dan diamati pada microscope Olympus dengan pembesaran 100x:



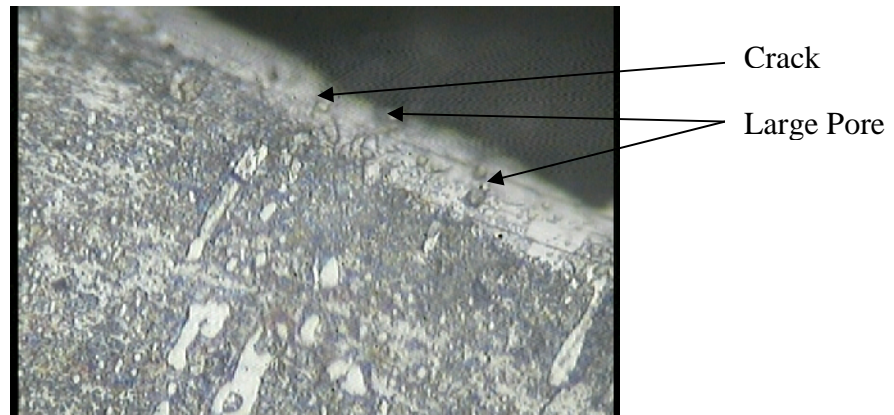
Gambar 4.3.a Permukaan lapisan white layer dengan arus 15 ampere



Gambar 4.3.b Permukaan lapisan white layer dengan arus 30 ampere



Gambar 4.3.c Permukaan lapisan white layer dengan arus 45 ampere



Gambar 4.3.d Permukaan lapisan white layer dengan arus 60 ampere

Dari Gambar 4.3 terlihat bahwa ketika pemakaian arus EDM sebesar 15 A maka masukan panas pada material sangatlah kecil sehingga hanya akan menghasilkan lapisan white layer yang tipis dan halus. Ketika level arus dinaikkan menjadi 30 A maka ditemukan fenomena *porosity* atau lubang kecil seperti titik, hal ini disebabkan karena pada level arus yang digunakan semakin besar maka energi yang terjadi juga akan semakin besar sehingga masukkan panas pada material akan meningkat. Dengan pemanasan lokal pada material yang sedikit lebih besar dari pada pada level arus 15 A disertai pendinginan cepat maka pada level ini pemanasan lokal yang memicu terbentuknya gelembung-gelembung gas saat proses *discharge* maka pada level 30 A cacat prositas yang ditemukan sangatlah kecil ukurannya dan jarang sekali ditemukan

Selanjutnya untuk Gambar 4.3.c ketika arus yang digunakan sebesar 45 A ditemukan fenomena crack berbentuk garis-garis yang membujur, hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur lokal yang terjadi saat proses *flushing* disertai laju proses pendinginan cepat yang cenderung konstan maka residual yang dihasilkan pada level ini cenderung meningkat dan bukan hanya lagi menghasilkan cacat berupa titik melainkan dapat mengakibatkan banyak terjadinya *crack* pada *surface* berupa garis.

Pada Gambar 4.3.d dimana arus yang digunakan merupakan arus puncak yang mampu dilakukan mesin EDM ditemukan banyak terjadi cacat yang berupa *microcrack* dan ukuran porositas yang semakin besar. Hal tersebut menandakan bahwa pada variasi arus 60 A adalah variasi arus dimana arus tertinggi saat *flushing* yang mampu menghasilkan energi yang paling besar daripada tiga variasi sebelumnya, sehingga dengan laju pendinginan yang konstan mengakibatkan *residual stress* yang dihasilkan juga lebih besar selain itu temperatur proses yang semakin meningkat memicu intensitas gelembung gas yang dihasilkan semakin banyak sehingga porositas yang terjadi pada material proses lebih banyak dengan ukuran yang lebih besar .

Dengan pelepasan karbon dari elektroda dan permukaan material sangat cepat akibat arus yang tinggi dan pengendapan karbon pada permukaan benda kerja maka pada lapisan *white layer* dengan arus 60 A sangatlah kaya akan karbon daripada level arus 15 A, 30 A, 45 A sehingga dengan karbon sebesar itu maka sifat mekanik pada lapisan ini sangatlah keras namun getas dan juga lebih tebal lapisan putihnya. Menurut Edrees dan Muhsen (2011) dengan semakin besar arus yang digunakan saat proses EDM maka akan menghasilkan bunga api yang lebih besar sehingga akan mempermudah proses pengikisan benda kerja sebagai akibat temperatur lokal yang sangat tinggi. Selagi laju pengikisan yang semakin meningkat, peleburan karbon juga antara elektroda dan material akan semakin besar sehingga ketebalan lapisan putih semakin tebal dengan kandungan karbon yang lebih banyak.

