



**PENGARUH PARAMETER PROSES EDM *DIE-SINKING*
TERHADAP LAJU PEMBUANGAN MATERIAL DAN
KEAUSAN ELEKTRODA PADA BAJA AISI P20**

SKRIPSI

Oleh

Rizqi Nur Muhammad

NIM 141910101002

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**PENGARUH PARAMETER PROSES EDM *DIE-SINKING*
TERHADAP LAJU PEMBUANGAN MATERIAL DAN
KEAUSAN ELEKTRODA PADA BAJA AISI P20**

SKRIPSI

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

Oleh

Rizqi Nur Muhammad

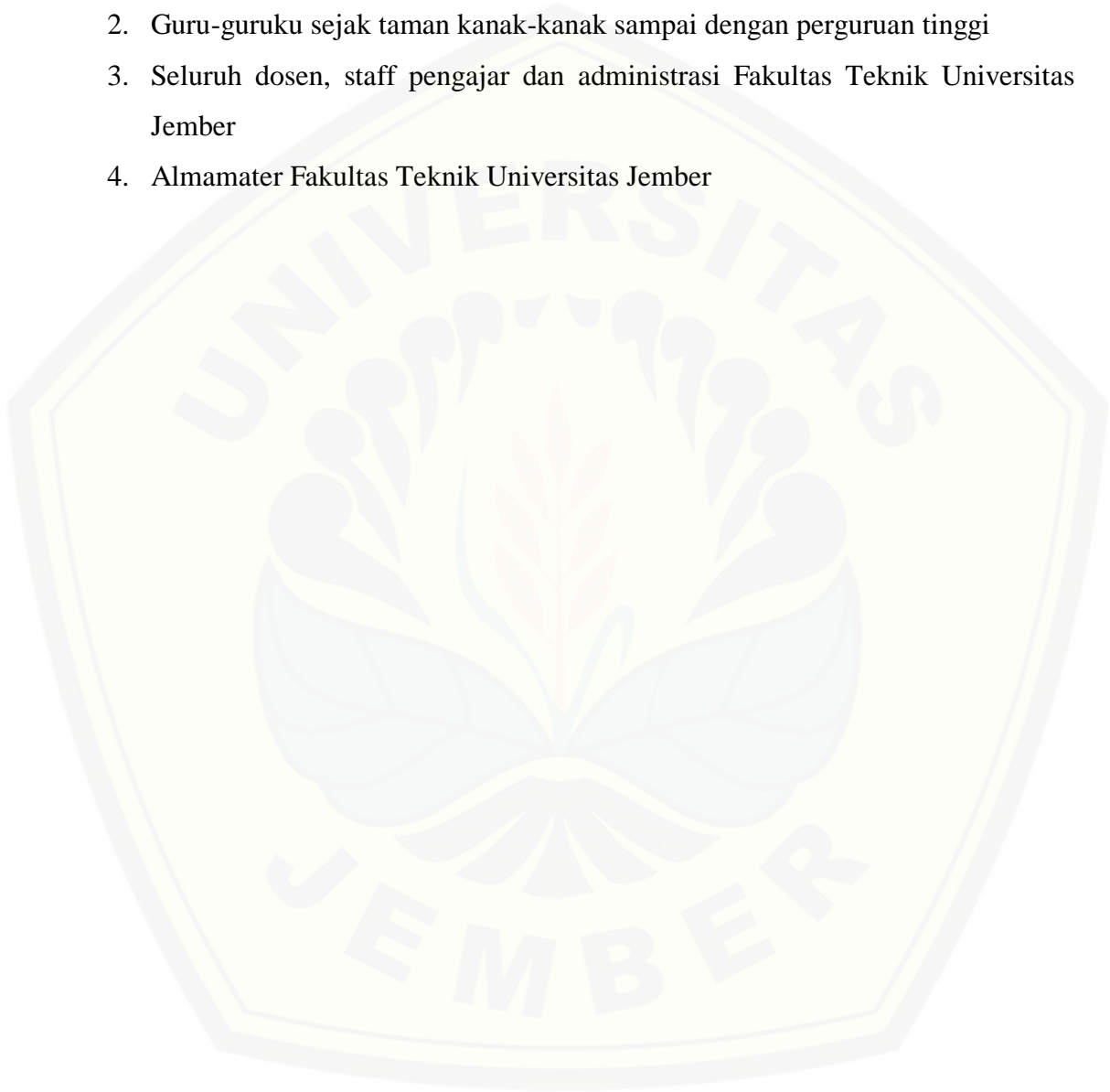
NIM 141910101002

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua almarhum orang tua saya, Ibunda Nurhayati dan Ayahanda Nurhadi
2. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi
3. Seluruh dosen, staff pengajar dan administrasi Fakultas Teknik Universitas Jember
4. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember



MOTTO

“Siapa yang menempuh jalan untuk mencari ilmu maka Allah SWT akan memudahkan baginya jalan menuju surga”

(HR. Muslim, no. 2699)

“Gagal adalah cara manusia menamai hasil yang sesuai kehendaknya, namun tak sesuai kehendak-Nya”

(Sujiwo Tedjo)

“Tuhan tidak menuntut kita untuk sukses. Tuhan hanya menyuruh kita berjuang tanpa henti”

(Muhammad Ainun Nadjib)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rizqi Nur Muhammad

NIM : 141910101002

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Parameter Proses EDM *Die-Sinking* Terhadap Laju Pembuangan Material Dan Keausan Elektroda Pada Baja AISI P20” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 8 Agustus 2018
Yang Menyatakan

Rizqi Nur Muhammad
NIM 141910101002

SKRIPSI

**PENGARUH PARAMETER PROSES EDM *DIE-SINKING*
TERHADAP LAJU PEMBUANGAN MATERIAL DAN KEAUSAN
ELEKTRODA PADA BAJA AISI P20**

Oleh

Rizqi Nur Muhammad

NIM 141910101002

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Santoso Mulyadi, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Ahmad Syuhri, M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Parameter Proses EDM *Die-Sinking* Terhadap Laju Pembuangan Material Dan Keausan Elektroda Pada Baja AISI P20” karya Rizqi Nur Muhammad telah diuji dan disahkan pada :

Hari, tanggal : Rabu, 08 Agustus 2018

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing:

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Santoso Mulyadi, S.T., M.T.
NIP 19700228 199702 1 001

Ir. Ahmad Syuhri, M.T.
NIP 19670123 199702 1 001

Penguji:

Penguji I,

Penguji II,

Dr. Agus Triono, S.T., M.T.
NIP 19700807 200212 1 001

Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.
NIP 19681207 199512 1 002

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

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

RINGKASAN

Pengaruh Parameter Proses EDM *Die-Sinking* Terhadap Laju Pembuangan Material Dan Keausan Elektroda Pada Baja AISI P20; Rizqi Nur Muhammad; 141910101002; 2018; 60 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Manufaktur adalah suatu proses mengolah bahan mentah menjadi sebuah benda jadi yang dapat digunakan melalui proses permesinan. Negara Indonesia merupakan salah satu negara yang banyak menerapkan industri manufaktur. Pada tahun 2016, Indonesia menduduki posisi ke-4 dari 15 negara kontribusi manufaktur terhadap Produk Domestik Bruto (PDB). Data dari Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat bahwa ekspor nonmigas hasil industri pada Januari-November 2017 naik 14,25 persen dibanding periode yang sama tahun 2016. Dari data tersebut menunjukkan bahwa industri manufaktur di Indonesia terus mengalami kenaikan dan akan menjadi lebih berkembang ditahun 2018.

Electrical Discharge Machining (EDM) merupakan proses permesinan non konvensional yang banyak digunakan dalam industri manufaktur. Kelebihan dari mesin EDM dari mesin lainnya adalah membuat bentuk benda yang presisi dengan waktu yang cepat, selain itu EDM juga dapat mengerjakan benda tipis. Mesin EDM dapat dibedakan menjadi tiga jenis sesuai dengan pahatnya yaitu *EDM sinking*, *EDM cutting*, dan *EDM grinding* (Bagiasna, 1987). *EDM sinking* merupakan salah satu jenis EDM yang biasanya digunakan dalam pembuatan cetakan ataupun pembuatan *dies*, sehingga dalam proses pengerjaannya harus diperhatikan kepresisian dan ketelitian suatu produk.

Unit Pelaksana Teknis (UPT) industri logam dan perekayasaan Sidoarjo merupakan salah satu fasilitas pelayanan teknis dari pemerintah yang bergerak dalam bidang permesinan. EDM HSIU FONG tipe ED-252 merupakan salah satu mesin yang terdapat di UPT industri logam dan perekayasaan Sidoarjo. Mesin EDM ini biasanya digunakan untuk penerimaan pesanan cetakan *injection moulding*. *Setting* parameter yang digunakan EDM ini yaitu arus 3,5 ampere, *pulse on time*

800 μ s dan *pulse off time* 4 μ s memiliki nilai laju pembuangan material sebesar 12,65 mm³/menit serta laju keausan elektroda sebesar 0,08 mm³/menit. Oleh karena itu perlu adanya optimasi agar mendapatkan nilai laju pembuangan material dan laju keausan elektroda yang optimum.

Hasil penelitian menunjukkan dari pengolahan data menggunakan perangkat lunak statistik menghasilkan beberapa nilai yang menunjukkan bahwa variabel proses yang berpengaruh terhadap variabel respon laju pembuangan material / *Material Removal Rate* (MRR) dan laju keausan elektroda / *Electrode Wear Rate* (EWR) adalah arus, selanjutnya diikuti oleh *pulse on time* kemudian *pulse off time*. Semakin tinggi nilai arus dan *pulse on time* maka akan menghasilkan nilai laju pembuangan material / (MRR) dan laju keausan elektroda / (EWR) semakin tinggi. Sedangkan nilai *pulse off time* yang tinggi akan menghasilkan nilai laju pembuangan material / (MRR) dan laju keausan elektroda / (EWR) semakin rendah. Hasil *setting* variabel proses berdasarkan *software* perangkat lunak statistik adalah pada arus 3 ampere, *pulse on time* 1000 μ s, dan *pulse off time* 3 μ s akan menghasilkan nilai optimum pada laju pembuangan material / MRR sebesar 15,2875 mm³/menit, lebih baik 17,28 % dari pada hasil *setting* standar pabrik dan laju keausan elektroda / EWR sebesar 0,0557 mm³/menit, lebih baik 37,5 % dari pada hasil *setting* standar pabrik.

SUMMARY

The Effect of EDM Die-Sinking Process Parameters on Material Removal Rate and Electrode Wear on Steel AISI P20; Rizqi Nur Muhammad; 141910101002; 2018; 60 pages; Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Jember.

Manufacturing is a process of processing raw material into a finished object that can be used through the machining process. The country of Indonesia is one of the countries that has many manufacturing industries. In 2016, Indonesia occupied the 4th position of 15 countries manufacturing contribution to Gross Domestic Product (GDP). Data from the Central Bureau of Statistics (BPS) notes that non-oil and gas exports from the industry in January-November 2017 rose 14.25 percent over the same period in 2016. From these data, it shows that the manufacturing industry in Indonesia continues to rise and will become more developed in 2018.

Electrical Discharge Machining (EDM) is a non conventional machining process that is widely used in manufacturing industries. The advantage of EDM machines from other machines is to make precise objects with a fast time, besides that EDM can also work on thin objects. EDM machines can be divided into three types according to the tool, EDM sinking, EDM cutting, and EDM grinding (Bagiasna, 1987). EDM sinking is one type of EDM that is usually used in making molds or making dies, so that in the process of processing must be considered the precision and accuracy of a product.

