

**PENGARUH BESAR ARUS LISTRIK DAN *WIRE FEED RATE*  
PADA *WIRE EDM* TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN  
*SPUR GEAR***

**SKRIPSI**

**Konsentrasi Teknik Produksi**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

**ARIS SETYAWAN**

**NIM. 0710623044-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2012**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PENGARUH BESAR ARUS LISTRIK DAN *WIRE FEED RATE*  
PADA *WIRE EDM* TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN  
*SPUR GEAR***

**SKRIPSI**

**Konsentrasi Teknik Produksi**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

**ARIS SETYAWAN**

**NIM. 0710623044-62**

**Telah diperiksa dan disetujui oleh :**

**Dosen Pembimbing**

**Femiana Gapsari Madhi Fitri, ST., MT.**

**NIP. 19820704 200812 2 002**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH BESAR ARUS LISTRIK DAN *WIRE FEED RATE* PADA *WIRE EDM* TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN *SPUR GEAR***

**SKRIPSI**

**Konsentrasi Teknik Produksi**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh:

**ARIS SETYAWAN**

**NIM. 0710623044-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
Tanggal 16 Januari 2012

**MAJELIS PENGUJI**

Skripsi I

Skripsi II

**Ir. Hastono Wijaya, MT.**  
**NIP. 19601204 198601 1 002**

**Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng.**  
**NIP. 19750710 199903 1 004**

Komprehensif

**Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., MT.**  
**NIP. 19750702 200003 2 001**

Mengetahui  
Ketua Jurusan Teknik Mesin

**Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.**  
**NIP. 19720903 199702 1 001**

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada TUHAN Yang Maha Esa, karena dengan rahmat dan hikmat-Nya lah skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi berjudul “Pengaruh Besar Arus Listrik Dan *Wire Feed Rate* Pada *Wire EDM* Terhadap Kekasaran Permukaan *Spur Gear*” ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

- Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
- Bapak Dr.Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya,
- Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc.,CSE. selaku Ketua Konsentrasi Produksi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
- Ibu Femiana Gapsari, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing atas segala bimbingan, nasehat, pengarahan, motivasi, saran dan masukan yang telah diberikan.
- Ayahanda Santoso dan Ibunda Sutarmi, tercinta serta seluruh keluarga besar atas segala nasehat, kasih sayang, perhatian dan kesabarannya di dalam membesarkan dan mendidik penulis, serta telah banyak mendoakan kelancaran penulis hingga terselesaikannya skripsi ini.
- Rekan dalam pengerjaan skripsi yang telah banyak mambantu dalam pengerjaan skripsi ini.
- Teman – teman Mesin Angkatan 2007 Brawijaya, atas dukungan dan solidaritasnya.
- Temen – temen PMK Yehezkiel, atas segala doa, dukungan, semangat dan motivasinya.
- Teman – teman kos, para senior, dan alumni serta semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi yang tidak dapat disebut satu persatu.

Pada akhirnya, penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari sempurna. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Malang, Januari 2012

Penulis

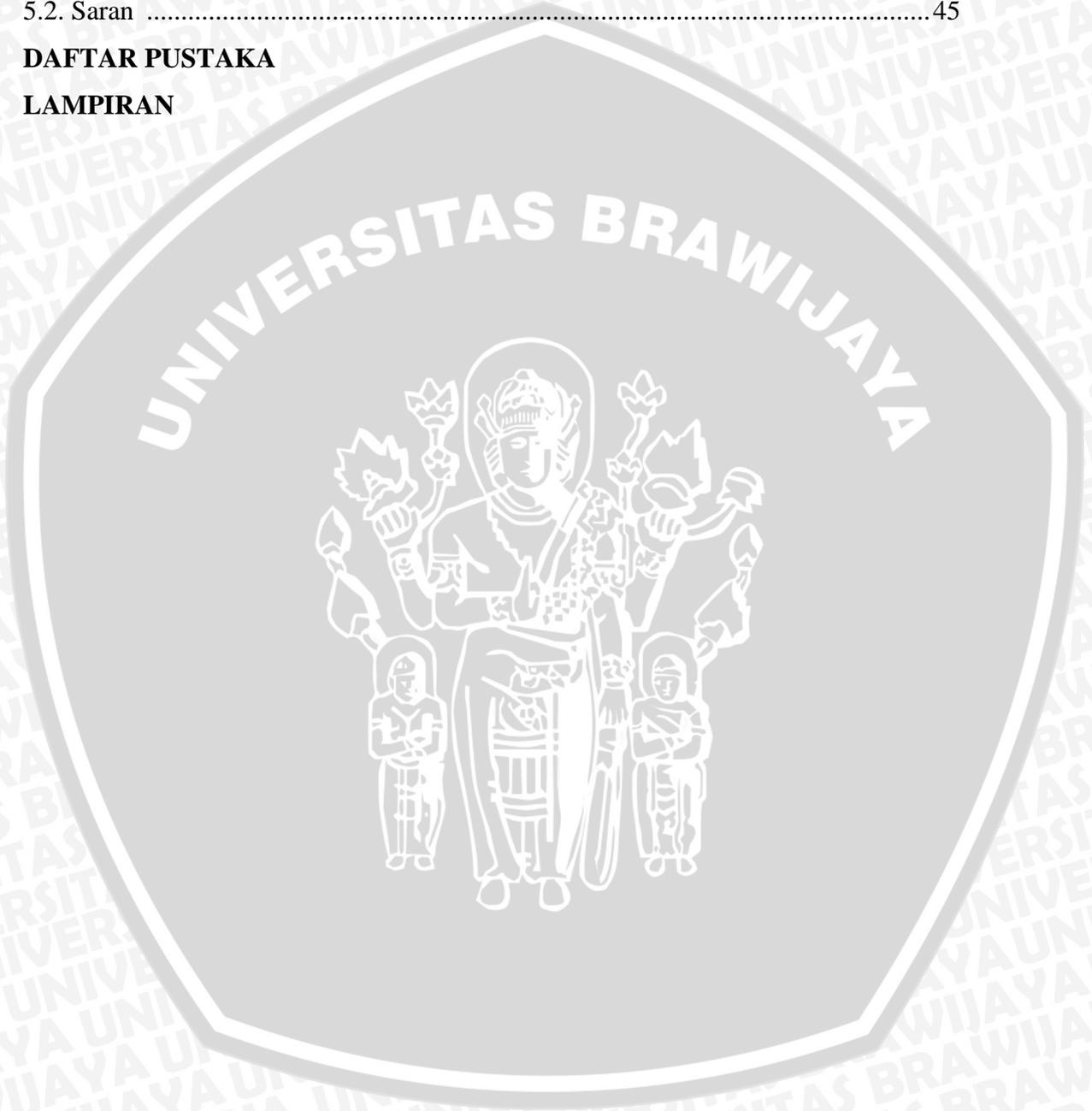


**DAFTAR ISI**

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Batasan Masalah .....	3
1.4. Tujuan Penelitian .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1. Penelitian Sebelumnya .....	5
2.2. Definisi <i>Electric Discharge Machine</i> (EDM) .....	5
2.3. Prinsip Kerja <i>Electric Discharge Machine</i> (EDM) .....	6
2.4. <i>Wire Electric Discharge Machine</i> (WEDM) .....	8
2.4.1. Komponen Utama <i>Wire</i> EDM .....	10
2.4.2. Elektrode Kawat .....	10
2.4.3. Cairan Dielektrik ( <i>Dielectric Fluid</i> ) .....	12
2.4.4. Siklus Percikan ( <i>Spark Cycle</i> ) .....	13
2.5. Parameter Pemesinan <i>Wire Electric Discharge Machine</i> .....	13
2.5.1. Intensitas Arus .....	13
2.5.2. <i>Discharge Time</i> .....	14
2.5.3. <i>Pulse Time-Off</i> .....	14
2.5.4. <i>Pulse Time-On</i> .....	15
2.5.5. <i>Servo Voltage</i> .....	15
2.5.6. <i>Wire Tension</i> .....	15
2.5.7. <i>Wire Feed Rate</i> .....	15
2.6. Karakter Pemesinan <i>Wire Electric Discharge Machine</i> .....	16
2.6.1. Laju Pelepasan Logam ( <i>Material Removal rate</i> ) .....	16
2.6.2. Ketelitian ( <i>Accuracy</i> ) .....	16

2.7. Kekasaran Permukaan .....	18
2.7.1. Penyimpangan rata-rata aritmetik dan garis rata-rata profil .....	18
2.7.2. Ketidakrataan ketinggian sepuluh titik $R_z$ .....	19
2.7.2. Ketidakrataan ketinggian maksimum $R_{max}$ .....	19
2.8. Klasifikasi Logam Dan Paduannya .....	20
2.8.1. Logam Non Besi ( <i>Non Ferrous</i> ) .....	20
2.8.2. Logam Besi ( <i>Ferrous</i> ) .....	20
2.8.1.1. Baja ( <i>Steel</i> ) .....	21
2.8.1.2. Besi Cor ( <i>Cast Iron</i> ) .....	21
2.9. Roda Gigi .....	22
2.10. Roda Gigi Lurus ( <i>Spur Gear</i> ) .....	22
2.11. Hipotesa .....	25
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>26</b>
3.1. Metode Penelitian .....	26
3.2. Variabel Penelitian .....	26
3.2.1. Variabel Bebas .....	26
3.2.2. Variabel Terikat .....	26
3.3. Bahan dan Peralatan Penelitian .....	26
3.3.1. Bahan .....	26
3.3.2. Peralatan .....	27
3.3.3. Benda kerja .....	29
3.4. Prosedur Penelitian .....	30
3.4.1. Proses Pengambilan Spesimen .....	30
3.4.2. Proses Pengambilan Data .....	30
3.5. Waktu dan Tempat Penelitian .....	30
3.6. Rancangan Penelitian .....	30
3.7. Rancangan Pengolahan data dan Analisa Data .....	31
3.8. Diagram Alir Penelitian .....	34
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>35</b>
4.1. Data Hasil Pengukuran .....	35
4.2. Pengolahan Data .....	36
4.2.1. Analisa Varian .....	36

4.2.2. Analisa Grafik.....	40
4.3. Pembahasan .....	41
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>45</b>
5.1. Kesimpulan .....	45
5.2. Saran .....	45
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Kategori Pemesinan Menggunakan EDM .....	6
Gambar 2.2. Percikan (spark) mengerosi benda kerja melalui perantara cairan dielektrik. Sisa hasil pengerosian dibawa oleh tekanan dari cairan dielektrik.....	8
Gambar 2.3. Prinsip kerja Wire EDM .....	9
Gambar 2.4. <i>Coated wire electrode</i> .....	12
Gambar 2.5. Siklus <i>on/off pulse</i> pada <i>Wire EDM</i> .....	13
Gambar 2.6. a) Spark energi pada 5 ampere. b) Spark energi pada 600 ampere.....	14
Gambar 2.7. <i>kerf</i> .....	14
Gambar 2.8. konfigurasi kawat pada saat pemotongan .....	17
Gambar 2.9. <i>Bicycle effect</i> .....	18
Gambar 2.10. Penyimpangan rata-rata aritmetik $R_a$ dari garis rata-rata profil .....	18
Gambar 2.11. Ketinggian sepuluh titik $R_z$ dari ketidakrataan .....	19
Gambar 2.12. Ketinggian maksimum $R_{maksimum}$ dari ketidakrataan .....	20
Gambar 2.13. Parameter roda gigi .....	24
Gambar 3.1. Mesin Wire EDM Mitsubishi BA 8 .....	28
Gambar 3.2. <i>Surface roughness testers</i> .....	28
Gambar 3.3. Benda kerja roda gigi lurus .....	29
Gambar 3.4. Gambar pengujian .....	29
Gambar 3.5. Diagram alir penelitian .....	34
Gambar 4.1. a. <i>Surface roughness testers</i> ; b. Benda kerja .....	35
Gambar 4.2. Grafik hubungan antara arus listrik terhadap kekasaran permukaan pada berbagai variasi <i>wire feed rate</i> .....	52

**DAFTAR TABEL**

Tabel 3.1. Rancangan Penelitian ..... 31

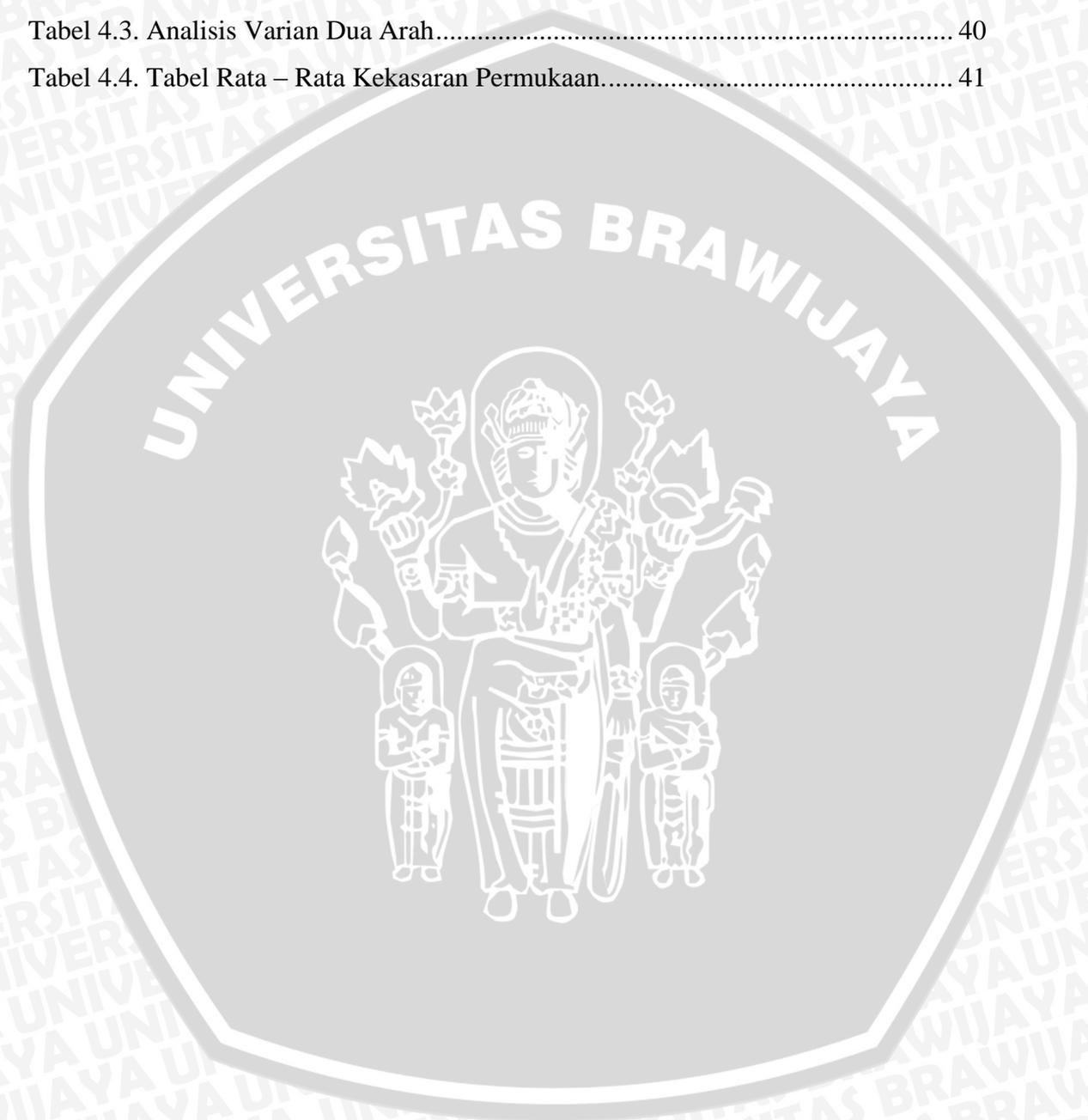
Tabel 3.2. Analisa Varian Dua Arah ..... 33

Tabel 4.1. Data Nilai Kekasaran Permukaan ( $\mu\text{m}$ ) ..... 36

Tabel 4.2. Perhitungan Analisis Varian ..... 37

Tabel 4.3. Analisis Varian Dua Arah ..... 40

Tabel 4.4. Tabel Rata – Rata Kekasaran Permukaan ..... 41



## RINGKASAN

**Aris Setyawan**, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang, Desember 2012. “Pengaruh Besar Arus Listrik dan *Wire Feed Rate* Pada *Wire EDM* terhadap Kekasaran Permukaan *Spur Gear*”. Dosen Pembimbing : Femiana Gapsari.

