

**Analisis Pengaruh Variasi Suhu Preheat terhadap Kualitas
Sambungan Las SMAW pada Material ASTM A36 Berdasarkan
Uji Kekerasan dan Struktur Mikro**

**Disusun untuk memenuhi persyaratan mencapai gelar Ahli Madya/Sarjana
Terapan
Dosen Pembimbing :
Nurul Ulfah, S. Si, M.T.**



Disusun oleh:
FARID CHANDRA PRASETYA
4422211011

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA PENGELASAN DAN
FABRIKASI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BATAM
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

Analisis Pengaruh Variasi Suhu Preheat terhadap Kualitas Sambungan Las SMAW pada Material ASTM A36 Berdasarkan Uji Kekerasan dan Struktur Mikro

TUGAS AKHIR

Disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Terapan
pada Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Pengelasan dan Fabrikasi

Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Batam

Analisis Pengaruh Variasi Suhu Preheat terhadap Kualitas Sambungan Las SMAW pada Material ASTM A36 Berdasarkan Uji Kekerasan dan Struktur Mikro

Disusun oleh :

FARID CHANDRA PRASETYA
4422211011

Telah disetujui oleh Dosen Pembimbing.

Batam, 14 Juli 2026

Dosen Pembimbing,



Nurul Ulfah, S.Si., M.T

LEMBAR PENGESAHAN

Analisis Pengaruh Variasi Suhu Preheat terhadap Kualitas Sambungan Las SMAW pada Material ASTM A36 Berdasarkan Uji Kekerasan dan Struktur Mikro

TUGAS AKHIR

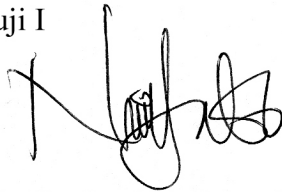
Disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Terapan
pada Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Pengelasan dan Fabrikasi Jurusan
Teknik Mesin
Politeknik Negeri Batam

Disusun oleh :

Farid Chandra Prasetya
4422211011

Telah diterima dan disetujui pada 14 Juli 2026

Penguji I



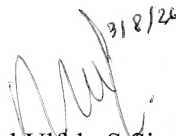
(Ninda Hardina Batubara, S.Pd., M.Si.)

Penguji II



(Siti Adriani, S.Si., MadvMatEng.)

Dosen Pembimbing I



(Nurul Ulfah, S.Si., 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	: Farid Chandra Prasetya
NIM	4422211011
Tahun terdaftar	2022
Program Studi Fabrikasi	: Teknologi Rekayasa Pengelasan dan
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, 14 Juli 2026



Farid Chandra Prasetya
4422211011

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Analisis Pengaruh Variasi Suhu Preheat terhadap Kualitas Sambungan Las SMAW Berdasarkan Uji Kekerasan dan Struktur Mikro”**. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Teknologi Rekayasa Pengelasan dan Fabrikasi, Politeknik Negeri Batam.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih terdapat berbagai kekurangan. Namun, berkat bimbingan, dukungan, doa, dan bantuan dari berbagai pihak, tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kekuatan, serta kemudahan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua tercinta yang senantiasa memberikan kasih sayang, doa, dukungan moral maupun material, serta motivasi yang tiada henti kepada penulis.
3. Keluarga tercinta yang selalu memberikan doa, semangat, dan dukungan kepada penulis selama proses perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir ini.
4. Ari Wibowo, S.T., M.Eng. selaku Kepala Jurusan yang telah memberikan dukungan serta fasilitas akademik sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dan penelitian ini dengan baik.
5. Hendra Butar Butar, S.Pd., M.T. selaku dosen wali yang telah membimbing, memantau perkembangan studi, serta memberikan arahan dan motivasi selama masa perkuliahan.
6. Nurul Ulfah, S.Si., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan arahan, bimbingan, masukan, serta motivasi kepada penulis sejak tahap perencanaan hingga penyusunan laporan tugas akhir ini.

7. Nurul Laili Arifin, S.S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi yang telah memberikan motivasi dan dukungan kepada mahasiswa untuk terus mengembangkan kompetensi di bidang keilmuan.
8. Pimpinan dan seluruh staf Politeknik Negeri Batam yang telah menyediakan fasilitas, pelayanan, dan ilmu pengetahuan selama penulis menempuh pendidikan.
9. Abdurrahman selaku mandor sekaligus mentor selama penulis melaksanakan kegiatan magang di perusahaan, yang telah memberikan bimbingan, arahan, pengalaman kerja, serta kesempatan kepada penulis untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai proses pengelasan dan penerapannya di lingkungan industri.
10. Pimpinan perusahaan dan seluruh rekan kerja yang telah memberikan dukungan, bantuan, serta kerja sama yang baik selama penulis melaksanakan penelitian dan menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Teman-teman dan rekan seperjuangan yang telah memberikan bantuan, dukungan, kerja sama, serta menjadi tempat bertukar pikiran selama proses penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa yang akan datang. Besar harapan penulis agar hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa, institusi pendidikan, industri, serta pihak-pihak yang membutuhkan informasi, khususnya dalam bidang teknologi pengelasan.

