



**OPTIMASI RESPON TEBAL LAPISAN RECAST BAJA SLD PADA
PROSES WIRE ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING**

SKRIPSI

Oleh

**AHMADA WILDAN KHADZIQ
NIM 111910101058**

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



**OPTIMASI RESPON TEBAL LAPISAN *RECAST* BAJA SLD PADA
PROSES *WIRE ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**AHMADA WILDAN KHADZIQ
NIM 111910101058**

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

2019

PERSEMBAHAN

Laporan tugas akhir ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Nurhadianto dan Ibu Tutik Munifah yang telah memberikan hampir seluruh kebutuhan dan kasih sayang dengan tulus, mendidik dengan sabar serta mendoakan dengan ikhlas;
2. Kakak tersayang Muhammad Dhani Lutfi dan Putri Rahmawati yang telah memberikan motivasi dan doanya;
3. Orang terkasih Elis Wahyuni yang telah memberikan bantuan dalam banyak hal;
4. Teman-teman seperjuangan yang telah memberikan dukungan dan membantu dalam banyak hal;
5. Almamater Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTO

“Adakala orang paling buruk dimasa silam, akan menjadi paling baik di masa depan”

(Sayyidina Umar bin Khattab R.A.)

“Adakalanya yang sedikit lebih baik dari pada yang banyak, bersyukurlah”

(Sayyidina Ali bin Abi Thalib R.A.)

“Jangan menjelaskan tentang dirimu kepada siapapun. Karena yang menyukaimu tidak butuh itu dan yang membencimu tidak percaya itu”

(Sayyidina Ali bin Abi Thalib R.A.)

“Kita lebih membutuhkan adab meski sedikit dibanding ilmu meski banyak”

(Abdullah bin Mubarak)

PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

nama : Ahmada Wildan Khadziq

NIM : 111910101058

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul “Optimasi Respon Tebal Lapisan *Recast* Baja SLD Pada Proses *Wire Electrical Discharge Machining*” adalah benar-benar hasil 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 dijunjung tinggi.

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

Jember, 16 Januari 2019

Yang Menyatakan

Ahmada Wildan Khadziq

NIM 111910101058

SKRIPSI

**OPTIMASI RESPON TEBAL LAPISAN *RECAST* BAJA SLD PADA
PROSES *WIRE ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING***

Oleh

Ahmada Wildan Khadziq
NIM 111910101058

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T.

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Optimasi Tebal Lapisan *Recast* Baja SLD Pada Proses *Wire Electrical Discharge Machining*” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Rabu, 16 Januari 2019

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T.

NIP 19600812 199802 1 001

Ir. Franciscus Xaverius Kristianta, M.Eng.

NIP 19650120 200112 1 001

Penguji I,

Penguji II,

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

NIP 19850117 201212 1 001

Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T.

NIP 19691201 199602 1 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Jember,

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

NIP 19610414 198902 1 001

Ahmada Wildan Khadziq

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Proses pembuatan produk membutuhkan *dies* dengan ketelitian dimensi yang tinggi agar menghasilkan produk yang berkualitas. *Electrical discharge machining* (EDM) ialah salah satu proses pemotongan benda kerja dengan memanfaatkan loncatan bunga api listrik melalui elektroda sebagai pahat potong. *Wire-EDM* merupakan salah satu jenis *EDM* dengan hasil pemotongan yang menimbulkan lapisan *recast*. Hal ini membuat permukaan hasil pemotongan tidak rata. Penelitian ini akan dilakukan optimasi tebal lapisan *recast* pada proses *wire edm* dengan variasi *wire speed* sebesar (5 mm/min, 6 mm/min, 7 mm/min), *inter pulse* (7 μ s, 9 μ s, 11 μ s), *electric current* (8 Amp, 10 Amp, 12 Amp). Logam yang digunakan ialah baja SLD dengan sifat yang keras dan tahan panas. Rancangan percobaan penelitian ini ialah ortogonal array L9 dengan dua kali replikasi dengan metode taguchi. Hasil Kombinasi parameter optimum yang didapat dengan metode taguchi ialah *wire speed* 5 mm/min, *intepulse* 11 μ s, *electric current* 8 Amp. Kombinasi tersebut menghasilkan respon lapisan *recast* terbaik sebesar 117 μ m. Dengan Faktor *electric current* berpengaruh sangat signifikan terhadap lapisan *recast* sebesar 91,37%, *wire speed* berpengaruh terhadap lapisan *recast* dengan 6,97%, *inter pulse* tidak berpengaruh hanya dengan 0,40%.

Kata Kunci: *Wire-EDM*, Lapisan *Recast*, SLD, Taguchi.

Ahmada Wildan Khadziq

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRACT

The process of making a product requires precision with the dimensions of the dies height in order to produce a quality product. Electrical discharge machining (EDM) is one of the process of cutting a workpiece by utilizing a stepping electric sparks through the electrode as a chisel cut. Wire-EDM is one type of EDM with cutting results which give rise to recast layer. This made the surface uneven cutting results. This research will be conducted in recast layer thickness optimization process of wire-EDM with the variation of wire speed (5 mm/min, 6 mm/min, 7 mm/min), inter pulse (7 μ s, 9 μ s, 11 μ s), electric current (8 Amp, 10 Amp, 12 Amp). The metal used is SLD steel with a hard nature and heat resistant. Research of experimental design is orthogonal array L9 with twice the replication with taguchi method. Optimum parameter of the combination of results obtained by taguchi method is the wire speed of 5 mm/min, intepulse 11 μ s, electric current 8 Amp. That combination produces the best recast layer response of 117 μ m. with electric current influential Factors very significantly to the recast layer of 91,37%, wire speed layer to recast with 6,97%, inter pulse is not effect only with 0,40%.

Key words: Wire-EDM, Recast Layer, SLD, Taguchi Method

RINGKASAN

Optimasi Respon Tebal Lapisan *Recast* Baja SLD Pada Proses *Wire Electrical Discharge Machining*; Ahmada Wildan Khadziq, 111910101058; 2018: 46 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Proses pembuatan produk membutuhkan *dies* dengan ketelitian dimensi yang tinggi agar menghasilkan produk yang berkualitas. Dalam pembuatan *dies* membutuhkan proses permesinan dengan ketelitian yang tinggi. *Electrical discharge machining* (EDM) ialah salah satu proses pemotongan benda kerja dengan memanfaatkan loncatan bunga api listrik melalui elektroda sebagai pahat potong. *Wire-EDM* merupakan salah satu jenis *EDM* dengan hasil pemotongan yang menimbulkan lapisan *recast*. Hal ini membuat permukaan hasil pemotongan tidak rata. Logam yang digunakan ialah baja SLD dengan sifat yang keras dan tahan panas.

Optimasi tebal lapisan *recast* pada proses *wire-EDM* dilakukan dengan variasi *wire speed* sebesar (5 mm/min, 6 mm/min, 7 mm/min), *inter pulse* (7 μ s, 9 μ s, 11 μ s), *electric current* (8 Amp, 10 Amp, 12 Amp). Rancangan percobaan penelitian ini ialah ortogonal array L9 dengan dua kali replikasi dengan metode taguchi.

Hasil Kombinasi parameter optimum yang didapat dengan metode taguchi ialah *wire speed* 5 mm/min, *intepulse* 11 μ s, *electric current* 8 Amp. Kombinasi tersebut menghasilkan respon lapisan *recast* terbaik sebesar 117 μ m. Dengan Faktor *electric current* berpengaruh sangat signifikan terhadap lapisan *recast* sebesar 91,37%, *wire speed* berpengaruh terhadap lapisan *recast* dengan 6,97%, *inter pulse* tidak berpengaruh hanya dengan 0,40%.

SUMMARY

Optimization of Recast Layer Response of SLD Steel on the Process of Wire Electrical Discharge Machining; Ahmada Wildan Khadziq, 111910101058; 2018: 46 pages; the Mechanical Engineering Department, the Faculty of Engineering, Jember University.

The process of making a product requires precision with the dimension of the dies height in order to product a quality product. In the manufacture of dies requires machining poces with high precision. Electrical discharge machining (EDM) is one of the process of cutting a workpiece by utilizing a stepping electric sparks through the electrode as a chisel cut. Wire-EDM is one type of EDM with cutting results which give rise to recast layer. This made the surface uneven cutting result. The metal used is SLD steel with a hard nature and heat resistant.

Optimization of thick layer recast on wire-EDM process is done with a variation of wire speed (5 mm/min, 6 mm/min, 7 mm/min), inter pulse (7 μ s, 9 μ s, 11 μ s), electric current (8 Amp, 10 Amp, 12 Amp). Research of experimental design is ortogonal array L9 with twice the replication with taguchi method.

The optimum parameter combinations result obtained by taguchi method is the wire speed of 5 mm/min, intepulse 11 μ s, electric current 8 Amp. That combination produces the best recast layer response of 117 μ m. With electric current influential factors very significantly to the recast layer of 91,37%, wire speed to recast layer with 6,97%, inter pulse is not effect only with 0,40%.

