

SKRIPSI

**DESAIN EKSPERIMEN PENENTUAN *SETTING* PARAMETER CNC
PLASMA CUTTING PADA PEMOTONGAN PLAT *STAINLESS STEEL*
DENGAN *FULL FACTORIAL DESIGN***

(Studi Kasus di Laboratorium Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga)

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta
Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.)



Disusun oleh:
Restiawan Ahmaddani
19106060018

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

2023

LEMBAR PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1380/Un.02/DST/PP.00.9/06/2023

Tugas Akhir dengan judul : Desain Eksperimen Penentuan Setting Parameter CNC Plasma Cutting pada Pemotongan Plat Stainless Steel dengan Full Factorial Design (Studi Kasus di Laboratorium Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga)

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : RESTIAWAN AHMADDANI
Nomor Induk Mahasiswa : 19106060018
Telah diujikan pada : Selasa, 23 Mei 2023
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

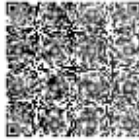
TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Ir. Khusna Dwijayanti, ST., M.Eng., Ph.D, ASEAN Eng.
SIGNED

Valid ID: 647d8d44b32a6



Penguji I

Syaeful Arief, S.T., M.T.
SIGNED

Valid ID: 6475a97dcaee8



Penguji II

Dr. Eng. Ir. Cahyono Sigit Pramudyo, S.T.,
M.T, IPM, ASEAN Eng.
SIGNED

Valid ID: 646d77d527e2b



Yogyakarta, 23 Mei 2023
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 647ed895d116a

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Surat Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir

Lamp : -

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga

Di Yogyakarta

Assalamu 'alaikum Wr. Wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi saudara:

Nama : Restiawan Ahmaddani

NIM : 19106060018


Judul Skripsi : Desain Eksperimen Penentuan *Setting* Parameter CNC *Plasma Cutting* pada Pemotongan Plat *Stainless Steel* dengan *Full Factorial Design* (Studi Kasus di Laboratorium Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga)

Sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Teknik Industri Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Teknik Industri.

Dengan ini kami mengharapkan agar skripsi/tugas akhir saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu 'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 12 Mei 2023
Dosen Pembimbing Skripsi,


Ir. Khusna Dwijavanti, S.T.,
M.Eng., Ph.D, ASEAN Eng.
NIP. 19851212 201903 2 018

SURAT KEASLIAN SKRIPSI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Restiawan Ahmaddani

NIM : 19106060018

Program Studi : Teknik Industri

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya bahwa skripsi saya yang berjudul: “Desain Eksperimen Penentuan *Setting* Parameter *CNC Plasma Cutting* pada Pemotongan Plat *Stainless Steel* dengan *Full Factorial Design* (Studi Kasus di Laboratorium Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga)” adalah hasil karya pribadi yang tidak mengandung plagiarisme dan berisi materi yang dipublikasikan atau ditulis orang lain, kecuali bagian-bagian tertentu yang penulis ambil sebagian dengan tata cara yang dibenarkan secara ilmiah.

Jika terbukti pernyataan ini tidak benar, maka penulis siap mempertanggungjawabkan sesuai hukum yang berlaku.

Yogyakarta, 12 Mei 2023

Yang menyatakan,



Restiawan Ahmaddani

NIM. 19106060018

MOTTO

”Yang terpenting bukanlah darimana ilmu itu didapatkan, tapi bagaimana ilmu itu diterapkan”

- Restiawan Ahmaddani

”Kegagalan yang sesungguhnya adalah pada saat kita berhenti mencoba”

- Usopp (One Piece)

”Di dunia ini tidak ada yang terjadi secara kebetulan, semua terjadi karena suatu alasan”

- Rayleigh (One Piece)

“Hanya dengan mengingat Allah hati menjadi tenteram”

- Q.S. Ar-Ra'd [13]:28

”Sesungguhnya tipu daya setan itu lemah”

- Q.S. An-Nisa [4]:76

”Pengalaman adalah guru terbaik, tapi pengalaman orang lain adalah guru yang jauh lebih baik”

- Cak Lontong

”Life is a beautiful lie and death is a painful truth”

- Anonymous

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya tulis skripsi ini penulis persembahkan untuk

Yang tercinta Bapak dan Ibu penulis yang selalu memberikan dukungan dalam bentuk apapun dan tiada hentinya mendoakan untuk keberhasilan dan kesuksesan anaknya agar dapat selamat dunia dan akhirat.

Adik yang menjadi saudara satu-satunya penulis, semoga menjadi anak yang selalu berbakti pada kedua orang tua dan dapat membahagiakan kedua orang tua.

Keluarga besar penulis.



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "Desain Eksperimen Penentuan *Setting* Parameter CNC *Plasma Cutting* pada Pemotongan Plat *Stainless Steel* dengan *Full Factorial Design* (Studi Kasus di Laboratorium Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga)". Shalawat serta salam senantiasa dijunjungkan kepada Rasulullah SAW, semoga kita mendapatkan syafaatnya di akhirat kelak. Tugas akhir ini dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) dan memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Program Studi Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta .

Penyusunan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan tanpa pengarahan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, Tidak lupa penulis juga mengucapkan terima kasih atas bantuan dari pihak yang telah ikut berkontribusi dalam memberikan dukungan dan bantuan sehingga tugas akhir dapat terselesaikan. Dengan ini, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua dan seluruh keluarga besar penulis yang selalu memberikan dukungan dan doa terbaik.
2. Bapak Prof. Dr. Phil Al-Makin, S.Ag., M.A. selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga.
3. Ibu Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga.

