

**PENGARUH DAYA PROSES *FIBER LASER CUTTING*
TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO
BAJA PADUAN A36**

TUGAS AKHIR



DISUSUN OLEH:

NAMA: ADITYA AINUN NAJIB

NIM : 2411905

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FEBRUARI 2026**

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH DAYA PROSES *FIBER LASER CUTTING* TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA PADUAN A36

Disusun Oleh:

Nama : ADITYA AINUN NAJIB
NIM : 2411905
Prodi : Teknik Mesin S-1
Fakultas : Teknologi Industri

Malang, 5 Februari 2026

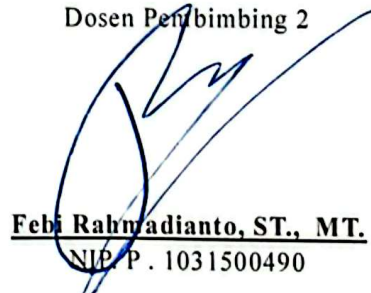
Diperiksa dan Disetujui

Dosen Pembimbing 1


Ir. Soeparno Djiwo, MT.

NIP. Y . 1018600128

Dosen Pembimbing 2


Febi Rahmadiano, ST., MT.

NIP. P . 1031500490



Dr. Eko Yohanes Setyawan, ST., MT.

NIP. P . 1031400477

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Nama : Aditya Ainun Najib
NIM : 2411905
Program Studi : Teknik Mesin S-1
Judul Skripsi : Pengaruh Daya Proses Fiber Laser Cutting Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Paduan A36

Dipertahankan di Hadapan Tim Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1)

Hari/Tanggal :

Dengan Nilai :

Panitia Penguji Skripsi

Ketua



Dr. Eko Yohanes Setvawan, ST., MT.
NIP. P. 1031400477

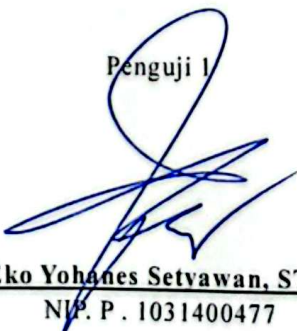
Sekretaris



Tutut Nani Prihatmi, Ss., S.Pd.
NIP. P. 1031500493

Anggota Penguji

Penguji 1



Dr. Eko Yohanes Setvawan, ST., MT.
NIP. P. 1031400477

Penguji 2



Arif Kurniawan, ST., MT
NIP. P. 1031500491

PERNYATAAN KEASLIAN ISI TUGAS AKHIR

Saya bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Aditya Ainun Najib

NIM : 2411905

Tempat/Tanggal Lahir : Nganjuk, 13 April 1997

Alamat Asal : Jl. Kembang Turi no. 4A Kelurahan Jatimulyo,
Kecamatan Lowokwaru Kota Malang Jawa Timur

Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin S-1, Fakultas Teknologi Industri, Institut
Teknologi Nasional Malang.

Menyatakan

Bahwa tugas akhir saya yang berjudul **“PENGARUH DAYA PROSES *FIBER LASER CUTTING* TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA PADUAN A36”** Adalah hasil karya saya sendiri dan bukan hasil karya orang lain, kecuali kutipa yang telah disebut sumbernya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan data yang sebenarnya.

Malang, 5 Februari 2026
Yang membuat pernyataan



10000
METEPA
TEMPER
390F9ANX249296545

Aditya Ainun Najib
NIM. 2411905

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul : **“PENGARUH DAYA PROSES *FIBER LASER CUTTING* TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA PADUAN A36”** Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin. Penyusunan tugas akhir ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi daya pada proses *fiber laser cutting* terhadap perubahan sifat mekanik khususnya kekerasan serta karakteristik struktur mikro pada baja paduan A36, sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi baik secara akademis maupun praktis dalam bidang manufaktur dan proses pemotongan logam modern.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Awan Uji krismanto ST, MT, Ph.D selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang, atas dukungan dan fasilitas yang telah diberikan selama penulis menempuh pendidikan.
2. Bapak Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST., MT. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, beserta jajaran pimpinan fakultas, atas kebijakan dan dukungan akademik yang telah diberikan.
3. Bapak Dr. Eko Yohanes S, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin, yang telah memberikan arahan dan kemudahan dalam proses akademik hingga penyusunan tugas akhir ini dapat diselesaikan.
4. Bapak Ir. Soeparno Djiwo, MT. selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Febi Rahmadianto, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II, yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan,

arahan, serta masukan yang sangat berharga selama proses penyusunan tugas akhir ini.

