



**OPTIMASI MATERIAL REMOVAL RATE (MRR) DAN TOOL
WEAR RATIO (TWR) PADA WIRE CUT ELECTRICAL
DISCHARGE MACHINE (WEDM)**

SKRIPSI

Oleh

**Dhimas Ilhamsyah
NIM 141910101081**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**OPTIMASI MATERIAL REMOVAL RATE (MRR) DAN TOOL
WEAR RATIO (TWR) PADA WIRE CUT ELECTRICAL
DISCHARGE MACHINE (WEDM)**

SKRIPSI

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

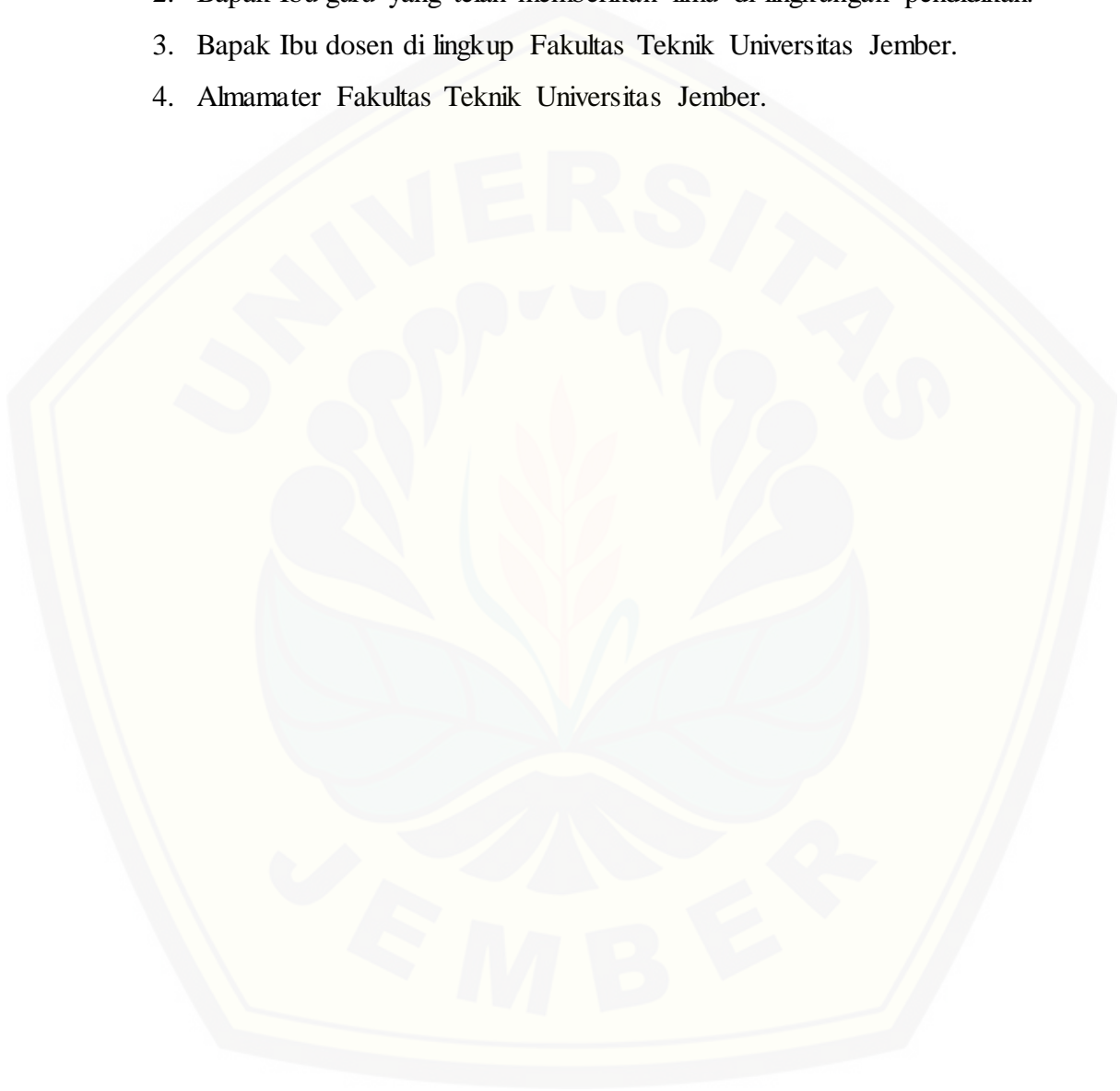
Oleh

**Dhimas Ilhamsyah
NIM 141910101081**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

PERSEMBAHAN

1. Ayahanda tercinta Ir. Harsono dan ibunda Siti Ainis Salmah, Spd. tercinta.
2. Bapak Ibu guru yang telah memberikan ilmu di lingkungan pendidikan.
3. Bapak Ibu dosen di lingkup Fakultas Teknik Universitas Jember.
4. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.



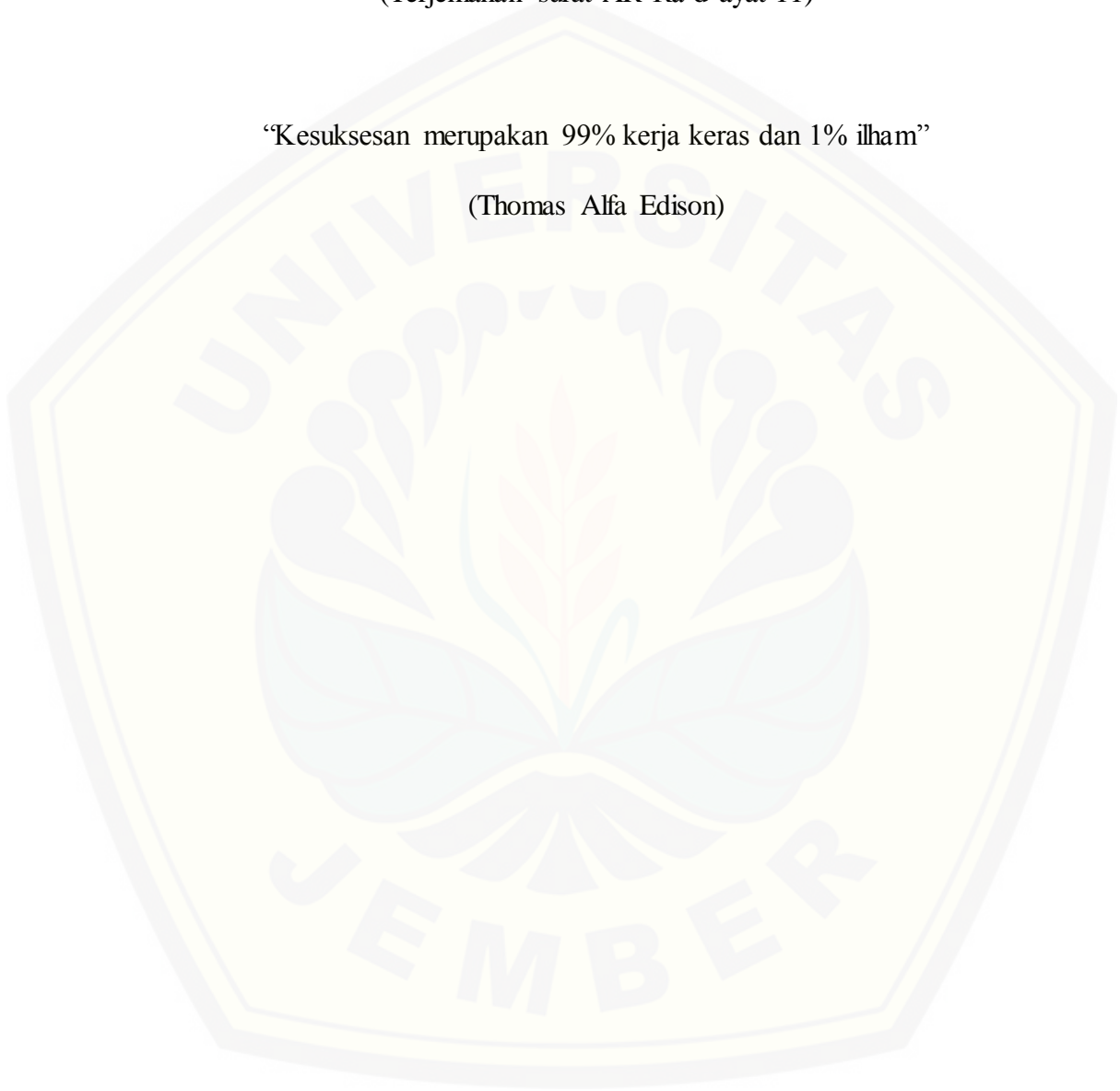
MOTO

“Sesungguhnya Allah tidak merubah keadaan suatu kaum sehingga mereka merubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri.”

(Terjemahan surat AR-Ra'd ayat 11)

“Kesuksesan merupakan 99% kerja keras dan 1% ilham”

(Thomas Alfa Edison)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Dhimas Ilhamsyah

Nim : 141910101081

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Optimasi *Material removal rate* (MRR) dan *Tool wear ratio* (TWR) pada *Wire Cut Electrical Discharge Machine* (WEDM)” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya plagiat. 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 mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Desember 2018

Yang menyatakan,

Dhimas Ilhamsyah

141910101081

SKRIPSI

OPTIMASI *MATERIAL REMOVAL RATE (MRR)* DAN *TOOL WEAR RATIO (TWR)* PADA *WIRE CUT ELECTRICAL DISCHARGE MACHINE (WEDM)*

Oleh

**Dhimas Ilhamsyah
NIM 141910101081**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : M. Fahrur Rozy Hentihu, S.T.,
M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Franciscus Xaverius Kristianta,
M.Eng.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Optimasi *Material removal rate* (MRR) dan *Tool wear ratio* (TWR) pada *Wire Cut Electrical Discharge Machine* (WEDM)” karya Dhimas Ilhamsyah telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Selasa, 18 Desember 2018

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

M. Fahrur Rozy Hentihu, S.T., M.T.

Ir. FX Kristianta, M.Eng.

NIP 198003072012121003

NIP 196501202001121001

Tim Penguji:

Penguji I,

Penguji II,

Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T.

Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T.

NIP 198501172012121001

NIP 196709241994121001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.

NIP 196612151995032001

RINGKASAN

Optimasi Material Removal Rate (MRR) dan Tool Wear Ratio (TWR) pada Wire cut Electrical Discharge Machine : Dhimas Ilhamsyah, 141910101081, 2018, 95 halaman, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Perkembangan teknologi yang terus berkembang mengarah pada tuntutan industri untuk meningkatkan produktivitas guna memenuhi kebutuhan industri. Untuk memenuhi kebutuhan industri maka penggunaan *Wire Cut Electrical Discharge Machine* (WEDM) tidak bisa dipungkiri sehingga banyak yang mengembangkan teknologi WEDM pada industri manufaktur. Teknologi WEDM digunakan untuk memotong benda yang memiliki kekerasan tinggi seperti *dies*, *punch* dan *tool steel* sehingga tidak memungkinkan menggunakan pemesian konvensional dengan tingkat kepresisian tinggi, selain itu penggunaan WEDM yang tidak membuang terlalu banyak geram seperti halnya mesin konvensional, sehingga benda yang akan dipotong dapat dioptimalkan secara kuantitas.

Pengaturan parameter WEDM diperlukan untuk meningkatkan laju pembuangan material (MRR) dengan mengurangi nilai keausan kawat elektroda (TWR) sehingga mengarah pada peningkatan performa proses WEDM. Penentuan level parameter optimal yang digunakan yaitu pengaruh *peak current*, *voltage open* dan *wire tension* terhadap laju pembuangan material dan *tool wear ratio* menggunakan baja SKD 61. Pemilihan baja SKD 61 berdasarkan penggunaannya yang luas dalam industri manufaktur. Hasil penelitian diharapkan mampu memberikan pengaturan parameter yang tepat untuk pengerjaan WEDM. Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium pemesian Politeknik Negeri Malang dan laboratorium Uji material Fakultas Teknik Universitas Jember pada bulan Agustus 2018. Pengambilan data dilakukan berdasarkan dua respon yaitu MRR dan TWR. Penelitian meliputi pemotongan Baja SKD 61 dengan pengulangan 3 kali. Pengolahan data menggunakan metode multirespon taguchi-PCR topsis rancangan matrik ortogonal $L_9(3^3)$. Kontribusi pengaruh dari parameter

pemesinan yang paling signifikan dalam menghasilkan laju pembuangan material (MRR) pada proses *wire cut electrical discharge machine* secara berurutan dipengaruhi oleh *Peak current* (I_p) sebesar 63,7%, *wire tension* memberikan kontribusi sebesar 31,4 % dan *voltage open* sebesar 1,9 %. Kontribusi pengaruh dari parameter pemesinan dalam menghasilkan laju keausan kawat (TWR) secara berurutan dipengaruhi oleh *voltage open* sebesar 54,4 %, parameter *wire tension* sebesar 36,5 %, dan parameter *peak current* (I_p) memiliki sebesar 7,8 %. Parameter optimum terhadap laju pembuangan material (MRR) dan laju keausan kawat (TWR) yaitu *peak current* level 3 (9A), *voltage open* level 1 (5V) dan *wire tension* level 2 (8N) menghasilkan nilai MRR sebesar 9,861 mm³/min dan TWR sebesar 0,078. Hasil penelitian secara umum menunjukkan semakin besar *peak current* dan *wire tension* meningkatkan laju pembuangan material akibat energi yang dihasilkan oleh loncatan bunga api semakin besar. Sedangkan *voltage open* dan *wire tension* mempengaruhi nilai keausan kawat dimana semakin besar, maka kawat lebih banyak terkikis akibat dari energi yang ditimbulkan semakin besar sehingga diperlukan kondisi optimum terhadap kedua respon tersebut. Hasil optimasi terhadap kedua respon diperoleh dengan cara meningkatkan *peak current* maksimum, menurunkan *voltage open* minimum dan menentukan nilai *wire tension* yang tepat.

