

TUGAS AKHIR
ANALISIS PENGARUH VARIASI *PREHEAT* PADA
SAMBUNGAN FCAW TERHADAP KEKERASAN DAN
STRUKTUR MAKRO BAJA ASTM A36

Disusun untuk memenuhi persyaratan mencapai gelar Ahli Madya/Sarjana

Terapan

Dosen Pembimbing :

Nurul Laili Arifin, S.S.T., M.T.



Disusun oleh:

MUHAMMAD RIYON SAPUTRA

4422201011

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA PENGELASAN DAN
FABRIKASI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BATAM

2026

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH VARIASI *PREHEAT* PADA SAMBUNGAN FCAW TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MAKRO BAJA ASTM A36

TUGAS AKHIR

Disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Terapan
(S.Tr.T.) pada Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Pengelasan dan Fabrikasi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Batam

Disusun oleh :

MUHAMMAD RIYON SAPUTRA
4422201011

Telah diterima dan disetujui pada 28 Juli 2026

Penguji I



Oki Setiawan, S.T., M.Eng.

Penguji II



Tian Havwini, S.Si., M.A.

Dosen Pembimbing



Nurul Laili Arifin, S.S.T., M.T.

Mengetahui,
Koordinator Program Studi
Teknologi Rekayasa Pengelasan dan Fabrikasi



Nurul Laili Arifin, S.S.T., M.T.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Riyon Saputra
NIM : 4422201011
Tahun terdaftar : 2022
Program Studi : Teknologi Rekayasa Pengelasan dan Fabrikasi
Jurusan : Teknik Mesin

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Laporan Tugas Akhir ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu lembaga Pendidikan Tinggi dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan sumbernya secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dengan demikian saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur- unsur plagiasi dan apabila dokumen ilmiah Tesis ini dikemudian hari terbukti merupakan plagiasi dari hasil karya penulis lain dan/atau dengan sengaja mengajukan karya atau pendapat yang merupakan hasil karya penulis lain, maka penulis bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Batam, 26 Mei 2026



Muhammad Riyon Saputra

4422201011

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan rahmat-Nya, sehingga Tugas Akhir ini dapat dirampungkan secara baik dan sesuai target waktu. Karya ilmiah ini diajukan guna memenuhi salah satu syarat kelulusan dan perolehan gelar akademik pada program studi.

Penulisan laporan ini menjadi sarana bagi penulis untuk memperluas cakrawala berpikir, mengasah keilmuan, serta mengimplementasikan teori-teori perkuliahan ke dalam sebuah kajian ilmiah yang terstruktur. Besar harapan penulis agar naskah ini mampu memberikan kontribusi positif serta menjadi sumber rujukan yang bermanfaat bagi para pembaca.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan penyelesaian studi ini tidak lepas dari sumbangsih ide, motivasi, dan bimbingan dari berbagai pihak. Rasa hormat dan terima kasih yang tulus disampaikan kepada dosen pembimbing, keluarga tercinta, rekan-rekan sejawat, serta seluruh pihak yang senantiasa mengalirkan dukungan moral maupun material selama proses penelitian.

Sadar akan adanya keterbatasan dan celah kekurangan dalam naskah ini, penulis sangat terbuka menerima masukan serta kritik yang konstruktif untuk perbaikan karya di kemudian hari. Akhir kata, semoga hasil penelitian ini membawa kemaslahatan bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Batam, 28 Juli 2026

Penulis,



Muhammad Riyon, Saputra

4422201011

ABSTRAK

Flux Cored Arc Welding (FCAW) merupakan salah satu proses pengelasan yang banyak digunakan pada konstruksi baja karena memiliki produktivitas tinggi dan mampu menghasilkan sambungan las berkualitas. Temperatur *preheat* merupakan salah satu parameter yang memengaruhi siklus termal selama proses pengelasan sehingga berpengaruh terhadap sifat mekanik dan struktur makro sambungan las. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi temperatur *preheat* terhadap distribusi kekerasan Vickers dan karakteristik struktur makro sambungan las FCAW pada baja ASTM A36. Penelitian dilakukan menggunakan proses FCAW dengan tiga variasi, yaitu tanpa *preheat*, *preheat* 75°C, dan *preheat* 150°C. Pengujian meliputi uji kekerasan Vickers (HV10) dan pengamatan struktur makro, kemudian dianalisis secara deskriptif komparatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur *preheat* memberikan respons yang berbeda pada setiap daerah sambungan las. Daerah *Base Metal* (BM) menunjukkan kecenderungan penurunan nilai kekerasan, *Heat Affected Zone* (HAZ) menunjukkan kecenderungan peningkatan nilai kekerasan, sedangkan *Weld Metal* (WM) memiliki nilai kekerasan yang relatif stabil. Selain itu, peningkatan temperatur *preheat* menghasilkan penetrasi sambungan yang lebih baik, memperluas daerah HAZ, serta menghilangkan indikasi *crack*. Namun, cacat *slag inclusion* dan *lack of fusion* masih ditemukan pada seluruh variasi temperatur *preheat*. Berdasarkan hasil penelitian, variasi temperatur *preheat* berpengaruh terhadap karakteristik kekerasan dan struktur makro sambungan las FCAW pada baja ASTM A36. Berdasarkan hasil pengamatan struktur makro, *preheat* 150°C menghasilkan kualitas sambungan yang lebih baik, meskipun diikuti oleh pelebaran daerah HAZ.

Kata Kunci: FCAW, ASTM A36, *preheat*., kekerasan Vickers, struktur makro.

ABSTRACT

Flux Cored Arc Welding (FCAW) is widely used in steel construction because of its high productivity and ability to produce high-quality welded joints. Preheat temperature is an important parameter that influences the welding thermal cycle, thereby affecting the mechanical properties and macrostructural characteristics of welded joints. This study aimed to investigate the effect of preheat temperature variations on the Vickers hardness distribution and macrostructural characteristics of FCAW welded joints in ASTM A36 steel. Welding was performed under three preheat conditions: without preheat, preheat at 75°C, and preheat at 150°C. Vickers hardness (HV10) testing and macrostructural examination were conducted, and the results were analyzed using a descriptive comparative approach. The results showed that increasing the preheat temperature produced different responses in each region of the welded joint. The Base Metal (BM) exhibited a decreasing hardness trend, the Heat Affected Zone (HAZ) showed an increasing hardness trend, while the Weld Metal (WM) maintained relatively stable hardness values. Macrostructural observations revealed improved weld penetration, a wider HAZ, and the elimination of crack defects with increasing preheat temperature. However, slag inclusion and lack of fusion defects were still observed under all preheat conditions. Overall, preheat temperature influenced both the hardness distribution and macrostructural characteristics of FCAW welded joints in ASTM A36 steel. Based on macrostructural evaluation, a preheat temperature of 150°C provided better weld quality, although it resulted in a wider HAZ.

Keywords: FCAW, ASTM A36, preheat, Vickers hardness, macrostructure.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	I
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	II
KATA PENGANTAR	III
ABSTRAK	IV
ABSTRACT	V
DAFTAR ISI	VI
DAFTAR TABEL	VIII
DAFTAR GAMBAR	IX
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah/Ruang Lingkup	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Hasil penelitian/perancangan terdahulu	5
2.2 Teori/Konsep dasar	5
2.2.1 Pengelasan	5
2.2.2 <i>Flux Cored Arc Welding (FCAW)</i>	6
2.2.3 Baja ASTM A36	7
2.2.4 Sambungan Las <i>Butt Joint V-Groove</i>	8
2.2.5 Daerah Sambungan Las	9
2.2.6 Pemanasan Awal (<i>Preheat</i>)	9
2.2.7 Pengujian Kekerasan Vickers	10
2.2.8 Pengujian Struktur Makro	11
2.2.9 Kerangka Berfikir	12

BAB III METODOLOGI	13
3.1 Jenis Penelitian	13
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	13
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	14
3.4 Diagram Alir Penelitian	14
3.5 Prosedur Penelitian	16
3.5.1 Tahap Persiapan Material dan Pembuatan Spesimen	16
3.5.2 Tahap Pemberian <i>Preheat</i>	16
3.5.3 Tahap Pengelasan FCAW	17
3.5.4 Tahap Pemotongan Spesimen Uji	18
3.5.5 Tahap Preparasi dan Pengujian Spesimen	19
3.6 Teknik Analisis Data	19
3.6.1 Analisis Data Kekerasan	20
3.6.2 Analisis Struktur Makro	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1 Hasil Pengujian dan Pembahasan Kekerasan Vickers	22
4.2 Hasil Pengujian dan Pembahasan Struktur Makro	25
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	29
5.1 Kesimpulan	29
5.2 Saran	29
DAFTAR PUSTAKA	31
LAMPIRAN	33

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Mekanis Atlantic CHT711	7
Tabel 2.2 Komposisi Kimia Atlantic CHT711	7
Tabel 2.3 Sifat Mekanis ASTM A36	8
Tabel 2.4 Komposisi Kimia Baja ASTM A36.	8
Tabel 3.1 Daftar Alat Penelitian	14
Tabel 3.2 Daftar Bahan Penelitian	14
Tabel 3.3 Parameter Nominal Pengelasan	17
Tabel 4.1 Data Aktual Hasil Pengujian Kekerasan Vickers	22
Tabel 4.2 Rata-rata Hasil Pengujian Kekerasan Vickers	22
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Lebar HAZ	26

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sambungan <i>Single-V Groove</i>	9
Gambar 2.2 Kerangka Berfikir Penelitian	12
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	15
Gambar 3.2 Geometri Sambungan <i>Single V-Groove Butt Joint</i>	16
Gambar 3.3 Skema Pemotongan Dimensi Spesimen Uji Melintang	18
Gambar 3.4 Daerah Titik Pengujian Kekerasan	19
Gambar 4.1 Perbandingan Nilai Kekerasan Rata-rata	23
Gambar 4.2 Hasil Struktur Makro kondisi Tanpa <i>Preheat</i>	25
Gambar 4.3 Hasil Struktur Makro Temperatur <i>Preheat</i> 75°C	26
Gambar 4.4 Hasil Struktur Makro Temperatur <i>Preheat</i> 150°C	26
Gambar 4.5 Tren rata-rata lebar <i>Heat Affected Zone</i> (HAZ)	27

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Proses pengelasan memegang peranan penting dalam menjamin kekuatan dan keandalan struktur pada industri fabrikasi baja, konstruksi, galangan kapal, serta minyak dan gas. Salah satu material yang banyak digunakan pada sektor tersebut adalah baja karbon rendah ASTM A36 karena memiliki kemampuan las yang baik serta kombinasi kekuatan dan keuletan yang sesuai untuk berbagai aplikasi struktural. Berdasarkan (ASTM Internasional, 2023), baja ASTM A36 memiliki batas luluh minimum sebesar 250 MPa dan kekuatan tarik sebesar 400–550 MPa.