PRAKATA

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga skripsi dengan judul “OPTIMASI RESPON TEBAL LAPISAN RECAST BAJA SLD PADA PROSES WIRE ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING” 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. Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Ir. Franciscus Xaverius Kristianta, M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah memberikan bimbingan dalam menyelesaikan skripsi ini;
3. Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T. dan Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan dalam menyelesaikan skripsi ini;
4. Sumarji, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama masa perkuliahan;
5. Dosen Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan ilmu hingga meraih kelulusan;
6. Kedua orang tua tercinta, Bapak Nurhadianto dan Ibu Tutik Munifah yang dengan luar biasa telah memberikan segalanya selama ini;
7. Kakak tersayang Muhammad Dhani Lutfi dan Putri Rahmawati yang telah memberikan semangat dan motivasi;
8. Orang terkasih Elis Wahyuni, S.T. yang telah memberikan bantuan dalam banyak hal;
9. Teman-teman jurusan teknik mesin yang telah memberikan bantuan dalam banyak hal;
10. 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, 16 Januari 2019

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN MOTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
RINGKASAN	ix
SUMMARY	x
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Electrical Discharge Machining</i> (EDM).....	5
2.2 <i>Wire Electrical Discharge Machining</i> (Wire-EDM)	6
2.2.1 Prinsip Dasar Wire-EDM.....	6
2.2.2 Variabel Pada Proses Wire-EDM	8
2.2.3 Kawat Elektroda	9
2.2.4 <i>Flusing</i> (Pembilasan Geram)	10
2.3 Lapisan <i>Recast</i>	12

2.4	Uji Residual	13
2.5	Desain Eksperimen	13
2.5.1	Metode Taguchi	13
2.5.2	Optimasi Taguchi	19
2.5.3	Interval Kepercayaan	20
2.5.4	Persen Kontribusi	20
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	22
3.2	Variabel-variabel Penelitian	22
3.2.1	Variabel Bebas	22
3.2.2	Variabel Terikat	22
3.2.3	Variabel Konstan	22
3.3	Bahan dan Peralatan Penelitian	23
3.3.1	Bahan Penelitian	23
3.3.2	Peralatan Penelitian	23
3.4	Rancangan Percobaan	23
3.4.1	Pengaturan Variabel Pada Mesin WEDM	23
3.4.2	Pemilihan Matriks Ortogonal	24
3.5	Langkah-langkah Percobaan	25
3.6	Pengambilan Data dan Penyajian Data	26
3.6.1	Pengambilan Data Tebal Lapisan <i>Recast</i>	26
3.6.2	Penyajian Data	26
3.7	Karakteristik Respon Optimum	27
3.8	Tahapan Penelitian	28
BAB 4. PEMBAHASAN		
4.1	Fenomena WEDM	30
4.2	Data Hasil Percobaan	31
4.3	Asumsi Residual	31
4.4	Pengolahan Data	32
4.4.1	<i>Rasio Signal To Noise</i>	33
4.4.2	Analisa S/N ratio nilai lapisan <i>recast</i>	34

4.4.3	Pengaruh Level Faktor Terhadap Rasio S/N Nilai Lapisan <i>Recast</i>	35
4.4.4	Prediksi Rasio S/N Nilai Lapisan <i>Recast</i> yang Optimal	36
4.4.5	Mean Nilai Lapisan <i>Recast</i>	37
4.4.6	Analisa <i>Mean</i> Nilai Lapisan <i>Recast</i>	37
4.5	<i>Analysis of Varian</i>	38
4.6	Pembahasan	42
BAB 5. PUNUTUP		
5.1	Kesimpulan.....	44
5.2	Saran	44
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

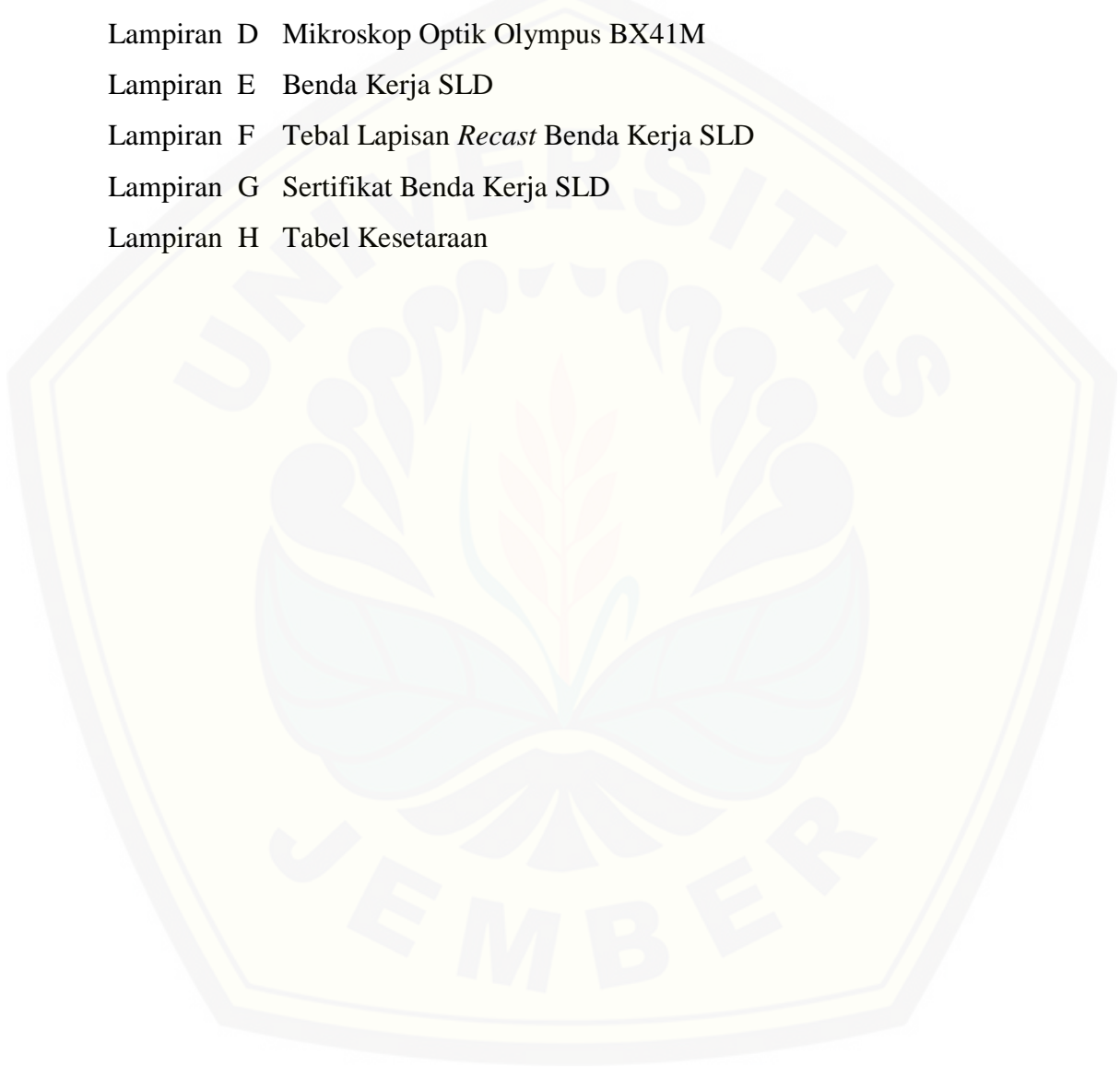
	Halaman
Gambar 2.1 Bagan jenis-jenis proses EDM.....	5
Gambar 2.2 Skema proses permesinan WEDM	6
Gambar 2.3 Mekanisme proses pemotongan benda kerja pada WEDM.....	7
Gambar 2.4 Metode <i>flushing Wire-EDM</i>	11
Gambar 2.5 Lapisan permukaan benda kerja pada proses WEDM	12
Gambar 3.1 Skema proses pemotongan benda kerja	23
Gambar 3.2 Skema proses pengukuran tebal lapisan recast	26
Gambar 3.3 Diagram alir metode penelitian	29
Gambar 4.1 Lapisan <i>recast</i> hasil pemotongan <i>wire-EDM</i>	30
Gambar 4.2 Grafik uji identik.....	32
Gambar 4.3 Grafik uji distribusi normal.....	32
Gambar 4.4 Grafik uji ACF	34
Gambar 4.5 Grafik <i>main effects plot for SN ratios</i> nilai lapisan <i>recast</i>	35
Gambar 4.6 Grafik <i>main effect plot for means</i> nilai lapisan <i>recast</i>	38

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Matriks ortogonal L9 (3^3).....	16
Tabel 2.2 Tabel analisis Varian.....	17
Tabel 3.1 Variabel Proses dan Masing-masing Level	24
Tabel 3.2 Total derajat kebebasan variabel-variabel respon.....	24
Tabel 3.3 Rancangan percobaan Taguchi	25
Tabel 3.4 Penyajian Data Lapisan <i>Recast</i>	27
Tabel 4.1 Data hasil percobaan	31
Tabel 4.2 Data Rasio S/N lapisan <i>recast</i>	34
Tabel 4.3 Respon S/N ratio	35
Tabel 4.4 Hasil analisis varian terhadap rata-rata respon.....	37
Tabel 4.5 Hasil analisis varian rasio S/N	39
Tabel 4.6 Hasil analisis varian dan kontribusi parameter terhadap Lapisan <i>recast</i>	40
Tabel 4.7 Data F test nilai lapisan <i>recast</i>	42

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A Perhitungan Minitab
- Lampiran B Tabel distribusi F $\alpha = 0,05$
- Lampiran C Mesin *Wire*-EDM 4050 T6 H40
- Lampiran D Mikroskop Optik Olympus BX41M
- Lampiran E Benda Kerja SLD
- Lampiran F Tebal Lapisan *Recast* Benda Kerja SLD
- Lampiran G Sertifikat Benda Kerja SLD
- Lampiran H Tabel Kesetaraan



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses manufaktur pembuatan produk membutuhkan *dies* dengan ketelitian dimensi tinggi agar menghasilkan produk yang berkualitas. Dalam hal ini perlu diperhatikan proses pembentukan *dies* dengan cara konvensional maupun non konvensional. Pada umumnya pengerjaan *dies* dengan mesin konvensional menghasilkan permukaan benda kerja yang tidak sesuai dengan rencana. *Electrical Discharge Machining (EDM)* adalah Salah satu proses permesinan non konvensional, yang memanfaatkan energi panas yang dihasilkan dari loncatan bunga api listrik di antara elektroda dan benda kerja (Agdianto, 2012). Jenis *EDM* yang banyak digunakan ketika pembuatan benda kerja dengan proses konvensional sulit dilakukan adalah *wire-EDM*. *Wire-EDM* menggunakan elektroda sebagai pahat potong yang menghasilkan serangkaian loncatan bunga api listrik berfrekuensi tinggi.

Proses *wire-EDM* akan menghasilkan lapisan *recast* yang tidak bisa dihindari, sehingga yang dapat dilakukan adalah membuat lapisan *recast* menjadi setipis mungkin dalam setiap proses produksi (Bachtiar, 2013). Hal ini membuat permukaan hasil pemotongan tidak sepenuhnya rata. Lapisan *recast* adalah melelehnya bagian benda kerja, kemudian membeku kembali dan membentuk lapisan pada permukaan benda kerja. Lapisan ini terbentuk oleh panas yang dihasilkan kawat saat proses pemotongan berlangsung.