4. Bapak Dr. Eng. Ir. Cahyono Sigit Pramudyo, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga.
5. Ibu Ir. Khusna Dwijayanti, S.T., M.Eng., Ph.D, ASEAN Eng. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang senantiasa memberikan bimbingan dan dukungan sehingga tugas akhir dapat terselesaikan.
6. Bapak dan Ibu dosen Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat untuk bekal penulis di masa depan.
7. Seluruh staff Program Studi Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga yang telah memberikan pelayanan selama perkuliahan.
8. Seluruh Pranata Laboratorium Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga yang telah membantu penulis dalam melakukan penelitian tugas akhir.
9. Keluarga Besar Teknik Industri 2019 “In.somnia19” yang telah berjuang bersama dan sebagai rumah kedua bagi penulis selama masa perkuliahan.
10. Keluarga Besar Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga yang telah membuat kenangan manis bagi penulis selama masa perkuliahan.
11. Para Asisten Laboratorium Teknik Industri yang selalu berjuang bersama disaat pelaksanaan praktikum hingga tiba saatnya pengerjaan tugas akhir.
12. Seluruh pihak lainnya yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.

Semoga segala kebaikan dari seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini dapat dibalas oleh Allah SWT. Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini sehingga penulis membuka diri terhadap kritikan dan masukan yang membangun demi karya tulis yang lebih baik lagi nantinya. Penulis berharap

semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk penulis dan bagi orang lain yang membaca karya tulis ini.

Yogyakarta, 12 Mei 2023

Penulis,



Restiawan Ahmaddani

NIM. 19106060018



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI	ii
SURAT KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
ABSTRAK	xix
<i>ABSTRACT</i>	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Manfaat Penelitian.....	6
1.5. Batasan Penelitian	6
1.6. Sistematika Penulisan.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1. Penelitian Terdahulu.....	9
2.2. Landasan Teori	13
2.2.1. <i>CNC Plasma Cutting</i>	13

2.2.2. Material <i>Stainless Steel</i>	15
2.2.3. Kualitas Rancangan	22
2.2.4. Desain Eksperimen	25
2.2.5. <i>Full Factorial Design</i>	27
2.2.6. Perancangan Parameter	29
2.2.7. Kekasaran Permukaan.....	32
2.2.8. Interaksi Faktor Parameter.....	35
2.2.9. Regresi Linear.....	39
2.2.10. <i>Robust Design</i>	40
2.2.11. Derajat Kebebasan.....	42
2.2.12. Analisis Varians.....	42
2.2.13. Eksperimen Konfirmasi.....	45
BAB III METODE PENELITIAN.....	46
3.1. Objek Penelitian	46
3.2. Metode Pengumpulan Data	47
3.2.1. Jenis Data.....	47
3.2.2. Pengumpulan Data.....	48
3.3. Validitas.....	50
3.4. Variabel Penelitian	50
3.5. Desain Eksperimen.....	52
3.6. Diagram Alir Penelitian.....	62
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	65
4.1. Desain Eksperimen.....	65
4.1.1. Tahap Perencanaan Eksperimen	65

4.1.2. Tahap Pelaksanaan Eksperimen.....	80
4.1.3. Tahap Analisa Eksperimen	97
4.2. Pembahasan	123
4.3. Eksperimen Konfirmasi.....	127
4.4. Catatan Eksperimen.....	129
4.5. Implikasi Manajerial.....	131
4.6. Perancangan Standar Operasional Prosedur CNC <i>Plasma Cutting</i>	132
4.6.1. Komponen dan Fungsi Permesinan	133
4.6.2. Langkah Kerja Pengoperasian Mesin	144
4.6.3. Alat Pelindung Diri.....	162
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	165
5.1. Kesimpulan.....	165
5.2. Saran.....	168
DAFTAR PUSTAKA	169
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Kekasaran Permukaan	3
Gambar 2. 1. Prinsip Dasar Pemotongan Plasma.....	14
Gambar 2. 2. <i>Full Factorial Design</i> Dua Faktor dan Dua <i>Level</i>	27
Gambar 2. 3. <i>Full Factorial Design</i> Tiga Faktor dan Dua <i>Level</i>	28
Gambar 2. 4. Pengukuran Kekasaran Permukaan	33
Gambar 2. 5. Pengukuran Kekasaran Permukaan dengan Alat Ukur Manual	34
Gambar 2. 6. Pengukuran Kekasaran Permukaan dengan Alat Ukur Khusus	34
Gambar 2. 7. Tidak Ada Interaksi	36
Gambar 2. 8. Interaksi Lemah	36
Gambar 2. 9. Interaksi Kuat	36
Gambar 3. 1. <i>Workpiece</i>	46
Gambar 3. 2. <i>CNC Plasma Cutting</i>	47
Gambar 3. 3. Desain Bentuk <i>Workpiece</i>	54
Gambar 3. 4. Titik Ukur Nilai Kekasaran Permukaan	55
Gambar 3. 5. <i>Flowchart</i> Pelaksanaan Eksperimen	58
Gambar 3. 6. Diagram Alir Penelitian	63
Gambar 4. 1. <i>CNC Plasma Cutting</i>	66
Gambar 4. 2. <i>Panel Control</i>	66
Gambar 4. 3. Plat <i>Stainless Steel</i>	67
Gambar 4. 4. Mikrometer Sekrup	68
Gambar 4. 5. Desain Bentuk <i>Workpiece</i>	72
Gambar 4. 6. Titik Ukur Nilai Kekasaran Permukaan	74
Gambar 4. 7. <i>Setting</i> Ketinggian <i>Torch</i> 1 mm	83

