

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelasan merupakan proses penyambungan logam yang sangat penting dalam industri manufaktur modern, terutama untuk aplikasi struktural dan rekayasa material. Proses ini bekerja melalui mekanisme pemanasan hingga meleburkan logam dasar, kemudian mendinginkannya untuk menghasilkan sambungan metalurgi yang kuat dan permanen. Dalam praktik industri, pengelasan menjadi fondasi utama bagi konstruksi jembatan, rangka bangunan, fabrikasi komponen mesin, perpipaan, dan industri alat berat karena efisiensi serta kemampuan adaptasinya terhadap berbagai jenis material (Messler, 2004). Dari berbagai teknik pengelasan, *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) merupakan metode yang paling luas digunakan karena peralatannya sederhana, harganya ekonomis, serta mampu diaplikasikan pada berbagai posisi dan kondisi lapangan (Jeffus, 2017). Pada baja karbon rendah, SMAW banyak dipilih karena menghasilkan sambungan yang cukup kuat dengan kualitas yang stabil dan mudah dikontrol. Proses SMAW memanfaatkan busur listrik untuk mencairkan logam dasar dan elektroda berlapis *fluks*, menghasilkan sambungan metalurgi yang kuat. Namun, siklus termal yang terjadi selama pengelasan meliputi pemanasan hingga suhu tinggi dan pendinginan yang cepat menginduksi transformasi mikrostruktur kompleks yang secara langsung mempengaruhi sifat mekanik material, terutama kekerasan dan ketangguhan (Kou, 2003).

Baja karbon rendah, khususnya ASTM A36, merupakan material struktural yang paling banyak digunakan dalam konstruksi sipil dan mekanik karena kombinasi optimal antara kekuatan, kemampuan las, ketersediaan, dan harga yang ekonomis (Wibowo, Ilman and Tri Iswanto, 2016). Dengan kandungan karbon sekitar 0,26% dan struktur dasar ferit-perlit, baja A36 memiliki sensitivitas yang relatif rendah terhadap *hydrogen cracking* dan menunjukkan respons metalurgi yang dapat diprediksi terhadap perubahan laju pendinginan (Callister and Rethwisch, 2014). Karakteristik ini menjadikan baja A36 sebagai subjek penelitian yang ideal untuk memahami fenomena transformasi fasa akibat variasi parameter pengelasan dan kondisi pendinginan.

Posisi pengelasan merupakan salah satu parameter proses yang signifikan mempengaruhi kualitas sambungan las. *American Welding Society* (AWS) mengklasifikasikan posisi pengelasan menjadi empat kategori utama: 1G (datar), 2G (*horizontal*), 3G (*vertikal*), dan 4G (*overhead*). Setiap posisi memberikan kondisi termal dan

geometri kolam las yang berbeda akibat pengaruh gravitasi, stabilitas busur, dan manipulasi elektroda (*American Welding Society*, 2022). Penelitian oleh Vietanti *et al.* (2021) menunjukkan bahwa posisi pengelasan vertikal (3G) menghasilkan laju pendinginan lebih cepat dibandingkan posisi datar (1G), yang berimplikasi pada peningkatan kekerasan di zona *Heat Affected Zone* (HAZ) akibat pembentukan struktur mikro yang lebih halus. Studi terbaru oleh Ramadhan, Zulfika and Hakim (2023) pada baja S45C terhadap SKD11 mengkonfirmasi bahwa variasi posisi pengelasan memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai kekerasan sambungan las, dengan posisi vertikal menghasilkan kekerasan tertinggi. Masoumi and Shahriari (2009) juga melaporkan bahwa posisi pengelasan mempengaruhi distribusi panas dan siklus termal yang pada gilirannya mengontrol transformasi mikrostruktur.

Selain posisi pengelasan, laju pendinginan pasca-pengelasan menjadi faktor kritis yang menentukan jalur transformasi mikrostruktur pada baja karbon. Menurut diagram *Continuous Cooling Transformation* (CCT), kecepatan pendinginan mengontrol pembentukan fasa seperti ferit, perlit, *bainit*, atau *martensit* (Callister and Rethwisch, 2014). Media pendingin yang berbeda memberikan laju ekstraksi panas yang bervariasi: pendinginan udara (lambat) menghasilkan struktur ferit-perlit kasar dengan kekerasan rendah, pendinginan air (sangat cepat) dapat membentuk struktur *bainit* atau *martensit* yang keras, sementara media isolatif seperti semen memperlambat pendinginan secara drastis (Totten and MacKenzie, 2003).

Isu kritis dalam praktik pengelasan industri adalah bagaimana mengoptimalkan kombinasi parameter proses untuk mencapai properti mekanik yang diinginkan tanpa memerlukan perlakuan panas pasca-las yang mahal dan memakan waktu. Penelitian oleh Akhyar *et al.* (2022) menunjukkan bahwa penggunaan air sebagai media pendingin setelah pengelasan SMAW pada baja A36 meningkatkan kekerasan secara signifikan dibandingkan pendinginan udara, namun berisiko menimbulkan tegangan sisa dan distorsi geometri yang tinggi. Di sisi lain, studi oleh Anhar (2019) melaporkan bahwa pendinginan menggunakan serbuk Semen abu yang bertindak sebagai isolator termal menghasilkan kekerasan terendah karena laju pendinginan yang sangat lambat memungkinkan transformasi difusi penuh dan *stress relief* alami. Penelitian terkini oleh Sebayang *et al.* (2024) pada baja S45C menunjukkan bahwa variasi media pendingin (air, oli, udara) memberikan pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik hasil pengelasan SMAW. Sayed and Alanazi (2022) mengkonfirmasi bahwa pendinginan cepat dengan air meningkatkan sifat mekanik material namun perlu dikontrol untuk menghindari distorsi berlebihan.