The metal industry and engineering technical implementation unit of Sidoarjo is one of the technical service facilities of the government which is engaged in machinery. EDM HSIU FONG type ED-252 is one of the machines in the metal industry and engineering technical implementation unit of Sidoarjo. This EDM machine is usually used for receipt of injection molding mold orders. The parameter settings used by EDM are 3.5 amperes, pulse on time 800 μ s and pulse off time 4 μ s which have a material removal rate of 12.65 mm³ / minute and an

electrode wear rate of $0.08 \text{ mm}^3 / \text{minute}$. Therefore it is necessary to have an optimization in order to get the optimum value of the material removal rate and electrode wear rate.

The results of the study show that data processing using statistical software produce several values which indicate that the process variables that influence the response rate of material removal rate (MRR) and electrode wear rate (EWR) wear rate are currents, followed by pulse on time then pulse off time. The higher the current and pulse values on time, the higher the material discharge rate (MRR) and the higher electrode wear rate (EWR). While the high pulse off time value will produce the value of material discharge rate (MRR) and the electrode wear rate / (EWR) will be lower. The results of the process variable settings based on statistical software software are at 3 amperes, pulse on time $1000 \mu\text{s}$, and pulse off time $3 \mu\text{s}$ will produce the optimum value at material removal rate / MRR of $15,2875 \text{ mm}^3 / \text{minute}$, better 17,28 % of the factory default setting results and electrode wear rate / EWR of $0.0557 \text{ mm}^3 / \text{minute}$, 37.5% better than the factory default settings.

PRAKATA

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Parameter Proses EDM *Die-Sinking* Terhadap Laju Pembuangan Material Dan Keausan Elektroda Pada Baja AISI P20”. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Proses penelitian dan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah M, UM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember
2. Bapak Hari Arbiantara, S.T, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember dan Dosen Pembimbing Akademik
3. Bapak Hary Sutjahjono, S.T, M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember
4. Bapak Dr. Salahudin Junus, S.T., M.T., selaku Komisi Bimbingan S1 yang telah membantu penulisan skripsi secara administratif
5. Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota
6. Bapak Dr. Agus Triono, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan bapak Aris Zainul M., S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota
7. Staf dan pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember
8. Teman-teman Teknik Mesin angkatan 2014 yang telah memberikan semangat
9. Teman-teman member Epson L120 yang telah membantu pencetakan
10. Keluarga dan saudara yang telah memberikan dukungan
11. Pimpinan, staf, dan karyawan UPT Industri Logam dan Perakayasaan Sidoarjo yang telah memberikan kesempatan untuk penelitian.

Jember, 08 Agustus 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Hipotesis	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Electrical Discharge Machining (EDM)	6
2.2 EDM Die-Sinking	6
2.3 Prinsip Kerja EDM Die-Sinking	7
2.4 Komponen Dasar EDM	9
2.4.1 Generator	9
2.4.2 Cairan dielektrik	9
2.4.3 Pahat (Elektroda)	10
2.4.4 Pembilasan (<i>Flushing</i>)	11
2.5 Parameter Proses EDM Die-Sinking	11
2.6 Laju Pembuangan Material / <i>Material Removal Rate</i> (MRR)	12
2.7 Laju Keausan Elektroda / <i>Electrode Wear Rate</i> (EWR)	12
2.8 Desain Eksperimen	12
2.8.1 Prinsip Desain Eksperimen	13
2.8.2 Metode Respon Permukaan	13
2.8.3 Pemeriksaan Asumsi Residual	15
2.8.4 Pengujian Kesesuaian Model	16

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	18
3.2 Alat dan Bahan.....	18
3.2.1 Alat Penelitian	18
3.2.2 Bahan.....	20
3.3 Penetapan Variabel Respon, Variabel Proses, dan Level	21
3.4 Tahap Pelaksanaan Percobaan dan Pengolahan Data	22
3.5 Diagram Alir	26
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Data Percobaan	28
4.2 Analisis Data Laju Pembuangan Material / MRR	28
4.2.1 Pengujian Residual	30
4.2.2 Pembentukan Model.....	32
4.2.3 Pengujian Kesesuaian Model	33
4.2.4 Analisis Contour dan Surface Plot	34
4.3 Analisis Data Laju Keausan Elektroda / EWR.....	38
4.3.1 Pengujian Residual	39
4.3.2 Pembentukan Model.....	41
4.3.3 Pengujian Kesesuaian Model	42
4.3.4 Analisis Contour dan Surface Plot	43
4.4 Optimasi Respon	47
4.5 Pembahasan.....	49
4.5.1 Analisis Variabel Proses Terhadap Respon Laju Pembuangan Material / MRR.....	49
4.5.2 Analisis Variabel Proses Terhadap Respon Laju Keausan Elektroda / EWR.....	49
4.5.3 Perbandingan Hasil Pengaturan Variabel Bebas Standar UPT Industri Logam dengan Hasil Penelitian.....	50
4.5.4 Perbandingan Hasil Penelitian dengan Penelitian Sebelumnya	51
BAB 5. PENUTUP.....	52
5.1 Kesimpulan.....	52
5.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN.....	55

DAFTAR TABEL

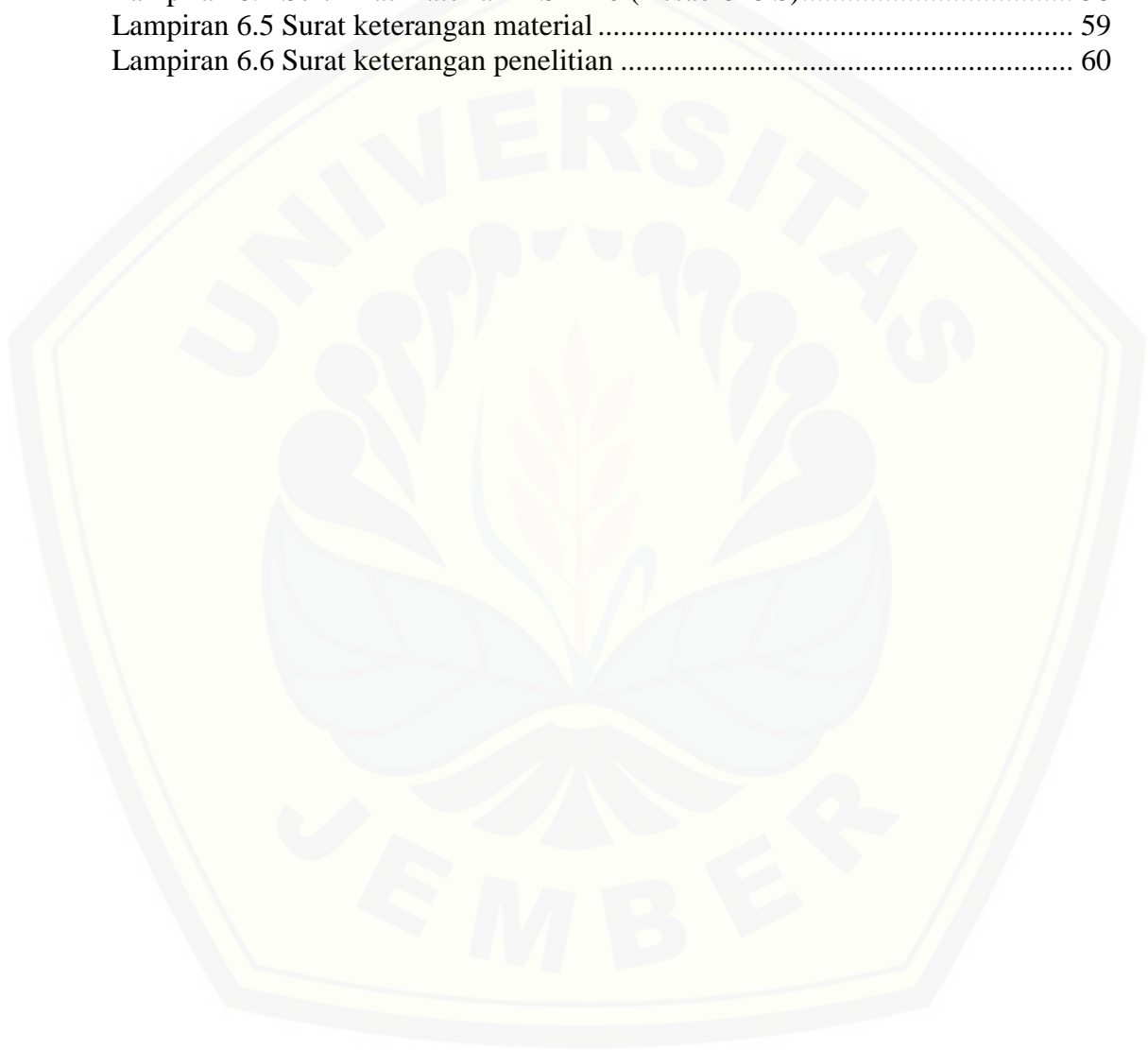
	Halaman
Tabel 2.1 Rancangan Percobaan <i>Box-Behnken Design</i> dengan $k=3$	14
Tabel 3.1 Spesifikasi mesin EDM HSIU FONG tipe ED-252.....	18
Tabel 3.2 Komposisi kimia Baja AISI P20 (Assab 618 S)	20
Tabel 3.3 Level yang digunakan	22
Tabel 3.4 Rancangan percobaan menggunakan <i>Box-Behnken Design</i>	24
Tabel 4.1 Data Hasil Percobaan	28
Tabel 4.2 Hasil Percobaan MRR.....	29
Tabel 4.3 Koefisien regresi untuk MRR	32
Tabel 4.4 Analysis of Variance for MRR	33
Tabel 4.5 Hasil Percobaan EWR.....	38
Tabel 4.6 Koefisien regresi untuk EWR	41
Tabel 4.7 Analisis varian untuk EWR.....	43
Tabel 4.8 Global solution fungsi <i>desirability</i> MRR dan EWR	47
Tabel 4.9 Kombinasi level respon optimal	48
Tabel 4.10 Perbandingan <i>setting</i> standar pabrik dengan penelitian.....	50

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Skema proses EDM <i>die-sinking</i>	7
Gambar 2.2 Pembangkitan tenaga dan arus listrik oleh catu daya.....	8
Gambar 2.3 Proses pelelehan material oleh bunga api listrik	8
Gambar 2.4 Proses pembuangan geram oleh cairan dielektrik bertekanan	9
Gambar 3.1 Mesin EDM HSIU FONG tipe ED-252	19
Gambar 3.2 Neraca digital	19
Gambar 3.3 Benda kerja.....	20
Gambar 3.4 Elektroda	20
Gambar 3.5 Diagram alir.....	27
Gambar 4.1 Plot residual <i>versus fits value</i> pada MRR.....	30
Gambar 4.2 Plot ACF (<i>Auto Correlation Function</i>)	31
Gambar 4.3 <i>Plot probability</i> untuk MRR	32
Gambar 4.4 <i>Pulse on time</i> dan arus terhadap MRR pada <i>pulse off time</i> 3 μ s	35
Gambar 4.5 <i>Pulse off time</i> dan arus terhadap MRR pada <i>pulse on time</i> 600 μ s... ..	36
Gambar 4.6 <i>Pulse off time</i> dan <i>pulse on time</i> terhadap MRR pada arus 3 A.....	37
Gambar 4.7 Plot residual <i>versus fits value</i> pada EWR.....	39
Gambar 4.8 Plot ACF (<i>Auto Correlation Function</i>)	40
Gambar 4.9 <i>Plot probability</i> untuk EWR	41
Gambar 4.10 <i>Pulse on time</i> dan arus terhadap EWR pada <i>pulse off time</i> 3 μ s.....	44
Gambar 4.11 <i>Pulse off time</i> dan arus terhadap EWR pada <i>pulse on time</i> 600 μ s. ..	45
Gambar 4.12 <i>Pulse off time</i> dan <i>pulse on time</i> terhadap EWR pada arus 3 A.....	46
Gambar 4.13 Grafik kombinasi variabel proses menghasilkan respon optimal....	48