Dalam proses fabrikasi, *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) menjadi salah satu metode yang banyak digunakan karena memiliki laju deposisi logam yang tinggi, penetrasi yang baik, serta produktivitas yang lebih tinggi dibandingkan beberapa proses pengelasan lainnya (AWS, 2011). Akan tetapi, besarnya masukan panas selama proses pengelasan menyebabkan terjadinya siklus termal yang memengaruhi perubahan mikrostruktur dan sifat mekanik pada daerah sambungan las, terutama pada *Heat Affected Zone* (HAZ) yang merupakan wilayah paling sensitif terhadap pengaruh panas (Kou, 2003). Perubahan tersebut dapat dievaluasi melalui pengujian kekerasan untuk mengetahui perubahan sifat mekanik, serta pengujian struktur makro untuk mengamati profil penetrasi, bentuk manik las, dan indikasi cacat pengelasan.

Salah satu upaya yang umum diterapkan untuk mengendalikan siklus termal adalah pemberian *preheat* (pemanasan awal) sebelum proses pengelasan. Perlakuan ini bertujuan untuk menurunkan laju pendinginan, mengurangi gradien temperatur, serta menekan risiko terbentuknya retak dingin pada sambungan las (AWS, 2025). Namun demikian, dalam praktik di industri, penentuan temperatur *preheat* maupun keputusan untuk melakukan pengelasan tanpa *preheat* masih sering didasarkan pada prosedur internal perusahaan atau pengalaman operator tanpa didukung oleh data pengujian

yang memadai. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan variasi kualitas sambungan las sehingga diperlukan penelitian yang dapat memberikan data empiris mengenai pengaruh *preheat* terhadap karakteristik hasil pengelasan.

Beberapa penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa *preheat* memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik sambungan las. Amelia dkk. (2024) melaporkan bahwa peningkatan temperatur *preheat* pada pengelasan FCAW baja ASTM A36 mampu memperlambat laju pendinginan sehingga menurunkan kekerasan dan meningkatkan daktilitas sambungan. Shibab dkk. (2025) menunjukkan bahwa perubahan temperatur *preheat* menghasilkan distribusi kekerasan yang berbeda pada setiap zona sambungan las, sedangkan Pratikno dkk. (2022) menyatakan bahwa pengendalian masukan panas dan laju pendinginan berperan penting dalam menentukan karakteristik daerah HAZ.

Meskipun demikian, penelitian yang mengombinasikan pengujian kekerasan Vickers pada daerah *Base Metal* (BM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Weld Metal* (WM) dengan analisis struktur makro pada pengelasan FCAW baja ASTM A36 menggunakan kawat las Atlantic CHT711 masih belum banyak dilaporkan. Selain itu, kajian yang membandingkan kondisi tanpa *preheat* dengan variasi temperatur *preheat* 75°C dan 150°C pada sambungan *single V-groove butt joint* posisi 1G juga masih terbatas.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh kondisi tanpa *preheat* serta variasi temperatur *preheat* terhadap distribusi kekerasan dan karakteristik struktur makro sambungan las FCAW pada baja ASTM A36 menggunakan kawat las Atlantic CHT711. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi teknis dalam menentukan parameter *preheat* yang sesuai sehingga kualitas sambungan las dapat ditingkatkan tanpa mengurangi efisiensi proses pengelasan.

1.2. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh kondisi tanpa *preheat* serta variasi temperatur

preheat 75°C dan 150°C terhadap pemetaan nilai kekerasan Vickers di sepanjang sambungan las FCAW pada material baja ASTM A36 dengan ketebalan 10 mm?

2. Bagaimana pengaruh kondisi tanpa *preheat* serta variasi temperatur *preheat* 75°C dan 150°C terhadap karakteristik makro pada sambungan las FCAW material baja ASTM A36 dengan ketebalan 10 mm?

1.3. Batasan Masalah/Ruang Lingkup

Agar penelitian lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditetapkan, maka ruang lingkup penelitian dibatasi sebagai berikut.

1. Material yang digunakan adalah baja karbon rendah ASTM A36 dengan ketebalan 10 mm.
2. Proses pengelasan yang digunakan adalah *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) menggunakan kawat las Atlantic CHT711 dengan klasifikasi AWS A5.20 E71T-1C.
3. Variasi kondisi termal yang digunakan terdiri atas tanpa *preheat*, *preheat* 75°C, dan *preheat* 150°C.
4. Sambungan las yang digunakan berupa *single V-groove butt joint* pada posisi pengelasan 1G.
5. Parameter pengelasan selain temperatur *preheat*, meliputi arus, tegangan, kecepatan pengelasan, laju aliran gas pelindung, jenis polaritas, dan jumlah lintasan, dijaga tetap selama proses pengelasan.
6. Pengujian yang dilakukan dibatasi pada uji kekerasan Vickers dan pengamatan struktur makro.
7. Pengambilan data uji kekerasan hanya dilakukan pada daerah *Base Metal* (BM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Weld Metal* (WM).
8. Penelitian tidak membahas pengujian sifat mekanik lain, seperti uji tarik, uji impak, uji tekuk, uji kelelahan, maupun analisis struktur mikro.
9. Penelitian hanya membahas pengaruh variasi temperatur *preheat* terhadap distribusi kekerasan Vickers dan karakteristik struktur makro sambungan las FCAW pada baja ASTM A36.

10. Setiap variasi temperatur *preheat* menggunakan tiga spesimen sebagai pengulangan pengujian.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh kondisi tanpa *preheat* serta variasi temperatur *preheat* 75°C, dan 150°C terhadap distribusi nilai kekerasan Vickers pada sambungan las FCAW baja ASTM A36 ketebalan 10 mm.
2. Menganalisis pengaruh kondisi tanpa *preheat* serta variasi temperatur *preheat* 75°C, dan 150°C terhadap karakteristik struktur makro sambungan las FCAW baja ASTM A36 ketebalan 10 mm.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil dari pelaksanaan penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi berupa:

1. Menambah referensi ilmiah mengenai pengaruh kondisi tanpa *preheat* dan variasi temperatur *preheat* terhadap distribusi kekerasan Vickers serta karakteristik struktur makro sambungan las FCAW pada baja ASTM A36.
2. Menyediakan data empiris yang dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan teknis dalam menentukan temperatur *preheat* yang sesuai untuk memperoleh kualitas sambungan las pada proses FCAW.
3. Menjadi referensi bagi peneliti, mahasiswa, maupun praktisi yang akan melakukan penelitian lanjutan mengenai pengaruh parameter termal terhadap karakteristik sambungan las FCAW pada baja karbon.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hasil penelitian/perancangan terdahulu

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penerapan *preheat* sebelum proses pengelasan berpengaruh terhadap karakteristik sambungan las melalui perubahan siklus termal dan laju pendinginan. Perubahan tersebut dapat memengaruhi distribusi panas, struktur mikro, serta sifat mekanik sambungan las.

Penelitian Pratikno dkk. (2022) menunjukkan bahwa peningkatan temperatur *preheat* pada pengelasan FCAW baja ASTM A36 menyebabkan daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) menjadi lebih luas akibat penyebaran panas yang lebih merata. Sementara itu, Amelia dkk. (2024) melaporkan bahwa peningkatan temperatur *preheat* memperlambat laju pendinginan sehingga memengaruhi mikrostruktur dan sifat mekanik sambungan las.

Hasil penelitian Shibab dkk. (2025) menunjukkan bahwa variasi temperatur *preheat* memengaruhi distribusi nilai kekerasan pada daerah *Base Metal* (BM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Weld Metal* (WM). Penelitian Rifaldi dkk. (2021) juga melaporkan bahwa pemberian *preheat* pada baja ASTM A36 meningkatkan nilai kekerasan pada daerah HAZ dibandingkan spesimen tanpa *preheat*.

Secara umum, penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa temperatur *preheat* merupakan salah satu parameter yang memengaruhi karakteristik sambungan las, baik ditinjau dari aspek distribusi kekerasan maupun kondisi struktur hasil pengelasan.

2.2 Teori/Konsep dasar

2.2.1 Pengelasan

Pengelasan merupakan proses penyambungan dua atau lebih material melalui pemanasan hingga terbentuk ikatan metalurgi, dengan atau tanpa pemberian tekanan maupun logam pengisi (Kou, 2003).

Proses pengelasan banyak digunakan pada industri manufaktur, konstruksi, perkapalan, serta minyak dan gas karena mampu menghasilkan sambungan yang bersifat permanen dan memiliki kekuatan mekanis yang tinggi. Kualitas sambungan las dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain jenis material, parameter pengelasan, desain kampuh, posisi pengelasan, logam pengisi, serta pengendalian panas selama proses pengelasan berlangsung (AWS, 2011).

2.2.2 Flux Cored Arc Welding (FCAW)

FCAW merupakan salah satu proses pengelasan busur listrik yang menggunakan elektroda tubular kontinu berisi fluks sebagai logam pengisi. Selama proses pengelasan berlangsung, busur listrik terbentuk antara ujung elektroda dan logam induk sehingga menghasilkan panas yang mencairkan elektroda dan logam induk untuk membentuk sambungan las (Kou, 2003).