Meskipun terdapat sejumlah penelitian yang mengkaji pengaruh posisi pengelasan atau media pendingin secara terpisah, kajian komprehensif yang menganalisis interaksi simultan kedua variabel tersebut pada baja ASTM A36 masih terbatas. Dalam praktik industri, posisi pengelasan dan kondisi pendinginan terjadi secara bersamaan dan saling berinteraksi, menghasilkan pola distribusi panas yang kompleks di sepanjang zona pengelasan (*Weld Metal*, HAZ, dan *Base Metal*). Interaksi ini dapat menggeser jalur transformasi mikrostruktur secara signifikan, sebagaimana dijelaskan oleh Kou (2003) dan Radaj and Radaj (2003), sehingga pemahaman mendalam tentang fenomena ini menjadi esensial untuk pengendalian kualitas pengelasan. Wahyu Aji Peratama *et al.* (2024) melaporkan bahwa kombinasi variasi pendingin dan metode pengelasan memberikan pengaruh kompleks terhadap kekerasan material baja paduan karbon rendah, namun penelitian tersebut belum mengkaji secara sistematis interaksi dengan berbagai posisi pengelasan.

Berdasarkan *research gap* yang teridentifikasi, penelitian ini bertujuan mengisi kekosongan literatur dengan menganalisis pengaruh kombinasi variasi posisi pengelasan (1G, 2G, 3G) dan variasi media pendingin (udara, air, semen abu) terhadap kekerasan Brinell dan struktur mikro sambungan las SMAW pada baja ASTM A36. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah berupa pemahaman fundamental tentang interaksi siklus termal-transformasi mikrostruktur, serta rekomendasi praktis untuk optimasi parameter pengelasan di industri guna mencapai sifat mekanik yang diinginkan secara efisien dan ekonomis.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh kombinasi posisi pengelasan dan media pendingin terhadap nilai kekerasan pada daerah *Weld Metal* (WM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Base Metal* (BM) sambungan las baja ASTM A36?
2. Bagaimana pengaruh kombinasi posisi pengelasan dan media pendingin terhadap struktur mikro pada daerah *Weld Metal* (WM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Base Metal* (BM) sambungan las baja ASTM A36?
3. Bagaimana menentukan kombinasi optimal dari variasi posisi pengelasan dan media pendingin untuk aplikasi sambungan las baja ASTM A36?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh kombinasi posisi pengelasan dan media pendingin terhadap nilai kekerasan pada daerah *Weld Metal* (WM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Base Metal* (BM) sambungan las baja ASTM A36.
2. Menganalisis pengaruh kombinasi posisi pengelasan dan media pendingin terhadap perubahan struktur mikro pada daerah *Weld Metal* (WM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Base Metal* (BM) sambungan las baja ASTM A36.
3. Menentukan kombinasi optimal dari variasi posisi pengelasan dan media pendingin berdasarkan kriteria kekerasan dan struktur mikro untuk berbagai aplikasi sambungan las baja ASTM A36.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terfokus dan terarah, batasan masalah yang ditetapkan adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan adalah baja ASTM A36 dengan kandungan karbon 0,26%.
2. Dimensi spesimen sebelum pengelasan adalah panjang 25 mm, lebar 30 mm, dan tebal 10 mm per keping. Dimensi akhir setelah pengelasan adalah panjang 25 mm, lebar 60 mm, dan tebal 10 mm.
3. Proses pengelasan menggunakan metode *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dengan elektroda AWS E7016 diameter 2,6 mm.
4. Parameter pengelasan yang digunakan adalah arus 80 Ampere, tegangan 23 Volt, dengan desain kampuh V tunggal 70°, *root gap* 2 mm, dan *root face* $\pm 1,5$ mm.
5. Variasi posisi pengelasan yang digunakan adalah 1G (*Flat*), 2G (*Horizontal*), dan 3G (*Vertical-up*) sesuai standar AWS D1.1.
6. Variasi media pendingin yang digunakan adalah udara, air, dan Semen abu.
7. Setiap kombinasi perlakuan dibuat 3 spesimen replikasi, dengan total 27 spesimen penelitian
8. Pengujian sifat mekanik difokuskan pada Uji Kekerasan Brinell sesuai standar ASTM E10 dengan indentor bola baja diameter 5 mm, beban 1000 kgf, dan waktu dwell 10 detik.
9. Pengujian kekerasan dilakukan pada tiga zona pengelasan yaitu *Weld Metal* (WM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Base Metal* (BM) dengan masing-masing 3 titik indentasi per zona, total 243 titik pengukuran.

10. Analisis struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran $100\times$ dan analisis kuantitatif proporsi fasa ferit-perlit menggunakan *software ImageJ* sesuai standar ASTM E1245.
11. Penelitian ini tidak melakukan pengujian sifat mekanik lainnya seperti uji tarik, uji impak, uji lengkung, atau uji komposisi kimia material.