Logam yang biasa digunakan untuk pembuatan *dies* adalah baja karbon SLD. Baja SLD mempunyai sifat yang keras dan tahan panas. Salah satu keunggulan dari proses *EDM* adalah dapat mengerjakan material yang keras dengan tingkat ketelitian tinggi, sehingga dalam pengerjaan baja SLD untuk proses permesinan *EDM* diharapkan menghasilkan permukaan yang halus dengan lapisan *recast* yang rendah.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mulyadi dan Suryanto (2016) tentang optimasi hasil proses *wire-EDM* dengan metode *Prinsipal Component Analysis (PCA)* membuktikan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan terhadap

laju pengerjaan bahan atau MRR, waktu pemotongan, lebar pemotongan dan kekasaran permukaan dari parameter *inter pulse* (6 μ s, 9 μ s, 13 μ s), *electric current* (5 Amp, 10 Amp, 15 Amp), *wire speed* (3 mm/s, 5 mm/s, 7 mm/s) dan variabel frekuensi (70 Hz, 75 Hz, 80 Hz). Dari keempat parameter tersebut, pengaturan terbaik yang diperoleh dari optimasi dengan menetapkan *inter pulse* sebesar 9 μ s, *electric current* 10 Amp, *wire speed* 5 mm/s, dan variabel frekuensi 80 Hz.

Penelitian yang dilakukan oleh Bakhtiar (2013) tentang optimasi multirespon proses pemesinan *wire-EDM* pada baja perkakas hss menggunakan metode taguchi dengan meminimalisasi tebal lapisan *recast* serta memaksimalkan laju pengerjaan bahan. Parameter penelitian menggunakan *on time* (0,4 μ s dan 0,8 μ s), *open voltage* (6 V, 8 V), *off time* (12 μ s, 18 μ s) dan *servo voltage* (38 V, 44 V). Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa *on time* sebesar 0,4 μ s, *open voltage* 6 V, dan *servo voltage* 44 V adalah variabel- variabel yang berpengaruh dalam mengurangi lapisan *recast*.

Berdasarkan penelitian Agdianto (2012) dengan judul Kekasaran Permukaan Hasil Pemotongan Baja SKD11 Akibat Variasi Tegangan, *Wire Tension*, dan *Feed Rate* Pada Proses *Wire-EDM* menjelaskan bahwa parameter proses pemotongan pada proses *wire-EDM* yaitu tegangan, *wire tension*, dan *feed rate* berpengaruh pada hasil kekasaran benda kerja. Penelitian tersebut menggunakan level pada setiap faktor masing masing yaitu tegangan 20 V dan 40V, *wire tension* 6 N dan 8 N, sedangkan *feed rate* 2 in/min dan 4 in/min. Kondisi optimal nilai kekasaran dicapai pada tegangan sebesar 40V, *wire tension* 8 N, *feed rate* 4 in/min.

Penelitian ini akan dilakukan dengan optimasi tebal lapisan *recast* pada proses *wire-EDM* berdasarkan variasi *wire speed*, *inter pulse*, *electric current*. Dengan masing-masing level *wire speed* sebesar (5 mm/min, 6 mm/min, 7 mm/min), *inter pulse* (7 μ s, 9 μ s, 11 μ s), *electric current* (8 Amp, 10 Amp, 12 Amp). Proses pemotongan *wire-EDM* diharapkan mampu menghasilkan benda kerja dengan tebal lapisan *recast* yang rendah.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan masalah dalam penelitian yang akan dilakukan yaitu:

1. Bagaimana nilai parameter *wire speed*, *inter pulse*, *electric current* berpengaruh terhadap tebal lapisan *recast* baja SLD pada proses *wire-EDM*?
2. Bagaimana *setting* parameter variasi *wire speed*, *inter pulse*, *electric current* yang tepat agar menghasilkan tebal lapisan *recast* baja SLD pada proses *wire-EDM* serendah mungkin?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang didapat pada penelitian ini ialah:

1. Benda kerja yang digunakan adalah baja SLD.
2. Analisis pengujian data menggunakan metode taguchi.
3. Penelitian tidak membahas tentang komponen dan biaya pada proses *wire-EDM*.
4. Penelitian dibatasi oleh tiga variabel bebas yaitu *wire speed*, *inter pulse*, *electric current*.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang didapat dari rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh nilai parameter *wire speed*, *inter pulse*, *electric current* terhadap tebal lapisan *recast* baja SLD pada proses *wire-EDM*.
2. Untuk mengetahui *setting* parameter yang tepat dari variasi *wire speed*, *inter pulse*, *electric current* agar menghasilkan tebal lapisan *recast* seminimal mungkin pada proses *wire-EDM*.

1.4.2 Manfaat Penelitian

Manfaat diperoleh dari penelitian ini adalah :

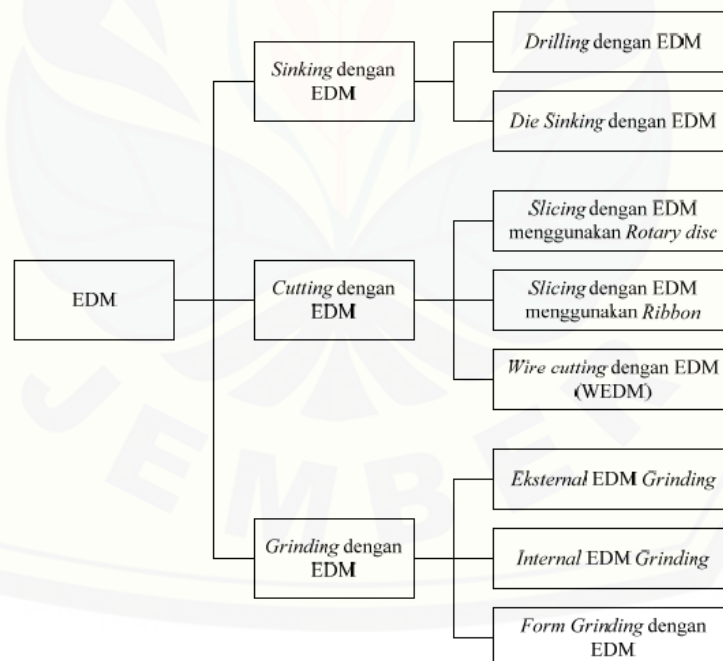
1. Menambah *database* pengaturan parameter proses permesinan *wire-EDM* dalam mengoptimalkan tebal lapisan *recast*.
2. Dapat digunakan sebagai bahan referensi dalam penelitian selanjutnya untuk pengembangan tentang optimasi lapisan *recast* dalam proses *wire-EDM*.
3. Dapat digunakan oleh operator mesin *wire-EDM* sebagai masukan untuk menghasilkan produk dengan tebal lapisan *recast* yang rendah.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Electrical Discharge Machining (EDM)*

Electrical Discharge Machining (EDM) ialah salah satu proses permesinan non konvensional. EDM merupakan proses pemotongan benda kerja dengan memanfaatkan loncatan bunga api listrik melalui elektroda sebagai pahat potong. Panas yang dihasilkan dari loncatan bunga api akan menimbulkan terjadinya pelelehan lokal pada benda kerja dan elektroda, yang akan terbawa oleh cairan dielektrik melalui celah di antara benda kerja dan elektroda (Purnomo, 2015). Dengan memanfaatkan energi *thermal* yang dihasilkan, proses EDM mampu melakukan proses pemotongan benda kerja dengan kekerasan yang sangat tinggi sekalipun.

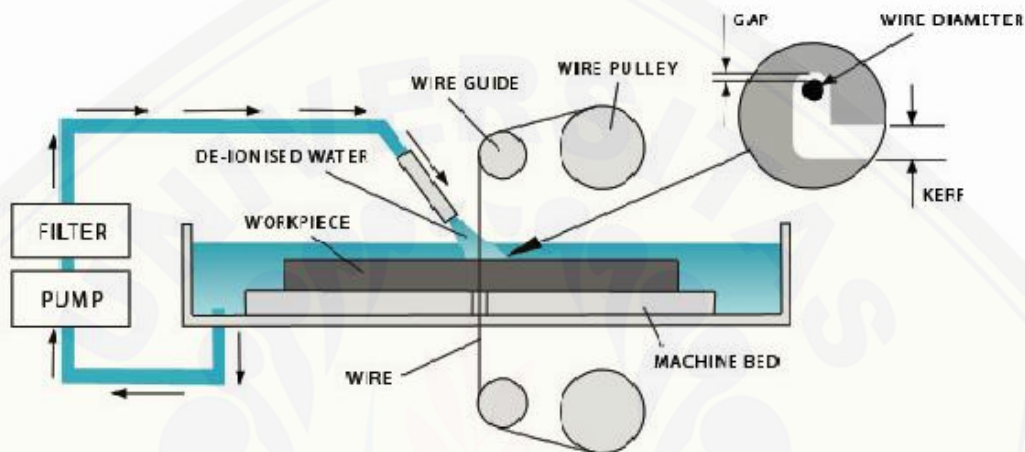
Beberapa jenis permesinan EDM diklasifikasikan pada gambar 2.1 berikut (Pandey, dalam Purnomo, 2015).



Gambar 2.1 Bagan Jenis-jenis Proses EDM

2.2 Wire Electrical Discharge Machining (Wire-EDM)

Proses pemotongan pada *wire*-EDM dikerjakan oleh loncatan bunga api listrik yang dihasilkan oleh elektroda sebagai katoda terhadap benda kerja sebagai anoda (Agdianto, 2012). Loncatan bunga api tersebut terjadi pada beberapa waktu periodik. Prinsip dasar *wire*-EDM dijelaskan dalam gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skema Proses Permesinan WEDM (Nourbakhsh, dalam Purnomo, 2015)