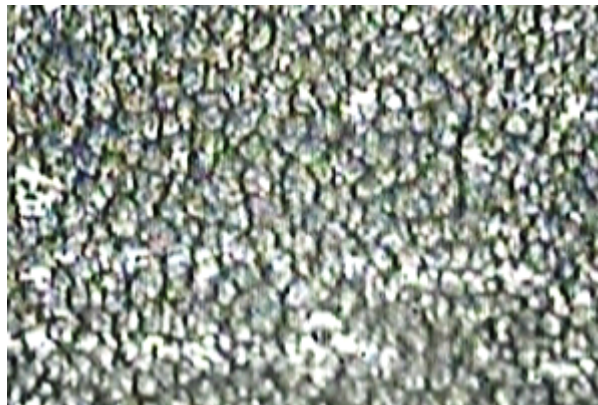
Karena pengaruh energi thermal yang tinggi maka akan mengakibatkan semakin besar *residual stress* yang terjadi dan sifat mekanik yang terbentuk yaitu cenderung sangat getas sehingga dihasilkanlah *large pore* dan crack garis yang lebih besar. Amorim dan Weingaertner (2004) menjelaskan bahwa karena gradien pendinginan sangat tinggi dari permukaan ke matrik karbida besi serta tegangan tarik yang dihasilkan oleh fenomena EDM saat *flushing* maka akan menciptakan orientasi retak yang cenderung tegak lurus terhadap permukaan white layer. Tai (2011) juga menjelaskan bahwa jika volume arus ditingkatkan maka akan mengakibatkan

peningkatan gradient termal pada lapisan recast layer dan akibatnya permukaan retak pada daerah recast layer menjadi meningkat lagi pula kandungan karbon material yang tinggi dapat mempengaruhi kerentanan retak pada material.

Menurut Nurhadi (2010) menjelaskan bahwa cacat porositas termasuk *major defect* yang tidak dapat diperbaiki sehingga fenomena porositas yang terjadi dapat menurunkan kualitas cetakan. Untuk mengatasi fenomena tersebut, maka untuk menghasilkan kualitas cetakan yang baik maka kita harus bias mengatur jalannya proses sehingga panas yang terjadi tidak akan menghasilkan banyak gelembung gas yang dapat memicu terbentuknya fenomena porositas pada material proses.

#### 4.4.2 Hasil Pengamatan Struktur Mikro *Heat Affect Zone*

Gambar 4.4 merupakan beberapa foto mikro pada lapisan base metal dan *Heat Affect Zone (HAZ)* dengan pembesaran 400x:



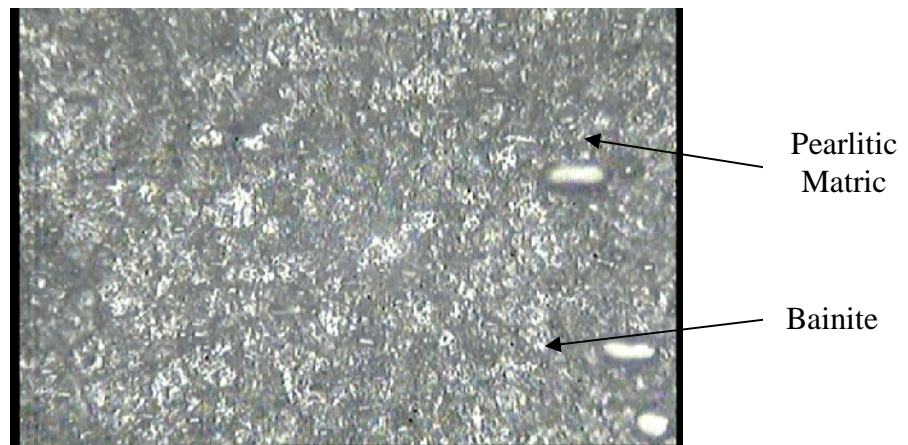
Gambar 4.4 Base metal material SKD 11

Pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa pada *base metal* material SKD 11 mikrostruktur yang menyusun baja tersebut tersusun atas sebagian besar struktur mikro pearlite laminat dan karbida dengan sedikit struktur bainit di dalamnya.