Gambar 4. 8. <i>Setting</i> Ketinggian Torch 2 mm	83
Gambar 4. 9. <i>Setting</i> Ketinggian Torch 3 mm	83
Gambar 4. 10. <i>Setting</i> Kecepatan Pemotongan 1200 mm/min	84
Gambar 4. 11. <i>Setting</i> Kecepatan Pemotongan 1800 mm/min	84
Gambar 4. 12. <i>Setting</i> Kecepatan Pemotongan 2400 mm/min	85
Gambar 4. 13. <i>Setting</i> Kuat Arus Listrik 25 A.....	85
Gambar 4. 14. <i>Setting</i> Kuat Arus Listrik 30 A.....	86
Gambar 4. 15. <i>Setting</i> Kuat Arus Listrik 35 A.....	86
Gambar 4. 16. Titik Ukur Nilai Kekasaran Permukaan Secara Langsung.....	88
Gambar 4. 17. Pengukuran dengan Mikrometer Sekrup.....	89
Gambar 4. 18. Grafik Nilai Rata-Rata Respon pada Faktor A.....	104
Gambar 4. 19. Grafik Nilai Rata-Rata Respon pada Faktor B.....	105
Gambar 4. 20. Grafik Nilai Rata-Rata Respon pada Faktor C.....	105
Gambar 4. 21. Grafik Nilai Rata-Rata Respon Interaksi Faktor AxB	109
Gambar 4. 22. Grafik Nilai Rata-Rata Respon Interaksi Faktor AxC	112
Gambar 4. 23. Grafik Nilai Rata-Rata Respon Interaksi Faktor BxC.....	115
Gambar 4. 24. Dimensi <i>Workpiece Low Feed Rate</i>	129
Gambar 4. 25. Dimensi <i>Workpiece High Feed Rate</i>	130
Gambar 4. 26. <i>Central Processing Unit</i>	134
Gambar 4. 27. <i>Panel Control</i>	137
Gambar 4. 28. <i>Nozzle/Torch</i>	139
Gambar 4. 29. <i>Stepper Motor</i>	140
Gambar 4. 30. <i>Power Supply</i>	141
Gambar 4. 31. <i>Ground Clamp</i>	142

Gambar 4. 32. <i>Air Compressor</i>	142
Gambar 4. 33. Meja Kerja.....	143
Gambar 4. 34. Contoh Sketsa Desain Benda Kerja	145
Gambar 4. 35. Tampilan Utama <i>Software Sheetcam</i>	146
Gambar 4. 36. <i>Drawing Option</i>	148
Gambar 4. 37. <i>Setting Tools</i>	149
Gambar 4. 38. <i>Setting Operation Basic</i>	151
Gambar 4. 39. <i>Setting Operation Cut Path</i>	153
Gambar 4. 40. <i>Post Processor</i>	154
Gambar 4. 41. <i>Run Post Processor</i>	155
Gambar 4. 42. Tampilan Utama <i>Software Mach3Plasma</i>	157
Gambar 4. 43. Menentukan Posisi <i>Torch</i>	158
Gambar 4. 44. Mengatur Titik Nol Benda Kerja	158
Gambar 4. 45. <i>Setting Ketinggian Torch</i>	159
Gambar 4. 46. <i>Setting Kuat Arus Listrik</i>	160
Gambar 4. 47. Menjalankan Proses Pemotongan pada <i>CNC Plasma Cutting</i>	161
Gambar 4. 48. Sarung Tangan <i>Safety</i>	163
Gambar 4. 49. Kacamata Las	164

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Penelitian Terdahulu	9
Tabel 2. 2. Komposisi Kimia <i>Austenitic Stainless Steel</i>	17
Tabel 2. 3. Komposisi Kimia <i>Ferritic Stainless Steel</i>	19
Tabel 2. 4. Komposisi Kimia <i>Martensitic Stainless Steel</i>	20
Tabel 2. 5. Komposisi Kimia <i>Duplex Stainless Steel</i>	21
Tabel 2. 6. Komposisi Kimia <i>Precipitation Hardening Stainless Steel</i>	22
Tabel 2. 7. Contoh Mendapatkan <i>Main Effect</i>	38
Tabel 2. 8. Contoh Mendapatkan <i>Interaction Effect</i>	39
Tabel 2. 9. Contoh Penyusunan Analisis Varians	45
Tabel 3. 1. Variabel Faktor	51
Tabel 3. 2. Kombinasi <i>Treatment</i>	56
Tabel 4. 1. Penentuan <i>Level</i> Faktor Eksperimen	71
Tabel 4. 2. Kombinasi <i>Treatment</i>	75
Tabel 4. 3. Data Eksperimen	90
Tabel 4. 4. Kode Faktor dan Rentang <i>Level</i>	97
Tabel 4. 5. Nilai Rata-Rata Respon Faktor A	98
Tabel 4. 6. Nilai Rata-Rata Respon Faktor B	98
Tabel 4. 7. Nilai Rata-Rata Respon Faktor C	99
Tabel 4. 8. <i>Main Effect</i> Faktor A, B, dan C	100
Tabel 4. 9. <i>Interaction Effect</i> AxB	101
Tabel 4. 10. <i>Interaction Effect</i> AxC	101
Tabel 4. 11. <i>Interaction Effect</i> BxC	102
Tabel 4. 12. <i>Interaction Effect</i> AxBxC	103

Tabel 4. 13. Nilai Rata-Rata Respon pada Faktor Tunggal	104
Tabel 4. 14. Pengelompokkan Nilai Rata-Rata Respon Interaksi Faktor AxB... ..	106
Tabel 4. 15. Nilai Rata-Rata Respon Interaksi Faktor AxB.....	108
Tabel 4. 16. Pengelompokkan Nilai Rata-Rata Respon Interaksi Faktor AxC... ..	109
Tabel 4. 17. Nilai Rata-Rata Respon Interaksi Faktor AxC.....	111
Tabel 4. 18. Pengelompokkan Nilai Rata-Rata Respon Interaksi Faktor BxC... ..	112
Tabel 4. 19. Nilai Rata-Rata Respon Interaksi Faktor BxC.....	114
Tabel 4. 20. Regresi Linear.....	116
Tabel 4. 21. Perhitungan <i>S/N Ratio</i>	117
Tabel 4. 22. Rata-Rata <i>S/N Ratio</i>	119
Tabel 4. 23. Derajat Kebebasan	121
Tabel 4. 24. Analisis Varians	122
Tabel 4. 25. Eksperimen Konfirmasi	127
Tabel 4. 26. Perbandingan <i>S/N Ratio</i> Eksperimen Awal dan Konfirmasi.....	128