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 6.1 Gambar elektroda dan benda kerja	55
Lampiran 6.2 Proses pelaksanaan penelitian	56
Lampiran 6.3 Proses pengerjaan bahan.....	57
Lampiran 6.4 Sertifikat material AISI P20 (Assab 618 S).....	58
Lampiran 6.5 Surat keterangan material	59
Lampiran 6.6 Surat keterangan penelitian	60



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Manufaktur adalah suatu proses mengolah bahan mentah menjadi sebuah benda jadi yang dapat digunakan melalui proses permesinan. Negara Indonesia merupakan salah satu negara yang banyak menerapkan industri manufaktur. Data *United Nations Statistics Division* menunjukkan sektor manufaktur Indonesia memberikan kontribusi bagi pertumbuhan ekonomi negara. Pada tahun 2016, Indonesia menduduki posisi ke-4 dari 15 negara kontribusi manufaktur terhadap Produk Domestik Bruto (PDB). Data dari Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat bahwa ekspor nonmigas hasil industri pada Januari-November 2017 naik 14,25 persen dibanding periode yang sama tahun 2016. Ekspor industri nonmigas tersebut memberikan kontribusi 74,76 persen dari total ekspor nasional pada semester 1/2017. Industri pengolahan nonmigas masih memberikan kontribusi besar terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) nasional pada triwulan III/2017 mencapai 17,76 persen. Dari data tersebut menunjukkan bahwa industri manufaktur di Indonesia terus mengalami kenaikan dan akan menjadi lebih berkembang ditahun 2018.

Electrical Discharge Machining (EDM) merupakan proses permesinan non konvensional yang banyak digunakan dalam industri manufaktur. Data menurut *Global Industry Analysts, Inc.* menunjukkan bahwa kenaikan dalam penggunaan mesin EDM di dunia diprediksi akan bertambah pada kisaran tahun 2016-2024. Kelebihan dari mesin EDM dari mesin lainnya adalah membuat bentuk benda yang presisi dengan waktu yang cepat, selain itu EDM juga dapat mengerjakan benda tipis. Mesin EDM dapat dibedakan menjadi tiga jenis sesuai dengan pahalanya yaitu *EDM sinking*, *EDM cutting*, dan *EDM grinding* (Bagiasna, 1987).

EDM sinking merupakan salah satu jenis EDM yang biasanya digunakan dalam pembuatan cetakan ataupun pembuatan *dies*, sehingga dalam proses pengerjaannya harus diperhatikan kepresisian dan ketelitian suatu produk. Prinsip kerja dari mesin EDM adalah dengan memanfaatkan lompatan bunga api listrik yang terjadi antara benda kerja dengan elektroda (Darsin, 2010). Ada beberapa

parameter dalam permesinan EDM antara lain yaitu arus, *pulse on time*, *pulse off time*, *discharge gap*, tegangan, jenis elektroda dan cairan dielektrik. Keluaran atau *output* dari mesin EDM adalah kekasaran permukaan, keausan elektroda dan laju pembuangan material. Waktu pengerjaan material yang lama juga berpengaruh terhadap waktu pembuatan *dies*. Hal seperti itu harus diminimalkan agar *dies* dapat menghasilkan produk yang diinginkan sesuai dan tepat waktu.

Pada proses pembuatan *dies* dengan mesin EDM agar mendapatkan waktu dan biaya yang minimal, maka perlu memperhatikan laju pembuangan material dan laju keausan elektroda. Hal tersebut dapat dilakukan jika pengaturan parameter yang berpengaruh dilakukan secara tepat. Oleh karena itu perlu penelitian agar permasalahan tersebut dapat dihindari dan dapat menghasilkan *dies* yang diinginkan.

Baja AISI P20 adalah jenis baja yang kegunaannya sangat penting dalam industri manufaktur. Aplikasi baja AISI P20 pada manufaktur yaitu *injection moulds*, *dies* ekstrusi untuk *thermoplastik*, *blow moulds*, *pressbrake dies*, dan *forming tools*. Penerapan baja AISI P20 selain itu juga digunakan bidang teknik lainnya misalnya dalam pipa boiler, saluran uap panas pipa pembangkit listrik tenaga panas bumi, dan saluran pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara (Pamekas, 2017).

Unit Pelaksana Teknis (UPT) industri logam dan perekayasaan Sidoarjo merupakan salah satu fasilitas pelayanan teknis dari pemerintah yang bergerak dalam bidang permesinan. Kegiatan yang dilakukan dalam UPT industri logam dan perekayasaan Sidoarjo antara lain yaitu pelatihan, pelayanan job permesinan, dan pembinaan industri kecil. EDM HSIU FONG tipe ED-252 merupakan salah satu mesin yang terdapat di UPT industri logam dan perekayasaan Sidoarjo. Mesin EDM ini biasanya digunakan untuk penerimaan pesanan cetakan *injection moulding*. *Setting* parameter yang digunakan EDM ini memiliki nilai laju pembuangan material sebesar $12,65 \text{ mm}^3/\text{menit}$ serta laju keausan elektroda sebesar $0,08 \text{ mm}^3/\text{menit}$. Oleh karena itu perlu adanya optimasi agar mendapatkan nilai laju pembuangan material dan laju keausan elektroda yang optimum.

Beberapa penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh variabel pada proses EDM sinking. Londa (2014) melakukan penelitian pengaruh variabel pemotongan terhadap keausan elektroda dan benda kerja K460 (amutit S) pada proses EDM. Penelitian ini menggunakan analisis taguchi. Hasil dari penelitian analisis taguchi menunjukkan untuk variabel *pulse on time*, lama waktu *discharge gap*, *voltage* dan *pulse off time* mempengaruhi laju keausan elektroda. Analisis anova mendukung analisis taguchi baik pada laju keausan elektroda dan laju pembuangan material. Sedangkan analisis regresi linier dengan multi variabel berpengaruh secara individual dari masing-masing variabel pemotongan pada laju keausan elektroda dan laju pembuangan material.

Sultan dkk., (2014) melakukan penelitian dengan judul evaluasi laju pembuangan material, laju keausan elektroda dan kekasaran permukaan pada EDM *die sinking* dengan elektroda berongga menggunakan metode *response surface*. Hasil penelitiannya dari data *Analysis of variance* (ANOVA) adalah parameter yang berpengaruh secara signifikan yaitu arus, *pulse on time*, dan *pulse off time*. Respon yang diteliti yaitu laju pembuangan material, laju keausan elektroda dan kekasaran permukaan terhadap baja EN 353.

Prayogo dkk., (2016) melakukan penelitian optimasi multirespon pada proses EDM sinking baja ST42 dengan menggunakan metode taguchi dan fuzzy logic. Hasil penelitian adalah metode taguchi dan *fuzzy logic* menunjukkan peningkatan performa mesin EDM dengan *multiple performance characteristic*. Sedangkan kontribusi dari variabel proses yang menunjukkan bahwa nilai arus, *pulse off time* dan *pulse on time* berpengaruh terhadap nilai laju pengerjaan material dan meningkatkan *overcut*.

Berdasarkan penelitian sebelumnya mengenai pentingnya nilai yang tinggi laju pembuangan material untuk meningkatkan waktu pembuatan *dies* pada mesin EDM *die-sinking*, sedangkan nilai minimum laju keausan elektroda untuk menjaga akurasi ukuran benda kerja yang dihasilkan. Penelitian ini menganalisis nilai laju pembuangan material dan laju keausan elektroda yang optimum pada mesin EDM dengan parameter berupa arus, *pulse on time*, dan *pulse off time* menggunakan metode *response surface*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan yang dapat diangkat dalam penelitian ini, antara lain :

- a. Bagaimana pengaruh parameter kuat arus, *pulse on time*, dan *pulse off time* pada mesin EDM *die-sinking* terhadap laju pembuangan material benda kerja dan laju keausan elektroda.
- b. Bagaimana mengatur parameter yang tepat agar didapat laju pembuangan material dan laju keausan elektroda pada benda kerja yang menghasilkan nilai yang optimum pada proses EDM *die-sinking*.

1.3 Batasan Masalah

- a. Variabel lain yaitu tegangan, jenis elektroda, dan cairan dielektrik dianggap konstan
- b. Tidak membahas pemrograman mesin EDM
- c. Tidak membahas kekasaran permukaan dan ketelitian
- d. Tidak membahas struktur mikro material baja AISI P20

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

- a. Mengetahui pengaruh dari variabel arus, *pulse on time*, dan *pulse off time* terhadap laju pembuangan material dan laju keausan elektroda pada mesin EDM *die-sinking*.
- b. Membuat pengaturan variabel bebas yaitu arus, *pulse on time*, dan *pulse off time* untuk menghasilkan laju pembuangan material yang maksimum dan laju keausan elektroda yang minimum serta optimum menggunakan metode *response surface*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini yaitu :

- a. Menambah pengetahuan operator tentang pengoperasian *setting* yang tepat pada mesin EDM *die-sinking*.

- b. Mengetahui parameter apa saja yang paling berpengaruh terhadap laju pembuangan material dan laju keausan elektroda.
- c. Dapat digunakan sebagai referensi penelitian yang sama dimasa mendatang.

1.6 Hipotesis

Hipotesis penelitian ini adalah semakin tinggi nilai arus dan nilai *pulse on time* maka laju pembuangan material akan meningkat, hal ini dikarenakan karena saat arus keluar dan *pulse on time* berjalan maka akan terjadi loncatan bunga api antara benda kerja dengan elektroda yang menyebabkan laju pembuangan material meningkat. Sedangkan nilai *pulse off time* yang tinggi akan mengakibatkan nilai laju pembuangan material yang rendah dikarenakan loncatan bunga api menjadi berhenti beberapa saat. Untuk laju keausan elektroda nilai arus dan *pulse on time* yang tinggi akan menyebabkan laju keausan elektroda meningkat, hal ini dikarenakan loncatan bunga api yang terjadi antara elektroda dan benda kerja menyebabkan terjadinya penyusutan atau pengurangan lapisan elektroda akibat nilai arus dan *pulse on time* yang tinggi. Sebaliknya untuk nilai *pulse off time* yang tinggi akan menyebabkan laju keausan elektroda yang rendah, hal ini dikarenakan nilai tinggi *pulse off time* menjadikan terjadinya pemberhentian yang cukup lama saat terjadinya loncatan bunga api sehingga elektroda tidak melakukan pengerjaan terhadap benda kerja.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Electical Discharge Machining (EDM)*

EDM merupakan suatu permesinan dengan lucutan listrik. Proses EDM yaitu adanya loncatan bunga api listrik dalam pengerjaan material yang terjadi akibat celah antara anoda dan katoda secara berkala dalam fluida dielektrik (Darsin, 2010). Material yang mengalami proses EDM akan terkikis secara terus-menerus pada permukaannya oleh pahat. Pengikisan material tersebut juga bisa diatur dengan *mensetting* loncatan bunga api yang terjadi antara pahat dan benda kerja. Pahat pada mesin EDM sebagai katoda sedangkan material yang akan digunakan sebagai anoda.

Mesin EDM dapat dibedakan menjadi tiga jenis sesuai dengan pahatnya yaitu *EDM sinking*, *EDM cutting*, dan *EDM grinding* (Bagiasna, 1987). Mesin EDM mampu mengerjakan benda kerja dengan kekerasan tinggi yang tidak bisa dikerjakan dengan mesin konvensional. Mesin EDM sering digunakan karena mempunyai beberapa keunggulan antara lain :

- a. Mampu mengerjakan bentuk benda kerja yang lebih rumit serta menghasilkan produk yang presisi.
- b. Pahat dan benda kerja tidak saling bersentuhan saat proses pemakanan.
- c. Bentuk kepresisiannya lebih baik daripada mesin konvensional lainnya.