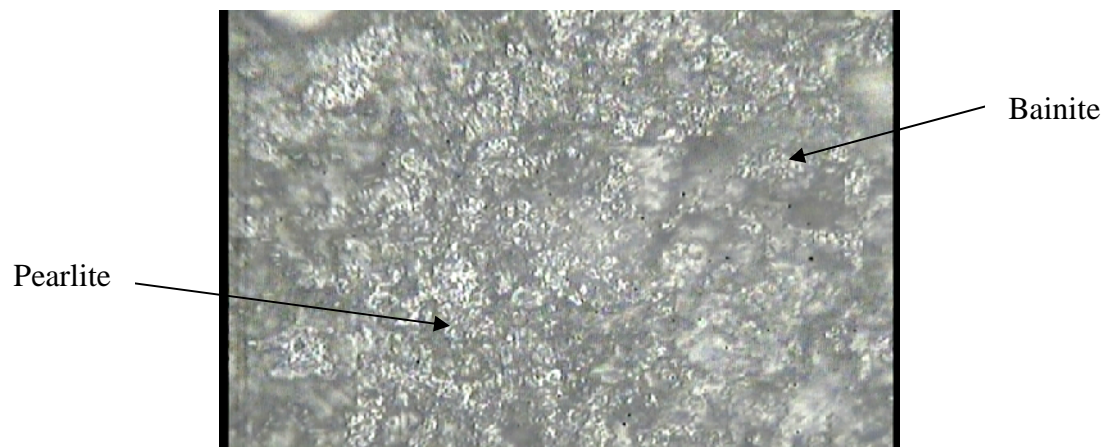




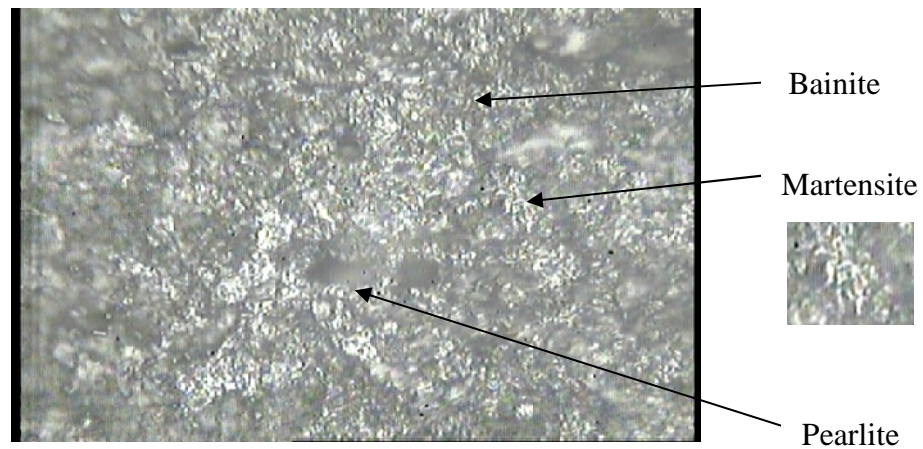
Gambar 4.5.a Struktur mikro HAZ dengan arus 15 ampere



Gambar 4.5.b Struktur mikro HAZ dengan arus 30 ampere



Gambar 4.5.c Struktur mikro HAZ dengan arus 45 ampere



Gambar 4.5.d Struktur mikro HAZ dengan arus 60 ampere

Pada proses permesinan EDM dengan menggunakan arus sebesar 15 A struktur mikro yang menyusun daerah HAZ tersebut didominasi oleh struktur matrik pearlite dengan sedikit struktur bainite di sekitarnya seperti tampak pada gambar 4.5.a. Pada Gambar 4.5.b merupakan hasil foto mikro dengan variasi arus EDM sebesar 30 A pada daerah HAZ. Pada gambar tersebut peningkatan arus EDM memicu peningkatan energi sehingga temperatur yang terjadi pada daerah HAZ sedikit meningkat sehingga pearlitic matrix bertransformasi menjadi struktur pearlite halus atau disebut bainit. Struktur bainite itu sendiri terjadi akibat pemanasan yang dilakukan pada struktur pearlite sampai di atas garis A1 fasa austenite kemudian dilakukan proses pendinginan cepat dibawah nose diagram CCT dan di atas garis Ms sehingga terciptalah struktur bainite. Struktur bainit itu sendiri memiliki sifat mekanik yang lebih keras daripada pearlite dan ferite namun tidak lebih keras dibandingkan martensite.

Pada gambar 4.5.c ditunjukkan bahwa struktur mikro pada lokasi *heat affect zone* masih didominasi oleh struktur bainite dan ditemukan *pearlitic matrix* di sekitarnya mengidentifikasi bahwa terjadi peningkatan temperature proses EDM dengan variasi arus 45 A sehingga pada variasi arus ini sifat mekanik daerah HAZ baja SKD 11 memiliki kekerasan hampir sama dengan variasi arus 30 A.