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. 1. Data Percobaan 1	L-2
Lampiran 1. 2. Data Percobaan 2	L-3
Lampiran 1. 3. Data Percobaan 3	L-4
Lampiran 1. 4. Data Percobaan 4	L-5
Lampiran 1. 5. Data Percobaan 5	L-6
Lampiran 1. 6. Data Percobaan 6	L-7
Lampiran 1. 7. Data Percobaan 7	L-8
Lampiran 1. 8. Data Percobaan 8	L-9
Lampiran 1. 9. Data Percobaan 9	L-10
Lampiran 1. 10. Data Percobaan 10	L-11
Lampiran 1. 11. Data Percobaan 11	L-12
Lampiran 1. 12. Data Percobaan 12	L-13
Lampiran 1. 13. Data Percobaan 13	L-14
Lampiran 1. 14. Data Percobaan 14	L-15
Lampiran 1. 15. Data Percobaan 15	L-16
Lampiran 1. 16. Data Percobaan 16	L-17
Lampiran 1. 17. Data Percobaan 17	L-18
Lampiran 1. 18. Data Percobaan 18	L-19
Lampiran 1. 19. Data Percobaan 19	L-20
Lampiran 1. 20. Data Percobaan 20	L-21
Lampiran 1. 21. Data Percobaan 21	L-22
Lampiran 1. 22. Data Percobaan 22	L-23
Lampiran 1. 23. Data Percobaan 23	L-24

Lampiran 1. 24. Data Percobaan 24	L-25
Lampiran 1. 25. Data Percobaan 25	L-26
Lampiran 1. 26. Data Percobaan 26	L-27
Lampiran 1. 27. Data Percobaan 27	L-28
Lampiran 1. 28. Eksperimen Konfirmasi Percobaan 1	L-29
Lampiran 1. 29. Eksperimen Konfirmasi Percobaan 2	L-30
Lampiran 1. 30. Eksperimen Konfirmasi Percobaan 3	L-31
Lampiran 2. 1. Dokumentasi.....	L-33
Lampiran 3. 1. Curriculum Vitae	L-35



**Desain Eksperimen Penentuan *Setting* Parameter CNC *Plasma Cutting* pada
Pemotongan Plat *Stainless Steel* dengan *Full Factorial Design*
(Studi Kasus di Laboratorium Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga)**

Restiawan Ahmaddani (19106060018)

Program Studi Teknik Industri
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta

ABSTRAK

CNC *plasma cutting* merupakan mesin yang dapat memotong material berupa plat atau lembaran dengan jenis logam yang dapat dialirkan listrik. CNC *plasma cutting* merupakan mesin baru yang dimiliki oleh Laboratorium Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga sejak Juli 2022. Permasalahan yang terjadi pada CNC *plasma cutting* yaitu hasil pemotongan menyebabkan gumpalan atau *burr* yang cukup besar akibat dari panas *plasma* sehingga terdapat kekasaran permukaan pada benda kerja. Penelitian ini menggunakan metode desain eksperimen dengan *full factorial design* yang bertujuan untuk meminimalkan kekasaran permukaan pada plat *stainless steel*. Pada penelitian ini terdapat tiga faktor yaitu ketinggian *torch* kecepatan pemotongan, dan kuat arus listrik dengan tiga *level* sehingga didapatkan $3^3=27$ percobaan yang diperlukan. Hasil penelitian pada pengolahan data analisis varians menunjukkan bahwa faktor yang paling berpengaruh terhadap kekasaran permukaan adalah kecepatan pemotongan dengan nilai kontribusi sebesar 90,76% kemudian diikuti oleh dua faktor lainnya yaitu ketinggian *torch* dengan nilai kontribusi sebesar 2,42% dan kuat arus listrik dengan nilai kontribusi sebesar 0,23% serta nilai kontribusi *noise* sebesar 6,59%. Kemudian berdasarkan pengolahan data *robust design* didapatkan kombinasi parameter optimal dengan menggunakan *setting* ketinggian *torch* 1 mm, *setting* kecepatan pemotongan 2400 mm/min, dan *setting* kuat arus listrik 30 A. Berdasarkan eksperimen konfirmasi, percobaan dengan kombinasi parameter optimal dapat mencapai gap *noise* sebesar 2,283 dB. Dengan demikian, desain eksperimen penentuan *setting* parameter CNC *plasma cutting* dapat menentukan kombinasi parameter optimal untuk meminimalkan kekasaran permukaan dari hasil pemotongan sehingga benda kerja lebih presisi dan halus.

Kata Kunci: Desain Eksperimen, *Full Factorial Design*, CNC *Plasma Cutting*, Kekasaran Permukaan, Kombinasi Parameter Optimal

Design of Experiment for Determining Parameter Setting Plasma Arc Machining on Stainless Steel Plate Cutting with Full Factorial Design (Case Study in Industrial Engineering Laboratory, State Islamic University of Sunan Kalijaga)

Restiawan Ahmaddani (19106060018)

*Department of Industrial Engineering
Faculty of Science and Technology
State Islamic University of Sunan Kalijaga Yogyakarta*

ABSTRACT

Plasma Arc Machining is a machine that can cut materials in the form of plates or sheets with a type of metal that can conduct electricity. Plasma Arc Machining is a new machine that has been owned by the Industrial Engineering Laboratory of UIN Sunan Kalijaga since July 2022. Problems that occur with Plasma Arc Machining is the result of cutting causes lumps or burr which is quite large due to heat plasma so that there is surface roughness on the workpiece. This research uses a design of experiment method with full factorial design which aim to minimize the surface roughness of the stainless steel plate. In this research there are three factors, that is height torch, cutting speed, and electric current by three level so that obtain $3^3=27$ trials required. The results of the research on data processing analysis of variance show that the most influential factor on surface roughness is cutting speed with contribution value of 90.76% followed by two other factors, that is height torch with contribution value of 2.42% and electric current with contribution value of 0.23% and contribution value of noise by 6.59%. Then based on data processing robust design the optimum combination of parameters is obtained by using setting 1 mm height torch, setting 2400 mm/min cutting speed, and setting 30 A electric current. Based on confirmation experiments, experiments with optimum parameter combinations can reach a gap noise of 2.283 dB. Therefore, the design of experiment for determining parameter setting Plasma Arc Machining can determine the optimum combination of parameters to minimize the surface roughness of the cutting results so that the workpiece is more precise and smooth.