*Wire EDM* merupakan salah satu mesin yang memiliki kepresisian tinggi, mesin ini digunakan untuk membentuk komponen-komponen mesin yang memiliki bentuk kompleks dan membutuhkan kepresisian tinggi. Parameter proses *wire EDM* memberikan pengaruh pada dimensi benda kerja. Arus listrik dan *Wire Feed Rate (WF)* merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi proses *wire EDM*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh arus listrik dan *Wire Feed Rate* terhadap kekasaran permukaan pada pembuatan *Spur Gear* menggunakan *Wire EDM*.

Penelitian ini menggunakan metode ekperimental, variabel bebas yang digunakan adalah variasi arus listrik dengan variasi 2 *Ampere*, 4 *Ampere*, 6 *Ampere* dan 8 *Ampere* dan *wire feed rate* dengan variasi 3 mm/s, 4 mm/s dan 5 mm/s. Variabel terikat pada penelitian ini adalah kekasaran permukaan dari roda gigi lurus.

Kekasaran permukaan terkecil sebesar 1.91  $\mu\text{m}$  didapat pada kombinasi variasi *wire feed rate* sebesar 4 mm/s pada variabel arus 2 *ampere*. Kekasaran permukaan terbesar sebesar 2.94  $\mu\text{m}$  didapat pada variasi *wire feed rate* sebesar 5 mm/s pada variabel arus 8 *ampere* yang merupakan variasi terbesar yang digunakan.

**Kata kunci** : *Wire EDM*, Arus Listrik, *Wire Feed Rate*, Kekasaran Permukaan



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dengan berjalannya kemajuan dan perkembangan yang semakin lama semakin pesat dibidang teknologi dan material, maka pada masa sekarang ini semakin banyak dikembangkan material-material jenis baru yang relatif lebih keras dibandingkan material yang terdahulu dikarenakan banyak produk yang membutuhkan komponen yang mempunyai tingkat kekerasan yang tinggi. Bentuk komponen-komponen mesin yang membutuhkan bentuk-bentuk profil tertentu yang lebih rumit dari pada komponen yang terdahulu yang sulit dikerjakan dengan mesin-mesin konvensional. Dari kebutuhan akan kedua hal di atas, maka perkembangan proses pemotongan saat ini diimbangi dengan perkembangan teknologi di dalam bidang proses produksi atau proses pemesinan yang saat ini dikenal dengan nama proses pemesinan non konvensional.

Mesin-mesin non konvensional merupakan terobosan baru dalam bidang teknologi manufaktur yang lebih canggih daripada mesin-mesin konvensional. Salah satu dari mesin tersebut adalah mesin *Wire Cutting EDM (Electric Discharge Machine)*. Proses *Wire Cutting EDM* merupakan proses permesinan dengan menggunakan proses erosi yang dihasilkan dari perbedaan potensial lewat sebuah kawat. Pada *Wire Cutting EDM*, percikan listrik terjadi pada kawat elektroda ke benda kerja dan mengikis logam dari kawat elektroda dan benda kerja. Mesin ini mempunyai kelebihan dalam membentuk profil-profil yang kompleks dan tidak mungkin dikerjakan oleh mesin-mesin konvensional biasa. Disamping itu proses ini dapat digunakan untuk material yang keras atau material yang sudah mendapatkan proses perlakuan panas (*Heat Treatment*).

Mesin *wire EDM* banyak digunakan dikalangan industri untuk melakukan pemotongan pada benda kerja yang cukup keras maupun yang telah mengalami *heat treatment* dan membutuhkan bentuk-bentuk profil yang cukup rumit, seperti: *Prototype manufacturing, Lathe tools, Mold* dan *Extrusion dies*.

Keunggulan dari penggunaan EDM adalah mampu melakukan pengerjaan benda kerja dengan tingkat kerumitan dan kepresisian tinggi, kualitas permukaan benda kerja yang baik dan mampu melakukan pengerjaan pada benda kerja dengan tingkat kekerasan tinggi. Mesin EDM dapat menghasilkan sudut tajam

pada benda kerja karena dengan menggunakan elektroda. Proses EDM menggunakan daya spesifik yang tinggi. Hal ini, membuat proses EDM memerlukan biaya yang tinggi. Biayanya yang tinggi ini sejalan dengan benda kerja yang memiliki kepresisian yang tinggi.

Parameter proses *wire* EDM memberikan pengaruh pada dimensi benda kerja. Arus listrik dan *Wire Feed Rate* (WF) merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi proses *wire* EDM. Besar arus listrik berkaitan dengan energi yang dihasilkan. Energi yang besar menghasilkan percikan listrik (*sparking*). *Sparking* adalah proses percikan listrik terjadi secara periodik dan beraturan dalam suatu media cairan dielektrik yang berfungsi sebagai isolator. Tiap *sparking* berkaitan pada kemampuan untuk mengerosi permukaan benda kerja.

Parameter pemesinan yang banyak mempengaruhi waktu produksi adalah *Wire Feed Rate* (WF), semakin tinggi *Wire Feed Rate* (WF) yang digunakan maka waktu produksi akan semakin singkat. Semakin besar harga *wire feed rate* maka semakin besar pula penyimpangan ketelitian ukuran dan nilai kekasaran permukaan benda kerja. Hal ini dikarenakan semakin besar nilai *wire feed rate* maka jumlah siklus percikan listrik dalam satu satuan panjang tertentu akan lebih banyak, inilah yang menyebabkan nilai laju pelepasan logamnya naik dan permukaan benda kerja yang semakin kasar.

Baja paduan sering digunakan pada dunia industri. Baja paduan memiliki *tensile strength* yang tinggi sehingga pada proses pemotongan *wire* EDM diperlukan penentuan arus yang tepat untuk menghasilkan kekasaran permukaan yang halus pada baja paduan.

Dari penelitian “**Analisa pengaruh perubahan variabel pemotongan pada proses *wire* EDM terhadap kekasaran permukaan benda kerja**” oleh **Zaky Azkary (981063139-62)**. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah variabel *on time*, *pulse frekwensi* dan *pulse current* memiliki hubungan linier terhadap kekasaran benda kerja. Pada variabel *on time* dan *pulse current* memiliki hubungan linier berbanding lurus terhadap kekasaran permukaan benda kerja, sedangkan *pulse frekwensi* memiliki hubungan linier berbanding terbalik terhadap kekasaran permukaan benda kerja.

Dari penelitian diatas maka perlu diketahui hubungan antara arus listrik dan *wire feed rate* terhadap kekasaran permukaan, penelitian diatas menunjukkan bahwa variabel pemotongan berpengaruh terhadap kekasaran permukaan. Besarnya

arus listrik yang digunakan dalam memotong baja paduan akan mempengaruhi kekasaran permukaan yang didapat, karena adanya energi listrik yang dilepaskan selama *sparking* begitu pula kecepatan pemotongan juga akan mempengaruhi kekasaran permukaan.

### 1.2 Rumusan Masalah

Adapun pokok permasalahan yang akan menjadi kajian dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh besar arus listrik terhadap kekasaran permukaan?
2. Bagaimana pengaruh *Wire Feed Rate* terhadap kekasaran permukaan?

### 1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan yang dilakukan lebih terfokus maka dilakukan suatu pembatasan masalah seperti sebagai berikut:

1. Mesin yang digunakan adalah Mesin *Wire Cut* Mitshubishi BA-8.
2. Fluida dielektrik yang digunakan air murni (*aqua destilasi*).
3. Parameter – paramater pemesinan lainnya dikondisikan konstan seperti:
  - *Wire tension* : 8 N/m<sup>2</sup>
  - *Wire speed* : 10 mm/s
  - *Off time* : 1 *micro second*
  - *Power setting* : 9
4. Parameter pemesinan yang diubah adalah Intensitas arus (*Ampere*) dan *Wire Feed Rate*.
5. Material benda kerja yang digunakan adalah baja paduan AISI 4340
6. Elektroda kawat yang digunakan adalah jenis kuningan (*brass*) dengan diameter 0,2 mm.

### 1.4 Tujuan penelitian

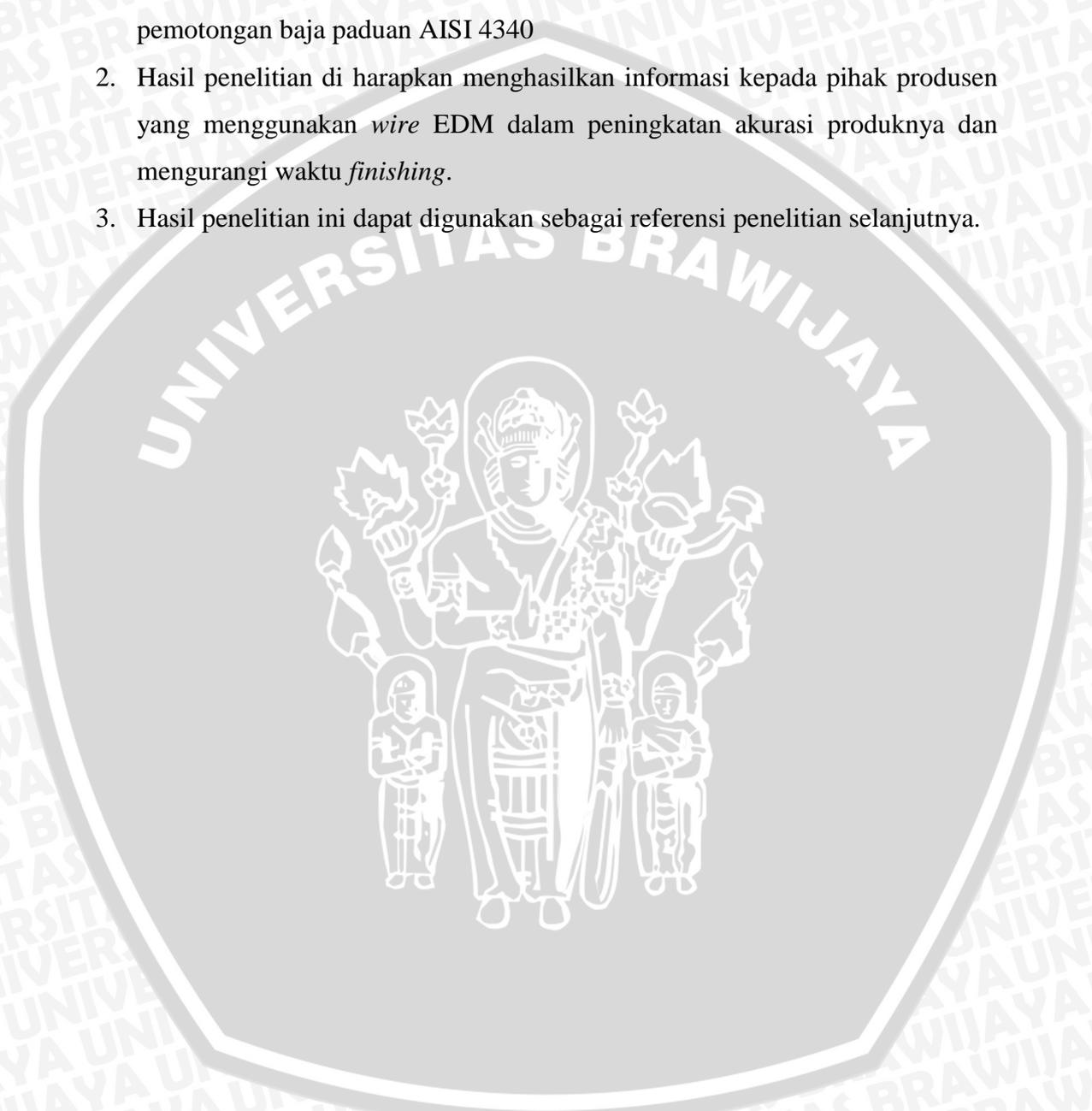
Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi besar arus listrik dan *Wire Feed Rate* terhadap kekasaran permukaan.
2. Untuk mengetahui kombinasi besar arus listrik dan *Wire Feed Rate* yang menghasilkan produk yang baik.

## 1.5 Manfaat penelitian

Adapun manfaat penelitian yang di harapkan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Hasil dari penelitian ini dapat mengetahui pengaruh variasi besar arus listrik dan *Wire Feed Rate* pada *wire* EDM terhadap kekasaran permukaan hasil pemotongan baja paduan AISI 4340
2. Hasil penelitian di harapkan menghasilkan informasi kepada pihak produsen yang menggunakan *wire* EDM dalam peningkatan akurasi produknya dan mengurangi waktu *finishing*.
3. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi penelitian selanjutnya.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Penelitian Sebelumnya

Faktor variabel *on-time capacitor* dan *servo voltage* akan menurunkan kekasaran permukaan jika harga variabel pemesinan tersebut meningkat. Sedangkan harga *off-time capacitor* akan meningkatkan kekasaran permukaan jika harga variabel tersebut meningkat. Besar harga ketelitian ukuran akan menurun dengan meningkatnya harga variabel *on-time capacitor*, *servo voltage* dan *wire tension*, sedangkan dengan meningkatnya harga *off-time capacitor* akan meningkatkan harga ketelitian ukuran (Fredri, 2000).

Semakin tinggi MRR semakin baik hasil produknya dan semakin rendah kekasaran permukaan dan presisi permukaan semakin baik hasil produknya. Parameter WEDM yang dipertimbangkan adalah arus *pulse*, *on time*, *frekuensi pulse*, dan *feed rate*. Tidak ada interaksi antar variabel (Ningsih, 2011).

*Wire feed rate* berpengaruh terhadap kepresisian geometri profil gigi *involute*. Penyimpangan geometri profil gigi *involute* meningkat seiring dengan bertambahnya nilai *wire feed rate*. Hal ini dapat diartikan juga bahwa dengan bertambahnya nilai *wire feed rate* maka nilai kepresisian geometri profil gigi *involute* akan semakin menurun (Adi, 2011).

#### 2.2. Definisi *Electric Discharge Machine* (EDM)

*Electric Discharge Machine* merupakan teknologi pemotongan logam non konvensional yang menggunakan energi panas pada proses pemotongannya (*thermal cutting processes*). *Electric Discharge Machining* adalah proses pelepasan material oleh percikan (*spark*) listrik yang dilepaskan (*discharge*) diantara dua elektrode (benda kerja dan pahat elektroda). Oleh karena itu benda kerja harus merupakan material yang konduktif terhadap listrik. Pada proses ini digunakan cairan *deionized* yang biasa disebut cairan dielektrik, berada diantara benda kerja dan elektrode. Tujuan dari pengerjaan ini adalah pengontrolan pelepasan material dari benda kerjanya (Pandey, 1983).

