



**ANALISA ERW (*ELECTRODE RELATIVE WEAR*) MENGGUNAKAN
METODE TAGUCHI DENGAN VARIASI ARUS, KECEPATAN KAWAT,
DAN *INTERPULSE* PADA PROSES WIRE-EDM (*ELECTRIC DISCHARGE
MACHINE*)**

SKRIPSI

Oleh
Radix Fahry
121910101051

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2020**



**ANALISA ERW (*ELECTRODE RELATIVE WEAR*) MENGGUNAKAN
METODE TAGUCHI DENGAN VARIASI ARUS, KECEPATAN KAWAT,
DAN *INTERPULSE* PADA PROSES *WIRE-EDM (ELECTRIC DISCHARGE
MACHINE)***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi syarat untuk menyelesaikan
Program Studi Teknik Mesin (S1) dan mencapai gelar Sarjana

Oleh
Radix Fahry
121910101051

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2020**

PERSEMBAHAN

Segala puji syukur kepada Allah SWT dengan ikhlas dan kerendahan hati, saya persembahkan skripsi ini kepada:

1. Allah SWT atas segala berkat, rahmat, serta hidayah-nya, serta kepada junjungan kita Nabi Muhammad SWT.
2. Kedua orang tua saya yakni Suharsono dan Sri Wahyuningsih serta saya Nadiyah Maghfiroh yang telah memberikan dan mengajarkan segalanya serta menemani saya hingga saat ini
3. Bapak Ir. Franciscus Xaverius Kristianta, M.Eng. selaku dosen pembimbing utama dan bapak Ir. Dedi Dwilaksana, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing anggota atas segala bimbingan dan masukan selama saya mengerjakan tugas akhir, serta bapak Ir. Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T. selaku dosen penguji utama dan bapak Ir. Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T., selaku dosen penguji anggota yang senantiasa membantu memberi saran atas tugas akhir saya
4. Seluruh dosen Teknik Mesin Universitas Jember yang telah memberikan ilmu serta pengalaman baik di dalam maupun diluar kegiatan perkuliahan.
5. Keluarga besar Teknik Mesin angkatan 2012 yang senantiasa menjadi sahabat, teman, dan saudara.
6. Keluarga seperjuangan skripsi *wire-EDM* (Arif Efendi, Ahmad Wildan Khadziq) yang telah memberikan tenaga dan waktunya untuk membantu penelitian ini.
7. Keluarga kosan Brantas 3 (Rahmat Hadi Wijaya, Ahmad Rizaldi H., Bagus Dwi Sasongk0)

MOTTO

Semakin kau peduli bagaimana dirimu terlihat di hadapan Allah, semakin kau tak peduli bagaimana dirimu terlihat di hadapan manusia.

(Yasmin Mogahed)

Dunia ini ibarat bayangan. Kalau kau berusaha menangkapnya, ia akan lari. Tapi kalau kau membelakanginya, ia tak punya pilihan selain mengikutimu.

(Ibnu Qayyim Al Jauziyyah)

Jika kau pernah berfikir aku menjadi terlalu yakin pada kemampuanku sendiri, tolong bisikan 'Nobury' di telingaku dan aku akan sangat berterima kasih

kepadamu

(Sherlock Holmes)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Radix Fahry

NIM : 121910101051

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisa ERW (*Electrode Relative Wear*) Menggunakan Metode Taguchi dengan Variasi Arus, Kecepatan Kawat, dan *Interpulse* pada proses *Wire-EDM (Electric Discharge Machine)*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan 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 ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 30 Januari 2020

Yang menyatakan,

(Radix Fahry)

121910101051

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisa ERW (*Electrode Relative Wear*) Menggunakan Metode Taguchi dengan Variasi Arus, Kecepatan Kawat, dan *Interpulse* pada proses *Wire-EDM (Electric Discharge Machine)*” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Kamis, 30 Januari 2020

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Ir. F. X. Kristianta, M.Eng.
NIP 196501202001121001

Ir. Dedi Dwilaksana, S.T., M.T.
NIP 196912011996021001

Penguji

Anggota I,

Anggota II,

Ir. Hari Arbiantara B., S.T., M.T.
NIP 196709241994121001

Ir. Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.
NIP 196812071995121002

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T.,M.T.
NIP 197008261997021001

RINGKASAN

Analisa ERW (*Electrode Relative Wear*) Menggunakan Metode Taguchi dengan Variasi Arus, Kecepatan Kawat, dan *Interpulse* pada proses *Wire-EDM* (*Electric Discharge Machine*); Radix Fahry, 121910101051; 2020: 46 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Kualitas yang bagus adalah jika kombinasi antar parameter prosesnya sesuai. Kombinasi yang optimal diperoleh dengan cara optimasi. Optimasi didefinisikan sebagai pencarian nilai-nilai variabel yang dianggap optimal, efektif, efisien untuk mencapai hasil yang diinginkan. Secara khusus untuk bidang manufaktur pada mesin potong seperti *wire-EDM*. *Electrical Discharge Machining* (EDM) adalah suatu proses pemesinan nonkonvensional yang pemakanan material benda kerja dilakukan oleh loncatan bunga api listrik (*spark*). Di dalam proses *wire-EDM* kita akan mendapatkan banyak jenis pengukuran, salah satunya adalah pengukuran tentang *Electrode Relative Wear* (ERW). *Electrode Relative Wear* (ERW) adalah material removal yang terjadi pada elektroda, semakin kecil nilai ERW menunjukkan minimumnya perubahan bentuk pada elektroda, sehingga akan menghasilkan ketelitian yang lebih baik dari produk yang dihasilkan.

Penelitian ini menggunakan metode taguchi dengan variable proses berupa arus (amp) : 8, 10, 12, wire speed (m/min) : 5, 6, 7, interpulse (μ s) : 7, 9, 11. Dengan percobaan 9 kali dan replikasi sebanyak 3 kali. Dan diolah menggunakan aplikasi minitab.

Variable proses yang berpengaruh signifikan terhadap pemakanan elektroda pada proses *wire-EDM* melalui perhitungan ERW ialah *wire speed* dan arus. Hal ini terbukti dengan *wire speed* mendapatkan rank 1 dan arus di rank 2 dalam perhitungan respon S/N rasio nilai ERW. Nilai ERW yang terbaik ditunjuk kan pada variabel *wire speed* 5, *interpulse* 7, dan *electric current* 8 dengan rata-rata ERW 1,89 %. Karena nilai ERW tersebut adalah nilai rata-rata ERW terkecil dibandingkan nilai ERW lainnya.

SUMMARY

ERW (Electrode Relative Wear) Analysis Using the Taguchi Method with Variations in Current, Wire Speed and Interpulse in the Wire-EDM (Electric Discharge Machine) process; Radix Fahry, 121910101051; 2020: 46 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Good quality is if the combination of process parameters is appropriate. The optimal combination is obtained by optimization. Optimization is defined as the search for variable values that are considered optimal, effective, and efficient to achieve the desired results. Specifically for manufacturing in cutting machines such as wire-EDM. Electrical Discharge Machining (EDM) is a non-conventional machining process which consumes workpiece material by an electric spark (spark). In the wire-EDM process we will get many types of measurements, one of which is the measurement of Electrode Relative Wear (ERW). Electrode Relative Wear (ERW) is material removal that occurs at the electrode, the smaller the ERW value indicates the minimum deformation of the electrodes, so that it will produce better accuracy than the product produced.

This study uses the Taguchi method with process variables in the form of current (amp): 8, 10, 12, wire speed (m / min): 5, 6, 7, interpulse (μ s): 7, 9, 11. With an experiment of 9 times and replicate 3 times. And processed using the Minitab application.

Process variables that have a significant effect on the electrode consumption in the wire-EDM process through ERW calculations are wire speed and current. This is proven by the wire speed getting rank 1 and the current in rank 2 in the calculation of S / N response to the ERW value ratio. The best ERW value is indicated by variable wire speed 5, interpulse 7, and electric current 8 with an average ERW of 1.89%. Because the ERW value is the smallest average ERW value compared to other ERW values.

PRAKATA

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisa ERW (*Electrode Relative Wear*) Menggunakan Metode Taguchi dengan Variasi Arus, Kecepatan Kawat, dan *Interpulse* pada proses *Wire-EDM (Electric Discharge Machine)*”. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Dalam proses penelitian dan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Hari Arbiantara B., S.T, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Dr. Ir. Salahudin Junus, S.T., M.T. selaku ketua prodi S1 Fakultas Teknik Mesin Universitas Jember.
3. Bapak Ir. F. X. Kristianta, M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Utama;
4. Bapak Ir. Dedi Dwilaksana, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota;
5. Bapak Ir. Hari Arbiantara B., S.T., M.T.. selaku Dosen Penguji Utama;
6. Bapak Ir. Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota;
7. Ayah, Ibu, dan kakak yang telah memberikan dukungan;
8. Seluruh warga Teknik Universitas Jember yang telah memberikan motivasi dan semangat;
9. Teman-teman “Kosan Brantas 3” yang telah membagikan pengalaman, cerita, semangat, kebersamaan serta menemani dan membantu segala aspek dalam terselesaikannya skripsi ini.