Keywords: Design of Experiment, Full Factorial Design, Plasma Arc Machining, Surface Roughness, Optimum Parameter Combination

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Dalam pesatnya perkembangan teknologi saat ini, terdapat banyak industri manufaktur yang memiliki berbagai macam alat dan permesinan untuk mengolah suatu produk. Mulai dari alat permesinan konvensional hingga non-konvensional atau telah menggunakan suatu program dalam proses pengerjaannya. Terdapat banyak pilihan bagi industri manufaktur dalam memilih permesinan yang digunakan agar dapat mencapai produk yang berkualitas dan optimal pada proses pengerjaannya sehingga memiliki daya saing tinggi (Kadim, 2017). Untuk memproduksi suatu barang, tentu setiap perusahaan manufaktur memiliki mesin yang sesuai dalam tahap pengerjaannya agar memudahkan pekerja atau operator melakukan pekerjaannya. Proses pengerjaan yang sering dijumpai pada industri manufaktur yaitu pada proses pemotongan material. Pembuatan produk tidak terlepas dari adanya pemotongan material karena hal tersebut diperlukan untuk pembentukan material sesuai dengan rancangan desain produk yang telah ditentukan. Dalam upaya pemotongan material terdapat berbagai macam alat dan permesinan yang dapat digunakan.

Ada berbagai macam jenis permesinan yang dapat memotong material sesuai dengan spesifikasi dan cara kerja dari permesinan itu sendiri sehingga dibutuhkan kecocokan antara material yang akan dipotong dan cara kerja mesin sehingga apabila material telah kompatibel dengan mesin maka material dapat dilakukan proses pengerjaan menggunakan mesin tersebut. Kecocokan antara material dan mesin yang digunakan dapat dilihat dari karakteristik material dan

alat potong dari permesinan yang digunakan (Klaten, 2021). Selain dari karakteristik material, bentuk dan luas permukaan material juga menjadi faktor bisa atau tidaknya material tersebut dikerjakan.

Salah satu permesinan yang dapat memotong material adalah CNC (*Computer Numeric Control*) *plasma cutting* atau biasa disebut dengan *Plasma Arc Machining*. CNC *plasma cutting* merupakan mesin yang dapat memotong material berupa plat atau lembaran dengan jenis logam yang dapat dialirkan listrik. Bentuk material yang dapat dipotong menggunakan mesin ini yaitu logam plat atau lembaran dengan kisaran tebal maksimal 40 mm. Mesin ini menggunakan arus gas yang terhubung pada *nozzle/torch* plasma untuk memotong logam (Singh, 2011). Adapun beberapa contoh produk yang menggunakan hasil pemotongan plat pada CNC *plasma cutting* yaitu *body* pagar, penyangga, penutup, plakat, *part* alat maupun mesin, dan berbagai macam aksesoris.

CNC *plasma cutting* merupakan mesin baru yang dimiliki oleh Laboratorium Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga sejak Juli 2022. CNC *plasma cutting* di Laboratorium digunakan untuk praktikum mahasiswa dan untuk membuat potongan plat logam menjadi *part* atau bagian pada suatu produk dengan bentuk yang sesuai pada rancangan desain yang telah dibuat. Mesin ini tentu saja memiliki parameter dalam proses pengerjaannya yang akan memengaruhi hasil kualitas benda kerja setelah selesai proses pengerjaan.



Gambar 1. 1. Kekasaran Permukaan
Sumber: Observasi (2023)

Pada Gambar 1.1 merupakan gambar kekasaran permukaan pada tepi benda kerja yang terjadi dalam pemotongan plat logam. Kekasaran permukaan pada tepi benda kerja menyebabkan benda kerja yang dipotong menjadi tidak presisi dan apabila benda kerja tersebut merupakan *part* pada suatu produk maka akan sulit untuk merakitnya dan diperlukan penghalusan terlebih dahulu pada bagian tepi benda kerja dengan menggunakan alat penghalus seperti gerinda. Oleh karena itu kekasaran permukaan pada tepi benda kerja perlu diminimalkan agar memudahkan dalam perakitan benda kerja dan tidak menghabiskan waktu untuk menghaluskan area tepi benda kerja.

Kekasaran permukaan yang terjadi pada tepi benda kerja dikarenakan proses pemotongan dari CNC *plasma cutting* yang menghasilkan gumpalan atau *burr* cukup besar akibat dari panas *plasma* sehingga dengan adanya penentuan

parameter yang tepat dan sesuai dapat meminimalkan kekasaran permukaan dengan seminimal mungkin. Beberapa macam *setting* parameter yang terdapat pada mesin tersebut diantaranya yaitu ketinggian *nozzle/torch*, kecepatan pemotongan dan kuat arus listrik.

Dengan adanya pengaturan parameter yang berpengaruh terhadap pemotongan benda kerja maka penelitian ini dilakukan untuk merancang penentuan parameter yang sesuai agar permukaan benda kerja yang dipotong mendapatkan hasil kualitas kekasaran permukaan seminimal mungkin. Dalam pemotongan material yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan material logam *stainless steel*. Pemilihan logam *stainless steel* dikarenakan logam tersebut memiliki tingkat ketahanan korosi yang tinggi sehingga sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari (Sumarji, 2011). Selain itu, plat *stainless steel* juga dipilih karena menjadi salah satu material lembaran logam yang tersedia pada Laboratorium Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga. Desain eksperimen produk memiliki prinsip bahwa kualitas ditentukan dari proses perancangan produk sehingga perancangan parameter yang dilakukan dalam penelitian ini akan berpengaruh terhadap kualitas kekasaran permukaan benda kerja plat *stainless steel* yang dipotong dengan menggunakan CNC *plasma cutting*.

