



**PENGARUH BESAR ARUS, *WIRE SPEED*, DAN *INTER PULSE*
TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN PADA
PROSES *WIRE-EDM***

SKRIPSI

Diajukan guna melakukan tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi teknik mesin (S1) dan mencapai gelar sarjana teknik

Oleh

Adi Febrianto

NIM 111910101051

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019

PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Hartoyo dan Ibu Siti Jariyah yang telah memberikan hampir seluruh kebutuhan dan kasih sayang dengan tulus, mendidik dengan sabar serta mendoakan dengan ikhlas
2. Kakak tersayang Mohammad Rizkyanto dan adik Riska Nuroktavia yang telah memberikan motivasi dan doanya.
3. Kasihku tersayang Niken Fitrianing yang selalu memberiku semangat dan dukungan setiap waktu.
4. Teman-teman sekaligus sahabat-sahabatku ; Maulana, Mas Agung, Mas Trias, Faiq, Moh. Zakaria, Ahmad Rifqi, Fauzan, Irsyadi Putra, dan yang tidak bisa saya sebut satu persatu yang selalu senantiasa memberi motivasi dan dukungan.
5. Para kerabatku semuanya yang senantiasa selalu mensupportku .
6. Teknik Mesin khususnya angkatan 2011 yang yang selalu solid mendukungku.
7. Almamater Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
8. Semua anak Teknik tanpa terkecuali.

MOTTO

“Ridho Allah tergantung ridho orang tuamu dan murka Allah tergantung murka orang tuamu” (Hasan. At-Tirmidzi :1899, HR. al- Hakim : 7249, ath- Thabrani dalam al-mu’jam al- kabiir :14368, al- bazzar : 2394)

“Sesungguhnya ilmu itu di dapat dengan belajar”

(H.R Thabrani)

“Dibalik kesuksesan seseorang pasti ada orang-orang yang berjasa didalamnya, dan orang tersebut tak akan pernah tergantikan oleh siapapun dan sampai kapanpun”

(Adi Febrianto)

“ jika kau patuh pada rajamu lebih patuhlah pada patuhlah pada ibumu, jika kau sayang pada kasihmu lebih sayanglah pada ibumu”

(H. Rhoma Irama)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Adi Febrianto
Nim : 111910101051
Fakultas/ Jurusan : Teknik/ Teknik Mesin
Prodi : Strata 1 (S1)
Konsentrasi : Manufaktur

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul “ Pengaruh Besar Arus, *Wire Speed*, Dan *Inter Pulse* Terhadap Kekasaran Permukaan pada Proses *Wire-EDM* ” adalah benar hasil dari karya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun. Saya bertanggungjawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus di junjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun, serta bersedia mendapat sanksi akademik jika saya melanggar dari isi pernyataan ini.

Jember, 8 Januari 2019

Yang Menyatakan

Adi Febrianto
NIM 111910101051

SKRIPSI

**PENGARUH BESAR ARUS, *WIRE SPEED*, DAN *INTER PULSE*
TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN
PADA PROSES *WIRE-EDM***

Oleh :

**Adi Febrianto
NIM 111910101051**

Pembimbing :

Dosen pembimbing utama (DPU) : Hari Arbiantara B, S.T., M.T.

Dosen pembimbing anggota (DPA) : Dr. R. Koekoeh KW,S.T., M.Eng.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “ Pengaruh Besar Arus, *Wire speed*, dan *Inter pulse* Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses *Wire-EDM* ”, Telah diuji dan disahkan oleh Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember pada :

Hari : Kamis

Tanggal :17, Januari, 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Hari Arbiantara B.,S.T.,M.T
NIP. 19670924 199412 1 001

Dr. R. Koekoeh. K W.,S.T.,M.Eng
NIP.19670708 199412 1 001

Penguji I,

Penguji II,

Dedi Dwi Laksana, S.T.,M.T
NIP. 19691201 199602 1 001

Ahmad Adib R., S.T.,M.T
NIP. 19850117 201212 1 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M
NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Pengaruh besar arus, *wire speed*, dan *inter pulse* terhadap kekasaran permukaan pada proses *wire-EDM* : Adi Febrianto, 111910101051, 2019, 80 Halaman, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

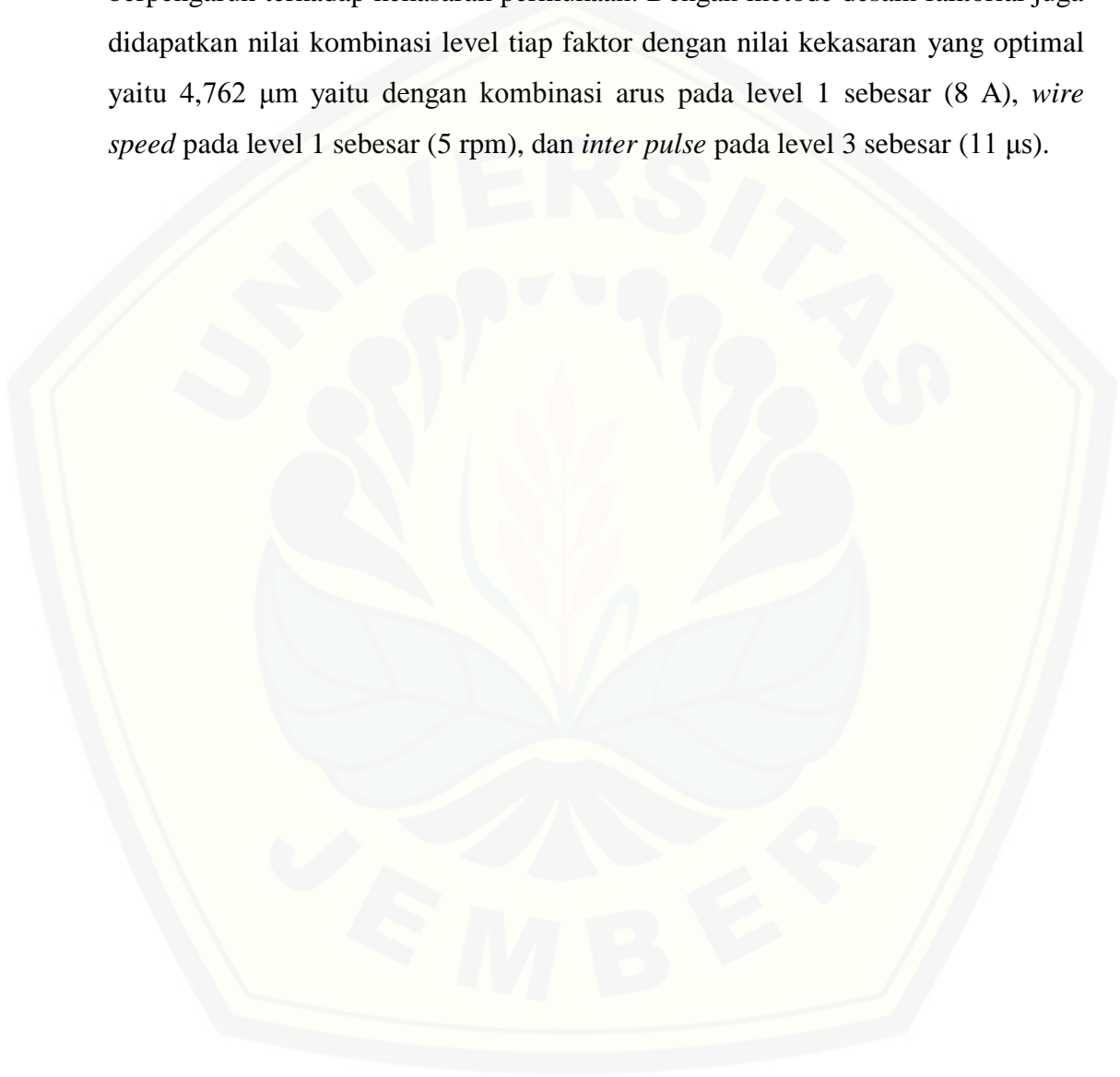
Perkembangan teknologi industri manufaktur sangat maju dan berkembang dengan pesat saat ini. Tujuannya tidak lain untuk mengembangkan serta meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan. Proses permesinan *Wire-EDM* (*Wire Electrical Discharge Machining*) salah satu proses permesinan non-konvensional yang belakangan ini diminati dan sekarang ini biasanya banyak diaplikasikan untuk pembuatan *die-mould*, *cutting tools* (pahat potong), *disk brake*, *punch*.

Pengaturan parameter pada *wire-EDM* digunakan untuk meminimalisir kekasaran suatu permukaan. Kehalusan suatu permukaan memiliki peranan yang sangat penting dalam suatu komponen produk khususnya yang menyangkut masalah gesekan pelumasan, keausan, tahanan terhadap kelelahan dan sebagainya. Penentuan parameter optimal yang digunakan adalah arus, *wire speed*, dan *inter pulse* terhadap kekasaran permukaan benda kerja baja SLD. Penggunaan baja SLD Karena baja sangat cocok untuk bahan pengerjaan seperti *dies-mould*, *core*, pahat potong (*cutting tools*) dan lain-lain. Selain itu material ini juga mempunyai ketangguhan dan kekerasan yang tinggi.

Hasil penelitian diharapkan dapat menentukan setting parameter *wire-EDM* untuk menghasilkan tingkat kekasaran permukaan yang seminimum mungkin pada material baja SLD. Dalam hasil pengerjaan yang optimal dalam hal ini adalah benda kerja memiliki kekasaran permukaan dengan hasil pemotongan yang halus. Penelitian ini dilakukan di CV. Catur Prasetya dan Lab uji material Fakultas Teknik Universitas Jember. Penelitian meliputi pemotongan baja SLD dengan pengulangan sebanyak tiga kali dan pengukuran kekasaran permukaan dengan alat ukur TR-200 *Surface Roughness Tester*.

Pengolahan data menggunakan metode statistik desain faktorial dengan aplikasi minitab 16.0. Berdasarkan hasil analisa secara eksperimen maupun hasil

analisa dengan metode desain faktorial menggunakan aplikasi minitab 16.0 menunjukkan bahwa arus berpengaruh cukup signifikan terhadap kekasaran benda kerja baja SLD, Sama halnya pada *wire speed* cukup signifikan berpengaruh terhadap kekasaran permukaan sedangkan *inter pulse* tidak signifikan berpengaruh terhadap kekasaran permukaan. Dengan metode desain faktorial juga didapatkan nilai kombinasi level tiap faktor dengan nilai kekasaran yang optimal yaitu 4,762 μm yaitu dengan kombinasi arus pada level 1 sebesar (8 A), *wire speed* pada level 1 sebesar (5 rpm), dan *inter pulse* pada level 3 sebesar (11 μs).



SUMMARY

The influence large of current, wire speed, and inter pulse on surface roughness in the wire-EDM process : Adi Febrianto, 111910101051, 2019, 80 Pages, Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Jember.

The technological development of the manufacturing industry is very advanced and growing rapidly nowadays. The goal is nothing but to develop and improve the quality of the products produced. The Wire Electrical Discharge Machining (EDM) process is one of the most recent non-conventional machining processes in demand and is now commonly applied to die-mold manufacturing, cutting tools, disk brake, punch.

The wire-EDM parameter settings are used to minimize the roughness of a surface. The fineness of a surface has a very important role in a product component especially regarding the problem of lubrication friction, wear, resistance to fatigue and so on. Determination of optimal parameters used is current, wire speed, and inter pulse to the surface roughness of SLD steel workpieces. Use of SLD steel Because steel is very suitable for workmanship materials such as dies-molds, cores, cutting tools and others. Besides this material also has high toughness and hardness.

The results of the study are expected to determine the wire-EDM parameter settings to produce the minimum level of surface roughness in SLD steel material. In the optimal workmanship, in this case the workpiece has surface roughness with smooth cutting results. This research was conducted at CV. Chess Prasetya and Material Test Lab, Faculty of Engineering, University of Jember. The study included cutting SLD steel with three repetitions and measuring surface roughness using TR-200 Surface Roughness Tester.

Data processing uses factorial design statistical methods with the Minitab 16.0 application. Based on the results of the experimental analysis and the results of analysis with the factorial design method using the Minitab 16.0 application shows that the current has a significant effect on the roughness of SLD steel

workpieces. Similarly, wire speed has a significant effect on surface roughness while the inter pulse does not significantly affect surface roughness. With the factorial design method also obtained the value of the combination of levels of each factor with an optimal roughness value of $4.762 \mu\text{m}$ that is with a combination of currents at level 1 of (8 A), wire speed at level 1 of (5 rpm), and inter pulse at level 3 of (11 μs).



PRAKATA

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga skripsi dengan judul “PENGARUH BESAR ARUS, *WIRE SPEED*, DAN *INTER PULSE* TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN PADA PROSES *WIRE-EDM*”, dapat diselesaikan. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan sarjana pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu disampaikan terimakasih kepada:

1. Dr. Entin Hidayah, M.UM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Hari Arbiantara B., S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Dr. R. Koekoeh KW., S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah memberikan bimbingan dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T. dan Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Robertus Sidartawan, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama masa perkuliahan
5. Dosen Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan ilmu yang barokah ini
6. Mohammad Abduh aslab uji material teknik mesin.
7. Kedua orang tua tercinta, Bapak Hartoyo dan Ibu Siti jariyah yang tiada henti-hentinya memberikan segalanya selama ini.
8. Kakakku tersayang Mohammad Rizkyanto dan adikku tercinta Riska Nuroktavia yang telah memberikan semangat dan motivasi.
9. Orang tersayang, Niken Fitrianing yang memberi dukungan dan semangat setiap harinya.
10. Ahmada Wildan, Erdha, Imron TM 2011 yang sama-sama masih berjuang sampai saat ini.

11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menerima kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan pelajar Jurusan Teknik Mesin pada khususnya.