5. Bapak Dosen Penguji I Dr. Eko Yohanes S, ST., MT. dan Bapak Dosen Penguji II Arif Kurniawan, ST., MT. yang telah memberikan kritik, saran, dan kontribusi nyata guna penyempurnaan tugas akhir ini.
6. Istri tercinta Larasaty Mulya Mayangsari, yang senantiasa memberikan doa, dukungan moral, motivasi, dan kesabaran selama penulis menjalani proses perkuliahan dan penyusunan tugas akhir ini.
7. Orang tua tercinta, yang telah memberikan kasih sayang, doa, dukungan, serta pengorbanan yang tidak ternilai, sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan hingga tahap ini.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah memberikan bantuan dan dukungan secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki keterbatasan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan karya ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih dan semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa melimpahkan rahmat-Nya kepada kita semua.

Malang, 7 Februari 2026
Penulis,

Aditya Ainun Najib
2411905

PENGARUH DAYA PROSES *FIBER LASER CUTTING* TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA PADUAN A36

Aditya Ainun Najib¹, Soeparno Djiwo².

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Nasional Malang

Jl. Raya Karanglo km 2, Malang, 65145

Email : adityanajib04@gmail.com

ABSTRAK

Pemanfaatan teknologi *fiber laser cutting* dalam industri manufaktur semakin luas karena mampu menghasilkan potongan dengan presisi tinggi dan kecepatan proses yang baik. Namun, penggunaan energi panas yang terfokus pada proses ini berpotensi menimbulkan perubahan sifat mekanik dan struktur mikro material di sekitar tepi potong, khususnya pada baja karbon rendah ASTM A36. Variasi daya laser diduga menjadi faktor dominan yang memengaruhi terbentuknya *heat affected zone* (HAZ) serta distribusi kekerasan dan fasa mikrostruktur, namun hubungan pengaruh tersebut masih memerlukan kajian eksperimental yang lebih mendalam. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi daya *fiber laser cutting* terhadap nilai kekerasan dan karakteristik struktur mikro baja ASTM A36, serta menentukan kondisi daya optimum berdasarkan hasil pengujian. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan eksperimental dengan memvariasikan daya laser pada lima tingkat, yaitu 1100 W, 1200 W, 1300 W, 1400 W, dan 1500 W, sementara parameter proses lainnya dijaga konstan. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode *micro-Vickers hardness test* pada zona *base metal* (BM) dan *heat affected zone* (HAZ), sedangkan pengamatan struktur mikro dilakukan melalui pengujian metalografi menggunakan larutan etsa Nital 2%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan daya laser memberikan pengaruh nyata terhadap perubahan nilai kekerasan dan struktur mikro baja ASTM A36. Nilai kekerasan cenderung meningkat pada zona HAZ seiring bertambahnya daya laser, yang berkorelasi dengan terjadinya transformasi mikrostruktur berupa perubahan morfologi butir dan kecenderungan pembentukan fasa yang lebih keras. Daya laser tertentu menghasilkan keseimbangan antara kualitas tepi potong, distribusi kekerasan, dan stabilitas struktur mikro, sehingga dapat direkomendasikan sebagai daya optimum untuk proses *fiber laser cutting* pada baja ASTM A36.

Kata kunci: *fiber laser cutting*, daya laser, baja ASTM A36, kekerasan Vickers, struktur mikro, HAZ.

THE EFFECT OF FIBER *LASER CUTTING* PROCESS POWER ON THE HARDNESS AND MICROSTRUCTURE OF A36 ALLOY STEEL

Aditya Ainun Najib¹, Soeparno Djiwo².

Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Industrial Technology,
National Institute of Technology Malang
Email : adityanajib04@gmail.com

ABSTRACT

The use of *fiber laser cutting technology* in the manufacturing industry is increasingly widespread because it is able to produce pieces with high precision and good process speed. However, the focused use of heat energy in this process has the potential to lead to changes in the mechanical properties and microstructure of materials around the cutting edges, particularly in ASTM A36 low-carbon steel. Variations in laser power are thought to be the dominant factors influencing the formation of *heat affected zones* (HAZ) as well as the distribution of hardness and microstructural phases, but these influences still require more in-depth experimental studies. This study aims to analyze the effect of *fiber laser cutting* power variations on the hardness value and microstructure characteristics of ASTM A36 steel, as well as determine the optimal power conditions based on the test results. The research method used is an experimental approach by varying the laser power at five levels, namely 1100 W, 1200 W, 1300 W, 1400 W, and 1500 W, while other process parameters are kept constant. Hardness testing was carried out using the *micro-Vickers hardness test* method in the *base metal zone* (BM) and *heat affected zone* (HAZ), while microstructure observation was carried out through metallographic testing using Nital 2% etching solution. The results showed that the increase in laser power exerted a noticeable influence on changes in the hardness value and microstructure of ASTM A36 steel. The hardness value tends to increase in the HAZ zone as the laser power increases, which correlates with the occurrence of microstructural transformations in the form of changes in grain morphology and the tendency to form harder phases. A given laser power produces a balance between cutting edge quality, hardness distribution, and microstructural stability, so it can be recommended as the optimum power for *fiber laser cutting* processes in ASTM A36 steel.

Keywords: *fiber laser cutting*, laser power, ASTM A36 steel, Vickers hardness, microstructure, HAZ.

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN ISI TUGAS AKHIR	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Relavan	7
2.2 Konsep Umum Pemotongan Proses Pemotongan Logam	9
2.2.1 Klasifikasi Pemotongan Logam (Gambaran Umum)	10
2.2.2 Perbandingan Detail Proses Pemotongan	11
2.3 Teknologi Laser Cutting dalam Industri Manufaktur Modern	17
2.3.1 Sejarah Singkat Laser Cutting	17
2.3.2 Perkembangan CO ₂ Laser ke Fiber Laser	17
2.3.3 Aplikasi Laser Cutting pada Industri Otomotif.....	19
2.3.4 Aplikasi Laser Cutting pada Konstruksi Baja	19
2.3.5 Aplikasi Laser Cutting pada Fabrikasi Pelat	20
2.3.6 Standar Industri Terkait Laser Cutting	20
2.3.7 Isu Terkini dalam Laser Cutting Modern	21