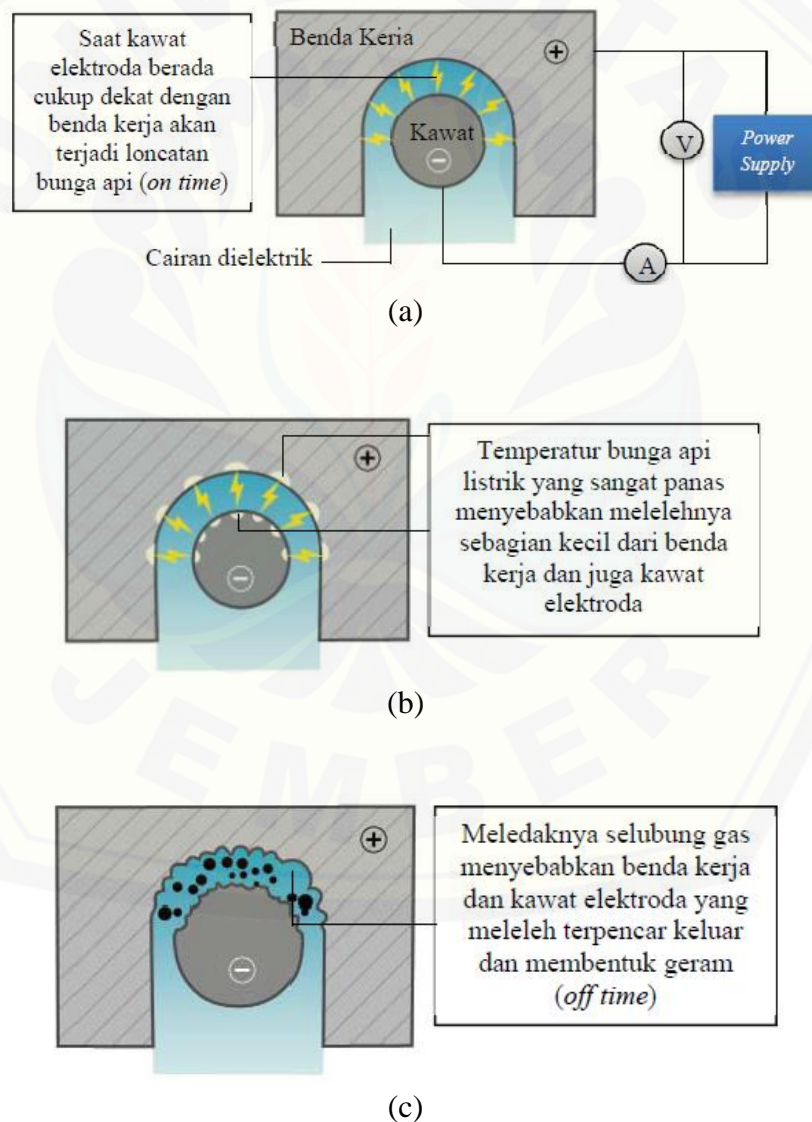
Pada proses WEDM, beda potensial antara elektroda dan benda kerja diisi untuk membentuk bunga api listrik (Purnomo, 2015). Kondisi tersebut tidak ada aliran listrik. Arus listrik timbul karena adanya beda potensial diantara benda kerja dan elektroda yang berakibat pada timbulnya pergerakan ion positif dan elektron terhadap kutub yang berlawanan. Hal tersebut membentuk saluran ion yang bersifat konduktif.

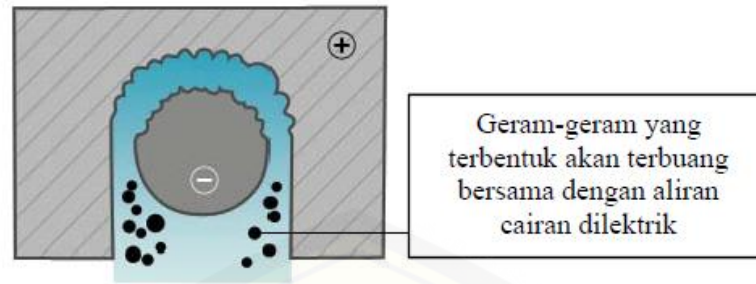
2.2.1 Prinsip Dasar Wire-EDM

Loncatan bunga api listrik dengan energi yang tinggi akan mengenai benda kerja secara berulang-ulang, sehingga menyebabkan terjadinya perubahan energi listrik menjadi energi panas (Wihardi, 2016). Energi panas yang dihasilkan mencapai suhu 8.000°C sampai dengan 12.000°C . Pada suhu tersebut mengakibatkan benda kerja dan elektroda meleleh kemudian menguap (Purnomo, 2015). Penguapan yang terjadi akan menimbulkan gelembung udara yang terus

mengembang sesuai kenaikan suhu yang terjadi. Pada saat *off time*, benda kerja mengalami penurunan suhu dikarenakan loncatan bunga api listrik terhenti. Cairan dielektrik membuat proses penurunan suhu semakin cepat. Pada saat inilah material membeku dengan cepat yang mengakibatkan meledaknya gelembung gas oleh penguapan sehingga meninggalkan kawah-kawah halus pada permukaan. Pembekuan ini dibawa oleh cairan dielektrik (berupa geram) dan pembekuan yang lain akan tertinggal dipermukaan benda kerja membentuk lapisan *recast*.

Penjelasan sederhana mengenai mekanisme proses *wire-EDM* diilustrasikan pada gambar 2.3 berikut:





(d)

Gambar 2.3 Mekanisme proses pemotongan benda kerja pada WEDM: (a) Proses loncatan bunga api dari kawat elektroda ke benda kerja pada saat *on time*, (b) Proses pelelehan benda kerja dan kawat elektroda akibat temperatur bunga api, (c) Proses terbentuknya geram pada saat *off time*, (d) Proses pembuangan geram oleh cairan dielektrik. (Sommer dan Sommer, dalam Purnomo, 2015)

2.2.2 Variabel Pada Proses *Wire*-EDM

a. *Pulse-Width*

Atau bisa disebut juga *on time* yaitu periode terjadinya arus listrik antara elektroda dan benda kerja, semakin kecil nilai *on time* maka waktu terjadinya bunga api listrik semakin kecil pula. Nilai *on time* terbatas oleh nilai *capacitor*, sehingga nilai *on time* yang dimasukkan tidak lebih besar dari nilai *capacitor* (Martowibowo dan Andriansyah, 2007).

b. *Inter-Pulse*

Atau bisa disebut juga *offtime* yaitu periode antara dua pulsa tegangan pengerosian material yang berturutan. Pada tahap ini *capacitor* akan diisi oleh tegangan awal (Martowibowo dan Andriansyah, 2007).

c. *Current*

Atau bisa disebut juga dengan *electric current* ialah variabel untuk menentukan besarnya muatan listrik tiap satuan waktu.

d. *Wire Speed*

Variabel yang digunakan untuk mengatur kecepatan aliran kawat elektroda terhadap benda kerja selama proses permesinan.

e. *Voltage*

Variabel yang mengatur besarnya tegangan antara kawat elektroda dan benda kerja.

f. *Feed Rate*

Variabel yang digunakan untuk menyesuaikan kecepatan pemakanan benda kerja.

2.2.3 Kawat Elektroda

Karakteristik kawat elektroda yang ideal harus memiliki konduktivitas listrik dan kekuatan mekanik yang baik, seperti kekuatan tarik, *elongation*, dan lain-lain (Wihardi, 2016). Menurut Guitrau, kawat-kawat elektroda yang digunakan dalam proses ini ialah (Wihardi, 2016):

a. Elektroda kawat tembaga

Penggunaan kawat tembaga dalam proses WEDM merupakan yang pertama. Awal penggunaan kawat tembaga sangat mudah putus dengan kekuatan tarik rendah dan mudah menyerap panas.

b. Elektroda kawat kuningan

Dibanding elektroda tembaga, elektroda kuningan ini lebih mempunyai kekuatan tarik yang tinggi. Paduan elektroda kuningan ialah tembaga (Cu) dan seng (Zn). Elektroda ini baik untuk proses WEDM karena memiliki presentase seng (Zn) yang tinggi.

c. Elektroda kawat berpelapis

Untuk benda kerja dengan karakteristik tertentu menggunakan kawat elektroda khusus, ialah sebagai berikut:

1) *Zinc coated brass wire*

Zinc coated brass wire cocok digunakan dalam pengerjaan benda kerja yang tebal dan pemotongan dengan kecepatan yang tinggi. Komposisi kawat tersebut terbuat dari kuningan yang dilapisi seng (Zn).

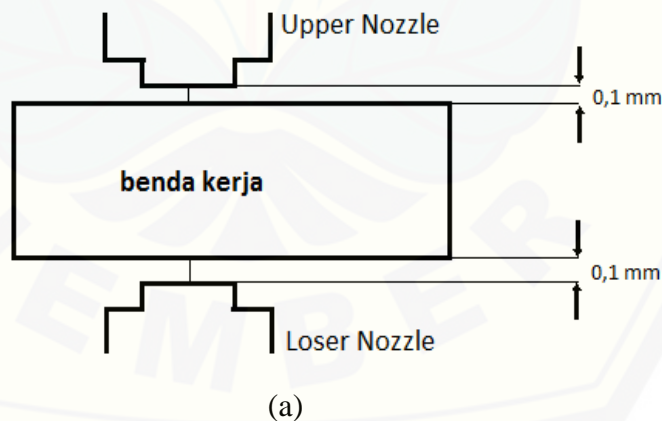
2) *Zinc coated copper wire*

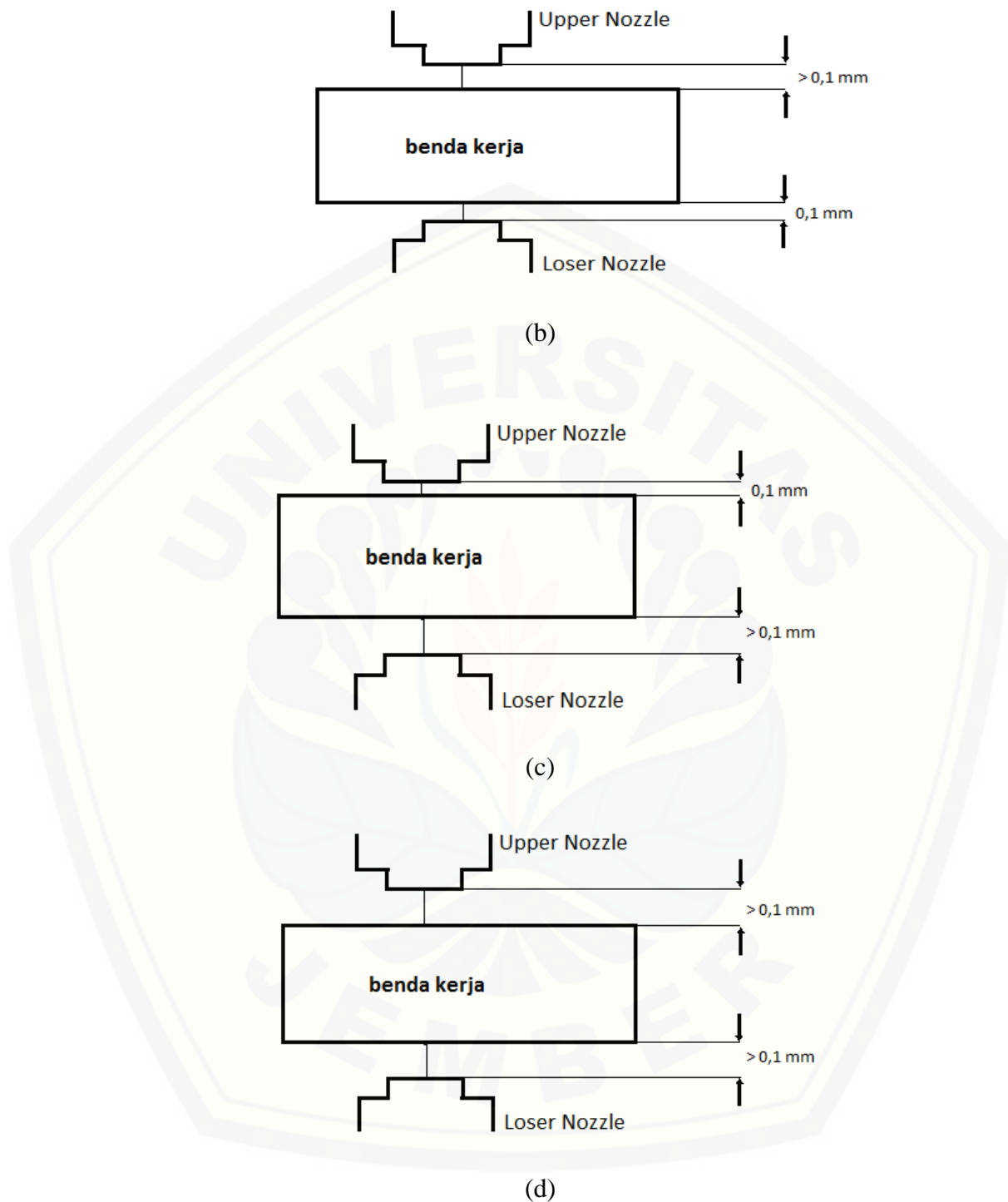
Berbagai jenis material cocok untuk kawat elektroda jenis ini, termasuk karbida. Komposisi dari *Zinc coated copper wire* terbuat dari tembaga (Cu) dengan seng (Zn) dilapisan terluar.