Jember, 8 Januari 2019

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBING.....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
RINGKASAN	vii
SUMARRY	ix
PRAKATA.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Asumsi Penelitian	4
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Electrical Discharge Machining (EDM)</i>	5
2.2 <i>Wire Electrical Discharge Machining (WEDM)</i>	6
2.2.1 Prinsip Kerja <i>Wire-EDM</i>	8
2.2.2 Bagian-Bagian <i>Wire-EDM</i>	9
2.2.3 Parameter Proses <i>Wire-EDM</i>	11
2.3 Metode <i>Flushing</i>	12
2.4 Baja Karbon	12

2.5 Baja SLD	13
2.6 Kekasaran Permukaan	14
2.7 Alat Pengukur Kekasaran Permukaan (<i>Surface Roughness Tester</i>)	18
2.8 Desain Eksperimen	20
2.8.1 Langkah-Langkah Desain Eksperimen	21
2.8.1 <i>Analysis Of Variance</i> (ANOVA)	22
2.9 Desain Faktorial	22
2.9.1 Desain Faktorial Dengan Tiga Faktor (AxBxC)	23
2.10 Hipotesa Penelitian	26
BAB 3. METODOLOGI	27
3.1 Tahapan Penelitian	27
3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian	29
3.3 Variabel Penelitian	30
3.3.1 Variabel Bebas	30
3.3.2 Variabel Terikat.....	30
3.3.2 Variabel Konstan.....	30
3.4 Bahan Dan Peralatan Penelitian	30
3.4.1 Bahan Penelitian.....	30
3.4.2 Peralatan Penelitian	31
3.5 Rancangan Percobaan	36
3.5.1 Setting Parameter Pada Mesin Wire-EDM	36
3.6 Prosedur Penelitian	38
3.7 Pengambilan data Dan Analisis pembahasan	39
3.7.1 Pengambilan data kekasaran permukaan.....	39
3.7.2 Analisis pembahasan	40

BAB 4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Data Hasil Percobaan.....	41
4.2 Pengolahan Data	42
4.2.1 Memeriksa Pengaruh Parameter Arus Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja Baja SLD	44
4.2.2 Memeriksa Pengaruh Parameter <i>Wire Speed</i> Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja Baja SLD	44
4.2.3 Memeriksa Pengaruh Parameter <i>Inter Pulse</i> Terhadap Kekasaran Permukaan Benda kerja Baja SLD	44
4.2.4 Memeriksa Pengaruh Interaksi Parameter Arus Dan <i>Wire Speed</i> Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja Baja SLD	45
4.2.5 Memeriksa Pengaruh Interaksi Antara Parameter Arus Dan <i>Inter Pulse</i> Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja Baja SLD	45
4.2.6 Memeriksa Pengaruh Interaksi Antara Parameter <i>Wire Speed</i> dan <i>Inter Pulse</i> Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja Baja SLD	46
4.2.7 Memeriksa Pengaruh Interaksi Antara Ketiga Parameter yaitu Arus, <i>Wire Speed</i> , Dan <i>Inter Pulse</i> Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja Baja SLD	46
4.2.8 Grafik <i>Main Effect Plot Of Mean</i>	47
4.3 Pembahasan.....	47
BAB 5. PENUTUP.....	49
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klasifikasi Proses Pemesinan EDM	6
Gambar 2.2	Skema Proses Pemesinan WEDM.....	7
Gambar 2.3	Proses Pembentukan Bunga Api Pada WEDM	7
Gambar 2.4	Mekanisme Pemotongan Benda Kerja Pada Proses WEDM	9
Gambar 2.5	Penyimpangan Rata-Rata Aritmatika	14
Gambar 2.6	Parameter Dalam Profil Permukaan	16
Gambar 2.7	Nilai Kekasaran Beberapa Proses Pengerjaan	19
Gambar 3.1.	Diagram Alir Penelitian.....	29
Gambar 3.2	Mesin <i>Gold San Wire-Cutting</i> EDM	31
Gambar 3.3	Alat ukur TR-220 <i>Surface Roughness Tester</i>	32
Gambar 3.4	Kawat Elektroda <i>Molybdenum Wire</i>	34
Gambar 3.5	Cairan Dielektrik <i>Oint Ment</i>	35
Gambar 3.6	Gerinda dan Kertas Gosok.....	35
Gambar 3.7	Mistar Ingsut.....	36
Gambar 3.8	Skema Proses Pemotongan.....	38
Gambar 3.9	Skema Arah Proses Pemotongan dan Pengukuran Kekasaran Permukaan Benda Kerja	39
Gambar 4.1	<i>Output</i> Analisis Desain Faktorial Menggunakan Minitab16.0	43
Gambar 4.2	Grafik <i>Main Effect Plot Of Mean</i>	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Unsur Paduan Baja SLD	13
Tabel 2.2	Nilai Kekasaran dan tingkat kekasaran ISO.....	17
Tabel 2.3	Analisis Ragam untuk Faktorial AxBxC dengan RAL	25
Tabel 3.1	Komposisi Unsur Paduan Baja SLD	31
Tabel 3.2	Spesifikasi <i>Gold San Wire-Cutting</i> EDM	32
Tabel 3.3	Spesifikasi <i>Surface Roughness</i> TR220.....	33
Tabel 3.4	Komposisi Kimia Kawat <i>Molybdenum</i>	34
Tabel 3.5	<i>Setting</i> Mesin Untuk Parameter yang Divariasi dalam Percobaan	36
Tabel 3.6	Variasi Parameter Dan Banyaknya Populasi Spesimen	37
Tabel 4.1	Data Pengukuran Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan.....	41

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 6.1 Data pengukuran kekasaran permukaan.

Lampiran 6.2 Print out hasil pengolahan data dengan metode desain faktorial menggunakan aplikasi minitab 16.0.

Lampiran 6.3 F tabel dengan $\alpha = 0,05$

Lampiran 6.4 Sertifikat Hitachi Metals baja SLD

Lampiran 6.5 Tabel kesetaraan baja SLD

Lampiran 6.6 Foto-foto alat dan bahan

Lampiran 6.7 Foto-foto proses pemotongan pada *Wire*-EDM

Lampiran 6.8 Foto-foto pengukuran kekasaran permukaan specimen.

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Di era sekarang ini perkembangan teknologi industri manufaktur sangat maju dan berkembang dengan pesat. Tujuannya tidak lain untuk mengembangkan serta meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan. Proses permesinan *Wire-EDM* (*Wire Electrical Discharge Machining*) salah satu proses permesinan non-konvensional yang belakangan ini diminati dan sekarang ini biasanya banyak diaplikasikan untuk pembuatan *die-mould*, *cutting tools* (pahat potong), *disk brake*, *punch*. Proses *Wire-EDM* merupakan proses termoelektrik yang menyebabkan benda terkikis karena pelepasan muatan listrik yang mengakibatkan timbulnya rangkaian bunga api listrik diantara benda kerja dengan elektroda, dan elektroda biasanya berupa kawat. Proses *Wire-EDM* ini digunakan pada material yang konduktif dengan bentuk kompleks yang tidak dapat di kerjakan dengan mesin konvensional. Proses ini biasanya digunakan untuk proses pemotongan dengan hasil kepresisian yang tinggi.

Baja SLD merupakan salah satu jenis material yang biasa digunakan sebagai pahat potong dalam proses permesinan atau sering disebut (*cutting tools*), Material tersebut merupakan *hot work steels* yang memiliki kekerasan dan ketangguhan tinggi sehingga tahan terhadap panas. Material-material seperti ini sangat cocok untuk produk seperti pisau *packaging*, *spare part* mesin industri, *core*, *dies*, dan lain-lain karena mempunyai kekerasan dan ketangguhan yang tinggi.

Tingkat kehalusan suatu permukaan memiliki peranan yang sangat penting dalam suatu komponen produk khususnya yang menyangkut masalah gesekan pelumasan, keausan, tahanan terhadap kelelahan dan sebagainya. Namun, produsen jarang yang memuat nilai tingkat kehalusan permukaan yang dihasilkan dari suatu proses pemotongan dengan parameter setting tertentu. Untuk mengetahui parameter mana saja yang berpengaruh terhadap variabel respon dan apakah ada interaksi parameter yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan

untuk itu digunakan metode *factorial design* dan sebagai alat bantu menggunakan dalam mengolah data digunakan *software* minitab versi 16.0.

Beberapa penelitian mengenai pengaturan variabel-variabel proses pemotongan pada *Wire-EDM* telah dilakukan Kurniasih (2009) Dalam penelitiannya tentang pengaruh *pulse on*, *servo voltage*, dan *wire speed* terhadap kekasaran permukaan dan laju pemakanan material pada pemotongan baja K945 menggunakan mesin *wire-EDM* dengan metode *factorial design*.

Untuk mengetahui parameter proses mana saja yang berpengaruh terhadap variabel respon. Sebagai alat bantu dalam mengolah data, digunakan *software* minitab 14.0. Berdasarkan hasil pengolahan data, *pulse on* berpengaruh secara positif terhadap kekasaran permukaan dan MRR pada hasil pemotongan.

Artinya kenaikan *pulse on* diikuti dengan kenaikan MRR dan kekasaran permukaan. Sedangkan *servo voltage* berpengaruh secara negatif terhadap MRR dan kekasaran permukaan pada hasil pemotongan artinya kenaikan *servo voltage* diikuti dengan turunnya MRR dan kekasaran permukaan. Pada *wire speed* sendiri tidak ada pengaruh secara individu, namun secara interaksi dengan *pulse on* dan *servo voltage*, *wire speed* ini berpengaruh secara tidak langsung terhadap MRR dan kekasaran permukaan.

Agdianto (2012) melakukan penelitian tentang kekasaran permukaan hasil pemotongan baja SKD-11 akibat variasi tegangan, *wire tension* dan *feed rate* pada proses *Wire-EDM* dan menggunakan metode taghuci dengan *orthogonal array L₈*. Dalam penelitiannya tersebut peneliti mendapatkan hasil bahwa faktor *feed rate* mempengaruhi nilai kekasaran permukaan, sedangkan faktor tegangan dan *wire tension* tidak mempengaruhi nilai kekasaran permukaan hasil proses *Wire-EDM*. Dengan naiknya nilai *feed rate* maka akan seiring dengan bertambahnya nilai kekasaran permukaan.

Mulyadi dan Suryanto (2016) dengan penelitiannya tentang optimalisasi hasil proses *Wire-EDM* dengan metode *principal component analysis* mendapatkan hasil yaitu melalui optimasi *multiple response* pada pemotongan material SKD-11 (HRC 60) sepanjang 15 mm didapatkan waktu tersingkat 5 menit 21 detik, lebar pemotongan tersempit 0,481 mm, kekasaran paling

minimum dalam Ra sebesar $6,0 \mu\text{m}$ dan MRR maksimum adalah $13,93 \text{ (mm}^3/\text{menit)}$.

Berdasarkan pemaparan diatas penelitian selanjutnya yang akan dilaksanakan bertujuan untuk menentukan *setting* dari parameter, *arus*, *wire speed*, dan *inter pulse* untuk menghasilkan tingkat kekasaran permukaan yang seminimum mungkin pada material baja SLD. Dalam hasil pengerjaan yang optimal dalam hal ini adalah benda kerja memiliki kekasaran permukaan dengan hasil pemotongan yang halus.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Seberapa besar pengaruh variabel proses seperti *arus*, *wire speed*, dan *inter pulse* terhadap kekasaran permukaan baja SLD pada proses *Wire-EDM*.
2. Bagaimana menentukan pengaturan yang tepat dari variabel-variabel proses *Wire-EDM* tersebut agar dapat meminimalisir kekasaran permukaan pada spesimen benda kerja hasil pemotongan.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diberlakukan agar penelitian lebih fokus, dan mencapai tujuan yang di inginkan adalah sebagai berikut :

1. Karakteristik yang di tinjau pada penelitian ini adalah tingkat kekasaran permukaan pada pemotongan baja SLD dengan proses *Wire-EDM*.
2. Analisis dan pengujian data dilakukan dengan metode *factorial design*.
3. Penelitian dibatasi pengaruh tiga variabel bebas yaitu *arus*, *wire speed*, dan *inter pulse*
4. Tidak membahas sistem control, sistem elektronika, dan pemrograman CNC yang digunakan pada proses permesinan.
5. Tidak membahas tentang komponen biaya pada proses permesinan.

1.4 Asumsi Penelitian

Asumsi-asumsi yang diberlakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel-variabel yang tidak diteliti dianggap konstan dan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap respon yang diteliti.
2. Material bahan yang digunakan memiliki kehomogenan sifat mekanik dan komposisi kimia.
3. Mesin bekerja dalam kondisi baik.
4. Alat ukur yang digunakan dalam keadaan layak dan terkalibrasi.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh dari setiap variabel proses seperti arus, *wire speed*, dan *inter pulse* terhadap tingkat kekasaran permukaan baja SLD pada proses *Wire-EDM*.
2. Untuk Mengetahui pengaturan parameter yang tepat dari ketiga variabel proses tersebut agar mendapatkan kekasaran permukaan yang seminimum mungkin pada proses *wire-EDM*.

1.6 Manfaat Penelitian

Dari penelitian yang dilakukan diharapkan mendapat manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan informasi setting parameter dari variabel proses (*arus*, *wire speed*, *inter pulse*) terhadap tingkat kekasaran permukaan yang dihasilkan.
2. Dapat mengoptimalkan parameter (*arus*, *wire speed*, *inter pulse*) agar menghasilkan kekasaran permukaan yang serendah mungkin.
3. Sebagai bahan referensi untuk penelitian sejenis dalam rangka pengembangan pengetahuan yang lebih luas.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

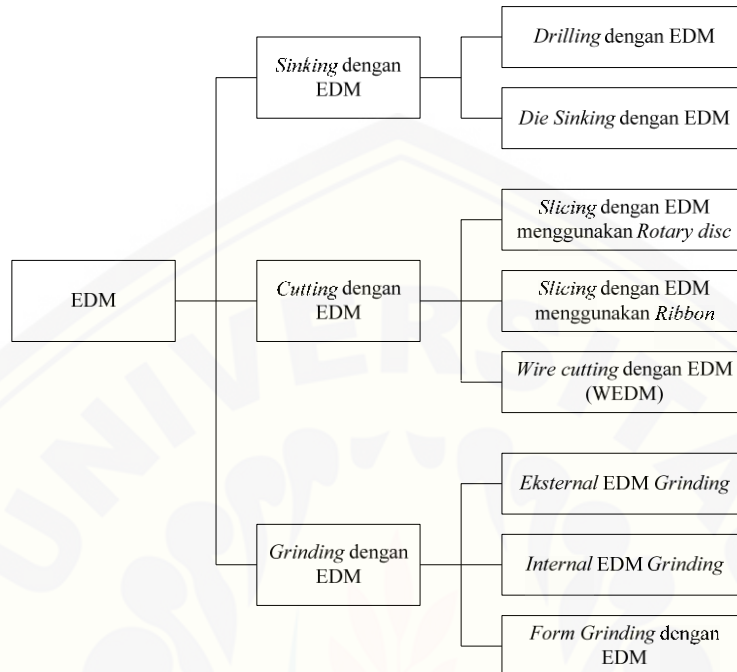
2.1 *Electrical Discharge Machining (EDM)*

EDM merupakan salah satu proses pemesinan non-konvensional yang memanfaatkan energi termal. Energi termal pada proses *EDM* berasal dari proses loncatan bunga api listrik akibat adanya perbedaan muatan antara elektroda dan benda kerja. Loncatan bunga api terjadi secara periodik terhadap waktu (Pandey dan Shan, 1980). Panas dari loncatan bunga api akan menyebabkan terjadinya pelelehan lokal pada benda kerja dan elektroda, yang kemudian terbawa oleh aliran fluida yang berada pada celah diantara benda kerja dan elektroda. Dengan demikian, besarnya kecepatan proses pemotongan benda kerja dipengaruhi oleh temperatur leleh dari benda kerja itu sendiri. Hal ini menyebabkan proses *EDM* dapat digunakan untuk melakukan proses pemotongan pada benda kerja yang memiliki kekerasan dan kekuatan yang sangat tinggi yang tidak mampu dikerjakan oleh proses pemesinan konvensional.