SUMMARY

Material Removal Rate (MRR) Optimization and Tool Wear Ratio (TWR) on Wire cut Electrical Discharge Machine: Dhimas Ilhamsyah, 141910101081, 2018, 84 page, Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Jember University.

The development of technology that continues to grow leads to the demands of the industry to increase productivity to meet industrial needs. To meet the needs of the industry, the use of Wire Cut Electrical Discharge Machine (WEDM) cannot be denied so that not a few have developed WEDM technology in the manufacturing industry. WEDM technology is used to cut objects that have high hardness such as dies, punch and tool steel so that it is not possible to use conventional machining with a high degree of precision, besides the use of WEDM which does not throw too much fury like conventional machines, so that objects to be cut can optimized in quantity.

WEDM parameter settings are needed to increase the material discharge rate (MRR) by reducing the value of electrode wire wear (TWR) so that it leads to an increase in the performance of the WEDM process. Determination of optimal level parameters used is the effect of peak curent, voltage open and wire tension on material discharge rate and tool wear ratio using SKD 61 steel. Selection of SKD 61 steel is based on its extensive use in the manufacturing industry. The results of the study are expected to be able to provide appropriate parameter settings for WEDM work. This research was conducted at the Malang State Polytechnic machining laboratory and the material testing laboratory of the Faculty of Engineering, University of Jember in August 2018. Data was collected based on two responses namely MRR and TWR. The study included cutting SKD 61 steel with repetitions 3 times. Data processing uses multirespon taguchi-PCR topsis method orthogonal matrix design L9 (33). The most significant contribution of the influence of machining parameters in producing the material discharge rate (MRR) in the wire cut electrical discharge machine process sequentially is

influenced by Peak current (I_p) of 63.7%, wire tension contributes 31.4% and open voltage amounting to 1.9%. The contribution of influence from machining parameters in producing wire wear rate (TWR) sequentially is influenced by open voltage of 54.4%, wire tension parameter is 36.5%, and peak current (I_p) parameters have 7.8%. The optimum parameters for material discharge rate (MRR) and wire wear rate (TWR) are peak current level 3 (9A), open level 1 (5V) and wire tension level 2 (8N) produce MRR values of 9.861 mm³ / min and TWR amounting to 0.078. The results of the study generally indicate that the greater the peak current and wire tension increases the discharge rate of the material due to the greater energy generated by the jump of sparks. Whereas open voltage and wire tension affect the wear value of the wire, the bigger the wire, the more the wire is eroded due to the greater energy generated so that optimum conditions are needed for both responses. The results of the optimization of the two responses are obtained by increasing the maximum peak current, reducing the minimum open voltage and determining the value of the right wire tension

PRAKATA

Segala puja dan puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Optimasi *Material Removal Rate* (MRR) dan *Tool Wear Ratio* (TWR) Pada *Wire Cut Electrical Discharge Machine* (WEDM)”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

M. Fahrur Rozy H., S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Ir. FX Kristianta, M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian pada skripsi ini;

Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji I, dan Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran bersifat konstruktif untuk penyusunan skripsi ini;

Andreas, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing lapang yang telah memberi pengarahan selama penelitian;

Laboratorium pemesinan Politeknik Negeri Malang yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk dapat melaksanakan penelitian;

Laboratorium Uji material Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan fasilitas sehingga mempermudah penelitian;

Muhammad Abduh, S.T., selaku teknisi laboratorium Uji material yang meluangkan waktu, pikiran dan motivasi sehingga dapat memperlancar penelitian;

Ayahanda tercinta Ir. Harsono dan ibunda Siti Ainis Salmah, Spd. tercinta yang telah memberikan dorongan, motivasi dan do’a demi terselesaikannya skripsi ini;

Teman-teman Teknik Mesin 2014 “Dulur selawase” yang telah memberikan semangat, motivasi sehingga dapat terselesaikannya penelitian ini;

Panji hastawirata selaku teman seperjuangan dalam mengerjakan skripsi ini yang selalu memberikan dukungan sehingga penelitian ini dapat terselesaikan;

Teman teman kontrakan C6 yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Desember 2018

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
<i>SUMARY</i>	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan dan Manfaat	3
1.4.1 Tujuan Penelitian.....	3
1.4.2 Manfaat Penelitian.....	3

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>Wire Cut Electrical Discharge Machine (WEDM)</i>.....	4
2.1.1 Prinsip Kerja WEDM	4
2.1.2 Proses WEDM	5
2.1.3 Penggunaan WEDM.....	7
2.2 Parameter WEDM.....	7
2.2.1 <i>Off Time</i>	7
2.2.2 <i>On Time</i>	8
2.2.3 <i>Pulse curent</i>	8
2.2.4 <i>Voltage Open</i>	8
2.2.5 <i>Wire Tension</i>	9
2.3 Cairan dielektrik	9
2.4 Kawat Elektroda.....	10
2.4.1 Elektroda kawat tembaga	10
2.4.2 Elektroda kawat kuningan	10
2.4.3 Elektroda kawat berpelapis	10
2.5 <i>Material Removal Rate (MRR)</i>.....	10
2.6 Kekasaran permukaan.....	11
2.7 <i>Tool Wear Ratio (TWR)</i>	12
2.8 Baja SKD 61	13
2.9 Metode Taguchi	13
2.9.1 Tahapan perencanaan metode taguchi.....	14

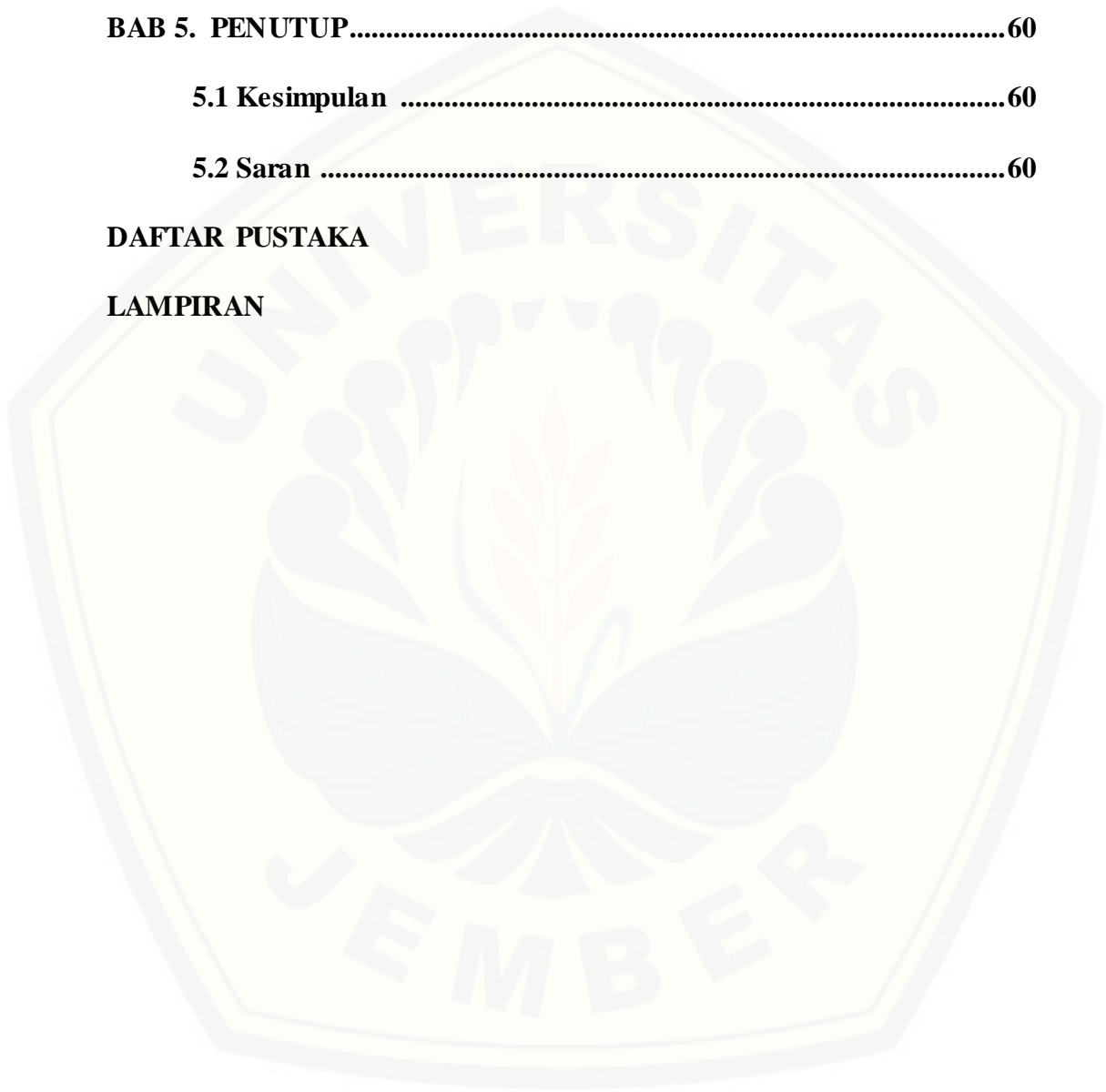
2.9.2 Tahap pelaksanaan	17
2.9.3 Tahap Analisa.....	17
2.10 Uji Asumsi Residual	19
2.11 Metode Taguchi-Pcr tophis	21
2.11.1 Menghitung signal to noisy ratio.....	21
2.11.2 Menghitung PCR SNR.....	21
2.11.3 Menghitung Menghitung pcr tophis (S^i).....	21
2.12 Hipotesis	22
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.2 Alat dan Bahan	23
3.2.1 Alat.....	23
3.2.2 Bahan.....	25
3.3 Variabel Penelitian	27
3.3.1 Variabel Bebas.	27
3.3.2 Variabel Respon	27
3.3.3 Variabel Konstan.....	27
3.3.4 Variabel gangguan	27
3.4 Rancangan Percobaan	28
3.4.1 Pengaturan Variabel pada Mesin Wire EDM	28
3.4.2 Pemilihan Matriks Ortogonal	28

3.5 Pengukuran dan Pengambilan Data	29
3.5.1 Pengambilan Data Laju Pembuangan Material (MRR)	29
3.5.2 Pengambilan data laju keausan kawat (TWR)	30
3.5.3 Perhitungan Rasio S/N	31
3.5.4 Menghitung PCR SNR	32
3.5.5 Menghitung PCR TOPSIS	32
3.6 Karakteristik Respon Optimum	33
3.7 Langkah-langkah Percobaan	33
3.8 Jadwal Kegiatan Penelitian	34
3.9 Diagram Alir Penelitian.....	35
BAB 4. PEMBAHASAN	37
4.1 Fenomena Wire cut EDM.....	37
4.2 Data Hasil Percobaan	39
4.3 Perhitungan Rasio S/N	42
4.4 Analisa S/N TWR dan MRR	43
4.5 PCR- TOPSIS	46
4.5.1 Menghitung PCR-SNR	47
4.5.2 Menghitung PCR TOPSIS	48
4.6 Hasil Optimasi	50
4.6.1 Prediksi respon optimum.....	51
4.6.2 Optimasi Material Removal Rate (MRR)	52
4.6.3 Optimasi Tool Wear Ratio (TWR).....	53

4.7 Analisis of Varian	53
4.8 Pengujian Asumsi Residual	56
4.9 Pembahasan hasil optimasi.....	58
BAB 5. PENUTUP.....	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	60

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Kerja WEDM.....	5
Gambar 2.2 Pembangkitan tegangan dan arus oleh power supply	5
Gambar 2.3 Proses on time.....	6
Gambar 2.4 Proses off time	6
Gambar 2.5 Proses pembilasan geram.....	6
Gambar 2.6 lebar pemotongan	11
Gambar 2.7 Kekasaran permukaan.....	12
Gambar 3.1 Mesin wire EDM	24
Gambar 3.2 Dimensi benda kerja	26
Gambar 3.3 Perencanaan pemotongan	26
Gambar 3.4 Diagram alir metode penelitian.....	36
Gambar 4.1 Perbedaan kawat sebelum dan sesudah proses WEDM	37
Gambar 4.2 Perbedaan spesimen sebelum dan sesudah proses WEDM ...	38
Gambar 4.3 Perbedaan hasil pemotongan.....	39
Gambar 4.4 Plot S/N terhadap TWR	44
Gambar 4.5 Plot mean TWR.....	45
Gambar 4.6 Plot S/N terhadap MRR	46
Gambar 4.7 Plot mean MRR.....	46
Gambar 4.8 Plot nilai PCR setiap level parameter	51
Gambar 4.9 Plot ACF	57