Keunggulan dari penggunaan *Electric Discharge Machine* adalah:

- Mampu melakukan pengerjaan benda kerja dengan tingkat kerumitan dan kepresisian tinggi.
- Mampu melakukan pengerjaan benda kerja dengan tingkat kekerasan tinggi.
- Kualitas permukaan benda kerja yang baik

Adapun klasifikasi dari jenis pengerjaan menggunakan EDM secara garis besar dapat dikelompokkan menjadi beberapa macam seperti terlihat pada grafik 2.1 berikut.

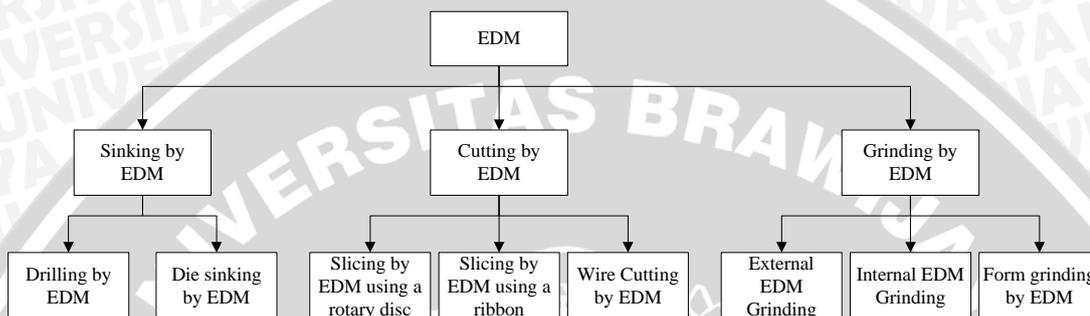


Diagram 2.1 : Kategori Pemesinan Menggunakan EDM

Sumber: Pandey, 1983.

### 2.3. Prinsip Kerja *Electric Discharge Machine* (EDM)

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

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

Pada proses awal EDM, elektrode yang berisi tegangan listrik didekatkan ke benda kerja. Di antara dua elektrode tersebut terdapat cairan dielektrik. Cairan dielektrik adalah sebuah isolator yang bagus, beda potensial listrik yang cukup besar menyebabkan cairan membentuk partikel yang bermuatan, hal ini menyebabkan tegangan listrik melewatinya dari elektrode ke benda kerja. Daerah

yang memiliki tegangan listrik paling kuat adalah pada titik dimana jarak antara elektrode dan benda kerja paling dekat.

Mekanisme pengerjaan material benda kerja pada proses EDM dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Setiap terjadi pemusatan aliran elektron yang bergerak dengan kecepatan tinggi dalam waktu yang sangat singkat akan menimbulkan loncatan bunga api listrik yang menumbuk permukaan benda kerja.
2. Loncatan bunga api listrik yang menumbuk permukaan benda kerja menyebabkan terjadinya kenaikan temperatur  $8000^{\circ}\text{C}$ - $12000^{\circ}\text{C}$  dan menyebabkan pelelehan lokal pada benda kerja. Kondisi semacam ini juga terjadi pada permukaan pahat.
3. Pada saat yang bersamaan terjadi penguapan pada benda kerja, pahat maupun *fluida dielektrik* yang menghasilkan gelembung uap. Setelah terjadi loncatan bunga api listrik dan aliran listrik terhenti sesaat (*off time periode*), menyebabkan penurunan temperatur secara mendadak yang mengakibatkan lelehan material benda kerja maupun pahat elektroda akan membeku dengan cepat dan menyusut, pada akhirnya mengakibatkan bagian material yang meleleh akan terpengar keluar dari permukaan meninggalkan bekas berupa kawah-kawah halus pada permukaan material benda kerja.
4. Bagian-bagian material benda kerja dan pahat yang terpengar ini secepatnya akan membeku kembali terbentuk partikel-partikel halus yang terbawa pergi oleh aliran *fluida dielektrik*.

Proses terjadinya loncatan bunga api listrik antara katoda dan anoda sendiri dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Dengan adanya beda tegangan listrik antara pahat dengan benda kerja, maka elektron-elektron bebas yang terdapat pada permukaan pahat (katoda) akan tertarik menuju benda kerja (anoda), dan didalam pergerakannya menuju anoda, maka elektron-elektron yang berenergi kinetis ini akan bertubrukan dengan molekul-molekul *fluida dielektrik* tersebut.
2. Di dalam proses tubrukan antara elektron bebas dengan molekul *fluida dielektrik*, terjadi dua macam keadaan yaitu:
  - a. Keadaan tubrukan biasa, dimana elektron berkurang energi kinetisnya.

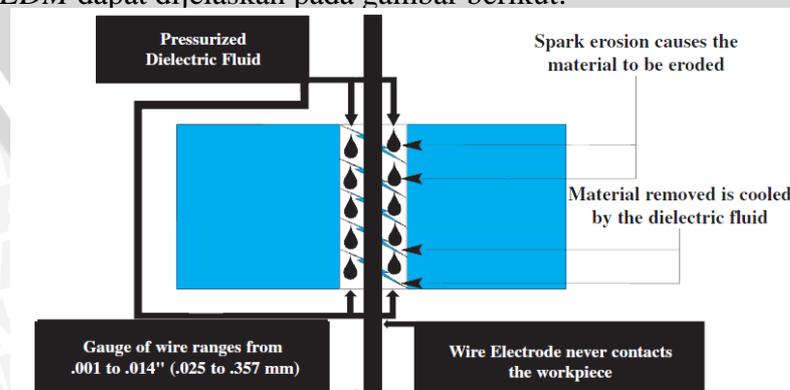
b. Keadaan dimana energi kinetis elektron bebas tersebut sedemikian tingginya sehingga terjadi tumbukan yang menghasilkan elektron baru yang berasal dari molekul *fluida dielektrik*. Hal itu akan mengakibatkan molekul *fluida dielektrik* yang kehilangan elektronnya tadi akan menjadi ion positif dan tertarik menuju katoda sedangkan elektron akan bergerak menuju anoda, maka terjadilah proses ionisasi *fluida dielektrik*.

3. Dengan adanya proses tumbukan elektron dengan molekul yang menghasilkan elektron-elektron baru dan juga membentuk ion-ion positif baru, maka akhirnya terbentuklah suatu saluran ion.

Dengan terbentuknya saluran ion tersebut, maka tahanan listrik pada saluran tersebut menjadi rendah sekali sehingga terjadilah pelepasan elektron yang sangat besar dan terpusat dalam waktu singkat yang mengakibatkan terjadinya loncatan bunga api listrik (*sparking*).

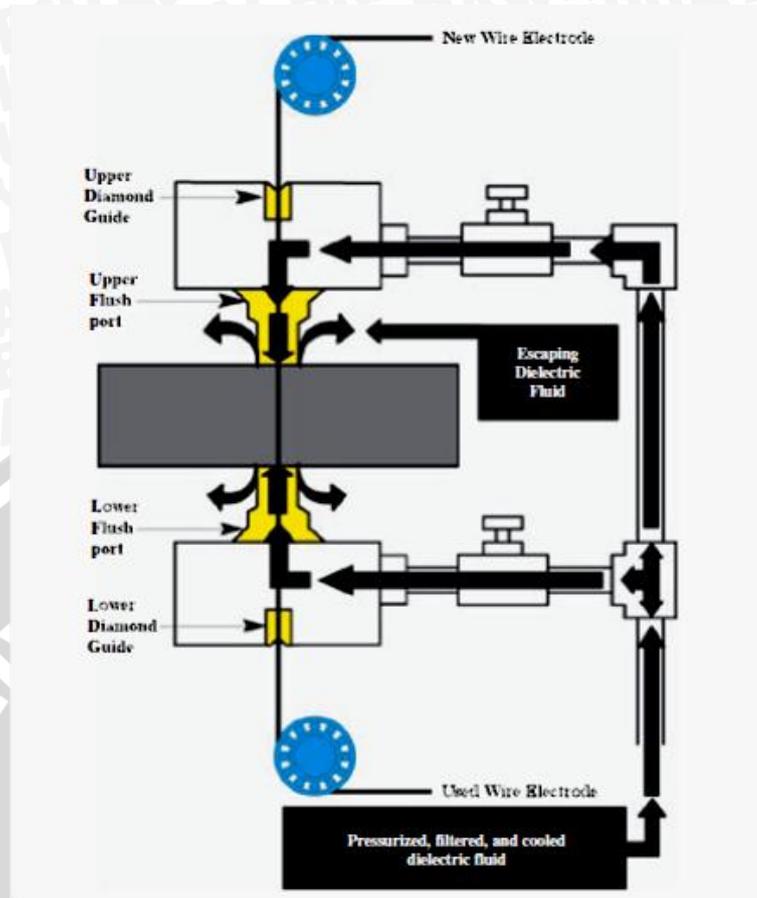
#### 2.4. Wire Electric Discharge Machine (WEDM)

*Wire EDM* adalah salah satu bentuk EDM yang menggunakan sebuah kawat elektroda yang bergerak secara terus-menerus. Pelepasan material terjadi sebagai hasil erosi percikan listrik oleh kawat elektroda yang bergerak dari gulungan kawat baru memotong benda kerja (Hassan, 2005). *Wire EDM* menggunakan kawat kecil sebagai elektrode untuk memotong benda kerja, gerakan kawat ini dikendalikan oleh CNC untuk menghasilkan suatu bentuk tertentu. Penggunaan *Wire EDM* mirip seperti *band saw*. Jika *band saw* menggunakan gerigi-gerigi untuk memotong maka *Wire EDM* menggunakan percikan listrik untuk mengerosi benda kerja. Prinsip kerja *Wire EDM* dapat dijelaskan pada gambar berikut:



Gambar 2.2 : Percikan (*spark*) mengerosi benda kerja melalui perantara cairan dielektrik. Sisa hasil pengerosian dibawa oleh tekanan dari cairan dielektrik.

Sumber: Complete EDM Handbook.



Gambar 2.3 : Prinsip kerja Wire EDM.  
 Sumber: Complete EDM Handbook.

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

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

Ketika sebuah percikan listrik terjadi diantara kawat dan benda kerja maka akan terjadi peningkatan temperatur yang menyebabkan benda kerja meleleh dan menguap. Hal tersebut dengan gerakkan elektrode kawat yang terus-menerus mengalami perputaran sehingga elektrode yang digunakan selalu baru. Cairan

pendingin atau cairan dielektrik akan mendinginkan metal yang menguap dan menjadikannya solid partikel. Solid partikel ini kemudian akan terbawa keluar dari celah antara benda kerja dan elektrode kawat.

Kemudian cairan dielektrik akan melalui filter yang akan memisahkan antar cairan dielektrik itu sendiri dan partikel sisa pemotongan. Untuk menjaga keakuratannya, cairan dielektrik melalui sebuah *chiler* untuk menjaga temperatur agar konstan.

#### 2.4.1. Komponen Utama *Wire EDM*

Wire EDM memiliki lima komponen utama sebagai berikut:

1. Generator Pembangkit

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

2. Sistem Kontrol Gerakan

Sistem ini berfungsi untuk mengontrol gerakan benda kerja serta menjaga jarak antara kawat elektrode dengan benda kerja.

3. Unit Fluida Dielektrik.

Unit ini berfungsi untuk mengatur sirkulasi aliran fluida dielektrik yang mengalir melewati celah antara elektrode kawat dan benda kerja. Unit ini meliputi *reservoir*, pompa, *nozzle*, *filter*, *chiler* dan pengukur tekanan.

4. Unit Elektrode Kawat

Elektroda kawat bergerak dari kumparan kawat pengisi ke kumparan penggulung, sehingga elektrode kawat yang baru selalu berada di daerah *spark gap*. Hal ini akan membuat keausan yang terjadi pada elektrode kawat tidak mempengaruhi keakurasian pemotongan.

5. Sistem Mesin

Sistem ini berhubungan dengan penumpu benda kerja dan elektrode kawat.

#### 2.4.2. Elektrode Kawat

Pemilihan elektrode kawat merupakan salah satu hal terpenting karena akan menentukan hasil akhir benda kerja. Secara teoritis semua material yang bersifat konduktif terhadap listrik dapat digunakan sebagai elektrode pahat. Elektroda dapat dikategorikan baik apabila memiliki titik leleh tinggi dan

tahanan listrik rendah. Pada *Wire EDM* elektrode yang digunakan harus memiliki beberapa karakteristik sebagai berikut:

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

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

#### 1. Tembaga (*Copper*)

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

#### 2. Kuningan (*Brass*)

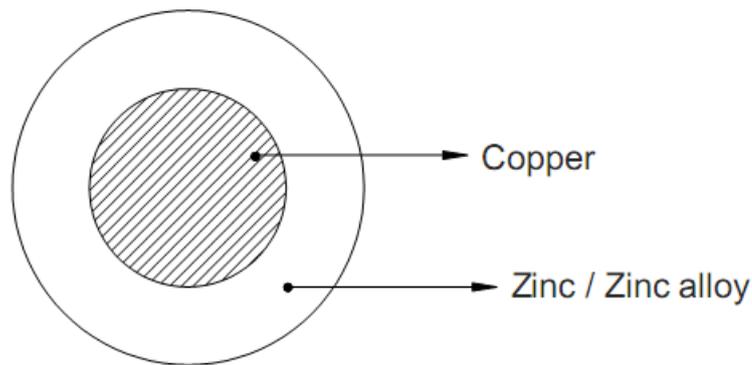
Elektroda kawat ini merupakan campuran tembaga (Cu) dan seng (Zn). Biasanya memiliki prosentase kandungan 65%-35% dan 63%-37%. Penambahan seng (Zn) menyebabkan kenaikan signifikan pada kekuatan tarik dan titik leleh elektroda. Hal ini menyebabkan kuningan secara cepat menjadi elektroda yang paling umum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

#### 3. *Molybdenum*

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

#### 4. Kawat yang dilapisi (*Coated Wire*)

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



Gambar 2.4 : *Coated wire electrode*  
Sumber: Jain, 2002.

### 2.4.3. Cairan Dielektrik (*Dielectric Fluid*)

Cairan dielektrik merupakan cairan yang berada pada celah diantara kawat elektroda dengan benda kerja. Fungsi utama dari cairan dielektrik adalah:

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

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

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

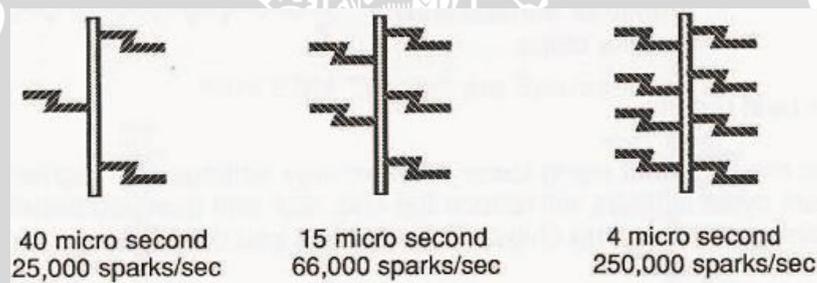
- *Kerosen*

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

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

#### 2.4.4. Siklus Percikan (*Spark Cycle*)

Siklus percikan (*spark cycle*) adalah jumlah waktu *pulse on/off* berlangsung. Satu siklus berarti jumlah 1 *pulse time-on* ditambah 1 *pulse time-off*. Satu siklus berlangsung dalam satuan *micro second* atau sepersatu juta ( $\frac{1}{10^6}$ ) detik.