Beberapa keunggulan dari proses permesinan EDM adalah sebagai berikut (Pandey dan Shan, 1980) :

- a) Sifat fisis dan metalurgi diantaranya adalah kekuatan, ketangguhan, struktur mikro dan lain-lain tidak mempengaruhi proses permesinan sehingga proses permesinan ini dapat diaplikasikan pada material yang konduktif.
- b) Sebagian dari benda kerja tidak mengalami pemanasan meskipun pengerjaan material dilakukan dengan memanfaatkan efek thermal.
- c) mampu mengerjakan bentuk-bentuk benda kerja yang kompleks dengan derajat kepresisian yang tinggi dan kualitas permukaan yang sangat tinggi.
- d) Mampu mengerjakan benda kerja yang sangat keras.
- e) Faktor operator dalam menghasilkan kualitas benda kerja dapat diabaikan karena proses ini dilakukan secara otomatis.

Proses pemesinan EDM secara umum dibagi menjadi beberapa jenis seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.1 berikut ini:



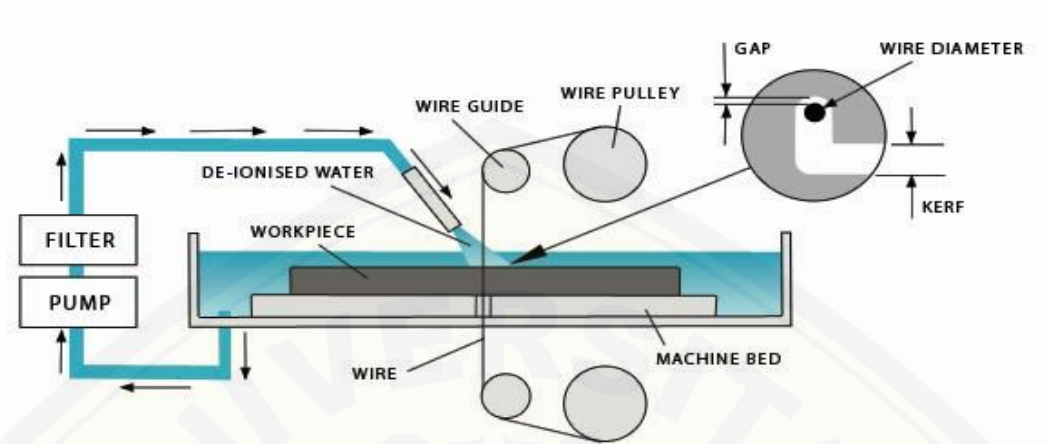
Gambar 2.1 Klasifikasi proses pemesinan EDM (Pandey dan Shan, 1980)

2.2 Wire Electrical Discharge Machining (WEDM)

Wire Electrical Discharge Machining (WEDM) adalah proses pengerjaan bahan non konvensional yang digunakan untuk memproduksi komponen dengan bentuk dan profil yang rumit. WEDM merupakan adaptasi dari proses EDM yang menggunakan elektroda untuk mengawali proses percikan bunga api, perbedaannya adalah WEDM menggunakan elektroda kawat yang terbuat dari tembaga, kuningan, atau tungsten dengan diameter antara 0,05 mm sampai 0,3 mm. mekanisme pengerjaan pada WEDM mirip dengan proses EDM yang melibatkan efek erosi yang dihasilkan oleh percikan bunga api listrik, tapi variabel proses dari keduanya tidak identik (Ho dkk, dalam Yusron, 2014).

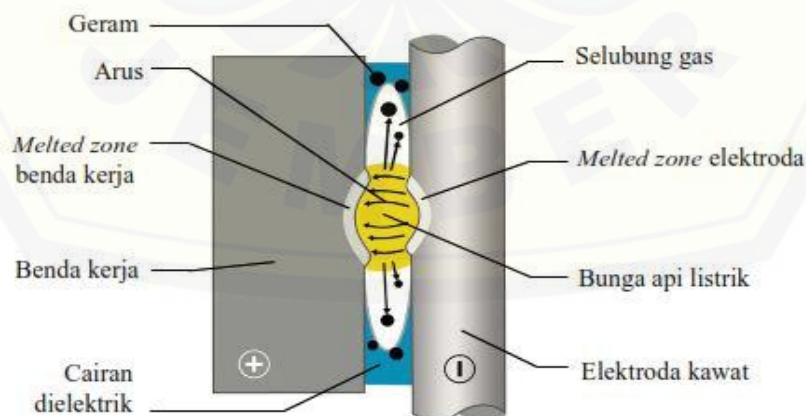
Pada WEDM, proses pemotongan benda kerja dilakukan oleh sejumlah loncatan bunga api listrik yang terjadi diantara celah benda kerja dan kawat elektroda. Bunga api listrik akan meloncat dari kawat elektroda yang merupakan kutub negatif menuju benda kerja yang merupakan kutub positif. Bunga api

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



Gambar 2.2 Skema proses pemesinan WEDM (Nourbakhsh, 2012)

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

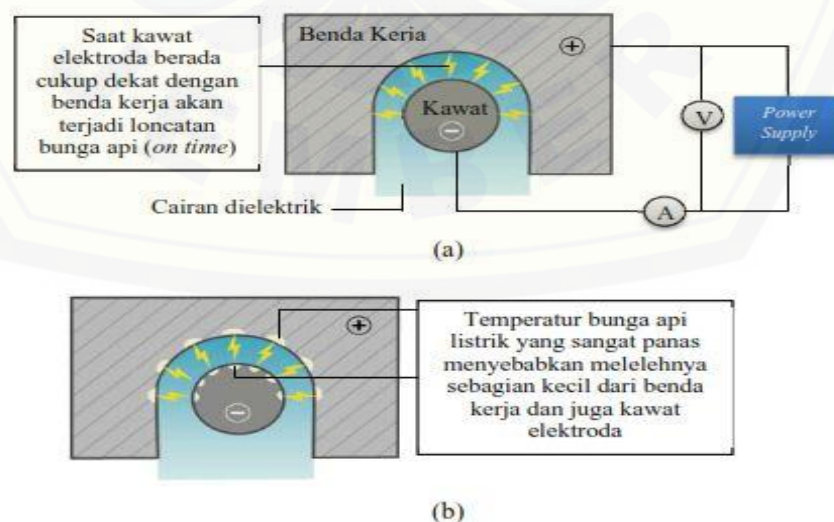


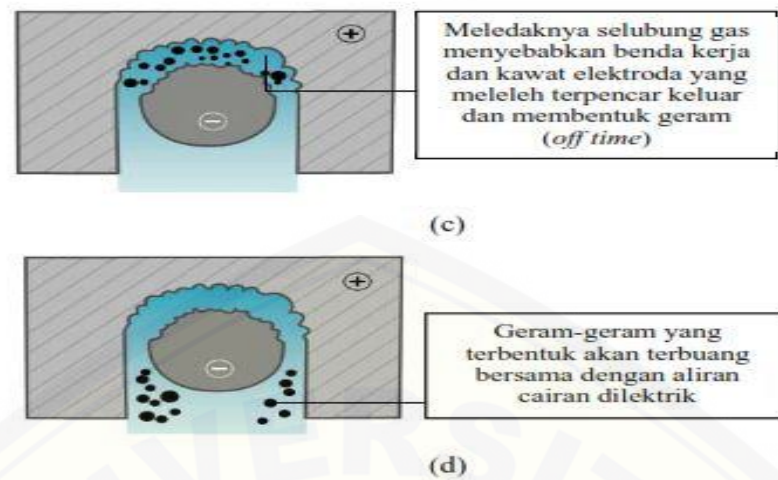
Gambar 2.3 Proses pembentukan bunga api pada WEDM (Kunieda *et al*, 2005)

2.1.1 Prinsip Kerja *Wire-EDM*

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

Secara sederhana pemotongan pada proses *Wire-EDM* diilustrasikan oleh Gambar 2.4.





Gambar 2.4 Mekanisme pemotongan benda kerja pada proses WEDM : a) proses loncatan bunga api dari kawat elektroda ke benda kerja pada saat *on time*, b) proses pelelehan benda kerja dan elektroda akibat temperatur bunga api, c) proses terbentuknya geram pada saat *off time*, d) proses pembuangan geram oleh cairan dielektrik (Sommer, Dalam Rifky, 2014)

2.2.2 Bagian-Bagian *Wire-EDM*

Bagian-bagian dari *Wire-EDM* terdiri dari 4 komponen utama yaitu :

1) *Servomekanism*

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

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

pemakanan material, jika jaraknya terlalu sempit, kawat dapat menyentuh benda kerja menyebabkan hubungan singkat dan kawat putus.

2) *The electric fluid*

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

Cairan dielektrik memiliki beberapa fungsi :

- a) Menghubungkan bunga api dari kawat ke benda kerja.
- b) Sebagai isolator (penyekat) antara kawat dan benda kerja.
- c) Membilas partikel yang dihasilkan proses pemakanan material dari celah antara kawat dan benda kerja agar terhindar dari hubungan singkat.
- d) Sebagai pendingin untuk kawat dan benda kerja.

3) *Electrode (wire)*

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

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

- a) Memiliki konduktor yang baik.
- b) Memiliki titik leleh yang tinggi.
- c) Memiliki kekuatan tarik yang tinggi.
- d) Memiliki konduktifitas panas tinggi.

- e) Dapat menghasilkan pemakanan material yang efisien.

4) *Machine Control Unit*

Machine Control Unit dibagi 3 yaitu :

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

2.2.3 Parameter Proses *Wire-EDM*

Parameter-parameter pada proses pemesinan WEDM adalah sebagai berikut:

- 1) *Open voltage* (OV) adalah variabel yang mengatur besarnya tegangan antara benda kerja dan kawat elektroda selama proses pemesinan.
- 2) *On time* (ON) adalah waktu terjadinya loncatan bunga api berlangsung, sedangkan *off time* adalah jeda waktu antara loncatan bunga api. Pada saat *off time* tidak terjadi loncatan bunga api sehingga memungkinkan terjadinya pembilasan geram oleh cairan dielektrik. Nilai *off time* yang rendah dapat mempercepat proses pemotongan tetapi dapat menyebabkan kawat elektroda putus.
- 3) Variabel frekuensi adalah variabel yang mengatur besarnya arus tambahan.
- 4) *Wire tension* (WT) adalah variabel yang digunakan untuk mengatur ketegangan kawat elektroda.
- 5) Arus (*electric current*) adalah muatan listrik yang mengalir melalui media konduktor dalam tiap satuan waktu.
- 6) *Wire speed* adalah kecepatan kawat elektroda dalam proses pemotongan WEDM.
- 7) *Inter pulse* adalah jeda waktu saat terjadinya loncatan-loncatan bunga api terjadi saat proses erosi berlangsung.

2.3 Metode *Flushing*

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

2.4 Baja Karbon

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

Baja karbon adalah paduan dari sistem Fe dan C, biasanya tercampur juga unsur-unsur bawaan lain seperti silikon 0,20% - 0,70%, Mn 0,50% - 1,00% P < 0,60% dan S < 0,06%

Baja karbon menurut komposisi kimianya dibedakan menjadi sebagai berikut:

- a) Baja karbon rendah 0,05 – 0,3% C (*low carbon steel*). Berbentuk pelat tipis dan tebal. Sifatnya mudah ditempa dan mudah digunakan dalam proses permesinan. Biasanya digunakan untuk bodi mobil, bus dan lain-lain. Seperti benda kerja yang pembuatannya harus diregang.
- b) Baja karbon menengah 0,3 – 0,5% C (*medium carbon steel*). Kekuatan lebih tinggi daripada baja karbon rendah. Sifatnya sulit dibengkokkan,

dilas, dipotong. Penggunaan untuk konstruksi bangunan, bahan pada komponen mesin, golok, pisau.

- c) Baja karbon tinggi 0,60 – 1,50% C (*high carbon steel*). Sifatnya sulit dibengkokkan, dilas, dipotong. Penggunaannya seperti pada baja kawat, kabel tarik dan angkat, kikir, pahat dan gergaji.

Baja yang kadar karbonnya sangat rendah 0% disebut ferit, baja yang mengandung 2% disebut sementit dan yang mengandung 0,8% disebut perlit. Ferit hampir serupa besi murni atau hanya sedikit mengandung karbon. Karbon memberi sifat kuat dan keras. Ferit sifatnya lemah tapi plastis, hanya terbentuk pada temperatur rendah dan bersifat magnetik. Sementit adalah besi karbon yang dikenal sebagai besi karbida dengan rumus Fe_3C , mengandung karbon 1,6 – 20%, bersifat kuat dan keras serta bersifat magnetik, perlit adalah baja yang merupakan campuran antara ferit dan sementit ($\alpha+Fe_3C$), keras dan bersifat magnetik.

Semakin banyak unsur karbon, maka struktur martensit yang terbentuk juga akan semakin banyak. Karena martensit terbentuk dari fase austenit yang didinginkan secara cepat. Hal ini disebabkan karena atom karbon tidak sempat berdifusi keluar dan terjebak dalam struktur kristal dan membentuk struktur tetragonal yang ruang kosong antar atomnya kecil, sehingga kekerasannya meningkat (Suherman, Dalam Sagedistira, 2012).

2.5 Baja SLD

SLD merupakan material baja dengan kekerasan (57-63 HRC) ,salah satu dari hitachi YSS *cold work tools steel*. Dengan ketahanan abrasi yang tinggi dan memiliki tingkat kekerasan yang sangat baik. Baja ini biasa diaplikasikan sebagai *cold work dies, forming roll* atau *shear blade*.