Gambar 4.10 Plot Uji Identik57

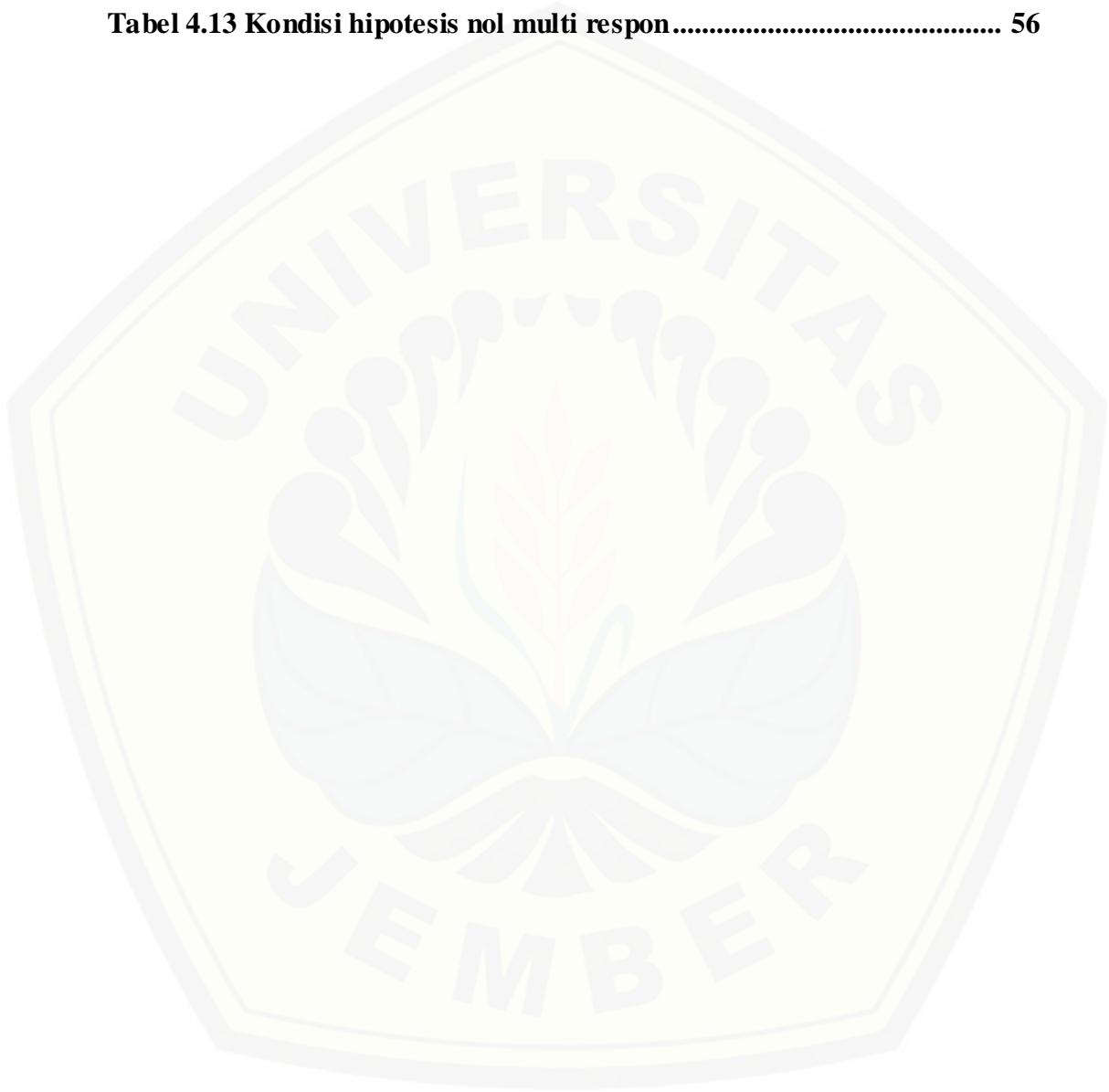
Gambar 4.11 Plot Uji distribusi normal.....58



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Baja SKD 61 berdasarkan JIS	13
Tabel 2.2 Matriks Orthogonal L9 (3^3)	16
Tabel 2.3 Tabel Analisis Variansi (ANAVA)	18
Tabel 3.1 Komposisi kimia baja SKD 61	25
Tabel 3.2 Variabel-variabel proses dan level yang digunakan	28
Tabel 3.3 Total derajat kebebasan parameter-parameter kendali.....	29
Tabel 3.4 Matriks Ortogonal L9 (3^4)	29
Tabel 3.5 Data hasil penelitian laju pembuangan material.....	30
Tabel 3.6 Data hasil penelitian laju keausan kawat	31
Tabel 3.7 Perhitungan rasio S/N	32
Tabel 3.8 Jadwal kegiatan Penelitian	34
Tabel 4.1 hasil pengambilan data laju pembuangan material.....	40
Tabel 4.2 Pengambilan data laju keausan kawat (TWR).....	41
Tabel 4.3 Data Hasil Perhitungan MRR dan TWR	42
Tabel 4.4 Data hasil perhitungan S/N rasio	43
Tabel 4.5 Nilai PCR SNR.....	48
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan di+-	49
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan PCR TOPSIS	50
Tabel 4.8 Rata-rata nilai PCR TOPSIS setiap level parameter.....	50
Tabel 4.9 Kombinasi parameter pemesinan respon optimum.....	51

Tabel 4.10 Rata-rata nilai MRR setiap level.....	52
Tabel 4.11 Rata-rata nilai TWR setiap level.....	53
Tabel 4.12 Hasil ANAVA dan kontribusi parameter pada PCR.....	55
Tabel 4.13 Kondisi hipotesis nol multi respon.....	56



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang terus berkembang mengarah pada tuntutan industri untuk meningkatkan produktivitas guna memenuhi kebutuhan industri. Untuk memenuhi kebutuhan industri maka penggunaan *Wire Cut Electrical Discharge Machine* (WEDM) tidak bisa di pungkiri sehingga banyak yang mengembangkan teknologi WEDM pada industri manufaktur. Pengembangan WEDM dilakukan untuk mempercepat waktu produksi skala besar dengan kualitas produk yang baik sehingga produktivitas meningkat dan kebutuhan industri terpenuhi. Teknologi WEDM digunakan untuk memotong benda yang memiliki kekerasan tinggi dan tidak memungkinkan menggunakan pemesian konvensional dengan tingkat kepresisian tinggi dengan hasil yang baik dari segi permukaan hasil pemotongan, selain itu penggunaan WEDM yang tidak membuang terlalu banyak geram seperti halnya mesin konvensional, sehingga benda yang akan di potong dapat dioptimalkan secara kuantitas. Seiring berjalannya waktu WEDM dituntut mampu memotong benda dengan waktu proses pemesian efisien dengan hasil yang bagus dalam sekali proses tanpa melakukan finishing layaknya mesin konvensional. Penggunaan WEDM juga diterapkan untuk membuat roda gigi dengan tingkat kekerasan tinggi tanpa adanya perlakuan panas, alasan itulah penggunaan WEDM banyak diminati meskipun biaya pengerjaan relatif mahal tetapi sebanding dengan hasilnya.

Baja SKD 61 merupakan jenis material yang dikenal luas aplikasinya, yaitu pada proses pembentukan logam sebagai *dies* dan *punch*, sebagai alat potong (*cutting tools*) pada proses pemesian. Material Baja SKD 61 merupakan salah satu jenis *hot work steels* yang memiliki ketangguhan dan kekerasan tinggi dan tidak memungkinkan pengerjaan pemesian konvensional, dengan komponen unsur paduan C 0,398%, Si 0,968%, Mn 0,406%, S 0,008%, Cr 5,145%, Mo 1,252% dan V 0,920% (Yeh dkk., 2013). Kajian WEDM sebelumnya dilakukan oleh Tosun N (2003) dengan respon *wire wear*. Parameter yang digunakan *pulse*

duration, open voltage, wire speed dan dielectric flushing pressure, menghasilkan semakin besar *pulse duration* dan *open voltage* meningkatkan nilai *wire wear ratio*, sedangkan meningkatnya *wire speed* dan *dielectric flushing pressure* menyebabkan nilai *wire wear* menurun. Penelitian Goswami A (2014) tentang *surface integrity, material removal rate and wire wear ratio for WEDM* menyatakan MRR meningkat saat *pulse on time, peak current* dan *wire tension* meningkat dan faktor pengaruh terbesar *pulse on time*, sedangkan WWR dipengaruhi oleh *pulse on time, pulse off time* dan *peak current*. Penelitian S.S Mahapatra (2007) tentang *Optimization of Wire Electrical Discharge Machining (WEDM) process parameters using Taguchi Method* menghasilkan semakin besar arus menyebabkan nilai material removal rate semakin besar. Penelitian R. Ramakrishnan (2006) menghasilkan peningkatan *wire tension* menyebabkan nilai *Tool wire ratio (TWR)* meningkat sehingga memicu terjadinya putusnya kawat elektroda. Berdasarkan kajian tersebut penulis melakukan penelitian tentang pengaruh variasi *peak current, voltage open* dan *wire tension* terhadap *Material Removal Rate* dan *Tool Wear Ratio* pada *Wire Cut Electrical Discharge Machine (WEDM)*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana pengaruh variasi *Arus, voltage open* dan *wire tension* terhadap nilai MRR pada proses *Wire Cut EDM* menggunakan baja SKD 61 ?
- b. Bagaimana pengaruh variasi arus, *voltage open* dan *wire tension* terhadap nilai TWR pada proses *Wire Cut EDM* menggunakan baja SKD 61 ?
- c. Bagaimana menentukan *Arus, voltage open* dan *wire tension* optimum terhadap MRR dan TWR pada proses *Wire Cut EDM* menggunakan baja SKD 61?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan dari penelitian ini adalah

- a. Parameter *wire speed*, *on time*, *off time*, *spark gap*, *feed rate*, jenis cairan dielektrik, jenis kawat elektroda tidak di variasikan.
- b. Bahan yang digunakan baja SKD 61.
- c. Hasil yang diamati adalah nilai MRR dan TWR proses *Wire Cut* EDM.
- d. Tidak membahas rangkaian mesin *Wire Cut* EDM.

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan Penelitian

- a. Mengetahui pengaruh variasi Arus, *voltage open* dan *wire tension* terhadap nilai MRR pada proses *Wire Cut* EDM menggunakan baja SKD 61.
- b. Mengetahui pengaruh variasi Arus, *voltage open* dan *wire tension* terhadap nilai TWR pada proses *Wire Cut* EDM menggunakan baja SKD 61.
- c. Menentukan parameter Arus, *voltage open* dan *wire tension* optimum terhadap MRR dan TWR pada proses *Wire Cut* EDM bahan baja SKD 61.

1.4.2 Manfaat Penelitian

- a. Dapat digunakan acuan *setting* parameter untuk proses pemotongan yang lebih optimal menggunakan baja SKD 61.
- b. Diharapkan dapat menemukan inovasi terbaru *Wire Cut* EDM untuk mengatasi permasalahan penggunaan *Wire Cut* EDM..
- c. Diharapkan dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya mengenai *Wire Cut* EDM.

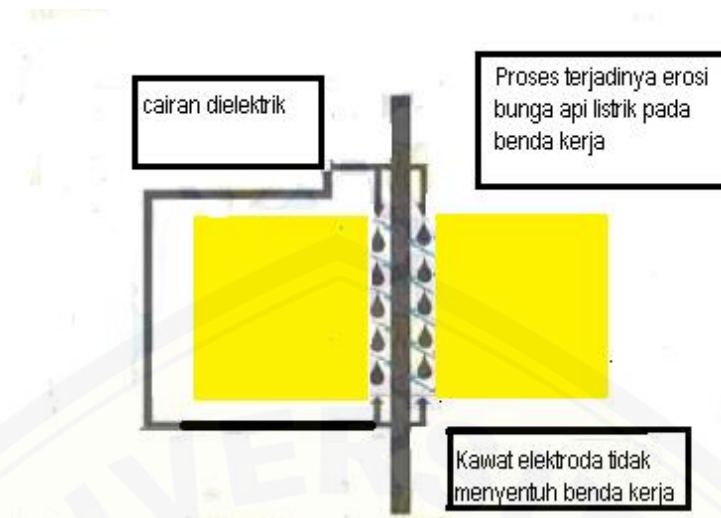
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Wire Cut Electrical Discharge Machine (WEDM)

WEDM merupakan salah satu jenis EDM yang tergolong proses pemesinan non konvensional digunakan untuk memotong material dengan cara penciptaan ribuan listrik yang mengalir pada elektroda berupa kawat yang bergerak secara kontinyu. Pada saat proses pemotongan terdapat nozzel yang menyembrotkan cairan semikonduktor yang membersihkan sisa geram, fungsi lain yaitu sebagai media kontrol agar panas tidak melebar ke seluruh permukaan benda kerja. Perbedaan mendasar antara proses pemesinan konvensional dengan non konvensional khususnya EDM yaitu proses terbentuknya geram, pada pemesinan konvensional geram yang terbentuk relatif besar ukurannya sedangkan pada proses EDM geram melebur bersama cairan dielektrik akibat panas yang sangat tinggi.

2.1.1 Prinsip Kerja WEDM

Benda kerja dihubungkan dengan arus bermuatan positif kemudian kawat dialiri listrik bermuatan negatif sehingga terjadi loncatan bunga api listrik melalui kawat tipis yang berfungsi sebagai elektroda secara kontinyu. (Martowibowo, S. Y., dan Andriansyah. 2007. Optimisasi proses pemesinan EDM *wire cut* untuk modus gerak sirkular menggunakan algoritma genetik. *Mesin*. 22(2) : 62-68.). loncatan bunga api listrik berasal dari kawat bermuatan negatif yang berdekatan dengan benda kerja bermuatan positif, proses ini kawat dan benda kerja tidak besentuhan langsung melainkan adanya jarak gap. Pada gap antara benda dengan kawat terdapat cairan semikonduktor yang dialirkan oleh pompa menuju titik pemotongan. Cairan dielektrik membersihkan material yang melebur antara kawat dengan benda kerja. Material yang melebur bercampur dengan cairan dielektrik disaring oleh filter agar proses pemotongan berjalan optimal



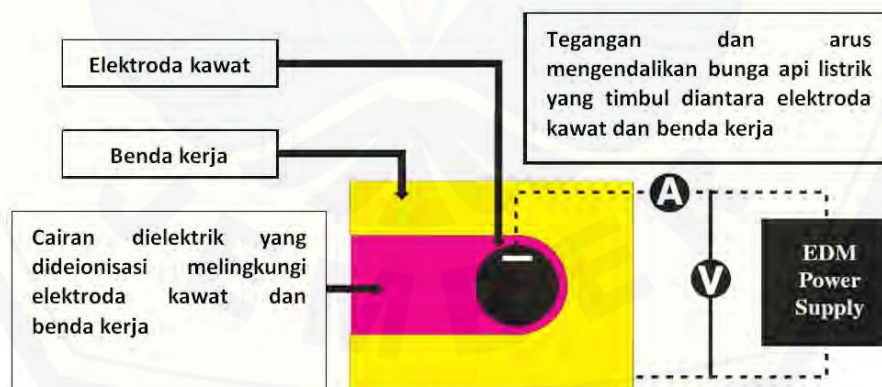
Gambar 2.1 Prinsip Kerja WEDM (Wihardi P. A,2016)

2.1.2 Proses WEDM

Proses pengerjaan material pada WEDM diuraikan pada Gambar 2.2 hingga Gambar 2.6 sebagai berikut