Jember, 30 Januari 2020

Penulis

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Klasifikasi proses permesinan EDM.....	6
Gambar 2.2 Skema proses permesinan WEDM	8
Gambar 2.3 Proses pembentukan bunga api pada WEDM	8
Gambar 2.4 Mekanisme pemotongan benda kerja pada proses WEDM	10
Gambar 2.5 Proses flushing pada permesinan WEDM.....	16
Gambar 3.1 Mesin Wire-EDM	26
Gambar 3.2 Skema proses pemotongan benda kerja	29
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian	33

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Matriks orthogonal L9	20
Tabel 2.2 Tabel analisis Varian	21
Tabel 3.1 Spesifikasi mesin-EDM DK7740	27
Tabel 3.2 Variabel proses dan masing-masing level.....	30
Tabel 3.3 Penyajian Data ERW.....	31
Tabel 4.1 Data Hasil percobaan ERW	34
Tabel 4.2 Data rasio S/N ERW	38
Tabel 4.3 Respon S/N Rasio.....	40
Tabel 4.4 Hasil analisis varian terhadap rata-rata respon.....	41
Tabel 4.5 Hasil analisis ANNOVA pada ERW	43

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
DAFTAR GAMBAR.....	ii
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR ISI.....	iv
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian	4
1.4.1 Tujuan Penelitian	4
1.4.2 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Hipotesa.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Proses Permesinan EDM (<i>Electrical Discharge Machining</i>).....	5
2.2 Wirecut (<i>Wire EDM</i>).....	7
2.2.1 Prinsip Kerja <i>Wire-EDM</i>	9
2.2.2 Bagian-Bagian <i>Wire-EDM</i>	10
2.2.3 Parameter Proses <i>Wire-EDM</i>	12
2.2.4 Jenis-Jenis Kawat Elektroda	14
2.2.5 Metode <i>Flushing</i> (Pembilasan Geram).....	15
2.3 Uji Asumsi Residual.....	16
2.4 Desain Eksperimen	17
2.4.1 Metode Taguchi	17
2.4.2 Optimasi Taguchi.....	24
2.4.3 Interval Kepercayaan.....	24
2.4.2 Persen Kontribusi.....	25
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	26

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	26
3.2 Alat dan Bahan.....	26
3.2.1 Alat.....	26
3.2.2 Bahan.....	28
3.3 Rancangan Percobaan	29
3.3.1 Menentukan Variabel Proses dan Respon	29
3.3.2 Pelaksanaan Percobaan.....	30
3.4 Penyajian Data.....	31
3.5 Karakteristik Respon Optimum.....	32
3.6 Tahap Penarikan Kesimpulan.....	32
3.7 Tahapan Penelitian	33
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Data Hasil Percobaan	34
4.2 Analisis data <i>Electrode Relative Wear</i>.....	34
4.3 Asumsi Residual.....	35
4.4 Pengolahan Data	37
4.4.1 <i>Rasio Signal To Noise</i>	37
4.4.2 Analisa S/N Rasio Nilai ERW	38
4.4.3 Pengaruh Level Faktor Terhadap Rasio S/N Nilai ERW	39
4.4.4 Prediksi Rasio S/N Nilai ERW yang Optimal	40
4.4.5 Mean Nilai ERW.....	41
4.4.6 Analisa Mean Nilai ERW	41
4.5 <i>Analysis of Varian</i>.....	43
4.6 Pembahasan	44
BAB 5. KESIMPULAN	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	46

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kualitas merupakan suatu kondisi dinamis yang berpengaruh dengan produk, jasa, manusia, proses, dan lingkungan yang memenuhi atau melebihi harapan. Kualitas yang bagus adalah jika kombinasi antar parameter prosesnya sesuai. Kombinasi yang optimal diperoleh dengan cara optimasi. Optimasi didefinisikan sebagai pencarian nilai-nilai variabel yang dianggap optimal, efektif, efisien untuk mencapai hasil yang diinginkan. Masalah dalam optimasi sendiri beraneka ragam tergantung dari bidangnya. Secara khusus untuk bidang manufaktur pada mesin potong seperti *wire-EDM*. *Electrical Discharge Machining* (EDM) adalah suatu proses pemesinan nonkonvensional yang pemakanan material benda kerja dilakukan oleh loncatan bunga api listrik (*spark*) melalui celah antara elektroda dan benda kerja yang berisi cairan dielektrik (Fuller, 1989). Tidak terjadi kontak antara benda kerja dan elektroda pada saat proses pemakanan material terjadi. Sedangkan *Wire-Cut EDM* (*Electrical Discharge Macining*) adalah sebuah proses termo-elektrik yang menyebabkan benda kerja terkikis karena pelepasan muatan listrik (*electric discharge*). Sebagai elektrode digunakan kawat yang berbentuk silinder dengan diameter tertentu untuk memotong benda kerja. Proses permesinan *Wire-Cut EDM* tidak dipengaruhi oleh sifat mekanik benda kerja, tetapi dipengaruhi oleh titik lebarnya.

Di dalam proses *wire-EDM* kita akan mendapatkan banyak jenis pengukuran, salah satunya adalah pengukuran tentang *Electrode Relative Wear* (ERW). *Electrode Relative Wear* (ERW) adalah material removal yang terjadi pada elektroda, semakin kecil nilai ERW menunjukkan minimumnya perubahan bentuk pada elektroda, sehingga akan menghasilkan ketelitian yang lebih baik dari produk yang dihasilkan. Terdapat berbagai jenis elektroda yang di gunakan dalam proses *wire-EDM* contohnya kawat tembaga, kawat kuningan, dan kawat *molybdenum*. *Molybdenum* adalah suatu logam pertama yang ditemukan oleh para ahli kimia modern. Ditemukan pada tahun 1778 oleh kimiawan Swedia Carl Wilhelm Scheele. Bahan *molybdenum* memiliki keofisien lebih tinggi daripada kawat tembaga dan

kawat kuningan dengan dapat meminimalisir tingkat kekasaran permukaan terhadap hasil dari material yang di proses dan laju pengerjaan material dapat lebih cepat daripada kawat yang lainnya.

Beberapa penelitian mengenai pengaturan parameter pemotongan pada *wire* - EDM telah dilakukan. Efendi, M. Musthonif (2010) melakukan penelitian mengenai optimasi waktu pemotongan baja HSS pada *wire* - EDM menggunakan metode taguchi dengan menggunakan rancangan percobaan matriks orthogol L8 dengan variable proses *on time*, *off time*, *supply current*, *supply voltage*, *servo refference voltage*, dan konsentrasi alumunium yang masing – masing memiliki dua level. Hasil ANOVA data yang diolah dengan respon rasio *signal to noise* menghasilkan variable proses yang signifikan adalah *off time* dan *servo refference voltage*. Himawan (2008) melakukan penelitian tentang optimasi waktu pengerjaan, *cutting width*, dan kekasaran permukaan pada benda kerja pada *wire electrical discharge machining*. Penelitian dengan benda kerja SKD - 11 tersebut menyimpulkan bahwa *ontime*, *offtime*, *servo refference voltage*, dan *servo speed* mempengaruhi waktu pengerjaan, *cutting width*, dan kekasaran permukaan dari benda kerja tersebut. Abdulkareem, Khan dan Zaid (2011) melakukan penelitian tentang pengaruh dari parameter mesin *wire* - EDM pada kekasaran permukaan *Stainles steel* dalam kondisi basah dan kering. Peneliti menggunakan benda kerja SUS 304 *stainles steel* dan dalam pemaparannya arus dan celah tegangan memiliki pengaruh yang signifikan pada kekasaran permukaan benda kerja dalam kondisi basah maupun kering.

Berdasarkan pemaparan diatas maka akan dilaksanakan penelitian untuk mendapatkan setting variable arus, kecepatan kawat, dan *interpulse* yang tepat untuk perhitungan ERW pada penggunaan *wire* - EDM. Dengan benda kerja yang akan dipotong dengan proses EDM *wire* - cut ini terbuat dari material SLD dan elektroda yang digunakan adalah elektroda jenis *molybdenum* dengan diameter 0,18 mm. Hasil pengerjaan dalam hal ini adalah memiliki nilai ERW (*Electrode Relative Wear*) yang terkecil untuk ketelitian yang lebih baik pada proses *wire*-EDM.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Apakah ERW berpengaruh secara signifikan terhadap proses *wire*-EDM dengan menggunakan variabel arus, kecepatan kawat, dan *interpulse* ?
2. Apakah dengan perhitungan ERW pada proses permesinan *Wire*-EDM dapat menunjukkan ketelitian yang lebih baik ?

1.3 Batasan masalah

Adapun batasan masalah yang diterapkan untuk memudahkan analisa pada penelitian iniantara lain :

1. Karakteristik yang ditinjau pada penelitian ini adalah *Electrode Relative Wear*.
2. Benda kerja yang digunakan adalah baja SLD.
3. Mesin yang digunakan adalah mesin *wire* – EDM DK7740 .
4. Analisis pengujian data menggunakan metode Taguchi.
5. Elektroda yang digunakan adalah *molybdenum* Ø 0,18 mm.
6. Cairan dielektrik yang digunakan adalah *dromus*.
7. Peneliti tidak membahas tentang komponen dan biaya pada proses permesinan.
8. Peneliti dibatasi oleh tiga variabel bebas yaitu arus, kecepatan pemakanan, dan *interpulse*.
9. Peneliti hanya skala laboratorium dan tidak berdasarkan pada produk suatu pabrik.
10. Faktor faktor lain diluar penelitian diasumsikan konstan.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan penelitian kali ini adalah :

1. Untuk mengetahui seberapa signifikannya pengaruh variable proses arus, kecepatan kawat, dan *interpulse* terhadap pemakanan elektroda pada proses *wire* – EDM melalui perhitungan ERW.
2. Untuk mengetahui nilai ERW yang sebaik mungkin pada proses *wire*-EDM.

1.4.2 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Dapat mengetahui pengaruh parameter (arus, kecepatan kawat, dan *interpulse*) terhadap nilai ERW.
2. Dapat mengotimalkan parameter (arus, kecepatan kawat, dan *interpulse*) agar menghasilkan ERW sebaik mungkin pada proses *wire* - EDM.
3. Memberikan informasi baru tentang nilai ERW yang dapat dicapai.

1.5 Hipotesa

Hipotesa penelitian ini adalah semakin tinggi nilai kecepatan kawat menyebabkan laju pemakanan elektroda meningkat. Hal ini disebabkan loncatan elektroda dan benda kerja menyebabkan terjadinya penyusutan atau pengurangan lapisan elektroda akibat nilai kecepatan kawat. Dan untuk nilai arus yang tinggi akan menyebabkan laju keausan elektroda yang rendah, hal ini dikarenakan nilai tinggi arus menjadikan titik leleh benda kerja semakin cepat sehingga pemakanan yang terjadi pada elektroda akan semakin kecil. Sedangkan untuk nilai *interpulse* tidak akan terlalu berpengaruh signifikan karena *interpulse* pemberhentian yang cukup lama saat terjadinya loncatan bunga api sehingga elektroda tidak melakukan pengerjaan terhadap benda kerja.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Permesinan EDM (*Electrical Discharge Machining*)

Pada era sekarang ini proses permesinan sudah amatlah maju dilengkapi dengan teknologi-teknologi yang canggih. Proses permesinan dibagi,