Tabel 2.1. Komposisi unsur paduan baja SLD (ISOTROPY CASE No. 967)

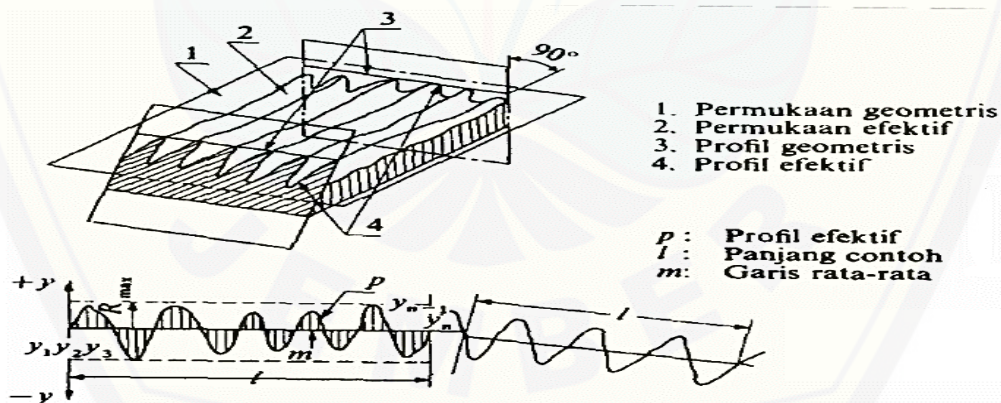
Chemical composition %

<i>Elements</i>	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
<i>Ladle</i>	1,41	0,27	0,41	0,025	0,0005	12,04	0,83	0,23

2.6 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan merupakan salah satu karakteristik yang sangat penting dalam bidang manufaktur maupun dalam perancangan komponen mesin (Rochim, Dalam Yusron, 2014). Kekasaran permukaan didefinisikan sebagai ketidakaturan konfigurasi permukaan pada suatu benda atau bidang. Konfigurasi permukaan yang dihasilkan dari proses WEDM adalah konfigurasi permukaan yang bentuknya berupa kawah-kawah kecil pada suatu permukaan. Besar kecilnya kawah yang dihasilkan pada proses WEDM tergantung pada energi listrik yang terkandung pada setiap loncatan bunga api. Penyimpangan rata-rata aritmatika (R_a) merupakan jumlah rata-rata puncak tertinggi dan terendah dari setiap gelombang yang diukur pada panjang tertentu.

Penyimpangan rata-rata aritmatika (R_a) sebagai harga rata-rata dari ordinat-ordinat profil efektif garis rata-ratanya. Profil efektif merupakan garis bentuk dari potongan permukaan efektif oleh sebuah bidang yang telah ditentukan secara konvensional terhadap permukaan geometris ideal. Ilustrasi yang lebih jelas terhadap permukaan geometris, permukaan efektif, profil geometris, dan profil efektif ditunjukkan oleh Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Penyimpangan rata-rata aritmatika (Rochim, Dalam Yusron, 2014)

Nilai R_a ditentukan dari nilai-nilai ordinat ($y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$) yang dijumlahkan tanpa memperhitungkan tandanya. Secara umum R_a dirumuskan (Rochim, Dalam Yusron, 2014) :

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

Harga R_a tersebut dapat didekati oleh persamaan :

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

$$R_a = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n}{n} \quad (2.3)$$

dengan:

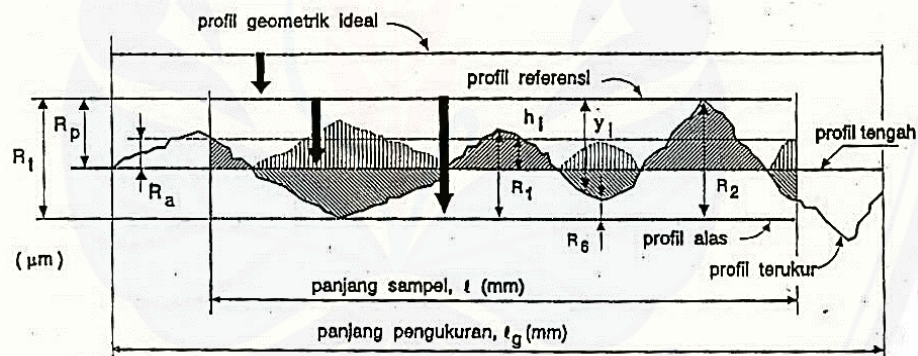
R_a = nilai kekasaran aritmatika.

y_n = tinggi atau dalamnya profil hasil pengukuran jarum peraba.

n = frekuensi pengukuran.

l = panjang sampel yang telah ditentukan, yaitu panjang dari profil efektif yang diperlukan untuk menentukan kekasaran permukaan dari permukaan yang diteliti.

Posisi R_a dan bentuk profil, panjang sampel dan panjang pengukuran yang dibaca oleh alat ukur kekasaran permukaan dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Parameter dalam profil permukaan (Rochim, Dalam Yusron, 2014)

Keterangan dari Gambar 2.6 sebagai berikut (Rochim, Dalam Yusron, 2014) :

a) Profil Geometris Ideal (*Geometrically Ideal Profile*)

Profil ini merupakan profil dari geometris permukaan yang ideal yang tidak mungkin diperoleh dikarenakan banyaknya faktor yang mempengaruhi dalam proses pembuatannya. Bentuk profil geometris ideal ini dapat berupa garis lurus, lingkaran, dan garis lengkung.

b) Profil Referensi (*Reference Profile*)

Profil ini digunakan sebagai dasar dalam menganalisis karakteristik dari suatu permukaan. Bentuknya sama dengan profil geometris ideal, tetapi tepat menyinggung puncak tertinggi dari profil terukur pada panjang sampel yang di ambil pada pengukuran.

c) Profil Terukur (*Measured Profile*)

Profil terukur adalah profil dari suatu permukaan yang diperoleh melalui proses pengukuran. Profil inilah yang dijadikan sebagai data untuk menganalisis karakteristik kekasaran permukaan produk permesinan.

d) Profil Dasar (*Root Profile*)

Profil dasar adalah profil referensi yang di geserkan ke bawah hingga tepat pada titik paling rendah pada profil terukur.

e) Profil Tengah (*Centre Profile*)

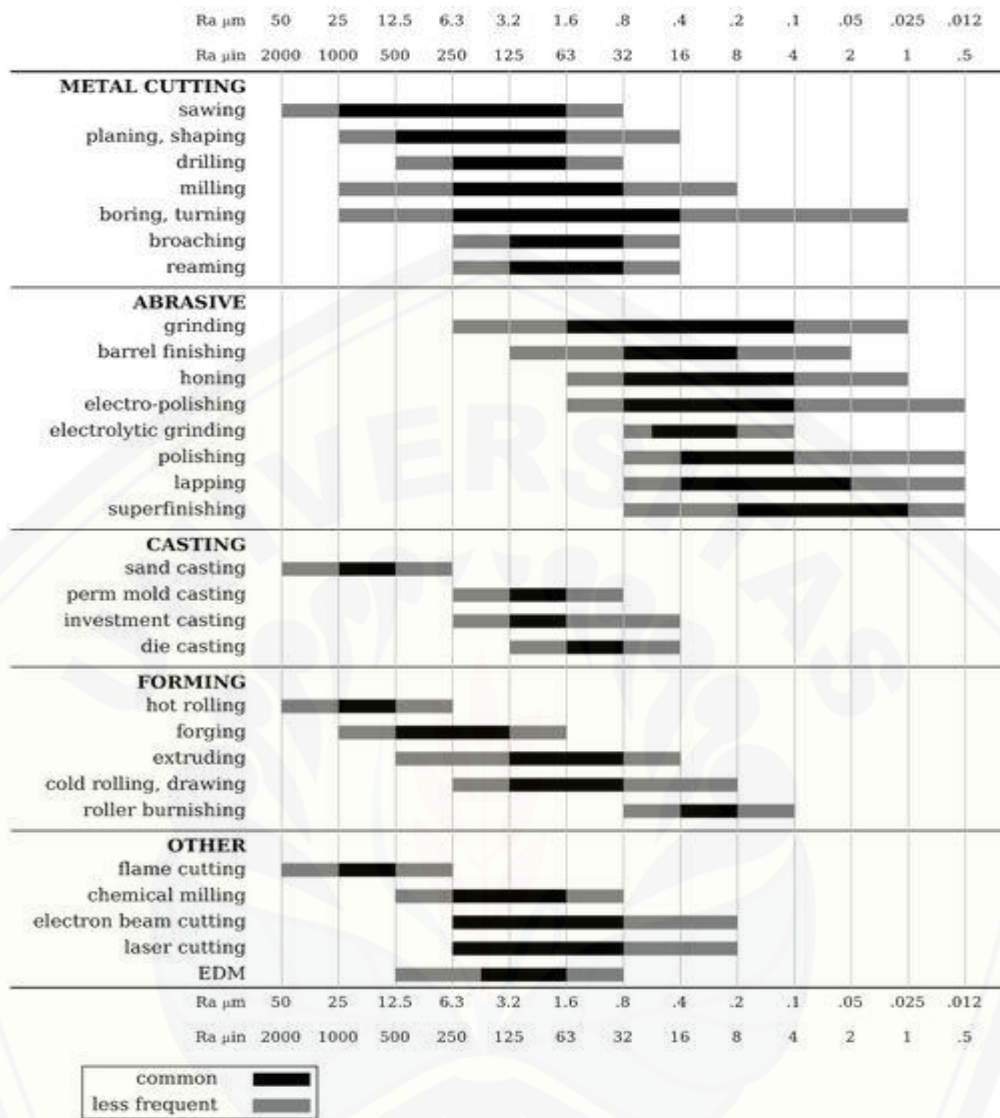
Profil tengah adalah profil yang berada di tengah-tengah dengan posisi sedemikian rupa sehingga jumlah luas bagian atas profil tengah sampai pada profil terukur sama dengan jumlah luas bagian bawah profil tengah sampai pada profil terukur. Profil tengah ini sebetulnya merupakan profil referensi yang digeserkan kebawah dengan arah tegak lurus terhadap profil geometris ideal sampai pada batas tertentu yang sama yaitu atas dan bawah.

ISO (*International Standardization for Organization*) telah mengklasifikasikan nilai kekasaran rata-rata aritmetik (R_a) menjadi 12 tingkat kekasaran seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2. Angka kekasaran permukaan ini bertujuan untuk menghindari kemungkinan terjadinya kesalahan dalam menginterpretasikan satuan harga kekasaran permukaan. Dengan adanya satuan harga ini, kekasaran permukaan dapat dituliskan langsung dengan menyatakan harga R_a atau dengan menggunakan tingkat kekasaran ISO.

Tabel 2.2 Nilai kekasaran dan tingkat kekasaran ISO (Rochim, Dalam Yusron, 2014)

Tingkat Kekasaran ISO Number	Nilai Kekerasan R_a (μm)	Panjang Sampel (mm)	Keterangan
N1	0,025	0,08	Sangat Halus
N2	0,05		
N3	0,1	0,25	Halus
N4	0,2		
N5	0,4		
N6	0,8	0,8	Normal
N7	1,6		
N8	3,2	2,5	Kasar
N9	6,3		
N10	12,5		
N11	25	8	Sangat Kasar
N12	50		

Nilai kekasaran (ISO number) ini ditujukan untuk meminimalisir kemungkinan terjadinya kesalahan interpretasi atas satuan harga kekasaran permukaan. Karena harga suatu parameter permukaan dapat berubah bergantung panjang sampel yang berbeda. Oleh karena itu dianjurkan menggunakan panjang sampel tertentu sesuai dengan tingkat kekasaran ISO sebagaimana ditunjukkan Tabel 2.2 di atas. Pengerjaan proses permesinan dapat mencapai beberapa contoh nilai kekasaran sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Nilai kekasaran beberapa proses pengerjaan (Rochim, Dalam Yusron, 2014)

2.7 Alat Pengukur Kekasaran Permukaan (*Surface Roughness Tester*)

Surface roughness tester adalah merupakan alat yang mampu mengukur tingkat kekasaran permukaan. Setiap permukaan komponen dari suatu benda mempunyai beberapa bentuk dan variasi yang berbeda baik menurut strukturnya maupun dari hasil proses produksinya. *Roughness*/kekasaran didefinisikan sebagai ketidakhalusan bentuk yang menyertai proses produksi yang disebabkan oleh pengerjaan mesin. Nilai kekasaran dinyatakan dalam Roughness Average (Ra). Ra

merupakan parameter kekasaran yang paling banyak dipakai secara internasional. pengukuran kekasaran permukaan diperoleh dari sinyal pergerakan *stylus* berbentuk *diamond* untuk bergerak sepanjang garis lurus pada permukaan sebagai alat indikator pengukur kekasaran permukaan benda uji. Prinsip kerja *surface roughness* adalah dengan menggunakan *transducer* dan diolah dengan mikroprosesor.

Langkah – langkah pengerjaan dengan alat ini adalah :

- a) Benda uji diletakkan pada meja datar.
- b) Ujung dari *dial indicator* diatur pada posisi stabil untuk melakukan pembacaan skala tekanan terhadap permukaan benda uji.
- c) Tentukan seberapa panjang dari bagian benda ukur yang akan diuji kekasaran permukaannya, nantinya panjang inilah yang akan dilewati oleh *dial indicator*.
- d) Apabila *dial indicator* telah melakukan pengukuran sepanjang jarak yang kita tentukan, nilai kekasaran permukaan akan tercatat, dan dapat dilihat dalam bentuk *print out*.
- e) Sebelum dilakukan pengukuran, benda uji dan alat ukur telah diatur sehingga sedapat mungkin tidak terdapat kesalahan dalam pengukuran.

Kekasaran permukaan dapat diklasifikasikan menjadi 3 kategori, yaitu:

- a) Deskripsi statistik, yang memberikan nilai rata-rata dan tinggi permukaan contohnya R_a dan R_q .
- b) Deskripsi nilai ekstrem , yang didapat berdasarkan nilai pada kondisi maksimum (R_v), dan kekasaran maksimum puncak kelembah (R_{max}).
- c) Deskripsi tekstur, Dari hasil pengukuran terhadap panjang pengukuran (*traversing length*) 7,05mm didapat tiga parameter yang telah diatur sebelum melakukan pengukuran. Parameter itu yaitu R_a atau kekasaran rata-rata aritmatik, R_{max} atau kekasaran maksimum dari tinggi puncak dan lembah , R_z atau kekasaran total rata-rata.