Desain eksperimen memiliki konsep analisis yang bersifat statistik untuk mengetahui seberapa besar pengaruh faktor dan seberapa besar kontribusinya terhadap karakteristik kualitas. *Full factorial design* berarti mencoba seluruh kombinasi *treatment* parameter faktor dan *level* yang telah ditentukan (Montgomery, 2013). Dengan dilakukannya desain eksperimen maka penelitian ini dirancang untuk meminimalkan kekasaran permukaan pada *workpiece* hasil

pemotongan plat *stainless steel* dengan menentukan parameter kombinasi *treatment* yang kokoh dan optimal pada CNC *plasma cutting*.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apa saja faktor-faktor yang memengaruhi kualitas kekasaran permukaan pada pemotongan plat *stainless steel* dengan menggunakan CNC *plasma cutting* ?
2. Berapakah pengaruh (%kontribusi) pada faktor-faktor parameter *setting* CNC *plasma cutting* terhadap kualitas kekasaran permukaan hasil pemotongan plat *stainless steel* ?
3. Bagaimana kombinasi parameter optimal pada CNC *plasma cutting* untuk memotong plat *stainless steel* agar dapat meminimalkan kekasaran permukaan ?
4. Bagaimana standar operasional prosedur CNC *plasma cutting* pada Laboratorium Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga ?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi kualitas kekasaran permukaan pada pemotongan plat *stainless steel* dengan menggunakan CNC *plasma cutting*.
2. Mengetahui seberapa besar pengaruh (%kontribusi) faktor-faktor parameter *setting* CNC *plasma cutting* terhadap kualitas kekasaran permukaan hasil pemotongan plat *stainless steel*.

3. Menentukan kombinasi parameter optimal pada CNC *plasma cutting* untuk memotong plat *stainless steel* agar dapat meminimalkan kekasaran permukaan.
4. Merancang standar operasional prosedur CNC *plasma cutting* pada Laboratorium Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui faktor-faktor yang memengaruhi kualitas kekasaran permukaan pada pemotongan plat *stainless steel* dengan menggunakan CNC *plasma cutting*.
2. Mampu mengoptimalkan penentuan parameter pada CNC *plasma cutting* untuk pemotongan plat *stainless steel* agar hasil pemotongan dapat meminimalkan kekasaran permukaan.
3. Mengetahui standar operasional prosedur CNC *plasma cutting* pada Laboratorium Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga.

1.5. Batasan Penelitian

Batasan yang terdapat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin yang digunakan yaitu CNC *plasma cutting* yang dimiliki oleh Laboratorium Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga dengan brand Orion CNC tipe Ultron Plasma 1325.
2. Material yang digunakan yaitu plat logam *stainless steel* 430 dengan ketebalan 1 mm.
3. Mesin dioperasikan dalam keadaan normal (seluruh komponen permesinan berfungsi sebagaimana mestinya).

4. Nilai kekasaran permukaan diukur dengan mikrometer sekrup.
5. Penelitian ini menggunakan satu bentuk *workpiece* yang berbentuk heksagonal dengan panjang tiap sisinya sebesar 35 mm dan panjang sisi yang saling berseberangan sebesar 60 mm, kemudian bentuk lingkaran kecil dengan diameter 5 mm, dan bentuk bintang ditengah dengan panjang tiap sisinya sebesar 15 mm.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang terdapat dalam penelitian ini terdiri dari lima bab. Pada bab satu mendefinisikan latar belakang yang berupa uraian mengenai alasan dipilihnya topik penelitian ini. Kemudian rumusan masalah dibuat berdasarkan latar belakang adanya penelitian ini. Selanjutnya, menentukan tujuan penelitian yang dibuat berdasarkan rumusan masalah. Selain itu, pada bab satu juga membuat manfaat penelitian, batasan penelitian, dan sistematika penulisan. Pada bab dua mendefinisikan penelitian terdahulu yang berisi penelitian mengenai desain eksperimen yang merancang hasil kualitas produk dari pemotongan *plasma arc machining*. Kemudian terdapat landasan teori mengenai CNC *plasma cutting*, material *stainless steel*, dan desain eksperimen yang dijadikan acuan dalam melakukan penelitian ini. Pada bab tiga mendefinisikan metode penelitian yang dilakukan. Adapun isi dari bab tiga yaitu objek penelitian, metode pengumpulan data, validitas, variabel penelitian, model eksperimen, dan diagram alir penelitian.

Pada bab empat berisi mengenai hasil penelitian dari desain eksperimen yang dilakukan. Desain eksperimen meliputi tahap perencanaan, tahap pelaksanaan, dan tahap analisa. Kemudian terdapat pembahasan, eksperimen konfirmasi, implikasi manajerial dan standar operasional prosedur CNC *plasma*