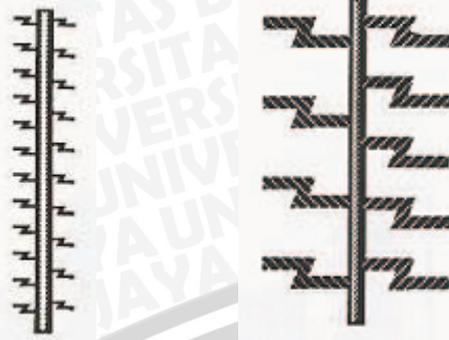


Gambar 2.5 : Siklus *on/off pulse* pada *Wire EDM*.  
Sumber: Port, 1992.

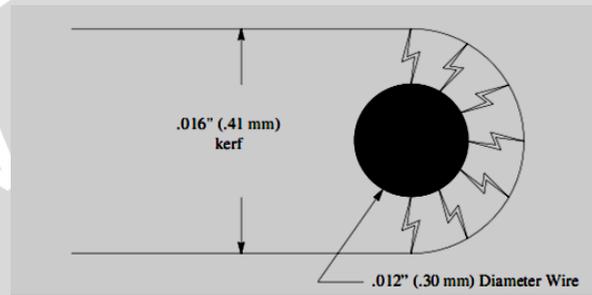
## 2.5. Parameter Pemesinan *Wire Electric Discharge Machine*

### 2.5.1. Intensitas Arus

Intensitas arus adalah batas arus maksimum yang diterapkan pada proses EDM. Semakin besar arus yang digunakan untuk proses pemotongan maka semakin besar pula elektron-elektron yang dilepaskan dan mengerosi benda kerja, sehingga akan semakin tinggi laju pelepasan logamnya. Tetapi semakin besar arus yang digunakan akan mengurangi ketelitian geometri hasil pengerjaan. Ini dikarenakan semakin besar arus yang digunakan maka akan semakin besar energi loncatan tiap bunga api (*sparking*) yang menyebabkan semakin besarnya lebar pemotongan (*kerf*). Seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.6 : a) Spark energi pada 5 ampere. b) Spark energi pada 600 ampere.  
Sumber: Port, 1992.



Gambar 2.7 : Kerf  
Sumber: Complete EDM Handbook

### 2.5.2. Discharge Time

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

### 2.5.3. Pulse Time-Off

*Pulse time-off* adalah waktu dimana terjadi ionisasi awal pada cairan dielektrik dan pembersihan partikel sisa pengerosan benda kerja pada celah diantara benda kerja dan elektrode kawat. *Pulse time-off* memiliki pengaruh signifikan pada keseluruhan kecepatan pengerjaan dan stabilitas proses pemesinan. Penambahan nilai *pulse time-off* akan berakibat pada penurunan jumlah periode percikan yang menyebabkan penurunan pemakanan sehingga ketelitian geometri akan semakin naik.

#### 2.5.4. *Pulse Time-On*

*Pulse time on* adalah waktu dimana terjadi aliran arus listrik dan pengerosian benda kerja. *Pulse time-on* memiliki pengaruh signifikan pada keseluruhan kecepatan pengerjaan, kekasaran benda kerja dan kawat elektrode. Penambahan nilai *pulse time-on* akan menyebabkan jumlah periode percikan akan naik, sehingga jumlah pemakanan akan naik dan ini dapat menyebabkan ketelitian pada geometri hasil akan turun.

#### 2.5.5. *Servo Voltage*

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

#### 2.5.6. *Wire Tension*

*Wire tension* merupakan gaya tarik yang dikenakan pada kawat sebelum proses pemotongan dilakukan. Setiap jenis elektrode kawat memiliki kekuatan tarik yang berbeda-beda, dimana akan menentukan gaya tarik yang dikenakan pada elektrode kawat tersebut. Besar penarikan kawat yang tinggi akan mengurangi getaran sehingga akan menurunkan simpangan yang terjadi. Turunnya simpangan yang terjadi akan berpengaruh pada ketelitian ukuran hasil pemotongan. Penarikan kawat yang terlalu tinggi dapat menyebabkan putusnya kawat elektrode.

#### 2.5.7. *Wire Feed Rate*

*Wire feed rate* adalah kecepatan pemakanan kawat elektroda terhadap benda kerja dinyatakan dalam *inch per second* (ips) atau *mm per second*. Semakin besar harga *feed rate* maka semakin besar pula penyimpangan ketelitian ukuran dan nilai kekasaran permukaan benda kerja. Hal ini dikarenakan semakin besar nilai *feed rate* maka jumlah siklus percikan listrik dalam satu satuan panjang tertentu akan lebih banyak, inilah yang menyebabkan nilai laju pelepasan logamnya naik dan permukaan benda kerja yang semakin kasar.

Sedangkan turunnya nilai ketelitian ukuran disebabkan oleh semakin tinggi nilai *feed rate* maka celah (*gap*) yang terjadi diantara benda kerja dan elektrode kawat akan semakin kecil, jika *gap* ini semakin kecil maka percikan

akan semakin mudah terjadi dan energi yang dihasilkan akan semakin besar pula, sehingga akan mengerosi benda kerja lebih banyak. Inilah yang menyebabkan permukaan benda kerja yang semakin kasar.

## 2.6. Karakter Pemesinan *Wire Electric Discharge Machine*

### 2.6.1. Laju Pelepasan Logam (*Material Removal Rate*)

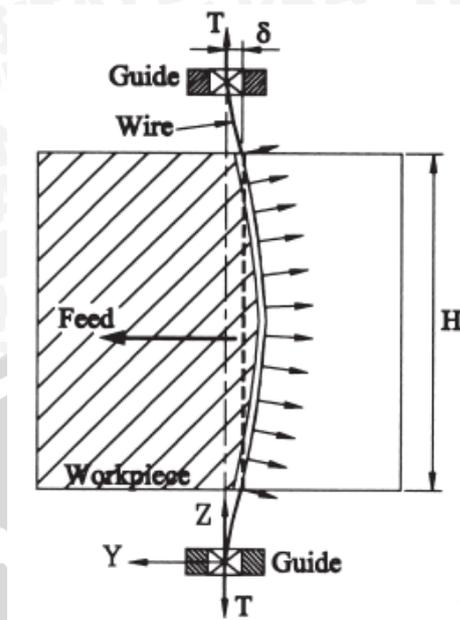
Laju pelepasan logam atau *material removal rate* (MRR) adalah besarnya volume material yang dibuang tiap satu satuan waktu. Pada proses EDM pelepasan material logam bukan hanya pada benda kerja melainkan juga pada elektrode pemotongnya. Hasil dari proses pengerjaan material ini adalah kawah-kawah halus (*crater*) pada permukaan benda kerja.

### 2.6.2. Ketelitian (*Accuracy*)

Kesalahan bentuk geometri pada benda kerja hasil pemesinan menggunakan WEDM sangat berhubungan dengan keakuratan proses pemotongan. Ketelitian pada saat proses pemotongan ini dapat ditentukan oleh kesalahan penyetingan beberapa parameter, kesalahan penentuan koordinat pemotongan, kesalahan penentuan nilai kompensasi kawat, adanya *bicycle effect* dan *barrel effect*. Kesalahan bentuk geometri biasanya banyak terjadi pada bentuk geometri sudut dan lengkungan.

Jika kita melakukan pemotongan pada benda kerja tebal dengan kecepatan maksimal yang dapat dicapai, maka kawat akan membentuk sebuah lengkungan pada saat pemotongan. Fenomena ini biasa disebut *wire lag* yaitu ketidakselarasan gerakan antara *Wire Guide* pada mesin *Wire EDM* dan kawat (*wire*) yang memotong benda kerja, sehingga gerakan aktual kawat tertinggal dari gerakan *Wire Guide*. Pada suatu pemotongan lurus tidak akan mempengaruhi bentuk benda kerja tetapi pada pemotongan sudut akan terjadi kesalahan bentuk geometri.

Kawat akan tetap fleksibel meskipun telah diberi tegangan dan juga secara fisik tidak bersentuhan dengan benda kerja, ini memungkinkan terjadinya lengkungan pada kawat saat proses pemotongan berlangsung. Pada saat lengkungan ini terjadi maka percikan akan memotong lagi bentuk yang sudah ada, sehingga akan terjadi kesalahan geometri.

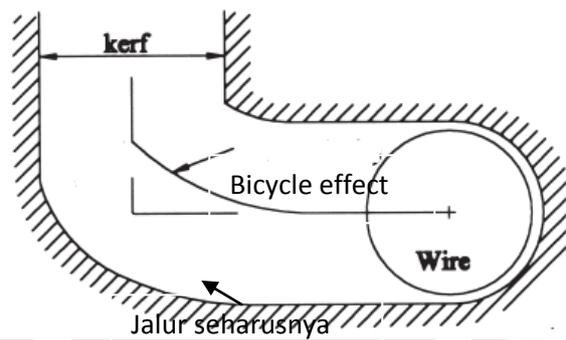


Gambar 2.8 : Konfigurasi kawat pada saat pemotongan  
Sumber: Hsue, 1997.

*Wire lag* dapat terjadi akibat percikan listrik yang terlalu besar, tegangan penarikan kawat yang rendah, tekanan *flushing* yang terlalu tinggi, *gap voltage* yang terlalu sempit, jarak *nozzle* cairan dielektrik yang terlalu jauh dan kecepatan pemakanan terlalu tinggi.

Nilai kompensasi kawat juga akan mempengaruhi kesalahan geometri yang terjadi. Fungsi kompensasi kawat adalah agar kawat tetap terjaga pada jalur yang sudah ditentukan. Pusat diameter kawat harus dijaga terhadap jalur lintasan koordinat program yang dibuat dengan dimensi benda kerja yang sebenarnya.

*Bicycle effect* merupakan suatu fenomena terjadi kesalahan pemotongan pada bentuk melengkung atau sudut, lintasan yang dilalui kawat tidak sesuai dengan program yang telah dimasukkan. *Bicycle effect* ini biasanya disebabkan oleh *wire lag*. Ini dikarenakan kawat keluar dari jalur yang seharusnya dilalui, sehingga memotong bagian yang seharusnya tidak dipotong. Biasanya kasus seperti ini sering terjadi pada pemotongan benda tebal dengan kecepatan pemotongan yang relatif tinggi.



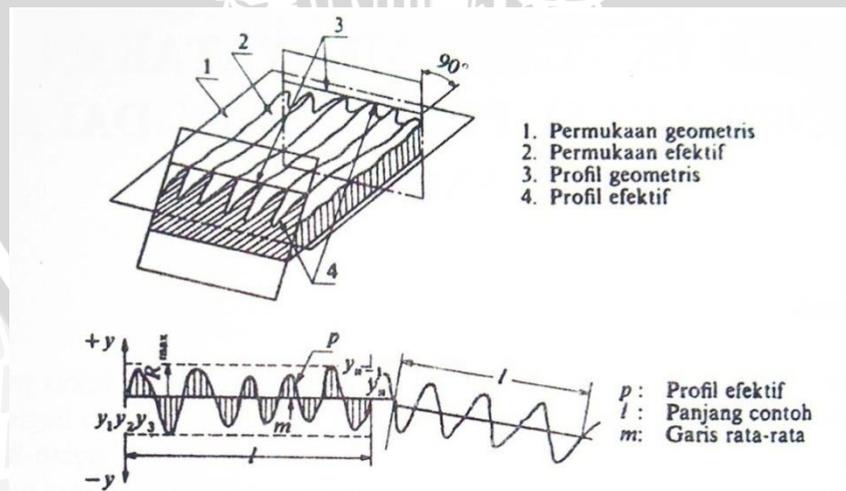
Gambar 2.9 : *Bicycle effect*  
 Sumber: Hsue, 1997.

## 2.7. Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan merupakan ketidakrataan permukaan yang berupa kawah kecil atau guratan yang nantinya akan menjadi takikan tempat terjadinya konsentrasi tegangan, sehingga apabila mendapatkan pembebanan terus-menerus dapat menyebabkan patah.

### 2.7.1. Penyimpangan rata-rata aritmetik dan garis rata-rata profil

Penyimpangan rata-rata aritmetik ( $R_a$ ) ialah harga rata-rata dari titik ordinat-ordinat profil efektif garis rata-ratanya. Profil efektif berarti garis bentuk (*contour*) dari potongan permukaan efektif oleh sebuah bidang yang telah ditentukan secara konvensional, terhadap permukaan geometris ideal.



Gambar 2.10 : Penyimpangan rata-rata aritmetik  $R_a$  dari garis rata-rata profil  
 Sumber: Sugiarto, 1996.

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l \frac{1}{l} |y| dx \quad (\text{Sugiarto, 1996}) \quad (2.1)$$

$$R_a = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i|}{n} \quad (\text{Sugiarto, 1996}) \quad (2.2)$$

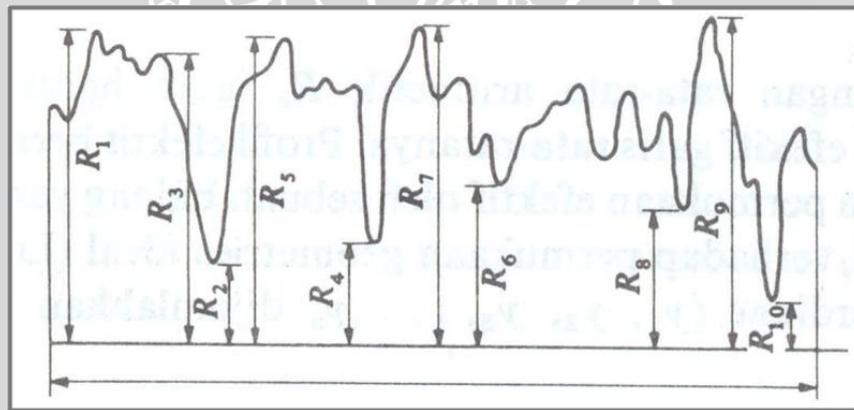
Dimana  $l$  adalah panjang contoh yang telah ditemukan, yaitu panjang dari profil efektif yang diperlukan untuk menentukan kekasaran permukaan dari permukaan yang diteliti.

### 2.7.2. Ketidakrataan ketinggian sepuluh titik $R_z$

Ketidakrataan ketinggian sepuluh titik ( $R_z$ ) merupakan jarak rata-rata antara lima puncak tertinggi dan lima lembah terdalam antara panjang contoh, yang diukur dari garis sejajar dengan garis rata-rata, dan tidak memotong profil tersebut.

$$R_z = \frac{(R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9) - (R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10})}{5} \quad (2.3)$$

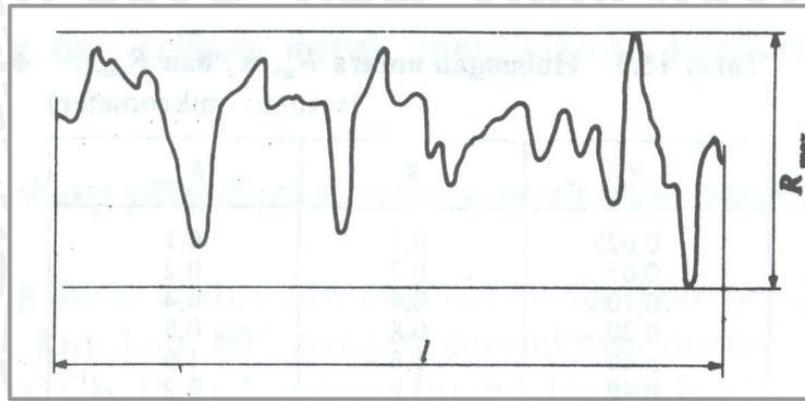
Berikut contoh profil ketidakrataan ketinggian sepuluh titik ( $R_z$ ) dapat dilihat pada gambar 2.11



Gambar 2.11 : Ketinggian sepuluh titik  $R_z$  dari ketidakrataan.  
Sumber: Sugiarto, 1996.