Pada perhitungan R_a daerah-daerah yang berada di bawah profil tengah (lembah) diproyeksikan ke atas dan dirata-ratakan dengan daerah di atas profil

tengah. Profil tengah yaitu profil referensi yang digeser ke bawah sehingga jumlah luas daerah di atas profil terukur sama dengan jumlah luas daerah di bawah profil terukur. Dari hasil pengukuran didapat nilai R_a dengan satuan μm .

2.8 Desain Eksperimen

Desain eksperimen adalah salah satu metode statistik yang dipakai sebagai alat bantu untuk memperbaiki dan meningkatkan suatu kualitas. Variasi-variasi terhadap variabel suatu proses atau sistem diharapkan akan memberikan hasil yang optimal dan memuaskan.

Secara umum tujuan desain eksperimen adalah :

- a) Menentukan variabel input yang mempengaruhi *output* (respon)
- b) Menentukan variabel input yang menjadikan respon mendekati nilai yang diinginkan peneliti
- c) Menentukan variabel *input* yang menjadikan variabel respon atau *output* kecil

Ada tiga prinsip dasar dalam desain eksperimen yaitu replikasi, randomisasi, dan kontrol lokal. Prinsip pertama replikasi, dalam desain eksperimen ada perulangan perlakuan yang sama pada unit eksperimen berbeda. Dengan melakukan replikasi kita dapat mengetahui variabilitas alami dan kesalahan pengukuran.

Prinsip kedua adalah randomisasi, perlakuan harus diberikan secara acak pada unit-unit eksperimen. Secara umum metode statistik mengharapkan bahwa pengamatan atau eror adalah variabel independen, random, dan berdistribusi tertentu.

Prinsip ketiga adalah kontrol lokal. Kontrol lokal berarti sembarang metode yang dapat menjelaskan dan mengurangi variabilitas alami. Prinsip dilakukan dengan mengelompokkan satuan unit eksperimen yang mirip ke dalam kelompok (blok) tertentu. Pengelompokan (*blocking*) bertujuan meningkatkan ketepatan eksperimen.

2.8.1 Langkah-Langkah Dalam Desain Eksperimen

Desain eksperimen membutuhkan tahap-tahap penting yang bertujuan agar desain mengarah pada hasil yang diinginkan oleh peneliti. Di bawah ini adalah langkah –langkah melaksanakan desain eksperimen (Iriawan dan Astuti, 2006):

a) Mengetahui permasalahan

Tahap awal desain eksperimen adalah mengetahui pokok permasalahan, tahap ini adalah sebagai tahap permulaan dalam suatu eksperimen. Dari permasalahan yang ada , kita dapat membuat pernyataan yang tepat mewakili permasalahan agar memperoleh penyelesaian yang tepat.

b) Memilih variabel respon (*output*)

Tahap kedua adalah penetapan variabel respon. Variabel respon adalah variabel yang dipengaruhi oleh kombinasi level faktor. Untuk mengukur variabel respon, dapat menggunakan statistik rata-rata dan standart deviasi.

c) Menentukan faktor dan level

Tahap berikutnya menentukan faktor dan level suatu faktor dalam eksperimen. Peneliti juga harus menentukan cara mengendalikan faktor dan cara pengukurannya. Tahap ini membutuhkan pengetahuan yang lebih tentang permasalahan yang dibahas agar faktor dan level yang ditentukan tidak menyimpang jauh dari hasil yang dituju.

d) Memilih metode desain eksperimen

Memilih metode desain eksperimen selayaknya disesuaikan dengan tujuan yang ingin dicapai dan permasalahan yang dihadapi. Beberapa desain eksperimen antarlain desain sederhana, desain blok, desain acak, desain latin, desain *nested*, desain *taghuci*, desain *factorial* dan masih banyak lagi desain yang lainnnya.

e) Melakukan percobaan (eksperimen)

Dalam melakukan eksperimen kita perlu mengamati proses agar berjalan dengan baik dan sesuai dengan rencana yang diinginkan.

f) Analisis data

Analisis dilakukan dengan metode yang telah dipilih. Salah satu tahap dalam desain eksperimen yaitu melaksanakan analisis residual dan uji

kecukupan model. Analisis data adalah tahap yang cukup penting dalam desai eksperimen dan dapat digunakan sebagai dasar membuat suatu keputusan dan pernyataan yang pas.

g) Membuat suatu keputusan

Setelah menganalisis data kita dapat membuat suatu keputusan berdasarkan percobaan yang dilakukan.

2.8.2 *Analysis Of Variance* (ANOVA)

Analysis Of Variance (ANOVA) dipakai untuk menyelidiki hubungan antara variabel respon dengan 1 atau beberapa variabel prediktor. ANOVA hampir sama dengan regresi, tetapi skala data variabel independen adalah data kategori, yaitu skala nominal, ANOVA tidak mempunyai koefisien (parameter) model.

2.9 **Desain Faktorial**

Desain faktorial digunakan apabila eksperimen terdiri dari dua faktor atau lebih. Desain faktorial memungkinkan kita melakukan kombinasi antarlevel faktor.

Dalam percobaan faktorial pengaruh yang ditimbulkan oleh peubah bebas (perlakuan faktorial) yang dicobakan dapat dilihat dari proyeksi yang ditunjukkan oleh peubah tak bebas (faktorial respon). Pengaruh perlakuan faktorial (perlakuan kombinasi) ini dapat dibedakan menjadi pengaruh sederhana (tunggal), pengaruh utama dan pengaruh interaksi. Pengaruh sederhana adalah pengaruh suatu faktor dalam satu level faktor lainnya. Dari hasil pengujian ini dapat diketahui kondisi perbedaan taraf-taraf dari suatu faktor pada kondisi taraf-taraf yang berbeda dari faktor yang lain. Informasi yang diperoleh juga lebih rinci dan dapat mengetahui adanya interaksi atau tidak. Sedangkan pengaruh utama merupakan rata-rata dari nilai semua pengaruh tunggal atau sederhana.

Hasil yang diperoleh dari pengujian pengaruh utama menunjukkan apakah taraf-taraf dari suatu faktor tertentu nyata atau tidak pada semua kondisi taraf faktor yang lain.

Tujuan dari percobaan faktorial adalah untuk melihat interaksi antara faktor yang kita cobakan. Ada kalanya kedua faktor saling sinergi terhadap respon (positif) namun ada kalanya juga keberadaan suatu faktor justru menghambat kinerja faktor lain (negatif). Adanya kedua mekanisme tersebut cenderung meningkatkan pengaruh interaksi antara kedua faktor. Pengaruh interaksi adalah kegagalan level faktor yang satu terhadap level faktor yang lain untuk memberikan respon hasil yang sama. Pengaruh interaksi juga dapat dikatakan sebagai perbedaan (selisih) respon dari suatu faktor terhadap level faktor yang lain.

2.9.1 Percobaan Faktorial Dengan Tiga Faktor ($A \times B \times C$)

Percobaan faktorial $A \times B \times C$ merupakan salah satu percobaan faktorial yang melibatkan tiga faktor di dalamnya sebagaimana percobaan faktorial dengan dua faktor. Percobaan dengan tiga faktor akan semakin kompleks dan pelaksanaannya semakin sulit. Perbedaan faktorial $A \times B \times C$ dengan faktorial $A \times B$ terletak pada pengaruh yang dipelajari.

- a. Untuk faktorial $A \times B$ ada tiga pengaruh yaitu dua pengaruh utama (A dan B) dan satu pengaruh interaksi (AB).
- b. Untuk faktorial $A \times B \times C$ terdapat tujuh pengaruh yaitu tiga pengaruh utama (A, B dan C), tiga interaksi dua faktorial (AB, AC dan BC) dan satu interaksi tiga faktor (ABC).

Pada faktorial $A \times B \times C$ penempatan perlakuan kombinasinya ke dalam satuan- satuan percobaan sama halnya dengan faktorial $A \times B$, tergantung pada rancangan yang dipergunakan apakah RAL atau RAK. Rancangan dasar RBSL sangat jarang sekali digunakan dikarenakan dengan semakin banyaknya faktor yang terlibat maka perlakuan akan semakin banyak. Ini merupakan hambatan terhadap pemakaian RBSL. Model yang digunakan tergantung pada rancangan percobaan yang dipilih. Jika digunakan **Rancangan Acak Lengkap** maka modelnya :

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \gamma_k + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + e_{ijkl}$$

$$i = 1, 2, \dots, a$$

$$j = 1, 2, \dots, b$$

$$k = 1, 2, \dots, c$$

$$l = 1, 2, \dots, r$$

dimana ;

Y_{ijk} = pengamatan untuk level A ke-i. level B ke-j. level C ke-k dan ulangan ke-l

μ = nilai tengah umum

α_i = pengaruh perlakuan faktor A taraf ke-i

β_j = pengaruh perlakuan faktor B taraf ke-j

$(\alpha\beta)_{ij}$ = interaksi antara perlakuan A taraf ke-i dan perlakuan B taraf ke-j

γ_k = pengaruh perlakuan faktor C taraf ke-k

$(\alpha\gamma)_{ik}$ = interaksi antara perlakuan A taraf ke-i dan perlakuan C taraf ke-k

$(\beta\gamma)_{jk}$ = interaksi antara perlakuan B taraf ke-j dan perlakuan C taraf ke-k

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ = interaksi antara perlakuan A taraf ke-i. perlakuan B taraf ke-j dan perlakuan C taraf ke- k

e_{ijkl} = galat percobaan untuk pengamatan ke-I, j, k, l

Model di atas dapat diduga berdasarkan datanya. yaitu sebagai berikut :

$$y_{ijkl} = \tilde{y}_{...} + (\tilde{y}_{i..} - \tilde{y}_{...}) + (\tilde{y}_{.j.} - \tilde{y}_{...}) + (\tilde{y}_{.k.} - \tilde{y}_{...}) +$$

$$(\tilde{y}_{ijk.} - \tilde{y}_{i.} - \tilde{y}_{.j} - \tilde{y}_{.k} + \tilde{y}_{..}) + (y_{ijkl} - \tilde{y}_{ijk.})$$

$$(y_{ijkl} - \tilde{y}_{..}) = (\tilde{y}_{i.} - \tilde{y}_{..}) + (\tilde{y}_{.j} - \tilde{y}_{..}) + (\tilde{y}_{.k.} - \tilde{y}_{..}) + (\tilde{y}_{ijk.} - \tilde{y}_{i.} - \tilde{y}_{.j} - \tilde{y}_{.k} + \tilde{y}_{..}) +$$

$$(y_{ijkl} - \tilde{y}_{ijk.})$$

$$DB = (abcn-1) = (a-1) + (b-1) + (c-1) + (abc-a-b-c+1) + (abcn-abc)$$

$$(abcn - 1) = (a-1) + (b-1) + (c-1) + (a-1)(b-1)(c-1) + abc(n-1)$$

DB Total = DB Faktor A +DB Faktor B + DB Faktor C +DB Interaksi ABC+ DB Galat.

Tabel 2.3 Analisis ragam untuk faktorial AxBxC dengan RAL

SK	Db	JK
Perlakuan	(abc-1)	JK _P
A	(a-1)	JK _A
B	(b-1)	JK _B
C	(c-1)	JK _C
AB	(a-1)(b-1)	JK _{AB}
AC	(a-1)(c-1)	JK _{AC}
BC	(b-1)(c-1)	JK _{BC}
ABC	(a-1)(b-1)(c-1)	JK _{ABC}
Galat	Abc(n-1)	JK _G
Total	(nabc-1)	JK _T

dengan keterangan :

$$FK = (\sum_i \sum_j \sum_k \sum_l Y_{ijkl})^2 / nabc$$

$$JK_P = \sum_j \sum_k \sum_l (\sum_i Y_{ijkl})^2 / n - FK$$

$$JK_A = \sum_j (\sum_i \sum_k \sum_l Y_{ijkl})^2 / nbc - FK$$

$$JK_B = \sum_k (\sum_i \sum_j \sum_l Y_{ijkl})^2 / nac - FK$$

$$JK_C = \sum_l (\sum_i \sum_j \sum_k Y_{ijkl})^2 / nab - FK$$

$$JK_{AB} = \sum_j \sum_k (\sum_i \sum_l Y_{ijkl})^2 / nc - FK - JK_A - JK_B$$

$$JK_{AC} = \sum_j \sum_l (\sum_i \sum_k Y_{ijkl})^2 / nb - FK - JK_A - JK_C$$

$$JK_{BC} = \sum_k \sum_l (\sum_i \sum_j Y_{ijkl})^2 / na - FK - JK_B - JK_C$$

$$JK_{ABC} = \sum_j \sum_k \sum_l (\sum_i Y_{ijkl})^2 / n - JK_A - JK_B - JK_C - JK_{AB} - JK_{AC} - JK_{BC} - FK$$

$$= JK_P - JK_A - JK_B - JK_C - JK_{AB} - JK_{AC} - JK_{BC}$$

$$JK_G = JK_T - JK_P$$

$$JK_T = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l Y_{ijkl}^2 - FK$$

Kriteria penilaian

Bila **F hitung** \leq F tabel (0,05) berbeda tidak signifikan

Bila F tabel (0,01) $>$ **F hitung** $>$ F tabel (0,05) berbeda signifikan

Bila **F hitung** $>$ F tabel (0,01) berbeda sangat signifikan

$$\text{Koefisien Keragaman} = \text{KK} = \frac{\sqrt{KTG}}{\text{Rataan Umum}} \times 100\%$$