Selanjutnya pada Gambar 4.5.d menunjukkan bahwa ditemukannya beberapa struktur martensite diantara struktur bainite, hal ini menjelaskan bahwa variasi arus 60 A merupakan variasi arus yang menghasilkan temperature proses paling tinggi, sehingga dengan temperatur proses yang sangat tinggi mencapai titik A1 fasa austenite disertai proses pendinginan cepat maka akan menghasilkan struktur martensite. Hal ini ditandai juga dengan lama proses pengikisan pada variasi arus 60 A ini lebih cepat daripada variasi arus 15 A, 30 A dan 45 A. Dengan adanya struktur martensite di dalam area HAZ maka sifat mekanik area HAZ dengan variasi arus 60 A ini memiliki kekerasan paling tinggi dibandingkan variasi arus 15 A, 30 A dan 45 A.

Pemanasan yang kurang merata disetiap lapisan HAZ dan disertai pendinginan cepat dapat mengakibatkan perbedaan kedalaman area daerah terpengaruh panas sehingga memiliki struktur yang berbeda-beda, sehingga daerah yang memiliki gradien panas yang kurang tinggi akan membentuk struktur pearlite dan pada bagian yang memiliki gradien panas yang tinggi akan mampu membentuk struktur bainite dan martensite. Selain itu laju pendinginan yang tidak uniform akan menciptakan struktur mikro yang heterogen. Karena kapasitas panas setiap variasi arus berbeda maka struktur mikro pada lapisan ini mengalami perbedaan sehingga dapat memicu perbedaan kekuatan mekanik pada tiap-tiap variasi arus proses EDM. Dampak dari perbedaan arus yang digunakan pada proses EDM diantaranya dapat mengakibatkan perubahan mekanis misalnya kekuatan permukaan bahan (*surface strength*) pada permukaan benda kerja akibat dari temperatur lokal yang terjadi. Perubahan yang terjadi diantaranya meliputi bentuk mikrostruktur spesimen, kekerasan, kandungan karbon, tegangan permukaan (Uddeholm brochure, 2007).

Choudhary (2010) menjelaskan bahwa struktur mikro material EN-31 die steel daerah HAZ hasil proses EDM dengan elektroda tembaga disusun oleh struktur temper martensite dengan beberapa butiran carbida di sekitarnya. Dengan ditemukan struktur mikro yang bervariasi pada lapisan HAZ ini dan jika dibandingkan dengan struktur dari lapisan *white layer* dimana struktur keseluruhannya adalah tempered

martensite maka kekerasan pada lapisan ini cenderung kurang keras dibandingkan lapisan *white layer*. Selain itu pengendapan carbon yang sangat banyak (*carbon enrichment*) pada lapisan *white layer* memicu peningkatan nilai kekerasan pada lapisan ini. Pengamatan nilai kekerasan oleh Ekmekci et al. (2005) mengemukakan bahwa lapisan *white layer* jauh lebih keras daripada logam induk. Selain itu pada pengamatan nilai kekerasan tiap lapisan Ekmekci menyebutkan bahwa terjadi penurunan nilai kekerasan pada lapisan di bawah lapisan *recast layer* yaitu lapisan *heat affect zone* dan akan terus turun secara drastis nilai kekerasannya sampai pada lapisan logam induk.

## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Harga kekerasan material hasil proses discharge EDM Sinking berbanding lurus dengan kenaikan nilai variasi arus proses discharge EDM Sinking.
2. Nilai kekerasan white layer lebih tinggi daripada daerah terkena panas (HAZ).
3. 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 284.33 VHN.
4. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah terkena panas (HAZ) ditemukan pada variasi arus 60 A dengan nilai rata-rata kekerasan 324 VHN dan nilai kekerasan terendah pada variasi arus 15 A dengan nilai rata-rata kekerasan 266.50 VHN.
5. Penggunaan parameter arus yang terlampau tinggi akan berakibat pada hasil permukaan dies yang cenderung kasar dan mengandung cacat porositas disertai *microcrack* sehingga batas maksimum parameter arus yang masih layak digunakan untuk proses pembuatan dies dengan menggunakan mesin EDM *Sinking* adalah sebesar 30 ampere.
6. Pada variasi arus discharge 15 A, 30 A, 45 A struktur mikro yang menyusun lapisan HAZ adalah pearlite dan bainit. Pada arus 60 A ditemukan struktur mikro martensite disekitar struktur bainite dengan sedikit struktur pearlite.