2.2 *EDM Die-Sinking*

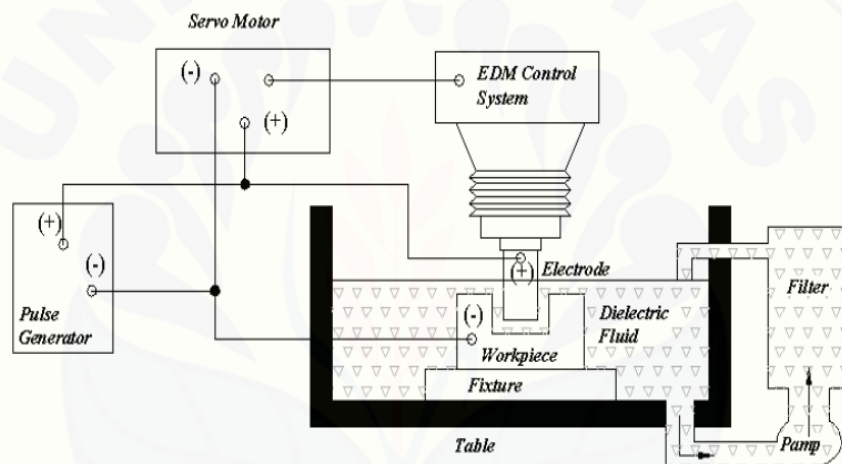
Pada proses permesinan EDM *die-sinking* prinsip kerjanya yaitu untuk membuat cetakan dari sebuah benda kerja yang terkena pengikisan permukaannya oleh loncatan bunga api (Darsin, 2010). Benda kerja dalam proses permesinan EDM *die-sinking* bergerak sesuai sumbu (x-y), sedangkan elektroda melakukan pergerakan pemakanan permukaan benda kerja dengan gerakan ke bawah (z) agar terbentuk suatu cekungan kawah atau *cavity*.

Pada proses EDM juga mempunyai kekurangan yaitu laju pengikisan material benda kerja atau *Material Removal Rate (MRR)* yang lebih lambat dari pada mesin konvensional. Faktor yang mempengaruhi laju pengikisan material

yaitu arus, *pulse* yang besar disetiap muatan, material elektroda, frekuensi muatan, dan material benda kerja.

2.3 Prinsip Kerja EDM *Die-Sinking*

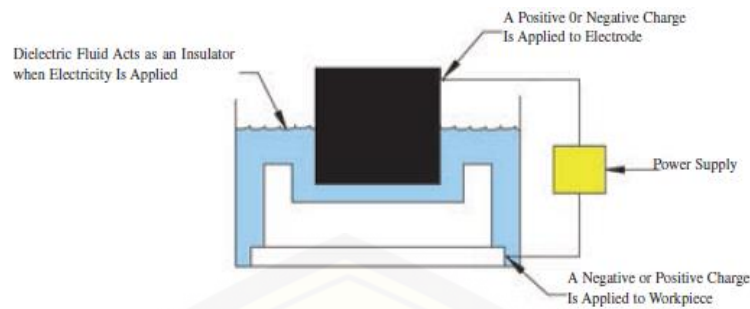
Proses pengerjaan material menggunakan mesin EDM *die-sinking* merupakan suatu proses yaitu terjadinya loncatan bunga api listrik antara celah elektroda dan benda kerja yang terendam di dalam cairan dielektrik. Loncatan bunga api terjadi secara periodik terhadap waktu. Pada proses EDM, pahat dan benda kerja terendam dalam cairan dielektrik. Cairan dielektrik berfungsi sebagai isolator pada proses EDM..



Gambar 2.1 Skema proses EDM *die-sinking* (Harpreet, 2012)

Menurut Darsin (2010) proses EDM agar terjadinya loncatan bunga api listrik adalah sebagai berikut:

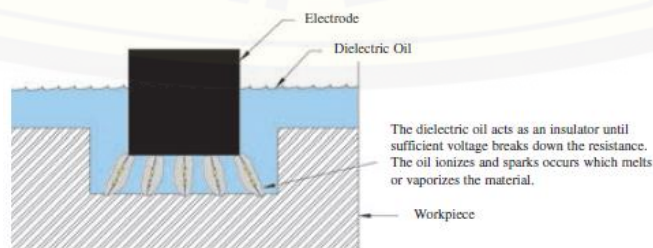
- Jarak antara pahat dan benda kerja akan menghasilkan ion positif karena terkena pengaruh oleh medan listrik. Sedangkan elektron mengalir ke kutub berlawanan. Oleh karena itu saluran ion terbentuk dan bersifat positif konduktif.
- Arus listrik mengalir melalui saluran ion, sehingga terjadi loncatan bunga api listrik.



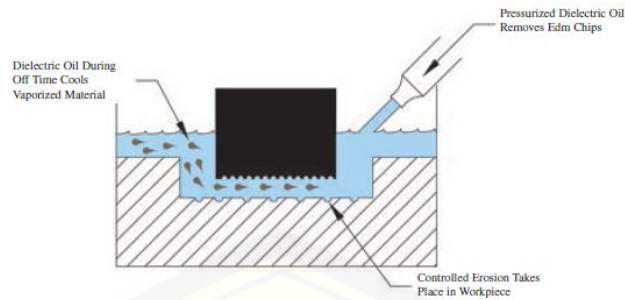
Gambar 2.2 Pembangkitan tenaga dan arus listrik oleh catu daya (Sommer, 2005)

Mekanisme pengerjaan material benda kerja dalam proses EDM dapat diuraikan sebaagai berikut (Darsin, 2010):

- Loncatan elektron akan menumbuk permukaan benda kerja dengan kecepatan tinggi.
- Permukaan benda kerja yang tertumbuk, temperaturnya akan naik sekitar 8000°C – 12000°C dan menjadikan leleh dibagian tersebut. Pada pahat akan terjadi juga pelelehan seperti ini.
- Kenaikan temperatur akan terjadi proses penguapan pada benda kerja, pahat, dan fluida dielektrik.
- Setelah terjadi loncatan bunga api listrik, maka aliran listrik terhenti sehingga menyebabkan penurunan temperatur secara mendadak dan akan mengakibatkan terjadinya gelembung uap yang mengkerutkan bagian material yang meleleh. Lelehan ini akan terpencah dari permukaannya sehingga akan meninggalkan bekas yang berupa kawah-kawah halus.
- Bagian-bagian yang terpencah tersebut secara cepat akan membeku dan membentuk partikel halus yang terbawa oleh aliran fluida dielektrik.



Gambar 2.3 Proses pelelehan material oleh bunga api listrik (Sommer, 2005)



Gambar 2.4 Proses pembuangan geram oleh cairan dielektrik bertekanan (Sommer, 2005)

Proses pengikisan tidak hanya terjadi di permukaan benda kerja, tetapi juga terjadi di permukaan pahat. Pengikisan pada permukaan benda kerja biasa disebut pembuangan material, sedangkan pengikisan pada permukaan pahat menyebabkan keausan pahat.

2.4 Komponen Dasar EDM

2.4.1 Generator

Generator merupakan peralatan listrik yang digunakan untuk menyuplai energi listrik pada mesin EDM yang dibutuhkan diantara pahat (elektroda) dan benda kerja. Alat ini berfungsi untuk mengatur karakteristik proses permesinan yang berlangsung. Ada beberapa macam alat listrik yang dipakai dalam keperluan tersebut, tetapi pada dasarnya semuanya menyediakan energi yang digunakan untuk pengerjaan benda kerja.

2.4.2 Cairan dielektrik

Cairan dielektrik adalah cairan yang digunakan pada proses EDM memiliki fungsi sebagai berikut (Darsin, 2010)

- a. Membawa geram dari proses pengikisan tersebut.
- b. Dalam keadaan terionisasi, cairan dielektrik bersifat konduktor sehingga memungkinkan terjadinya loncatan bunga api listrik.
- c. Sebagai pendingin antara benda kerja dan pahat.

Sedangkan syarat dari cairan dielektrik agar dapat berfungsi pada proses EDM yaitu (Bagiasma, 1987):

- a. Tidak mudah terbakar.
- b. Tidak menghasilkan gelembung-gelembung uap atau gas yang berbahaya bagi operator.
- c. Mempunyai viskositas yang optimum.
- d. Harus memiliki sifat penghantar arus listrik yang baik.

Adapun macam — macam cairan dielektrik yang sering dipergunakan di dalam proses EDM antara lain:

- a. Air (aqua destilata);
- b. Cairan/larutan dengan senyawa karbon
 - 1) Minyak mineral
 - 2) Kerosen/minyak tanah
- c. *Transformator Oil*
- d. *Lector 40*

Pada penelitian ini menggunakan *Lector 40* sebagai cairan dielektriknya.

2.4.3 Pahat (Elektroda)

Pada proses EDM material pahat mempunyai kekerasan yang lebih rendah serta mempunyai konduktivitas listrik yang baik dapat digunakan untuk mengerjakan bahan material yang lebih keras (Darsin, 2010). Secara umum material yang mempunyai sifat konduktif dapat digunakan sebagai elektroda pahat. Pemilihan bahan pahat dalam hal ini harus memiliki sifat titik leleh tinggi serta tahanan listrik rendah. Material yang sering digunakan untuk membuat pahat yaitu (Darsin,2010):

- a. Material pahat dari logam
 - 1) Tembaga
 - 2) Paduan Tembaga
 - 3) Tembaga Wolfram
 - 4) Baja (*steel*)
 - 5) Tungsten
- b. Elektroda bukan logam – grafit

2.4.4 Pembilasan (*Flushing*)

Pembilasan atau flushing adalah mengalirnya fluida dielektrik sebagai sirkulasi diantara benda kerja dan pahat (elektroda). Flushing mempunyai fungsi yaitu untuk membawa geram akibat proses pengikisan benda kerja. yang tepat dari fluida dielektrik yang mengalir pada celah antara elektrode dan benda kerja. fungsi dari metode *flushing* adalah membawa geram yang dihasilkan keluar dari gap agar dapat mempertinggi efisiensi proses pengerjaan material. Akibat yang ditimbulkan apabila pada proses EDM tidak menggunakan *flushing* adalah (Bagiasna, 1987):

- a. Terjadinya hubungan singkat antara pahat (elektrode) dan benda kerja.
- b. Terjadinya busur api listrik yang dapat merusak benda kerja dan pahat.
- c. Loncatan bunga api listrik yang terjadi menjadi tidak teratur atau tidak normal.

2.5 Parameter Proses EDM *Die-Sinking*

a. Arus Listrik

Arus dapat mempengaruhi proses pemakanan benda kerja pada EDM *die-sinking*. Besarnya arus yang diberikan maka energi listrik yang keluar juga akan semakin besar untuk melelehkan permukaan benda kerja. Pada mesin EDM *die-sinking* arus akan dibatasi penggunaannya sesuai dengan benda kerja yang digunakan agar terjadi pelelehan yang sempurna.

b. Waktu Pelepasan (*Pulse On Time*)

Pulse on time adalah waktu terjadi pembebasan arus listrik. Semakin lama waktu *pulse on time* yang diberikan ke benda kerja, maka akan semakin luas daerah yang dilelehkan.

c. Interval time (*Pulse Off Time*)

Pulse off time adalah waktu arus berhenti hanya beberapa saat sebelum *Pulse on time* terjadi lagi atau biasa disebut interval jarak antara waktu *pulse off time*.