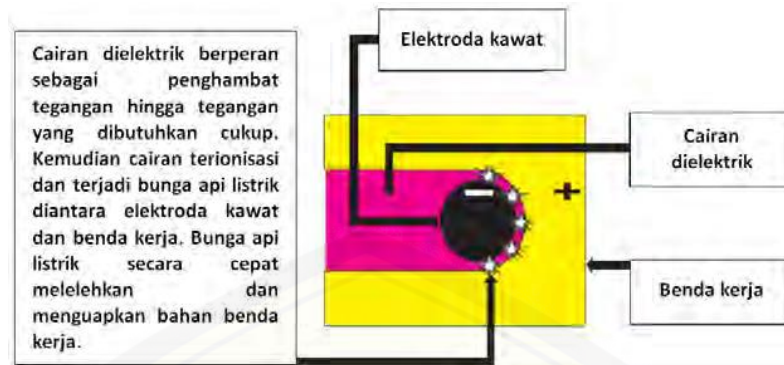
(Sommer dan Sommer, 2005 dalam Wihardi P. A,2016)

Proses 1 : Tegangan dan arus mengalir dari kawat yang di kelilingi air deonisasi

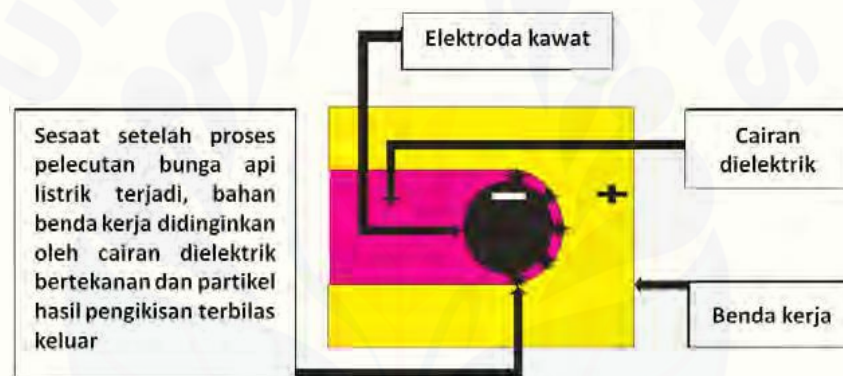


Gambar 2.2 Pembangkitan tegangan dan arus oleh *power supply*

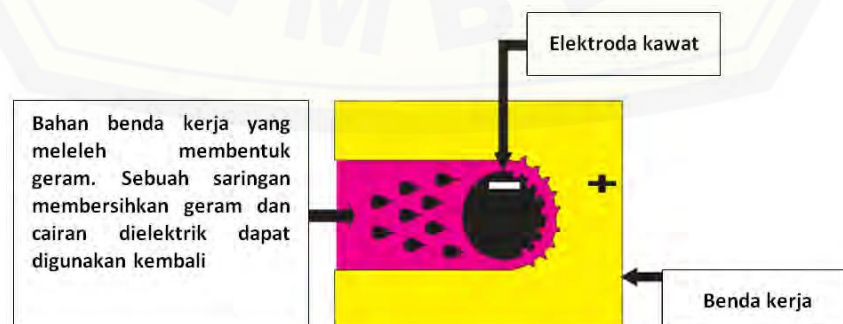
Proses 2 : Kawat elektroda menghasilkan bunga api yang dikendalikan oleh *on time* sehingga terjadi pengikisan material.

Gambar 2.3 Proses *on time*

Proses 3 : Pada saat *off time* terjadi pembilasan material yang terkikis akibat proses *on time* oleh aliran cairan dielektrik.

Gambar 2.4 Proses *off time*

Proses 4 : Partikel material yang terbilas bersama cairan dielektrik menuju filter yang terdapat pada mesin WEDM, cairan dielektrik setelah melalui filter digunakan kembali untuk pembilasan



Gambar 2.5 Proses pembilasan geram

2.1.3 Penggunaan WEDM

WEDM banyak di gunakan di industri manufaktur karena memiliki tingkat kepresisian tinggi, mampu mengerjakan bentuk yang rumit dan tingkat kekerasan bahan tinggi. WEDM hanya bisa di gunakan pada bahan yang mampu menghantarkan arus listrik. Kelebihan WEDM yaitu minimnya pembuangan material sehingga produktivitas dapat di maksimalkan.

WEDM menghasilkan permukaan yang halus karena elektroda kawat akan melewati seluruh penampang benda kerja yang dipotong dan erosi dari bunga api listrik terjadi sepanjang elektroda kawat. WEDM dapat menghasilkan ketelitian dimensi sebesar $\pm 0,02$ mm. WEDM dapat menghasilkan kehalusan $R_a < 13 \mu\text{m}$. Semakin kecil diameter kawat maka hasil permukaan yang diperoleh semakin halus. WEDM menghasilkan permukaan yang sangat halus walaupun pada pengerjaan pengasaran, bahkan ada yang dapat menghasilkan kualitas yang mirip dengan kaca. (Martowibowo, S. Y., dan Andriansyah. 2007. Optimisasi proses pemesinan EDM *wire cut* untuk modus gerak sirkular menggunakan algoritma genetik. *Mesin*. 22(2) : 62-68.)

2.2 Parameter WEDM

Proses WEDM banyak setting parameter yang di gunakan, seperti *on time*, *off time*, *voltage open*, *wire tension*, *wire speed*, *feed rate*, jenis kawat, dan cairan dielektrik. Parameter tersebut memiliki fungsi dan penggunaan yang berbeda beda seperti bahan yang digunakan tentu penggunaan setting parameter berbeda pula untuk memperoleh hasil yang optimum. Untuk lebih jelasnya pada pembahasan berikut.

2.2.1 Off Time

Proses dimana tidak terjadi loncatan bunga api listrik dan dinyatakan dalam μs , dalam kisaran level 1-199. Proses ini terjadi pengisian arus listrik yang disimpan pada *capasitor*. Semakin besar nilai *off time* maka kecepatan pemesinan semakin rendah. (Martowibowo, S. Y., dan Pinandito S. 2017. Studi

eksperimental hubungan parameter proses pemesinan *wire EDM* dengan kekasaran permukaan untuk material AISHI 1148. *Mesin*. 15(2) : 39-43). Pada penelitian Goswami A., Kumar J (2014) tentang kekasaran permukaan, *material removal rate and wire wear ratio for WEDM* dengan parameter *off time* membuktikan bahwa semakin besar nilai *off time* maka laju pembuangan material semakin menurun. Hal ini disebabkan dengan naiknya *off time* maka jeda loncatan bunga api semakin tinggi sehingga nilai *wire wear ratio* juga menurun.

2.2.2 On Time

On Time yaitu waktu terjadinya loncatan bunga api listrik melalui celah, dan dinyatakan dalam mikrodetik dengan interval 1- 1200 (Darsin M .2.2010) . Semakin besar nilai *On Time* maka waktu loncatan bunga api semakin besar pula. Tetapi ada batas nilai *On Time* yaitu bergantung pada nilai *capasitor*. Satu satuan sama dengan 100 μ s. (Martowibowo, S. Y., dan Andriansyah. 2007. Optimisasi proses pemesinan EDM *wire cut* untuk modus gerak sirkular menggunakan algoritma genetik. *Mesin*. 22(2) : 62-68).

2.2.3 Pulse current

Pulse current atau arus merupakan besarnya arus yang mengalir pada kawat elektroda untuk menghasilkan percikan bunga api sehingga mampu meleburkan logam. Arus yang tinggi dapat mempercepat proses pemotongan, hal ini disebabkan karena besarnya arus akan memperbesar percikan bunga api yang dihasilkan sehingga laju pembuangan material semakin besar. Untuk nilai keausan kawat elektroda berlawanan dengan laju pembuangan material yaitu semakin besar arus maka kawat elektroda akan semakin besar terjadinya erosi pada kawat elektroda tersebut.

2.2.4 Voltage Open

Tegangan listrik yang melalui kawat dalam *volt* saat proses pemotongan. Tegangan ini bisa diatur sesuai kebutuhan, untuk mesin WEDM MITSUBISHI BA8 memiliki level 1-16. Pada penelitian N. Tosun (2003) tentang parameter pemesinan *wire EDM* terhadap kekasaran permukaan dengan variasi *voltage open*

yang berbeda menghasilkan tingkat kekasaran yang berbeda, Semakin besar nilai *voltage open* maka nilai kekasaran juga meningkat. Hal ini disebabkan tingginya energi pada kawat elektroda. Sehingga dengan tingginya nilai kekasaran maka nilai laju pembuangan material juga semakin besar.

2.2.5 Wire Tension

Tegangan kawat merupakan salah satu parameter *wire EDM* yang memiliki peranan dalam menentukan kualitas hasil produk. Pengaturan nilai tegangan kawat mempengaruhi *upper diamond guide* dan *lower diamond guide* dalam mencekam kawat elektroda pada konstruksi pemegang kawat WEDM, sehingga dapat menimbulkan getaran pada kawat elektroda saat proses pengikisan benda kerja. Getaran kawat yang tidak stabil ditambah dengan gaya tekan kawat pada saat proses pengikisan benda kerja juga dapat mempengaruhi tingkat kepresisian dari hasil pemotongan. Dengan kata lain, penentuan tegangan kawat elektroda mempengaruhi tingkat getaran kawat elektroda yang berdampak pada hasil penyimpangan lebar pemotongan dari suatu produk. Sehingga secara tidak langsung mempengaruhi nilai laju pembuangan material benda kerja. (Susanto E. E., Stevani . A, 2015 Pengaruh *Wire Tension Electrode* Pada Mesin *Wire EDM* Terhadap Kepresisian Pemotongan. *Seminar Nasional Teknologi 2015. 17 Januari 2015*. ISSN 2407- 7534 : 285-295.)

2.3 Cairan dielektrik

Cairan dielektrik pada proses WEDM memiliki fungsi yaitu sebagai berikut menurut Darsin M (2010)

- a. Sebagai pendingin kawat dengan benda kerja.
- b. Dalam keadaan terionisasi, cairan dielektrik bersifat konduktor sehingga memungkinkan terjadinya loncatan bunga api listrik.
- c. Membawa beram yang melebur akibat bunga api listrik.

2.4 Kawat Elektroda

Pemilihan jenis kawat tergantung pada sifat fisik dan mekanis dari benda kerja, namun kawat elektroda harus memiliki karakteristik tertentu seperti konduktivitas listrik yang baik dan kekuatan mekanik yang baik (kekuatan tarik, *elongation*, dan lain-lain). Jenis-jenis kawat elektroda yang biasa digunakan adalah (Guitrau, 1997 dalam Wihardi P. A, 2016):

2.4.1 Elektroda kawat tembaga

Elektroda kawat tembaga sangat banyak digunakan pada WEDM. Kawat elektroda tembaga memiliki beberapa kekurangan yaitu memiliki kekuatan tarik yang rendah dan sangat mudah menyerap panas pada proses pemotongan.

2.4.2 Elektroda kawat kuningan

Elektroda kawat kuningan memiliki unsur paduan dari tembaga (Cu) dan seng (Zn). Elektroda kuningan memiliki prosentase kadar Zn yang lebih tinggi sehingga mempunyai kelebihan kekuatan tarik yang tinggi dibandingkan kekuatan tarik dari tembaga, kekerasan tinggi dan suhu penguapan rendah.

2.4.3 Elektroda kawat berpelapis

Elektroda kawat berpelapis digunakan untuk mengerjakan benda kerja dengan karakteristik tertentu. Kawat elektroda tersebut antara lain:

a. *Coated copper core wire*

Kawat elektroda digunakan untuk proses pemesinan dengan kecepatan pemotongan yang tinggi dan benda tebal. Akan tetapi, mempunyai kekurangan yaitu kekasaran permukaan yang dihasilkan oleh kawat elektroda ini besar.

b. *Coated brass core wire*

Kawat elektroda ini cocok untuk proses pemesinan berbagai jenis material termasuk karbida.

2.5 Material Removal Rate

Proses pemesinan non konvensional maupun konvensional pasti terjadi pembuangan material. Pemesinan non konvensional menghasilkan lebih sedikit geram termasuk *wire* EDM. Laju pembuangan material ini sangat erat kaitannya

dengan waktu proses pemesinan, alasan itulah banyak penelitian WEDM yang mencari titik optimum untuk mencapai waktu yang efisien. MRR sangat berkaitan dengan TWR, karena semakin besar nilai MRR maka nilai TWR juga besar akibat adanya energi yang dihasilkan kawat elektroda. MRR juga berhubungan dengan nilai kekasaran suatu produk dimana semakin besar MRR maka benda cenderung memiliki kekasaran yang besar. Nilai *material removal rate* dapat diperoleh dengan rumus

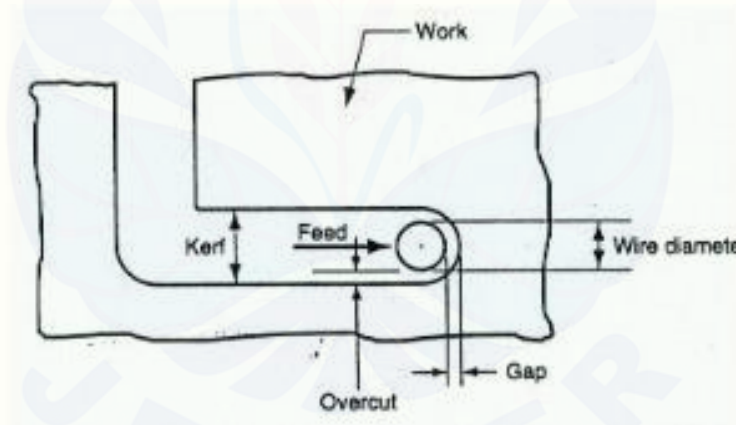
$$MRR = V_c \cdot b \cdot h \text{ (mm}^3\text{/menit)} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

V_c = Kecepatan potong (mm/min)

h = tinggi benda kerja (mm)

b = lebar pemotongan (mm) ; $b = 2W_g + d$; W_g = Spark gap (mm); d = diameter kawat (mm)