Proses FCAW banyak digunakan pada industri fabrikasi baja, konstruksi, manufaktur, dan galangan kapal karena memiliki produktivitas yang tinggi, laju deposisi logam las yang besar, penetrasi yang baik, serta mampu menghasilkan kualitas sambungan yang relatif konsisten. Selain itu, penggunaan elektroda berinti fluks membantu menjaga kestabilan busur selama proses pengelasan sehingga FCAW menjadi salah satu metode yang banyak diterapkan pada pekerjaan fabrikasi baja (Kou, 2003) ; (AWS, 2011) Salah satu komponen penting dalam proses FCAW adalah logam pengisi. Jenis logam pengisi yang digunakan akan memengaruhi karakteristik busur listrik, kualitas deposit logam las, sifat mekanik sambungan, serta kemudahan pelaksanaan proses pengelasan. Oleh karena itu, pemilihan kawat las harus disesuaikan dengan jenis material dan kebutuhan aplikasi pengelasan (Kou, 2003).

Pada penelitian ini digunakan kawat las Atlantic CHT711 dengan klasifikasi AWS A5.20 E71T-1C sebagai logam pengisi. Atlantic CHT711 merupakan elektroda berinti fluks yang dirancang untuk pengelasan baja karbon menggunakan gas pelindung 100% CO₂. Berdasarkan data teknis pabrikan, kawat las ini memiliki karakteristik busur yang stabil, penetrasi

yang baik, percikan yang relatif rendah, serta terak yang mudah dibersihkan sehingga sesuai digunakan pada proses fabrikasi baja (Atlantic, 2021). Sifat mekanis serta komposisi kimia murni dari logam terendap kawat Atlantic CHT711 dijabarkan pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Sifat Mekanis Atlantic CHT711 (Atlantic, 2021)

Parameter	Nilai
<i>Yield Strength</i>	440 MPa
<i>Tensile Strength</i>	535 MPa
<i>Elongation</i>	32 %

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Atlantic CHT711 (Atlantic, 2021)

Unsur	Kandungan (%)
<i>Carbon (C)</i>	0,055
<i>Manganese (Mn)</i>	1,35
<i>Silicon (Si)</i>	0,40

2.2.3 Baja ASTM A36

Baja ASTM A36 merupakan baja karbon rendah yang banyak digunakan pada berbagai konstruksi, seperti jembatan, gedung, komponen mesin, serta struktur fabrikasi. Material ini dipilih karena memiliki kombinasi kekuatan, keuletan, dan kemampuan las yang baik sehingga sesuai untuk berbagai aplikasi struktural. Sifat mekanis dan komposisi kimia baja ASTM A36 telah ditetapkan dalam standar ASTM A36 sebagai acuan untuk kebutuhan fabrikasi menggunakan sambungan las, baut, maupun paku keling (ASTM Internasional 2023).

Kemampuan las yang baik pada baja ASTM A36 dipengaruhi oleh kandungan karbonnya yang relatif rendah. Kandungan karbon tersebut membantu mengurangi kecenderungan terbentuknya struktur mikro yang getas serta menurunkan risiko terjadinya retak dingin pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) selama proses pengelasan (Kou, 2003). Oleh karena itu, material ini banyak digunakan sebagai logam induk pada berbagai penelitian maupun aplikasi pengelasan baja karbon.

Spesifikasi sifat mekanis dan komposisi kimia baja ASTM A36 yang

digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4.

Tabel 2.3 Sifat Mekanis ASTM A36 (ASTM Internasional, 2023)

Sifat Mekanis	Nilai
<i>Yield Strength</i> (Minimum)	250 MPa
<i>Tensile Strength</i>	400–550 MPa
<i>Elongation</i> (200 mm)	≥ 20 %
Modulus Elastisitas	± 200 GPa
Densitas	± 7,85 g/cm ³

Tabel 2.4 Komposisi Kimia Baja ASTM A36 (ASTM Internasional, 2023).

Unsur	Kandungan Maksimum (%)
Karbon (C)	0,26
Mangan (Mn)	0,60–1,20
Fosfor (P)	0,04
Sulfur (S)	0,05
Silikon (Si)	0,40

2.2.4 Sambungan Las *Butt Joint V-Groove*

Sambungan *butt joint single V-groove* merupakan jenis sambungan yang dibuat dengan mempertemukan dua pelat pada satu bidang, kemudian membentuk kampuh berbentuk huruf V pada sisi sambungan. Desain kampuh ini banyak digunakan pada pengelasan pelat dengan ketebalan tertentu karena mampu menghasilkan penetrasi yang baik serta mempermudah proses pengisian logam las hingga mencapai akar sambungan (Kou, 2003).

Pada konstruksi baja, sambungan *single V-groove* banyak diterapkan karena mampu menghasilkan kekuatan sambungan yang baik apabila prosedur pengelasan dilakukan sesuai parameter yang ditetapkan. Selain itu, bentuk kampuh ini memungkinkan distribusi tegangan pada sambungan menjadi lebih merata dibandingkan beberapa jenis sambungan lainnya sehingga sesuai digunakan pada komponen yang menerima beban struktural (Kou, 2003).

Profil geometri sambungan *single V-groove* yang digunakan pada

penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sambungan *Single-V Groove* (NS ARC. 2024).

2.2.5 Daerah Sambungan Las

Secara umum, penampang melintang sambungan las terdiri atas tiga daerah utama, yaitu *Base Metal* (BM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Weld Metal* (WM). Ketiga daerah tersebut mengalami siklus termal yang berbeda selama proses pengelasan sehingga memiliki karakteristik mikrostruktur dan sifat mekanik yang berbeda (Kou, 2003).

1. *Base Metal* (BM) merupakan daerah logam induk yang berada paling jauh dari jalur pengelasan sehingga tidak mengalami pengaruh panas secara langsung. Oleh karena itu, struktur mikro dan sifat mekaniknya tetap sama seperti sebelum proses pengelasan dilakukan.
2. *Heat Affected Zone* (HAZ) merupakan daerah logam induk yang menerima pengaruh panas selama proses pengelasan, tetapi tidak mengalami peleburan. Siklus termal pada daerah ini dapat menyebabkan perubahan mikrostruktur yang berdampak pada perubahan sifat mekanik, sehingga HAZ sering menjadi daerah yang paling kritis pada sambungan las.
3. *Weld Metal* (WM) merupakan daerah yang terbentuk dari logam induk dan logam pengisi yang mencair selama proses pengelasan, kemudian membeku kembali membentuk logam las. Karakteristik daerah ini dipengaruhi oleh jenis logam pengisi, proses pembekuan, dan parameter pengelasan yang digunakan.

2.2.6 Pemanasan Awal (*Preheat*)

Preheat atau pemanasan mula dijalankan dengan menaikkan temperatur awal logam induk pada radius sekitar area kampuh sebelum busur elektrik dinyalakan. Aplikasi kontrol termal ini diimplementasikan untuk menurunkan laju pendinginan pasca-las, memperkecil gradien temperatur, mereduksi konsentrasi tegangan sisa internal, serta mengeliminasi risiko retak

dingin akibat migrasi hidrogen terperangkap (AWS, 2011) ; (AWS, 2025).

Selama proses FCAW berjalan, energi termal dari busur las akan merambat masuk menuju badan logam induk melalui mekanisme konduksi. Jika proses las dikerjakan tanpa intervensi *preheat*, jurang perbedaan suhu antara kawah cair dengan pelat dingin akan sangat besar, memicu pelepasan panas berjalan sangat cepat. Sebaliknya, intervensi *preheat* mendongkrak temperatur awal material sehingga distribusi panas sepanjang pengelasan berjalan secara lebih gradual dan landai (Kou, 2003).

Modifikasi distribusi panas ini mengontrol bentuk kurva siklus termal material sepanjang waktu berjalan. Wilayah terdekat dari busur las akan mengalami lonjakan temperatur puncak secara instan, diikuti penurunan suhu drastis saat obor las menjauh. Keberadaan *preheat* membuat penurunan suhu berjalan lebih lambat, memperpanjang waktu pendinginan, serta menurunkan nilai laju pendinginan aktual (AWS, 2025). Respons dari melambatnya laju pendinginan ini mendikte karakteristik metalurgi yang terbentuk, terutama pada perluasan dimensi fisik area HAZ serta fluktuasi nilai kekerasan lokal akibat perubahan laju pertumbuhan butir kristal (Kou, 2003).

2.2.7 Pengujian Kekerasan Vickers

Kekerasan merupakan sifat mekanik material yang menunjukkan kemampuannya dalam menahan deformasi plastis akibat penetrasi benda yang lebih keras. Dalam bidang metalurgi pengelasan, pengujian kekerasan digunakan untuk mengevaluasi perubahan sifat mekanik yang terjadi akibat siklus termal selama proses pengelasan. Perubahan nilai kekerasan dapat mengindikasikan adanya perubahan struktur mikro pada daerah sambungan las (Kou, 2003).

Pengujian kekerasan Vickers dilakukan dengan menekan indenter berbentuk piramida intan beralas bujur sangkar yang memiliki sudut puncak sebesar 136° ke permukaan spesimen menggunakan beban tertentu. Berdasarkan standar ASTM E384, nilai kekerasan Vickers ditentukan berdasarkan perbandingan antara beban yang diberikan dengan luas permukaan jejak indentasi yang terbentuk.

Panjang diagonal rata-rata dari jejak indentasi kemudian diukur

menggunakan mikroskop optik dan digunakan untuk menghitung nilai kekerasan Vickers berdasarkan Persamaan 2.1.