2.10 Hipotesa Penelitian

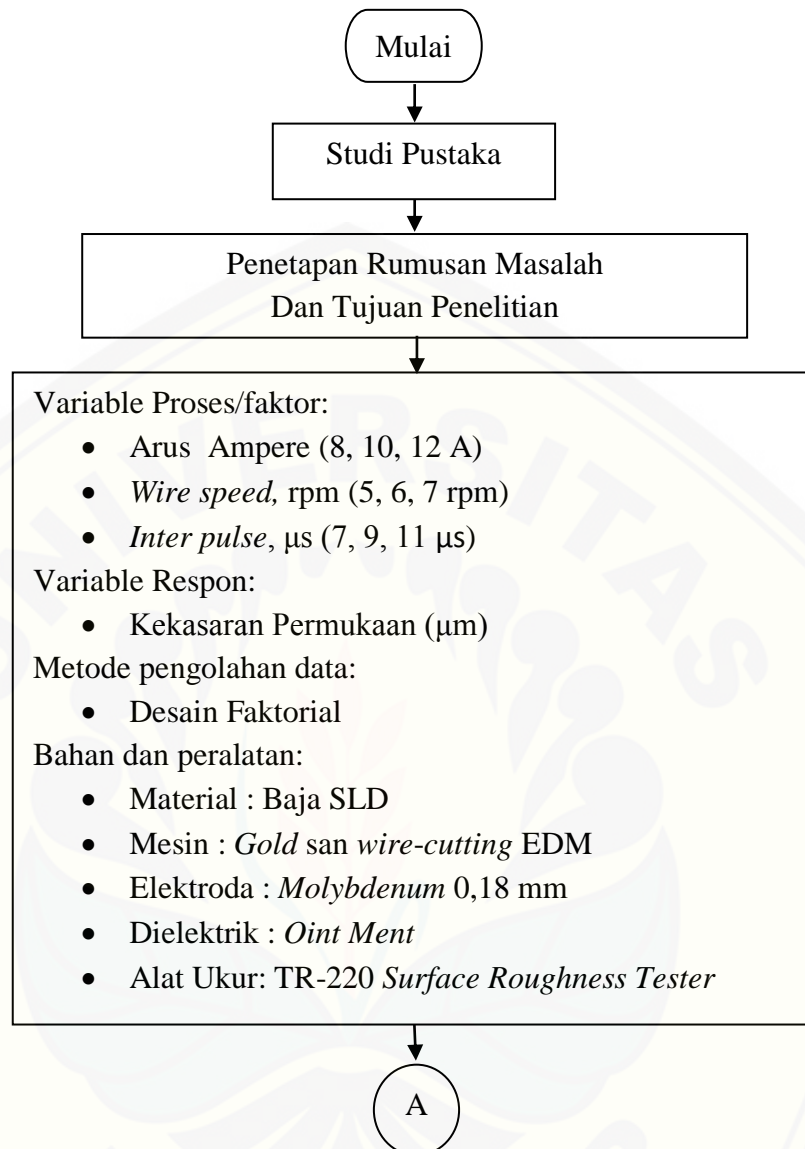
1. Arus : Semakin kecil arus maka akan dihasilkan energi impuls yang semakin kecil pula, dengan energi impuls yang semakin kecil maka kekasaran permukaan benda kerja yang dihasilkan juga akan semakin kecil.
2. *Wire speed* : Semakin kecil nilai *wire speed* maka kesempatan perpindahan energi dari *wire* ke material uji semakin semakin besar, hal itu mengakibatkan kekasaran permukaan menjadi kecil.
3. *Inter Pulse* : Jeda waktu sejenak yang diberikan pada saat proses pemotongan berlangsung. Semakin besar *inter pulse* semakin kecil kekasaran permukaan yang dihasilkan karena memberikan waktu cairan dielektrik untuk membawa geram hasil terkikisnya elektroda dan benda kerja sehingga tidak terjadi penimbunan geram yang mengakibatkan hubungan singkat arus listrik dan mengakibatkan benda kerja rusak.

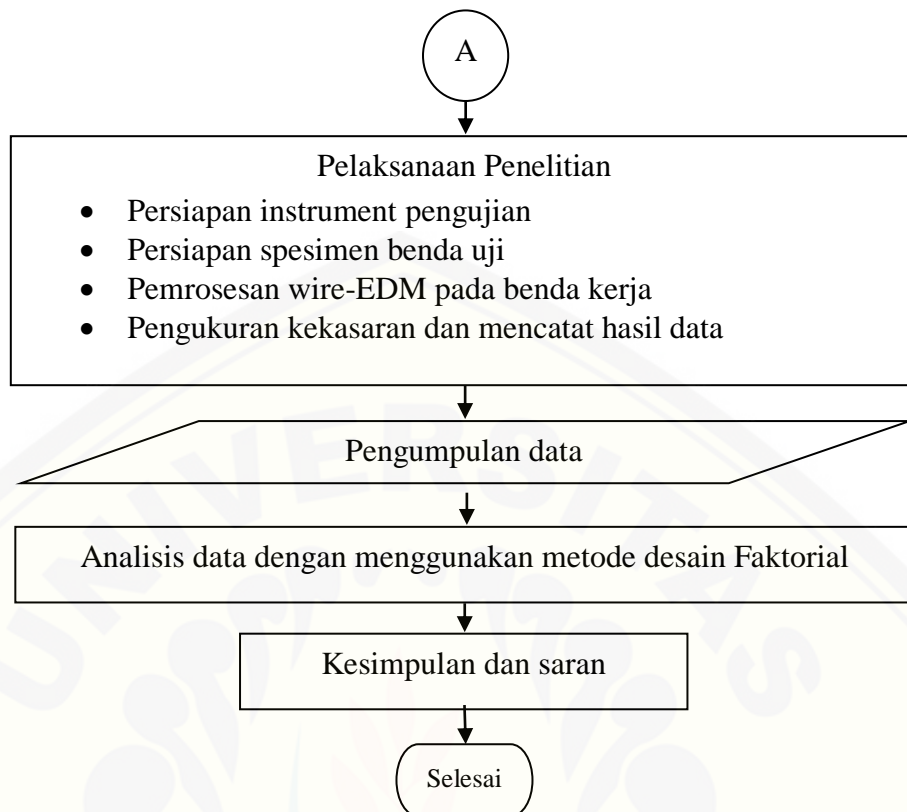
BAB 3. METODOLOGI

3.1 Tahapan Penelitian

Pada tahap awal penelitian ini adalah dimulai dengan menentukan topik penelitian kemudian dilanjutkan dengan studi pustaka, mencari referensi-referensi jurnal yang terkait dengan topik penelitian yang sudah di tentukan pada langkah awal. Selanjutnya menetapkan rumusan masalah dan tujuan penelitian, Setelah itu menentukan variabel proses atau faktor serta variabel respon. Variabel proses dalam penelitian ini adalah Arus, *Wire speed*, Dan *Inter pulse* sedangkan untuk variabel responnya adalah kekasaran permukaan. Pada penelitian ini menggunakan metode statistik desain faktorial dengan aplikasi minitab 16.0

Untuk proses pemotongan baja SLD dengan menggunakan mesin *wire-cut* EDM dilakukan di CV. Catur Prasetya Packindo dan untuk proses pengukuran spesimen menggunakan alat ukur TR-220 *Surface roughness tester* yang dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Universitas Jember. Setelah benda kerja dipotong dan diukur kekasaran permukaannya kemudian data yang diperoleh di analisis menggunakan metode statistik desain faktorial dengan bantuan aplikasi minitab 16.0, Dari hasil analisis data tersebut bisa ditarik kesimpulan dan saran yang diperoleh dari penelitian yang sudah dilakukan. Tahapan-tahapan pada penelitian ini dapat dilihat dalam diagram alir penelitian pada Gambar 3.1 sebagai berikut :





Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian

a. Waktu penelitian

Waktu penelitian dalam penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Mei-Desember 2018

b. Tempat pelaksanaan penelitian

Untuk pemotongan dilakukan di CV.Catur Prasetya Packindo yang terletak di Komplek Industri Pergudangan Permata Blok A-1B Jalan Muncul, Gedangan, Sidoarjo. Sedangkan pengukuran kekasaran permukaan spesimen benda kerja dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Universitas Jember.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel-variabel penelitian yang digunakan pada penelitian ini dibagi menjadi dua jenis yaitu variabel bebas dan variabel terikat.

3.3.1 Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan tidak terpengaruh oleh variabel lain. Untuk jenis-jenis variabel yang divariasikan sebagai variabel bebas dalam penelitian ini yaitu adalah: Arus, *Wire Speed*, Dan *Inter pulse*.

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung pada variasi variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu kekasaran permukaan (R_a).

3.3.3 Variabel Konstan

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

- a. GAP
- b. Variabel frekuensi
- c. *Pulse width*

3.4 Bahan Dan Peralatan Penelitian

3.4.1 Bahan penelitian

Bahan yang digunakan adalah baja SLD, Panjang benda kerja adalah sebesar 900 mm, lebar 20 mm dan tebal 10 mm dipotong menjadi sembilan bagian dengan dimensi 100 mm x 20 mm x 10 mm agar lebih mudah dalam proses pengecaman saat pemotongan .

Tabel 3.1. Komposisi unsur paduan baja SLD (ISOTROPY CASE No. 967)

Chemical composition %

<i>Elements</i>	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
<i>Ladle</i>	1.41	0.27	0.41	0.025	0.0005	12.04	0.83	0.23

3.4.2 Peralatan penelitian

a) Mesin *Wire-EDM*

Mesin *Wire - EDM* yang digunakan pada penelitian ini adalah *gold* san *wire-cutting* EDM tipe 4050T6H40 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2, sedangkan spesifikasi mesin tersebut bisa dilihat pada Tabel 3.2 sebagai berikut:

Gambar 3.2 Mesin *gold* san *wire-cutting* EDM

Tabel 3.2 Spesifikasi mesin *gold san wire-cutting* EDM

Item	GOLD SAN WIRE-CUTTING EDM
<i>Model</i>	4050T6H40
<i>Taper</i>	6
<i>Cutting Range</i>	400 x 500 x 400 mm
<i>Number</i>	30048
<i>Machine Weight</i>	1560 kg
<i>Date</i>	2010
<i>Manufactory</i>	GOLD SAN CNC MACHINE CO.,LTD

b) Peralatan ukur

Alat ukur yang digunakan adalah TR-220 *Surface Roughness Tester* seperti pada Gambar 3.3 dan juga spesifikasi alat di tunjukkan pada Tabel 3.3 sebagai berikut :

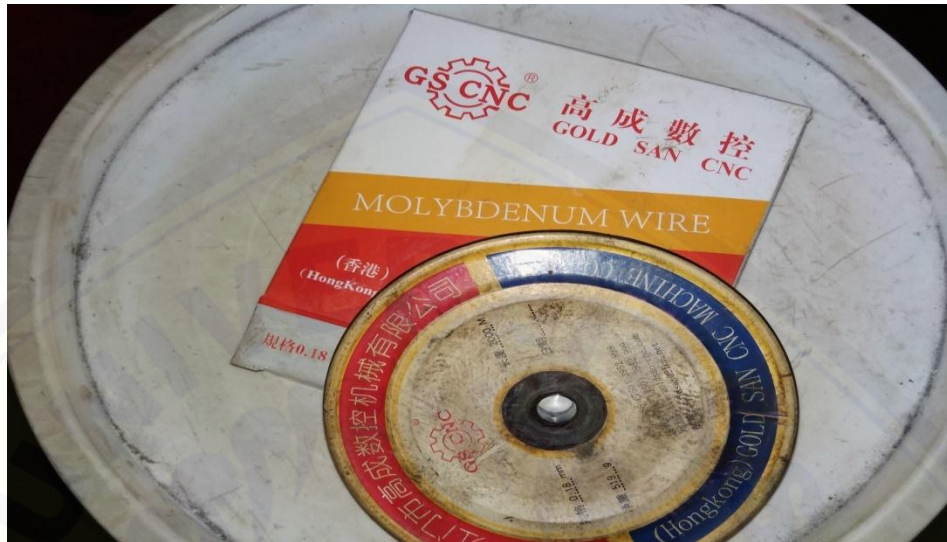
Gambar 3.3 Alat ukur TR-220 *Surface Roughness Tester*

Tabel 3.3 Spesifikasi *Surface Roughness* TR220 (anonim, spesifikasi TR-220. www.tribotechindia.com)[diakses : 10 Mei 2018]

Model	TR200	TR220
Roughness parameters	Ra, Rz, Ry, Rq, Rt, Rp, Rmax, Rv	Ra, Rz, Ry, Rq, Rt, Rp, Rmax, Rv
Assessed profiles	Roughness profile (R) Primary profile (P)	
Measuring system	Metric, imperial	
Display resolution	0,001 μ m	
Data output	RS232	
Pickup measuring range	$\pm 20\mu$ m, $\pm 40\mu$ m, $\pm 80\mu$ m	
Cutoff length (L)	0.25mm / 0.8mm / 2.5mm/Auto	
Evaluation length	1~5L (selectable)	
Tracing length	(1~5)L+2L(selectable)	
Digital filter	RC, PC-RC, Gauss, D-P	
Max. tracing length	17.5mm/0.71inch	
Min. tracing length	1.3mm/0.051inch	
Pick-up	Standard pickup TS100, inductive, Diamond stylus radius 5μ m, angle of stylus 90°	
Accuracy	$\leq \pm 10\%$	
Repeability	<6%	
Power	Li-ion battery rechargeable	
Dimensions(mm)	141 \times 56 \times 48	
Weight(g)	480	440

c) Kawat Elektroda

Kawat elektroda yang digunakan adalah kawat *mollydhenum* dengan diameter 0,18 mm.



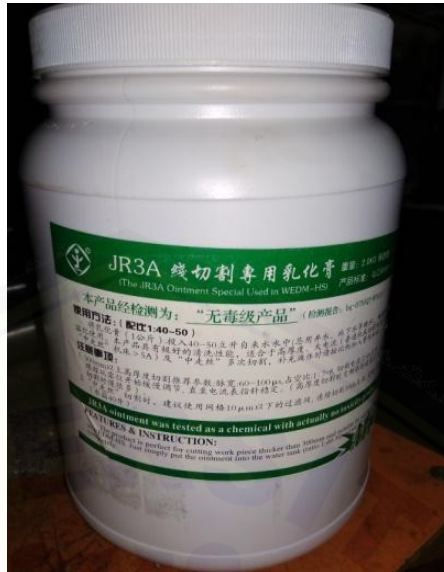
Gambar 3.4 Kawat Elektroda *Molybdenum Wire*

Tabel 3.4. Komposisi kimia kawat molybdenum (anonim, 2018. komposisi kawat elektroda molybdenum. www.alibaba.com)[diakses : 10 Mei 2018]

Mo	C	N	O	Fe	Ni	Si
≥ 95	≤ 0,01	≤ 0,02	≤ 0,07	≤ 0,10	≤ 0,05	≤ 0,10

d) Cairan dielektrik

Cairan dielektrik yang digunakan adalah *oint ment*.



Gambar 3.5 Cairan dielektrik oint ment

e) Peralatan Bantu

Peralatan bantu yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1) Gerinda dan kertas gosok

Alat ini digunakan untuk meratakan dan menghaluskan permukaan spesimen uji serta membersihkan benda kerja dari kotoran yang bersifat isolator.



Gambar 3.6 Gerinda dan kertas gosok

2) Mistar insut

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



Gambar 3.7 Mistar insut

3.5 Rancangan Percobaan

3.5.1 *Setting* paramater pada mesin *Wire-EDM*

Penentuan setting parameter pada mesin WEDM dilakukan dengan mengacu pada penelitian sebelumnya. Nilai seting parameter untuk kawat elektroda berdiameter 0,18 mm dan material benda kerja baja SLD dengan ketebalan 10 mm.