## 5.2 Saran

Untuk pengujian selanjutnya dapat menggunakan SEM (Scanning Electron Microscope) atau yang lebih canggih agar mendapatkan hasil foto mikro yang lebih seksama. Selain itu dapat menggunakan tipe baja *low carbon* atau *medium carbon* dengan berbagai macam elektroda dan cairan dielektrik untuk mengetahui dampak proses *discharge* pemesinan EDM terhadap kandungan karbon pada setiap bahan yang digunakan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amorim F. L., Weingaertner W. L. 2004. Die-Sinking Electrical Discharge Machining of a High Strength Copper-Based Alloy for Injection Molds. Department of Mechanical Engineering. Brazil
- Bulent Ekmekci, Oktay Elkoca, A. Erman Tekkaya, Abdulkadir Erden. 2005. Residual Stress State and Hardness Dept in Electric Discharge Machining: De-Ionized Water as Dielectric Liquid. Manufacturing Engineering Department, Atilim University. Turkey
- Choudhary Rajesh. 2010. Analysis And Evaluation of Heat Affect Zone in Electric Discharge Machining Of EN-31 Die Steel. Nation Institute of Technology. India
- <http://Assab.com>
- <http://Besibaja.com>
- <http://Diemold.wordpress.com>
- <http://Firstiawan.studen.fkip.uns.ac.id>
- <http://Netaworld.org>
- <http://Senyawapagie.blogspot.com>
- <http://Uddeholm.com>
- Karastojkovic Z., Janjusvic Z. 2003. Hardness And Structure Changes at Surface in Electrical Discharge Machined Steel C3840. Institute for Technology of Nuclear and Other Raw. Macedonia
- Khudhair Edrees, Khuder Mustafa Mohsen. 2010. Effect of Current on Electrical Discharge Machining (EDM). University of Technology Production & Metallurgy Eng. Iraq
- Krishna Mohana Rao G. 2006. Experimental Investigation of Optimal Machining Parameters on Die-Sinking EDM of 15CDV6. Proc. Of the Int. Conf. on Global Manufacturing and inovation, CIT, Coimbatore. India
- Nurhadi. 2010. Studi Karakteristik Material Piston dan Pengembangan Prototipe Piston Berbasis Limbah Piston Bekas. Universitas Diponegoro. Semarang
- Prayoga Tulung. 2010. Studi Parameter Pemesinan Proses EDM terhadap Kekasaran Permukaan, Laju Pembuangan Geram dan Keausan Electroda Pada Baja Perkakas. Skripsi Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada. Yogyakarta

- Sanjev Kumar, Rupinder Singh, T.P Singh, B.L Sethi. 2008. Surface Modification by Electrical Discharge Machining: A Review. Mechanical Engineering Department. India
- Suhardjono, Pramujati Bambang, Winarto. 2010. Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Tegangan Terhadap *Spark Gap* Pada Proses EDM Shinking. FTI - ITS, Surabaya
- Suherman Wahid. 1988. Ilmu Logam. Jilid 1. Surabaya
- Suherman Wahid. 1988. Pengetahuan Bahan. Surabaya
- Tebni W., Boujelbene M., Bayraktar E., Ben Salem S. 2008. Parametric Approach Model For Determining Electrical Discharge Machining (EDM) Condition: Effect Cutting Parameters On The Surface Integrity. Advanced Manufacturing Processes and Technologies (AMPT) Conference. Bahrain
- Yao Tai Tzu, Lu S. J., Chen Y. H. 2011. Surface Crack Susceptibility of Electrodischarge-Machined Steel Surface. Int J Adv Manufacture Technology. London
- Yuwono Akhmad Herman. 2009. Buku Paduan Praktikum Karakterisasi Material 1 Pengujian Merusak. Fakultas Teknik Universitas Indonesia



## LAMPIRAN A

### A.1 One-Way Anova Analisis Terhadap Nilai Kekerasan *White Layer*

#### Descriptives

VHN

A	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
15	6	284.33	3.141	1.282	281.04	287.63	280.00	288
30	6	333.67	9.771	3.989	323.41	343.92	322.00	346
45	6	366.83	15.510	6.332	350.56	383.11	343.00	385
60	6	432.67	26.860	10.966	404.48	460.85	405.00	484
Total	24	354.38	57.124	11.660	330.25	378.50	280.00	484