Rumus kekerasan Vickers dinyatakan sebagai berikut:

$$HV = 1.854 \times \frac{F}{d^2} \quad (\text{Persamaan 2.1})$$

dengan keterangan:

HV = nilai *Vickers Hardness*

F = beban yang diterapkan (kgf)

d = rata-rata panjang diagonal indentasi (mm)

Metode Vickers memiliki tingkat ketelitian yang tinggi karena dapat digunakan untuk mengukur material dengan berbagai tingkat kekerasan menggunakan satu jenis indenter. Selain itu, ukuran jejak indentasi yang relatif kecil memungkinkan pengujian dilakukan pada daerah yang sempit, sehingga metode ini sesuai untuk mengevaluasi distribusi kekerasan pada daerah *Base Metal* (BM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Weld Metal* (WM) pada sambungan las.

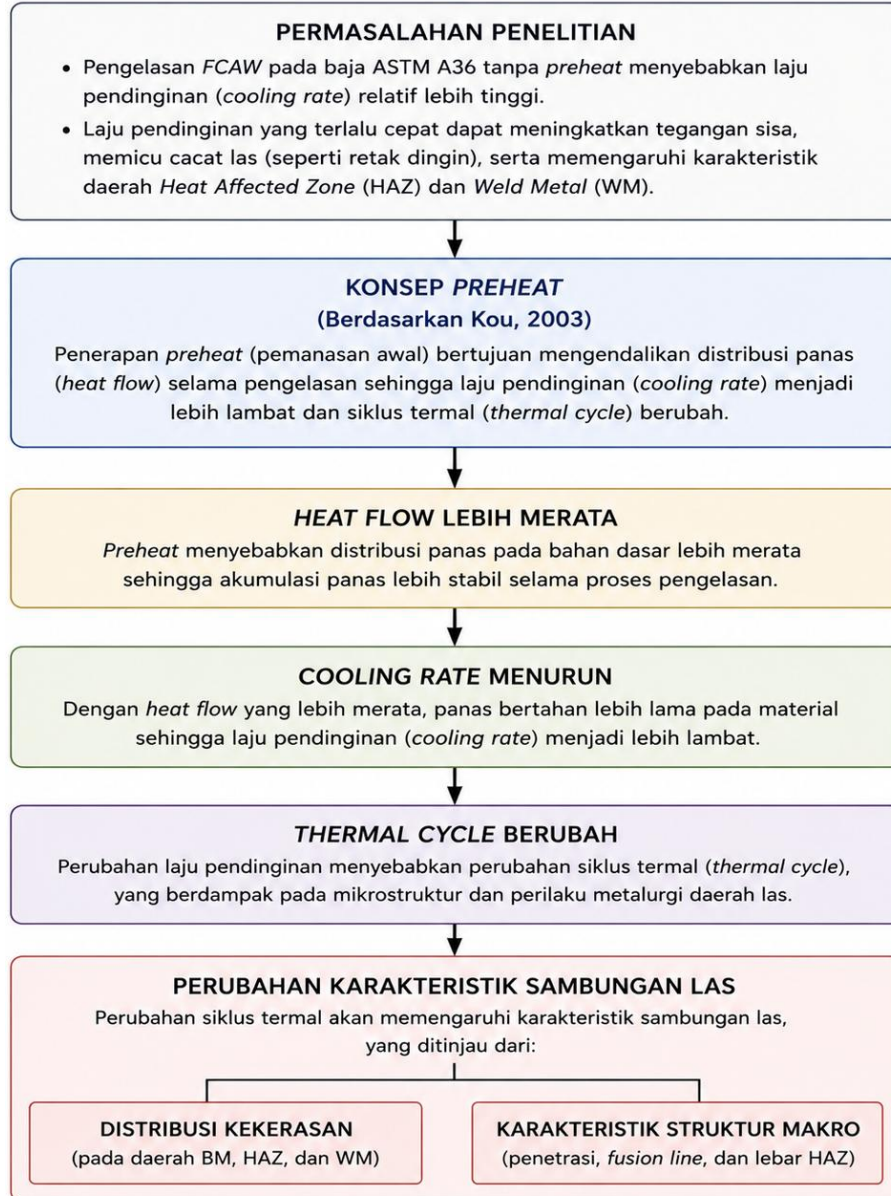
2.2.8 Pengujian Struktur Makro

Pengujian struktur makro dilakukan untuk mengamati karakteristik sambungan las secara visual pada penampang melintang spesimen setelah proses macroetching. Pengujian ini mengacu pada ASTM E340, yang digunakan sebagai pedoman dalam preparasi dan pengamatan struktur makro logam. Melalui pengamatan ini dapat diketahui bentuk penetrasi las, batas fusion line, dimensi *Heat Affected Zone* (HAZ), serta kondisi umum sambungan las.

Selain itu, pengamatan struktur makro digunakan untuk mengidentifikasi adanya cacat pengelasan yang dapat diamati secara visual, seperti *lack of fusion*, *slag inclusion*, *porositas*, maupun retak makro apabila terdapat pada penampang hasil pengujian (AWS, 2011). Data hasil pengamatan kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian kekerasan untuk memberikan gambaran mengenai pengaruh temperatur awal material terhadap karakteristik sambungan las.

2.2.9 Kerangka Berfikir

Alur logika dan kerangka berpikir dalam penelitian ini dirangkum pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Kerangka Berfikir Penelitian (Kou, 2003)

Gambar 2.2 menjelaskan alur logika penelitian yang dimulai dari identifikasi masalah berupa risiko pendinginan cepat pada baja ASTM A36. Masalah tersebut didekati secara teoritis menggunakan solusi *preheating* dengan tiga variasi temperatur. Pengaruh dari variasi tersebut kemudian dianalisis secara komparatif melalui uji kekerasan Vickers dan uji struktur makro untuk memperoleh temperatur *preheat* yang paling optimal.

BAB III

METODOLOGI

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen laboratorium dengan pendekatan kuantitatif. Menurut Sugiyono. (2022), penelitian eksperimen merupakan metode penelitian yang digunakan untuk mengetahui pengaruh suatu perlakuan terhadap variabel lain dalam kondisi yang terkendali. Pada penelitian ini, perlakuan yang diberikan berupa variasi temperatur awal material sebelum proses pengelasan *Flux Cored Arc Welding* (FCAW), kemudian pengaruhnya diamati melalui perubahan karakteristik sambungan las.

Pendekatan kuantitatif digunakan karena data yang diperoleh berupa nilai hasil pengujian yang dapat diukur dan dibandingkan secara objektif. Data penelitian meliputi hasil pengujian kekerasan Vickers serta pengamatan struktur makro yang digunakan untuk menganalisis pengaruh temperatur awal material terhadap karakteristik sambungan las FCAW pada baja ASTM A36.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah tanpa *preheat*, *preheat* 75°C, dan *preheat* 150°C. Variabel terikat meliputi nilai kekerasan Vickers dan karakteristik struktur makro sambungan las. Adapun variabel kontrol terdiri atas jenis material, dimensi spesimen, logam pengisi Atlantic CHT711, gas pelindung, parameter pengelasan, desain kampuh, posisi pengelasan, serta prosedur preparasi spesimen sehingga seluruh proses penelitian dilakukan pada kondisi yang seragam.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Pengelasan (W2) dan Laboratorium Metalurgi (W1) Politeknik Negeri Batam. Kegiatan penelitian meliputi proses persiapan material, pengelasan FCAW, pengujian kekerasan, pengujian struktur makro, pengolahan data, dan penyusunan laporan tugas akhir. Penelitian dilaksanakan pada periode Februari 2026 hingga Juli 2026.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Tabel 3.1 Daftar Alat Penelitian

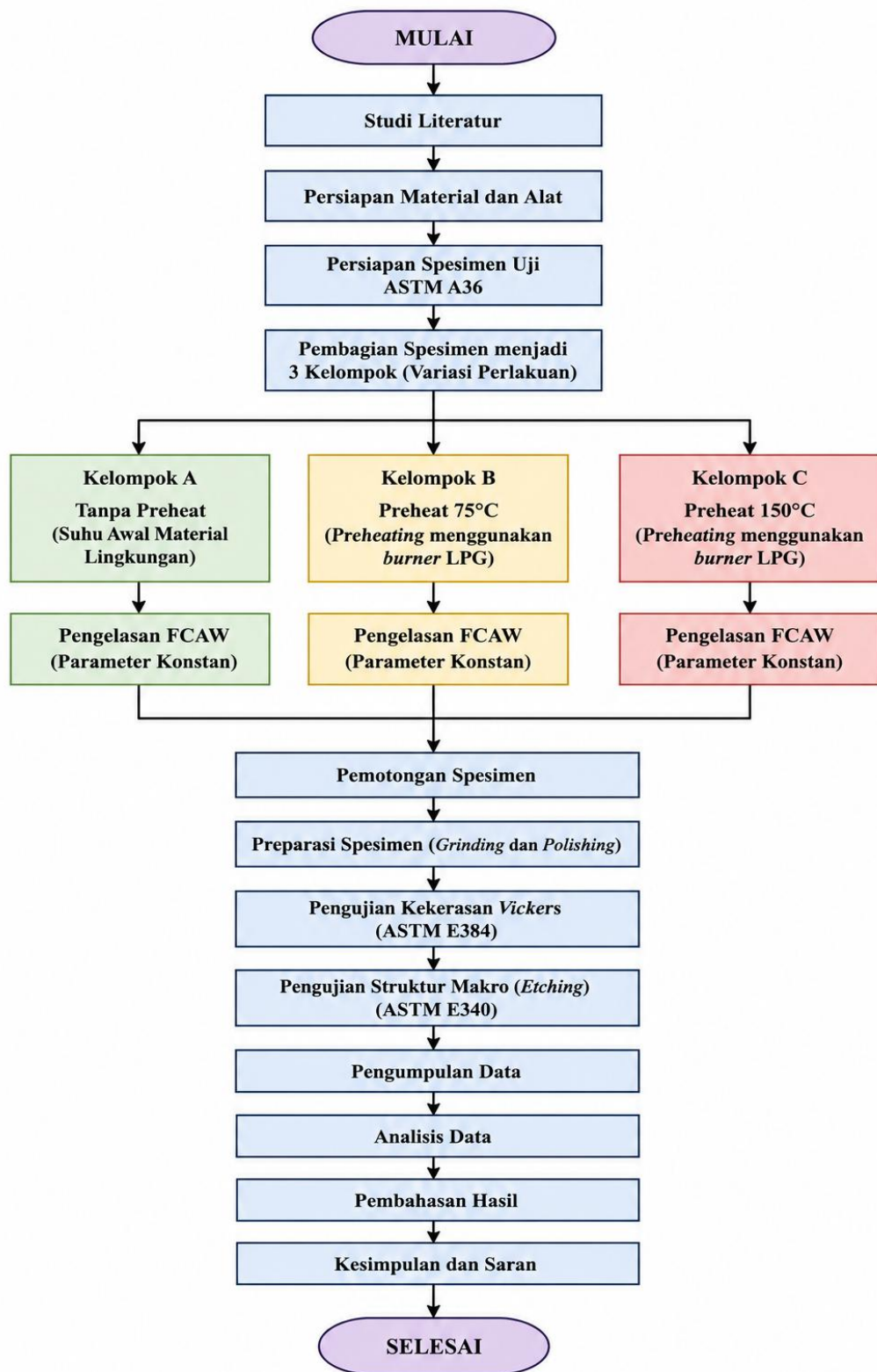
No	Alat
1.	Mesin Las <i>Flux-Cored Arc Welding</i> (Kobewel)
2.	<i>Welding Gun</i> FCAW
3.	<i>Burner</i>
4.	Regulator
5.	<i>Infrared Thermometer</i>
6.	Mesin Gergaji Pita (Krisbow)
7.	Gerinda
8.	Mesin <i>Polishing</i> (Plato)
9.	Mikroskop Optik (ZEISS Stemi 305)
10.	<i>Vickers Hardness Tester</i> (Mitutoyo)
11.	Jangka Sorong`
12.	Peralatan Keselamatan Kerja