Batam, 14 Juli 2026

Penyusun



Farid Chandra Prasetya
4422211011

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi suhu *preheat* terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro sambungan las baja karbon ASTM A36 pada proses pengelasan SMAW. Variasi suhu *preheat* yang digunakan adalah *non-preheat*, 50°C, 100°C, dan 150°C. Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *Vickers hardness test* menggunakan beban 5 kgf pada tiga daerah pengujian, yaitu *weld metal*, *heat affected zone* (HAZ), dan *base metal*, sedangkan pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengidentifikasi fasa yang terbentuk pada sambungan las. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekerasan rata-rata tertinggi pada daerah *weld metal* diperoleh pada kondisi *non-preheat* sebesar 191,0 HV, sedangkan nilai terendah diperoleh pada suhu *preheat* 150°C sebesar 155,2 HV. Pada daerah HAZ, nilai kekerasan rata-rata meningkat dari 142,4 HV pada kondisi *non-preheat* menjadi 163,7 HV pada suhu *preheat* 100°C, kemudian menurun menjadi 151,7 HV pada suhu *preheat* 150°C. Sementara itu, pada daerah *base metal* nilai kekerasan rata-rata tertinggi diperoleh pada suhu *preheat* 100°C sebesar 135,7 HV dan terendah pada kondisi *non-preheat* sebesar 133,8 HV, sehingga perubahan nilai kekerasan pada daerah ini relatif kecil dibandingkan daerah *weld metal* dan HAZ. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa sambungan las didominasi oleh fasa ferit dan perlit. Variasi suhu *preheat* mempengaruhi ukuran dan penyebaran butir, dimana peningkatan suhu *preheat* cenderung memperbesar butir ferit-perlit akibat laju pendinginan yang lebih lambat, terutama pada suhu 150°C, sehingga nilai kekerasan menurun pada beberapa daerah pengujian. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa suhu *preheat* berpengaruh terhadap distribusi kekerasan dan struktur mikro sambungan las, dimana suhu *preheat* 100°C memberikan nilai kekerasan tertinggi pada daerah HAZ dan *base metal*, sedangkan kondisi *non-preheat* menghasilkan nilai kekerasan tertinggi pada daerah *weld metal*.

Kata kunci: *Preheat*, SMAW, ASTM A36, *Vickers hardness test*, struktur mikro, kekerasan

ABSTRACT

This study aims to investigate the effect of preheat temperature variation on hardness values and microstructure of welded joints in ASTM A36 low carbon steel using the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) process. The preheat temperature variations used in this research are non-preheat, 50°C, 100°C, and 150°C. Hardness testing was carried out using the Vickers hardness test with a load of 5 kgf at three main regions, namely the weld metal, heat affected zone (HAZ), and base metal, while microstructural observations were performed to identify the phases formed in the welded joint. The test results show that the highest average hardness value in the weld metal region is obtained under the non-preheat condition, with a value of 191.0 HV, whereas the lowest value is recorded at a preheat temperature of 150°C, namely 155.2 HV. In the HAZ, the average hardness increases from 142.4 HV under non-preheat to 163.7 HV at a preheat temperature of 100°C, then decreases to 151.7 HV at a preheat temperature of 150°C. Meanwhile, in the base metal region, the highest average hardness is obtained at a preheat temperature of 100°C with a value of 135.7 HV, and the lowest hardness is found under the non-preheat condition with a value of 133.8 HV, indicating that hardness changes in this region are relatively small compared to the weld metal and HAZ. Microstructural observations reveal that the welded joint is dominated by ferrite and pearlite phases. Variation of preheat temperature affects the grain size and distribution, where higher preheat temperatures tend to produce coarser ferrite–pearlite grains due to slower cooling rates, especially at 150°C, leading to a reduction in hardness in several test regions. Overall, this study demonstrates that preheat temperature significantly influences the hardness distribution and microstructure of the welded joint. A preheat temperature of 100°C provides the highest hardness in the HAZ and base metal regions, while the non-preheat condition results in the highest hardness in the weld metal region.

Keywords: Preheat, SMAW, ASTM A36, Vickers hardness test, microstructure, hardness.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	13
1.1 Latar Belakang	13
1.2 Rumusan Masalah	15
1.3 Tujuan Penelitian	15
1.4 Batasan Masalah/Ruang Lingkup	16
1.5 Manfaat Penelitian	17
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	18
2.1 Hasil penelitian/perancangan terdahulu	18
2.2 Teori/Konsep dasar	19
2.2.1 Pengelasan.....	19
2.2.2 Pengelasan SMAW	20
2.2.3 Jenis – Jenis Elektroda SMAW	22
2.2.4 Elektroda E7018.....	24
2.2.5 Sambungan Las <i>Single V Butt Joint</i>	25
2.2.6 Baja Karbon Rendah ASTM A36	27
2.2.7 Pengaruh Suhu <i>Preheat</i> dalam Proses Pengelasan.....	28
2.2.8 Uji Struktur Mikro	30
2.2.9 Uji Kekerasan Vickers	31
BAB III METODOLOGI	32
3.1 Metode Penelitian.....	32
3.2 Alat dan Bahan.....	33
3.3 Objek Penelitian.....	34
3.4 Vairiabel Penelitian.....	35
3.5 Prosedur Penelitian.....	36
3.5.1 Studi Literatur	36
3.5.2 Pemilihan Material dan Persiapan Alat dan Bahan.....	36
3.5.3 Pembuatan dan Persiapan Spesimen	37
3.5.4 Pemberian Perlakuan Suhu <i>Preheat</i>	38