cutting. Terakhir pada bab lima menarik kesimpulan dari hasil penelitian untuk menjawab rumusan masalah dan tujuan yang telah ditetapkan pada penelitian ini. Selain itu juga terdapat saran berdasarkan penelitian yang telah dilakukan di Laboratorium Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian desain eksperimen yang dilakukan dalam menentukan *setting* parameter CNC *plasma cutting* terhadap pemotongan plat *stainless steel* untuk meminimalkan kekasaran permukaan. Peneliti mengambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penelitian ini memiliki tiga faktor dan tiga *level* yang dapat memengaruhi kekasaran permukaan pada hasil pemotongan CNC *plasma cutting*. Adapun tiga faktor yang berpengaruh yaitu ketinggian *torch*, kecepatan pemotongan, dan kuat arus listrik.
 - a. Dari hasil pengolahan data *main effect* dan *interaction effect*, dapat diketahui faktor parameter yang paling berpengaruh terhadap hasil kekasaran permukaan yaitu kecepatan pemotongan dengan efek sebesar 18,673 mm terhadap hasil kekasaran permukaan.
 - b. Pada grafik rata-rata faktor tunggal, untuk faktor ketinggian *torch* semakin rendah *level* maka kekasaran permukaan semakin kecil, untuk faktor kecepatan pemotongan semakin tinggi *level* maka kekasaran permukaan semakin kecil, dan untuk faktor kuat arus listrik kekasaran permukaan stabil dari *level* rendah hingga tinggi. Berdasarkan grafik rata-rata interaksi faktor didapatkan satu interaksi kuat antara faktor ketinggian *torch* dan faktor kuat arus listrik dimana apabila ketinggian *torch* rendah maka semakin tinggi kuat arus listrik akan memperbesar kekasaran permukaan dan apabila ketinggian *torch*

tinggi maka semakin tinggi kuat arus listrik akan memperkecil kekasaran permukaan.

2. Besar kontribusi dari faktor-faktor parameter *setting* CNC *plasma cutting* terhadap hasil kekasaran permukaan dapat diketahui dari pengolahan data analisis varians. Faktor parameter *setting* yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan adalah:
 - a. Faktor kecepatan pemotongan dengan nilai kontribusi sebesar 90,76%.
 - b. Faktor ketinggian *torch* dengan nilai kontribusi sebesar 2,42%.
 - c. Faktor kuat arus listrik dengan nilai kontribusi sebesar 0,23%.
 - d. Faktor *noise* yang merupakan pengaruh diluar faktor kontrol dan tidak dapat dikendalikan memiliki nilai kontribusi sebesar 6,59%.
3. Kombinasi parameter optimal pada CNC *plasma cutting* untuk meminimalkan hasil kekasaran permukaan dapat diketahui berdasarkan pengolahan data *robust design*. Pada pengolahan data *robust design* dengan perhitungan *S/N ratio (smaller is better)* didapatkan kombinasi parameter optimal yaitu dengan menggunakan *setting* ketinggian *torch* 1 mm, *setting* kecepatan pemotongan 2400 mm/min, dan *setting* kuat arus listrik 30 A. Kombinasi parameter optimal di eksperimen awal terdapat pada percobaan 8 replika 2 dengan respon kekasaran permukaan sebesar 9,01 mm. Selanjutnya dilakukan eksperimen konfirmasi dengan menggunakan kombinasi parameter optimal, pada eksperimen awal nilai *S/N ratio* sebesar 14,241 dB kemudian pada eksperimen konfirmasi didapatkan nilai *S/N ratio* terbesar yaitu 16,524 dB sehingga terdapat gap sebesar 2,283 dB. *Noise* menjadi faktor yang tidak dapat dikendalikan pada hasil kekasaran

permukaan, tetapi besar *noise* dapat diperkirakan dengan melakukan beberapa kali percobaan yang dilakukan. Dengan adanya eksperimen konfirmasi yang dilakukan maka telah ditemukan bahwa *noise* sebesar 2,283 dB dapat terjadi ketika menggunakan kombinasi parameter optimal terhadap hasil kekasaran permukaan.

4. Standar operasional prosedur CNC *plasma cutting* pada Laboratorium Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga secara garis besar terdapat tiga hal utama yang perlu diperhatikan yaitu fungsi komponen permesinan, langkah kerja pengoperasian mesin, dan alat pelindung diri.
 - a. Pada fungsi komponen permesinan, terdapat komponen-komponen utama yang perlu diketahui fungsi kegunaannya yaitu *central processing unit (CPU)*, *panel control*, *nozzle/torch*, *stepper motor*, *power supply*, *ground clamp*, *air compressor*, dan meja kerja.
 - b. Pada langkah kerja pengoperasian mesin yang perlu dilakukan secara berurutan yaitu membuat sketsa desain benda kerja, melakukan *setting* operasi proses pemotongan, menghidupkan CNC *plasma cutting*, menentukan titik nol benda kerja pada plat/logam, mengatur ketinggian *torch* dan kuat arus listrik, menjalankan proses pemotongan pada CNC *plasma cutting*, dan mematikan CNC *plasma cutting*.
 - c. Pada alat pelindung diri ketika menggunakan CNC *plasma cutting* terdapat dua alat pelindung diri yang utama untuk digunakan yaitu sarung tangan *safety* dan kacamata las.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti memberikan saran sebagai berikut:

1. Mengatur kombinasi parameter optimal saat mengoperasikan CNC *plasma cutting* agar dapat meminimalkan kekasaran permukaan benda kerja.
2. Disarankan untuk penelitian yang melakukan pengukuran kekasaran permukaan dapat menggunakan alat ukur khusus untuk mengukur kekasaran permukaan dan telah berlabel Standar Nasional Indonesia (SNI).
3. Diharapkan dapat memahami Standar Operasional Prosedur (SOP) CNC *plasma cutting* bagi yang mengoperasikan.
4. Diharapkan untuk selalu melakukan perawatan CNC *plasma cutting* secara berkala agar dapat terus digunakan.