Tabel 3.2 Daftar Bahan Penelitian

No	Bahan
1.	Baja ASTM A36 tebal 10 mm
2.	<i>Filler</i> CHT711 (Atlantic)
3.	Gas CO ₂
4.	Gas <i>Liquefied Petroleum Gas</i> (LPG)
5.	Amplas SiC (<i>Silicon Carbide</i>)
6.	Autosol
7.	Alkohol 70%
8.	Larutan Nital 2–5%

3.4 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang dimulai dari studi literatur, persiapan material, proses pengelasan, pengujian spesimen, hingga analisis data dan penarikan kesimpulan. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1.

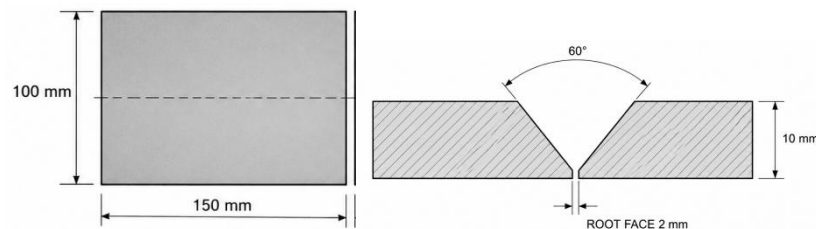


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Tahap Persiapan Material dan Pembuatan Spesimen

Penelitian ini menggunakan pelat baja karbon rendah ASTM A36 sebagai material uji dengan konfigurasi sambungan *single V-groove butt joint*. Seluruh spesimen dibuat dengan dimensi, bentuk kampuh, serta geometri sambungan yang seragam untuk memastikan bahwa perbedaan hasil pengujian hanya dipengaruhi oleh variabel penelitian, sedangkan parameter lainnya tetap dikendalikan. Dimensi spesimen dan bentuk kampuh yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Geometri Sambungan *Single V-Groove Butt Joint* (AWS, 2025)

Persiapan material diawali dengan proses pemotongan pelat menggunakan mesin CNC *laser cutting* sesuai ukuran yang telah direncanakan. Selanjutnya dilakukan pembentukan kampuh *single V-groove*, pengaturan *root face* dan *root gap*, kemudian seluruh permukaan kampuh dibersihkan dari karat, minyak, debu, maupun kontaminan lainnya sebelum proses pengelasan dilakukan. Pembersihan tersebut bertujuan untuk memperoleh kualitas peleburan yang baik serta meminimalkan kemungkinan terjadinya cacat pada sambungan las.

3.5.2 Tahap Pemberian *Preheat*

Sebelum proses pengelasan dilakukan, spesimen terlebih dahulu diberi perlakuan *preheat* menggunakan *burner* LPG pada daerah sekitar sambungan las. Perlakuan ini bertujuan untuk meningkatkan temperatur awal material sehingga laju pendinginan selama proses pengelasan menjadi lebih terkendali.

Temperatur *preheat* diukur menggunakan infrared thermometer pada titik pengukuran yang berjarak sekitar 25 mm dari garis tengah sambungan las. Pemanasan dihentikan setelah temperatur yang ditentukan tercapai.

Selanjutnya, proses pengelasan segera dilakukan untuk menjaga agar temperatur awal material tidak mengalami penurunan yang signifikan sebelum pengelasan dimulai.

3.5.3 Tahap Pengelasan FCAW

Proses pengelasan dilakukan menggunakan mesin *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) Kobewel pada posisi pengelasan 1G dengan polaritas *Direct Current Electrode Positive* (DCEP). Seluruh parameter pengelasan dibuat tetap pada setiap spesimen agar pengaruh yang diamati hanya berasal dari perbedaan kondisi tanpa *preheat*, *preheat* 75°C, dan *preheat* 150°C. Parameter pengelasan yang digunakan mengacu pada spesifikasi kawat las Atlantic CHT711 dan disajikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Parameter Nominal Pengelasan (Atlantic, 2021)

Lintasan (Pass)	Tegangan (V)	Arus (A)	Kawat Las (Filler)	Gas Pelindung dan Debit
1 (<i>Root</i>)	20	120	Atlantic CHT711 Ø 1,2 mm	100% CO ₂ , 20 L/menit
2 (<i>Hot Pass</i>)	21	140	Atlantic CHT711 Ø 1,2 mm	100% CO ₂ , 20 L/menit
3 (<i>Filler</i>)	22	160	Atlantic CHT711 Ø 1,2 mm	100% CO ₂ , 20 L/menit
4 (<i>Capping</i>)	23	180	Atlantic CHT711 Ø 1,2 mm	100% CO ₂ , 20 L/menit

Setelah seluruh parameter pengelasan disiapkan dan aliran gas pelindung diatur sesuai kebutuhan, proses pengelasan dilakukan pada setiap spesimen. Pengelasan dimulai setelah temperatur logam induk mencapai kondisi yang telah ditentukan sesuai dengan variabel penelitian. Setelah proses pengelasan selesai, spesimen didinginkan secara alami di udara hingga mencapai temperatur ruang.

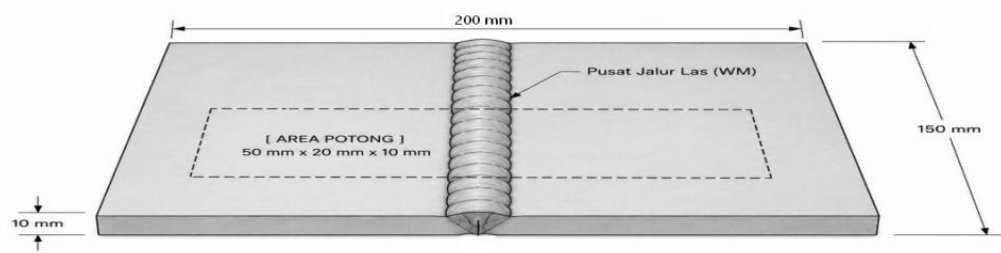
Untuk meningkatkan keandalan hasil penelitian, setiap kondisi pengelasan dibuat sebanyak tiga spesimen, sehingga diperoleh total sembilan

spesimen yang selanjutnya digunakan pada proses pengujian kekerasan dan struktur makro.

3.5.4 Tahap Pemotongan Spesimen Uji

Setelah proses pengelasan selesai, setiap pelat dipotong secara melintang tegak lurus terhadap arah jalur las pada bagian tengah sambungan. Pemotongan dilakukan pada bagian tengah karena daerah tersebut dianggap mewakili karakteristik sambungan las serta menghindari pengaruh ketidakstabilan busur yang dapat terjadi pada awal maupun akhir proses pengelasan.

Hasil pemotongan menghasilkan spesimen uji berukuran 50 mm × 20 mm × 10 mm. Dimensi tersebut dipilih agar daerah *Weld Metal* (WM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Base Metal* (BM) berada dalam satu bidang pengamatan sehingga dapat digunakan untuk pengujian struktur makro maupun pengujian kekerasan. Skema pemotongan spesimen ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Skema Pemotongan Dimensi Spesimen Uji Melintang
(AWS, 2025)

Tahapan pemotongan spesimen dilakukan sebagai berikut.

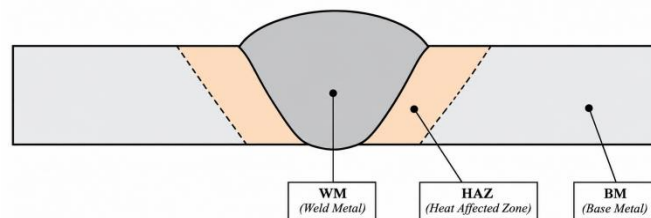
1. Penentuan posisi pemotongan, yaitu pada bagian tengah sambungan las untuk memperoleh penampang yang mewakili hasil pengelasan.
2. Pemberian kode spesimen, sesuai dengan kondisi pengelasan agar setiap spesimen dapat diidentifikasi selama proses pengujian.
3. Pembersihan permukaan spesimen, dengan menghilangkan sisa cairan pendingin dan beram hasil pemotongan sebelum dilakukan proses preparasi untuk pengujian selanjutnya.