3.5.5	Proses Pengelasan SMAW	38
3.5.6	Preparasi Spesimen Metalografi	40
3.5.7	Pengujian Struktur Mikro.....	40
3.5.8	Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	41
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1	Hasil Penelitian	43
4.1.2	Hasil Proses pengelasan	43
4.1.3	Hasil Uji Struktur Mikro	45
4.1.4	Hasil Uji Kekerasan <i>Vickers</i>	58
4.2	Pembahasan.....	61
4.2.1	Pengaruh Variasi Suhu <i>Preheat</i> terhadap Struktur Mikro Sambungan Las	61
4.2.2	Pengaruh Variasi Suhu <i>Preheat</i> terhadap Nilai Kekerasan Daerah Logam Las dan HAZ	62
4.2.3	Pengaruh Variasi Suhu <i>Preheat</i> terhadap Kualitas Sambungan Las	63
4.2.4	Keterbatasan Penelitian.....	64
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	66
5.1	Kesimpulan	66
5.2	Saran.....	67
	DAFTAR PUSTAKA	68
	LAMPIRAN.....	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	18
Tabel 2.2 Komposisi Kimia Elektroda (AWS A5.1)	25
Tabel 2.3 Komposisi Kimia dan Sifat Mekanik Baja ASTM A36	28
Tabel 3.1 Alat Penelitian.....	33
Tabel 3.2 Bahan Penelitian	34
Tabel 3.3 Variabel Penelitian.....	35
Tabel 3.6 Parameter Pengelasan	40
Tabel 4.1 Hasil Pengelasan SMAW.....	44
Tabel 4.2 Hasil Uji Mikro <i>Weld Metal</i>	45
Tabel 4.3 Hasil Uji Mikro HAZ.....	49
Tabel 4.4 Hasil Uji <i>Base Metal</i>	54
Tabel 4.5 Hasil Keseluruhan Pengujian Kekerasan	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Pengelasan SMAW (Welding Handbook)	22
Gambar 2.2 Jenis-Jenis Las Kampuh (Achmadi, 2022).....	26
Gambar 2.3 Jenis-Jenis Sambungan Las Sudut (Achmadi, 2022)	27
Gambar 2.4 Sambungan <i>Single V Butt Joint</i> (AWS D1.1, 2025)	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 3.2 Proses <i>Fit Up Single V Butt Joint</i>	37
Gambar 4.1 Grafik Nilai Rata-Rata Uji Kekerasan	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri manufaktur dan konstruksi di Indonesia terus mengalami peningkatan, khususnya di kawasan industri strategis seperti Kota Batam. Batam dikenal sebagai salah satu pusat industri galangan kapal, konstruksi baja, manufaktur logam, serta industri pendukung sektor minyak dan gas. Dalam berbagai aktivitas industri tersebut, penggunaan material baja struktural menjadi kebutuhan utama karena dituntut memiliki kekuatan, keandalan, dan kemudahan dalam proses fabrikasi. Salah satu jenis material yang banyak digunakan adalah baja karbon rendah ASTM A36 yang umum diaplikasikan pada struktur bangunan, rangka kapal, komponen mesin, serta berbagai konstruksi baja lainnya. Material ini dipilih karena memiliki sifat mekanik yang baik, kemampuan las yang tinggi, serta biaya yang relatif ekonomis.

Dalam proses fabrikasi struktur baja, pengelasan merupakan metode penyambungan yang paling sering digunakan. Salah satu metode pengelasan yang banyak diaplikasikan di lapangan adalah *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) atau las busur listrik manual. Metode ini banyak digunakan karena peralatannya relatif sederhana, mudah dioperasikan, serta fleksibel untuk berbagai posisi pengelasan dan kondisi lingkungan kerja. Namun, kualitas sambungan las yang dihasilkan melalui metode SMAW tidak selalu optimal dan masih sering menghadapi berbagai permasalahan teknis di lapangan. (Oktaviandy dkk., 2023)

Secara umum, kualitas sambungan las dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti keterampilan dan pengalaman juru las, parameter pengelasan yang meliputi arus, tegangan, dan kecepatan pengelasan, jenis elektroda, kondisi material, serta kondisi lingkungan kerja seperti kelembapan dan suhu sekitar. Pada pengelasan baja ASTM A36 dengan metode SMAW, dapat muncul berbagai permasalahan, antara lain distorsi, penurunan kekuatan sambungan, serta cacat las seperti retak, porositas, *undercut*, dan *slag inclusion*. Selain itu, proses pengelasan juga dapat menyebabkan perubahan sifat mekanik pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ), yang berpotensi membuat sambungan

menjadi lebih getas dan menurunkan ketahanan terhadap beban kerja.(Pakage, 2025)

