

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses *fiber laser cutting* kini banyak digunakan di industri karena mampu menghasilkan potongan presisi tinggi, cepat, dan minim distorsi termal. Meski begitu, proses pemotongan dengan energi panas tinggi ini juga menimbulkan perubahan sifat mekanik dan mikrostruktur di sekitar area potong. Salah satu faktor yang paling berpengaruh adalah **daya laser**, yang menentukan jumlah energi panas yang diterima material. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa variasi daya dapat mengubah kedalaman zona pengaruh panas (HAZ) serta kekerasan permukaan, tetapi hasil yang dilaporkan masih beragam dan belum memberikan kesimpulan yang konsisten untuk baja karbon struktural seperti ASTM A36 (Alsaadawy dkk., 2024; Čepauskaitė dkk., 2024; Chen dkk., 2024).

ASTM A36 termasuk baja karbon rendah dengan mikrostruktur dasar ferrite pearlite. Penelitian pengelasan pada material ini membuktikan bahwa variasi masukan panas mampu mengubah ukuran butir dan proporsi fasa yang berujung pada perubahan kekerasan (Senthilkumar dkk., 2023; Surojo dkk., 2021). Kondisi ini menunjukkan bahwa pengaruh termal dari *laser cutting* juga berpotensi memodifikasi mikrostruktur di sekitar tepi potong. Namun, belum ada penelitian yang secara spesifik menelusuri bagaimana daya laser memengaruhi perubahan tersebut pada proses pemotongan, bukan pengelasan.

Berdasarkan hal itu, penelitian ini dirancang untuk memahami secara mendalam hubungan antara **daya laser**, **kekerasan**, dan **struktur mikro** baja ASTM A36 setelah melalui proses *fiber laser cutting*. Fokus utamanya mencakup tiga hal yaitu bagaimana variasi daya memengaruhi nilai kekerasan, bagaimana perubahan daya mengubah bentuk butir dan jenis fasa mikro, serta bagaimana korelasi keduanya dapat dijelaskan secara metalurgi. Kajian terdahulu menunjukkan bahwa peningkatan daya cenderung memperluas HAZ dan mengubah

fasa, namun hasil spesifik untuk A36 masih terbatas dan belum diuji secara sistematis (Chen dkk., 2024; Diekhoff dkk., 2024).

Untuk menjawab masalah tersebut, penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan memvariasikan daya laser pada parameter proses yang dikendalikan secara konstan. Setiap sampel kemudian diuji menggunakan metode **vickers microhardness** dan **pengamatan metalografi** untuk mengidentifikasi perubahan mikrostruktur di zona *Base Metal (BM)* dan *Heat affected zone (HAZ)*. Pendekatan kuantitatif ini diharapkan mampu memperjelas hubungan langsung antara daya laser dan karakteristik metalurgi hasil potong (Retterath dkk., 2024; Zeng dkk., 2024).

Secara ilmiah, hasil penelitian diharapkan dapat membangun **model hubungan daya, struktur, kekerasan** yang khas untuk baja A36 pada kondisi *fiber laser cutting*. Dengan model ini, arah pengaruh daya apakah meningkatkan kekerasan melalui penyempitan butir atau menurunkan kekerasan akibat penahanan panas bisa dijelaskan secara objektif. Selama ini, hasil penelitian lintas material masih menunjukkan tren yang berlawanan (Chen dkk., 2024; Zeng dkk., 2024), sehingga penelitian ini penting untuk mengisi kekosongan data khusus A36.

Dari sisi praktis, penelitian ini juga memberikan manfaat bagi industri manufaktur logam, terutama dalam menentukan **pengaturan daya optimal** agar didapat kualitas tepi potong yang baik tanpa menurunkan integritas mekanik. Kajian (Alsaadawy dkk., 2024) menekankan bahwa pengendalian parameter *fiber laser cutting* harus mempertimbangkan aspek geometri sekaligus sifat material pasca proses. Karena A36 adalah material struktural yang umum digunakan pada konstruksi dan fabrikasi, temuan ini diharapkan langsung relevan untuk kebutuhan industri.