2.6 Laju Pembuangan Material / *Material Removal Rate* (MRR)

Laju pembuangan material atau MRR adalah terjadinya kawah akibat pengikisan dari pahat pada permukaan benda kerja. Laju pembuangan material pada proses permesinan EDM tergolong lebih lambat dibandingkan dengan proses permesinan konvensional karena dipengaruhi oleh arus, jenis pahat, *flushing* cairan dielektrik, dan jenis bahan benda kerja. Rumus untuk mencari laju pembuangan material yaitu (Rajasha, 2012):

$$\text{MRR} = \frac{\text{Volume Material Yang Terbuang (mm}^3\text{)}}{\text{Waktu Proses (min)}} \quad (2.1)$$

2.7 Laju Keausan Elektroda / *Electrode Wear Rate* (EWR)

Laju keausan elektroda (EWR) merupakan erosi yang dialami oleh pahat/elektroda dalam proses EDM. Elektroda yang mengalami keausan akan bergantung pada tegangan, arus listrik, *pulse on time*, *pulse off time*, dan titik leleh elektroda tersebut. Keausan elektroda dapat diukur dengan mengukur jumlah massa elektroda yang hilang saat proses permesinan EDM berlangsung atau dihitung melalui jumlah selisih massa awal elektroda dikurangi massa akhir elektroda dalam proses EDM berlangsung. Rumus untuk mencari laju keausan elektroda dapat ditulis sebagai berikut (Pandey, 2015) :

$$\text{EWR} = \frac{\text{Volume Material Yang Terbuang (mm}^3\text{)}}{\text{Waktu Proses (min)}} \quad (2.2)$$

2.8 Desain Eksperimen

Desain eksperimen merupakan rancangan percobaan dengan langkah yang terdefinisi agar mendapatkan informasi yang dibutuhkan sesuai dengan apa yang sedang diteliti, sehingga mendapatkan analisis objektif beserta hasil dan kesimpulan yang sesuai. Desain eksperimen mempunyai tujuan untuk mendapatkan informasi dan mengumpulkan informasi sebanyak mungkin yang berguna dalam sebuah penelitian (Sudjana, 1994).

2.8.1 Prinsip Desain Eksperimen

Untuk dapat mengetahui desain eksperimen maka harus menguasai prinsip-prinsip dasar desain eksperimen tersebut. Prinsip dasar yang sering digunakan antara lain yaitu replikasi, pengacakan, dan kontrol lokal, pengetahuan masing-masing prinsip akan dijelaskan sebagai berikut (Sudjana, 1994).

a. Replikasi

Replikasi adalah perulangan eksperimen dasar, hal ini bertujuan untuk memberi taksiran pada eksperimen untuk menentukan panjang interval konfidens (kepercayaan) yang menghasilkan taksiran akurat dalam kekeliruan pada eksperimen atau dapat menunjukkan taksiran yang lebih baik dari pengaruh faktor.

b. Pengacakan

Pengacakan digunakan untuk membuat hubungan antar kesalahan sekecil mungkin dan untuk menghilangkan bias. Dengan arti lain pengacakan membuat pengujian menjadi berlaku dan kemungkinan bisa menganalisis data dengan asumsi atau anggapan telah terpenuhi tentang independen.

c. Kontrol Lokal

Kontrol lokal adalah suatu bagian dari prinsip desain yang harus dilakukan. Apabila replikasi dan pengacakan memungkinkan berlaku uji keberartian, maka prosedur pengujian dari kontrol lokal menghasilkan kuasa lebih tinggi dan membuat desain yang lebih efisien.

2.8.2 Metode Respon Permukaan

Metode respon permukaan atau RSM (*response surface methodologi*) merupakan suatu metode matematika dan statistik yang bertujuan untuk menganalisis dan memodelkan beberapa pengaruh variabel terhadap respon yang diteliti agar menghasilkan pengoptimalan respon. Metode RSM dalam eksperimen ada dua tahap yaitu eksperimen orde 1 (regeresi linier berganda) adalah tahapan penjarangan faktor dan eksperimen orde 2 (regresi kuadrat berganda) adalah tahapan optimasi. Ada dua desain dalam metode RSM yang dapat digunakan, yaitu (Mountgomery, 1997):

a. *Central Composite Design*

Desain yang digunakan untuk eksperimen sekuensial atau perencanaan desain secara berulang. Suatu desain dengan jumlah faktor yang sama, jumlah eksperimen yang lebih banyak dibanding dengan *box-behnken design*.

b. *Box-Behnken Design*

Desain yang digunakan untuk eksperimen yang tidak sekuensial dan hanya merencanakan satu kali eksperimen. Suatu desain dengan jumlah faktor yang sama, jumlah eksperimen yang lebih sedikit dibanding dengan *Central Composite Design*.

Tabel 2.1 Rancangan Percobaan *Box-Behnken Design* dengan k=3

No.	X ₁	X ₂	X ₃
1	-1	-1	0
2	1	-1	0
3	-1	1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	-1	0	1
7	1	0	-1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	-1	1
11	0	1	-1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

Tahap awal dalam metode respon permukaan yaitu mencari fungsi dari variabel bebas dan variabel respon yang tepat. Model regresi pada umumnya digunakan untuk mengetahui hubungan tersebut. Untuk menentukan model yang sesuai maka harus diperiksa apakah model antar variabel merupakan model linier atau model polinomial. Bentuk persamaan regresi orde pertama pada umumnya dinyatakan sebagai berikut (Montgomery, 1997) :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + e \quad (2.3)$$

Dimana :

Y = Varibel respon

β_0 = Intersep

β_1 = Koefisien parameter model

X_1 = Residual dengan asumsi IIDN $(0, \sigma^2)$

Untuk pendugaan orde pertama yaitu (Montgomery,1997) :

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i \quad (2.4)$$

Dimana:

Y = Nilai Pendugaan

b_0 = konstanta

b_i = taksiran parameter

X_i = variabel bebas

Sedangkan persamaan model orde kedua sebagai berikut (Montgomery,1997):

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2 + \sum \sum_{i<j} b_j X_{ij} X_j + e \quad (2.5)$$

Penduga untuk persamaan model orde kedua sebagai berikut (Montgomery,1997):

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k b_j X_{ij} X_j \quad (2.6)$$

Jika $k=3$ penduga orde kedua menjadi (Montgomery,1997) :

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 \quad (2.7)$$

Dimana :

X_1 = variabel bebas, $i = 1,2,3,\dots,k$

b_0 = konstanta

b_1 = koefisien parameter model

2.8.3 Pemeriksaan Asumsi Residual

Residual diartikan sebagai jumlah selisih antara nilai pengamatan dan nilai dugaan $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$. Pada analisis regresi mengasumsikan residual mempunyai sifat bebas antara satu dengan yang lain mempunyai mean nol, varian yang konstan σ^2 (identik) dan distribusi normal atau $e_i \sim \text{IIDN}(0, \sigma^2)$. Pada saat pendugaan harus diperhatikan asumsi terpenuhi atau tidak. Pemeriksaan asumsi model terpenuhi atau

tidak, untuk pemeriksaan asumsi ada beberapa pengujian antara lain sebagai berikut (Sudjana, 1994):

a. Uji Identik

Pengujian identik ini memiliki tujuan untuk memenuhi apakah residual mempunyai penyebaran yang sama. Cara yang dilakukan dengan pemeriksaan plot e_i terhadap \hat{Y}_i (visual). Apabila dalam penyebaran data acak dan tidak menampakkan pola tertentu maka asumsi identik dapat terpenuhi.

b. Uji Independen

Pengujian independen memiliki fungsi untuk penjaminan bahwa pengamatan dilakukan tidak berurutan sehingga pengamatan tidak ada korelasi (independen). Plot ACF (*Auto Correlation Function*) digunakan untuk pemeriksaan asumsi. Bila residual bersifat independen maka nilai korelasinya pada interval $\pm \frac{2}{\sqrt{n}}$.

c. Uji Distribusi Normal

Pengujian distribusi normal berfungsi untuk menguji residual apakah terdistribusi normal atau tidak dengan menggunakan normal probability plot yaitu probabilitas dari residual satu respon. Jika residual berdistribusi normal maka akan menunjukkan plot garis lurus dari kiri bawah ke kanan atas. *Kolmogrov smirnov normality test* adalah pengujian kenormalan residual, menggunakan hipotesa sebagai berikut:

H_0 : residual berdistribusi normal

H_1 : residual tidak berdistribusi normal

Terima H_0 jika $P_{\text{value}} > \alpha$

2.8.4 Pengujian Kesesuaian Model

a. Koefisien Determinasi (R^2)

Koefisien Determinasi (R^2) merupakan nilai statistik yang digunakan untuk mengetahui adanya pengaruh atau tidak diantara dua variabel. Presentase total pada variasi nilai variabel independen (Y) ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi yang dijelaskan dari hasil persamaan regresi. Nilai koefisien determinasi antara $0 < R^2 < 1$. Nilai R^2 semua variabel X semakin besar

terhadap variabel Y. Nilai R^2 diharapkan mendekati 1 agar mendapatkan model yang baik. R^2 dapat dihitung secara manual dengan rumus sebagai berikut :

$$R^2 = \frac{JKR}{JKT} \cdot 100\% \quad (2.8)$$

b. Pengujian Adanya Peyimpangan (Uji *Lack of Fit*)

Pengujian *lack of fit* diperlukan untuk menentukan ketepatan model. Selain itu pengujian *lack of fit* mempunyai tujuan untuk mengetahui kesesuaian model yang dihasilkan. Pengujian *lack of fit* menggunakan *mean square lack of fit* dan *mean square pure error* dengan bernilai distribusi F.

Hipotesanya :

H_0 = tidak ada *lack of fit* dalam model

H_1 = ada *lack of fit* dalam model

Pengujian statistik yang digunakan adalah (Mountgomery, 1997) :

$$F \text{ rasio} = \frac{MS_{LOF}}{MS_{PE}} \quad (2.9)$$

Tolak H_0 apabila $F_{rasio} > F_{(a;n-k-l-n_\epsilon;n_\epsilon)}$ yang artinya ada ketidaksesuaian (*lack of fit*) antara model diduga dengan model sebenarnya.

c. Pengujian Parameter Serentak

Pengujian parameter serentak menggunakan hipotesis sebagai berikut (Montgomery, 1997) :

H_0 ; $b_1 = b_2 = \dots = b_k = 0$

H_1 : minimal ada satu $b_j \neq 0$; $j = 1, 2, \dots, k$

Pengujian statistik yang digunakan (Montgomery, 1997)

$$F_{hitung} = \frac{MS_R}{MS_E} = \frac{SS_R/k}{SS_E/(N-1-k)} \quad (2.10)$$

Untuk daerah penolakan yaitu tolak H_0 pada tingkat signifikansi α apabila $F_{hitung} > F_{(a;k;n-1-k)}$ secara statistik variabelnya bebas terhadap variabel respon Y yang berubah dalam suatu model. Hipotesanya adalah sebagai berikut;

H_0 : $b_i = 0$

H_1 : $b_i \neq 0$

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di UPT Industri Logam dan Perakayasaan Sidoarjo Jawa Timur pada bulan Mei 2018.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah.

a. Mesin EDM

Mesin EDM yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin EDM HSIU FONG tipe ED-252

Tabel 3.1 Spesifikasi mesin EDM HSIU FONG tipe ED-252

Model	ED-252	Satuan
Ukuran meja	600x300	mm
Sumbu X, Y	300x200	mm
Ukuran tangki kerja	770x510x270	mm
Jarak pemegang elektroda dengan meja benda	150-500	mm
Berat mesin	1060	kgs
Berat maksimal elektroda	60	kgs
Berat maksimal benda kerja	500	kgs
Ukuran pelat pemegang elektroda	600x300x240	mm
Arus maksimum	50	Ampere
Tegangan maksimum	380	V
<i>On time</i> maksimum	1200	μ s
<i>Off time</i> maksimum	12	μ s
Mesin <i>head stroke</i>	200	mm
Dimensi luar	1600x1000x2000	mm



Gambar 3.1 Mesin EDM HSIU FONG tipe ED-252

b. Neraca Analitis.