2.4	Prinsip Dasar <i>Fiber laser cutting</i>	22
2.4.1	Karakteristik Beam (<i>Focal spot size</i> , M ²)	23
2.4.2	Interaksi Laser Material: <i>Absorption, Reflection, dan Coupling</i> ...	24
2.4.3	Mekanisme <i>Kerf Formation</i> pada <i>Fiber laser cutting</i>	25
2.4.4	Peran Gas Bantu: Nitrogen, Oksigen, dan Udara Bertekanan	26
2.4.5	Keterkaitan Konsep 2.4 dengan Variabel Penelitian	27
2.5	Siklus Termal dan Fenomena Heat-Affected Zone (HAZ)	28
2.5.1	Definisi BM, HAZ, dan FZ dalam Konteks Laser Cutting	29
2.5.2	Thermal Cycle pada Laser Cutting	31
2.5.3	Faktor yang Memengaruhi Lebar HAZ pada Laser Cutting	32
2.5.4	Perbandingan HAZ pada Laser Cutting vs Welding	33
2.5.5	Dampak HAZ terhadap Sifat Mekanik	35
2.6	Trasformasi Fasa Akibat Pemanasan Laser	36
2.6.1	Diagram Fe–C (Penjelasan Naratif untuk Baja Karbon Rendah) ..	36
2.6.2	Austenitisasi Parsial (Partial Austenitization)	37
2.6.3	Pembentukan Martensite (Martensite Formation)	38
2.6.4	Bainite vs Martensite pada Baja Karbon Rendah	39
2.6.5	Self-Quenching Effect pada Laser Cutting	40
2.7	Baja Karbon ASTM A36	41
2.7.1	Standar ASTM A36 (Komposisi Kimia dan Sifat Mekanik)	41
2.7.2	Perilaku Termal Baja Karbon Rendah	41
2.7.3	Respons ASTM A36 terhadap Pemanasan Cepat	42
2.8	Teori Kekerasan Material Logam	43
2.8.1	Konsep Kekerasan Logam	43
2.8.2	Perbandingan Metode Kekerasan	43
2.8.3	Hubungan Kekerasan dan Mikrostruktur	45
2.8.4	Relevansi Hall–Petch.....	45
2.9	Teori dan Prinsip Uji Kekerasan Vickers	47
2.9.1	Prinsip Dasar Uji Vickers	47
2.9.2	Alasan Pemilihan Vickers	48
2.9.3	Sensitivitas HV terhadap HAZ	48
2.9.4	Validitas dan Repeatability Pengujian	49

2.10	Teori Metalografi dan Analisis Mikrostruktur	49
2.10.1	Konsep Dasar Metalografi.....	49
2.10.2	Preparasi Spesimen Metalografi	49
2.10.3	Mekanisme Etching (Nital sebagai Contoh).....	50
2.10.4	Interpretasi Ferrite–Pearlite–Martensite.....	50
2.10.5	Hubungan Citra Mikro dan Sifat Mekanik	50
2.11	Hubungan Daya Laser, Struktur Mikro, dan Kekerasan	51
2.12	Pengaruh Variasi Daya terhadap Nilai Kekerasan Vickers di Cut-Edge/HAZ.....	51
2.13	Pembahasan Lensa/Fokus: focal length, fokus posisi, dan pengaruhnya pada kualitas & HAZ	52
2.14	Kerangka Pemikiran dan Hipotesis Penelitian	52
2.14.1	Narasi Alur Logis Penelitian	52
2.14.2	Hipotesis Penelitian (Eksplisit).....	53
BAB III METODE PENELITIAN.....		54
3.1	Diagram Alir Penelitian	54
3.2	Identifikasi Masalah	55
3.3	Studi Literatur	55
3.4	Penentuan Variabel Penelitian	56
3.5	Persiapan Alat dan Bahan Penelitian.....	56
3.5.1	Bahan Penelitian.....	56
3.5.2	Alat Penelitian	57
3.6	Pembuatan Sampel/Spesimen Pengujian	59
3.6.1	Dokumentasi Spesimen Penelitian	59
3.7	Proses <i>Fiber laser cutting</i>	60
3.8	Pengujian Struktur Mikro & Kekerasan Vickers	61
3.8.1	Uji Struktur Mikro (Microstructure Observation)	61
3.8.2	Uji Kekerasan (Micro-Vickers Hardness Test)	62
3.9	Pengumpulan Data dan Validasi	63
3.10	Analisis Data dan Pembahasan	63
3.10.2	Analisis Kuantitatif.....	63
3.10.3	Analisis Kualitatif	64