Hingga saat ini, sebagian besar studi yang terindeks Scopus lebih menyoroti pengaruh parameter *fiber laser cutting* terhadap kualitas geometri potong dan kedalaman HAZ pada baja S355 atau baja kekuatan tinggi. Sangat sedikit penelitian yang secara spesifik memfokuskan diri pada **pengaruh daya terhadap kekerasan dan perubahan mikrostruktur baja A36** dalam proses pemotongan, apalagi yang

juga menganalisis **korelasi keduanya lintas zona termal**. Oleh sebab itu, penelitian ini memiliki kontribusi penting dalam menutup kesenjangan pengetahuan tersebut dan dapat menjadi dasar bagi optimasi proses *fiber laser cutting* pada baja karbon rendah (Alsaadawy dkk., 2024; Diekhoff dkk., 2024).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi daya laser terhadap nilai kekerasan pada baja ASTM A36 hasil proses *fiber laser cutting*?
2. Bagaimana pengaruh variasi daya laser terhadap perubahan struktur mikro (bentuk butir dan fasa) pada baja ASTM A36?
3. Bagaimana korelasi antara nilai kekerasan dan perubahan struktur mikro akibat proses *fiber laser cutting*, serta bagaimana menentukan daya laser optimum yang menghasilkan kualitas pemotongan terbaik pada material baja?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan tidak melebar dari tujuan utama, maka ditetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Material spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah ASTM A36 yang diperoleh dari “Toko Rian Baja” dengan dimensi spesimen 100 mm × 50 mm × 6 mm.
2. Proses pemotongan dilakukan menggunakan mesin *fiber laser cutting* tipe industri yang tersedia di Laboratorium Manufaktur Program Studi Teknik Mesin ITN Malang.
3. Jumlah sampel per variasi tiga kali pengulangan (3 repetisi) untuk memperkuat validitas statistik.

4. Jenis pengujian yang dilakukan meliputi: Uji kekerasan Vickers (HV) pada dua zona hasil potongan, yaitu :
 - a. *Base Metal (BM)*
 - b. *Heat affected zone (HAZ)*
5. Uji struktur mikro dengan metode metalografi menggunakan etching Nital 2% sesuai standar ASTM E407, untuk mengamati perubahan morfologi butir dan fasa akibat pengaruh variasi daya.
6. Lokasi pengujian kekerasan dan pengamatan struktur mikro dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin ITN Malang.
7. Variabel dalam penelitian ini terdiri dari:
 - a. Variabel bebas (independen): daya laser (1100 W, 1200 W, 1300 W, 1400 W, dan 1500 W).
 - b. Variabel terikat (dependen): nilai kekerasan (HV) dan struktur mikro pada tiga zona hasil potong.
 - c. Variabel terkontrol: Kecepatan potong (1000 mm/min), jenis gas (O_2 2 bar), Focal length 125 mm, nozzle 1.5 mm, fokus 0 mm, stand off distance 1 mm, tebal plat 6 mm
 - d. Variabel tidak terkontrol: fluktuasi suhu ruangan, kondisi lensa, keausan nozzle, variasi homogenitas mikrostruktur awal
8. Penelitian tidak membahas aspek geometri potongan, seperti *kerf width*, *surface roughness*, atau *perpendicularity of cut edge*, *feed rate*, jenis gas selain oksigen, *post-treatment (annealing atau tempering)*, maupun analisis *deformasi termal numerik* (simulasi FEM/CFD).
9. Standar acuan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi ASTM E384 (uji kekerasan mikro) dan ASTM E407 (preparasi metalografi dan *etching*).

1.4 Tujuan Penelitian

Sejalan dengan rumusan masalah, tujuan penelitian adalah:

1. Menganalisis pengaruh variasi daya laser terhadap perubahan nilai kekerasan pada baja A36 hasil proses *fiber laser cutting*..
2. Mengamati dan mengidentifikasi perubahan struktur mikro pada zona potong akibat perbedaan daya laser.

3. Menganalisis korelasi antara kekerasan dan struktur mikro akibat proses *fiber laser cutting* untuk menentukan daya laser optimum pada material baja.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. **Bagi akademisi**, memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu di bidang mekanika material dan teknologi pemotongan laser, khususnya mengenai pengaruh energi termal terhadap perilaku mikrostruktur baja karbon rendah.
2. **Bagi praktisi**, hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan dalam penentuan parameter optimal *fiber laser cutting* untuk memperoleh hasil potong dengan kekerasan dan struktur mikro yang diinginkan tanpa menurunkan kualitas permukaan.
3. **Bagi industri manufaktur**, penelitian ini dapat membantu dalam meningkatkan efisiensi proses pemotongan logam dengan kontrol termal yang lebih baik guna mengurangi cacat produksi.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri atas lima bab, yaitu:

Bab I – Pendahuluan

Berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan.

Bab II – Tinjauan Pustaka

Membahas teori dasar laser cutting, karakteristik baja A36, fenomena termal dan transformasi mikrostruktur, serta hasil penelitian terdahulu yang relevan.

Bab III – Metodologi Penelitian

Menjelaskan tahapan penelitian, parameter proses, rancangan eksperimen, metode pengujian kekerasan dan struktur mikro.

Bab IV – Hasil dan Pembahasan

Menyajikan data hasil pengujian, analisis hubungan daya terhadap HAZ, kekerasan, dan struktur mikro.

Bab V – Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan dari hasil penelitian serta rekomendasi untuk penelitian lanjutan.