3.5.5 Tahap Preparasi dan Pengujian Spesimen

Persiapan permukaan sampel dilakukan secara bertahap dengan cara diampelas menggunakan kertas amplas silikon karbida. Setelah itu, sampel dipoles menggunakan autosol sampai permukaannya mengilap seperti cermin. Sampel kemudian dibersihkan dengan alkohol 70% lalu diberi cairan etsa Nital 2% sesuai standar ASTM E340. Jika batas daerah lasan sudah terlihat jelas, foto struktur makro diambil menggunakan alat ZEISS Macroscope. Pengamatan ini bertujuan untuk melihat bentuk lasan, garis fusi, lebar daerah HAZ, dan hasil pencairan logam akibat pengaruh variasi suhu *preheat*.

Selanjutnya, pengujian kekerasan dilakukan sesuai standar ASTM E384 menggunakan alat *Mitutoyo Vickers Hardness Tester*. Beban yang digunakan adalah HV10 dengan waktu penekanan selama 10–15 detik pada penampang potong lasan. Pengujian dilakukan pada tiga daerah utama, yaitu *Base Metal* (BM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Weld Metal* (WM). Setiap daerah diuji sebanyak satu titik. Posisi titik uji ini ditentukan setelah melihat peta batas daerah las dari hasil foto makro sebelumnya.

Untuk meningkatkan keandalan hasil pengujian, setiap variasi kondisi termal menggunakan tiga spesimen sebagai pengulangan. Dengan tiga variasi kondisi termal, jumlah spesimen yang digunakan sebanyak sembilan buah sehingga diperoleh total 27 data hasil pengujian kekerasan. Data tersebut digunakan untuk menganalisis kecenderungan perubahan nilai kekerasan pada sambungan las FCAW baja ASTM A36. Posisi titik pengujian kekerasan pada setiap spesimen ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.4 Daerah Titik Pengujian Kekerasan (Dokumentasi Penulis, 2026)

3.6 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk mengolah, menyajikan, dan menginterpretasikan hasil pengujian guna menjawab rumusan masalah

penelitian. Penelitian ini menggunakan metode analisis deskriptif komparatif dengan pendekatan kuantitatif (Sugiyono, 2022)

Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian kekerasan Vickers dan struktur makro pada spesimen tanpa *preheat*, *preheat* 75°C, dan *preheat* 150°C. Hasil analisis digunakan untuk mengevaluasi pengaruh variasi temperatur *preheat* terhadap distribusi kekerasan dan karakteristik struktur makro sambungan las FCAW pada baja ASTM A36.

3.6.1 Analisis Data Kekerasan

Data hasil pengujian kekerasan Vickers diperoleh dari tiga variasi kondisi termal, yaitu tanpa *preheat*, *preheat* 75°C, dan *preheat* 150°C. Setiap variasi terdiri atas tiga spesimen sebagai pengulangan, dengan pengujian dilakukan pada daerah *Base Metal* (BM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Weld Metal* (WM). Pengolahan data dilakukan melalui tahapan sebagai berikut.

1. Validasi data, yaitu memeriksa seluruh hasil pengujian untuk memastikan nilai kekerasan, posisi titik uji, dan pencatatan data telah sesuai dengan prosedur pengujian.
2. Tabulasi data, yaitu menyusun hasil pengujian berdasarkan variasi kondisi termal dan daerah pengujian (BM, HAZ, dan WM) sehingga memudahkan proses analisis dan perbandingan antarspesimen.
3. Perhitungan nilai rata-rata, yaitu menghitung nilai kekerasan rata-rata pada setiap daerah pengujian menggunakan metode rata-rata aritmatika dari tiga spesimen untuk masing-masing variasi kondisi termal. Perhitungan dilakukan menggunakan Persamaan (3.1).

$$\bar{H} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i \quad (\text{Persamaan 3.1})$$

Dengan Keterangan :

$\bar{H}$ = Nilai kekerasan rata-rata (HV)

H_i = Nilai Kekerasan pada pengukuran ke- i

n = Jumlah specimen pada setiap kondisi pengelasan ($n = 3$)

i = No urut specimen (1,2,3)

4. Penyajian grafik, yaitu menyajikan nilai kekerasan rata-rata dalam bentuk grafik batang untuk memperlihatkan perbandingan nilai kekerasan pada daerah *Base Metal* (BM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Weld Metal* (WM) pada setiap variasi kondisi termal. Grafik digunakan untuk memudahkan visualisasi kecenderungan perubahan nilai kekerasan antar variasi temperatur *preheat*.
5. Analisis deskriptif komparatif, yaitu membandingkan nilai kekerasan rata-rata pada masing-masing daerah pengujian (BM, HAZ, dan WM) antarvariasi temperatur *preheat*, kemudian menginterpretasikan kecenderungan perubahan yang terjadi berdasarkan teori metalurgi pengelasan dan hasil penelitian terdahulu.

3.6.2 Analisis Struktur Makro

Analisis struktur makro dilakukan berdasarkan hasil pengamatan menggunakan *ZEISS Macroscope* pada spesimen yang telah melalui proses etsa menggunakan larutan Nital sesuai standar ASTM E340. Analisis dilakukan secara deskriptif komparatif dengan mengamati karakteristik sambungan las yang meliputi bentuk manik las, kedalaman penetrasi, garis fusi, kontinuitas peleburan antara logam induk dan logam las, serta keberadaan cacat las yang tampak secara visual.

Selain pengamatan visual, dilakukan pengukuran lebar daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) pada setiap spesimen sebagai data kuantitatif untuk mengevaluasi pengaruh variasi temperatur *preheat*. Nilai lebar HAZ dari setiap variasi kondisi termal kemudian dihitung nilai rata-ratanya dan disajikan dalam bentuk tabel serta grafik tren untuk mempermudah visualisasi perubahan lebar HAZ akibat variasi temperatur *preheat*.

Selanjutnya, hasil pengamatan visual, pengukuran lebar HAZ, dan grafik tren dibandingkan antarvariasi kondisi termal, yaitu tanpa *preheat*, *preheat* 75°C, dan *preheat* 150°C, kemudian dianalisis secara deskriptif komparatif untuk mengevaluasi pengaruh temperatur *preheat* terhadap karakteristik struktur makro sambungan las FCAW pada baja ASTM A36.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian dan Pembahasan Kekerasan Vickers

Hasil pengujian kekerasan Vickers untuk setiap variasi kondisi termal disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Aktual Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

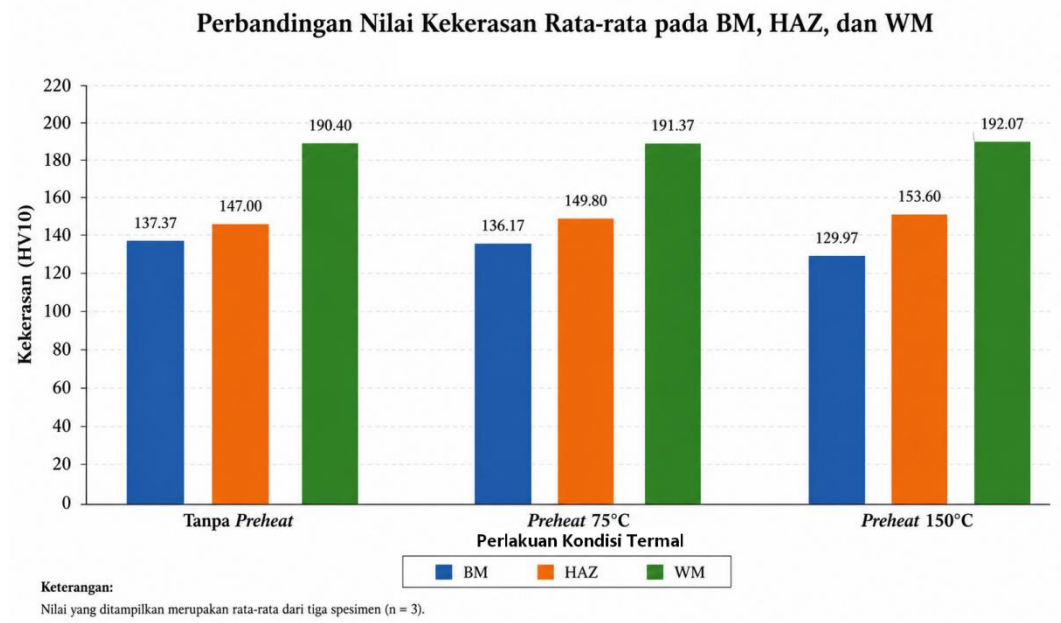
Kode Specimen	Perlakuan	<i>Test Location</i>		
		BM (HV10)	HAZ (HV10)	WM (HV10)
A1	Tanpa <i>Preheat</i>	138,6	139,7	181,0
A2		135,6	148,7	195,1
A3		137,9	152,6	195,1
B1	<i>Preheat 75°C</i>	137,6	148,0	189,5
B2		134,6	151,8	196,2
B3		136,3	149,6	188,4
C1	<i>Preheat 150°C</i>	133,3	158,3	193,4
C2		129,2	151,1	193,9
C3		127,4	151,4	188,9

Untuk mempermudah perbandingan antar perlakuan variasi, nilai kekerasan rata-rata pada setiap daerah sambungan dihitung dan disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Rata-rata Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

Perlakuan	Nilai Kekerasan Rata-rata HV(10)		
	BM (HV10)	HAZ (HV10)	WM (HV10)
<i>Tanpa Preheat</i>	137,37	147,00	190,40
<i>Preheat 75°C</i>	136,17	149,80	191,37
<i>Preheat 150°C</i>	129,97	153,60	192,07

Berdasarkan Tabel 4.2, nilai rata-rata kekerasan pada daerah BM, HAZ, dan WM untuk setiap perlakuan telah diperoleh. Data selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik batang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Perbandingan Nilai Kekerasan Rata-rata

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan Vickers yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.1, variasi temperatur *preheat* memberikan pengaruh yang berbeda terhadap distribusi nilai kekerasan pada daerah *Base Metal* (BM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Weld Metal* (WM). Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa setiap daerah menerima siklus termal yang berbeda selama proses pengelasan sehingga menghasilkan karakteristik mekanik yang berbeda pula.