2.2.4 *Flusing* (Pembilasan Geram)

Pada saat pemotongan pada *wire*-EDM, cairan dielektrik berfungsi untuk membawa geram dari celah antara benda kerja dan elektroda yang disebut dengan *Flushing* (Agdianto, 2012). Aliran cairan dielektrik berasal dari dua buah *nozzle* yang berada diantara (atas dan bawah) benda kerja (Purnomo, 2015). Penimbunan geram akan terjadi apabila proses *flushing* tidak sempurna. Penimbunan geram juga akan berakibat pada loncatan bunga api listrik yang tidak beraturan sehingga merusak elektroda dan benda kerja.

Metode pembilasan geram ada 4, yaitu *close contact machining*, *one side (upper) open clearance machining*, *one side (bottom) open clearance machining*, dan *open contact machining* (Wihardi, 2016). Metode pembilasan tersebut ditunjukkan pada gambar 2.4 berikut (Agdianto, 2012):





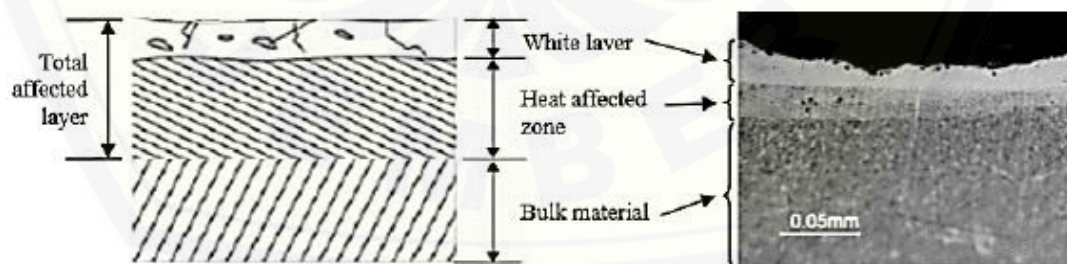
Gambar 2.4 Metode *flushing* Wire-EDM (a) *Close contact machining*, (b) *One side (upper) open clearance machining*, (c) *One side (bottom) open clearance machining*, (d) *Open contact machining*

Metode *open contact machining* sangat dianjurkan untuk memperoleh hasil pemotongan yang halus serta kepresisian yang tinggi. Metode tersebut dapat menghasilkan kekasaran permukaan rendah hingga $0,32 \mu\text{m}$ (Wihardi, 2016). Namun untuk ketebalan benda kerja diatas 70 mm tidak dianjurkan menggunakan metode ini.

2.3 Lapisan Recast

Lapisan *recast* merupakan melelehnya material induk oleh panas yang dihasilkan pada saat pemotongan yang membeku kembali dan membentuk lapisan baru dari material induk. Lapisan *recast* adalah terbentuknya lapisan putih pada permukaan benda kerja yang diakibatkan oleh panas dari loncatan bunga api listrik (Purnomo, 2015). Pengaturan parameter sangat penting guna meminimalkan ketebalan lapisan *recast* karena lapisan *recast* tidak dapat dihilangkan.

Proses permesinan *wire-EDM* membuat kekerasan permukaan tidak lagi homogen karena proses panas yang dihasilkan. Ketidak homogenan terjadi karena terbentuknya tiga lapisan baru dengan karakteristik yang berbeda-beda pada benda kerja (Purnomo, 2015). Ketiga lapisan tersebut ialah lapisan *recast* atau *white layer*, *heat affected zone* (HAZ), *bulk material* atau material induk. Berikut ini adalah gambar lapisan permukaan benda kerja pada proses *wire-EDM* :



Gambar 2.5 Lapisan permukaan benda kerja pada proses WEDM (Zeilmann dkk., dalam Purnomo, 2015)

2.4 Uji Asumsi Residual

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

a. Identik

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

b. Terdistribusi normal

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

c. Independent

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

2.5 Desain Eksperimen

2.5.1 Metode Taghuci

Pada tahun 1940, Dr. Genichi Taguchi ingin membuat produk yang berkualitas dengan menekan biaya seminimal mungkin dengan memperkenalkan metode baru di bidang teknik yaitu metode taguchi (Wihardi, 2016). Faktor gangguan (*noise*) yang terdapat pada perlengkapan manufaktur, material, tenaga kerja manusia serta kondisi operasional dibuat agar tidak sensitif dalam mencapai target pada metode tersebut (Sudjanto, 2009). Metode taguchi menjadikan proses dalam menghasilkan produk memiliki sifat *robust* terhadap faktor *noise*. Oleh karena itu, metode taguchi disebut dengan *robust design* (Purnomo, 2015). Beberapa tahapan dalam metode taguchi (Soejanto, 2009):

a. Tahap Perencanaan Eksperimen

Perencanaan eksperimen dimulai dari perumusan masalah, menentukan tujuan eksperimen, variabel terikat, variabel bebas, pemisahan faktor kontrol dan faktor gangguan, menentukan jumlah level untuk setiap level faktor, kolom interaksi, derajat kebebasan, dan ortogonal array.

1) Perumusan Masalah

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

2) Tujuan Eksperimen

Tujuan eksperimen ialah jawaban yang terdapat dari rumusan masalah yang dihasilkan.

3) Penentuan Variabel Tak Bebas

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

i. Karakteristik dapat diukur

Hasil pengukuran yang diamati diukur dengan skala kontinyu.

ii. Karakteristik atribut

Hasil pengukuran yang diamati diklasifikasikan dan diukur secara kelompok, bukan dengan skala kontinyu.

iii. Karakteristik dinamik

Proses pengukuran yang diamati ialah *output* yang digambarkan sebagai hasil dari *signal*.

4) Identifikasi Faktor (Variabel Bebas)

Nilai variabel bebas tidak tergantung oleh nilai variabel lain. Penentuan dari variabel bebas dan level dari masing–masing variabel penting untuk mengetahui pengaruh terhadap variabel tak bebas. Tidak semua variabel bebas dalam eksperimen diteliti, melainkan variabel tertentu saja.

5) Faktor Kontrol Dan Faktor Gangguan

Faktor kontrol dalam metode ini ialah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan sedangkan faktor gangguan nilainya tidak dapat diatur atau tidak dapat dikendalikan.

6) Penentuan Jumlah Level Dan Nilai Level Faktor

Pemilihan jumlah level faktor untuk ketelitian hasil respon yang diamati dan biaya pelaksanaan eksperimen.

7) Derajat Kebebasan

Perhitungan jumlah minimum eksperimen yang akan dilakukan untuk respon yang akan diamati.

8) Matriks Ortogonal

Pemilihan matriks ortogonal tergantung pada nilai faktor dan interaksi yang diharapkan dan nilai level dari tiap faktor. Hal tersebut untuk menentukan jenis matriks ortogonal yang dipilih. Bentuk matriks ortogonal ialah sebagai berikut:

$$L_a (b^c) \tag{2.1}$$

dengan:

L = rancangan bujur sangkar latin

a = Jumlah eksperimen

b = Jumlah level variabel bebas

c = Jumlah variabel bebas

Salah satu contoh standar matriks ortogonal ialah matriks ortogonal L₉ (3³). Rancangan matriks ortogonal L₉ (3³) terdapat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Matriks ortogonal L9 (3^3)

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

b. Tahap Pelaksanaan Eksperimen

Tahap ini menentukan jumlah replikasi dari setiap percobaan serta randomisasi dalam pelaksanaan eksperimen.

1) Jumlah Replikasi

Replikasi ialah pengulangan dari suatu eksperimen dengan kombinasi yang sama untuk memperoleh ketelitian yang tinggi, dengan tujuan untuk mengurangi tingkat *error* dan memperoleh harga *error*.

2) Randomisasi

Dalam eksperimen ada juga faktor lain yang tidak diinginkan atau tidak terkendali yang mempengaruhi hasil eksperimen. Faktor tersebut diperkecil dengan menyebarkan level faktor melalui randomisasi percobaan yang berurutan. Faktor-faktor yang tidak bisa dikendalikan, diratakan sebagai tujuan dari randomisasi dan diharapkan kesetaraan pengaruh dari setiap eksperimen untuk mendapatkan hasil pengamatan. Randomisasi menjadikan uji signifikan dari uji replikasi menjadi valid.

c. Tahap Analisa

Tahap analisa yaitu meliputi pengumpulan data dari hasil eksperimen, pengaturan data, perhitungan data eksperimen serta penyajian data dalam suatu tabel. Selain itu dilakukan perhitungan dengan statistik pada data hasil percobaan.