Salah satu faktor yang dapat menyebabkan penurunan sifat mekanik sambungan las adalah laju pendinginan yang terlalu cepat setelah proses pengelasan. Laju pendinginan yang tinggi dapat menimbulkan tegangan sisa yang besar serta mendorong terbentuknya struktur mikro dengan kekerasan lebih tinggi di daerah las dan *Heat Affected Zone* (HAZ). Kondisi tersebut sering terjadi apabila proses pengelasan dilakukan tanpa perlakuan panas awal (*preheat*), khususnya pada material baja dengan ketebalan tertentu.(Ramadhani dkk., 2022)

Preheat merupakan proses pemanasan awal yang diberikan pada material sebelum dilakukan pengelasan. Tujuan utama penerapan *preheat* adalah mengurangi perbedaan temperatur antara logam induk dan logam las sehingga laju pendinginan setelah proses pengelasan dapat dikendalikan. Pada baja karbon rendah seperti ASTM A36, penerapan *preheat* diketahui mampu menurunkan tegangan sisa serta menghasilkan struktur mikro yang lebih homogen pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ), sehingga sifat mekanik sambungan las menjadi lebih stabil. Sebaliknya, pengelasan tanpa *preheat* dapat menyebabkan laju pendinginan yang lebih tinggi, peningkatan kekerasan yang berlebihan pada zona tertentu, serta penurunan sifat mekanik sambungan las.(Rifaldi dkk., 2021)

Dalam praktik industri, berbagai penelitian terdahulu mengenai pengelasan baja karbon rendah dengan proses SMAW menunjukkan bahwa variasi suhu *preheat* digunakan sebagai perlakuan termal untuk mengkaji pengaruhnya terhadap sifat daerah las, khususnya struktur mikro dan kekerasan sambungan las. (Rifaldi dkk., 2021) pada material ASTM A36 melaporkan bahwa variasi suhu *preheat* berpengaruh terhadap nilai kekerasan pada daerah las dan HAZ. Selain itu, Oktaviandy dkk. (2023) pada baja SS400 dengan variasi *preheat* 100°C, 150°C, dan 200°C menunjukkan adanya perubahan struktur mikro pada daerah weld metal, HAZ, dan base metal. Oleh karena itu, variasi suhu *preheat* dalam penelitian ini digunakan sebagai perlakuan eksperimental untuk menganalisis pengaruhnya terhadap struktur mikro dan kekerasan sambungan

las.

Berbagai penelitian yang telah dipublikasikan dalam jurnal ilmiah menunjukkan bahwa variasi suhu *preheat* pada pengelasan SMAW baja ASTM A36 berpengaruh terhadap sifat mekanik sambungan las, seperti kekuatan tarik dan kekerasan. Meskipun demikian, penerapan *preheat* di lapangan, khususnya pada sektor industri di Batam, masih sering diabaikan atau belum dilakukan berdasarkan parameter yang terukur. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya penelitian lebih lanjut untuk menghasilkan data empiris dan referensi teknis yang dapat dijadikan acuan dalam penerapan proses pengelasan di industri. (Rifaldi dkk., 2021)

Penelitian ini berjudul “Analisis Pengaruh Variasi Suhu *Preheat* terhadap Kualitas Sambungan Las SMAW pada Material ASTM A36 Berdasarkan Pengujian Struktur Mikro dan Kekerasan”. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi suhu *preheat* terhadap kualitas sambungan las SMAW pada material ASTM A36 melalui pengujian struktur mikro dan pengujian kekerasan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan data empiris serta menjadi referensi teknis bagi praktisi industri, khususnya di Kota Batam, dalam menentukan suhu *preheat* yang optimal guna meningkatkan kualitas sambungan las.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi suhu *preheat* terhadap kualitas sambungan las SMAW pada baja ASTM A36?
2. Bagaimana pengaruh variasi suhu *preheat* terhadap struktur mikro sambungan las baja ASTM A36?
3. Bagaimana pengaruh variasi suhu *preheat* terhadap nilai kekerasan pada daerah logam las dan *Heat Affected Zone (HAZ)* pada baja ASTM A36?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh variasi suhu *preheat* terhadap kualitas sambungan las SMAW pada baja ASTM A36.
2. Menganalisis pengaruh variasi suhu *preheat* terhadap perubahan struktur mikro sambungan las baja ASTM A36.

3. Menganalisis pengaruh variasi suhu *preheat* terhadap nilai kekerasan pada daerah logam las dan HAZ pada baja ASTM A36.