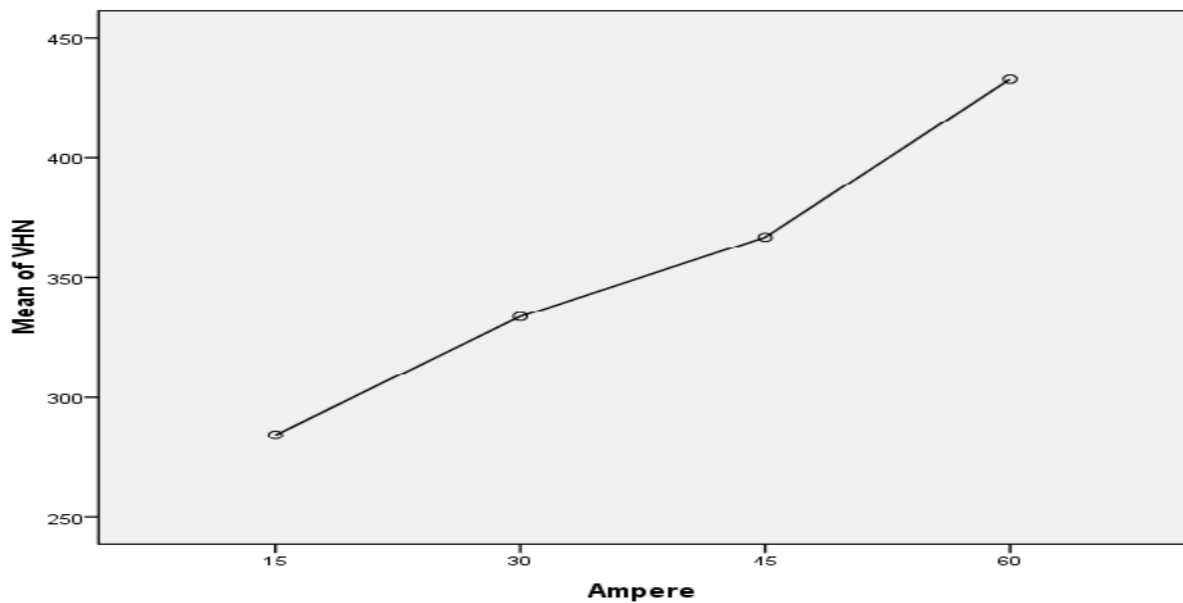
- a. Dengan tingkat kepercayaan 95% pada pengujian sebanyak 6 titik pada lokasi white layer untuk setiap variasi arus, maka pada arus sebesar 15 ampere nilai rata-rata kekerasan WL sebesar 284.33 HVN dengan nilai maksimum dan minimum pengukuran sebesar 288 HVN dan 280 HVN. Untuk variasi arus 30 nilai rata-rata kekerasan 333.67 HVN dan nilai maksimum dan minimum pengukuran sebesar 346 HVN dan 322 HVN. Dan untuk variasi arus yang lebih tinggi nilai rata-rata kekerasan WL semakin meningkat.

#### One-Way ANOVA

VHN

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	69716.792	3	23238.931	87.089	.000
Within Groups	5336.833	20	266.842		
Total	75053.625	23			

- b. Nilai signifikansi sebesar  $0.000 < (0.005)$  mengartikan bahwa ada pengaruh yang signifikansi antara parameter arus terhadap kekerasan white layer
- c. Grafik rata-rata kekerasan *white Layer* terhadap arus proses EDM



Grafik A1. Grafik rata-rata kekerasan *white Layer*

Peningkatan nilai parameter arus yang digunakan pada proses pemesinan EDM Sinking secara signifikansi berdampak pada kenaikan nilai kekerasan pada lapisan *white layer* dengan nilai rata-rata minimum diperoleh pada variasi arus sebesar 15 ampere dengan nilai 284.33 HVN dan nilai rata-rata maksimum diperoleh pada variasi arus sebesar 60 ampere dengan nilai 432.67 HVN.

## A.2 One-Way Anova Analisis Terhadap Nilai Kekerasan *Heat Affect Zone*

### Descriptives

VHN

A	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
15	6	266.50	3.082	1.258	263.27	269.73	261	269
30	6	292.00	4.761	1.944	287.34	297.33	288	301
45	6	292.33	1.414	.577	290.52	293.48	290	294
60	6	324.00	10.257	4.187	313.24	334.76	307	332
Total	24	293.71	21.542	4.397	284.61	302.80	261	332

- a. Dengan tingkat kepercayaan 95% pada pengujian sebanyak 6 titik pada lokasi terkena panas untuk setiap variasi arus, maka pada arus sebesar 15 ampere nilai rata-rata kekerasan WL sebesar 266.50 HVN dengan nilai maksimum dan minimum pengukuran sebesar 269 HVN dan 261 HVN. Untuk variasi arus 30 nilai rata-rata kekerasan sebesar 292.33 HVN dan nilai maksimum dan minimum pengukuran sebesar 301 HVN dan 288 HVN. Dan untuk variasi arus yang lebih tinggi nilai rata-rata kekerasan HAZ semakin meningkat.