Pada daerah BM, nilai kekerasan rata-rata mengalami penurunan dari 137,37 HV10 pada kondisi tanpa *preheat* menjadi 136,17 HV10 pada temperatur *preheat* 75°C, kemudian kembali menurun menjadi 129,97 HV10 pada temperatur *preheat* 150°C. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan temperatur *preheat* menyebabkan logam di sekitar daerah pengujian menerima akumulasi panas yang lebih besar sebelum proses pengelasan berlangsung. Menurut Kou. (2003), pemberian *preheat* memperkecil gradien temperatur antara logam las dan logam induk sehingga perpindahan panas menjadi lebih merata dan laju pendinginan berlangsung lebih lambat. Kondisi tersebut menyebabkan daerah yang menerima pengaruh panas mengalami penurunan kekerasan. Meskipun demikian, penurunan yang diperoleh relatif kecil sehingga pengaruh *preheat* terhadap daerah BM pada

penelitian ini belum menunjukkan perubahan yang signifikan.

Berbeda dengan daerah BM, nilai kekerasan rata-rata pada HAZ menunjukkan kecenderungan meningkat, yaitu dari 147,00 HV10 pada kondisi tanpa *preheat* menjadi 149,80 HV10 pada temperatur *preheat* 75°C dan mencapai 153,60 HV10 pada temperatur *preheat* 150°C. Hasil tersebut tidak sepenuhnya sesuai dengan teori Kou. (2003), yang menyatakan bahwa perlambatan laju pendinginan akibat *preheat* umumnya diikuti oleh penurunan kekerasan HAZ. Pada penelitian ini, peningkatan nilai kekerasan berkaitan dengan posisi titik pengujian yang berada sangat dekat dengan *fusion line*. Pada saat pengujian, batas antara HAZ dan *fusion line* tidak dapat diidentifikasi secara tegas hanya melalui pengamatan visual sehingga beberapa titik indentasi berada pada daerah yang menerima pengaruh panas paling tinggi selama proses pengelasan. Kondisi tersebut menyebabkan nilai kekerasan yang terukur lebih tinggi dibandingkan apabila pengujian dilakukan pada bagian HAZ yang lebih jauh dari garis fusi. Dengan demikian, hasil penelitian ini lebih merepresentasikan karakteristik HAZ yang berada di sekitar *fusion line*. Kecenderungan peningkatan nilai kekerasan tersebut juga sejalan dengan penelitian Rifaldi dkk. (2021), yang melaporkan adanya peningkatan kekerasan setelah pemberian *preheat*. Penelitian tersebut menjelaskan bahwa peningkatan temperatur *preheat* memengaruhi distribusi panas selama proses pengelasan sehingga menghasilkan peningkatan nilai kekerasan pada daerah sambungan.

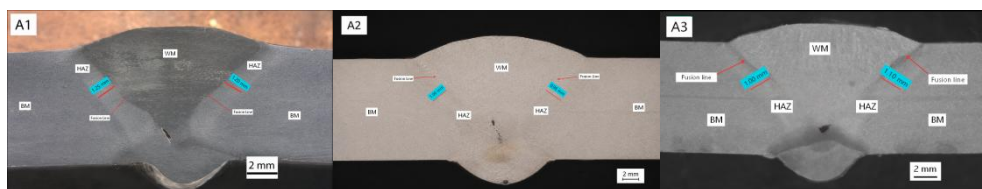
Pada daerah WM, nilai kekerasan rata-rata mengalami peningkatan dari 190,40 HV10 pada kondisi tanpa *preheat* menjadi 191,37 HV10 pada temperatur *preheat* 75°C dan 192,07 HV10 pada temperatur *preheat* 150°C. Meskipun menunjukkan kecenderungan meningkat, selisih nilai kekerasan antarvariasi relatif kecil sehingga perubahan yang terjadi belum menunjukkan pengaruh yang signifikan. Hal tersebut menunjukkan bahwa karakteristik mekanik logam las lebih dipengaruhi oleh komposisi kimia dan sifat metalurgi logam pengisi dibandingkan oleh temperatur awal logam induk. Kawat las FCAW Atlantic CHT711 dengan klasifikasi AWS A5.20 E71T-1C dirancang untuk menghasilkan sifat mekanik yang relatif stabil sehingga

perubahan temperatur *preheat* dalam rentang penelitian ini tidak memberikan perubahan kekerasan yang berarti. Selain itu, parameter pengelasan seperti arus, tegangan, kecepatan pengelasan, dan laju aliran gas pelindung dijaga tetap konstan pada seluruh spesimen sehingga energi pengelasan yang diterima logam las relatif sama. Akibatnya, proses peleburan dan pembekuan logam pengisi berlangsung pada kondisi yang hampir identik sehingga nilai kekerasan WM hanya mengalami peningkatan yang kecil.

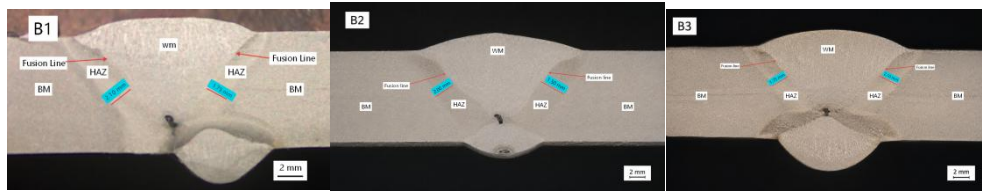
Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh *preheat* terhadap kekerasan bergantung pada daerah sambungan yang diamati. Peningkatan temperatur *preheat* cenderung menurunkan nilai kekerasan pada BM, meningkatkan nilai kekerasan pada HAZ, dan hanya memberikan peningkatan yang relatif kecil pada WM. Oleh karena itu, berdasarkan hasil pengujian kekerasan belum dapat ditentukan satu variasi temperatur *preheat* yang dapat dinyatakan sebagai kondisi optimum. Penentuan kondisi pengelasan yang paling sesuai perlu mempertimbangkan hasil pengamatan struktur makro sehingga evaluasi dilakukan berdasarkan keseluruhan karakteristik sambungan las.

4.2 Hasil Pengujian dan Pembahasan Struktur Makro

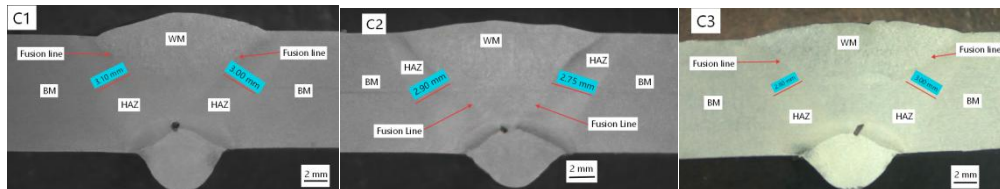
Pengamatan struktur makro dilakukan mengacu pada ASTM E340 untuk mengevaluasi karakteristik visual sambungan las pada setiap variasi kondisi termal. Parameter yang diamati meliputi profil penetrasi, lebar daerah HAZ, serta keberadaan cacat pengelasan. Hasil pengamatan disajikan pada Gambar 4.2 sampai Gambar 4.4.



Gambar 4.2 Hasil Struktur Makro kondisi Tanpa *Preheat*



Gambar 4.3 Hasil Struktur Makro Temperatur *Preheat* 75°C



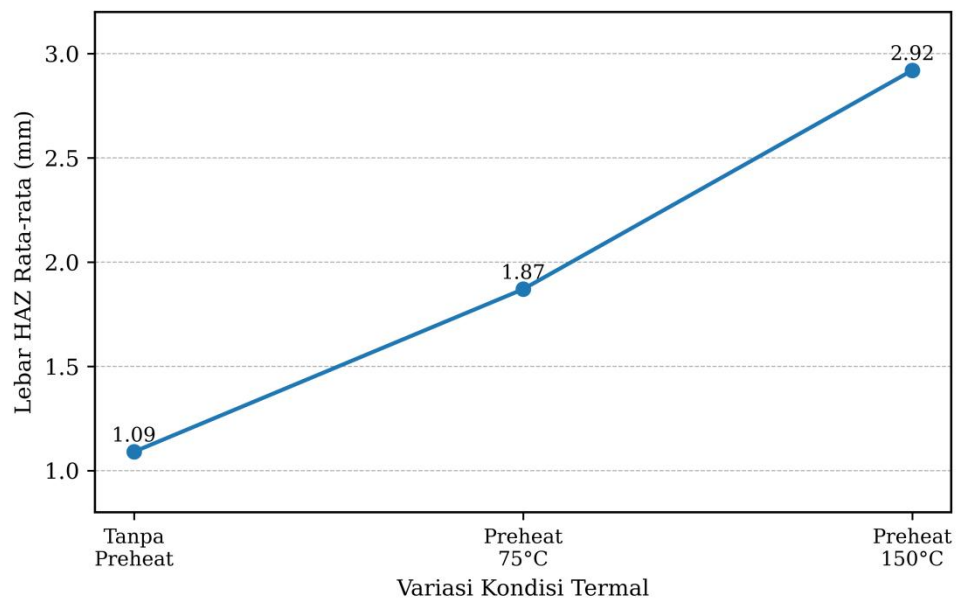
Gambar 4.4 Hasil Struktur Makro Temperatur *Preheat* 150°C

Untuk memberikan informasi yang lebih terukur, hasil pengamatan visual pada Gambar 4.2 dilengkapi dengan hasil pengukuran lebar daerah HAZ serta identifikasi cacat pengelasan pada setiap spesimen, sebagaimana disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Lebar HAZ