1.4 Batasan Masalah/Ruang Lingkup

Untuk menghindari pembahasan yang terlalu luas dan agar penelitian lebih terarah, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah ASTM A36 dengan ketebalan 10 mm.
2. Proses pengelasan yang digunakan adalah *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dengan jenis sambungan *single V butt joint* pada posisi pengelasan 1G.
3. Elektroda yang digunakan dalam proses pengelasan adalah E7018 dengan diameter 2,6 mm dan 3,2 mm.
4. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi suhu *preheat*, yang terdiri atas kondisi tanpa *preheat* (*non-preheat*), 50 °C, 100 °C, dan 150 °C.
5. Parameter pengelasan selain suhu *preheat* dibuat konstan pada seluruh spesimen, yaitu jenis elektroda, posisi pengelasan, jenis sambungan, serta arus pengelasan sebesar 75 A untuk *root pass* dan 110 A untuk *fill pass* serta *cap pass*. Dengan demikian, perubahan hasil pengujian diharapkan terutama dipengaruhi oleh variasi suhu *preheat* yang diberikan sebelum pengelasan.
6. Dalam pengelasan *multi-pass* (*root, fill, dan cap*), suhu *interpass* yang terjadi di antara lintasan las tidak diukur dan tidak dikendalikan sebagai variabel penelitian, melainkan mengikuti kondisi termal alami yang timbul selama proses pengelasan. Oleh karena itu, pengaruh suhu *interpass* terhadap kekerasan dan struktur mikro sambungan las diakui sebagai keterbatasan dalam penelitian ini.
7. Pengujian yang dilakukan meliputi uji kekerasan *Vickers* (*Vickers Hardness Test*) dan pengujian struktur mikro (*microstructural analysis*). Pengujian sifat mekanik lainnya, seperti uji tarik (*tensile test*), uji bending (*bend test*), uji impak (*impact test*), serta pengujian tidak merusak (*Non-Destructive Testing/NDT*), tidak dibahas dalam

penelitian ini.

8. Hasil penelitian dibatasi pada data yang diperoleh dari pengujian kekerasan dan pengamatan struktur mikro pada daerah logam las (*weld metal*), daerah terpengaruh panas (*Heat Affected Zone/HAZ*), dan logam induk (*base metal*).
9. Analisis penelitian difokuskan pada hubungan antara variasi suhu *preheat* terhadap nilai kekerasan, struktur mikro, dan kualitas sambungan las pada material ASTM A36.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan serta referensi ilmiah mengenai pengaruh suhu *preheat* pada proses pengelasan SMAW, khususnya terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro sambungan las baja ASTM A36.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan teknis bagi praktisi industri, *welder*, dan *engineer* dalam menentukan penerapan suhu *preheat* yang tepat pada pengelasan SMAW baja ASTM A36 guna meningkatkan kualitas dan keandalan sambungan las.
3. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan referensi dan perbandingan bagi mahasiswa maupun peneliti selanjutnya yang akan melakukan penelitian serupa di bidang pengelasan dan material teknik.
4. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai hubungan antara variasi suhu *preheat* dengan perubahan struktur mikro dan nilai kekerasan pada sambungan las, sehingga dapat mendukung pengembangan teknologi pengelasan yang lebih efektif dan efisien.
5. Hasil penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam upaya peningkatan kualitas proses fabrikasi dan konstruksi yang menggunakan material ASTM A36, khususnya pada industri manufaktur dan perkapalan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Hasil penelitian/perancangan terdahulu

Pada subbab ini disajikan beberapa hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pengaruh temperatur preheat pada proses pengelasan SMAW terhadap kekerasan dan struktur mikro. Penelitian-penelitian tersebut menjadi acuan dan pembanding bagi penelitian tugas akhir ini.

Tabel 2.1 Penelitian terdahulu

No	Nama, Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Pembeda penelitian
1	Rifaldi, Ryadin, & Hakim (2021)	Pengaruh Suhu Preheating Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Pelat Baja ASTM A36 pada Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW)	Hasil penelitian menunjukkan bahwa preheating berpengaruh terhadap sifat mekanik sambungan las. Variasi preheating 200°C memberikan nilai kekuatan tarik tertinggi, yaitu 458 N/mm ² , sedangkan nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada preheating 300°C, yaitu 147 VHN pada base metal, 178 VHN pada HAZ, dan 185 VHN pada weld metal.	Penelitian ini meneliti kekuatan tarik dan kekerasan pada variasi preheat tanpa <i>preheat</i> , 100°C, 200°C, dan 300°C. Sedangkan penelitian Anda fokus pada kualitas sambungan las SMAW berdasarkan uji kekerasan dan uji struktur mikro dengan variasi tanpa <i>preheat</i> , 50°C, 100°C, dan 150°C.
2	Viktor Dana Primazda, Nur Yanu Nugroho, 2019	Sifat Mekanik Pengelasan SMAW pada Baja ASTM A36 terhadap Variasi Preheating	Pengelasan SMAW pada baja ASTM A36 dengan variasi suhu preheat non-preheat, 100 °C, 200 °C, 300 °C menunjukkan bahwa nilai kekerasan meningkat seiring bertambahnya temperatur preheat di semua zona (weld metal, HAZ, base metal).	Penelitian ini fokus pada sifat mekanik (kekerasan) dan struktur makro dengan variasi suhu hingga 300 °C, tanpa analisis terperinci struktur mikro (ferrite, pearlite, martensite).
3	Savitri Ramadhani, Basyirun, Rusiyanto, Sunyoto, 2022	Pengaruh Variasi Temperatur Preheat pada Pengelasan SMAW terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Baja Karbon SS400	Variasi temperatur preheat non-preheat, 80 °C, 110 °C, 140 °C, 170 °C menyebabkan perubahan struktur mikro dan nilai kekerasan Vickers baja SS400. Pada temperatur 140–170 °C hampir tidak terbentuk martensite dan struktur didominasi ferrite serta pearlite yang lebih lunak. Kekerasan	Penelitian ini menggunakan baja SS400 dengan rentang preheat 80–170 °C dan fokus utama pada korelasi struktur mikro (martensite, ferrite, pearlite) dengan kekerasan Vickers.