### 2.7.3. Ketidakrataan ketinggian maksimum $R_{max}$

Ketidakrataan ketinggian maksimum  $R_{maksimum}$  merupakan jarak antara dua garis sejajar dengan garis rata-rata dan menyinggung profil pada titik tertinggi dan terendah, antara panjang contoh. Berikut contoh profil ketidakrataan ketinggian maksimum ( $R_{maksimum}$ ) dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 : Ketinggian maksimum  $R_{maksimum}$  dari ketidakrataan.  
Sumber: Sugiarto, 1996.

## 2.8. Klasifikasi Logam dan Paduannya

Logam dan paduannya adalah salah satu material teknik yang porsinya paling banyak diperlukan dalam kegunaan teknik. Jika diperhatikan komponen mesin, maka sebagian besar sekitar 80% dan bahkan lebih terbuat dari logam. Selebihnya digunakan material non logam seperti keramik, *glass*, *polimer* dan bahkan material maju seperti komposit.

### 2.8.1. Logam Non Besi (*Non Ferrous*)

Logam non besi merupakan semua unsur logam yang komposisi utamanya bukan besi. Logam non besi juga sering digunakan walaupun pada umumnya jarang sekali di industri. Itu karena logam besi lebih banyak dipakai semua industri.

### 2.8.2. Logam Besi (*Ferrous*)

Logam adalah unsur kimia yang mempunyai sifat-sifat kuat, keras, penghantar listrik dan panas, serta mempunyai titik cair tinggi. Biji logam ditemukan dengan cara penambangan yang terdapat dalam keadaan murni atau bercampur. Logam Besi (*Ferrous*) juga terdiri menjadi dua yaitu:

#### 2.8.2. 1. Baja (*Steel*)

Baja paduan adalah baja paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, Ni dan Cr. Kadar karbon pada baja berkisar antara 0,008 – 2 %. Baja Paduan dipecah menjadi dua kelompok:

- a. Baja paduan rendah (*Low alloy steel*)

Baja paduan rendah biasanya digunakan untuk mencapai *hardenability* lebih baik, yang pada gilirannya akan meningkatkan sifat mekanis lainnya. Mereka juga digunakan untuk meningkatkan ketahanan korosi dalam kondisi lingkungan tertentu. Penurunan kandungan karbon pada kisaran 0,10 % - 0,30 %, bersama dengan beberapa pengurangan elemen paduan, meningkatkan *weldability* dan sifat mampu bentuk baja dengan tetap menjaga kekuatannya.

b. Baja Paduan Tinggi (*High alloy steel*)

Baja paduan tinggi terdiri dari baja tahan karat atau disebut dengan *stainless steel* dan baja tahan panas. Baja ini memiliki ketahanan korosi yang baik, terutama pada kondisi atmosfer. Unsur utama yang meningkatkan korosi adalah Cr dengan komposisi paling sedikit 11% (berat). Ketahanan korosi dapat juga ditingkatkan dengan penambahan unsur Ni dan Mo. Baja tahan karat dibagi menjadi tiga kelas utama yaitu jenis *martensit*, *ferit*, dan *austenit*. Jenis *martensit* dapat dikeraskan dengan menghasilkan *fasa martensit*. Baja tahan karat *austenit* memiliki *fasa austenit* FCC baik pada temperatur tinggi hingga temperatur kamar. Sedangkan jenis *ferit* terdiri dari *fasa ferit* BCC. Untuk jenis *austenit* dan *ferit* dapat dikeraskan dengan pengerjaan dingin. Jenis *ferit* dan *martensit* bersifat *magnetis* sedangkan jenis *austenit* tidak *magnetis*.

2.8.2.2. Besi Cor (*Cast iron*)

Besi cor adalah kelompok paduan besi memiliki kadar karbon diatas 1,7 % (berat). Biasanya berkisar antara 3-4,43 % C (berat). Dikarenakan elemen utamanya selain C dan Si juga ada elemen-elemen pepadu lainnya seperti Mn, S, P, Mg dan lain-lain dalam jumlah yang sedikit. Sifatnya sangat getas namun mampu cornya baik dibanding baja. Titik cairnya lebih rendah, ketahanan korosinya lebih baik, hal ini dikarenakan adanya *grafit* yang tersebar didalam besi cor. Berdasarkan jenis matriksnya besi cor terdiri dari besi cor kelabu (*gray cast iron*), besi cor putih, besi cor noduler, besi cor mampu bentuk (*malleable*).

## 2.9. Roda Gigi

Roda gigi didefinisikan sebagai sebuah elemen mesin yang digunakan untuk mentransmisikan putaran dan daya diantara dua poros yang berputar, pentransmisi putaran dan daya ini dilakukan oleh gigi – gigi kedua roda yang saling berkait. Roda gigi lebih sering digunakan karena dapat mentransmisikan putaran dan daya yang lebih bervariasi.

Roda gigi bekerja secara berpasangan, yang lebih kecil biasa disebut *pinion*, dan yang lebih besar biasa disebut *gear*. Biasanya *pinion* yang menggerakkan *gear* dan sistem bekerja sebagai sebuah pengurang kecepatan dan sebuah pengkonversi torsi.

Roda gigi memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan alat pentransmisi putaran dan daya yang lainnya, yaitu:

- Sistem transmisinya lebih ringkas, putaran lebih tinggi dan daya yang besar.
- Sistem konstruksinya sederhana.
- Kemampuan menerima beban lebih tinggi.
- Efisiensi pemindahan dayanya tinggi karena faktor terjadinya slip sangat kecil.
- Kecepatan transmisi roda gigi dapat ditentukan sehingga dapat digunakan dengan pengukuran yang kecil dan daya yang besar.

## 2.10. Roda Gigi Lurus (*Spur Gear*)

Roda gigi lurus merupakan roda gigi yang memiliki gigi – gigi (*tooth*) dengan alur yang sejajar dengan sumbu poros. Dalam teori roda gigi pada umumnya dianut anggapan bahwa roda gigi merupakan benda kaku yang hampir tidak mengalami perubahan bentuk untuk jangka waktu lama. Dalam roda gigi terdapat berbagai macam elemen yang digunakan. Berikut merupakan notasi dan definisi elemen roda gigi yang digunakan.

### 1. Lingkaran Kaki (*Root Circle*)

Lingkaran kaki adalah lingkaran batas kaki gigi pada suatu roda gigi. Dikenal juga dengan nama *dedendum circle*, diameter lingkaran ini dinotasikan dengan  $d_f$ .

### 2. Lingkaran Dasar (*Base Circle*)

Lingkaran dasar adalah lingkaran dimana kurva *involute* dari gigi-gigi terbentuk. Diameter lingkaran ini notasikan  $d_b$ .

### 3. Lingkaran Puncak (*Tip Circle*)

Lingkaran kepala adalah lingkaran terluar atau pada puncak gigi-gigi suatu roda gigi, biasa juga disebut *addendum circle*. Diameter lingkaran ini dinotasikan  $d_a$ .

### 4. Lingkaran Jarak Bagi (*Pitch Circle*)

Lingkaran *pitch* adalah lingkaran yang berada tepat ditengah gigi-gigi pada roda gigi. Diameter lingkaran *pitch* dinotasikan  $d$ .

### 5. Addendum

*Addendum* adalah jarak radial diameter *pitch* dan diameter puncak. Dinotasikan sebagai  $h_a$ .

### 6. Dedendum

*Dedendum* adalah jarak radial diameter *pitch* dan diameter kaki. Dinotasikan sebagai  $h_f$ .

### 7. Modul

*Modul* adalah panjang dari diameter lingkaran *pitch* untuk tiap gigi atau perbandingan diameter lingkaran *pitch* dengan jumlah gigi pada roda gigi. Satuan untuk *modul* adalah milimeter. Dinotasikan sebagai  $m$ .

$$m = \frac{d}{N} \quad (\text{Sularso, 1997}) \quad (2.4)$$

Dimana :

$d$  = diameter lingkaran *pitch*

$N$  = jumlah gigi

### 8. Diametral pitch

*Diametral pitch* adalah banyaknya gigi untuk tiap satu inchi dari diameter lingkaran *pitch*. Diameter *pitch* ini hanya merupakan harga secara hipotesis saja yang harganya tidak bisa diukur. Akan tetapi pengertiannya sangat penting untuk mempertimbangkan proporsi jumlah gigi. Dinotasikan sebagai  $DP$ .

$$DP = \frac{N}{d} \quad (\text{Sularso, 1997}) \quad (2.5)$$

Dimana :

$N$  = jumlah gigi

$d$  = diameter lingkaran *pitch*

Atau

$$DP = \frac{m}{25,4} \quad (\text{Sularso, 1997}) \quad (2.6)$$

Dimana :

$m$  = modul

9. Tebal gigi (*tooth thickness*)

Tebal gigi adalah panjang busur pada lingkaran *pitch* diantara dua buah sisi profil pada suatu gigi. Dinotasikan sebagai  $s$ .

10. Tinggi gigi (*tooth depth*)

Tinggi gigi adalah jarak radial antara lingkaran puncak dan lingkaran kaki atau jumlah dari *addendum* dan *dedendum*. Dinotasikan sebagai  $h$ .

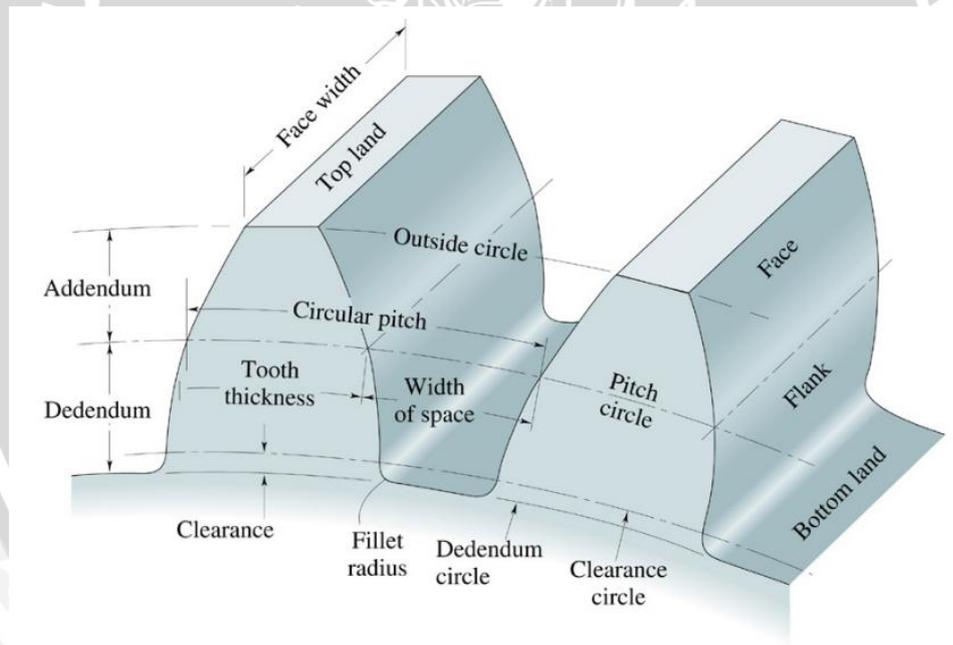
11. Profil Gigi (*Tooth Profile*)

Profil adalah bentuk penampang dari suatu gigi pada roda gigi Sudut

12. Tekan (*Pressure Angle*)

Sudut terkecil antara garis normal pada *involute* dan garis singgung pada lingkaran *pitch* di titik potong antara *involute* dengan lingkaran *pitch*.

Dinotasikan sebagai  $\alpha$ .

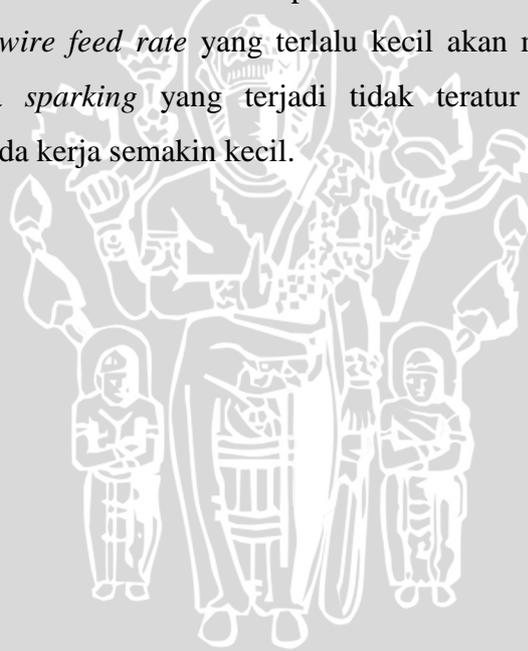


Gambar 2.13: Parameter roda gigi.

Sumber: Maitra, 1985.

### 2.11. Hipotesa

- Semakin besar arus listrik yang digunakan semakin besar kekasaran permukaan benda kerja yang ditimbulkan dan berlaku untuk sebaliknya. Hal ini disebabkan kawah yang terbentuk pada permukaan benda kerja semakin besar dikarenakan seiring arus yang besar akan mempengaruhi energi yang dihasilkan, yang terkandung tiap *sparking* menjadi naik. Sehingga loncatan bunga api untuk mengerosi permukaan benda kerja semakin besar yang hal ini berdampak pada kekasaran permukaan.
- Semakin besar harga *wire feed rate* maka semakin besar kekasaran permukaan benda kerja yang ditimbulkan dan berlaku untuk sebaliknya. Hal ini dikarenakan semakin besar nilai *wire feed rate* maka jumlah siklus percikan listrik dalam satu satuan panjang tertentu akan lebih banyak, inilah yang menyebabkan nilai kekasaran permukaan benda kerja yang semakin besar. Namun *wire feed rate* yang terlalu kecil akan membentuk gap yang lebar sehingga *sparking* yang terjadi tidak teratur sehingga kekasaran permukaan benda kerja semakin kecil.



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental sejati (*true experimental research*) dengan melibatkan variabel bebas yaitu arus listrik dan *wire feed rate* serta sebuah variabel terikat yaitu kekasaran permukaan.

#### 3.2. Variabel Penelitian

##### 3.2.1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besar nilainya ditentukan sebelum penelitian. Variabel bebas divariasikan untuk mendapatkan hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat sehingga tujuan penelitian dapat tercapai. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah variasi arus listrik dengan variasi 2 *Ampere*, 4 *Ampere*, 6 *Ampere* dan 8 *Ampere* dan *wire feed rate* dengan variasi 3 mm/s; 4 mm/s dan 5 mm/s

##### 3.2.3. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besar nilainya bergantung pada variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Dalam penelitian ini variabel terikat yang diamati adalah kekasaran permukaan.