DAFTAR PUSTAKA

- Afandhi, M. R., & Basuki, M. (2022). Analisis Teknis Dan Ekonomis Perbedaan Kuat Arus Pada Proses Pemotongan Pelat Menggunakan CNC Plasma Cutting. *Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan*, 1(1), 214–220.
- Agnitias, R. S., & Rusiyanto. (2019). Pengaruh Variasi Kuat Arus Terhadap Lebar Pemotongan dan Kekerasan pada Baja Karbon Sedang dengan CNC Plasma Arc Cutting. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 4, 99–104.
- Akhmad, A. A. (2009). Pemesinan Nonkonvensional Plasma Arc Cutting. *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol. 9, 51–56.
- Dehnad, K. (1989). *Quality Control, Robust Design, and The Taguchi Method* (K. Dehnad & A. Bell Laboratories, Eds.). Wadsworth & Brooks/Cole Advanced Books & Software.
- Ermawati, & Hartati. (2014). Aplikasi Metode Taguchi Dalam Pengendalian Kualitas Produksi. *Jurnal Teknosains, Volumen 8 Nomor 2*, 185–194.
- Ghane, Mr. D. (2019). Optimization of Design Parameters and Nozzle Wear on CNC Plasma Machine by Experimentation. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 6(12), 497–504.
- Ginting, E., & Syahputri, K. (2016). Desain Eksperimen Ekstraksi DNA Bawang Putih. *Jurnal Sistem Teknik Industri, Vol.18, No.1*, 41–46.
- Halimah, P., & Ekawati, Y. (2020). Penerapan Metode Taguchi untuk Meningkatkan Kualitas Bata Ringan pada UD. XY Malang. *Journal of Industrial Engineering and Management Systems*, 13(1), 13–26. <https://doi.org/10.30813/jiems.v13i1.1694>
- Hamid, A., Novareza, O., & Widodo, T. D. (2018). Optimasi Proses Parameter Pemotongan Plasma Arc Cutting pada Logam Aluminium Menggunakan Metode Taguchi. *Prosiding SNST Ke-9*, 13–18.
- Kadim, A. (2017). *Penerapan Manajemen Produksi & Operasi di Industri Manufaktur* (N. Sunardi & A. Sutarman, Eds.; Pertama). Mitra Wacana Media.
- Kechagias, J., Billis, M., & Maropoulos, S. (2010). A Parameter Design of CNC Plasma Arc Cutting of Carbon Steel Plates Using Robust Design.

- International Journal Experimental Design and Process Optimisation*, 1, 315–326.
- Kechagias, J., Stavropoulos, P., Maropoulos, S., & Salonitis, K. (2014). On The Multi Parameter Optimization of CNC Plasma Arc Cutting Process Quality Indicators Using Taguchi Design of Experiments. *Recent Advances in Electrical Engineering*, 128–133.
- Klaten, S. (2021). *Diktat Pemilihan Material dan Proses*. Universitas Sultan Agung Tirtayasa.
- Kristanto, A. R., Liputo, B., & Darise, F. (2018). Desain Sistem Mekanik Plasma Cutter Menggunakan Prinsip Run Stabilizer Process. *Jurnal Teknologi Pertanian Gorontalo*, Vol.3, No.1, 29–43.
- Kumar, S. (2018). Experimental Study on Parameters Optimization in CNC Plasma Arc Cutting (AISI 206 Steel) Using Taguchi Approach. *International Journal of Technical Research & Science*, 3(VI). <https://doi.org/10.30780/IJTRS.V3.I6.2018.003>
- Mahajan, M. D., & Mittal, S. (2018). Multi Response Parameter Optimization of CNC Plasma Arc Machining Using Taguchi Methodology. *Industrial Engineering Journal*, 11(12), 1–10.
- Mainsah, E., Greenwood, J. A., & Chetwynd, D. G. (2001). *Metrology and Properties of Engineering Surfaces* (1st edition). Kluwer Academic Publishers.
- Montgomery, D. C. (2013). *Design and Analysis of Experiments* (Eight Edition). John Wiley & Sons, Inc.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis* (D. J. Balding, N. A. C. Cressie, G. M. Fitzmaurice, H. Goldstein, I. M. Johnstone, G. Molenberghs, D. W. Scott, A. F. M. Smith, R. S. Tsay, & Weisberg Sanford, Eds.; Fifth Edition). John Wiley & Sons, Inc.
- Nindha, T. G. T. (2017). *Diktat Material dan Proses Stainless Steel*. Universitas Udayana.
- Nugraha, M. P. W. (2019). *Pengaruh Variasi Tekanan Udara Terhadap Nilai Kekasaran Permukaan dan Lebar HAZ pada Proses Pemotongan Stainless*

Steel SUS 304 Dengan Menggunakan Plasma Cutting. Institut Teknologi Sepuluh November.

- Rahmawati, A. R., Anis, S., & Rusiyanto. (2019). Pengaruh Kecepatan Pemotongan dan Ketebalan Bahan Terhadap Kekerasan dan Kekasaran Permukaan Baja AISI 1045 Menggunakan CNC Plasma Arc Cutting. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 4, 93–98.
- Singh, G., & Akhai, S. (2015). Experimental Study and Optimisation of MRR in CNC Plasma Arc Cutting. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 5(6), 96–99.
- Singh, V. (2011). *Analysis of Process Parameters of Plasma Arc Cutting Using Design of Experiment*. National Institute of Technology Rourkela.
- Soejanto, I. (2009). *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi* (I. Soejanto, Ed.; Edisi Pertama). Graha Ilmu.
- Sumarji. (2011). Studi Perbandingan Ketahanan Korosi Stainless Steel Tipe SS 304 dan SS 201 Menggunakan Metode U-Bend Test Secara Siklik dengan Variasi Suhu dan PH. *Jurnal ROTOR*, Vol.4, No.1, 1–8.
- Taguchi, G., Chowdury, S., & Wu, Y. (2005). *Taguchi's Quality Engineering Handbook* (S. Taguchi & H. Yano, Eds.). John Wiley & Sons, Inc.
- Totten, G. E. (2006). *Steel Heat Treatment Metallurgy and Technologies* (G. E. Totten, Ed.; 2nd ed.). CRC Press.
- Tsiolikas, A., Kechagias, J., Salonitis, K., & Mastorakis, N. (2016). Optimization of Cut Surface Quality During CNC Plasma Arc Cutting Process. *International Journal of Systems Applications Engineering & Development*, 10, 305–308.
- Urdhwarese, H. (2019). *Design of Experiment*. Institute of Quality and Reliability.