Neraca ini digunakan untuk menimbang berat benda ataupun berat elektroda



Gambar 3.2 Neraca digital

c. Stop watch

Stop watch digunakan untuk menghitung waktu proses pengerjaan EDM, stop watch ini memiliki ketelitian 0,01 detik.

d. Mesin Bubut

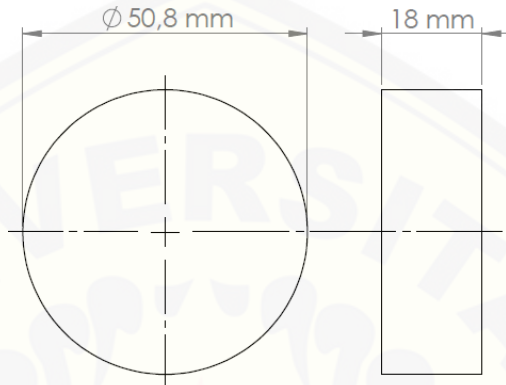
Digunakan untuk membuat bentuk pahat dan meratakan benda kerja.

e. Mikrometer

Digunakan untuk mengukur tebal dan panjang elektroda maupun benda kerja.

3.2.2 Bahan

- a. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja AISI P20 (ASSAB 618 S). Adapun bentuk benda kerja dan komposisi kimia yang dimiliki AISI P20 (ASSAB 618 S) adalah sebagai berikut:



Gambar 3.3 Benda kerja

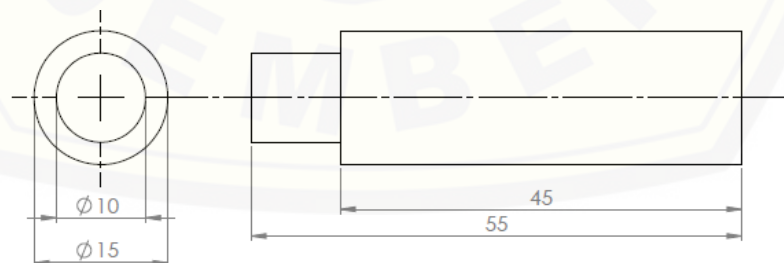
- 1) Komposisi kimia untuk baja AISI P20 (Assab 618 S) terdapat pada tabel 3.1 berikut ;

Tabel 3.2 Komposisi kimia Baja AISI P20 (Assab 618 S)

Komposisi kimia (%)					
C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni
0,37	1,4	0,3	2,0	0,2	1,0

- 2) Massa jenis : $7.8 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$

- b. Elektroda yang digunakan adalah tembaga



Gambar 3.4 Elektroda

Spesifikasinya adalah :

- 1) Titik lebur : 1085 °C
- 2) Massa jenis : $8,9 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$

c. Cairan dielektrik yang digunakan yaitu *lector* 40.

3.3 Penetapan Variabel Respon, Variabel Proses, dan Level

Pada proses permesinan EDM *die-sinking* terdapat banyak variabel proses atau faktor yang berpengaruh proses jalannya permesinan. Ada dua jenis variabel yaitu

a. Variabel Respon (Variabel tidak bebas)

Merupakan salah satu karakteristik kualitas pada produk *dies* yang diamati. Variabel respon yang dipilih adalah laju pembuangan material dan laju keausan elektroda

b. Variabel Proses (Variabel Bebas)

Merupakan variabel yang besar atau kecilnya dapat ditentukan pada penelitian ini tentunya dengan beberapa pertimbangan. Ada banyak variabel dalam proses permesinan EDM *die-sinking*. Akan tetapi pada penelitian ini akan dipilih tiga faktor yang berpengaruh terhadap laju pembuangan material dan laju keausan elektroda. Faktor-faktor tersebut adalah arus, *pulse on time*, dan *pulse off time*.

c. Level yang Digunakan

Pada tahap awal penentuan level ini bertujuan untuk memperoleh level atau batasan dari variabel yang akan diamati. Level ini terdiri dari level bawah dengan kode -1, level menengah dengan kode 0, dan level atas dengan kode +1. Penentuan level tersebut sudah berdasarkan standar yang ada. Untuk penentuan level pada masing-masing parameter yaitu :

1) Penentuan Level Arus

Penentuan level yang diinginkan harus melalui survei dan analisa. Untuk menentukan level arus harus berdasarkan karakteristik benda kerja dan elektroda serta mesin EDM *die-sinking*, selain itu juga berkonsultasi dengan pembimbing lapangan. Nilai level bawah (kode-1) adalah 3 A, level menengah (kode 0) adalah 3,5 A, dan level atas (+1) adalah 4 A.

2) Penentuan Level *Pulse on time*

Penentuan level *pulse on time* berdasarkan karakteristik benda kerja dan elektroda serta mesin EDM *die-sinking*, selain itu juga berkonsultasi dengan pembimbing lapangan. Nilai level bawah (kode -1) adalah 600 μs , level menengah (kode 0) adalah 800 μs , dan level atas (+1) adalah 1000 μs .

3) Penentuan Level *Pulse off time*

Penentuan level *pulse off time* hampir sama dengan metode penentuan nilai level arus dan *pulse on time*. Nilai level bawah (kode -1) adalah 3 μs , level menengah (kode 0) adalah 4 μs , dan level atas (+1) adalah 5 μs .

Untuk penjabaran level yang lebih jelas dari variabel proses tersebut dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut ini

Tabel 3.3 Level yang digunakan

Faktor	Level Bawah	Level Menengah	Level Atas
Kode	-1	0	1
Arus	3	3,5	4
<i>Pulse on time</i>	600	800	1000
<i>Pulse off time</i>	3	4	5

3.4 Tahap Pelaksanaan Percobaan dan Pengolahan Data

Metode dalam pemecahan masalah ini menggunakan desain eksperimen. Metode desain eksperimen dapat disusun beberapa langkah pemecahan masalah secara sistematis. Tahap ini terdiri dari :

a. Penentuan Desain Eksperimen

Tahap ini digunakan sebelum melakukan eksperimen agar percobaan yang dilakukan mendapatkan sasaran yang tepat sesuai yang diinginkan. Tahap ini yaitu sebagai berikut :

- 1) Identifikasi faktor yang berpengaruh
- 2) Penentuan variabel faktor
- 3) Penentuan level faktor
- 4) Perencanaan eksperimen

b. Pelaksanaan Eksperimen

Langkah-langkah pelaksanaan percobaan:

- 1) Mempersiapkan benda kerja dan elektroda serta memulai penghalusan dan perataan permukaan benda kerja dan elektroda. Kemudian pengukuran massa awal maupun dimensi benda kerja dan elektroda.
- 2) Membersihkan benda kerja, kemudian memasang benda kerja pada mesin EDM *die-sinking* serta menguncinya agar tidak bergerak saat pemakanan.
- 3) Memasang elektroda pada *holder* mesin EDM *die-sinking*. memastikan posisi elektroda tegak lurus dengan benda kerja.
- 4) Mengatur elektroda dengan digerakkan ke bawah hingga permukaan benda kerja dan elektroda bersentuhan, kemudian sumbu Z di set nol. Setelah itu mesin EDM *die-sinking* diprogram untuk memakan sedalam 1 mm serta inputkan nilai variabel bebas pada mesin.
- 5) Mengalirkan cairan dielektrik EDM *die-sinking* dan memutar tombol otomatis beserta tombol *on* agar mesin mulai bekerja.
- 6) Mencatat waktu pemakanan mulai terjadinya pemakanan sedalam Z yang pertama hingga mesin berhenti.
- 7) Menunggu mesin otomatis berhenti, tunggu cairan dielektrik dalam EDM *die-sinking* habis kemudian ambil serta bersihkan benda kerja dan elektroda dari cairan dielektrik.
- 8) Mengukur massa benda kerja dan elektroda setelah terjadi proses EDM dengan neraca timbang.
- 9) Mengulangi langkah awal sampai terakhir sesuai dengan jumlah percobaan yang diinginkan.

c. Analisa data

Metode dalam analisa data pada eksperimen ini adalah metode respon permukaan dengan desain eksperimen *Box-Behnken*. Tahapan yang harus dilakukan antara lain yaitu :

- 1) Melakukan pengambilan data.

Dalam eksperimen yang akan digunakan, metode pengambilan data dan kombinasi level berdasarkan rancangan *Box Behnken Design*. *Box Behnken Design* digunakan karena jumlah dari eksperimen yang dilakukan lebih

sedikit sehingga, waktu eksperimen yang dibutuhkan singkat. Rancangan *Box-Bhenken Design* dapat dilihat pada Tabel 3.4

Tabel 3.4 Rancangan percobaan menggunakan *Box-Behnken Design*

No	Arus	Pulse On time	Pulse Off time	Arus (A)	Pulse On time (μ s)	Pulse Offtime (μ s)	MRR (mm ³ /min)	EWR (mm ³ /min)
1	-1	-1	0	3	600	4		
2	1	-1	0	4	600	4		
3	-1	1	0	3	1000	4		
4	1	1	0	4	1000	4		
5	-1	0	-1	3	800	3		
6	1	0	-1	4	800	3		
7	-1	0	1	3	800	5		
8	1	0	1	4	800	5		
9	0	-1	-1	3,5	600	3		
10	0	1	-1	3,5	1000	3		
11	0	-1	1	3,5	600	5		
12	0	1	1	3,5	1000	5		
13	0	0	0	3,5	800	4		
14	0	0	0	3,5	800	4		
15	0	0	0	3,5	800	4		

2) Pembentukan Model

Arti dari pembentukan model ini adalah pembentukan model yang menyatakan adanya hubungan pengaruh dari variabel proses dengan variabel respon yang dapat dibentuk dari nilai koefisien penduga model regresi (model percobaan orde dua). Persamaan untuk model regresi adalah pada persamaan 2.7 yaitu

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3$$

Nilai koefisien dapat didapatkan dengan mengolah data eksperimen menggunakan perangkat lunak statistik sehingga akan mendapatkan nilai koefisien. Nilai koefisien yang sudah didapatkan kemudian dimasukkan kedalam persamaan 2.7.