			cenderung menurun seiring meningkatnya temperatur preheat di semua daerah pengelasan.	
--	--	--	---	--

2.2. Teori/Konsep dasar

Kajian teori pada penelitian ini disusun sebagai dasar konseptual untuk memahami pengaruh variasi suhu preheat terhadap kualitas sambungan las SMAW yang ditinjau dari sifat kekerasan dan struktur mikro. Secara teoritis, perlakuan preheat sebelum pengelasan akan memengaruhi siklus termal pada logam induk dan daerah HAZ, sehingga berpengaruh langsung terhadap pembentukan fasa mikro seperti ferrite, pearlite, dan martensite serta nilai kekerasan di setiap zona sambungan las.

Selain itu, parameter pengelasan seperti arus, tegangan, jenis dan diameter elektroda, serta kecepatan pengelasan tetap memiliki peran penting karena menentukan besar masukan panas yang diterima material, yang kemudian berinteraksi dengan suhu preheat untuk menghasilkan karakteristik mekanik dan mikrostruktur tertentu pada sambungan. Pemahaman teoritis mengenai hubungan antara *preheat*, masukan panas, perubahan struktur mikro, dan kekerasan ini menjadi landasan dalam menganalisis hasil pengujian kekerasan dan pengamatan struktur mikro pada sambungan las dengan variasi suhu preheat non-preheat, 50 °C, 100 °C, dan 150 °C dalam penelitian tugas akhir ini.

2.2.1 Pengelasan

Pengelasan merupakan proses penyambungan dua atau lebih material logam dengan memanfaatkan energi panas hingga terjadi peleburan pada bagian yang disambung. Panas yang dihasilkan selama proses pengelasan menimbulkan siklus termal di sekitar sambungan las, yang dapat menyebabkan perubahan struktur metalurgi, deformasi, serta timbulnya tegangan sisa pada material. Hal tersebut berpengaruh langsung terhadap sifat mekanik, termasuk kekerasan dan perilaku struktur mikro pada daerah las dan HAZ (Primazda & Nugroho, 2019).

Seiring perkembangan teknologi dan kebutuhan industri, berbagai metode pengelasan telah dikembangkan untuk memenuhi tuntutan kualitas sambungan dan produktivitas, antara lain *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW), *Gas*

Tungsten Arc Welding (GTAW), *Gas Metal Arc Welding* (GMAW), *Flux Cored Arc Welding* (FCAW), dan *Submerged Arc Welding* (SAW). Setiap metode memiliki karakteristik, keunggulan, dan keterbatasan tersendiri yang disesuaikan dengan jenis material, ketebalan benda kerja, posisi pengelasan, serta persyaratan kualitas sambungan (O'Brien, 2004).

Dalam penelitian ini digunakan metode pengelasan SMAW karena proses ini banyak diaplikasikan pada konstruksi baja, peralatan industri, dan pekerjaan lapangan, serta relatif sederhana dari sisi peralatan. Selain itu, SMAW memungkinkan pengaturan parameter pengelasan dan perlakuan preheat yang diperlukan untuk mengkaji pengaruh variasi suhu preheat terhadap kekerasan dan struktur mikro sambungan las sesuai tujuan tugas akhir ini.

2.2.2 Pengelasan SMAW

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) merupakan proses pengelasan busur listrik yang menyatukan logam melalui panas busur antara ujung elektroda terbungkus dan permukaan logam induk. Selama pengelasan, ujung elektroda mencair dan logam cair berpindah ke kolam las dalam bentuk butiran yang terbawa oleh busur listrik, sementara *fluks* elektroda mencair membentuk terak dan gas pelindung yang mencegah oksidasi dan kontaminasi dari atmosfer. Keberhasilan proses sangat dipengaruhi oleh jenis fluks, komposisi elektroda, serta karakteristik sumber arus yang digunakan (suci, 2019).