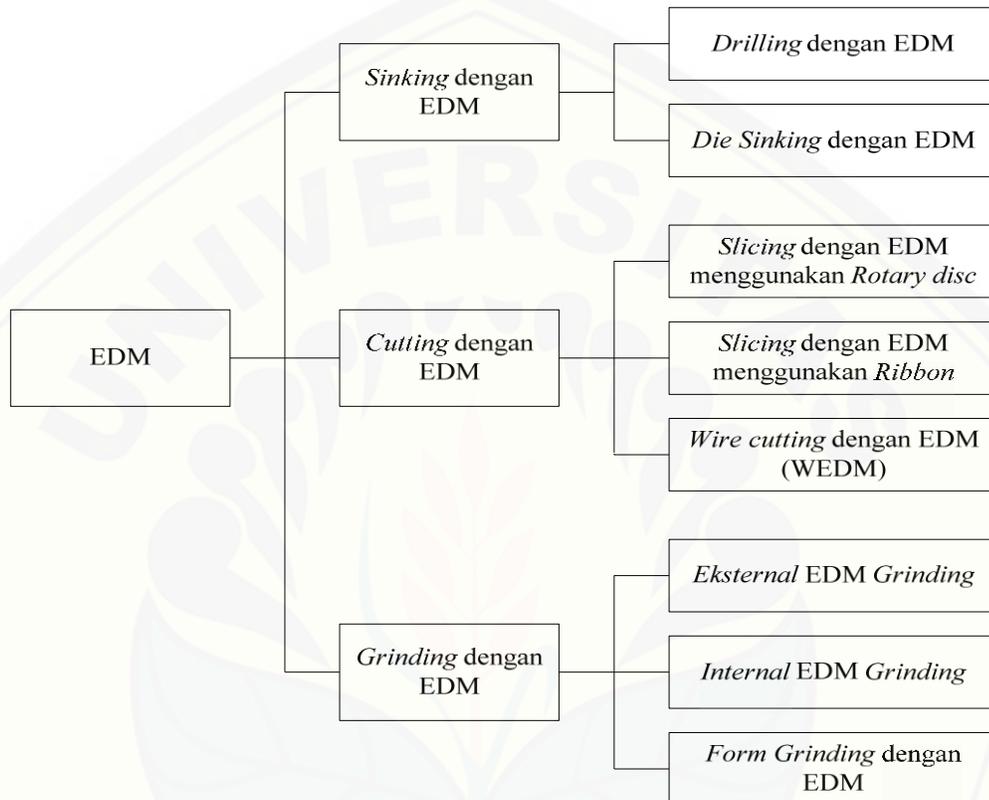
1. Proses konvensional, Proses pemotongan material menggunakan pahat, proses konvensional memang lebih murah tapi jika dihadapkan untuk pemotongan dengan material logam dengan kekuatan, kekasaran dan keuletan tinggi akan mengalami kesulitan.
2. Proses non-konvensional, dimana proses pemotongan material sudah tidak menggunakan pahat melainkan energi.

Lahirnya proses non-konvensional didorong oleh kebutuhan proses permesinan yang tidak bisa dicapai dengan proses permesinan konvensional. Proses tersebut antara lain,

1. Pemotongan material dengan sifat-sifat, memiliki kekuatan tinggi, kekasaran tinggi, keuletan tinggi dan lain-lain.
2. Pemotongan dengan bentuk geometri yang ireguler atau kompleks, misalnya pembuatan roda gigi dalam, pembuatan model radius-radius kecil dan lain sebagainya.
3. Menghindari cacat yang diakibatkan oleh pahat pada proses permesinan konvensional.

Secara umum berdasarkan energi yang digunakan, proses non-konvensional dibagi menjadi empat jenis, mekanik, elektrik, kimia dan termal. EDM termasuk material pada mesin EDM terjadi oleh sejumlah loncatan bunga api listrik pada celah

diantara katoda (benda kerja) dengan anoda (elektroda). Proses permesinan EDM didasarkan pada melting temperatur bukan kekerasan sehingga mesin ini mampu memotong material yang keras sekalipun.



Gambar 2.1 Klasifikasi proses pemesinan EDM (Pandey dan Shan, 1980)

Secara garis besar proses permesinan EDM dapat dijelaskan dari diagram diatas. Dimana dari diagram diatas proses wirecut termasuk dalam klasifikasi EDM sebagai proses pemotongan.

Beberapa keunggulan dari proses permesinan EDM adalah sebagai berikut (Wanda Saputra,dkk) :

1. Dapat membuat bentuk kompleks yang kemungkinan sukar dilakukan dengan mesin konvensional.

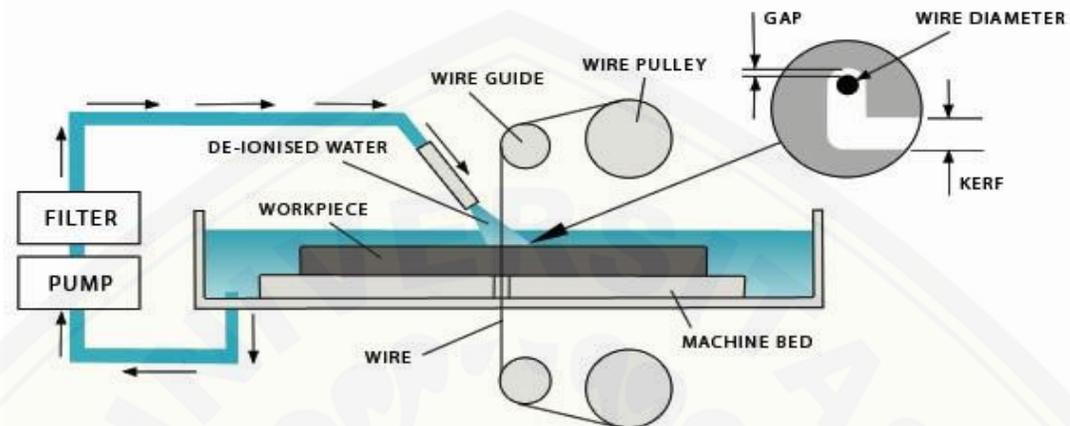
2. Dapat mengerjakan material benda kerja yang keras dengan tingkat kepresisian tinggi.
3. Dapat mengerjakan bagian bentuk yang sangat kecil sekalipun, tanpa cemas bagian tersebut ikut terpotong.
4. Tidak ada kontak langsung antara alat dan benda kerja sehingga tidak timbul distorsi pada pemakanan.
5. Dapat membuat kehalusan permukaan benda kerja dengan baik.
6. Lubang dapat dibuat secara mudah, tepat dan baik.

2.2 Wirecut (Wire EDM)

Pada mesin dengan menggunakan kabel listrik (*Wire Electrical Discharge Machining/ WEDM*), atau *wire-cut EDM*, sebuah kabel logam biasanya terbuat dari kuningan, dihubungkan ke logam yang di olah. Kabel yang berasal dari cekam diletakkan diantara guide atas dan bawah. *Guidenya* berpindah pada garis xy. Biasanya ini akan menjadi CNC dan hampir semua modern, *upper* guide-nya dapat juga berpindah dan menaikkan kemampuan mesin dalam pemotongan arus dan transisi (lingkaran pada bagian bawah dan persegi pada bagian atas). Hal ini memungkinkan arus EDM untuk diprogram untuk memotong arus yang tak beraturan dan juga yang beraturan. *Wire-cut* menggunakan air sebagai pengantar arusnya dengan penghambat air dan partikel-partikel elektrik lain yang dikontrol oleh penyaring (*filters*) dan unit *de-ionizer* (Wirawan Subondo, 2008).

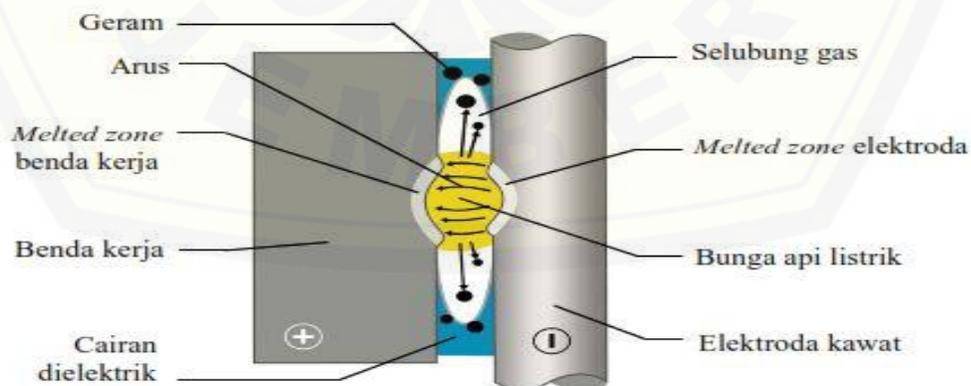
Proses pemesinan WEDM pada dasarnya sama dengan proses pemesinan EDM, tetapi proses WEDM menggunakan elektroda berupa kawat dengan ukuran diameter tertentu. Pada umumnya, kawat elektroda dihubungkan pada kutub negatif dan benda kerja dihubungkan pada kutub positif. Pada WEDM, proses pemotongan benda kerja dilakukan oleh sejumlah loncatan bunga api listrik yang terjadi diantara celah benda kerja dan kawat elektroda. Bunga api listrik akan meloncat dari kawat elektroda yang merupakan kutub negatif menuju benda kerja yang merupakan

kutub positif. Bunga api listrik tersebut terjadi secara periodik terhadap waktu. Prinsip dasar proses WEDM ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skema proses pemesinan WEDM (Nourbakhsh, 2012)

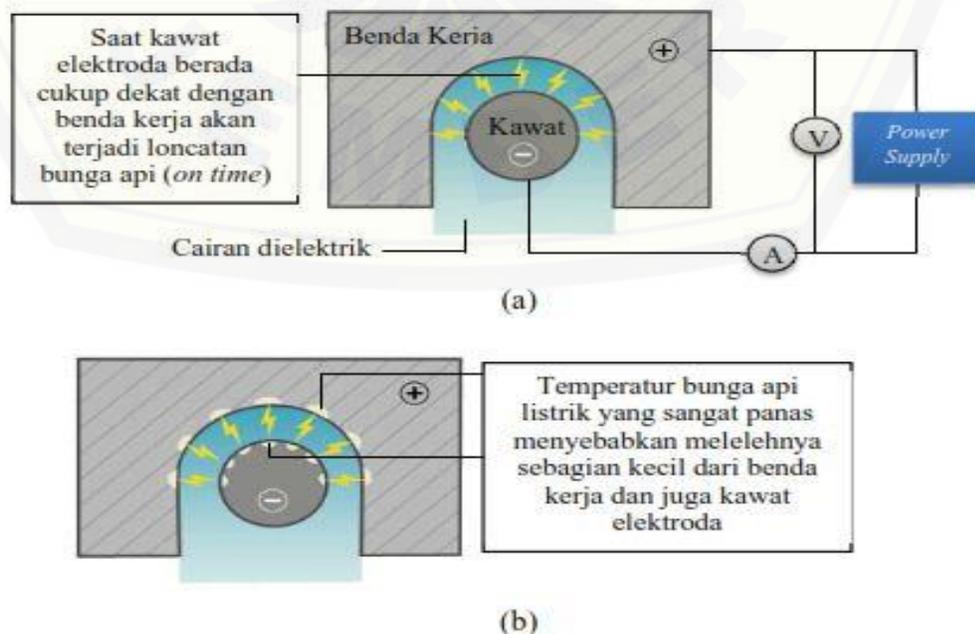
Pembentukan bunga api listrik pada proses WEDM diawali dengan pengisian beda potensial antara elektroda dan benda kerja. Pada kondisi ini tidak ada arus listrik yang mengalir. Beda potensial yang terjadi diantara benda kerja dan elektroda menyebabkan terjadinya medan listrik. Hal tersebut akan menyebabkan munculnya pergerakan ion positif dan elektron menuju kutub yang berlawanan. Dengan demikian terbentuklah saluran ion yang bersifat konduktif. Proses pembentukan bunga api listrik pada proses WEDM ditunjukkan pada Gambar 2.3.