3.10.4	Korelasi Analisis Kuantitatif dan Kualitatif	65
3.11	Kesimpulan	65
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		66
4.1	Data Hasil Pengujian.....	66
4.1.1	Data Hasil Pengamatan Struktur Mikro	66
4.1.2	Data Hasil Uji Kekerasan Vickers.....	68
4.2	Analisa dan Pembahasan	70
4.2.1	Analisa Mikrostruktur (Pembesaran 500× sebagai standar)	70
4.2.2	Analisa Kekerasan Vickers HV	75
4.2.3	Korelasi Struktur Mikro Dengan Kekerasan HV	76
4.3	Penentuan Daya Laser Optimum Berdasarkan Hasil Uji Kekerasan dan Struktur Mikro	80
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		81
5.1	Kesimpulan	81
5.2	Saran	81
DAFTAR PUSTAKA		82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mechanical Cutting	10
Gambar 2. 2 Schematic drawing of thermal cutting	11
Gambar 2. 3 schematic diagram of Abrasive Water Jet Machining	11
Gambar 3. 1 Spesimen baja ASTM A36 sebelum proses <i>fiber laser cutting</i>	59
Gambar 3. 2 Spesimen baja ASTM A36 sesudah proses <i>fiber laser cutting</i>	60
Gambar 3. 4 Dokumentasi a. Polish tahap 1 b. Finish Polish c. Proses pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optic d. hasil preparasi specimen dan polish	62
Gambar 3. 3 Dokumentasi a. Proses pengujian kekerasan Vickers b. Pembacaan hasil pengujian pada specimen uji Vickers	62
Gambar 4. 1 Foto Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pembesaran 200x, 500x, 1000x	66
Gambar 4. 2 Mikrostruktur hasil <i>fiber laser cutting</i> pada daya 1100 W (jarak 4 mm dan 8 mm; 200×, 500×, 1000×)	66
Gambar 4. 3 Mikrostruktur hasil <i>fiber laser cutting</i> pada daya 1200 W (jarak 4 mm dan 8 mm; 200×, 500×, 1000×)	67
Gambar 4. 4 Mikrostruktur hasil <i>fiber laser cutting</i> pada daya 1300 W (jarak 4 mm dan 8 mm; 200×, 500×, 1000×)	67
Gambar 4. 5 Mikrostruktur hasil <i>fiber laser cutting</i> pada daya 1400 W (jarak 4 mm dan 8 mm; 200×, 500×, 1000×)	68
Gambar 4. 6 Mikrostruktur hasil <i>fiber laser cutting</i> pada daya 1500 W (jarak 4 mm dan 8mm; 200×, 500×, 1000×)	68
Gambar 4. 7 Hasil Analisa Melalui Software ImageJ a. BM Ferrite 56,712%, b. BM Pearlite 43,288%	70
Gambar 4. 8 Hasil Perhitungan Fraksi Struktur Mikro Daya 1100W 500X Menggunakan ImageJ	71
Gambar 4. 9 Hasil Perhitungan Fraksi Struktur Mikro Daya 1200W 500X Menggunakan ImageJ	72

Gambar 4. 10 Hasil Perhitungan Fraksi Struktur Mikro Daya 1300W 500X Menggunakan ImageJ	73
Gambar 4. 11 Hasil Perhitungan Fraksi Struktur Mikro Daya 1400W 500X Menggunakan ImageJ	73
Gambar 4. 12 Hasil Perhitungan Fraksi Struktur Mikro Daya 1500W 500X Menggunakan ImageJ	74
Gambar 4. 13 Perbandingan rata-rata HV tiap variasi daya terhadap base metal	75
Gambar 4. 14 Selisih kekerasan (Δ HV) terhadap base metal pada jarak 4 mm dan 8 mm	76

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Variabel Penelitian.....	56
Tabel 3. 2 Komposisi Material dan Dimensi Spesimen uji	57
Tabel 3. 3 Spesifikasi Alat Uji Kekerasan dan Mikroskop	57
Tabel 3. 4 Rancangan Experiment.....	60
Tabel 4. 1 Data Uji Kekerasan Vickers Base Metal	69
Tabel 4. 2 Data Uji Kekerasan Vickers Jarak 4 mm dari Cut Edge	69
Tabel 4. 3 Data Uji Kekerasan Vickers Jarak 8 mm dari Cut Edge	69
Tabel 4. 4 Ringkasan Rata-Rata Kekerasan Vickers per Variasi Daya	70
Tabel 4. 5 Korelasi Kekerasan dan Mikrostruktur pada Variasi Daya <i>Fiber laser cutting</i>	77
Tabel 4. 6 Penentuan daya laser optimum berdasarkan kriteria kekerasan dan struktur mikro	80