3) Pengujian model

Pengujian ini menggunakan pengujian asumsi klasik IIDN $(0, a^2)$. Pegujian ini terdiri dari uji identik dan uji distribusi normal. Penjelasan lebih jelasnya sebagai berikut :

a) Uji Identik

Pengujian identik ini memiliki tujuan untuk memenuhi apakah residual mempunyai penyebaran yang sama. Cara yang dilakukan dengan pemeriksaan plot e_i terhadap \hat{Y}_i (visual). Apabila dalam penyebaran data acak dan tidak menampakkan pola tertentu maka asumsi identik dapat terpenuhi.

b) Uji Independen

Pengujian independen memiliki fungsi untuk penjaminan bahwa pengamatan dilakukan tidak berurutan sehingga pengamatan tidak ada korelasi (independen). Plot ACF (*Auto Correlation Function*) digunakan untuk pemeriksaan asumsi. Bila residual bersifat independen maka nilai korelasinya pada interval $\pm \frac{2}{\sqrt{n}}$.

c) Uji Distribusi Normal

Pengujian distribusi normal berfungsi untuk menguji residual apakah terdistribusi normal atau tidak dengan menggunakan *normal probability plot* yaitu probabilitas dari residual satu respon. Jika residual berdistribusi normal

Setelah pengujian asumsi klasik terselesaikan, selanjutnya dilanjutkan pengujian kesesuaian model. Pengujian tersebut yaitu uji determinasi (R^2), uji *lack of fit*, dan uji parameter serentak. Penjelasan lebih jelas sebagai berikut :

a) Koefisien Determinasi (R^2)

Koefisien Determinasi (R^2) merupakan nilai statistik yang digunakan untuk mengetahui adanya pengaruh atau tidak diantara dua variabel. Nilai koefisien determinasi antara $0 < R^2 < 1$. Nilai R^2 semua variabel X semakin besar terhadap variabel Y. Nilai R^2 diharapkan mendekati 1 agar mendapatkan model yang baik. R^2 dapat dihitung secara manual dengan rumus 2.8 sebagai berikut : $R^2 = \frac{JKR}{JKT} \cdot 100\%$

b) Pengujian Adanya Peyimpangan (Uji *Lack of Fit*)

Pengujian *lack of fit* diperlukan untuk menentukan ketepatan model..
 Pengujian *lack of fit* ini menggunakan *mean square lack of fit* dan *mean square pure error* dengan bernilai distribusi F.

Hipotesanya :

H_0 = tidak ada *lack of fit* dalam model

H_1 = ada *lack of fit* dalam model

Pengujian statistik yang digunakan adalah (Moutngomery, 1997):

$$F \text{ rasio} = \frac{MS_{LOF}}{MS_{PE}}$$

Tolak H_0 apabila $F_{rasio} > F_{(a;n-k-l-n_e;n_e)}$ yang artinya ada ketidaksesuaian (*lack of fit*) antara model diduga dengan model sebenarnya.

c) Pengujian Parameter Serentak

Pengujian prameter serentak menggunakan hipotesis sebagai berikut (Montgomery, 1997) :

$$H_0 ; b_1 = b_2 = \dots = b_k = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } b_j \neq 0; j = 1, 2, \dots, k$$

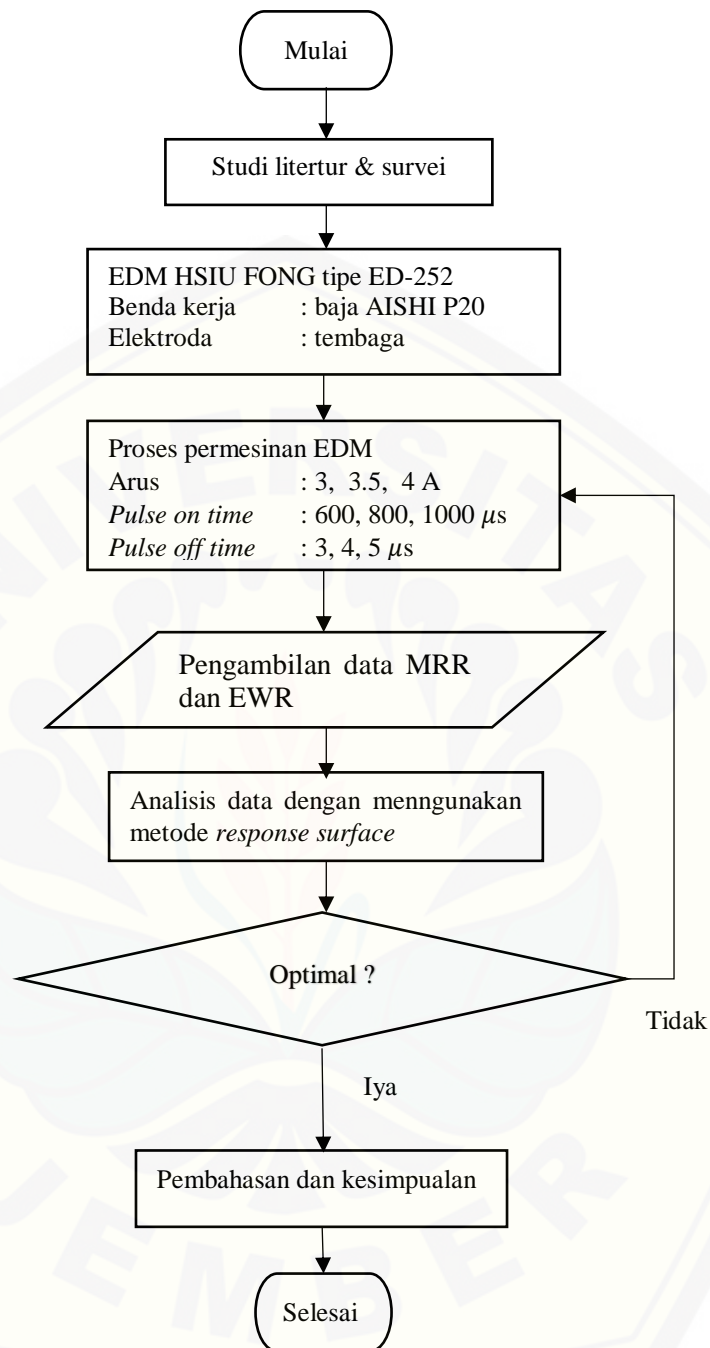
Pengujian statistik yang digunakan (Montgomery, 1997)

$$F_{hitung} = \frac{MS_R}{MS_E} = \frac{SS_R/k}{SS_E/(N-1-k)}$$

Untuk daerah penolakan yaitu tolak H_0 pada tingkat signifikansi α apabila $F_{hitung} > F_{(a;k;n-1-k)}$ secara statistik variabelnya bebas terhadap variabel respon Y yang berubah dalam suatu model.

3.5 Diagram Alir

Tahapan kerja dalam penelitian akan dilakukan sesuai dengan *flowchart* di bawah ini:



Gambar 3.5 Diagram alir

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan yaitu sebagai berikut:

- a. Hasil dari pengolahan data menggunakan metode *response surface* menghasilkan beberapa nilai yang menunjukkan bahwa variabel proses yang berpengaruh terhadap variabel respon laju pembuangan material / *Material Removal Rate* (MRR) dan laju keausan elektroda / *Electrode Wear Rate* (EWR) adalah *pulse on time*, selanjutnya diikuti oleh arus kemudian *pulse off time*. Semakin tinggi nilai arus dan *pulse on time* maka akan menghasilkan nilai laju pembuangan material dan laju keausan elektroda semakin tinggi. Sedangkan nilai *pulse off time* yang tinggi akan menghasilkan nilai laju pembuangan material dan laju keausan elektroda semakin rendah.
- b. Hasil *setting* parameter proses berdasarkan metode *response surface* adalah pada arus 3 ampere, *pulse on time* 1000 μs , dan *pulse off time* 3 μs akan menghasilkan nilai optimum pada laju pembuangan material sebesar 15,2875 mm³/menit dan laju keausan elektroda sebesar 0,0557 mm³/menit.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian, saran yang dapat diberikan yaitu sebagai berikut:

- a. Pengaturan parameter hasil pengolahan data yang optimal diharapkan dapat digunakan pada proses permesinan EDM di UPT Industri Logam dan Perekayasaan Sidoarjo Jawa Timur.
- b. Penelitian selanjutnya agar menggunakan parameter lain misalnya *working time*, *tool lift time*, dll.
- c. Melakukan perulangan yang lebih banyak agar data yang dihasilkan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Bagiasna, K. 1987. *Proses-proses Permesinan Non Konvensional*. Bandung: Departemen Teknik Mesin ITB.
- Darsin, M. 2010. *Proses Pemesinan Nonkonvensional*. Jember: Jember University Press
- Harpreet, S., dan S. Amandeep. 2012. "Effect of Pulse On/Pulse Off Time On Machining Of AISI D3 Die Steel Using Copper And Brass Electrode In EDM", *RESEARCH INVENTY: International Journal of Engineering and Science* 1: 19-22.
- Iriawan, N., dan S, P. Astuti. 2006. *Mengolah Data Statistik Dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*. Yogyakarta: Andi.
- Ismi, A. A. R. 2011. Pengaruh Parameter Proses *Current Pulse, On Time, dan Off Time Electrical Discharge Machining (EDM) Die-sinking* Terhadap Nilai Kekasaran Permukaan Baja AISI H-13. *Skripsi*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Kumar, N., L. Kumar, H. Tewatia, dan R. Yadav. 2012. Comparative Study for MRR on Die-sinking EDM Using Electrode of Copper & Graphite. *International Journal of Advanced Engineering Technology & Engineering Research*. 2(2): 170-174.
- Londa, P. 2016. Pengaruh Variabel Pemotongan Terhadap Kausan Elektroda dan Benda Kerja Pada Proses EDM. *Rotasi*. 16(4): 9–16.
- Montgomery, D. C. 1997. *Design and Analysis of Experiments*. 5th Australia : John Wiley & Sons Inc.
- Niamat, M., S. Sarfrazb, H. Aziza, M. Jahanzaiba, E. Shehabb, W. Ahmada, S. Hussaina. 2017. Effect of Different Dielectrics on Material Removal Rate, Electrode WearRate and Microstructures in EDM. *Procedia CIRP* 60: 2-7.
- Pamekas, T. A. Rd. T. R. 2017. Pengembangan Sifat Mekanik dan Ketangguhan Baja AISI P20 dengan Pelapisan Alumunium Celup Panas. *Skripsi*. Lampung: Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- Pandey, S. N., dan S. Alam. 2015. An Experimental Investigation of Electrode Wear Rate (EWR) on EDM of SS-202 using Different Electrodes. *International Journal of Engineering Research & Technology* 4: 385-392.

Prayogo, G. S., N. Lusi, dan D. R. Pamuji. 2016. Optimasi Multirespon pada Proses EDM Sinking Baja ST 42 dengan menggunakan metode taguchi dan fuzzy logic. *ROTOR*. 9(2): 88-93.

Putra, K. P. 2017. Optimasi Tutup Botol 500 ml Pada Proses Injection Moulding Menggunakan Metode *Response Surface*. *Skripsi*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.

Rajesh, S., A. K. Sharma, and P. Kumar. 2012. "On electro discharge machining of inconel 718 with hollow tool," *Journal of Materials Engineering and Performance*. 21(6): 882–891.

Sommer, C., dan S. Sommer. 2005. *Complete EDM handbook*. Houston: Advance Publishing Inc.

Sudjana. 1994. *Desain dan Analisis Eksperimen*. Edisi III. Bandung :Tarsit

Sultan, T., A. Kumar, dan R. Dev Gupta. 2014. Material Removal Rate, Electrode Wear Rate, and Surface Roughness Evaluation in Die Sinking EDM with Hollow Tool through Response Surface Methodology. *International Journal of Manufacturing Engineering*. 2014: 1-16.