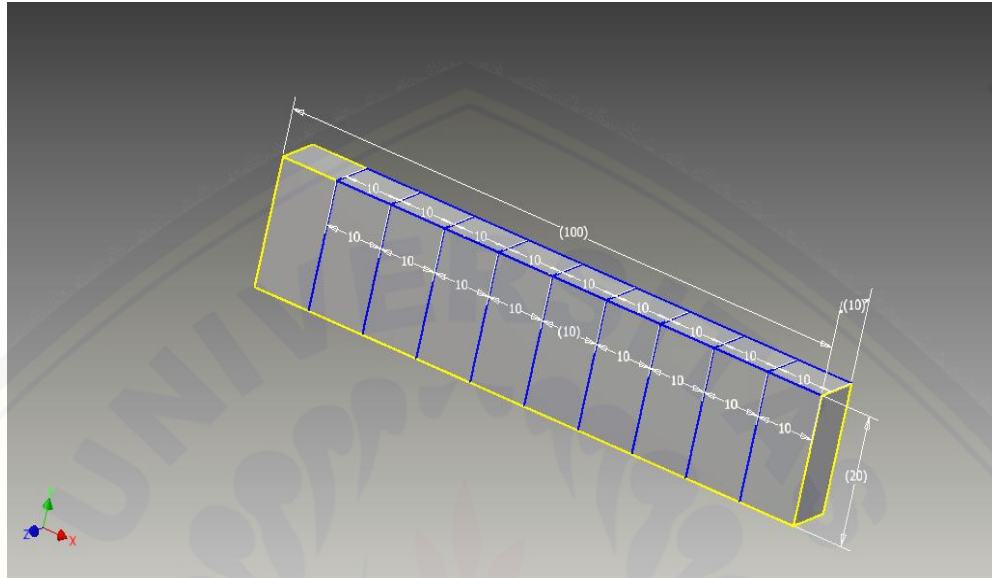
Tabel 3.5 *Setting* mesin untuk parameter yang divariasi dalam percobaan

No	Variabel respon	Satuan	L1	L2	L3
1	Arus	Ampere	8	10	12
2	<i>Wire speed</i>	rpm	5	6	7
3	<i>Inter pulse</i>	μs	7	9	11

Tabel 3.6 Variasi parameter dan banyaknya populasi spesimen

No	Arus	<i>Wire speed</i>	<i>Inter pulse</i>	Jumlah Pengukuran
1	8	5	7	3
2	8	5	9	3
3	8	5	11	3
4	8	6	7	3
5	8	6	9	3
6	8	6	11	3
7	8	7	7	3
8	8	7	9	3
9	8	7	11	3
10	10	5	7	3
11	10	5	9	3
12	10	5	11	3
13	10	6	7	3
14	10	6	9	3
15	10	6	11	3
16	10	7	7	3
17	10	7	9	3
18	10	7	11	3
19	12	5	7	3
20	12	5	9	3
21	12	5	11	3
22	12	6	7	3
23	12	6	9	3
24	12	6	11	3
25	12	7	7	3
26	12	7	9	3
27	12	7	11	3

Eksperimen dilakukan secara acak dengan mengacu pada rancangan percobaan ditunjukkan pada Tabel 3.6. Pengacakan ini dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat komputasi statistik.



Gambar 3.8 Skema proses pemotongan

Gambar 3.8 Menunjukkan urutan proses pemotongan yang pertama hingga pemotongan yang terakhir. Pemotongan material dilakukan sepanjang 20 mm dengan jarak antar pemotongan sebesar 10 mm.

3.6 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

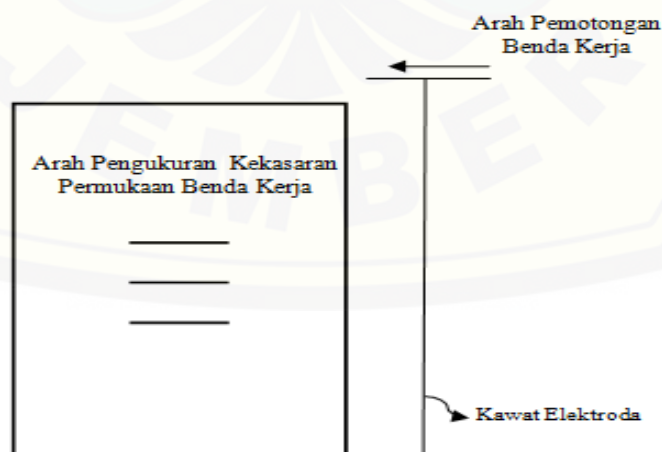
- a) Menyiapkan benda kerja SLD meliputi penyesuaian ukuran benda kerja, serta perataan dan penghalusan permukaan spesimen uji. Setelah permukaan spesimen uji rata dan halus, spesimen dibersihkan dari debu, oli, dan kotoran lain yang bisa mengganggu proses *Wire-Cut EDM* dengan kertas tisu.
- b) Memasang spesimen pada jig yang tersedia pada mesin dan menjepit bagian spesimen yang tidak mengalami proses pemotongan, kemudian menentukan sumbu referensi pemesinan pada spesimen.

- c) Memeriksa kawat elektroda berdiameter 0,18 mm pada jalur roll-roll yang tersedia pada mesin *Wire-EDM*.
- d) Menghidupkan mesin *Wire-Cut* EDM serta pengisian cairan dielektrik yang berupa *oint ment*.
- e) *Setting* parameter pemesinan sesuai dengan rancangan percobaan.
- f) Melaksanakan proses pemotongan berdasarkan seting parameter yang telah ditentukan.
- g) Setelah seluruh proses pemotongan selesai, benda kerja dikeluarkan dari mesin kemudian dibersihkan dan dikeringkan.
- h) Pengukuran kekasaran, yaitu melakukan pengujian tingkat kekasaran pada specimen benda uji hasil dari proses *Wire-EDM*, dan melakukan pencatatan data hasil pengujian.

3.7 Pengambilan Data Dan Analisis Pembahasan

3.7.1 Pengambilan data kekasaran permukaan

Angka kekasaran permukaan yang diamati adalah kekasaran aritmatika (R_a) yang dinyatakan dalam μm . panjang sampel pengukuran yang digunakan adalah 0,8 mm. Permukaan benda kerja yang merupakan hasil pemotongan diukur kekasaran permukaannya dengan arah tegak lurus terhadap arah pemotongan benda kerja seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Skema arah proses pemotongan dan pengukuran kekasaran permukaan benda kerja

Langkah – langkah pengukuran dengan alat ukur *surface roughness tester* adalah:

- a) Benda uji diletakkan pada meja datar.
- b) Ujung dari *dial indicator* diatur pada posisi stabil untuk melakukan pembacaan skala tekanan terhadap permukaan benda uji.
- c) Tentukan seberapa panjang dari bagian benda ukur yang akan diuji kekasaran permukaannya, nantinya panjang inilah yang akan dilewati oleh *dial indicator*.
- d) Apabila *dial indicator* telah melakukan pengukuran sepanjang jarak yang kita tentukan, nilai kekasaran permukaan akan tercatat, dan dapat dilihat dalam bentuk *print out*.
- e) Sebelum dilakukan pengukuran, benda uji dan alat ukur telah diatur sehingga sedapat mungkin tidak terdapat kesalahan dalam pengukuran.
- f) Setelah spesimen diukur kemudian data hasil pengukuran dimasukkan ke dalam tabel penyajian data hasil pengukuran.

3.7.2 Analisis dan pembahasan

Analisis dan pembahasan, yaitu melakukan analisa terhadap data hasil pengujian dimana data yang diperoleh diolah dengan menggunakan metode desain faktorial, membuat tabel dan grafik. Sehingga dapat dilakukan pembahasan bagaimana hasil yang diperoleh dari penelitian pengujian tingkat kekasaran permukaan yang dilakukan.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisis data dapat disimpulkan beberapa kesimpulan bahwa :

1. Pengaruh dari setiap masing-masing variabel proses terhadap nilai kekasaran permukaan benda kerja SLD pada proses *Wire-EDM* diperoleh, Parameter Arus berpengaruh cukup signifikan terhadap kekasaran benda kerja baja SLD karena nilai *P-value* $(0,00) < \alpha (0,05)$ dan $F_{hitung} = 59,39 > F_{0.05(2;54)} = 3,15$, Maka keputusannya tolak H_0 . Sama halnya pada parameter *Wire speed* berpengaruh cukup signifikan karena nilai *P-value* $(0,00) < \alpha = 0,05$ dan $F_{hitung} = 64,54 > F_{0.05(2;54)} = 3,15$, Maka keputusannya tolak H_0 . Sedangkan untuk parameter *Inter Pulse* tidak signifikan karena nilai *P-value* $(0,061) > \alpha = 0,05$ dan $F_{hitung} = 2,95 < F_{0.05(2;54)} = 3,15$ maka keputusannya adalah terima H_0 .
2. Parameter yang paling optimal dapat dicapai dengan kombinasi pada Arus level 1 yaitu (8 A), *Wire speed* pada level 1 (5 rpm) dan *Inter pulse* pada level 3 (11 μ s), dari kombinasi tersebut dihasilkan nilai kekasaran permukaan yang paling optimum yaitu 4,762 μ m.

5.2 Saran

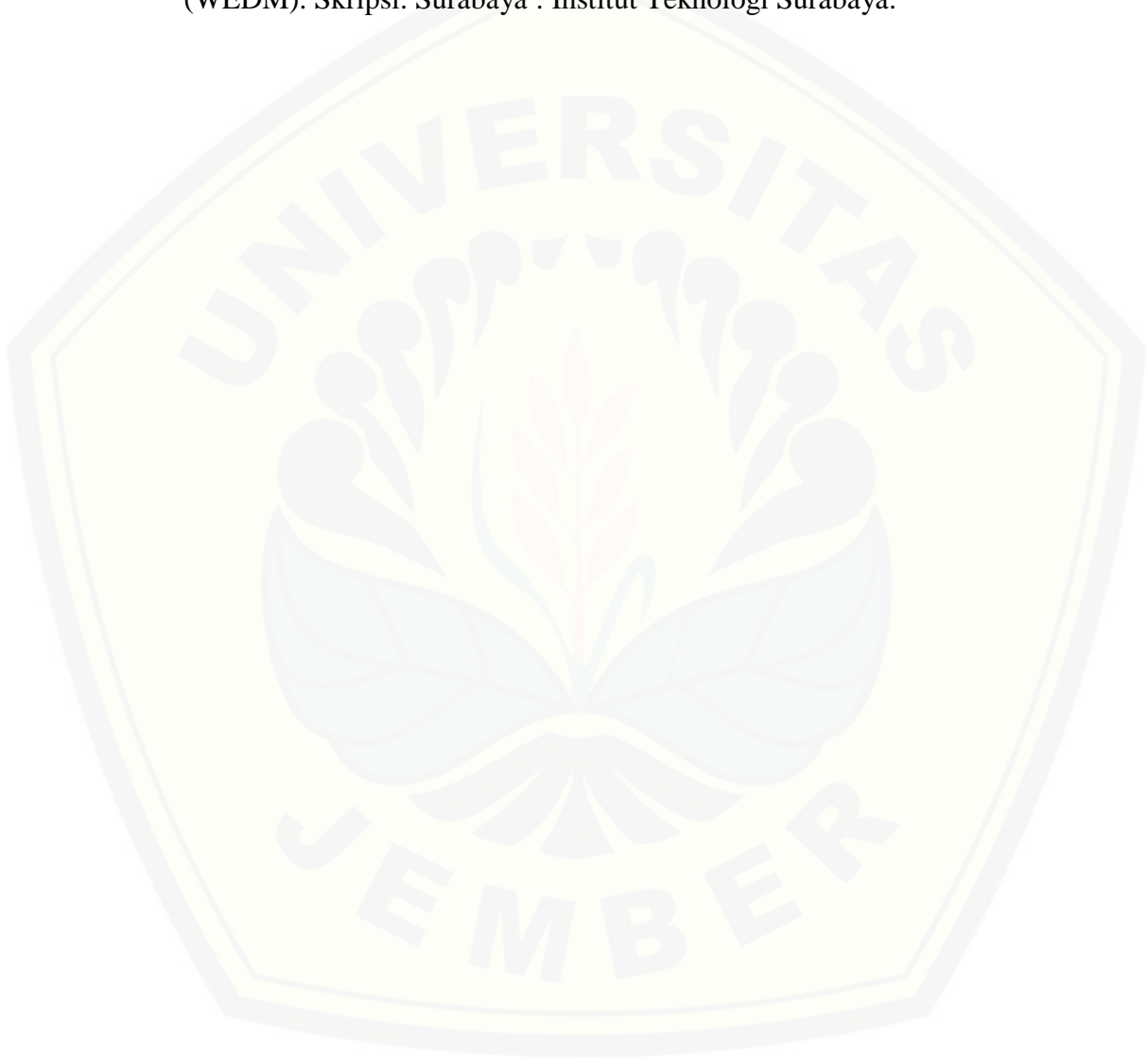
1. Pengembangan selanjutnya disarankan menggunakan level faktor pada tingkat yang berbeda pada rentan dibawahnya ataupun diatas penelitian ini sehingga diharapkan mendapatkan hasil kekasaran permukaan yang paling optimal.
2. Penggunaan variabel respon lainnya seperti lapisan *recast* yang berhubungan erat dengan kekasaran permukaan pada proses *wire-EDM*, sekaligus metode multi respon sebagai pengolah data guna memperoleh data yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Agdianto, B. D. 2012. Kekasaran Permukaan Hasil Pemotongan Baja SKD-11 Akibat Variasi Tegangan, *Wire Tension*, dan *Feed Rate* Pada Proses *Wire-Edm*. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember: Universitas Jember.
- Iriawan, N dan Astuti, S. P. 2006. *Mengolah Data Statistik Dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*. Edisi 1. Yogyakarta : CV Andi Offset
- Kumar, A dan Singh, D. K. 2012. Strategic Optimization and Investigation Effect of Process Parameters on Performance of Wire Electric Discharge Machine, *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, Vol. 4, hal. 2766-2772.
- Kunieda, *et al.* 2005. *Advancing EDM Throught Fundamental Insight Into The Process*. USA.
- Kurniasih, D. 2009. Studi Pengaruh Pulse On, Servo voltage, Dan Wire Speed Terhadap Kekasaran Permukaan Dan Laju Pemakananan Material Pada Pemotongan Baja K945 Menggunakan Mesin Wire EDM Dengan Faktorial Desain. http://digilib.ubaya.ac.id/index.php?page=data_eksemplar&key=239973&status=ADA. [5 Mei 2018].
- Mulyadi dan Suryanto, A. P. 2016. Optimalisasi Hasil Proses Wire-Cut EDM Dengan Metode Principal Component Analysis (PCA). *Jurnal Rotor*, 9 (1): 1-6.
- Nourbakhsh, F. 2012. Machining Stability Of Wire EDM Of Titanium, *Industrial And Management Systems Engineering*. Licoln.
- Pandey, P. C. dan Shan, H. S. 1980. *Modern Machining Processes*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited. New Delhi
- Sommer, C. dan Sommer, S. 2005. *Complete EDM Handbook*. Advanced Publishing Inc. Houston.
- Sagedistira, I. F. 2012. Studi Pengaruh Variasi Arus Proses Permesinan EDM *Sinking* Terhadap Kekerasan Dan Karakteristik Struktur Mikro Material Baja SKD 11. Skripsi. Jember : Universitas Jember.