1) Analisis Varians Taguchi

Analisis varian digunakan sebagai teknik untuk menganalisis data dalam perencanaan eksperimen dengan metode statistik. Seluruh bagian-bagian yang diteliti diuraikan dalam analisis tersebut. Identifikasi kontribusi dalam setiap faktor untuk memperoleh model yang ditentukan. Perhitungan dalam jumlah kuadrat masing-masing kolom dilakukan untuk suatu matrik ortogonal. Analisis yang digunakan ialah analisis varians dua arah karena data eksperimen yang terdiri lebih dari dua faktor dan lebih dari dua level yang digunakan untuk menganalisis data. Berikut ialah tabel dari analisis varian:

Tabel 2.2 Tabel analisis Varian (Walpole dkk, 2012)

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

Dengan:

SS = *Sum of Square* (jumlah respon kuadrat)

MS = *Mean of Square* (kuadrat rata-rata tengah)

kA = jumlah level untuk variabel A

kB = jumlah level untuk variabel B

kC = jumlah level untuk variabel C

nA = jumlah replikasi variabel A

nB = jumlah replikasi variabel B

n_C = jumlah replikasi variabel C

\bar{y} = rata-rata respon total

N = jumlah percobaan

2) Uji F

Masing-masing faktor dan variansi *error* dibandingkan untuk memperoleh F_{hitung} . Variansi *error* adalah variasi gangguan setiap pengamatan yang timbul karena faktor tersebut tidak dapat dikendalikan.

Dalam hal ini:

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

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

Hipotesa dalam percobaan adalah:

H_0 : tidak ada pengaruh variabel terhadap respon, $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_i = \mu_k$

H_1 : adanya pengaruh variabel terhadap respon, sehingga ada sedikit satu μ_1 yang tidak sama.

Jika hasil nilai F_{hitung} lebih kecil nilai F_{tabel} , maka hipotesa (H_0) berarti tidak ada pengaruh atau diterima. Namun apabila nilai F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel} maka hipotesa (H_0) ditolak dan berarti ada pengaruh.

3) Rasio S/N

Untuk memilih variabel yang memiliki kontribusi dalam suatu respon yang diamati menggunakan rasio S/N (*signal to noise ratio*). Rasio S/N dapat mengetahui faktor yang berpengaruh pada hasil eksperimen atau tidak. Beberapa tipe rasio S/N:

i. Semakin kecil, semakin baik

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

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

Dengan :

N = jumlah data

i = data respon pengukuran

ii. Tertuju pada nilai tertentu

Karakter respon dengan nilai yang sudah ditentukan.

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

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

iii. Semakin besar, semakin baik

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

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

2.5.2 Optimasi Taguchi

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

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

Dimana : Y = pengukuran rata-rata

A, B, C = variabel yang berpengaruh

2.5.3 Interval Kepercayaan

Nilai minimum dan maksimum dari interval kepercayaan diharapkan nilai rata-rata sebenarnya akan mencakup beberapa presentase kepercayaan tertentu (Sudjono, 2009). Ada tiga jenis interval kepercayaan yaitu sebagai berikut :

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

Perkiraan rata-rata proses optimum dalam interval kepercayaan dirumuskan sebagai berikut :

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

Dimana : CI = interval kepercayaan

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

n_{eff} = jumlah pengamatan efektif

$$= \frac{\text{jumlahtotaleksperimen}}{1 + \text{jumlahderajatkebebasan}}$$

n_{eff} dalam persamaan diatas harus mencakup rata-rata proses optimum dalam perhitungan derajat kebebasan dan tidak tergantung level dari setiap faktor. Perkiraan rata-rata proses optimum dalam interval kepercayaan ini adalah :

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

2.5.4 Persen Kontribusi

Fungsi dari kuadrat jumlah (*sum of square*) dari setiap faktor yang signifikan merupakan persen kontribusi (Mayasari dkk, 2014). Besarnya kontribusi dalam setiap masing-masing faktor yang diamati terhadap respon dapat diketahui dengan menghitung *pure sum of square* (SS').

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

Selanjutnya persen kontribusi dihitung menggunakan rumus:

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

Dimana :

SS'_A = Jumlah kuadrat murni variabel A

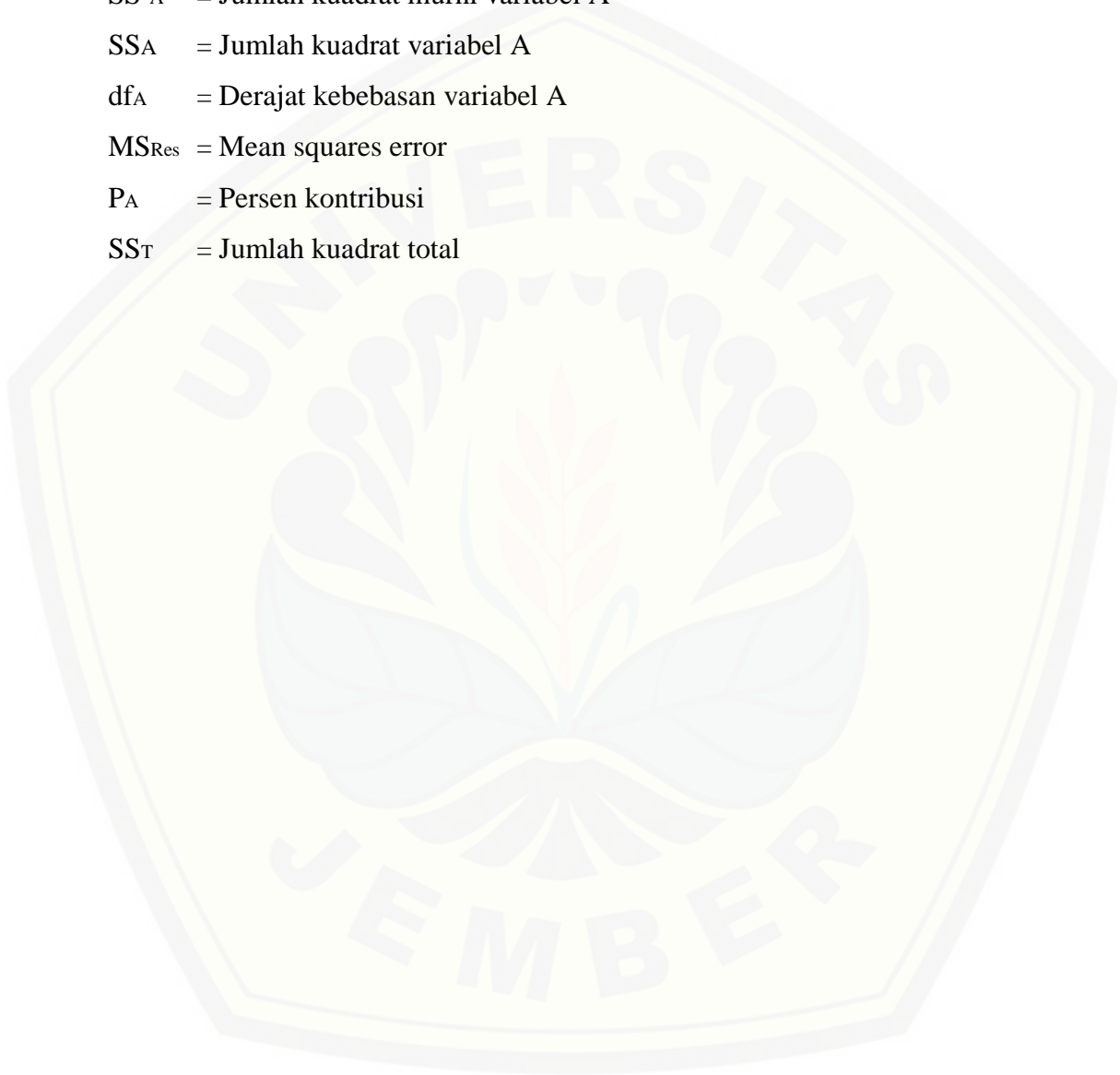
SS_A = Jumlah kuadrat variabel A

df_A = Derajat kebebasan variabel A

MS_{Res} = Mean squares error

P_A = Persen kontribusi

SS_T = Jumlah kuadrat total



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Bulan Juli-Agustus 2018 selama dua minggu. Proses pemotongan besi dilakukan di CV. Catur Pramadya Packindo Sidoarjo kemudian dilanjutkan pengujian di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Jember.

3.2 Variabel Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan meliputi tiga variabel, yaitu variabel bebas, variabel terikat dan variabel konstan.

3.2.1 Variabel Bebas

Variabel bebas atau variabel faktor merupakan variabel yang dapat dikendalikan dan besarnya nilai dapat ditentukan berdasarkan tujuan dari penelitian. Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- a. *Wire speed*
- b. *Inter pulse*
- c. *Electric current*

3.2.2 Variabel Terikat

Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah tebal Lapisan *Recast* (LR).

3.2.3 Variabel Konstan

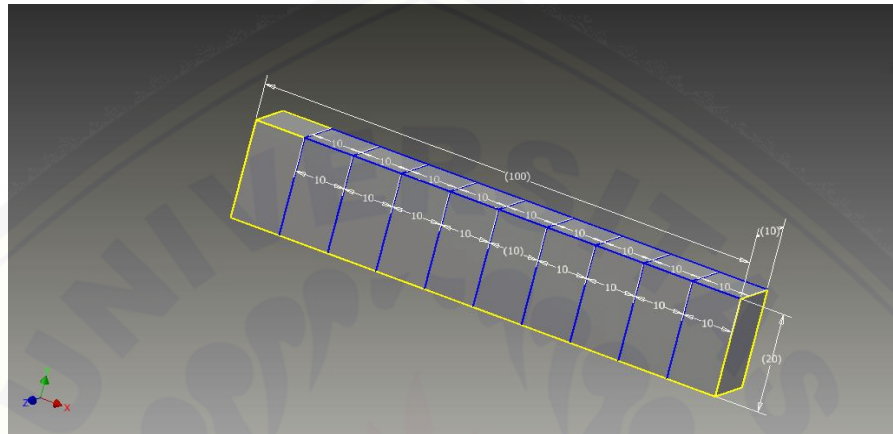
Variabel konstan adalah variabel lain yang tidak diteliti dalam penelitian. Nilai variabel ini dijaga konstan agar tidak berubah selama percobaan, sehingga tidak mempengaruhi variabel respon. Variabel konstan pada penelitian ini adalah:

- a. Variabel frekuensi
- b. *Pulse width*
- c. *Feed rate*

3.3 Bahan dan Peralatan Penelitian

3.3.1 Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan material baja SLD dengan dimensi 100mm x 20mm x 10mm. Kekerasan pada baja SLD adalah 60HRC. Elektroda yang digunakan adalah Molybdenum \varnothing 0,18 mm.



Gambar 3.1 Skema proses pemotongan benda kerja

3.3.2 Peralatan Penelitian

a. Mesin *Wire*-EDM

Mesin yang digunakan adalah mesin wire EDM dengan tipe 4050 T6 H40.

b. Mikroskop optik

Mikroskop optik yang digunakan untuk mengamati dan mengambil gambar lapisan *recast* adalah Olympus BX41M.