#### 3.3. Bahan dan Peralatan Penelitian.

##### 3.3.1. Bahan

- Baja Paduan AISI 4340

- Komposisi:

Besi (Fe) : 2 %

Carbon (C) : 0,36 %

Silicon (Si) : 0,25 %

Manganese (Mn) : 0,70 %

Chromium (Cr) : 1,40 %

Nickel (Ni) : 1,40 %

Molibdenium (Mo) : 0,25 %

- *Tensile Strength* : 700-1100 N/mm<sup>2</sup>
- *Yield Strength* : 700 N/mm<sup>2</sup>

### 3.3.2. Peralatan

- Mesin Wire EDM Mitsubishi BA-8

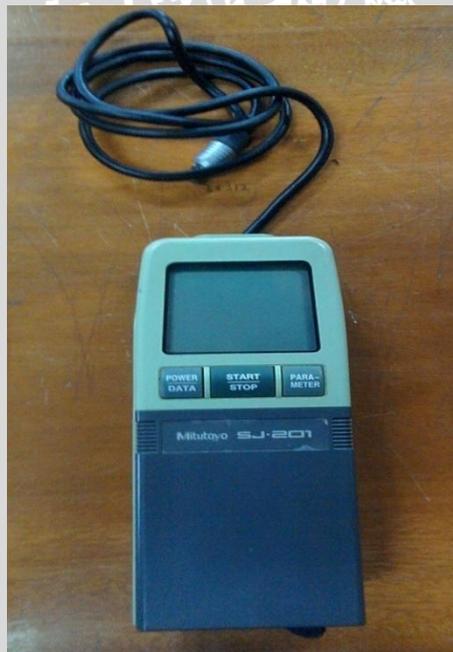
#### Spesifikasi:

- *Maximum workpiece dimensions* : 700 x 550 x 115 (mm)
- *Maximum workpiece weight* : 500 kg
- *Table dimensions* : 540 x 430 (mm)
- *Machining range X–Y* : 320 x 250 (mm)
- *Maximum Z– Axis height* : 220 mm
- *U– V Axis travel (from centre)* : ± 32 mm
- *Taper angle @ thickness* : 15° @ 100 mm
- *Wire diameter possible* : 0,1 – 0,3 mm
- *Filtration elements* : Paperfilter
- *Filtered particle size* : 3
- *Water purifier* : 18 l
- *Filter tank capacity* : 440 l
- *Dielectric chiller unit* : Unit Cooler
- *Machine system dimensions* : 1764 x 2402 mm
- *Machine installed height* : 2037 mm
- *Machine system weight* : 1800 kg
- *Power requirement* : 200/220 V



Gambar 3.1 : Mesin Wire EDM Mitsubishi BA 8  
Sumber: Dokumentasi pribadi

- *surface test*



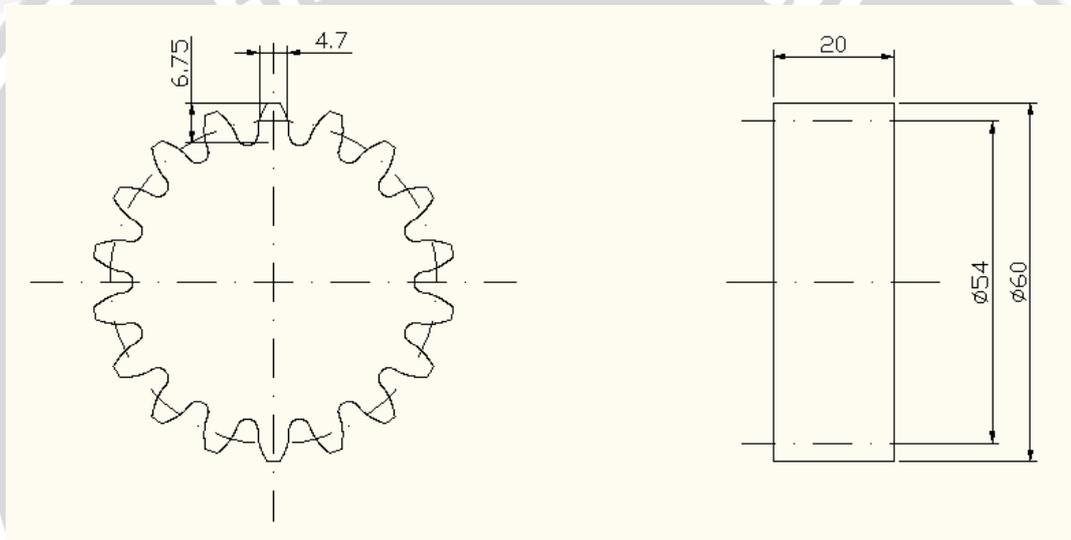
Gambar 3.2 : *Surface roughness testers*  
Sumber: Dokumentasi pribadi

- *Software AUTOCAD 2009*  
Untuk pembuatan gambar kerja.

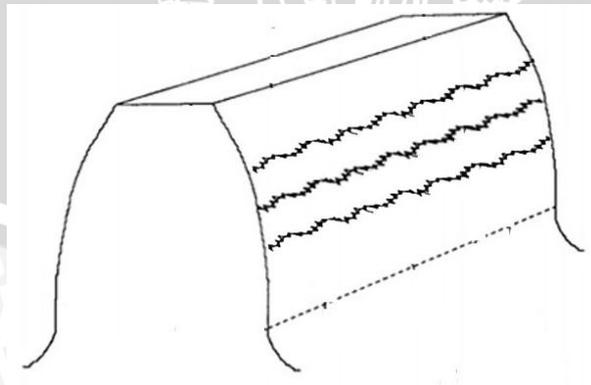
### 3.3.3. Benda Kerja

Benda kerja yang akan dibuat merupakan roda gigi lurus dengan spesifikasi sebagai berikut :

Modul $m$	: 3 mm
Jumlah gigi $z$	: 18
Diameter luar $d_a$	: 60 mm
Diameter <i>pitch</i> $d$	: 54 mm
Diameter dasar $d_f$	: 48.25 mm
Tinggi gigi $h$	: 6.75 mm
Tebal gigi $s$	: 20 mm
Sudut tekan $\alpha$	: $20^\circ$



Gambar 3.3 : Benda kerja roda gigi lurus



Gambar 3.4 : Gambar pengujian

### 3.4. Prosedur Penelitian

#### 3.4.1. Proses Pengambilan Spesimen

1. Menyiapkan gambar pemotongan spesimen.
2. Menyiapkan spesimen yang akan digunakan yaitu baja paduan AISI 4340
3. Menyiapkan mesin *Wire EDM* Mitsubishi BA-8.
4. Melakukan pemotongan sesuai dengan parameter-parameter yang telah ditentukan.
5. Disini spesimen yang dibuat roda gigi lurus dengan 2 gigi. 2 gigi sudah mewakili pengujian kekasaran permukaan untuk 3 kali pengulangan.

#### 3.4.2. Proses Pengambilan Data

1. Membersihkan hasil pemotongan
2. Pengambilan data dengan *Surface roughness testers*
3. Pengolahan data
4. Melakukan pembahasan dan penarikan kesimpulan

### 3.5. Waktu dan Tempat Penelitian

#### 1. Tempat Penelitian

Laboratorium Produksi Politeknik Negeri Malang.  
Laboratorium Metrologi ITN Malang.

#### 2. Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilakukan mulai pertengahan Desember 2011.

### 3.6. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini merupakan cara untuk menentukan keberhasilan suatu penelitian atau eksperimen dan juga menentukan analisis yang tepat sehingga didapat suatu analisis dan kesimpulan yang tepat.

Rancangan tabel pengaruh arus listrik dan *wire feed rate* terhadap kekasaran permukaan

Tabel 3.1. Rancangan Penelitian

		WIRE FEED RATE (mm/s)		
		B1	B2	B3
ARUS LISTRIK (Ampere)	A1	$u_{111}$	$u_{121}$	$u_{131}$
		$u_{112}$	$u_{122}$	$u_{132}$
		$u_{113}$	$u_{123}$	$u_{133}$
	A2	$u_{211}$	$u_{221}$	$u_{231}$
		$u_{212}$	$u_{222}$	$u_{232}$
		$u_{213}$	$u_{223}$	$u_{233}$
	A3	$u_{311}$	$u_{321}$	$u_{331}$
		$u_{312}$	$u_{322}$	$u_{332}$
		$u_{313}$	$u_{323}$	$u_{333}$
	A4	$u_{411}$	$u_{421}$	$u_{431}$
		$u_{412}$	$u_{422}$	$u_{432}$
		$u_{413}$	$u_{423}$	$u_{433}$

$U_{ijk}$  adalah data pengamatan yang berupa kekasaran permukaan pada perlakuan A ke i dan B ke j serta pengulangan ke k dimana A adalah arus listrik dan B adalah wire feed rate.

### 3.7. Rancangan Pengolahan Data dan Analisa Data

Untuk pengolahan data digunakan bantuan Microsoft excel untuk menghitung nilai yang sesungguhnya dengan mengkalikan nilai yang didapat dari gambar dengan skala yang telah kita dapatkan.

Untuk analisa data digunakan bantuan Microsoft excel untuk analisa secara statistik dan grafis. Untuk analisa statistik akan dianalisa menurut analisa varian seperti yang dijelaskan di bawah

Yang akan kita uji adalah pengaruh pada:

1.  $\alpha$  = pengaruh pada faktor A
2.  $\beta$  = pengaruh pada faktor B
3.  $(\alpha\beta)$  = pengaruh interaksi faktor A dan faktor B

Ketiga hipotesanya ditulis sebagai berikut:

1.  $H_{01} : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3$

$H_{11}$  : paling sedikit satu  $\alpha_i = 0$

2.  $H_{02}$  :  $\beta_1 = \beta_2 = \beta_i$

$H_{12}$  : paling sedikit satu  $\beta_i = 0$

3.  $H_{03}$  :  $(\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = (\alpha\beta)_{ij}$

$H_{13}$  : paling sedikit satu  $(\alpha\beta)_{ij} = 0$

Tiap pengujian hipotesa diatas didasarkan pada perbandingan varian yang bebas dan varian penduganya

$$JKT = \sum_{i=r}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t (Y_{ijk} - Y_{...})^2$$

$$JKA = ct \sum_{i=r}^r (Y_i - Y_{...})^2$$

$$JKB = rt \sum_{k=1}^t (Y_{.j} - Y_{...})^2$$

$$JKAB = \sum_{i=r}^r \sum_{j=1}^c (Y_{ij} - Y_i - Y_{.j} + Y_{...})^2$$

$$JKG = \sum_{i=r}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t (Y_{ijk} - Y_{ij})^2$$

Maka dapat dituliskan persamaan sebagai berikut:

$$JKT = JKA + JKB + JKAB + JKG$$

Apabila masing-masing dibagi dengan derajat bebasnya akan diperoleh nilai varian dari masing-masing suku tersebut. Nilai ini sering kita sebut sebagai kwadrat tengah yang disingkat KT.

Nilai varian tersebut adalah:

$$1) S_1^2 = \frac{JKA}{r-1}$$

$$2) S_2^2 = \frac{JKB}{c-1}$$

$$3) S_3^2 = \frac{JKAB}{(r-1)(c-1)}$$

$$4) S^2 = \frac{JKG}{rc(t-1)}$$

Untuk menguji ketiga hipotesa di atas kita hitung harga  $F_{hitung}$  dari masing-masing sumber keragaman (faktor A, B dan interaksi) kemudian dibandingkan dengan tabel  $F_{tabel}$  dengan derajat bebas yang sesuai dengan nilai  $\alpha$  tertentu.

Nilai  $f_{hitung}$  dari masing – masing sumber keragaman adalah sebagai berikut:

$$\text{Untuk faktor A : } F_{hitung} = \frac{s_1^2}{s^2}$$

$$\text{Untuk faktor B : } F_{hitung} = \frac{s_2^2}{s^2}$$

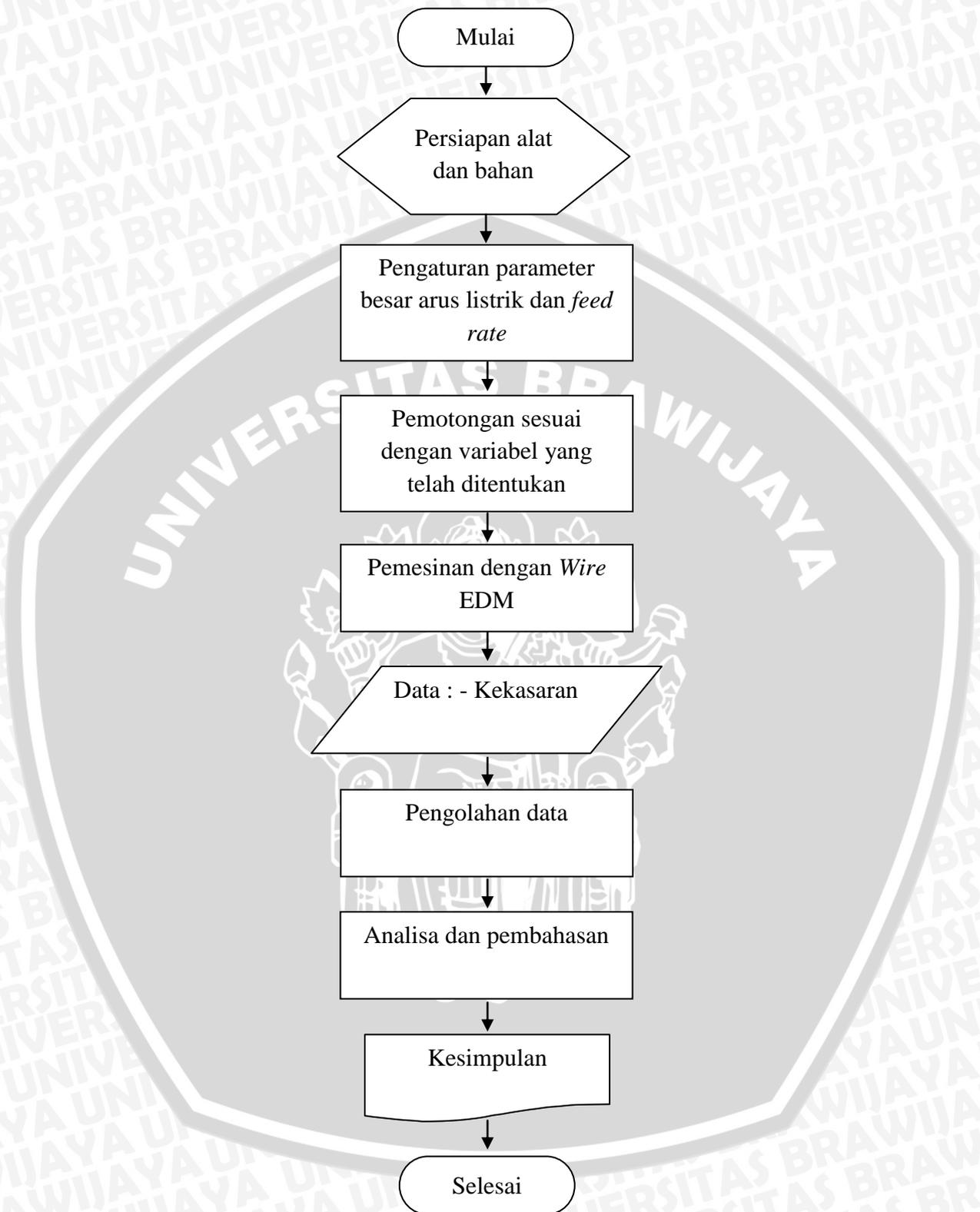
$$\text{Untuk faktor interaksi antara A dan B : } F_{hitung} = \frac{s_3^2}{s^2}$$

Apabila nilai  $F_{hitung} > F_{tabel}$  berarti bahwa  $H_0$  ditolak dan jika  $F_{hitung} < F_{tabel}$  berarti  $H_0$  diterima

Tabel 3.2. Analisa Varian Dua Arah

Sumber Keragaman	dB	JK	KT	$F_{hitung}$
Pengaruh A	$r - 1$	JKA	$S_1^2 = \frac{JKA}{r - 1}$	$F_{hitung} = \frac{s_1^2}{s^2}$
Pengaruh B	$c - 1$	JKB	$S_2^2 = \frac{JKB}{c - 1}$	$F_{hitung} = \frac{s_2^2}{s^2}$
Pengaruh interaksi A dan B	$(r - 1) \times (c - 1)$	JKAB	$S_3^2 = \frac{JKAB}{(r - 1)(c - 1)}$	$F_{hitung} = \frac{s_3^2}{s^2}$
Galat	$rc (t - 1)$	JKG	$s^2 = \frac{JKG}{rc(t - 1)}$	
Total	$rct - 1$	JKT		

### 3.8. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.5 : Diagram alir penelitian.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Data Hasil Pengukuran

Untuk mendapatkan data kekasaran permukaan, dilakukan pengambilan pengukuran dengan *Surface roughness testers*.