Variasi Kondisi Termal	Kode Sampel	HAZ Kiri (mm)	HAZ Kanan (mm)	Rata-rata HAZ (mm)
Tanpa <i>Preheat</i>	A1	1,25	1,20	1,23
	A2	1,00	0,98	0,99
	A3	1,00	1,10	1,05
	Rata-rata Variasi	1,08	1,09	1,09
<i>Preheat</i> 75°C	B1	2,10	1,75	1,93
	B2	2,00	1,50	1,75
	B3	1,75	2,10	1,93
	Rata-rata Variasi	1,95	1,78	1,87
<i>Preheat</i> 150°C	C1	3,10	3,00	3,05
	C2	2,90	2,75	2,83
	C3	2,80	3,00	2,90
	Rata-rata Variasi	2,93	2,92	2,92

Untuk memperjelas kecenderungan perubahan lebar HAZ akibat peningkatan temperatur *preheat*, data tersebut kemudian disajikan dalam bentuk grafik tren pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Tren rata-rata lebar *Heat Affected Zone* (HAZ)

Grafik pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa lebar HAZ mengalami kecenderungan meningkat seiring bertambahnya temperatur *preheat*. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan temperatur *preheat* memberikan perubahan terhadap kualitas sambungan las. Perubahan tersebut terlihat dari berkurangnya jenis cacat yang terbentuk, semakin baiknya penetrasi logam las, serta bertambahnya lebar daerah *Heat Affected Zone* (HAZ). Hal ini menunjukkan bahwa temperatur awal logam induk berperan dalam mengendalikan distribusi panas selama proses pengelasan FCAW.

Cacat yang paling menonjol ditemukan pada sambungan tanpa *preheat*, yaitu *crack*, *slag inclusion*, dan *lack of fusion*. Munculnya retak mengindikasikan bahwa sambungan mengalami pendinginan yang berlangsung relatif cepat sehingga tegangan sisa akibat penyusutan logam meningkat. Kou. (2003) menjelaskan bahwa perbedaan temperatur yang tinggi antara logam las dan logam induk mempercepat laju pendinginan sehingga meningkatkan kemungkinan terbentuknya retak akibat kontraksi selama proses pembekuan.

Pemberian *preheat* terbukti mampu menghilangkan cacat retak pada temperatur 75°C maupun 150°C. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pemanasan awal berhasil menurunkan gradien temperatur sehingga proses

pendinginan berlangsung lebih lambat dan tegangan sisa yang terbentuk selama pengelasan berkurang. Meskipun demikian, *slag inclusion* dan *lack of fusion* masih dijumpai pada kedua variasi tersebut. Keberadaan *slag inclusion* menunjukkan bahwa masih terdapat slag yang terperangkap di dalam logam las, sedangkan *lack of fusion* menunjukkan bahwa peleburan logam las dengan logam induk belum sepenuhnya berlangsung sempurna, terutama pada daerah *root* dan *back weld*. Kondisi ini lebih berkaitan dengan kualitas proses pengelasan, seperti pembersihan slag antar lintasan dan proses peleburan pada akar sambungan.

Perbedaan yang cukup jelas terlihat pada kualitas penetrasi. Semakin tinggi temperatur *preheat*, penetrasi logam las tampak semakin dalam dan lebih seragam. Kondisi ini menunjukkan bahwa logam cair memiliki kemampuan yang lebih baik untuk membasahi permukaan logam induk sebelum mengalami pembekuan. Menurut Kou. (2003), temperatur *preheat* yang lebih tinggi menurunkan gradien temperatur sehingga proses perpindahan panas berlangsung lebih merata. Akibatnya, proses peleburan menjadi lebih efektif dan menghasilkan ikatan metalurgi yang lebih baik antara logam las dan logam induk.

Perbaikan kualitas penetrasi tersebut diikuti oleh bertambahnya lebar daerah HAZ. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur *preheat*, semakin luas bagian logam induk yang menerima pengaruh siklus termal selama proses pengelasan. Menurut Kou. (2003), penurunan laju pelepasan panas akibat *preheat* menyebabkan panas merambat lebih jauh ke logam induk sehingga daerah yang mengalami perubahan mikrostruktur menjadi lebih luas.

Dengan demikian, peningkatan temperatur *preheat* memberikan dua konsekuensi yang terjadi secara bersamaan. Di satu sisi, kualitas penetrasi meningkat dan indikasi cacat secara visual berkurang, namun di sisi lain daerah HAZ menjadi semakin luas. Oleh karena itu, pemilihan temperatur *preheat* tidak hanya mempertimbangkan kualitas penetrasi, tetapi juga perlu memperhatikan luas daerah HAZ yang terbentuk agar perubahan sifat pada logam induk tetap dapat dikendalikan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi temperatur *preheat* pada pengelasan *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) baja ASTM A36, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Variasi temperatur *preheat* memberikan pengaruh terhadap distribusi nilai kekerasan pada setiap daerah sambungan las. Daerah *Base Metal* (BM) menunjukkan kecenderungan penurunan nilai kekerasan, *Heat Affected Zone* (HAZ) menunjukkan kecenderungan peningkatan nilai kekerasan, sedangkan *Weld Metal* (WM) memiliki nilai kekerasan yang relatif stabil. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa setiap daerah sambungan memberikan respons yang berbeda terhadap perlakuan *preheat* sesuai dengan karakteristik siklus termal yang diterimanya. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan, belum diperoleh satu variasi temperatur *preheat* yang dapat dinyatakan sebagai kondisi optimum.
2. Variasi temperatur *preheat* berpengaruh terhadap karakteristik struktur makro sambungan las. Peningkatan temperatur *preheat* menghasilkan penetrasi logam las yang lebih baik, memperluas daerah *Heat Affected Zone* (HAZ), serta menghilangkan indikasi *crack*. Meskipun demikian, cacat *slag inclusion* dan *lack of fusion* masih ditemukan pada seluruh variasi temperatur sehingga peningkatan temperatur *preheat* belum mampu menghilangkan seluruh cacat pengelasan. Berdasarkan hasil pengamatan struktur makro, variasi *preheat* 150°C memberikan kualitas penetrasi sambungan yang paling baik, namun menghasilkan daerah HAZ yang lebih luas dibandingkan variasi lainnya.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

3. Penelitian selanjutnya disarankan menambah jumlah titik pengujian kekerasan dan melakukan pengamatan struktur mikro agar mekanisme perubahan sifat mekanik akibat variasi *preheat* dapat dianalisis lebih mendalam.
4. Proses preparasi spesimen dan pembersihan daerah akar sebelum *back welding* perlu dilakukan secara lebih optimal untuk memperoleh hasil pengamatan makro yang lebih baik serta meminimalkan terjadinya cacat *lack of fusion*.
5. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan pengujian sifat mekanik lain, seperti uji tarik dan uji impak, sehingga pengaruh temperatur *preheat* terhadap kualitas sambungan las dapat dievaluasi secara lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

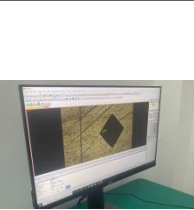
- ASTM Internasional. (2023). *ASTM A36/A36M-23: Standard Specification for Carbon Structural Steel*. ASTM International.
- ASTM Internasional. (2022). *ASTM E340-22: Standard Practice for Macroetching Metals and Alloys*. ASTM International.
- ASTM International. (2022). *ASTM E384-22: Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials*. ASTM International.
- AWS. (2011). *Welding Handbook* (9th ed., Vol. 2). American Welding Society.
- AWS. (2025). *AWS D1.1/D1.1M:2025: Structural Welding Code—Steel*. American Welding Society.
- Kou. (2003). *Welding Metallurgy* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Bela Amelia, Mochammed, N. I, & Nur Akhmad, T. (2024). *Minimizing Distortion in Flux Cored Arc Welding of A36 Steel by Preheating and Its Effect on Weld Mechanical Properties*. *BIS Energy and Engineering*, 2, V225025.
- Shibab, M. I. S, Dwisetiono, Urip Prayogi, Arif Winarno, & Maxsima, A. S (2025). *Preheating Temperature Effect on Flux-Cored Arc Welding (FCAW) in 3G Position on Steel Plate Towards Tensile Strength and Hardness*. *International Journal of Marine Engineering and Applications*, 2(2), 78–88.
- Herman Pratikno, Abdullah, H. B, Wimala, L., (2022). *Effect of Preheating Process and V Groove Type on the Tensile and Metallography Test of ASTM A53 with A36 Weld Joint Using FCAW Method*. *International Journal of Offshore and Coastal Engineering*, 6(2), 40–45.
- Sugiyono. (2022). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D* (Edisi ke-2). Alfabeta.

Achmad Rifaldi, Agus Umar, R. dan Arif Rahman, H. (2021). Pengaruh Suhu *Preheating* terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Pelat Baja ASTM A36 pada Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW). *Sigma Teknika*, 4(1), 81–90.

NS ARC. (2024). *A Comprehensive Guide to Welding Grooves*. <https://nsarc.com/blog/guide-to-welding-grooves/>

Atlantic China Welding Consumables Co., Ltd. (2021). *CHT711 Flux Cored Welding Wire: Technical Data Sheet*. <https://www.wks.com.sg/wp-content/uploads/2025/09/Atlantic-CHT711-E71T-1C-FCAW.pdf>

LAMPIRAN

	
Proses Pemotongan dengan <i>CNC Laser Cutting</i>.	Hasil Potongan Lembar Plat Kupon Las (18 Lembar)
 	   
Proses Pembentukan atau Pembuatan Bevel dan Pembersihan Pelat Baja.	Proses Pengukuran Temperatur dan Pemberian Pemanasan Awal (<i>Preheat</i>).
   	 
Dokumentasi Proses dan Hasil Pengelasan FCAW Tiap Variasi.	Pemotongan Spesimen Uji Melintang Menggunakan Bandsaw (9 Sampel)
 	  
Proses Pengamplasan dan Pemolesan.	Proses Pengujian Makro dan Kekerasan Vickers.