3.4 Rancangan Percobaan

3.4.1 Pengaturan Variabel pada Mesin WEDM

Penentuan variabel proses pada eksperimen ini ialah berdasarkan penelitian sebelumnya dan pengalaman operator. Sehingga variabel proses dan masing-masing level yang digunakan terdapat pada tabel 3.1:

Tabel 3.1 Variabel Proses dan Masing-masing Level

No	Variabel Proses	Satuan	Level 1	Level 2	Level 3
1	<i>wire speed</i>	mm/min	5	6	7
2	<i>Inter pulse</i>	μ s	7	9	11
3	<i>Electric current</i>	Amp	8	10	12

3.4.2 Pemilihan Matriks Ortogonal

Matriks ortogonal yang akan digunakan dalam penelitian harus memiliki derajat kebebasan yang sama atau lebih besar daripada total derajat kebebasan variabel-variabel proses yang telah ditetapkan. Derajat kebebasan dari variabel-variabel proses tersebut disajikan pada Tabel sebagai berikut:

Tabel 3.2 Total derajat kebebasan variabel-variabel respon

No	Variabel Proses	Jumlah Level (k)	df = (k-1)
1	<i>wire speed</i>	3	2
2	<i>Inter pulse</i>	3	2
3	<i>Electric current</i>	3	2
Total			6

Matriks ortogonal terdiri dari baris dan kolom. Kolom merupakan faktor yang dapat diubah dalam eksperimen. Tabel 3.2 menunjukkan bahwa total derajat kebebasan adalah enam. Matrik standar untuk eksperimen dengan level 3 adalah $L_9(3^4)$, $L_{18}(2^1, 3^7)$, $L_{27}(3^{13})$, dan $L_{81}(3^{40})$. Maka matriks ortogonal yang sesuai untuk percobaan dengan derajat kebebasan enam, memiliki tiga variabel dan tiga level adalah $L_9(3^3)$. Rancangan percobaan Taguchi matriks ortogonal $L_9(3^3)$ disajikan pada tabel berikut:

Tabel 3.3 Rancangan percobaan Taguchi

Kombinasi	Variabel		
	WS	IP	EC
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

3.5 Langkah-langkah Percobaan

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

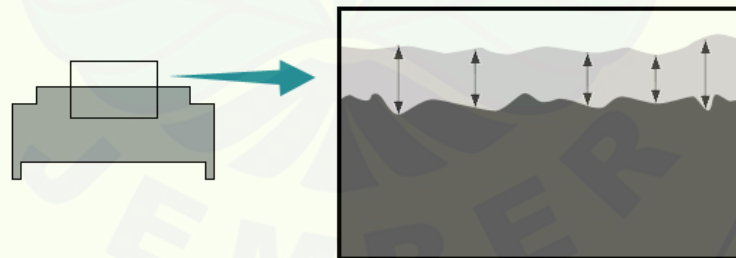
- a. Menyiapkan benda kerja SLD, meliputi pemotongan dengan penyesuaian ukuran benda kerja serta menghaluskan permukaan spesimen. Setelah permukaan rata dan halus, spesimen dibersihkan dari kotoran yang bisa mengganggu proses *Wire-EDM*.
- b. Memasang spesimen pada jig yang tersedia pada mesin *Wire-EDM* dan menjepit bagian spesimen yang tidak mengalami proses pemotongan, kemudian menentukan sumbu referensi pemesinan pada spesimen.
- c. Menyiapkan kawat elektroda terhadap jalur roll-roll yang tersedia pada mesin *Wire-EDM*.
- d. Menyiapkan pengisian cairan dielektrik yang berupa campuran *oint men* dan *dromus*.
- e. Menghidupkan mesin *Wire-EDM*.
- f. Setting parameter pemesinan sesuai dengan rancangan percobaan.
- g. Melaksanakan proses pemotongan berdasarkan setting parameter yang telah ditentukan.

- h. Setelah proses pemotongan selesai, benda kerja dikeluarkan dari mesin kemudian dibersihkan menggunakan solar dan dikeringkan.
- i. Mengamati dan mengambil gambar lapisan *recast* dengan Mikroskop Optik.
- j. Mengukur tebal lapisan *recast* pada foto Mikroskop Optik dengan menggunakan aplikasi *AutoCAD*.

3.6 Pengambilan Data dan Penyajian Data

3.6.1 Pengambilan Data Tebal Lapisan *Recast*

Benda kerja diamati terlebih dahulu dengan menggunakan mikroskop optik. Lapisan *recast* berwarna putih sehingga mudah untuk dikenali. Lapisan tersebut akan terlihat pada monitor dengan 500 kali perbesaran, kemudian gambar tersebut diambil sebanyak satu kali pada masing-masing spesimen dan disimpan. Pengukuran tebal lapisan *recast* dilakukan pada setiap foto yang diambil dari mikroskop optik dengan menggunakan perangkat lunak *AutoCAD*, dengan cara menarik garis ukur antara kedua tepi lapisan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 Pengukuran tebal Lapisan *recast* dilakukan di empat titik yang berbeda. Hasil pengukuran lalu dihitung nilai rata-ratanya, sehingga diperoleh tebal lapisan *recast* untuk masing-masing spesimen.



Gambar 3.2 Skema proses pengukuran tebal LR (Purnomo, 2015)

3.6.2 Penyajian Data

Pengambilan data dari hasil variasi *wire speed*, *inter pulse*, *electric current* dengan respon terhadap tebal lapisan *recast* yang dihasilkan dari setiap hubungan variasi. Pengambilan data tebal lapisan *recast* telah ditentukan dengan tiga kali

pengujian secara acak untuk diambil rata-ratanya. Data yang diperoleh akan ditampilkan dalam tabel berikut:

Tabel 3.4 Penyajian Data Lapisan *Recast*

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

3.7 Karakteristik Respon Optimum

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

$$\text{Kerugian} = k [\text{MSD}] = (k \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n Y_i^2) \quad (3.1)$$

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

$$\begin{aligned} S/N &= 10 \log_{10} [MSD] \\ S/N &= -10 \log_{10} \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right) \\ S/N &= 10 \log_{10} [a^2 + y^{-2}] \end{aligned} \quad (3.2)$$

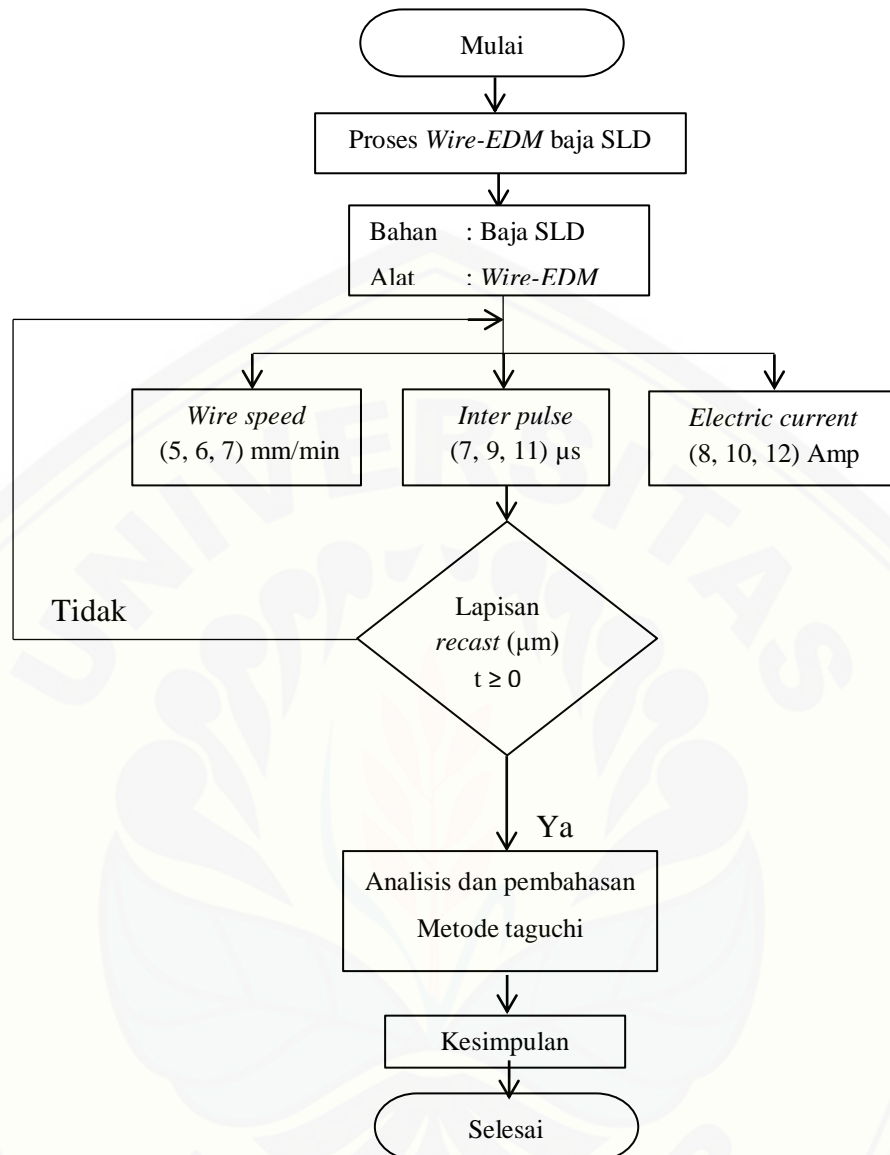
Dengan :

N = jumlah data

i = data respon pengukuran

3.8 Tahapan Penelitian

Langkah-langkah dalam penelitian ditentukan agar penelitian lebih fokus dan terarah pada tujuan. Tahapan yang dilakukan pada penelitian ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 3.3 sebagai berikut:



Gambar 3.3 Diagram alir metode penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini ialah:

- a. Pengaruh masing-masing nilai parameter terhadap hasil respon lapisan *recast* pada proses *wire-EDM* diperoleh *wire speed* dengan 6,97% kontribusi. Faktor *electric current* berpengaruh sangat signifikan dengan 91,37% kontribusi, hal ini terjadi karena proses pelelehan benda kerja oleh loncatan bunga api listrik akan semakin besar jika level yang diatur semakin tinggi. Besarnya pelelehan benda kerja akan dibekukan ulang oleh cairan pendingin sehingga terbentuk lapisan *recast*. Sedangkan *inter pulse* hanya 0,40% kontribusi.
- b. Parameter dengan hasil optimum untuk menghasilkan lapisan *recast* yang rendah diperoleh pada *wire speed* level 2 sebesar 6 mm/min, *inter pulse* level 3 (11 μ s), *electric current* level 1 (8 Amp). Hasil dari kombinasi tersebut menghasilkan nilai lapisan *recast* sebesar 117 μ m.