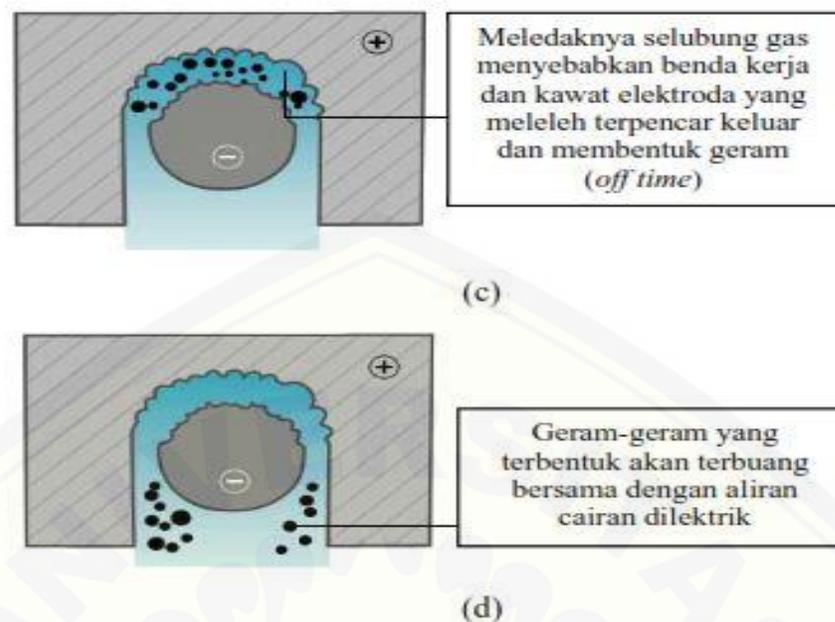


Gambar 2.3 Proses pembentukan bunga api pada WEDM (Kunieda dkk.,2005)

2.2.1 Prinsip Kerja Wire-EDM

Proses pemotongan pada *wirecut* dapat diuraikan sebagai berikut, setiap loncatan bunga api listrik berenergi tinggi akan menumbuk benda kerja. Hal ini akan menyebabkan perubahan energi listrik menjadi energi panas, sehingga permukaan benda kerja dan elektroda kawat akan mengalami kenaikan suhu yang tinggi kurang lebih 8000°C - 12000°C . Panas tersebut cukup untuk membuat benda kerja maupun elektroda kawat meleleh dan mengakibatkan terjadinya penguapan. Penguapan tersebut akan menimbulkan gelembung udara yang akan terus menguap dan mengembang sesuai dengan kenaikan suhu yang terjadi. Pelelehan dan penguapan pada benda kerja jauh lebih tinggi bila dibandingkan dengan pelelehan maupun penguapan pada elektroda kawat. Setelah terjadi loncatan bunga api listrik, maka aliran listrik berhenti sesaat (*OFF Time period*), sehingga menyebabkan penurunan temperature secara signifikan yang disebabkan oleh cairan dielektrik. Hal ini menyebabkan lelehan material benda kerja maupun lelehan elektroda kawat membeku dengan cepat dan gelembung uap meledak, sehingga terpecah keluar dari permukaan dan meninggalkan bekas yang berupa kawah-kawah halus pada permukaan material. Hasil pembekuan tadi dibawa keluar oleh cairan dielektrik. Secara sederhana pemotongan pada proses *wire-EDM* diilustrasikan oleh gambar 2.4





Gambar 2.4 mekanisme pemotongan benda kerja pada proses WEDM

Gambar 2.4 mekanisme pemotongan benda kerja pada proses WEDM : a) proses loncatan bunga api dari kawat elektroda ke benda kerja pada saat *on time*, b) proses pelelehan benda kerja dan elektroda akibat temperatur bunga api, c) proses terbentuknya geram pada saat *off time*, d) proses pembuangan geram oleh cairan dielektrik (sommer .,2005)

2.2.2 Bagian-Bagian *Wire-EDM*

Bagian-bagian dari *Wire-EDM* terdiri dari 4 komponen utama yaitu (Dian Kurniasih, 2009) :

1) *Servomekanism*

Servomekanism dari *WEDM* berfungsi untuk mengatur tingkat arus yang digunakan dalam pemotongan, kecepatan motor penggerak meja benda kerja, kecepatan kawat dan secara otomatis mengatur jarak antara kawat dan benda kerja agar jarak tersebut konstan selama proses permesinan berlangsung, sehingga kawat tidak menyentuh benda kerja, hal ini sangat penting, karena apabila kawat menyentuh benda kerja akan terjadi hubungan singkat yang dapat menyebabkan kerusakan terhadap benda kerja dan kawat putus.

Penentuan level dari kecepatan motor penggerak, kecepatan kawat, jarak antara kawat dan benda kerja yang tepat (presisi) sangat menentukan keberhasilan suatu proses permesinan. Jika jarak antara kawat dan benda kerja terlalu lebar, maka cairan dielektrik tidak dapat berubah menjadi gas dan bunga api tidak mencapai benda kerja sehingga terjadi proses pemakanan material, jika jaraknya terlalu sempit, kawat dapat menyentuh benda kerja menyebabkan hubungan singkat dan kawat putus.

2) *The electric fluid*

Cairan dielektrik yang digunakan biasanya adalah *deionized water*. Kadar ionisasi air memerlukan tingkat hambatan dari cairan dielektrik. Dalam kebanyakan proses, semakin rendah tingkat hambatan dari cairan dielektrik semakin cepat proses pemotongan material benda kerja, tetapi bagaimanapun juga, tingkat hambatan dari cairan dielektrik sebaiknya relatif tinggi apabila benda kerja yang dipotong terbuat dari bahan karbida atau grafit.

Cairan dielektrik memiliki beberapa fungsi :

1. Menghubungkan bunga api dari kawat ke benda kerja.
2. Sebagai isolator (penyekat) antara kawat dan benda kerja.
3. Membilas partikel yang dihasilkan proses pemakanan material dari celah antara kawat dan benda kerja agar terhindar dari hubungan singkat.
4. Sebagai pendingin untuk kawat dan benda kerja.

5. *Electrode (Wire)*

Elektroda dalam hal ini merupakan kawat secara kontinyu bergerak tergulung dari gulungan penyuplai ke gulungan penarik, sehingga kawat yang berada di depan area benda kerja yang akan di potong selalu baru. Dengan sistem gerakan kawat ini,

tingkat kecepatan potong akan menjadi tinggi. Ketahanan kawat dan tingkat kecepatan pemakanan material tergantung faktor-faktor seperti sifat kelistrikan, konduktifitas panas kawat dan material, titik leleh, selang waktu dan tingkat energy pulsa yang di berikan. Oleh karena itu material dari elektroda sebaiknya memiliki karakteristik sebagai berikut :

1. Memiliki konduktor yang baik.
2. Memiliki titik leleh yang tinggi.
3. Memiliki kekuatan tarik yang tinggi.
4. Memiliki konduktifitas panas tinggi.
5. Dapat menghasilkan pemakanan material yang efisien.
6. *Machine Control Unit*

Machine Control Unit dibagi 3 yaitu :

- a. Panel kontrol ntuk mengatur kondisi pemotongan (*Servo Mechanism*).
- b. Panel kontrol untuk mengatur perintah-perintah pemotongan agar menghasilkan bentuk produk sesuai dengan yang diinginkan.
- c. Panel kontrol untuk memasukkan data secara manual dan sebuah layar monitor.

2.2.3 Parameter Proses *Wire-EDM*

Parameter-parameter pada proses pemesinan WEDM menurut *Instruction Manual Book Wirecut EDM CHMER CW G32F* adalah sebagai berikut :

1) *Open voltage* (OV)

Open voltage adalah variabel yang mengatur besarnya tegangan antara benda kerja dan kawat elektroda selama proses pemesinan

2) *Low power* (LP)

Low power merupakan variabel yang mengatur jenis sumber energi pemotongan (AC atau DC) dan besarnya energi tersebut.

3) *On time* (ON) dan *off time* (OFF)

On time adalah waktu terjadinya loncatan bunga api berlangsung, sedangkan *off time* adalah jeda waktu antara loncatan bunga api. Pada saat *off time* tidak terjadi loncatan bunga api sehingga memungkinkan terjadinya pembilasan geram oleh cairan dielektrik. Nilai *off time* yang rendah dapat mempercepat proses pemotongan tetapi dapat menyebabkan kawat elektroda putus.

4) *Arc on time* (AN) dan *arc off time* (AFF)

Arc on time adalah variabel yang mengatur besarnya arus tambahan, sedangkan *arc off time* adalah variabel yang mengatur frekuensi arus tambahan tersebut.

5) *Servo voltage* (SV)

Servo voltage adalah variabel yang digunakan untuk menentukan respon kecepatan pemakanan sesuai dengan kondisi pemotongan. Semakin kecil SV semakin cepat proses pemotongan tetapi *gap* akan semakin kecil yang dapat menyebabkan *short circuit*. Dengan kata lain SV berfungsi untuk menjaga seberapa besar *gap* agar tidak terjadi *short circuit*.

6) *Feedrate override* (FR)

Feedrate override adalah faktor yang digunakan untuk menyesuaikan kecepatan pemakanan yang digunakan.

7) *Wire feed* (WF)

Wire feed adalah variabel yang digunakan untuk mengatur kecepatan pemakanan kawat elektroda.

8) *Wire tension* (WT)

Wire tension adalah variabel yang digunakan untuk mengatur ketegangan kawat elektroda.

9) *Water flow* (WL)

Water flow adalah variabel yang digunakan untuk mengatur tekanan *flushing* dari *upper* dan *lower nozzle*.

10) *Feedrate mode* (FM) dan *feedrate* (F)

Feedrate mode adalah variabel yang digunakan untuk memilih kecepatan pemakanan *servo* atau kecepatan pemakanan konstan, sedangkan *feedrate* adalah variabel yang digunakan untuk menentukan besarnya kecepatan pemakanan yang konstan.