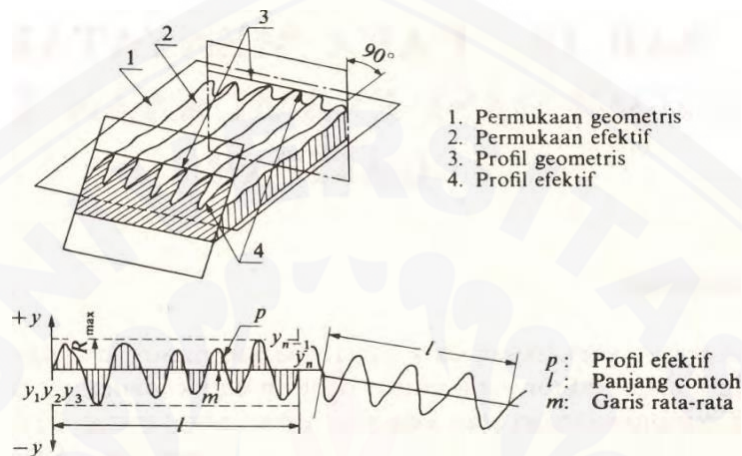


Gambar 2.6 lebar pemotongan (Purwanti E. P dkk,2017)

2.6 Kekasaran permukaan

Kekasaran permukaan mempengaruhi kualitas dan kehandalan suatu produk dari proses pemesinan. Kekasaran permukaan memiliki peran penting dalam perekatan suatu komponen mesin. Kekasaran permukaan merupakan ketidakteraturan konfigurasi permukaan berupa goresan atau kawah-kawah kecil

pada permukaan. Goresan atau kawah kecil menyebabkan penumpukan beram yang tidak terbawa oleh fluida dielektrik akibatnya loncatan bunga api tidak mengenai permukaan benda melainkan pada beram sehingga kekasaran permukaan semakin besar. Kekasaran permukaan dipengaruhi oleh besar arus listrik, *on time*, *off time*, cairan dielektrik dan keausan pahat. (Darsin M .2. 2010)



Gambar 2. 7 Kekasaran permukaan (juhana dan suratman,2000 dalam Wihardi P. A,2016)

2.7 Tool Wear Ratio (TWR)

TWR merupakan respon output dari proses WEDM yang berkaitan dengan kawat elektroda. Kawat elektroda yang dialiri arus listrik menyebabkan loncatan bunga api untuk mengikis benda kerja, sehingga terjadi energi menyebabkan erosi material benda kerja dan kawat elektroda. Proses pengikisan benda kerja juga menyebabkan kawat elektroda terkikis atau aus, semakin besar erosi yang terjadi pada benda kerja maka semakin besar pula erosi yang terjadi pada kawat elektroda. Nilai *tool wear ratio* dapat dihitung dengan rumus

$$TWR = \frac{\text{berat awal} - \text{berat akhir}}{\text{berat awal}} \dots\dots\dots (2.2)$$

2.8 Baja SKD 61

Baja SKD 61(JIS) merupakan baja paduan yang banyak digunakan di industri manufaktur. Penggunaan baja SKD 61 meliputi *dies* untuk *hot forging dies*, *die casting*, *punch*, *cutting tools*. Baja SKD 61 memiliki sifat mekanik ulet serta memiliki kekerasan yang baik dan tahan terhadap panas. Kandungan utama baja SKD 61 adalah karbon tingkat medium (0,35-0,45%). Kandungan lain untuk memenuhi sifat yang diinginkan yaitu chromium (Cr), tungsten (W) ,molybdenum (Mo) dan vanadium (V) yang jumlah keseluruhannya sekitar 6-25%. Baja ini memiliki *red hardness* yang baik dan memiliki kekerasan yang tinggi (44-50 HRC) setelah sekian lama berada pada temperatur 500 - 550 °C. Kandungan chromium (Cr) yang bergabung dengan silikon memberikan perlindungan terhadap oksidasi pada kondisi tersebut.(Setyadi . I, 2007)

Tabel 2.1 Komposisi Baja SKD 61 berdasarkan JIS

Komposisi	%
C	0,32 - 0,42
Si	0,80 - 1,20
Mn	Max.0,5
P	Max.0,03
S	Max.0,03
Cr	4,50 - 5,50
Mo	1,00-1,50
V	0,80 - 1,20

2.9 Metode Taguchi

Metode taguchi bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses, serta menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin. Metode Taguchi menjadikan produk dan proses memiliki sifat kokoh (*robust*) terhadap faktor faktor gangguan tersebut. Oleh karena itu, metode Taguchi juga disebut

perancangan kokoh (*robust design*). Metode Taguchi memiliki beberapa kelebihan antara lain : (Soejanto, 2009 dalam Wihardi P. A, 2016)

- a. Dapat melaksanakan penelitian yang melibatkan banyak faktor dan level faktor sehingga lebih efisien.
- b. Menghasilkan proses yang konsisten dan kokoh terhadap faktor *noise* (gangguan).
- c. Memperoleh respon optimum dengan menarik kesimpulan terhadap faktor-faktor dan level faktor.

Metode taguchi memiliki struktur rancangan yang kompleks sehingga dalam melakukan percobaan terutama saat pemilihan rancangan harus hati-hati untuk memperoleh hasil optimum. Ketika eksperimen Taguchi telah dilakukan dan data hasil eksperimen yang mengacu pada salah satu *orthogonal array* telah didapatkan, maka prosedur untuk menentukan kombinasi level-level faktor yang mengoptimalkan variabel respon. Keunggulan lain metode Taguchi yang cukup fenomenal yaitu transformasi data eksperimen dalam bentuk *Signal-to-noise ratio* (SNR). SNR mengakomodasi *quality loss function* dan dapat disesuaikan dengan jenis optimasi yang diinginkan (*nominal the best, smaller the better, larger the better*). Hal inilah yang menjadi ide dasar istilah *robust design*, yakni desain parameter produk yang handal dan meminimalkan adanya variasi antar produk serta kerugian biaya kualitasnya ketika akan dilakukan produksi secara massal. Tetapi metode taguchi juga memiliki kelemahan yakni tidak adanya prosedur untuk menemukan level-level baru untuk setiap faktor selain level-level yang telah ditentukan sebelumnya. Artinya, Taguchi hanya mencari kombinasi level-level faktor untuk mengoptimalkan response, tanpa mempertimbangkan adanya kemungkinan menggeser level faktor ke arah optimal yang lebih baik. (Hidayat .M. A ,2012)

2.9.1 Tahapan perencanaan metode taguchi

- a. Perumusan Masalah

Perumusan masalah didefinisikan secara spesifik agar dapat dimasukkan ke dalam eksperimen yang dilakukan meliputi parameter dan respon yang diharapkan dalam suatu eksperimen.

b. Penentuan Tujuan Eksperimen

Eksperimen yang dilandasi tujuan harus dapat menjawab masalah yang telah di tampilkan pada perumusan masalah yang menjadi sebab akibat secara sistematis.

c. Penentuan Variabel Tak Bebas/Variabel Respon

Dalam desain eksperimen Taguchi, respon adalah karakteristik kualitas yang terdiri dari tiga kategori, yaitu:

- 1) Karakteristik yang dapat diukur, yaitu semua hasil akhir yang dapat diukur dengan skala kontinyu. Contohnya adalah massa, volume, berat, tekanan, dan lain-lain.
- 2) Karakteristik atribut, yaitu semua hasil akhir yang tidak dapat diukur dengan skala kontinyu, tetapi dapat diklasifikasikan secara berkelompok. Contohnya adalah retak, jelek, baik, dan lain-lain.
- 3) Karakteristik dinamik, yaitu fungsi representasi dari proses yang diamati. Proses yang diamati digambarkan sebagai sinyal dan keluaran digambarkan sebagai hasil dari sinyal. Contohnya adalah sistem transmisi otomatis dengan putaran mesin sebagai masukan dan perubahan getaran sebagai keluaran.

d. Pengidentifikasian Faktor/Variabel Bebas

Pada langkah ini akan dipilih faktor-faktor yang akan diselidiki pengaruhnya terhadap respon yang bersangkutan. Dalam suatu eksperimen, tidak semua faktor yang diperkirakan mempengaruhi respon harus diselidiki. Dengan begitu eksperimen dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien.

e. Pemisahan Variabel Kontrol dan Variabel Gangguan

Pada desain eksperimen taguchi perlu dilakukan pidentifikasi antara variabel kontrol dengan variabel gangguan sebab pengaruh antar kedua faktor berbeda. Faktor kontrol nilainya dapat dikendalikan sedangkan variabel/faktor gangguan nilainya tidak dapat dikendalikan.

f. Penentuan jumlah level dan nilai level faktor

Semakin banyak level yang dteliti hasilnya semakin akurat tetapi biaya yang di kelurkan relatif tinggi.

g. Perhitungan derajat kebebasan

Banyaknya perbandingan yang harus dilakukan antar level faktor (efek utama) atau interaksi untuk menentukan jumlah percobaan minimum sehingga memberikan informasi tentang faktor dan level yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap karakteristik kualitas faktor utama, misal faktor utama A dan B : maka

$$\begin{aligned} V_A &= (\text{jumlah level faktor A}) - 1 \\ &= k_A - 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_B &= (\text{jumlah level faktor B}) - 1 \\ &= k_B - 1 \text{ (Andriani dkk,2017)} \end{aligned}$$

h. Pemilihan Matriks Ortogonal

Pemilihan matriks ortogonal ditentukan oleh jumlah derajat kebebasan dari jumlah faktor dan jumlah level faktor. Matriks ortogonal memiliki kemampuan untuk mengevaluasi sejumlah faktor dengan jumlah eksperimen yang minimum (Soejanto,2009). Suatu matriks ortogonal dilambangkan dalam bentuk: $L_a(b^c)$

dimana :

L = rancangan bujursangkar latin.

a = banyaknya percobaan.

b = banyaknya level faktor.

c = banyaknya faktor.

Tabel 2.2 Matriks Orthogonal $L_9(3^3)$

Kombinasi	Parameter		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1

7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

i. Rasio S/N

Rasio S/N merupakan nilai yang menyatakan perbandingan *signal to noisy* dimana nilai tersebut digunakan untuk mengetahui pengaruh varian parameter terhadap respon. Rasio S/N memiliki keunggulan yaitu meminimumkan eror atau gangguan sehingga nilai yang dihasilkan lebih spesifik. Rasio S/N memiliki karakteristik semakin kecil semakin baik, tertuju pada nilai tertentu dan semakin besar semakin baik.

1) Semakin kecil semakin baik (*smallest the better*)

Karakteristik kualitas semakin kecil semakin baik memiliki batas nilai 0 dan non negatif, sehingga nilai semakin kecil atau mendekati nol adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut (soejanto, 2009):

$$S/N = -10 \log \left[\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} \right] \dots \dots \dots (2.3)$$

dengan:

n= jumlah data

i= data respons pengukuran

2) Tertuju pada nilai tertentu (*Nominal the better*)

Karakteristik tertuju pada nilai tertentu yaitu karakteristik kualitas dengan nilai/target tidak nol dan terbatas, sehingga nilai yang semakin mendekati target tersebut adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut (soejanto, 2009):

$$S/N = -10 \log \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n} \right] \dots \dots \dots (2.4)$$

3) Semakin besar semakin baik (*Higher the better*)

Karakteristik kualitas semakin besar semakin baik dengan rentang nilai tak terbatas dan non negatif sehingga nilai yang semakin besar adalah nilai

yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut (soejanto, 2009):

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{\sum_{i=1}^n (1/y_i^2)}{n} \right] \dots\dots\dots(2.5)$$

2.9.2 Tahap pelaksanaan

Tahap pelaksanaan metode taguchi meliputi menentukan jumlah replikasi dan randomisasi percobaan.

a. Jumlah replikasi

Replikasi merupakan pengulangan kembali percobaan dengan kondisi yang sama untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti dan dapat mengurangi kesalahan pada suatu percobaan.

b. Randomisasi

Randomisasi diperlukan untuk mengurangi faktor lain yang tidak terkendali seperti akibat operator, kemampuan mesin dan lain lain yang dapat mempengaruhi hasil eksperimen. pengaruh faktor tersebut diperkecil dengan meratakan pengaruh dari faktor yang tidak dapat dikendalikan, memberikan kesempatan yang sama untuk menerima suatu perlakuan agar terjadi kehomogenan pada perlakuan yang sama.