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan level faktor dengan tingkat yang berbeda dan penggunaan parameter lain seperti *pulse width*, *voltage*, *feed rate* sehingga diharapkan mendapatkan prediksi level yang lebih baik untuk menghasilkan respon yang lebih optimal. Penggunaan respon lain seperti kekasaran permukaan yang berhubungan erat dengan lapisan *recast* pada proses *wire-EDM*, sekaligus metode multi respon sebagai pengolah data guna memperoleh data yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Agdianto, Bastian Dwi. 2012. "Kekasaran Permukaan Hasil Pemotongan Baja SKD-11 Akibat Variasi Tegangan, *Wire Tension*, dan *Feed Rate* Pada Proses *Wire-Edm*". Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember: Universitas Jember.
- Azam, dkk. 2016. *Parameter Analysis of Recast Layer Formation in Wire-cut EDM of HSLA Steel. Int J Adv Manuf Technol* ,87: 713-722.
- Bachtiar & Usman Dinata. 2013. Optimasi Multirespon Proses Pemesinan *Wire-EDM* Pada Baja Perkakas HSS Menggunakan Metode Taguchi. *Jurnal Teknik Mesin*, 21 (1): 19-29.
- Bisono & Dani Irawan. 2017. Analisis Pengaruh Parameter Proses Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses EDM Untuk Material Baja Perkakas dengan Metode Taguchi. *Jurnal Teknik Mesin*, 6 (2):32-37.
- Iriawan, Nur & Septin Puji Astuti 2006. *Mengolah Data Statistik dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*. Yogyakarta: CV Andi Offset.
- Kumar, dkk. 2017. *Multi-Objective Optimization of Wire Electrical Discharge Machining Process Parameters on Inconel 718. Jurnal Proceedings*, 4 (2017) 2137-2146.
- Martowibowo, Sigit Yoewono & Adriansyah. 2007. Optimisasi Proses Pemesinan EDM *Wire Cut* Untuk Modus Gerak Sirkular Menggunakan Algoritma Genetik. *Jurnal Teknik Mesin*, 22 (2): 44-89.
- Mayasari, dkk. 2014. Optimasi Proses Produksi yang Melibatkan Beberapa Faktor dengan Level yang Berbeda Menggunakan Metode Taguchi. *Jurnal Gaussian*, 3 (3): 303-312.
- Mulyadi & Agus Puji Suryanto. 2016. Optimalisasi Hasil Proses *Wire-Cut EDM* Dengan Metode *Principal Component Analysis (PCA)*. *Jurnal Rotor*, 9 (1): 1-6.

Pathya. 2017. Optimasi Multirespon Proses *Wire*-EDM Menggunakan Metode Taguchi Logika Fuzzy. *Jurnal Teknik Mesin*, 1 (1): 2548-3854.

Purnomo, Dhika Aditya. 2015. “Optimasi Multi Respon Pada Proses Pemesinan *Wire Electrical Discharge Machining* (WEDM) Baja Perkakas Buderus 2080 Dengan Menggunakan Metode Taguchi-Grey-Fuzzy”. Tidak Diterbitkan. Tesis. Surabaya : Program Magister Institut Teknologi Sepuluh November.

Soejanto, Irwan. 2009. *Desain Eksperimen Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Walpole, dkk. 2012. *Probability & Statistics for Engineers & Scientists 9th Edition*. Boston: Peaeson Education, Inc.

Wihardi, Prima Ahmad. 2016. “Optimasi Tebal Lapisan *Recast*, Kekasaran Permukaan Dan *Microcrack* Pada Proses Pemesinan *Wire Electrical Discharge Machining* (WEDM) Baja Perkakas SKD 61 Dengan Menggunakan Metode Optimasi *Back-Propagation Neural Network* (BPNN) Dan *Genetic Algorithm* (GA)”. Tidak Diterbitkan. Tesis. Surabaya : Program Magister Institut Teknologi Sepuluh November.

Lampiran A. Perhitungan Minitab

Taguchi Design

Taguchi Orthogonal Array Design

L9(3**3)

Factors: 3
Runs: 9

Columns of L9(3**4) Array

1 2 3

Taguchi Analysis: LR1; LR2; LR3 versus WS; IP; EC

Linear Model Analysis: SN ratios versus WS; IP; EC

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
WS	2	0,34527	0,34527	0,17263	22,98	0,042
IP	2	0,03408	0,03408	0,01704	2,27	0,306
EC	2	4,34691	4,34691	2,17345	289,31	0,003
Residual Error	2	0,01502	0,01502	0,00751		
Total	8	4,74128				

Linear Model Analysis: Means versus WS; IP; EC

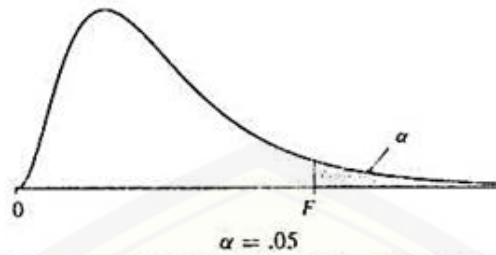
Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
WS	2	86,25	86,25	43,123	57,26	0,017
IP	2	12,54	12,54	6,272	8,33	0,107
EC	2	1006,10	1006,10	503,049	667,98	0,001
Residual Error	2	1,51	1,51	0,753		
Total	8	1106,40				

Response Table for Signal to Noise Ratios
Smaller is better

Level	WS	IP	EC
1	-42,62	-42,50	-41,61
2	-42,21	-42,41	-42,54
3	-42,64	-42,56	-43,31
Delta	0,43	0,15	1,70
Rank	2	3	1

Lampiran B. Tabel distribusi F $\alpha = 0,05$



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

Sumber : Buku “Mengolah Data Statistik dengan Mudah Menggunakan Minitab

Lampiran C. Mesin Wire-EDM 4050 T6 H40



a. Mesin wire-EDM



b. Gambar spesifikasi mesin wire-EDM

Sesifikasi mesin:

Model	: 4050 T6 H40
Taper	: 6
Cutting range	: 400x500x400mm
Number	: 30048
Machine Weight	: 1560 kg
Date	: 2010
Manufactory	: GOLD SAN CNC MACHINECO.,LTD

Lampiran D. Mikroskop Optik Olympus BX41M.



Lampiran E. Benda Kerja SLD



a. Benda kerja sebelum pemotongan



b. Benda kerja setelah pemotongan



c. Benda kerja sebelum uji mikro

Lampiran 7. Tebal Lapisan *Recast* Benda Kerja SLD



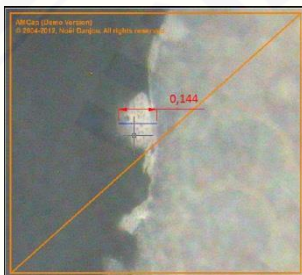
Hasil kombinasi faktor 1



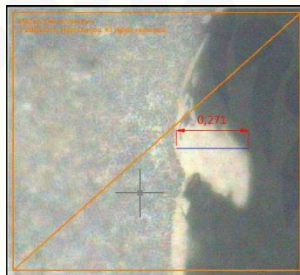
Hasil kombinasi faktor 2



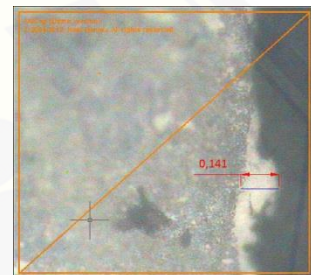
Hasil kombinasi faktor 3



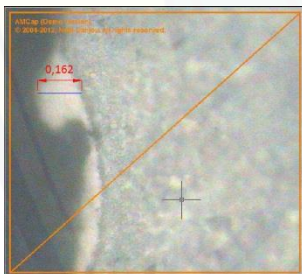
Hasil kombinasi faktor 4



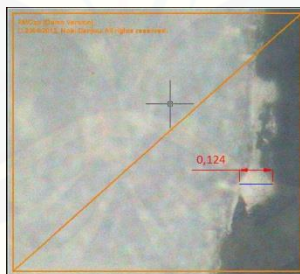
Hasil kombinasi faktor 5



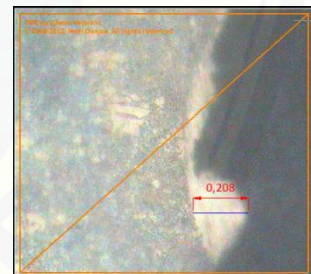
Hasil kombinasi faktor 6



Hasil kombinasi faktor 7



Hasil kombinasi faktor 8



Hasil kombinasi faktor 9

Lampiran G. Sertifikat Benda Kerja SLD

Customer: P. T. STILMETINDO PRIMA

TEST CERTIFICATE

Hitachi Metals, Ltd.
 Yasugi Works
 Materials 2107-2, Yasugi-cho, Yasugi-shi, Shimane-ken
 Magic 692-8601 Japan

HITACHI

ISOTHERM CASE No.: HET DESCRIPTION: HET ROLLED ALLOY TOOL STEEL BAR
 Order No.: 100650279(002) Report No.: 762-2828-20

Material: SLD
 Condition: Annealed

Heat No.: C7737 Date: Mar. 02, 2018 Page: 1/1

Mass (kg): 104
 Our Ref. No.: 69-153-P95D-02

3) Hardness (As Shipped)									
Item	Spec.	TP No.	Result						
Test Piece	MAX248 JBY	231	1						

2) Heat Treatment									
Item	Spec.	TP No.	Result						
Test Piece (HTI)	Q, 1000 C X 15min, AQ								
	T, 150 C X 60min, AC								

4) Microstructure									
Item	Spec.	TP No.	Result						
Evaluation	GOOD	GOOD	GOOD						

5) Microstructure									
Item	Spec.	TP No.	Result						
Evaluation	GOOD	GOOD	GOOD						

6) Decarburization									
Item	Spec.	TP No.	Result						
Evaluation	GOOD	GOOD	GOOD						

7) Hardness After Heat Treatment (HTI)									
Item	Spec.	TP No.	Result						
Test Piece	- HRC		62.4						

Inspection Item	Dimensional Inspection	:GOOD
Visual Inspection	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.

QUALITY ASSURANCE DEPARTMENT

Lampiran H. Tabel Kesetaraan

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
THYFID 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						