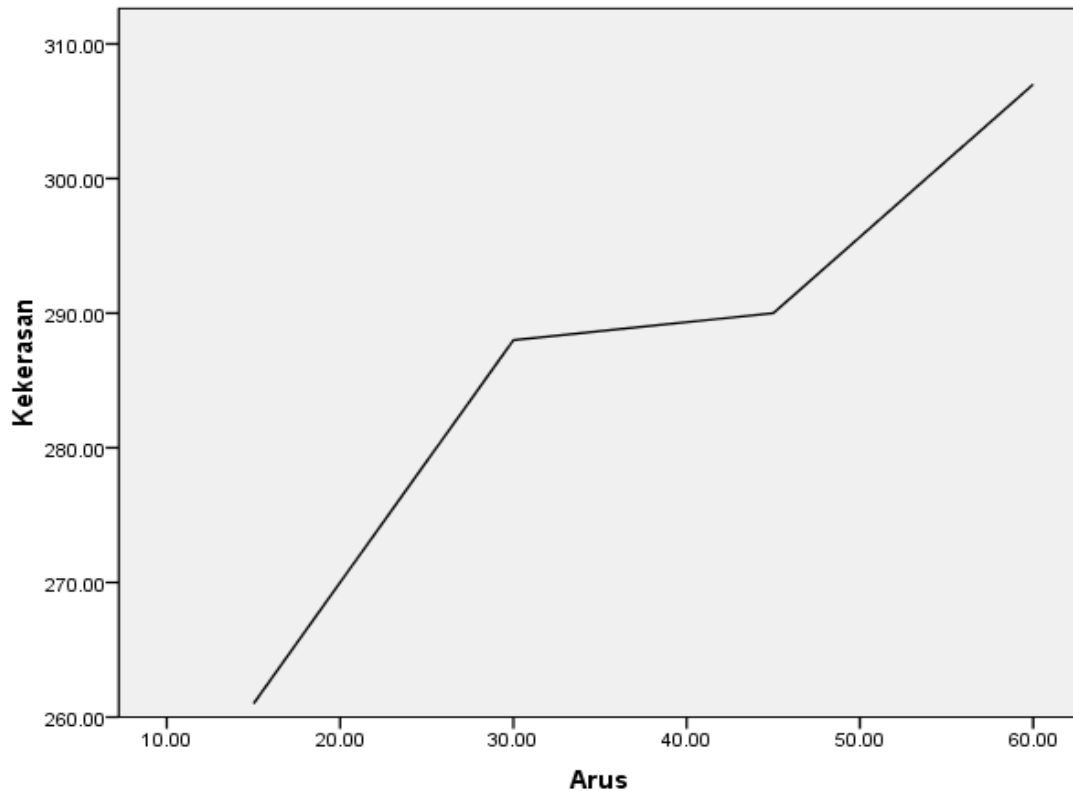
### ANOVA

VHN

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	9976.125	3	3325.375	95.442	.000
Within Groups	696.833	20	34.842		
Total	10672.958	23			

- b. Nilai signifikasi sebesar  $0.000 < (0.005)$  mengartikan bahwa ada pengaruh yang signifikasi antara parameter arus terhadap kekerasan white layer