Tosun, *et al.* 2004. A Study on Kerf and Material Removal Rate in Wire Electrical Discharge Machining based on Taguchi Method, *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 152. Hal. 316-322.

Yusron, R. M. 2014. Pengaruh *Pulse On Time* Dan *Open Voltage* Terhadap Integritas Permukaan Benda Kerja (IPBK) Hasil Pemotongan Baja Perkakas Benderus 2080 Pada Proses *Wire Electrical Discharge Machining* (WEDM). Skripsi. Surabaya : Institut Teknologi Surabaya.



Lampiran 6.1 Data pengukuran kekasaran permukaan

No	Level			Pengulangan (Ra)			Rata - Rata (Ra)
	Arus (A)	Wire speed (Rpm)	Inter Pulse (μ s)	1	2	3	
1	8	5	7	4,910	5,446	5,150	5,169
2			9	5,008	5,086	5,153	5,082
3			11	5,375	5,534	5,813	5,574
4		6	7	5,432	5,426	5,228	5,362
5			9	4,909	5,111	5,148	5,056
6			11	4,899	4,478	4,910	4,762
7		7	7	5,903	5,682	5,837	5,807
8			9	5,952	5,619	6,000	5,857
9			11	5,796	5,669	5,528	5,664
10	10	5	7	5,022	5,675	5,453	5,383
11			9	6,329	6,605	6,580	6,505
12			11	5,223	5,158	5,405	5,262
13		6	7	5,398	5,581	5,553	5,511
14			9	5,178	5,261	5,181	5,207
15			11	5,995	5,914	6,722	6,210
16		7	7	6,401	6,743	6,730	6,625
17			9	5,652	5,268	5,797	5,572
18			11	6,651	6,700	6,713	6,688
19	12	5	7	5,882	5,121	5,727	5,577
20			9	5,251	5,416	5,148	5,272
21			11	5,218	5,275	5,100	5,198
22		6	7	5,122	5,101	5,183	5,135
23			9	7,426	7,230	7,294	7,317
24			11	6,507	6,357	6,201	6,355
25		7	7	6,523	6,860	6,799	6,727
26			9	6,309	6,371	6,571	6,417
27			11	5,110	5,260	5,862	5,411

Lampiran 6.2 Print out hasil pengolahan data desain faktorial dengan aplikasi minitab 16.0

11/27/2018 2:06:44 PM

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Results for: KEKASARAN PERMUKAAN BAJA SLD2.MTW

General Linear Model: kekasaran pe versus Arus, Wire speed, Inter pulse

Factor	Type	Levels	Values
Arus	fixed	3	8, 10, 12
Wire speed	fixed	3	5, 6, 7
Inter pulse	fixed	3	7, 9, 11

Analysis of Variance for kekasaran permukaan, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Arus	2	5.2596	5.2596	2.6298	59.39	0.000
Wire speed	2	5.7156	5.7156	2.8578	64.54	0.000
Inter pulse	2	0.2613	0.2613	0.1306	2.95	0.061
Arus*Wire speed	4	3.6724	3.6724	0.9181	20.73	0.000
Arus*Inter pulse	4	2.5097	2.5097	0.6274	14.17	0.000
Wire speed*Inter pulse	4	2.7987	2.7987	0.6997	15.80	0.000
Arus*Wire speed*Inter pulse	8	12.4614	12.4614	1.5577	35.18	0.000
Error	54	2.3913	2.3913	0.0443		
Total	80	35.0700				

S = 0.210434 R-Sq = 93.18% R-Sq(adj) = 89.90%

Unusual Observations for kekasaran permukaan

Obs	kekasaran permukaan	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
10	5.02200	5.38333	0.12149	-0.36133	-2.10 R
46	5.12100	5.57667	0.12149	-0.45567	-2.65 R
69	6.72200	6.21033	0.12149	0.51167	2.98 R
81	5.86200	5.41067	0.12149	0.45133	2.63 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Least Squares Means for kekasaran permukaan

Arus		Mean	SE Mean	
8		5.371	0.04050	
10		5.885	0.04050	
12		5.934	0.04050	
Wire speed				
5		5.447	0.04050	
6		5.657	0.04050	
7		6.085	0.04050	
Inter pulse				
7		5.699	0.04050	
9		5.809	0.04050	
11		5.681	0.04050	
Arus*Wire speed				
8	5	5.276	0.07014	
8	6	5.060	0.07014	
8	7	5.776	0.07014	
10	5	5.717	0.07014	
10	6	5.643	0.07014	
10	7	6.295	0.07014	
12	5	5.349	0.07014	
12	6	6.269	0.07014	
12	7	6.185	0.07014	
Arus*Inter pulse				
8	7	5.446	0.07014	
8	9	5.332	0.07014	
8	11	5.334	0.07014	
10	7	5.840	0.07014	
10	9	5.761	0.07014	
10	11	6.053	0.07014	
12	7	5.813	0.07014	
12	9	6.335	0.07014	
12	11	5.654	0.07014	
Wire speed*Inter pulse				
5	7	5.376	0.07014	
5	9	5.620	0.07014	
5	11	5.345	0.07014	
6	7	5.336	0.07014	
6	9	5.860	0.07014	
6	11	5.776	0.07014	
7	7	6.386	0.07014	
7	9	5.949	0.07014	
7	11	5.921	0.07014	
Arus*Wire speed*Inter pulse				
8	5	7	5.169	0.12149
8	5	9	5.083	0.12149
8	5	11	5.576	0.12149
8	6	7	5.361	0.12149
8	6	9	5.056	0.12149
8	6	11	4.762	0.12149
8	7	7	5.807	0.12149
8	7	9	5.857	0.12149
8	7	11	5.664	0.12149
10	5	7	5.383	0.12149
10	5	9	6.505	0.12149
10	5	11	5.262	0.12149
10	6	7	5.511	0.12149
10	6	9	5.207	0.12149
10	6	11	6.210	0.12149
10	7	7	6.625	0.12149
10	7	9	5.572	0.12149
10	7	11	6.688	0.12149

12	5	7	5.577	0.12149
12	5	9	5.272	0.12149
12	5	11	5.198	0.12149
12	6	7	5.135	0.12149
12	6	9	7.317	0.12149
12	6	11	6.355	0.12149
12	7	7	6.727	0.12149
12	7	9	6.417	0.12149
12	7	11	5.411	0.12149

Main Effects Plot for kekasaran permukaan

Interaction Plot for kekasaran permukaan

11/27/2018 2:09:48 PM

Welcome to Minitab, press F1 for help.
Retrieving project from file: 'C:\USERS\WINDOWS 7\DOCUMENTS\GENERAL
LINIER
MODEL.MPJ'

Results for: KEKASARAN PERMUKAAN BAJA SLD2.MTW

ANOVA: kekasaran permukaan versus Arus, Wire speed, Inter pulse

Factor	Type	Levels	Values
Arus	fixed	3	8, 10, 12
Wire speed	fixed	3	5, 6, 7
Inter pulse	fixed	3	7, 9, 11

Analysis of Variance for kekasaran permukaan

Source	DF	SS	MS	F	P
Arus	2	5.2596	2.6298	59.39	0.000
Wire speed	2	5.7156	2.8578	64.54	0.000
Inter pulse	2	0.2613	0.1306	2.95	0.061
Arus*Wire speed	4	3.6724	0.9181	20.73	0.000
Arus*Inter pulse	4	2.5097	0.6274	14.17	0.000
Wire speed*Inter pulse	4	2.7987	0.6997	15.80	0.000
Arus*Wire speed*Inter pulse	8	12.4614	1.5577	35.18	0.000
Error	54	2.3913	0.0443		
Total	80	35.0700			

S = 0.210434 R-Sq = 93.18% R-Sq(adj) = 89.90%

Residual Plots for kekasaran permukaan

General Linear Model: kekasaran pe versus Arus, Wire speed, Inter pulse

Factor	Type	Levels	Values
Arus	fixed	3	8, 10, 12
Wire speed	fixed	3	5, 6, 7
Inter pulse	fixed	3	7, 9, 11

Analysis of Variance for kekasaran permukaan, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Arus	2	5.2596	5.2596	2.6298	59.39	0.000
Wire speed	2	5.7156	5.7156	2.8578	64.54	0.000
Inter pulse	2	0.2613	0.2613	0.1306	2.95	0.061
Arus*Wire speed	4	3.6724	3.6724	0.9181	20.73	0.000
Arus*Inter pulse	4	2.5097	2.5097	0.6274	14.17	0.000
Wire speed*Inter pulse	4	2.7987	2.7987	0.6997	15.80	0.000
Arus*Wire speed*Inter pulse	8	12.4614	12.4614	1.5577	35.18	0.000
Error	54	2.3913	2.3913	0.0443		
Total	80	35.0700				

S = 0.210434 R-Sq = 93.18% R-Sq(adj) = 89.90%

11/27/2018 2:06:48 PM

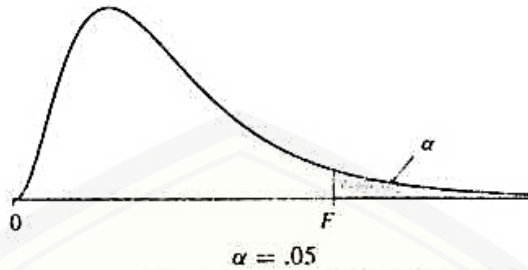
Welcome to Minitab, press F1 for help.
nRetrieving project from file: 'C:\USERS\WINDOWS 7\DOCUMENTS\GENERAL
LINIER
MODEL.MPJ'

Results for: KEKASARAN PERMUKAAN BAJA SLD2.MTW

23/01/2019 10:10:25

Welcome to Minitab, press F1 for help.
Retrieving project from file: 'C:\USERS\WINDOWS 7\DOCUMENTS\ANOVA TWO
WAY.MPJ'

Lampiran 6.3 F tabel $\alpha = 0,5$



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 6.4 Sertifikat Hitachi Metals baja SLD

TEST CERTIFICATE

Customer: P. T. STILMETINDO PRIMA

HITACHI
 Yasuaki Tozaki
 Magics 2107-2, Yasuzaki-cho, Yasuzaki-shi, Shimane-ken
 692-8501, Japan

ISO9001 CASE No.: 967 DESCRIPTION: HOT ROLLED ALLOY TOOL STEEL BAR
 Order No.: 10056078(002) Report No.: 762-2828-20
 Material: SLD
 Condition: Annealed

Plant No.: CT737 Date: Mar. 02, 2018 Page: 1/1
 Size: F10(C0, B-Q)X155(L-2-0)X3000-4500
 Quantity(pcs.): 2
 Our Ref. No.: 59-153-205D-02
 Mass(kg): 104


1) Chemical Composition %		2) Heat Treatment		3) Hardness(As Shipped)	
Elements	Spec.	Test Piece (HT1)	Spec.	Item	Result
C	1.41	Q, 1000°C X 15min, AQ	TP No. →	MAX248 HBW	231
MN	0.41	T, 160°C X 60min, AC	TP No. →	7) Hardness After Heat Treatment (HT1)	
P	0.026	6) Decarburization	Spec.	Spec.	Result
S	0.0005	Item	TP No. →	TP No. →	1
CR	12.04	Evaluation	GOOD	HRC	62.4
MO	0.93	Item	GOOD		
V	0.23	Evaluation	GOOD		
4) Macrostructure		5) Microstructure		6) Decarburization	
Spec.	Result	Spec.	Result	Spec.	Result
TP No. →	1	TP No. →	1	TP No. →	1
GOOD	GOOD	GOOD	GOOD		

Inspection Item: Visual Inspection : GOOD
 Dimensional Inspection : GOOD
 Material Check : GOOD

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

[Signature]
 QUALITY ASSURANCE DEPARTMENT

Lampiran 6.5 Tabel kesetaraan baja SLD



PT. SANDY BAJA SURABAYA
PERGUDANGAN MEKABOX PUTRA
 JL. Raya Driyorejo KM 18 Blok D-3 & C-5 Bambe
 Tlp : 031-7506487, 7506489, 7580501, 7580502 | Fax : 031-7506477, 7580503
 E-mail : pt.sandybajasurabaya@yahoo.com

COMPARISON TABLES STEELS

SBS	AISI	CHEMICAL	ASSAB	BOHLER	HITACHI	JIS	SANYO	DAIDO
THS 1730	1045	C45W/S45C	760	EMS45	NS1045	S45C	PC 55	DAK S45C
TEW 7226	4135 H	34 CrMo S4	709	VCL	NS.4140	SCM440	SCM 440	
TEW 6582	4340	34CrNiMo6	705	VCN	NS.4340	SNCM447	SCM 439	DAKS439
THYPLAST 2311	P.20	40 CrMnMo 7	718	K 456	HPM.22	SCM440	PCM.28	PX.4
THYPLAST 2738	P.20+Ni	40CrMnNiMo8-6-4	718HH	M238				P. Star
THYPLAST 2316	420	X 36 CrMo 17	RAMAXS	M300	HPM.38			PAK80
THS 2379	D.2	X 155 CrVMo 12. 1	XW41	SP KNL	SLD	SKD11	QCM.8	DC 53
THYPID 3343	M.2	HS6 - 5 - 2C	HSP41	S600	YXM 1	SKH51	QH.51	
THS 2210	L.2	115 CrV 3						
XAR 400		HARDOX 400						
XAR 500		HARDOX 500						

Lampiran 6.6 Foto-foto Alat dan bahan



Lampiran 6.7 Foto-foto proses pemotongan pada Wire-EDM



Lampiran 6.8 Foto-foto proses pengukuran kekasaran permukaan spesimen



JEMBER