2.2.4 Jenis-Jenis Kawat Elektroda

Pemilihan jenis kawat pada dasarnya tergantung pada sifat fisis dan mekanis dari benda kerja. Kawat elektroda yang ideal harus memiliki karakteristik seperti konduktivitas listrik yang baik dan kekuatan tarik yang tinggi. Jenis-jenis kawat elektroda yang biasa digunakan adalah (Guitrau,1997):

1. Elektroda kawat tembaga

Elektroda kawat tembaga merupakan kawat yang digunakan pertama kali pada proses WEDM. Kawat elektroda ini memiliki beberapa kekurangan yaitu memiliki kekuatan tarik yang rendah dan sangat mudah menyerap panas pada proses pemotongan sehingga kawat ini sangat mudah putus.

2. Elektroda kawat kuningan

Elektroda kawat kuningan merupakan paduan dari tembaga (Cu) dan seng (Zn). Pada umumnya, kawat ini memiliki presentase Zn yang tinggi sehingga baik untuk proses pemesinan WEDM. Kelebihan dari elektroda kawat kuningan ini adalah mempunyai kekuatan tarik yang tinggi dibandingkan dengan kekuatan tarik elektroda kawat tembaga.

3. Elektroda kawat berlapis

Banyak kawat elektroda khusus yang digunakan untuk mengerjakan benda kerja dengan karakteristik tertentu, diantaranya:

a. *Zinc coated brass wire*

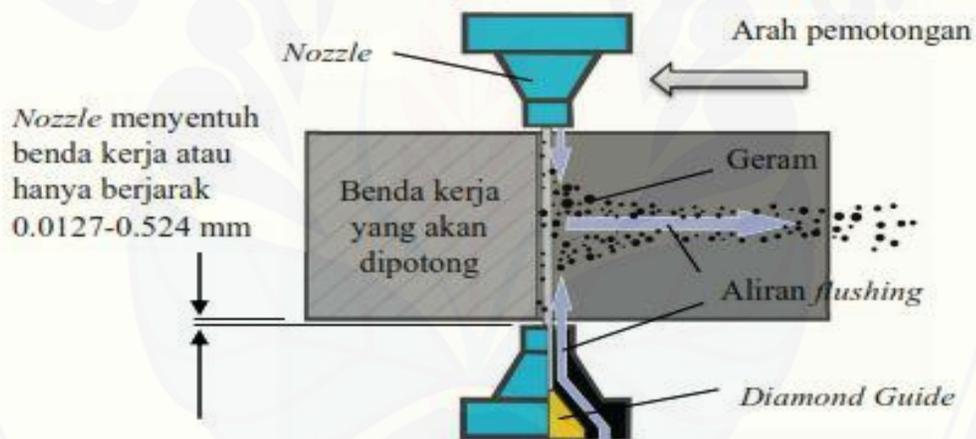
Zinc coated brass wire adalah kawat yang terbuat dari kuningan dan dilapisi oleh seng (Zn). Kawat elektroda ini cocok untuk proses pemesinan dengan kecepatan pemotongan yang tinggi dan benda kerja yang tebal.

b. *Zinc coated copper wire*

Zinc coated copper wire adalah kawat yang terbuat dari tembaga (Cu) dan dilapisi oleh seng (Zn). Kawat elektroda ini cocok untuk proses pemesinan berbagai jenis material, termasuk karbida.

2.2.5 Metode *Flushing* (Pembilasan Geram)

Pembilasan geram (*flushing*) adalah pembuangan geram yang dihasilkan saat proses pemesinan pada WEDM. Proses ini dilakukan oleh cairan dielektrik yang mengalir dari dua buah *nozzle* atau lebih yang berada di bagian atas dan bawah benda kerja. Pembilasan geram yang tidak sempurna akan menyebabkan terjadinya penimbunan geram yang dihasilkan. Penimbunan geram tersebut akan menyebabkan loncatan bunga api menjadi tidak teratur sehingga dapat menyebabkan kawat elektroda putus. Proses *flushing* pada pemesinan WEDM ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 proses *flushing* pada permesinan WEDM (port, 1922)

2.3 Uji Asumsi Residual

Residual ialah selisih antara nilai pengamatan dan nilai asumsi $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$. Di analisis regresi, asumsi residual bersifat bebas satu sama lain (independen), dengan rata-rata sama dengan nol dan variasi konstan σ^2 (identik), serta terdistribusi normal atau $E_i \sim \text{IIDN}(0, \sigma^2)$ (Purnomo, 2015). Asumsi tersebut dibuktikan terpenihi atau tidak.

a. Identik

Uji identik disebut juga uji homogenitas. Asumsi pengujian ini dilakukan secara visual yaitu dengan plot antara *fitted value* dengan residual. Asumsi terpenuhi jika titik datanya acak, dan tidak membentuk pola tertentu.

b. Terdistribusi normal

Pengujian ini menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov*. Asumsi terpenuhi jika data menunjukkan bentuk suatu persamaan linear yang masih berada pada garis normal.

c. *Independent*

Auto Correlation Function (ACF) digunakan dalam pengujian ini. Dengan interval kepercayaan 95%, asumsi pengujian ini terpenuhi jika ACF plot berada pada daerah $\pm 2/\sqrt{n}$.

2.4 Desain Eksperimen

2.4.1 Metode Taghuchi

Pada tahun 1940, Dr. Genichi Taguchi memperkenalkan metode taguchi yang merupakan metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses, serta bertujuan menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin (Wihardi, 2016). Metode taguchi berupaya mencapai sasaran tersebut dengan menjadikan produk dan proses tidak sensitif terhadap berbagai faktor gangguan (*noise*), seperti material, perlengkapan manufaktur, tenaga kerja manusia dan kondisi-kondisi operasionalan (Sudjanto, 2009). Metode taguchi menjadikan produk dan proses memiliki sifat *robust* terhadap faktor-faktor gangguan tersebut. Oleh karena itu, metode taguchi juga disebut *robust design* (Purnomo, 2015). Beberapa tahapan dalam metode taguchi (Soejanto, 2009):

a. Tahap Perencanaan Eksperimen

Perencanaan eksperimen terdiri dari perumusan masalah, tujuan eksperimen, penentuan variabel tak bebas, identifikasi faktor faktor (variabel bebas),

pemisahan faktor kontrol dan faktor gangguan, penentuan jumlah level dan nilai level faktor, letak kolom interaksi, derajat kebebasan, dan matriks ortogonal.

1) Perumusan Masalah

Langkah awal ialah merumuskan masalah yang akan diselidiki dalam eksperimen. Perumusan masalah harus spesifik dengan eksperimen yang akan dilakukan.

2) Tujuan Eksperimen

Tujuan eksperimen harus bisa menjawab apa yang dinyatakan pada perumusan masalah.

3) Penentuan Variabel Tak Bebas

Variabel tak bebas adalah variabel yang tergantung pada perubahan variabel lain. Ada tiga karakteristik variabel tak bebas dalam metode taguchi:

i. Karakteristik dapat diukur

Hasil yang diamati dapat diukur dengan skala kontinyu.

ii. Karakteristik atribut

Hasil yang diamati tidak dapat diukur secara kontinyu tetapi diklasifikasikan secara kelompok.

iii. Karakteristik dinamik

Proses yang diamati digambarkan sebagai *signal* dan *output* digambarkan sebagai hasil dari *signal*.

4) Identifikasi Faktor Faktor (Variabel Bebas)

Variabel bebas adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung oleh variabel lain. Tahap ini memilih variabel variabel mana saja yang akan diselidiki pengaruhnya terhadap variabel tak bebas. Dalam suatu eksperimen tidak semuanya variabel variabel bebas yang diselidiki, hanya variabel yang dianggap penting saja.

5) Pemisahan Faktor Kontrol Dan Faktor Gangguan

Faktor kontrol adalah faktor yang nilainya dapat dikendalikan sedangkan faktor gangguan adalah faktor yang nilainya tidak bisa dikendalikan.

6) Penentuan Jumlah Level Dan Nilai Level Faktor

Pemilihan jumlah level untuk ketelitian hasil eksperimen dan biaya pelaksanaan eksperimen.

7) Derajat Kebebasan

Tahap ini dilakukan untuk menghitung jumlah minimum eksperimen yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati.

8) Matriks Ortogonal

Pemilihan matriks ortogonal tergantung pada nilai faktor dan interaksi yang diharapkan dan nilai level dari tiap faktor. Hal tersebut untuk menentukan jenis matriks ortogonal yang dipilih. Matriks ortogonal dilambangkan dalam bentuk:

$$L_a(b^c) \quad (2.1)$$

dengan:

L = rancangan bujur sangkar latin

a = banyaknya percobaan

b = banyaknya level variabel proses

c = banyaknya variabel proses

Matriks ortogonal $L_9 (3^3)$ adalah salah satu contoh matriks ortogonal standar. Matriks ortogonal $L_9 (3^3)$ ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Matriks ortogonal L9 (3^3)

Kombinasi	Kolom variabel proses		
	A	B	C
1	-1	-1	-1
2	-1	0	0
3	-1	1	1
4	0	-1	0
5	0	0	1
6	0	1	-1
7	1	-1	0
8	1	0	-1
9	1	1	1

b. Tahap Pelaksanaan Eksperimen

Pelaksanaan eksperimen terdiri dari penentuan jumlah replikasi dan randomisasi pelaksanaan eksperimen.

1) Jumlah Replikasi

Replikasi adalah pengulangan suatu eksperimen dengan perlakuan yang sama untuk memperoleh ketelitian yang tinggi, mengurangi tingkat kesalahan serta memperoleh harga taksiran kesalahan.

2) Randomisasi

Dalam eksperimen ada juga faktor lain yang tidak diinginkan atau tidak terkendali yang mempengaruhi hasil eksperimen. Pengaruh tersebut diperkecil dengan menyebarkan pengaruh tersebut melalui randomisasi urutan percobaan. Tujuan randomisasi ialah meratakan pengaruh faktor faktor yang tidak dapat dikendalikan dan diharapkan ada kehomogenan pengaruh dari setiap perlakuan yang sama serta mendapatkan hasil pengamatan yang bebas. Jika replikasi bertujuan untuk memungkinkan dilakukan uji signifikan maka randomisasi bertujuan menjadikan uji tersebut valid.

c. Tahap Analisa

Tahap ini dilakukan pengumpulan dan pengolahan data yaitu meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu layout tertentu. Selain itu dilakukan perhitungan dengan statistik pada data hasil eksperimen.