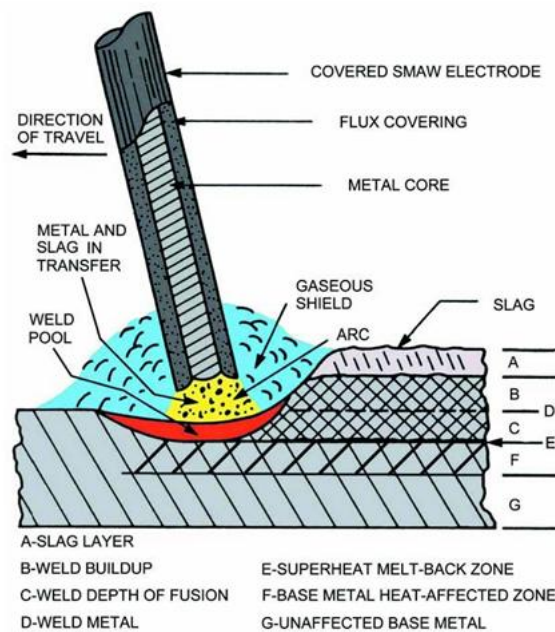
SMAW banyak digunakan dalam penyambungan dan perbaikan baja pada konstruksi, fabrikasi, dan galangan kapal karena peralatannya sederhana, mudah dipindahkan, dan dapat dioperasikan di berbagai posisi las serta lingkungan kerja yang terbatas. Proses ini cocok untuk berbagai jenis baja, mulai dari baja karbon rendah hingga sedang, baja tahan karat, dan beberapa baja paduan, sehingga relevan untuk aplikasi struktural seperti baja ASTM A36 maupun baja AISI 1045 yang digunakan dalam penelitian (Mashuda dkk., 2024).

Di sisi lain, SMAW memiliki keterbatasan berupa laju pengelasan yang relatif rendah dibanding proses modern seperti GMAW dan FCAW sehingga produktivitasnya lebih rendah. Kualitas sambungan sangat bergantung pada keterampilan *welder* dalam mengendalikan parameter pengelasan, terutama

arus, tegangan, kecepatan gerak, sudut elektroda, dan teknik ayunan. Pengaturan yang tidak tepat dapat menimbulkan cacat seperti porositas, *undercut*, *slag inclusion*, serta kurang penetrasi yang menurunkan kekuatan tarik, keuletan, dan ketangguhan sambungan las (suci, 2019).

Dalam pengelasan multi-layer, setiap lapisan memberikan efek preheat dan postheat terhadap lapisan lain, sehingga mempengaruhi masukan panas total, laju pendinginan, dan evolusi struktur mikro di daerah las dan heat affected zone (HAZ). (Mashuda dkk., 2024) melaporkan bahwa pada baja AISI 1045 dengan elektroda E6013 diameter 2,6 mm dan arus 70 A, pengelasan 3, 4, dan 5 layer menghasilkan kekuatan tarik maksimum berturut-turut sekitar 480,39 MPa, 470,03 MPa, dan 475,15 MPa, dengan mikrostruktur yang berubah dari butiran kasar (3 layer) menjadi lebih halus (4 layer) dan sangat halus serta homogen pada 5 layer. Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah lapisan cenderung meningkatkan homogenitas struktur mikro, namun tidak selalu menaikkan kekuatan tarik maksimum.

Variasi masukan panas yang dikendalikan melalui arus las, tegangan, dan kecepatan pengelasan akan mempengaruhi laju pendinginan dan fasa yang terbentuk pada hasil las, sehingga menentukan munculnya ferit, perlit, bainit, maupun martensit pada baja karbon rendah seperti ASTM A36 maupun baja karbon sedang AISI 1045. Masukan panas yang lebih tinggi cenderung menurunkan kekuatan tarik, tetapi pada kondisi tertentu dapat meningkatkan ketangguhan melalui pembentukan fasa yang lebih ulet, sehingga pemilihan parameter SMAW harus mempertimbangkan kompromi antara kekuatan tarik, kekerasan, dan ketangguhan sambungan las (Hamdani, 2019; suci, 2019).



Gambar 2.1 Skema pengelasan SMAW(Welding Handbook)

2.2.3 Jenis – Jenis Elektroda SMAW

Elektroda pada proses Shielded Metal Arc Welding (SMAW) diklasifikasikan berdasarkan jenis lapisan fluks, posisi pengelasan yang diizinkan, jenis arus listrik, komposisi kimia logam las, dan sifat mekanik sambungan. Sistem klasifikasi dan karakteristik masing-masing elektroda, termasuk arti kode seperti E6010, E6013, dan E7018, dijelaskan secara rinci dalam *Welding Handbook Volume 2* terbitan *American Welding Society* (O'Brien, 2004).

a. Elektroda Selulosa (*Cellulosic Electrodes*)

Elektroda selulosa memiliki kandungan bahan organik tinggi pada lapisan fluks sehingga menghasilkan busur listrik yang kuat, penetrasi dalam, dan terak yang relatif tipis. Karakteristik tersebut menjadikannya banyak digunakan untuk pengelasan akar (*root pass*), pengelasan pipa, dan pekerjaan konstruksi di lapangan. Contoh elektroda dalam kelompok ini adalah E6010 dan E6011, di mana E6010 umumnya dioperasikan dengan arus searah (DC) dan E6011 dapat digunakan pada arus bolak-balik (AC) maupun arus searah (DC) (O'Brien, 2004).