c. Grafik rata-rata kekerasan *Heat Affect Zone* terhadap arus proses EDM



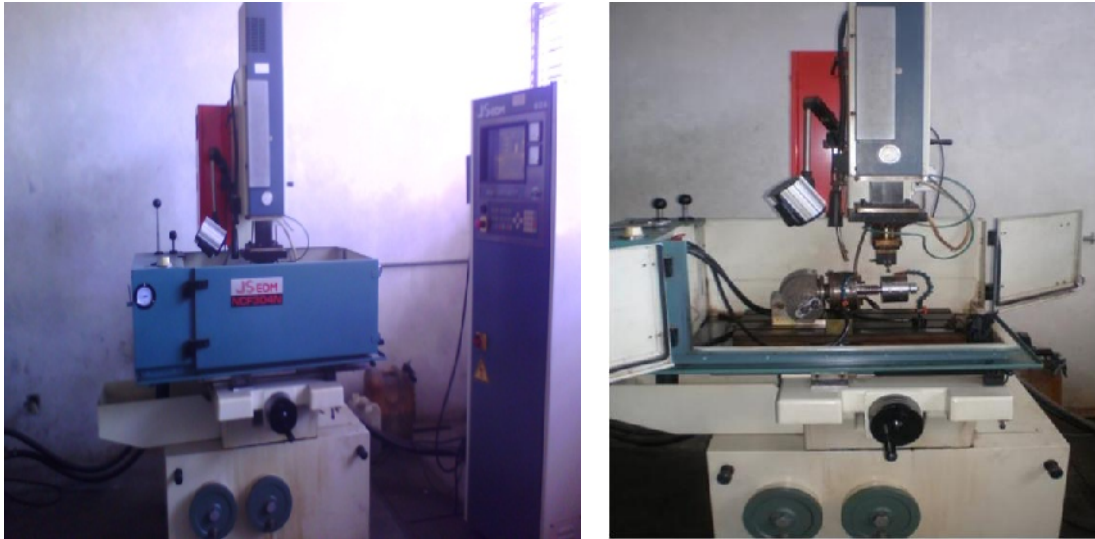
Grafik A2. Grafik rata-rata kekerasan *Heat Affect Zone*

Peningkatan nilai parameter arus yang digunakan pada proses pemesinan EDM Sinking secara signifikan berdampak pada kenaikan nilai kekerasan pada lapisan terkena panas (*Heat Affect Zone*) dengan nilai rata-rata minimum diperoleh pada variasi arus sebesar 15 ampere dengan nilai 266.50 HVN dan nilai rata-rata maksimum diperoleh pada variasi arus sebesar 60 ampere dengan nilai 324.00 HVN. Pada kenaikan nilai variasi arus sebesar 45 ampere kenaikan nilai kekerasan material tidaklah terlalu mencolok hal ini disebabkan karena pada penggunaan nilai variasi 45 ampere asupan panas hasil dari proses discharge masih belum mampu mengubah struktur mikro dari material proses namun cenderung meningkat secara drastis ketika nilai variasi arus dinaikan sampai pada level 60 ampere.

## LAMPIRAN B

### Foto Alat dan Bahan Penelitian

#### B.1 Foto Mesin EDM dan Proses EDM



Gambar 1. Foto Mesin EDM Sinking



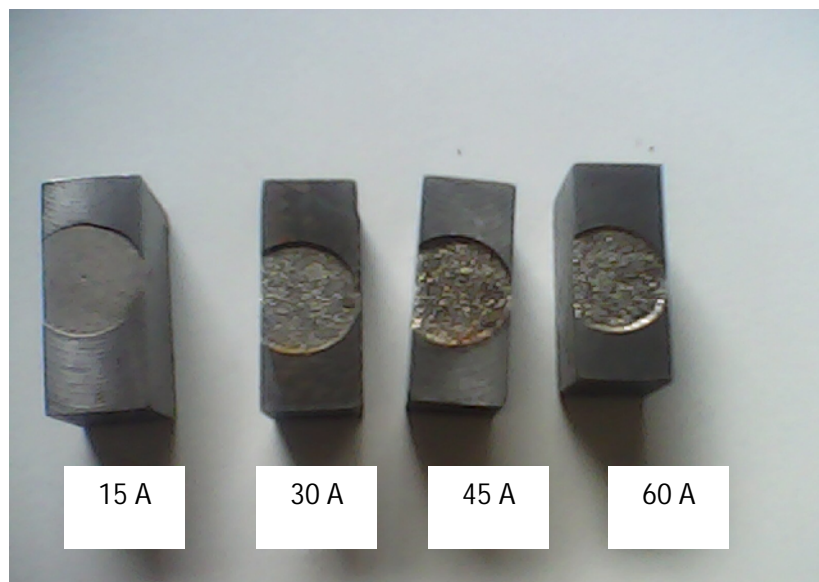
Gambar 2. Proses Discharge

## B.2 Foto Alat Uji Struktur Mikro Dan Uji Kekerasan Microhardness



Gambar 3. Microscope *Olympus* dilengkapi alat uji kekerasan microhardness

## B.3 Foto Sampel Hasil Pengerjaan EDM baja SKD 11 dan *Electrode* Tembaga



Gambar 4. Sampel pengujian EDM Sinking



Gambar 5. Electroda Tembaga

#### **B.4 Alat Pengampelas Spesimen**



Gambar 6. Mesin Pengampelas