1) Analisis Varians Taguchi

Analisis varian adalah teknik yang digunakan untuk menganalisis data yang telah disusun dalam perencanaan eksperimen secara statistik. Analisis dilakukan dengan menguraikan seluruh variansi atas bagian bagian yang diteliti. Anal

isis varians membantu mengidentifikasi kontribusi faktor agar akurasi perkiraan model dapat ditentukan. Analisis varians dilakukan berdasarkan perhitungan jumlah kuadrat masing masing kolom untuk suatu matrik ortogonal. Analisis varians dua arah ialah data eksperimen yang terdiri dari dua faktor atau lebih dan dua level atau lebih yang digunakan untuk menganalisis data. Berikut ialah tabel dari analisis varian:

Tabel 2.2 Tabel analisis Varian (Walpole dkk, 2012)

Sumber variasi	Sum of square	Degree of freedom (df)	Mean square (MS)	Fratio (f0)
Variabel proses A	$SSA = nA \sum_{i=1}^n (A1 - \bar{y})^2$	kA-1	$MSA = \frac{SSA}{VA}$	$\frac{MSA}{MSE}$
Variabel proses B	$SSB = nB \sum_{i=1}^n (B1 - \bar{y})^2$	kB-1	$MSB = \frac{SSB}{VB}$	$\frac{MSB}{MSE}$
Variabel proses C	$SSC = nC \sum_{i=1}^n (C1 - \bar{y})^2$	kC-1	$MSc = \frac{SSC}{VC}$	$\frac{MSC}{MSE}$
Residual	SST-SSA-SSB-SSC	dfT-dfA-dfB-dfC	$MSE = \frac{SSE}{VE}$	
Total	$SST = \sum_{i=1}^n (y1 - \bar{y})^2$	N-1		

Dengan:

SS = *Sum of Square* (jumlah kuadrat)

MS = *Mean of Square* (kuadrat tengah)

kA = jumlah level untuk faktor A

kB = jumlah level untuk faktor B

kC = jumlah level untuk faktor C

nA = jumlah replikasi variabel proses A

nB = jumlah replikasi variabel proses B

nC = jumlah replikasi variabel proses C

\bar{y} = rata rata total

N = jumlah total percobaan

2) Uji F

Uji distribusi F dilakukan dengan cara membandingkan variasi yang disebabkan masing-masing faktor dan variansi error. Variansi error adalah variasi setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan. Dalam hal ini:

$$F_{hitung} = \frac{\text{variasi karena perlakuan} + \text{variasi karena error}}{\text{variasi karena error}}$$

Nilai F_{hitung} tersebut dibandingkan dengan nilai F dari tabel pada harga α tertentu dengan derajat kebebasan $\{(k-1).(N-k)\}$. Di mana k adalah jumlah level faktor dan N adalah jumlah total perlakuan.

Hipotesa pengujian dalam percobaan adalah:

H_0 : tidak ada pengaruh perlakuan, sehingga $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_i = \mu_k$

H_1 : ada pengaruh perlakuan, sehingga sedikit ada satu μ_1 yang tidak sama

Apabila nilai F_{hitung} lebih kecil nilai F_{tabel} , maka hipotesa (H_0) diterima atau berarti tidak ada perlakuan. Namun jika nilai F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel} maka hipotesa (H_0) ditolak dan berarti ada perbedaan perlakuan.

3) Rasio S/N

Rasio S/N (*signal to noise ratio*) digunakan untuk memilih faktor yang memiliki kontribusi dalam mengurangi variansi suatu respon. Rasio S/N dapat mengetahui faktor mana yang berpengaruh pada hasil eksperimen. Beberapa tipe rasio S/N terdiri dari:

i. Semakin kecil, semakin baik

Karakteristik respon dengan nilai yang mendekati 0 adalah nilai yang diinginkan.

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right) \quad (2.2)$$

Dengan :

N = jumlah data

i = data respon pengukuran

ii. Tertuju pada nilai tertentu

Karakter respon dengan nilai yang sudah ditentukan.

$$S/N = -10 \log V_e \quad (2.3)$$

$$S/N = -10 \log \left(\frac{V_m - V_e}{n V_e} \right) \quad (2.4)$$

iii. Semakin besar, semakin baik

Karakter respon dengan nilai yang semakin besar (tak terbatas) adalah nilai yang diinginkan.

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right) \quad (2.5)$$

2.4.2 Optimasi Taguchi

Optimasi taguchi bertujuan untuk memperoleh output yang berkualitas dan konsisten dari hasil pencarian faktor yang berpengaruh dan level dari faktor utama. Metode ini dilakukan dengan mencari *rasio signal to noise* (S/N) dengan kombinasi faktor yang menghasilkan respon optimum. Pemodelan respon optimum adalah sebagai berikut (Agdianto, 2012):

$$\mu \text{ prediksi} = Y + (A-Y) + (B-Y) + (C-Y) \quad (2.6)$$

Dimana : Y = rata-rata pengukuran

A, B, C = faktor yang berpengaruh

2.4.3 Interval Kepercayaan

Interval kepercayaan merupakan nilai maksimum dan minimum dimana diharapkan nilai rata-rata sebenarnya akan tercakup dengan beberapa presentase kepercayaan tertentu (Sudjono, 2009). Ada tiga jenis interval kepercayaan yaitu sebagai berikut :

1. Interval kepercayaan untuk level faktor
2. Interval kepercayaan untuk perkiraan rata-rata
3. Interval kepercayaan untuk eksperimen konfirmasi

Interval kepercayaan untuk perkiraan rata-rata proses optimum dirumuskan sebagai berikut :

$$CI = \pm \sqrt{F_{\alpha, (1, v_e)} MSe \frac{1}{n_{eff}}} \quad (2.7)$$

Dimana : CI = interval kepercayaan

$F_{\alpha, (1, v_e)}$ = harga derajat kebebasan

n_{eff} = jumlah pengamatan efektif

$$= \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan}}$$

n_{eff} dalam persamaan diatas harus mencakup derajat kebebasan yang digunakan untuk menghitung rata-rata proses optimum dan tidak tergantung level faktor. Interval kepercayaan untuk rata-rata proses optimum ini adalah :

$$\mu_{Prediksi} - CI \leq \mu_{Prediksi} \leq \mu_{Prediksi} + CI \quad (2.8)$$

2.4.4 Persen Kontribusi

Sebuah fungsi dari jumlah kuadrat (*sum of square*) untuk setiap faktor yang signifikan merupakan persentase kontribusi (Mayasari dkk, 2014). Besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing faktor terhadap respon dapat diketahui dengan menghitung *pure sum of square* (SS').

$$SS'_A = SSA - (df_A \cdot MS_{Res}) \quad (2.9)$$

Selanjutnya persen kontribusi dihitung menggunakan rumus:

$$P_A = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\% \quad (2.10)$$

Dengan :

SS'_A = Jumlah kuadrat murni faktor A

SS_A = Jumlah kuadrat faktor A

df_A = Derajat kebebasan faktor A

MS_{Res} = Mean squares error

P_A = Persen kontribusi

SS_T = Jumlah kuadrat total

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian ini dilakukan di CV Catur Prasetya Packindo. Sedangkan pengujian (ERW) *Electrode Relative Wear* dilakukan di Laboratorium Desain dan Uji Bahan Fakultas Teknik Universitas Jember.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

a. Mesin *Wire* - EDM

Mesin *wire* - EDM yang digunakan pada penelitian ini adalah DK7740 tipe 32GF seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1, sedangkan spesifikasi mesin tersebut bisa dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3.1 mesin *wire* – EDM DK7740

Tabel 3.1 Spesifikasi mesin – EDM DK7740

Item	Unit	DK7740
Ukuran meja kerja (l×w)	mm	410 × 710
Cnc sumbu Stroke (x×y)	mm	400 × 500
Max memotong ketebalan benda kerja	mm	400
Max pemotongan lancip		±6° / 80 mm
Max benda kerja berat	kg	450
Elektroda kawat diameter	mm	& phi ; 0.18
Posisi presisi	mm	0.02 (GB7926-2005)
Pengolahan presisi (memotong delapan - sudut prisma)	mm	0.015 (GB7926-2005)
Volume kerja kotak cair	L	50
Kekasaran permukaan mesin terbaik (beberapa cutting)	mm	Ra1.6
Max efisiensi pemotongan	mm ² / min	120
Konsumsi daya		≤2kw AC380V / 220 v 50 hz
Keseluruhan dimensi (pxlxt)	mm	1870 × 1350 × 1800
Dimensi keseluruhan dari lemari listrik (pxlxt)	mm	700 × 660 × 1850

b. Gerinda dan kertas gosok

Alat ini digunakan untuk meratakan dan menghaluskan permukaan benda kerja serta untuk membersihkan benda kerja dari kotoran yang bersifat isolator seperti cat, lilin, plastik, karat, oli, dan lain-lain.

c. Mistar ingsut

Alat ini digunakan untuk mengukur dimensi benda kerja, dan mempunyai kecermatan hingga 0,05 mm.

d. Meja rata

Meja rata digunakan untuk meletakkan benda kerja pada saat melakukan pengukuran kekasaran permukaan.

e. *Stopwatch*

Alat ini digunakan untuk mengukur waktu pemotongan benda kerja pada saat melakukan percobaan.

f. Neraca/Timbangan

Alat ini digunakan untuk mengukur massa dari benda kerja pada saat sebelum dan sesudah di lakukannya percobaan.