2.9.3 Tahap analisa

Analisa dilakukan pada pengolahan, perhitungan serta penyajian data dalam suatu layout yang sesuai dengan desain terpilih untuk suatu percobaan. Pengujian data menggunakan analisis variansi, tes hipotesa dan penerapan rumus empiris. Tahap analisa metode taguchi yaitu:

a. Analisis of varian

Analisis of varian merupakan metode statistik untuk menginterpretasikan data-data hasil eksperimen yang memungkinkan secara kuantitatif memperkirakan pengaruh kontribusi setiap parameter pada semua respon. Analisis varian dilakukan berdasarkan perhitungan jumlah kuadrat untuk masing-masing kolom atau dengan membandingkan nilai *sum of square* dari suatu parameter terhadap seluruh parameter pemesinan. (Soejanto,2009)

Tabel 2.3 Tabel Analisis Variansi (ANAVA)

Sumber Variasi	Degree of freedom (df)	Sum of square (SS)	Mean square (MS)	F hitung (F ₀)
Faktor A	$V_A = k_A - 1$	$SS_A = n_A \sum_{i=1}^n (A_i - \bar{y})^2$	$MS_A = \frac{SS_A}{df_A}$	$\frac{MS_A}{MS_E}$
Faktor B	$V_B = k_B - 1$	$SS_B = n_B \sum_{i=1}^n (B_i - \bar{y})^2$	$MS_B = \frac{SS_B}{df_B}$	$\frac{MS_B}{MS_E}$
Faktor C	$V_C = k_C - 1$	$SS_C = n_C \sum_{i=1}^n (C_i - \bar{y})^2$	$MS_C = \frac{SS_C}{df_C}$	$\frac{MS_C}{MS_E}$
Residual	$V_E = df_T - df_A - df_B$	$SS_A = SS_T - SS_A - SS_B$	$MS_E = \frac{SS_E}{df_E}$	
Total	$V_T = N - 1$	$SS_T = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$		

Sumber: Soejanto, 2009

dengan:

kA = banyaknya level pada parameter A

kB = banyaknya level pada parameter B

kC = banyaknya level pada parameter C

nA = banyaknya pengulangan level parameter A

nB = banyaknya pengulangan level parameter B

nC = banyaknya pengulangan level parameter C

 \bar{y} = rata-rata total

N = jumlah total pengamatan

b. Uji F

Uji hipotesa F dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan oleh masing-masing parameter dan variansi *error*. Variansi eror atau residual adalah variansi setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena parameter atau faktor yang tidak dapat dikendalikan. Rumus untuk mencari nilai F_{hitung} terdapat pada tabel 2.3. Nilai F_{hitung} kemudian dibandingkan dengan nilai F

tabel pada harga α tertentu dengan derajat kebebasan $(k-1)$, dimana k adalah jumlah level. (soejanto,2009)

2.10 Uji Asumsi Residual

Residual merupakan selisih antara nilai pengamatan dengan nilai dugaan $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$. Dalam analisis regresi terdapat asumsi bahwa residual bersifat bebas satu sama lain (independen), mempunyai rata-rata sama dengan nol dan variansi yang konstan σ^2 (identik), serta terdistribusi normal atau $\varepsilon_i \sim IIDN(0, \sigma^2)$. Oleh karena itu dalam setiap pendugaan model harus dilakukan pemeriksaan asumsi tersebut apakah terpenuhi atau tidak. Uji asumsi residual terdiri dari :

a. Uji independen

Uji independen digunakan untuk menjamin bahwa pengamatan telah dilakukan secara acak, yang berarti antar pengamatan tidak terdapat korelasi (independen). Pemeriksaan asumsi ini dilakukan dengan menggunakan *plot autocorrelation function* (ACF).

b. Uji homogenitas

Pengujian homogenitas varians atau uji identik bertujuan untuk memenuhi apakah residual mempunyai penyebaran yang sama. Hal ini dilakukan dengan memeriksa plot e_i terhadap \hat{Y}_i (secara visual). Jika penyebaran datanya acak dan tidak menunjukkan pola-pola tertentu, maka asumsi identik terpenuhi.

c. Uji kenormalan

Normal probability plot pada Minitab menyatakan probabilitas dari residual suatu respons. Selain itu, dengan *Kolmogorov-Smirnov normality test* juga dapat digunakan dalam pengujian kenormalan residual. Hipotesis yang digunakan adalah:

H_0 : residual berdistribusi normal.

H_1 : residual tidak berdistribusi normal.

Gagal tolak H_0 apabila $P\text{-value} > \alpha$

2.11 Metode Taguchi-Pcr topsis

Taguchi-Pcr topsis (*process capability ratio Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) merupakan metode multirespon yang digunakan untuk menentukan titik optimum suatu percobaan. Metode ini diperlukan jika respon yang digunakan lebih dari satu. Konsep dasar metode taguchi pcr yaitu alternatif yang terpilih harus mempunyai jarak terdekat dari solusi ideal positif dan jarak terjauh dari solusi ideal negatif. Solusi ideal positif diartikan jumlah dari seluruh nilai terbaik yang dapat dicapai setiap atribut, sedangkan solusi ideal negatif terdiri dari seluruh nilai terendah yang dicapai dari setiap atribut. Topsis mempertimbangkan jarak solusi ideal positif dan jarak solusi ideal negatif kemudian mengambil nilai terdekat relatif terhadap solusi ideal positif. Tahapan metode taguchi pcr topsis sebagai berikut.

2.11.1 Menghitung signal to noisy ratio (snr)

Snr digunakan untuk mengetahui pengaruh suatu parameter terhadap respon dan meminimalisir karakteristik kualitas terhadap parameter gangguan gangguan. Perhitungan rasio S/N tergantung dari jenis karakteristik kualitas, yang digunakan yaitu:

Semakin kecil semakin baik (*smallest the better*) untuk respon TWR dan semakin besar semakin baik (*Higher the better*) untuk MRR.

2.11.2 Menghitung PCR SNR

Untuk menghitung pcr snr menggunakan rumus dibawah ini

$$C_j^i = \frac{n_j^i - \bar{x}_{nj}}{3 s_{nj}} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$S_{nj} = \frac{\sqrt{\sum (n_j^i - \bar{x}_{nj})^2}}{m-1} \dots \dots \dots (2.7)$$

$$\bar{x}_{nj} = \frac{\sum n_j^i}{m-1} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :

n_j^i : Percobaan ke 1- n

m : Total percobaan

2.11.3 Menghitung Menghitung pcr topsis (S^i)

Sebelum menghitung nilai topsis maka menentukan nilai ideal positif dan negatif , rumus yang digunakan yaitu :

$$S^i = \frac{d^{i-}}{d^{i+} + d^{i-}} \dots\dots\dots 2.9)$$

$$d^{i+} = \sqrt{\sum_j^n (C_j^i - C_j^+)^2} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$d^{i-} = \sqrt{\sum_j^n (C_j^i - C_j^-)^2} \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana:

C_j^+ : Nilai tertinggi

C_j^- : Nilai terendah

2.12 Hipotesis

Berdasarkan referensi jurnal tentang *wire cut* EDM meningkatkan nilai *peak curent* dapat mempercepat waktu pemotongan atau meningkatkan *nilai material removal rate*, karena semakin banyak jumlah elektron yang menumbuk benda kerja dan peningkatan parameter *wire tension* juga dapat mengarahkan kawat lebih mudah akibatnya erosi benda kerja lebih cepat sedangkan pengaruh terhadap TWR semakin besar *wire tension* dapat meningkatkan nilai TWR (Goswami. A). Hubungan *peak curent* dengan TWR dalam penelitian (Ramakrishnan R) yaitu meningkatnya *peak curent* secara signifikan menyebabkan penurunan TWR. Parameter *Voltage open* berhubungan dengan TWR dimana semakin besar nilai *Voltage Open* menyebabkan peningkatan TWR akibat dari energi panas yang dihasilkan oleh percikan bunga api dapat mengerosi material kawat elektroda, sedangkan hubungannya dengan MRR meningkatnya *voltage open* menyebabkan lebar pemotongan yang lebih besar sehingga MRR meningkat (Tosun N). Optimasi yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu mencari nilai MRR tertinggi dan memperoleh nilai TWR terendah. Kedua respon tersebut dicari titik optimum parameter yang dianggap berpengaruh sehingga memperoleh nilai MRR dan TWR yang optimum.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di laboratorium pemesinan non konvensional Politeknik Negeri Malang dan laboratorium uji material Fakultas Teknik Universitas Jember. Waktu penelitian akan dijadwalkan mulai pada bulan Juli 2018. Proses tersebut meliputi persiapan alat, pengambilan data, analisis data, dan pengambilan kesimpulan.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

a. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Mesin Wire EDM MITSUBISHI tipe BA8 ditunjukkan pada gambar 3.1 dan mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

- 1) Dimensi : 1080 x 2085 x 2037 mm
- 2) Arah pergerakan : X – 320 mm
: Y – 250 mm
: Z – 220 mm
- 3) Tegangan maksimum : 300 V
- 4) Arus maksimum : 50 A
- 5) *On time* maksimum : 2000 μ s
- 6) *Off time* maksimum : 900 μ s
- 7) Berat mesin : 1800 kg
- 8) Tegangan kawat : 0.5 – 25 N
- 9) Diameter kawat : 0.1 – 0.3 mm



Gambar 3.1 Mesin wire EDM Mitsubishi BA 8

b. Peralatan Ukur

Peralatan ukur yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1) Neraca Digital

Alat ukur ini digunakan untuk mencari nilai berat benda uji benda kerja maupun kawat elektroda, baik sebelum dan sesudah proses pembuangan material dengan menggunakan mesin EDM. Neraca digital yang digunakan pada penelitian ini adalah *Pocket Scale* MH-200 yang mempunyai ketelitian ukuran 0,001 gram.

2) Mikrometer

Alat ukur ini digunakan untuk mengukur dimensi dari benda uji sesudah proses pembuangan material. Mikrometer yang digunakan pada penelitian ini adalah MITUTOYO yang mempunyai ketelitian ukuran 0,01 mm.

3) Jangka sorong

Alat ukur ini digunakan untuk mengukur benda uji sebelum proses pemotongan. Jangka sorong yang digunakan memiliki ketelitian 0,02 mm.

4) *Stop Watch*

Alat ukur ini digunakan untuk menghitung waktu aktual selama proses pembuangan material berlangsung. *Stop watch* yang digunakan pada penelitian ini mempunyai ketelitian 0,01 detik.

5) Alat uji mikro olympus BX41M

Alat ini digunakan untuk melihat kontur permukaan kawat dan spesimen setelah proses pemotongan.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

a. Elektroda AC BRASS 1000

Spesifikasinya adalah sebagai berikut:

- 1) Nilai konduktivitas listrik : 22% *IACS*
- 2) Elongation : 1,5%
- 3) Diameter kawat : 0.2 mm
- 4) Material : Brass $C_{u}Z_{n}40$

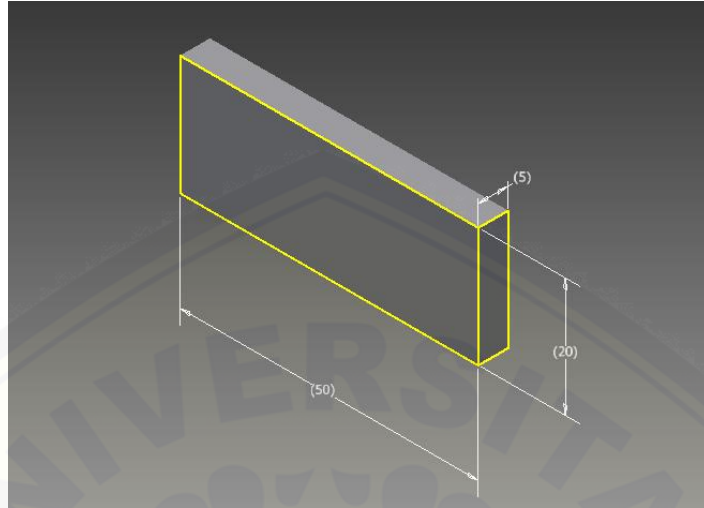
b. Cairan dielektrik menggunakan *pure water* (aquades). Spesifikasinya adalah sebagai berikut:

- 1) Titik didih : 100 °C
- 2) Titik beku : 0 °C
- 3) Tahanan spesifik : 0,5-100 X 10⁴ Ω cm

c. Baja SKD 61 dengan komposisi kimia disajikan pada Tabel 3.1 dengan massa jenis 7,8 g/cm³. sedangkan untuk dimensi benda kerja pada penelitian ini disajikan pada Gambar 3.3.

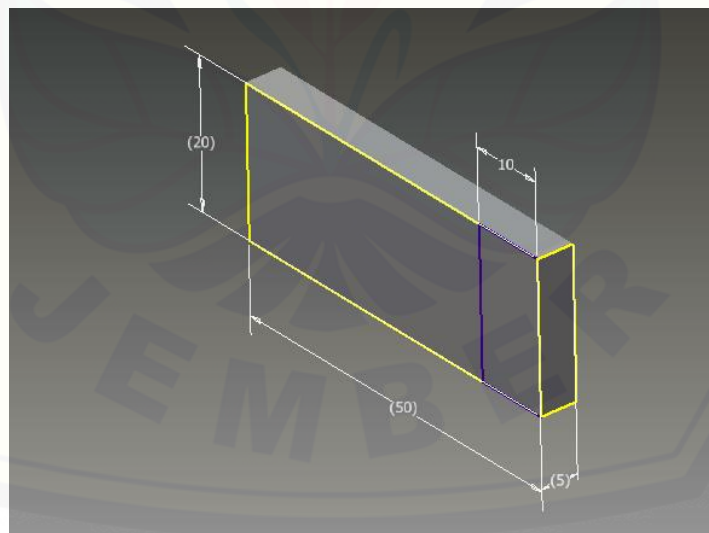
Tabel 3.1 Komposisi kimia baja SKD 61

C	Mn	Si	Cr	Mo	V	P	S
0.32-0.42	Max 0.5	0.80- 1.20	4.50- 5.50	1.00- 1.50	0.80- 1.20	Max 0.03	Max 0.03



Gambar 3.2 Dimensi benda kerja

Gambar 3.2 merupakan dimensi benda uji yang akan dipotong, jumlah total 27 benda uji. Panjang benda uji yang dipotong yaitu 10 mm. Untuk lebih jelasnya disajikan pada gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3 Perencanaan pemotongan

3.3 Variabel Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data yang diperoleh dari hasil percobaan. Variabel-variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi terjadinya sesuatu. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah:

- a. *Peak current* (I_p)
- b. *Voltage Open* (V_o)
- c. *Wire Tension*

3.3.2 Variabel Respon

Variabel respon merupakan variabel yang diamati dalam penelitian. Nilai variabel ini dipengaruhi oleh nilai variabel-variabel proses yang telah ditentukan. Berikut adalah variabel respon yang digunakan dalam penelitian ini

- a. Laju pembuangan material (MRR)
- b. Laju Keausan Kawat (TWR)

3.3.3 Variabel Konstan

Variabel konstan merupakan variabel yang tidak diteliti dalam penelitian. Nilai variabel ini dijaga konstan agar tidak berubah selama percobaan, sehingga mempengaruhi variabel respon. Variabel-variabel yang menjadi variabel konstan pada penelitian ini adalah:

- a. *Off time*
- b. *On time*
- c. *Wire speed*
- d. *Polaritas*
- e. Jenis Cairan dielektrik
- f. *Flushing pressure*
- g. Jenis Elektroda

3.3.4 Variabel gangguan

Variabel gangguan atau biasa disebut sebagai *noise factor* adalah variabel yang memiliki pengaruh terhadap variabel respon, tetapi sangat sulit atau tidak

bisa dikendalikan. Variabel-variabel yang mungkin menjadi *noisefactor* dalam penelitian ini adalah temperatur cairan dielektrik, konsentrasi partikel-partikel lain dalam cairan dielektrik dan kondisi permukaan elektroda. Variabel-variabel ini tidak dimasukkan ke dalam rancangan percobaan, sehingga pengambilan data dilakukan dengan replikasi untuk mengatasi pengaruh *noise factor* pada hasil penelitian.