Gambar 4.1 a. *Surface roughness testers* ; b. Benda kerja

Sumber: Dokumentasi pribadi

Pengukuran dilakukan dengan 3 kali pengulangan untuk memberikan tingkat ketelitian data pengukuran yang diperoleh, kemudian diambil rata-rata dari data hasil pengukuran tersebut.

Tabel 4.1 Data nilai kekasaran permukaan ( $\mu\text{m}$ )

		WIRE FEED RATE (mm/s)		
		3	4	5
ARUS LISTRIK (Ampere)	2	2.06	1.83	1.66
		2.23	1.85	2.57
		2.18	2.06	2.29
	4	2.24	2.12	2.05
		2.18	2.21	2.53
		2.1	2.16	2.43
	6	2.15	2.06	3.03
		2.15	2.2	2.62
		2.24	2.35	2.46
	8	2.12	1.94	2.75
		2.68	2.51	3.03
		2.53	2.62	3

## 4.2. Pengolahan Data

### 4.2.1. Analisa varian

Dari data hasil pengukuran kekasaran permukaan yang diperoleh, dilakukan analisa varian dua arah untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variasi arus listrik dan *wire feed rate*, serta interaksi dari keduanya terhadap kekasaran permukaan hasil potong pada *wire EDM*.

Hipotesis dari Arus listrik (pengaruh A) terhadap kekasaran permukaan hasil pemotongan adalah:

$$H_0^1 : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4$$

$$H_1^1 : \text{Sekurang-kurangnya } \alpha_i \text{ satu tidak sama dengan nol}$$

Hipotesis dari *wire feed rate* ( pengaruh B) terhadap kekasaran permukaan hasil pemotongan adalah:

$$H_0^2 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3$$

$$H_1^2 : \text{Sekurang-kurangnya } \beta_j \text{ satu tidak sama dengan nol}$$

Hipotesis dari interaksi antara Arus listrik dan *wire feed rate* terhadap kekasaran permukaan hasil pemotongan adalah:

$$H_0^3 : (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = (\alpha\beta)_{13}$$

$$H_1^3 : \text{Sekurang-kurangnya } (\alpha\beta)_{ij} \text{ satu tidak sama dengan nol}$$

Pengujian dilakukan dengan menggunakan taraf nyata  $\alpha = 0,05$

Tabel 4.2 Perhitungan analisis varian

<i>WIRE FEED</i> <i>RATE</i>				
ARUS LISTRIK	B1	B2	B3	TOTAL
A1	6.47	5.74	6.52	18.73
A2	6.52	6.49	7.01	20.02
A3	6.54	6.61	8.11	21.26
A4	7.33	7.07	8.78	23.18
TOTAL	26.86	25.91	30.42	83.19

Keterangan : A = Arus listrik

B = wire feed rate

Dari tabel 4.2 maka dapat dilakukan perhitungan untuk analisis varian sebagai berikut:

➤ Faktor koreksi (FK):

$$\begin{aligned}
 \text{FK} &= \frac{\left[ \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^n Y_{ijk} \right]^2}{rcn} \\
 &= \frac{6920.5761}{4.3.3} \\
 &= 192.2382
 \end{aligned}$$

➤ Jumlah Kuadrat total:

$$\begin{aligned}
 \text{JKT} &= \{(2.06)^2 + (2.23)^2 + (2.18)^2 + \dots + (3)^2\} - \text{FK} \\
 &= \{(4.244) + (4.97) + (4.75) + \dots + (9)\} - \text{FK} \\
 &= 196.0357 - 192.2382 \\
 &= 3.7975
 \end{aligned}$$

➤ Jumlah Kuadrat variable A:

$$\begin{aligned}
 \text{JKC} &= \frac{\{(18.73)^2 + (20.02)^2 + (21.26)^2 + (23.18)^2\}}{cn} - \text{FK} \\
 &= \frac{350.81 + 400.80 + 451.98 + 537.31}{9} - \text{FK} \\
 &= \frac{1740.9}{9} - 192.2382 \\
 &= 1.1966
 \end{aligned}$$

➤ Jumlah Kuadrat Variable B:

$$\begin{aligned} \text{JKD} &= \frac{\{(26.86)^2 + (25.91)^2 + (30.42)^2\}}{n} - \text{FK} \\ &= \frac{(721.45) + (671.32) + (925.37)}{12} - 192.2382 \\ &= \frac{2318.14}{12} - 192.2382 \\ &= 0.9421 \end{aligned}$$

➤ Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP):

$$\begin{aligned} \text{JKP} &= \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T_{ij}^2}{n} - \text{FK} \\ &= \frac{\{(6.47)^2 + (6.52)^2 + (6.54)^2 + \dots + (8.78)^2\}}{3} - 192.2382 \\ &= 194.7091 - 192.2382 \\ &= 2.4709 \end{aligned}$$

➤ Jumlah kuadrat pengaruh interaksi A dan B (JKAB)

$$\begin{aligned} \text{JKAB} &= \text{JKPerlakuan} - \text{JKC} - \text{JKD} \\ &= 2.4709 - 1.1966 - 0.9421 \\ &= 0.3322 \end{aligned}$$

➤ Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$\begin{aligned} \text{JKG} &= \text{JKT} - \text{JKC} - \text{JKD} - \text{JKAB} \\ &= 3.7975 - 1.1966 - 0.9421 - 0.3322 \\ &= 1.3265 \end{aligned}$$

Nilai varian dari masing-masing perlakuan sebagai berikut:

➤ Kuadrat Tengah pengaruh A ( $S_a^2$ )

$$\begin{aligned} S_a^2 &= \frac{\text{JKA}}{r-1} \\ &= \frac{1.1966}{4-1} \\ &= 0.3989 \end{aligned}$$

➤ Kuadrat Tengah pengaruh B ( $S_b^2$ )

$$\begin{aligned} S_b^2 &= \frac{JKB}{r-1} \\ &= \frac{0.9421}{3-1} \\ &= 0.4711 \end{aligned}$$

➤ Kuadrat Tengah pengaruh interaksi A dan B ( $S_{ab}^2$ )

$$\begin{aligned} S_{ab}^2 &= \frac{JKAB}{(r-1)(c-1)} \\ &= \frac{0.3322}{(4-1)(3-1)} \\ &= 0.0554 \end{aligned}$$

➤ Kuadrat Tengah Galat ( $S^2$ )

$$\begin{aligned} S^2 &= \frac{JKG}{rc(n-1)} \\ &= \frac{1.3265}{4.3(3-1)} \\ &= 0.0553 \end{aligned}$$

Nilai F hitung dari masing-masing sumber keragaman sebagai berikut:

➤  $F_{hitung}$  pengaruh A

$$\begin{aligned} F_{a \text{ hitung}} &= \frac{S_a^2}{S^2} \\ &= \frac{0.3989}{0.0553} \\ &= 7.2163 \end{aligned}$$

➤  $F_{hitung}$  pengaruh B

$$\begin{aligned} F_{b \text{ hitung}} &= \frac{S_b^2}{S^2} \\ &= \frac{0.4711}{0.0553} \\ &= 8.5225 \end{aligned}$$

➤  $F_{hitung}$  pengaruh A dan B

$$\begin{aligned}
 F_{ab \text{ hitung}} &= \frac{S_{ab}^2}{S^2} \\
 &= \frac{0.0554}{0.0553} \\
 &= 1.0018
 \end{aligned}$$

Tabel 4.3. Analisis Varian Dua Arah

Sumber Keragaman	JK	Db	KT	F Hitung	F Tabel
Arus listrik (A)	0.9421	3	0.4711	7.2163	3,01
Wire feed rate (B)	1.1966	2	0.3989	8.5225	3,40
Interaksi A dan B	0.3322	6	0.0554	1.0018	2,51
Galat	1.3265	24	0.0553		
Total	3.7975	35	0.9806		

Dari tabel 4.3 diatas, dapat diperoleh kesimpulan:

1.  $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$  maka  $H_0^1$  ditolak dan  $H_1^1$  diterima. ini berarti bahwa variasi arus listrik berpengaruh terhadap kekasaran permukaan hasil pemotongan *wire EDM*.
2.  $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$  maka  $H_0^2$  ditolak dan  $H_1^2$  diterima, ini berarti bahwa variasi *wire feed rate* berpengaruh terhadap kekasaran permukaan hasil pemotongan *wire EDM*.
3.  $F_{AB} \text{ hitung} < F_{AB} \text{ tabel}$  Maka  $H_0^3$  diterima dan  $H_1^3$  ditolak, ini berarti bahwa interaksi antara arus listrik dan *wire feed rate* tidak saling berkaitan terhadap kekasaran permukaan hasil pemotongan *wire EDM*.

Dari kesimpulan diatas terlihat bahwa variasi arus listrik dan *wire feed rate* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap kekasaran permukaan hasil potong baja paduan AISI 4340 menggunakan mesin *wire EDM* dengan tingkat keyakinan 95%

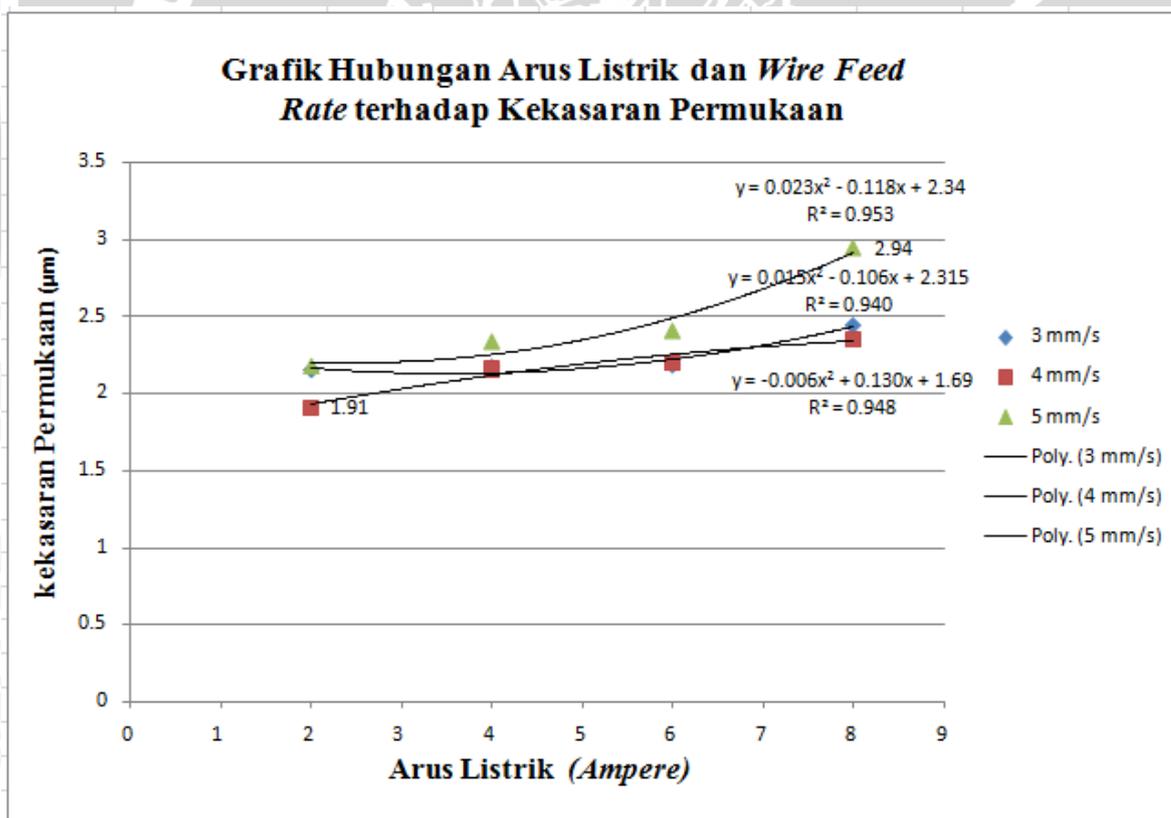
#### 4.2.2. Analisa Grafik

Dari data pada tabel 4.1 lalu dihitung rata-rata kekasaran permukaan pada tiap spesimen yang dijelaskan pada tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Tabel Rata – Rata kekasaran permukaan ( $\mu\text{m}$ )

		WIRE FEED RATE (mm/s)		
		3	4	5
ARUS LISTRIK (Ampere)	2	2.15	1.91	2.17
	4	2.17	2.16	2.33
	6	2.18	2.2	2.4
	8	2.44	2.35	2.94

Dari data pada tabel 4.4 maka dapat dibuat Grafik hubungan kekasaran permukaan dengan arus listrik dan *wire feed rate* yang dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara arus listrik terhadap kekasaran permukaan pada berbagai variasi *wire feed rate*

### 4.3. Pembahasan

Dari hasil pengolahan data menggunakan analisa varian dua arah kita mendapatkan bahwa variabel arus listrik berpengaruh terhadap kekasaran permukaan hasil pemotongan, hal ini dapat dibuktikan bahwa nilai  $F_{hitung}$  lebih signifikan dibandingkan nilai nilai  $F_{tabel}$ . Demikian juga dengan variabel *wire feed rate* yang memiliki pengaruh terhadap kekasaran permukaan hasil pemotongan, dapat dibuktikan bahwa nilai  $F_{hitung}$  lebih signifikan dibandingkan nilai nilai  $F_{tabel}$ . Interaksi antara arus listrik dan *wire feed rate* tidak berpengaruh terhadap kekasaran permukaan karena berdasarkan uji statistik  $F_{hitung}$  memiliki nilai yang lebih kecil dari  $F_{tabel}$ .

Dengan analisis grafis pada gambar 4.2 dapat dilihat hubungan antara parameter yang digunakan, nilai pada sumbu Y yaitu kekasaran permukaan dipengaruhi oleh sumbu X yaitu arus listrik yang mana secara umum pada grafik gambar 4.2 menunjukkan nilai pada sumbu Y semakin besar seiring dengan peningkatan nilai pada sumbu X.