3.2.2 Bahan

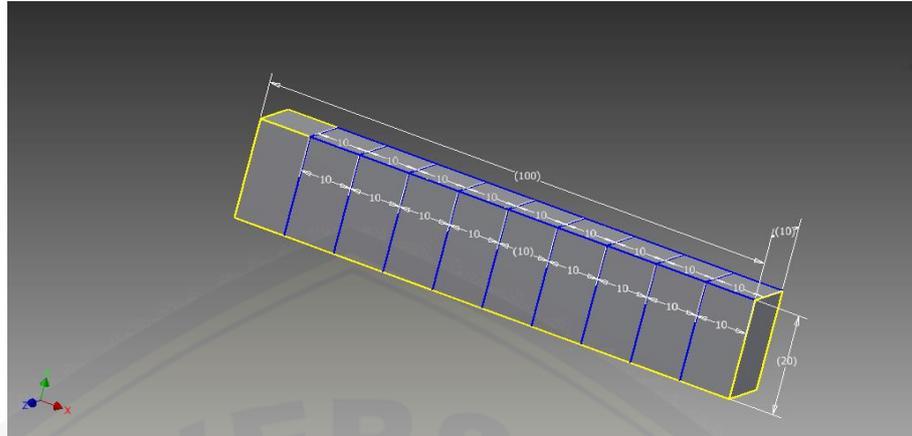
Bahan yang akan digunakan untuk penelitian ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

a. Benda kerja

Penelitian ini menggunakan material baja SLD dengan dimensi 100mm x 20mm x 10mm. Kekerasan pada baja SLD adalah 60HRC.

b. Kawat elektroda

Kawat elektroda yang digunakan pada penelitian ini adalah kawat jenis *molybdenum* $\emptyset 0,18$



Gambar 3.2 Skema proses pemotongan benda kerja

3.3 Rancangan Percobaan

3.3.1 Menentukan Variabel Proses dan Respon

Pengaturan variabel-variabel pada mesin WEDM dilakukan dengan mengacu pada buku *Wire Cut Cutting Data Manual*. Maka ditentukan variabel-variabel proses yang diduga berpengaruh terhadap kinerja proses. Variabel-variabel proses yang diteliti adalah *wire speed*, *interpulse*, dan arus. Variabel-variabel proses tersebut divariasikan untuk mengetahui interval dimana pengaruhnya terhadap variabel respon cukup signifikan. Sedangkan variabel respon yang diteliti adalah pemakaian elektroda relatif (ERW). Variabel-variabel lain yang diduga berpengaruh terhadap perubahan respon dikondisikan tetap. Penentuan level-level dari variabel-variabel proses dilakukan dengan beberapa pertimbangan, antara lain:

- Nilai masing-masing level mengacu pada buku *wire cut cutting data manual* dan jurnal serta penelitian-penelitian sebelumnya.
- Nilai pada level tersebut masih dapat digunakan pada proses pemotongan dan tidak terjadi *short circuit*. Hal ini bisa ditempuh dengan cara melakukan percobaan pendahuluan.

Berdasarkan pertimbangan di atas telah ditentukan nilai masing-masing level dari variabel-variabel proses ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.2 Variabel proses dan masing – masing level.

Variabel	Level			Unit
	Low	Medium	High	
<i>Wire speed</i>	5	6	7	mm/s
<i>Interpulse</i>	7	9	11	µs
Arus	8	10	12	Amp

3.3.2 Pelaksanaan Percobaan

1. Membersihkan benda kerja dari kototan-kotoran yang bersifat isolator yang dapat mengganggu proses pemotongan.
2. Memasang benda kerja ke meja mesin WEDM kemudian diatur kelurusannya dengan menggunakan *dial indicator*.
3. Mengatur titik referensi pemesinan pada benda kerja sesuai dengan program CNC yang telah dibuat.
4. Memasang kawat elektroda *mollybdenum* berdiameter 0,18 mm pada mesin WEDM.
5. Mengatur variabel-variabel pada mesin WEDM sesuai dengan rancangan percobaan yang telah ditetapkan.
6. Melakukan proses pemotongan berdasarkan urutan percobaan yang telah ditentukan.
7. Mencatat waktu yang dibutuhkan pada setiap proses pemotongan untuk masing-masing percobaan.
8. Melepas dan membersihkan benda kerja dari sisa cairan dielektrik yang dapat menyebabkan karat setelah proses pemotongan selesai.
9. Mengukur ERW (*Electrode Relative Wear*)
10. Pengambilan data.

3.4 Penyajian Data

Pengambilan data dari hasil variasi *wire speed*, *inter pulse*, *electric current* terhadap nilai ERW yang dihasilkan dari setiap hubungan variasi. Pengambilan data ERW telah ditentukan dengan tiga kali pengujian secara acak untuk diambil rata-ratanya. Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai *Electrode Relative Wear* :

$$ERW = \frac{EWW}{WRW} \times 100\% \quad (3.1)$$

dengan,

EWW : selisih berat elektrode sebelum dan sesudah digunakan (g)

WRW : selisih berat benda kerja sebelum dan setelah digunakan (g)

Tabel 3.3 Penyajian Data ERW

No	Wire Speed (mm/min)	Inter Pulse (μ s)	Elektric Current (Amp)	ERW (%)
1	5	7	8	
2	5	9	10	
3	5	11	12	
4	6	7	10	
5	6	9	12	
6	6	11	8	
7	7	7	12	
8	7	9	8	
9	7	11	10	

3.5 Karakteristik Respon Optimum

Karakteristik respon optimum yang dilakukan oleh metode taguchi ialah dengan memperhatikan nilai *S/N rasio* (rasio *Signal-To-Noise*). *S/N rasio* adalah suatu bilangan yang menggambarkan perbandingan antara *signal* dan *noise* dari suatu parameter kendali (Agdianto, 2012). Rasio S/N digunakan untuk memilih faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variasi suatu respon (Soejanto, 2009). Dengan menggunakan *S/N rasio*, akan diketahui level faktor mana yang berpengaruh pada hasil penelitian. *S/N rasio* yang digunakan pada penelitian ini ialah semakin kecil, semakin baik. Sehingga semakin kecil nilainya atau nilai semakin mendekati nol adalah nilai yang diinginkan. Permasalahan karakter respon ini, tidak adanya faktor skala atau faktor penyesuaian lain (Soejanto, 2009). Oleh karena itu, kerugian harus diminimalkan tanpa penyesuaian (Soejanto, 2009):

$$\text{Kerugian} = k [\text{MSD}] = (k \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n Y_i^2) \quad (3.2)$$

Meminimalkan kerugian adalah ekuivalen dengan memaksimalkan S/N, yang didefinisikan pada persamaan berikut:

$$\begin{aligned} S/N &= 10 \log_{10} [\text{MSD}] \\ S/N &= -10 \log_{10} \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right) \\ S/N &= 10 \log_{10} [a^2 + y^{-2}] \end{aligned} \quad (3.3)$$

Dengan :

N = jumlah data

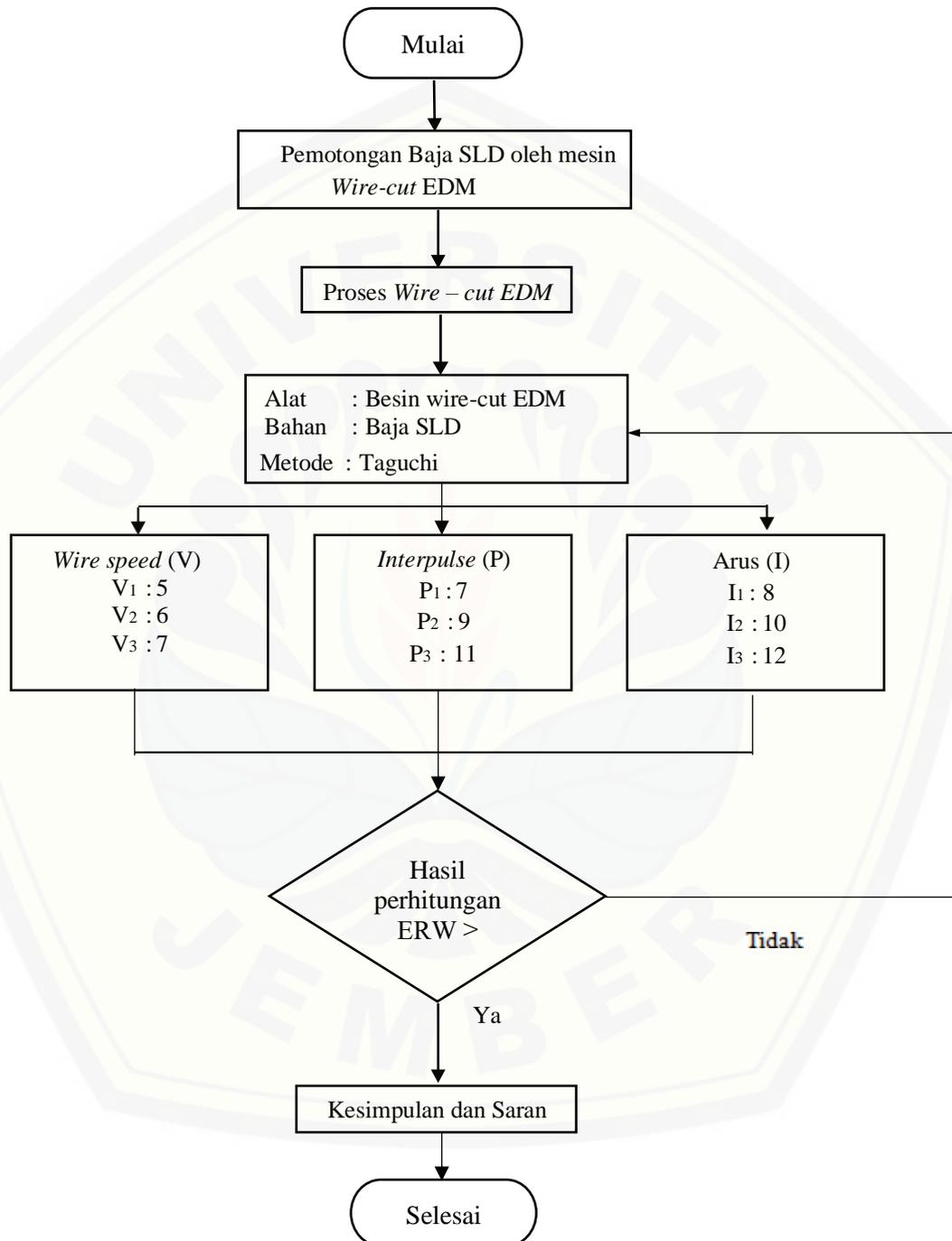
i = data respon pengukuran

3.6 Tahap Penarikan Kesimpulan

Tahap ini merupakan tahap akhir dari penelitian yaitu melakukan analisis dan interpretasi (tafsiran) terhadap hasil pengolahan data eksperimen. Dengan analisis dan interpretasi tersebut dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai jawaban atas permasalahan yang telah dirumuskan. Selain itu juga diberikan saran

yang berguna untuk penelitian selanjutnya.

3.7 Tahapan Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Alir penelitian







BAB 5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang bisa diambil dari penelitian ini ialah :

1. Variable proses yang berpengaruh signifikan terhadap pemakanan elektroda pada proses *wire*-EDM melalui perhitungan ERW ialah *wire speed* dan arus. Hal ini terbukti dengan *wire speed* mendapatkan rank 1 dan arus di rank 2 dalam perhitungan respon S/N rasio nilai ERW yang terdapat pada BAB 4. Serta variabel *interpulse* mendapatkan rank 3, menunjukkan jika *interpulse* adalah variabel yang tidak terlalu berpengaruh secara signifikan dibandingkan *wire speed* dan arus. Hal ini disebabkan karena *interpulse* ialah jeda periode tegangan. Sehingga *interpulse* tidak mempunyai kontribusi terhadap meningkatkan atau menurunkan bunga api listrik yang dihasilkan. Karena dasar pemotongan pada *wire*-EDM ialah besarnya bunga api listrik.
2. Nilai ERW yang terbaik ditunjukkan pada variabel *wire speed* 5, *interpulse* 7, dan *electric current* 8 dengan rata-rata ERW 1,89 %. Karena nilai ERW tersebut adalah nilai rata-rata ERW terkecil dibandingkan nilai ERW lainnya dari 9 percobaan dengan replikasi 3 kali penelitian yang telah dilakukan.