3.4 Rancangan Percobaan

3.4.1 Pengaturan Variabel pada Mesin Wire EDM

Pengaturan variabel-variabel pada mesin Wire EDM dilakukan berdasarkan *manual book wire EDM MITSUBISHI BA8* dan diambil secara acak. Pengaturan nilai dari variabel-variabel proses yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.2 Variabel-variabel proses dan level yang digunakan

Kode	Variabel proses	Satuan	Level 1	Level 2	Level 3
A	<i>Peak curent (Ip)</i>	A	6	8	9
B	<i>Voltage Open (Vo)</i>	V	5	7	9
C	<i>Wire Tension</i>	N	6	8	10

3.4.2 Pemilihan Matriks Ortogonal

Pemilihan matriks ortogonal berdasarkan jumlah parameter kendali yang akan digunakan dan jumlah level dari setiap parameter kendali. matriks ortogonal harus memiliki derajat kebebasan yang sama atau lebih besar daripada total derajat kebebasan parameter-parameter kendali yang telah ditetapkan. Pada penelitian ini terjadi interaksi antar parameter kendali.

Tabel 3.3 Total derajat kebebasan parameter-parameter kendali

No	Parameter kendali	Jumlah level	df = (k-1)
1	<i>Peak curent</i> (Ip) A	3	2
2	<i>Voltage Open</i> (Vo) B	3	2
3	<i>Wire Tension</i> (N) C	3	2
Total			6

Tabel 3.3 menunjukkan bahwa total derajat kebebasan adalah 6. Maka matriks ortogonal yang sesuai untuk percobaan dengan derajat kebebasan 6 adalah $L_9(3^3)$. Pemilihan matriks ortogonal yang sesuai pada penelitian ini yaitu $L_9(3^4)$ ditunjukkan oleh Tabel 3.4 sebagai berikut:

Tabel 3.4 Rancangan Penelitian

No. Percobaan	Parameter kendali		
	IP setting	Voltage Open	Wire tension
1	6	5	6
2	6	7	8
3	6	9	10
4	8	5	8
5	8	7	10
6	8	9	6
7	9	5	10
8	9	7	6
9	9	9	8

3.5 Pengukuran dan Pengambilan Data

3.5.1 Pengambilan Data Laju Pembuangan Material (MRR)

Laju pembuangan material dapat dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$MRR = V_c \cdot b \cdot h \text{ (mm}^3\text{/menit)} \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana :

V_c = Kecepatan potong (mm/min)

h = tebal benda kerja (mm)

b = lebar pemotongan (mm) ; $b = 2W_g + d$; W_g = Spark gap (mm); d = diameter kawat (mm).

Data dalam penelitian yang akan diambil seperti yang terlihat pada Tabel 3.5 sebagai berikut:

Tabel 3.5 Pengambilan data laju pembuangan material

Kombinasi	Control factor			Waktu (menit)	Vc (mm/me nit)	Tebal benda (mm)	Lebar (mm)	MRR
	IP	Vo	Wt					
1	6	5	6			5		
2	6	7	8			5		
3	6	9	10			5		
4	8	5	8			5		
5	8	7	10			5		
6	8	9	6			5		
7	9	5	10			5		
8	9	7	6			5		
9	9	9	8			5		

3.5.2 Pengambilan data laju keausan kawat (TWR)

Proses pengambilan dilakukan dengan mengurangi berat awal kawat sebelum proses dikurangi berat kawat setelah proses dibagi berat awal kawat. Pengukuran berat kawat menggunakan neraca digital. Data pengukuran laju keausan kawat terdapat pada tabel 3.6 berikut ini.

$$TWR = \frac{\text{berat awal} - \text{berat akhir}}{\text{berat awal}} \dots\dots\dots(3.2)$$

Tabel 3.6 Pengambilan data laju keausan kawat

No percobaan	Control factor			Panjang kawat (m)	Berat sebelum proses	Berat setelah proses	TWR
	IP	Vo	Wt				
1	6	5	6				
2	6	7	8				
3	6	9	10				
4	8	5	8				
5	8	7	10				
6	8	9	6				
7	9	5	10				
8	9	7	6				
9	9	9	8				

3.5.3 Perhitungan Rasio S/N

Rasio S/N metode taguchi digunakan untuk meneliti faktor *noise* terhadap variasi yang timbul. Perhitungan nilai rasio S/N tergantung dari jenis karakteristik kualitas dari masing-masing respons. Respons laju pembuangan material memiliki karakteristik semakin besar semakin baik. Rasio S/N keausan kawat memiliki karakteristik kualitas respons semakin kecil semakin baik dihitung dengan menggunakan persamaan.

Perhitungan rasio S/N laju pembuangan material dengan karakteristik semakin besar semakin baik adalah sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(1/y_i^2)}{n} \right] \dots \dots \dots (3.3)$$

Perhitungan rasio S/N ketelitian ukuran dengan karakteristik semakin kecil semakin baik adalah sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \right] \dots \dots \dots (3.4)$$

Tabel 3.7 Perhitungan rasio S/N

No percobaan	Parameter Kontrol			<i>MRR</i> (mm ³ /min)	<i>TWR</i>
	Ip setting	Voltage open	Wire tension	S/N	S/N
1	6	5	6		
2	6	7	8		
3	6	9	10		
4	8	5	8		
5	8	7	10		
6	8	9	6		
7	9	5	10		
8	9	7	6		
9	9	9	8		
Rata-rata					

3.5.4 Menghitung PCR SNR

PCR SNR diperoleh dari hasil perhitungan S/N rasio setiap percobaan pada tabel 3.7 menggunakan rumus:

$$\bar{x}_{nj} = \frac{\sum n_j^i}{m-1} \dots\dots\dots(3.5)$$

$$S_{nj} = \frac{\sqrt{\sum(n_j^i - \bar{x}_{nj})^2}}{m-1} \dots\dots\dots 3.6)$$

$$C_j^i = \frac{n_j^i - \bar{x}_{nj}}{3 s_{nj}} \dots\dots\dots (3.7)$$

3.5.5 Menghitung PCR TOPSIS

Perhitungan PCR topsis menggunakan rumus berikut berdasarkan nilai PCR SNR

$$S^i = \frac{d^{i-}}{d^{i+} + d^{i-}} \dots\dots\dots(3.8)$$

$$d^{i+} = \sqrt{\sum_j^n (C_j^i - C_j^+)^2} \dots \dots \dots (3.9)$$

$$d^{i-} = \sqrt{\sum_j^n (C_j^i - C_j^-)^2} \dots \dots \dots (3.10)$$

C_j^+ : Nilai tertinggi

C_j^- : Nilai terendah

3.6 Karakteristik Respon Optimum

Karakteristik respon optimum yang digunakan pada penelitian ini adalah *smaller the better* dan *larger the better*. Karakteristik *smaller the better* berlaku untuk laju keausan kawat (TWR) dan karakteristik *larger the better* berlaku untuk laju pembuangan material (MRR). Perhitungan rasio S/N masing-masing parameter kendali dilakukan dengan menggunakan perangkat komputasi statistik minitab. Untuk menentukan titik optimum kedua respon menggunakan metode taguchi-per topsis.

3.7 Langkah-langkah Percobaan

Langkah-langkah pelaksanaan percobaan yang akan dilaksanakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mempersiapkan peralatan, benda kerja dan elektroda:
 - 1) Mengukur massa awal dari kawat elektroda sebelum proses pemesinan dilakukan dan catat pada tabel yang sudah tersedia.
 - 2) Mengukur dimensi benda kerja dan catat pada Tabel 3.6 yang sudah tersedia.
 - 3) Membersihkan benda kerja dan elektroda dari kotoran-kotoran yang bersifat isolator yang dapat menghambat proses pembuangan material.
- b. Memasang benda kerja pada meja mesin WEDM kemudian dikencangkan dan atur kelurusannya menggunakan *dial indicator*;
- c. Mengatur posisi pemakanan sesuai titik referensi pada benda kerja dengan program CNC yang telah dibuat;

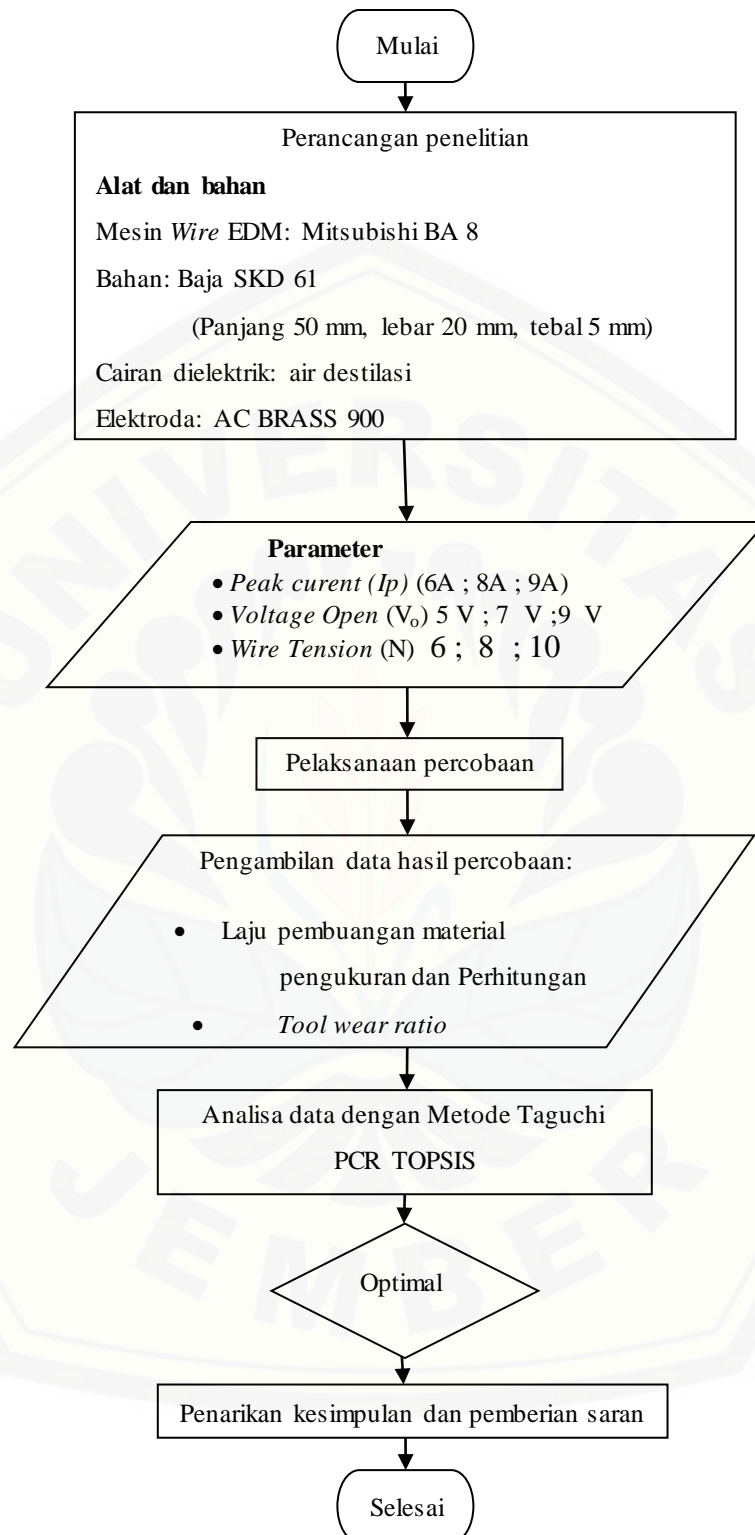
- d. Mengatur parameter pada mesin WEDM sesuai dengan rancangan percobaan yang telah ditetapkan;
- e. Melakukan proses pembuangan material sesuai dengan urutan percobaan yang telah ditetapkan pada Tabel 3.5;
- f. Mencatat waktu yang dibutuhkan setiap pemotongan benda kerja masing-masing percobaan untuk menghitung kecepatan potong;
- g. Matikan mesin kemudian melepas dan membersihkan benda kerja dari cairan dielektrik yang dapat menyebabkan karat setelah proses pembuangan material selesai;
- h. Mengukur dimensi benda kerja setelah proses pemotongan untuk menghitung lebar pemotongan dan catat pada Tabel 3.5 yang telah tersedia;
- i. Hitung laju pembuangan material dengan menggunakan persamaan (3.1) dan catat hasil perhitungan pada tabel 3.5
- j. Mengukur massa kawat setiap proses pemesinan menggunakan neraca digital catat pada tabel 3.6.
- k. Menghitung nilai keausan kawat menggunakan persamaan (3.2) masukkan hasil perhitungan ke pada tabel 3.6

3.8 Jadwal Kegiatan Penelitian

Jadwal pelaksanaan kegiatan penelitian ini akan dilaksanakan seperti pada Tabel 3.9 sebagai berikut:

Tabel 3.8 Jadwal kegiatan Penelitian

Jenis Kegiatan	Februari				Maret				April				Mei				Juni			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Pustaka																				
Pengajuan Judul																				
Penyusunan Proposal																				



Gambar 3.4 Diagram alir metode penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil optimasi dan analisa menunjukkan bahwa penelitian yang berjudul “Optimasi *material removal rate* dan *tool wire ratio* pada *wire electrical discharge machine* (WEDM) dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Kontribusi pengaruh dari parameter pemesinan yang paling signifikan dalam menghasilkan laju pembuangan material pada proses *wire cut electrical discharge machine* secara berurutan dipengaruhi oleh *Peak current* (I_p) memberikan kontribusi sebesar 63,7%, *wire tension* memberikan kontribusi sebesar 31,4 % dan parameter *voltage open* memberikan kontribusi sebesar 1,9 %
- b. Kontribusi pengaruh dari parameter pemesinan yang paling signifikan dalam menghasilkan laju keausan kawat pada proses *wire cut electrical discharge machine* secara berurutan dipengaruhi oleh *voltage open* sebesar 54,4 %, parameter *wire tension* memberikan kontribusi sebesar 36,5 %, dan parameter *peak current* (I_p) memiliki kontribusi sebesar 7,8 %
- c. Parameter optimum terhadap laju pembuangan material (MRR) dan laju keausan kawat (TWR) yaitu *peak current* level 3 sebesar 9 A, *voltage open* level 1 sebesar 5 V dan *wire tension* pada level 2 dengan nilai 8 N, menghasilkan nilai MRR sebesar 9,846 mm³/min dan TWR sebesar 0,078

5.2 Saran

Metode optimasi multi respons yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Taguchi-PCR TOPSIS, diharapkan menggunakan metode multi respon lain sebagai perbandingan untuk penelitian selanjutnya. Beberapa parameter lain yang belum diteliti atau masih dianggap konstan bisa dilakukan pengkajian mendalam sehingga kedepannya tidak menutup kemungkinan memperoleh hasil yang lebih optimal.