Dari analisis regresi pada grafik, menunjukkan bahwa hubungan antara arus listrik terhadap kekasaran permukaan pada berbagai variasi *wire feed rate* berpengaruh terhadap kekasaran permukaan. Untuk mengetahui taraf presisi atau ketepatan garis regresi sebagai alat prediksi digunakan koefisien determinasi ( $R^2$ ). Nilai  $R^2$  berkisar 1-100% semakin nilai mendekati 100% menunjukkan semakin tinggi korelasi antara arus listrik dan kekasaran permukaan. Artinya, bahwa semakin besar koefisien determinasi yang terjadi maka akan semakin kuat pula presisi garis regresinya. Regresi merupakan suatu metode analisis statistik yang mempelajari pola hubungan antara dua variabel atau lebih dari dua variabel. Analisis korelasi merupakan suatu analisis untuk mengetahui tingkat keeratan hubungan antara dua variabel. Tingkat hubungan tersebut dapat dibagi menjadi tiga kriteria, yaitu mempunyai hubungan positif, mempunyai hubungan negatif dan tidak mempunyai hubungan. Untuk mencari persamaan garis regresi dapat digunakan berbagai pendekatan (rumus), sehingga nilai konstanta (a) dan nilai koefisien regresi (b) dapat dicari dengan metode sebagai berikut:

$$a = [(\sum Y \cdot \sum X^2) - (\sum X \cdot \sum XY)] / [(N \cdot \sum X^2) - (\sum X)^2] \text{ atau } a = (\sum Y/N) - b (\sum X/N)$$

$b = [N(\sum XY) - (\sum X \cdot \sum Y)] / [(N \cdot \sum X^2) - (\sum X)^2]$ . Pada penelitian ini dilakukan dengan software excel dengan dasar rumus tersebut sehingga didapatkan nilai  $R^2$ . Pada variasi *wire feed rate* 3 mm/s didapatkan koefisien determinasi  $R^2=0,940$ . Hal ini dapat diartikan bahwa 94% variasi sampel besar kekasaran permukaan pada pemotongan *wire EDM* dijelaskan oleh variabel arus listrik dan kecepatan *wire feed rate* yang digunakan

pada proses pemotongan. Sedangkan sisanya 6% disebabkan oleh pengaruh variabel-variabel lain yang tidak diteliti atau variabel-variabel yang berada diluar kawasan penelitian yang diklasifikasikan sebagai residu. Hal ini disebabkan parameter-parameter lain seperti *wire lag*, temperatur dan lain-lain. *Wire lag* dapat terjadi akibat percikan listrik yang terlalu besar, tegangan penarikan kawat yang rendah, tekanan *flusing* yang terlalu tinggi dan kecepatan pemakanan yang tinggi. Hal ini menyebabkan perubahan kekasaran permukaan. Temperatur saat penelitian tidak bisa dikontrol pada waktu pemakanan maupun waktu tidak pemakanan. Pada waktu pemakanan, temperatur pemesian naik sehingga arus yang terjadi pasti naik. Ini menyebabkan *pulse-pulse* listrik berupa loncatan bunga api yang semakin besar dan menyebabkan perubahan kekasaran permukaan.

Pada variasi *wire feed rate* 4 mm/s didapatkan koefisien determinasi  $R^2=0,948$ . Hal ini dapat diartikan bahwa 94.8% variasi sampel besar kekasaran permukaan pada pemotongan *wire* EDM dijelaskan oleh variabel arus listrik dan kecepatan *wire feed rate* yang digunakan pada proses pemotongan. Sedangkan sisanya 5.2% disebabkan oleh pengaruh variabel-variabel lain yang tidak diteliti atau variabel-variabel yang berada diluar kawasan penelitian yang diklasifikasikan sebagai residu. Variabel-variabel disini sama seperti yang dijelaskan diatas.

Pada variasi *wire feed rate* 5 mm/s didapatkan koefisien determinasi  $R^2=0,953$ . Hal ini dapat diartikan bahwa 94.3% variasi sampel besar kekasaran permukaan pada pemotongan *wire* EDM dijelaskan oleh variabel arus listrik dan kecepatan *wire feed rate* yang digunakan pada proses pemotongan. Sedangkan sisanya 5.7% disebabkan oleh pengaruh variabel-variabel lain yang tidak diteliti atau variabel-variabel yang berada diluar kawasan penelitian yang diklasifikasikan sebagai residu.

Dari gambar 4.2 kita dapat melihat pengaruh arus listrik terhadap kekasaran permukaan. Hal ini terlihat dari kecenderungan grafik yang meningkat seiring dengan penambahan arus listrik. Hal ini dikarenakan dengan semakin meningkatnya arus listrik yang digunakan maka energi yang dibangkitkan pada saat *sparking* juga menjadi besar, akibatnya proses pengikisan pada permukaan benda kerja akan terbentuk kawah-kawah.

Kawah-kawah ini terbentuk akibat adanya proses pelepasan pulse yang terjadi diantara celah elektroda dan benda kerja. Pada proses pelepasan pulse inilah energi yang dibangkitkan oleh arus listrik tadi akan menghasilkan pulse-pulse listrik berupa *sparking*/loncatan bunga api yang kemudian dialirkan melalui media dielektrik untuk mengikis permukaan benda kerja dan elektrodanya itu sendiri. Proses pengikisan ini

terjadi karena adanya proses pemusatan elektron yang bergerak dengan kecepatan tinggi dalam waktu singkat sehingga timbul loncatan bunga api listrik yang menumbuk permukaan benda kerja akibatnya terjadi pelelehan pada permukaan benda kerja.

Berdasarkan gambar 4.2 tingkat kekasaran terkecil didapat pada penggunaan arus listrik 2 *ampere*, ini dikarenakan pada besar arus listrik tersebut jumlah *sparking* yang dibangkitkan diantara celah oleh arus listrik tersebut tidak sebesar penggunaan arus listrik 8 *ampere*. Hal ini dikarenakan partikel-partikel yang terkikis pada benda kerja selama permesinan lebih sedikit. Ini berakibat pada laju pengerjaan yang semakin lama seiring dengan penggunaan arus yang semakin kecil. Selain itu jumlah volume logam yang harus dihilangkan sama besar sehingga energi tiap *sparking* yang besar akan membutuhkan waktu pengikisan yang lebih singkat. Ini menunjukkan kawah yang dihasilkan berukuran lebih besar. Pada energi *sparking* yang kecil akan membutuhkan waktu pengerjaan yang lama karena akan dihasilkan kawah yang berukuran lebih kecil. Dalam hal ini partikel-partikel tersebut akan terpecah keluar dari permukaan benda kerja yang meninggalkan bekas-bekas berupa kawah-kawah halus pada permukaan benda kerja. Proses terpecah keluarnya material kikisan dibantu dengan adanya proses *flushing* pada fluida dielektrik yang terus bersirkulasi selama proses permesinan. *Flushing* adalah sirkulasi cairan dielektrik diantara benda kerja dan kawat elektrode.

Berdasarkan Gambar 4.2 Grafik hubungan antara arus listrik terhadap kekasaran permukaan, maka dapat diambil suatu gambaran hubungan arus listrik terhadap tingkat kekasaran permukaan dimana bila arus listrik kecil maka akan menghasilkan tingkat kekasaran permukaan yang rendah dan bila arus listrik semakin besar maka tingkat kekasaran permukaan juga akan semakin besar.

Variasi *wire feed rate* berpengaruh terhadap kekasaran permukaan hasil pemotongan, ini terlihat pada gambar 4.2. Pada variasi *wire feed rate* 5 mm/s rata-rata nilai kekasaran permukaan lebih besar daripada yang lain. Sedangkan pada variasi *wire feed rate* 3 mm/s memiliki rata-rata nilai kekasaran permukaan yang lebih besar daripada variasi *wire feed rate* 4 mm/s, ini disebabkan pada nilai variasi *wire feed rate* 3 mm/s semakin tinggi, karena jarak (*gap*) antara elektrode kawat dan benda kerja akan semakin sempit. Semakin sempitnya jarak antara elektrode kawat dan benda kerja ini menyebabkan percikan akan semakin mudah terjadi dan energi percikan yang ditimbulkan akan semakin tinggi. Semakin tingginya energi percikan ini maka pengerosian benda kerja oleh percikan kawat akan semakin tinggi. Kekasaran permukaan pada variabel *wire feed rate* 4 mm/s terendah karena rendahnya energi

percikan yang ditimbulkan menyebabkan pengerosian benda kerja oleh percikan kawat akan semakin rendah.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

- Arus listrik berpengaruh terhadap kekasaran permukaan roda gigi. Nilai kekasaran permukaan pada sumbu ordinat akan meningkat secara parabolik seiring dengan meningkatnya nilai arus listrik pada sumbu absis. Hal ini dapat diartikan juga bahwa dengan bertambahnya nilai arus listrik maka nilai kekasaran permukaan roda gigi akan semakin besar.
- *Wire feed rate* berpengaruh terhadap kekasaran permukaan roda gigi. Diperlukan penentuan *wire feed rate* yang tepat untuk menentukan kualitas kekasaran permukaan yang optimal pada roda gigi yang terbuat dari material baja AISI 4340.
- Kekasaran permukaan terkecil sebesar  $1.91 \mu\text{m}$  didapat pada kombinasi variasi *wire feed rate* sebesar 4 mm/s pada variabel arus 2 *ampere*. Kekasaran permukaan terbesar sebesar  $2.94 \mu\text{m}$  didapat pada variasi *wire feed rate* sebesar 5 mm/s pada variabel arus 8 *ampere* yang merupakan variasi terbesar yang digunakan.

#### 5.2. Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh parameter arus listrik dan *wire feed rate* serta parameter-parameter lainnya terhadap kekasaran permukaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adi Nugraha, Robertha. 2011. *Pengaruh Wire Feed Rate Terhadap Kepresisian Geometri Profil Gigi Involute Pada Pembuatan Spur Gear Menggunakan Wire EDM*. Malang : Jurusan Teknik Mesin FT Unibraw.
- Anonim. 2011. *EDM Wire Tutorial*. USA: Makino Inc.
- Azkary, Zaky. *Analisa pengaruh perubahan variabel pemotongan pada proses wire EDM terhadap kekasaran permukaan benda kerja*. Malang : Jurusan Mesin FT Unibraw, (981063139-62).
- Hsue, W.J. & Y.S. Liao. 1997. *Fundamental Geometry Analysis Of Wire Electrical Discharge Machining In Corner Cutting*. International Journal of Machine Tools & Manufacture.
- Mahapatra, S.S & Amar Patanaik. 2006. *Optimaton Of Wire Electrical Discharge Machining (WEDM) Process Using Taguchi Method*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology.
- Maitra, G.M. 1985. *Handbook Of Gear Design*. New Delhi : Mc Graw Hill.
- Ningsih, Tri Hartutuk. *Pengaruh variabel pemesinan edm wire cutting dengan pemakaian wire berulang terhadap laju pengerjaan material benda kerja, kekasaran permukaan dan ketelitian ukuran hasil pengerjaan*. Surabaya : Pascasarjana Jurusan Teknik Mesin ITS.
- [http://www.makino.com/about/article/2-1-2008/EDM\\_Wire\\_Tutorial](http://www.makino.com/about/article/2-1-2008/EDM_Wire_Tutorial)
- Port, John. 1992. *What Is Wire EDM ?*; Brother Industries and Charmile.
- <http://www.jacksmachine.com/pdf/what-is-wire-edm.pdf>
- Sato, G Takeshi & Hartanto, N Sugiarto. 2000. *Menggambar Mesin*. Jakarta : PT Pradnya Paramita.
- Sommer, Carl & Steve Sommer, M.E. 2000. *Complete EDM Handbook*. Texas: Advance Publishing.
- Sudjana. 1994. *Desain Dan Analisis Eksperimen*. Bandung : Tarsito.
- Sularso & Kiyokatsu Suga. 1997. *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta : PT Pradnya Paramita.
- Tandi, Fredi Rein. 2000. *Analisis Pengaruh Parameter Pemesinan Terhadap Ketelitian Ukuran Dan Kekasaran Permukaan Pada Proses Wire Electric Discharge Machine*. Malang : Jurusan Mesin FT Unibraw.
- Walpole. Ronald E. 1992. *Pengantar Statistika*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka.

## Lampiran 1 Gambar Benda Kerja



Lampiran 1. Foto Spesimen.



Spesimen dengan variasi arus listrik 2 ampere dan wire feed rate 3 mm/s



Spesimen dengan variasi arus listrik 4 ampere dan wire feed rate 3 mm/s



Spesimen dengan variasi arus listrik 6 ampere dan wire feed rate 3 mm/s



Spesimen dengan variasi arus listrik 8 ampere dan wire feed rate 3 mm/s



Spesimen dengan variasi arus listrik 2 ampere dan wire feed rate 4 mm/s



Spesimen dengan variasi arus listrik 4 ampere dan wire feed rate 4 mm/s



Spesimen dengan variasi arus listrik 6 ampere dan wire feed rate 4 mm/s



Spesimen dengan variasi arus listrik 8 ampere dan wire feed rate 4 mm/s



Spesimen dengan variasi arus listrik 2 ampere dan wire feed rate 5 mm/s



Spesimen dengan variasi arus listrik 4 ampere dan wire feed rate 5 mm/s



Spesimen dengan variasi arus listrik 6 ampere dan wire feed rate 5 mm/s



Spesimen dengan variasi arus listrik 8 ampere dan wire feed rate 5 mm/s

# UNIVERSITAS BRAWIJAYA

## Lampiran 2 Surat Penelitian





**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL  
POLITEKNIK NEGERI MALANG**

Jl. Soekarno Hatta No.9 Malang 65141  
Telp (0341) 404424 – 404425 Fax (0341) 404420  
<http://www.poltek-malang.ac.id>



SURAT KETERANGAN

Nomor : 316/K13/TM/2011

Dengan hormat,

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : A. Agus Hardjito, ST., M.T.

NIP : 19610822 198801 1 001

Jabatan : Kepala Produksi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang

Dengan ini menerangkan dengan sesungguhnya bahwa :

Nama : Aris Setyawan

NIM : 0710623044

Jurusan : Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang

Telah menggunakan sarana Laboratorium Produksi (*CNC Wire Cutting*) di Jurusan Mesin Politeknik Negeri Malang untuk penelitian yang dilaksanakan pada tanggal 7 Desember 2011 s/d 9 Desember 2011

Demikian keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya



Iman Mashudi, B.Eng(Hons),M.T  
NIP 19631110 199103 1 003

Hormat kami,

A. Agus Hardjito, S.T.,M.T.  
NIP 19610822 198801 1 001

FRM.RME.02.01.00





INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
 FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI JURUSAN TEKNIK MESIN  
**LABORATORIUM METROLOGI INDUSTRI**

Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Ext. 521 Malang

**Nama** : Aris Setyawan  
**Nim** : 0710623044  
**Jurusan/Prodi** : Teknik Mesin UB

		ARUS LISTRIK (Ampere)			
		2	4	6	8
WIRE FEED RATE (cm/s)	3	2.06	2.24	2.15	2.12
		2.23	2.18	2.15	2.68
		2.18	2.1	2.24	2.53
	Rata-rata	2.15	2.17	2.18	2.44
	4	1.83	2.12	2.06	1.94
		1.85	2.21	2.2	2.51
		2.06	2.16	2.35	2.62
	Rata-rata	1.91	2.16	2.2	2.35
	5	1.66	2.05	3.03	2.75
		2.57	2.53	2.62	3.03
		2.29	2.43	2.46	3.00
	Rata-rata	2.17	2.33	2.4	2.94

Malang, 12 Desember 2011  
 Kalah Metrologi Industri



**Ir. H. Anang Subardi, MT**  
 NIP: 19550629 198910 1 001