5.2 Saran

Pada penelitian ini hanya mempunyai satu respon yang diamati yaitu nilai ERW (*Electrode Relative Wear*). Pada penelitian selanjutnya diharapkan penggunaan multi respon lain yang berhubungan erat dengan ERW (*Electrode Relative Wear*). Serta penggunaan metode multi respon sebagai pengolah data guna memperoleh data yang lebih akurat. Penggunaan beberapa parameter lain sebagai pengembangan seperti *pulse width*, *voltage* dan variabel lainnya untuk memperoleh hasil respon yang lebih optimal pada proses *wire*-EDM.

DAFTAR PUSTAKA

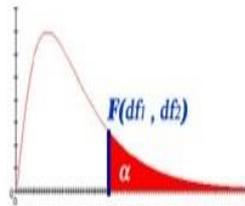
- Agdianto, Bastian Dwi. 2012. “Kekasaran Permukaan Hasil Pemotongan Baja SKD-11 Akibat Variasi Tegangan, *Wire Tension*, dan *Feed Rate* Pada Proses *Wire-Edm*”. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember: Universitas Jember.
- Azmal, Sutrisno, dan Dwi Handoko (2017) “Analisa Parameter Arus Pemakanan terhadap *Material Removal Rate* dan *Electrode Relative Wear* bahan Electrode Cu, Brass Dan Grafit pada mesin EDM Chimer Ez”
- Bisono, R., dan Dani Irawan. 2017. Analisis Pengaruh Parameter Proses Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses EDM Untuk Material Baja Perkakas dengan Metode Taguchi. *Jurnal Teknik Mesin*, 6 (2):32-37.
- Guitrau, E. Bud. 1997. The EDM Handbook. Cincinnati: Hanser Gardner Publication.
- Haryianto dan Aryo Satito, (2016) tentang “Peningkatan Kemampuan Laju Pemakanan Dan Penurunan Tingkat Keausan Relatif Elektroda Pada Electric Discharge Machine di Laboraturium Permesinan Politeknik Negeri Semarang Dengan Menggunakan Elektroda Komposit Matriks Logam Cu-Fe Grafit”
- Mulyadi, dan Agus Puji Suryanto. 2016. Optimalisasi Hasil Proses *Wire-Cut* EDM Dengan Metode *Principal Component Analysis* (PCA). *Jurnal Rotor*, 9 (1): 1-6.
- Pandey, P.C, dan H. S. Shan. 1980. Modern Machining Processes.
- Pathya. 2017. Optimasi Multirespon Proses *Wire-EDM* Menggunakan Metode Taguchi Logika *Fuzzy*. *Jurnal Teknik Mesin*, 1 (1): 2548-3854.
- Saputra, Wanda dkk. 2014. Permesinan Non Konvensional. Edisi Pemula.

- Singh, Vikram, dan S. K. Pradhan. 2014. Optimization of WEDM Parameters using Taguchi technique and Response Surface Methodology in machining of AISI D2 Steel. *Procedia Engineering* 97, (2014): 1579 – 1608.
- Sommer, Carl, dan Steve Sommer, M.E. 2005. *Complete EDM Handbook*. July 30 2005. Advance Pub : 978.
- Sudjana, Nana. 1994. Pembinaan dan Pengembangan Kurikulum di Sekolah. Bandung : Sinar Baru Algensindo.
- Sulistiyanto, Sri. 2008. Manajemen Laba : Teori dan Model Empiris. Jakarta: Grasindo.
- Sumbodo, Wirawan dkk. 2008. Teknik Produksi Mesin Industri. Jilid I.
- Susanto, Eko Edi dkk. 2016. Optimalisasi Arus Listrik Terhadap Penyimpangan Pemotongan Pembuatan Roda Gigi Pada Mesin Wire Cutting EDM. *Jurnal Flywheel*. 7 (1): 1979-5858.
- Yusron, R. M. 2014. Pengaruh *Pulse On Time* dan *Open Voltage* Terhadap Integritas Permukaan Benda Kerja (IPBK) hasil Pemotongan Baja Perkakas Benderus 2080 Pada Proses *Wire – EDM*. Skripsi. Surabaya : Institut Teknologi Surabaya.

Lampiran 6.1 data *Material Removal Rate*

No	Berat Awal			Berat Akhir			Waktu		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	18,90	19,13	18,86	16,07	16,01	15,98	7,57	7,42	7,27
2	18,90	19,13	18,86	16,21	16,18	16,07	7,59	7,31	7,29
3	18,90	19,13	18,86	15,99	16,07	16,21	6,31	6,16	6,01
4	18,90	19,13	18,86	16,29	16,25	16,28	8,13	7,98	7,83
5	18,90	19,13	18,86	16,19	16,04	16,21	7,56	7,41	7,36
6	18,90	18,75	18,86	15,81	16,23	16,07	8,51	8,36	8,21
7	18,90	18,75	18,86	16,17	15,84	15,83	6,47	6,32	6,17
8	18,90	18,75	18,86	16,00	16,12	16,01	6,23	6,12	5,97
9	18,90	18,75	18,86	16,40	16,00	16,25	6,51	6,36	6,21
10	18,90	18,75	18,86	16,09	16,10	15,99	6,11	5,96	5,81
11	19,13	18,75	18,92	16,30	15,98	16,15	6,56	6,41	6,36
12	19,13	18,75	18,92	16,24	16,20	16,37	6,14	5,99	5,84
13	19,13	18,75	18,92	16,13	16,21	16,15	6,22	6,07	5,92
14	19,13	18,75	18,92	16,05	15,62	15,87	5,48	5,33	5,18
15	19,13	18,75	18,92	16,05	16,15	16,23	6,11	5,56	5,41

Lampiran 6.2 F tabel $\alpha = 0,05$



F Table for $\alpha = 0.05$

/	df ₁ =1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
df ₂ =2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.37
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

Lampiran 6.3 Sertifikat Hitachi Metals baja SLD

TEST CERTIFICATE

HITACHI
 Young Tools
 Materials 2107-2, Yasuoi-cho, Yasuoi-shi, Shimane-ken
 Magic 692-8501 Japan

Customer: P. T. STILMETINDO PRIMA

Page: 1/1

Order No.: 10086078(002) Report No.: 762-2828-20 Heat No.: CT727 Date: Mar. 02, 2018

Material: SLD Condition: Annealed Size: F10(C0, B-0)X155(+2-0)X3000-5500 Qty: 2 Our Ref. No.: 59-153-2015D-02

1) Chemical Composition %

Elements	C	Si	Mn	P	S	CR	MO	V
Spec.	-	-	-	-	-	-	-	-
Lot#	1.41	0.27	0.41	0.025	0.0005	12.04	0.93	0.23

2) Heat Treatment

Test Piece (HTI)
 Q, 1000°C X 15min, AQ
 T, 150°C X 60min, AC

3) Hardness (As Shipped)

Item	Spec.	TP No.	Result
Test Piece	MAX248 HBW	→	231

4) Microstructure

Item	Spec.	TP No.	Result
Item	→	→	→
Evaluation	GOOD	GOOD	GOOD

5) Microstructure

Item	Spec.	TP No.	Result
Item	→	→	→
Evaluation	GOOD	GOOD	GOOD

6) Decarburization

Item	Spec.	TP No.	Result
Item	→	→	→
Evaluation	GOOD	GOOD	GOOD

7) Hardness After Heat Treatment (HTI)

Item	Spec.	TP No.	Result
Item	→	→	→
Test Piece	-	HRC	62.4

Inspection Item: Visual Inspection :GOOD

Dimensional Inspection :GOOD

Material Check :GOOD

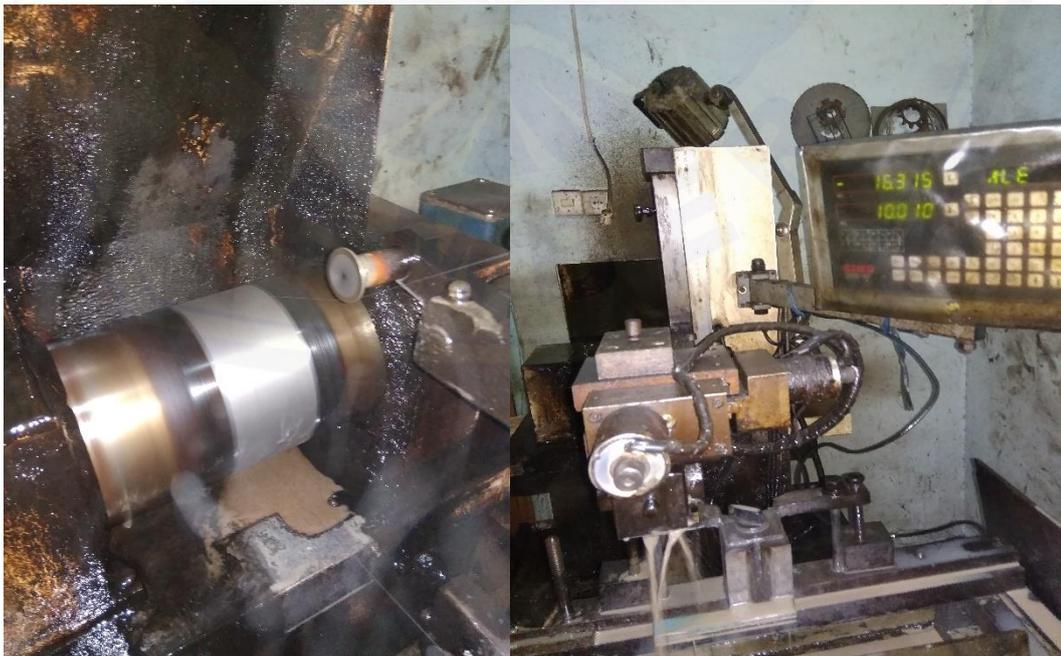
Confirms To All Drawing and/or Specification Requirements.
 We hereby certify that the material described herein has been
 made and tested in accordance with the requirements of
 the purchase specification with satisfactory results.

[Signature]
 QUALITY ASSURANCE DEPARTMENT

Lampiran 6.4 Foto-foto Alat dan bahan



Lampiran 6.5 Foto-foto proses pemotongan pada Wire-EDM



Lampiran 6.6 Foto-foto proses pengukuran