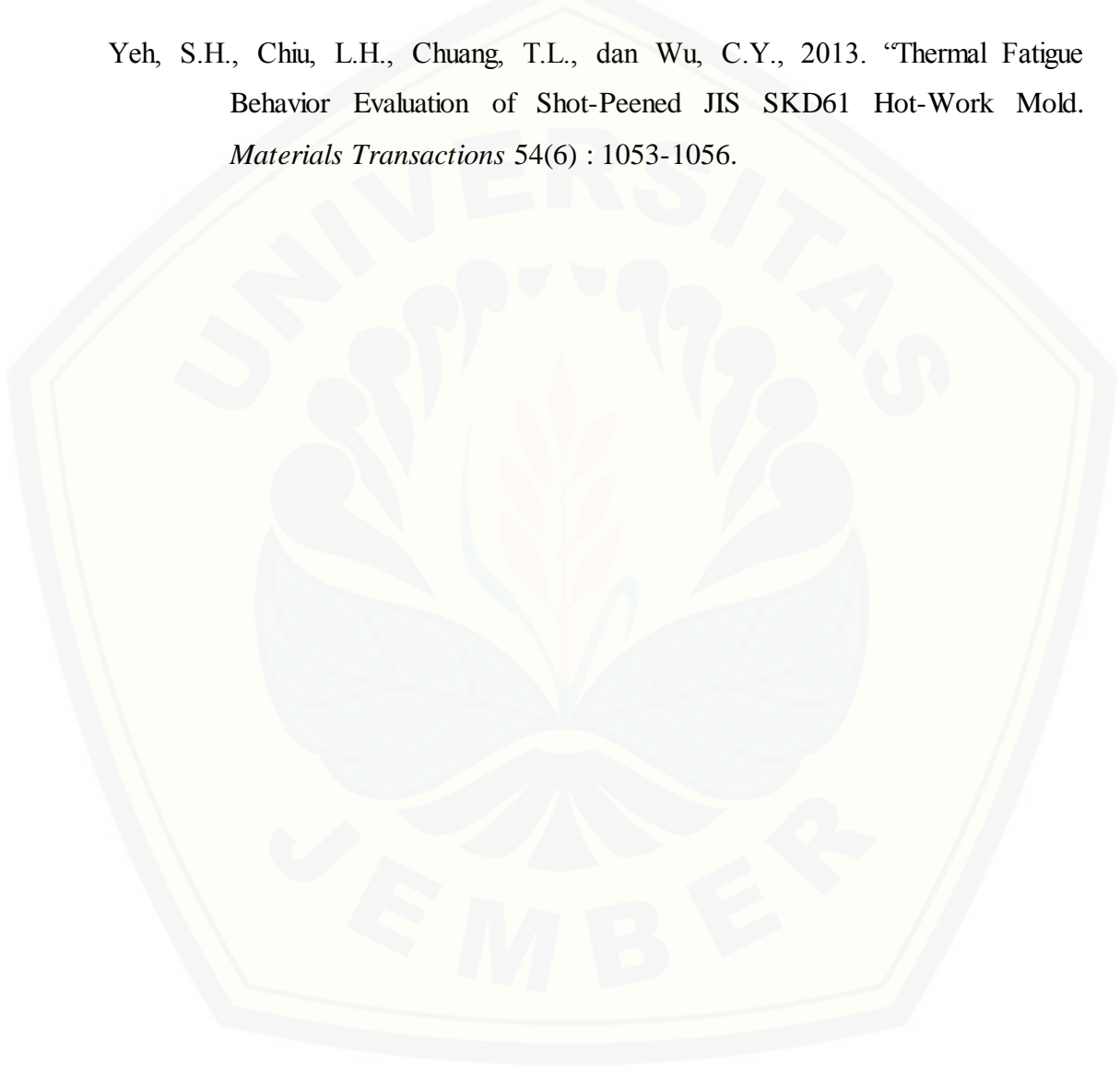
DAFTAR PUSTAKA

- A. Goyal. 2017. *Investigation of Material removal rate and Surface roughness during Wire electrical discharge machining (WEDM) machining of Inconel 625 super alloy by cryogenic treated tool electrode, Journal of King Saud University – Science*
- Andriani D.P dkk. 2017. *Desain dan analisis eksperimen untuk rekayasa kualitas*. Brawijaya University : Malang.
- Darsin M. 2010. *Proses pemesinan non konvensional*. Jember University Press : Jember
- Goswami A., Kumar J. 2014. *Investigation of surface integrity, material removal rate and wire wear ratio for WEDM of nimonic alloy using GRA and taguchi method. Engineering Science and Technology an International Journal (17) : 173- 174.*
- Hidayat ,M ,A. 2012. *Response-surface dan Taguchi : Sebuah alternatif atau kompetisi dalam optimasi secara praktis* Prosiding Seminar Nasional Industrialisasi Madura ISSN 2302-4135. 134-139.
- Ikram. A, dkk.2013. *Parametric optimization for surface roughness, kerf and MRR in wire electrical discharge machining (WEDM) using Taguchi design of experiment. Journal of Mechanical Science and Technology 27 (7) : 2133-2141 .*
- Khotimah . C , Mashuri . M. 2015. *Penerapan Metode Optimasi Multirespon Menggunakan Hybrid PCA-Taguchi dan PCR-TOPSIS Taguchi pada Penggurdian Material Komposit. Jurnbal sains dan seni ITS. 4 (1) : D1-D6*

- Mahapatra S.S , Patnaik A. 2007. *Optimization of wire electrical discharge machining (WEDM) process parameters using taguchi method. Journal Advance Manufacturing Technology* (34) : 911 : 925.
- Martowibowo, S. Y., dan Andriansyah. 2007. Optimisasi proses pemesinan EDM *wire cut* untuk modus gerak sirkular menggunakan algoritma genetik. *Mesin*. 22(2) : 62-68.
- Martowibowo, S. Y., dan Pinandito S. 2017. Studi eksperimental hubungan parameter proses pemesinan *wire EDM* dengan kekasaran permukaan untuk material AISI 1148. *Mesin*. 15(2) : 39-43
- Purwanti , E , P ., Bachtiar ., Rahmi , N, F , 2017. Metode Taguchi dan *Grey Relational Analysis* untuk Optimasi Kekasaran Permukaan dan Laju Pengerjaan pada Wire EDM. *Seminar matematika dan pendidikan matematika UNY*. 11 November 2017 : PS 41- PS 50.
- Ramakrishnan R , Karunamoorthy L. 2006 . *Multi response optimization of wire EDM operations using robust design of experiments. Journal Advance Manufacturing Technology* (29) : 105 : 112.
- Setyadi , I . 2007. Optimallsasi pencapaian target komposisi pada Pembuatan baja SKD 61 melalui penggunaan scrap besi cor. *M.P.I*. 1 (3) : 1 – 7.
- Soejanto I. 2009. *Desain eksperimen dengan metode taguchi*. Graha Ilmu : Yogyakarta
- Susanto E. E., Stevani . A, 2015 Pengaruh *Wire Tension Electrode* Pada Mesin *Wire EDM* Terhadap Kepresisian Pemotongan. *Seminar Nasional Teknologi 2015. 17 Januari 2015*. ISSN 2407- 7534 : 285-295.
- Tosun N., Cogun c. 2003. *An investigation on wire wear in WEDM. Journal of materials processing Technology* (134) :273-278.
- Wihardi .P .A . 2016. Optimasi Tebal Lapisan *Recast*, Kekasaran Permukaan dan *Microcrack* pada Proses Pemesinan *Wire Electrical Discharge*

Machining (WEDM) Baja Perkakas SKD 61 dengan menggunakan Metode *Optimasi Back-Propagation Neural Network* (BPNN) dan *Genetic Algorithm* (GA). Tesis. Surabaya : Program Magister Bidang Keahlian Rekayasa dan Sistem Manufaktur Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh November.

Yeh, S.H., Chiu, L.H., Chuang, T.L., dan Wu, C.Y., 2013. "Thermal Fatigue Behavior Evaluation of Shot-Peened JIS SKD61 Hot-Work Mold. *Materials Transactions* 54(6) : 1053-1056.



Lampiran 6.1 perhitungan parameter kontribusi terhadap MRR dan TWR

Analysis of Variance for SNRA MRR, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
IP setting	2	13,5996	13,5996	6,7998	83,03	0,012
VO	2	0,6402	0,6402	0,3201	3,91	0,204
WT	2	6,6755	6,6755	3,3378	40,76	0,024
Error	2	0,1638	0,1638	0,0819		
Total	8	21,0791				

$$SS'_{IP} = 13,5996 - 2 \times 0,0819$$

$$SS'_{IP} = 13,4358$$

$$\rho_{IP} = \frac{SS'_{IP}}{SS_T} \times 100\%$$

$$\rho_{IP} = \frac{13,4358}{21,0791} \times 100\%$$

$$\rho_{IP} = 63,73 \%$$

$$SS'_{VO} = 0,6402 - 2 \times 0,0819$$

$$SS'_{VO} = 0,4764$$

$$\rho_{VO} = \frac{0,4764}{21,0791} \times 100\%$$

$$\rho_{VO} = 2,26 \%$$

$$SS'_{WT} = 6,6755 - 2 \times 0,0819$$

$$SS'_{WT} = 6,5117$$

$$\rho_{WT} = \frac{6,5117}{21,0791} \times 100\%$$

$$\rho_{WT} = 30,89 \%$$

Analysis of Variance for SNRA TWR, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
IP setting	2	3,2544	3,2544	1,6272	25,04	0,038
VO	2	21,9120	21,9120	10,9560	168,62	0,006
WT	2	14,7299	14,7299	7,3649	113,35	0,009
Error	2	0,1299	0,1299	0,0650		
Total	8	40,0262				

$$SS'_{IP} = 3,2544 - 2 \times 0,065$$

$$SS'_{IP} = 3,1244$$

$$\rho_{IP} = \frac{SS'_{IP}}{SS_T} \times 100\%$$

$$\rho_{IP} = \frac{3,1244}{40,0262} \times 100\%$$

$$\rho_{IP} = 7,8 \%$$

$$SS'_{VO} = 21,912 - 2 \times 0,065$$

$$SS'_{VO} = 21,782$$

$$\rho_{VO} = \frac{21,782}{40,0262} \times 100\%$$

$$\rho_{VO} = 54,41 \%$$

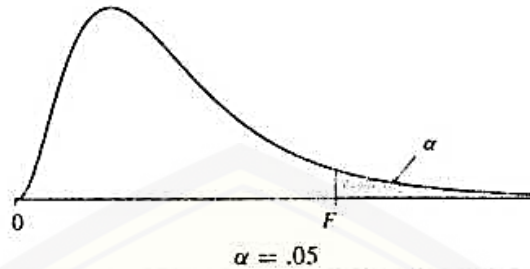
$$SS'_{WT} = 14,7299 - 2 \times 0,065$$

$$SS'_{WT} = 14,5999$$

$$\rho_{WT} = \frac{14,5999}{40,0262} \times 100\%$$

$$\rho_{WT} = 36,47 \%$$

Lampiran 6.2 Tabel F statistik



df_2	df_1									
	1	2	3	4	5	6	8	12	24	∞
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	238.9	243.9	249.0	254.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.37	19.41	19.45	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.84	8.74	8.64	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.04	5.91	5.77	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.82	4.68	4.53	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.15	4.00	3.84	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.73	3.57	3.41	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.44	3.28	3.12	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.23	3.07	2.90	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.07	2.91	2.74	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	2.95	2.79	2.61	2.40
12	4.75	3.88	3.49	3.26	3.11	3.00	2.85	2.69	2.50	2.30
13	4.67	3.80	3.41	3.18	3.02	2.92	2.77	2.60	2.42	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.70	2.53	2.35	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.64	2.48	2.29	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.59	2.42	2.24	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.55	2.38	2.19	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.51	2.34	2.15	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.48	2.31	2.11	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.45	2.28	2.08	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.42	2.25	2.05	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.40	2.23	2.03	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.38	2.20	2.00	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.36	2.18	1.98	1.73
25	4.24	3.38	2.99	2.76	2.60	2.49	2.34	2.16	1.96	1.71
26	4.22	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.32	2.15	1.95	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.30	2.13	1.93	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.44	2.29	2.12	1.91	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.54	2.43	2.28	2.10	1.90	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.27	2.09	1.89	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.18	2.00	1.79	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.52	2.37	2.25	2.10	1.92	1.70	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.02	1.83	1.61	1.25
∞	3.84	2.99	2.60	2.37	2.21	2.09	1.94	1.75	1.52	1.00

Lampiran 6.3 Mesin Wire cut edm mistubishi BA8



Lampiran 6.4 parameter Wire cut edm mistubishi BA8



Lampiran 6.5 kawat elektroda setelah proses pemotongan



Lampiran 6.6 sampel kawat elektroda yang di teliti



Lampiran 6.7 pengukuran berat kawat



Lampiran 6.8 pengukuran dimensi benda kerja



Lampiran 6.9 Alat uji mikro