LAMPIRAN

Lampiran 6.1 Gambar elektroda dan benda kerja



Gambar sebelum dibubut



Gambar elektroda setelah dibubut



Gambar benda kerja sebelum dihaluskan (kanan) dan sudah dihaluskan (kiri)



Gambar benda kerja setelah proses EDM

Lampiran 6.2 Proses pelaksanaan penelitian



Gambar proses EDM



Gambar pengukuran massa benda kerja



Gambar pengukuran massa elektroda

Lampiran 6.3 Proses pengerjaan bahan



Gambar proses pembubutan




Gambar *setting* parameter EDM



Gambar *setting* elektroda

Lampiran 6.4 Sertifikat material AISI P20 (Assab 618 S)

ASSAB  PT. ASSAB STEELS INDONESIA

CERTIFICATE

No: 637 / 618 S / 18


Issuing date : 14 - 05 - 2018
Validity : One year upon date of issue
If attached with " Surat Keterangan Material"

This is to certify that **ASSAB 618 S** we supply to **Bpk. Rizki Nur Muhammad** is guaranteed to meet the specifications as mentioned below :


Typical Chemical Analysis :
C 0.37 - Si 0.3 - Mn 1.4 - Cr 2.0 - Ni 1.0 - Mo 0.2

Delivery condition :
Hardened & Tempered to approx. 290-330 HB

Typical Microstructure :



Issued by,



Susanti Dian Pertiwi
Technical Manager

Jl. Rawagelen III No. 5 | Jakarta Industrial Estate Pulogadung | Jakarta Timur | 13930 Indonesia
Ph: +62-21-461 1314 | Fax: +62-21-461 1305 | Email: assab@assabindonesia.co.id

Lampiran 6.5 Surat keterangan material

ASSAB  PT. ASSAB STEELS INDONESIA

SURAT KETERANGAN MATERIAL

No DO : 4281746

Tanggal kirim : 14 - 05 - 2018

Dengan ini menerangkan bahwa material yang dikirim ke **Bpk. Rizki Nur Muhammad** telah **memenuhi spesifikasi** sesuai dengan sertifikat material masing-masing yang berlaku yaitu :

MATERIAL	NOMOR SERTIFIKAT	TANGGAL SERTIFIKAT
ASSAB 618 S	637 / 618 S / 18	14 MEI 2018

Issued by,

Susanti Dian Pertiwi
Technical Manager

Jl. Rawagelam III No. 5 | Jakarta Industrial Estate Pulogedung | Jakarta Timur | 13930 Indonesia
Ph: +62-21-461 1314 | Fax: +62-21-461 1305 | Email: assab@assabindonesia.co.id

Lampiran 6.6 Surat keterangan penelitian



PEMERINTAH PROVINSI JAWA TIMUR
 DINAS PERINDUSTRIAN DAN PERDAGANGAN
UPT INDUSTRI LOGAM DAN PEREKAYASAAN SIDOARJO
 Jl. Raya Trosobo Km 20 Taman
 Telp; (031) 7884333, 7882610, Fax (031) 7875197, E-mail: bptlik@yahoo.com
SIDOARJO 61257.

Nomor : 423.4 / 458 / 125.7.03/2018 Sidoarjo, 08 Juni 2018
 Sifat : Penting
 Lampiran : -
 Perihal : **Penelitian Skripsi**
 Kepada
 Yth. Dekan Fakultas Teknik
 Universitas Jember
 di-

JEMBER

Sehubungan dengan surat Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember, nomor : 1566/UN25.11/EP/2018, tanggal 14 Maret 2018 perihal Ijin Penelitian Skripsi, serta menyusuli surat kami nomor : 423.4/458/125.7.03/2018 tanggal 28 Maret 2018 perihal Ijin Penelitian Skripsi, bersama ini di sampaikan bahwa nama tersebut di bawah ini:

1. Rizqi Nur Muhammad NIM 141910101002
2. Haris Naqihul Adib NIM 141910101050

Telah selesai melakukan penelitian di UPT Industri Logam dan Perekayasaan Sidoarjo, mulai tanggal 08 Mei 2018 s/d 08 Juni 2018.

Selanjutnya kami mohon laporan hasil penelitian mahasiswa tersebut dapat ditembuskan kepada kami sebagai bahan untuk evaluasi kami.

Demikian agar maklum atas perhatian dan kerja samanya disampaikan terima kasih.

KEPALA
 UNIT PELAKSANA TEKNIS
 INDUSTRI LOGAM DAN PEREKAYASAAN
 SIDOARJO

Drs. YANNEDI, MM
 Pembina Tk. I
 NIP. 19630512 198603 1 027

Tembusan

L. Yth Bpk. Kepala Dinas Perindustrian

DAFTAR PUSTAKA

- Bagiasna, K. 1987. *Proses-proses Permesinan Non Konvensional*. Bandung: Departemen Teknik Mesin ITB.
- Darsin, M. 2010. *Proses Pemesinan Nonkonvensional*. Jember: Jember University Press
- Harpreet, S., dan S. Amandeep. 2012. "Effect of Pulse On/Pulse Off Time On Machining Of AISI D3 Die Steel Using Copper And Brass Electrode In EDM", *RESEARCH INVENTY: International Journal of Engineering and Science* 1: 19-22.
- Iriawan, N., dan S, P. Astuti. 2006. *Mengolah Data Statistik Dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*. Yogyakarta: Andi.
- Ismi, A. A. R. 2011. Pengaruh Parameter Proses *Current Pulse, On Time, dan Off Time Electrical Discharge Machining (EDM) Die-sinking* Terhadap Nilai Kekasaran Permukaan Baja AISI H-13. *Skripsi*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Kumar, N., L. Kumar, H. Tewatia, dan R. Yadav. 2012. Comparative Study for MRR on Die-sinking EDM Using Electrode of Copper & Graphite. *International Journal of Advanced Engineering Technology & Engineering Research*. 2(2): 170-174.
- Londa, P. 2016. Pengaruh Variabel Pemotongan Terhadap Kausan Elektroda dan Benda Kerja Pada Proses EDM. *Rotasi*. 16(4): 9–16.
- Montgomery, D. C. 1997. *Design and Analysis of Experiments*. 5th Australia : John Wiley & Sons Inc.
- Niamat, M., S. Sarfrazb, H. Aziza, M. Jahanzaiba, E. Shehabb, W. Ahmada, S. Hussaina. 2017. Effect of Different Dielectrics on Material Removal Rate, Electrode WearRate and Microstructures in EDM. *Procedia CIRP* 60: 2-7.
- Pamekas, T. A. Rd. T. R. 2017. Pengembangan Sifat Mekanik dan Ketangguhan Baja AISI P20 dengan Pelapisan Alumunium Celup Panas. *Skripsi*. Lampung: Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- Pandey, S. N., dan S. Alam. 2015. An Experimental Investigation of Electrode Wear Rate (EWR) on EDM of SS-202 using Different Electrodes. *International Journal of Engineering Research & Technology* 4: 385-392.

Prayogo, G. S., N. Lusi, dan D. R. Pamuji. 2016. Optimasi Multirespon pada Proses EDM Sinking Baja ST 42 dengan menggunakan metode taguchi dan fuzzy logic. *ROTOR*. 9(2): 88-93.

Putra, K. P. 2017. Optimasi Tutup Botol 500 ml Pada Proses Injection Moulding Menggunakan Metode *Response Surface*. *Skripsi*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.

Rajasha, S., A. K. Sharma, and P. Kumar. 2012. "On electro discharge machining of inconel 718 with hollow tool," *Journal of Materials Engineering and Performance*. 21(6): 882–891.

Sommer, C., dan S. Sommer. 2005. *Complete EDM handbook*. Houston: Advance Publishing Inc.

Sudjana. 1994. *Desain dan Analisis Eksperimen*. Edisi III. Bandung :Tarsit

Sultan, T., A. Kumar, dan R. Dev Gupta. 2014. Material Removal Rate, Electrode Wear Rate, and Surface Roughness Evaluation in Die Sinking EDM with Hollow Tool through Response Surface Methodology. *International Journal of Manufacturing Engineering*. 2014: 1-16.

LAMPIRAN

Lampiran 6.1 Gambar elektroda dan benda kerja



Gambar sebelum dibubut



Gambar elektroda setelah dibubut



Gambar benda kerja sebelum dihaluskan (kanan) dan sudah dihaluskan (kiri)



Gambar benda kerja setelah proses EDM

Lampiran 6.2 Proses pelaksanaan penelitian



Gambar proses EDM



Gambar pengukuran massa benda kerja



Gambar pengukuran massa elektroda

Lampiran 6.3 Proses pengerjaan bahan



Gambar proses pembubutan




Gambar *setting* parameter EDM



Gambar *setting* elektroda

Lampiran 6.4 Sertifikat material AISI P20 (Assab 618 S)

ASSAB  PT. ASSAB STEELS INDONESIA

CERTIFICATE

No: 637 / 618 S / 18


Issuing date : 14 - 05 - 2018
Validity : One year upon date of issue
If attached with " Surat Keterangan Material"

This is to certify that **ASSAB 618 S** we supply to **Bpk. Rizki Nur Muhammad** is guaranteed to meet the specifications as mentioned below :


Typical Chemical Analysis :
C 0.37 - Si 0.3 - Mn 1.4 - Cr 2.0 - Ni 1.0 - Mo 0.2

Delivery condition :
Hardened & Tempered to approx. 290-330 HB

Typical Microstructure :



Issued by,



Susanti Dian Pertiwi
Technical Manager

Jl. Rawagelen III No. 5 | Jakarta Industrial Estate Pulogadung | Jakarta Timur | 13930 Indonesia
Ph: +62-21-461 1314 | Fax: +62-21-461 1306 | Email: assab@assabindonesia.co.id

Lampiran 6.5 Surat keterangan material

ASSAB  PT. ASSAB STEELS INDONESIA

SURAT KETERANGAN MATERIAL

No DO : 4281746

Tanggal kirim : 14 - 05 - 2018

Dengan ini menerangkan bahwa material yang dikirim ke **Bpk. Rizki Nur Muhammad** telah **memenuhi spesifikasi** sesuai dengan sertifikat material masing-masing yang berlaku yaitu :

MATERIAL	NOMOR SERTIFIKAT	TANGGAL SERTIFIKAT
ASSAB 618 S	637 / 618 S / 18	14 MEI 2018

Issued by,

Susanti Dian Pertiwi
Technical Manager

Jl. Rawagelam III No. 5 | Jakarta Industrial Estate Pulogedung | Jakarta Timur | 13930 Indonesia
Ph: +62-21-461 1314 | Fax: +62-21-461 1305 | Email: assab@assabindonesia.co.id

Lampiran 6.6 Surat keterangan penelitian



PEMERINTAH PROVINSI JAWA TIMUR
DINAS PERINDUSTRIAN DAN PERDAGANGAN
UPT INDUSTRI LOGAM DAN PEREKAYASAAN SIDOARJO
Jl. Raya Trosobo Km 20 Taman
Telp; (031) 7884333, 7882610, Fax (031) 7875197, E-mail: bptlik@yahoo.com
SIDOARJO 61257.

Nomor : 423.4 / 458 / 125.7.03/2018 Sidoarjo, 08 Juni 2018
Sifat : Penting
Lampiran : -
Perihal : **Penelitian Skripsi**

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Teknik
Universitas Jember
di-

JEMBER

Sehubungan dengan surat Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember, nomor : 1566/UN25.11/EP/2018, tanggal 14 Maret 2018 perihal Ijin Penelitian Skripsi, serta menyusuli surat kami nomor : 423.4/458/125.7.03/2018 tanggal 28 Maret 2018 perihal Ijin Penelitian Skripsi, bersama ini di sampaikan bahwa nama tersebut di bawah ini:

1. Rizqi Nur Muhammad NIM 141910101002
2. Haris Naqihul Adib NIM 141910101050

Telah selesai melakukan penelitian di UPT Industri Logam dan Perekayasaan Sidoarjo, mulai tanggal 08 Mei 2018 s/d 08 Juni 2018.

Selanjutnya kami mohon laporan hasil penelitian mahasiswa tersebut dapat ditembuskan kepada kami sebagai bahan untuk evaluasi kami.

Demikian agar maklum atas perhatian dan kerja samanya disampaikan terima kasih.

KEPALA
UNIT PELAKSANA TEKNIS
INDUSTRI LOGAM DAN PEREKAYASAAN
SIDOARJO

Drs. YANNEDI, MM
Pembina Tk. I
NIP. 19630512 198603 1 027

Tembusan

L. Yth Bpk. Kepala Dinas Perindustrian