b. Elektroda Rutile (*Titania Electrodes*)

Elektroda rutile menggunakan titanium dioksida (TiO_2) sebagai komponen utama fluks dan dikenal menghasilkan busur stabil, percikan las yang sedikit, serta manik las dengan permukaan halus. Terak yang terbentuk juga mudah dilepaskan, sehingga mempermudah pembersihan setelah pengelasan. Elektroda tipe E6012, E6013, dan E7014 termasuk kelompok ini dan banyak diaplikasikan pada pekerjaan fabrikasi umum untuk pelat tipis hingga sedang (O'Brien, 2004).

c. Elektroda Hidrogen Rendah (*Low Hydrogen Electrodes*)

Elektroda hidrogen rendah dirancang untuk meminimalkan kandungan hidrogen terlarut dalam logam las guna mengurangi risiko retak akibat hidrogen, terutama pada baja berkekuatan tinggi dan material berketebalan besar. Kelompok ini mencakup elektroda seperti E7015, E7016, dan E7018; E7018 paling banyak digunakan karena mengandung serbuk besi pada fluks sehingga meningkatkan efisiensi deposisi dan menghasilkan sifat mekanik sambungan yang baik dalam berbagai posisi pengelasan (O'Brien, 2004).

d. Elektroda Serbuk Besi (*Iron Powder Electrodes*)

Elektroda serbuk besi memiliki kandungan iron powder tinggi pada lapisan pelapis yang berfungsi menambah volume logam las terdeposit dan meningkatkan produktivitas. Elektroda tipe E7024 dan E7028 termasuk dalam kelompok ini dan umumnya digunakan pada posisi datar (flat) dan horizontal karena kolam las yang dihasilkan sangat cair, sehingga kurang sesuai untuk pengelasan vertikal maupun overhead (O'Brien, 2004).

e. Elektroda Baja Paduan Rendah (*Low Alloy Steel Electrodes*)

Elektroda baja paduan rendah digunakan untuk pengelasan komponen yang memerlukan sifat mekanik khusus, seperti kekuatan tinggi, ketahanan aus, atau ketahanan terhadap temperatur tinggi. Elektroda seperti E7018-A1, E8018-C1, dan E9018-B3 dirancang dengan penambahan unsur paduan tertentu sehingga logam las memiliki karakteristik yang disesuaikan dengan material dasar dan tuntutan kerja sambungan (O'Brien, 2004).

2.2.4 Elektroda E7018

Elektroda merupakan komponen penting dalam proses pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) karena berfungsi sebagai penghantar arus listrik sekaligus sebagai logam pengisi pada sambungan las. Elektroda SMAW terdiri atas inti logam yang dilapisi fluks, di mana lapisan fluks berperan melindungi logam cair dari kontaminasi udara, menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur listrik, serta membentuk terak yang melindungi logam las selama pendinginan (Bontong, 2016).

Menurut Soedjono (1994) yang dikutip oleh Bontong, kode E7018 dapat dijelaskan sebagai berikut:

- **E** menunjukkan bahwa elektroda digunakan untuk proses pengelasan busur listrik (*electrode*).
- **70** menunjukkan kekuatan tarik minimum logam las sebesar 70.000 psi atau sekitar 490 MPa.
- **1** menunjukkan bahwa elektroda dapat digunakan pada semua posisi pengelasan, yaitu posisi datar (*flat*), horizontal, vertikal, dan *overhead*.
- **8** menunjukkan jenis lapisan *fluks* serbuk besi hidrogen rendah (*low hydrogen iron powder*) serta jenis arus yang sesuai untuk penggunaannya.

Elektroda E7018 termasuk kelompok elektroda hidrogen rendah dengan fluks berbasis serbuk besi dan kapur, sehingga kadar hidrogen terlarut dalam logam las menjadi rendah dan kepekaan sambungan terhadap retak hidrogen berkurang. Jenis ini dikenal memberikan ketangguhan sambungan yang memuaskan, manik las yang halus, dan penembusan yang baik, sehingga banyak digunakan pada konstruksi baja berkekuatan tinggi maupun baja karbon rendah. Rentang arus pengelasan yang direkomendasikan untuk E7018 diameter 3,2 mm berada sekitar 115–165 A; penelitian Bontong menggunakan variasi arus 100, 130, dan 160 A dan menunjukkan bahwa variasi arus tersebut berpengaruh nyata terhadap kekuatan tarik dan ketangguhan sambungan las baja karbon rendah (Bontong, 2016).

Komposisi kimia logam las yang dihasilkan oleh elektroda E7018 berdasarkan klasifikasi AWS A5.1 ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Komposisi kimia elektroda (AWS A5.1)

Unsur	Kandungan Maksimum (%)
Karbon (C)	0,15
Mangan (Mn)	1,60
Silikon (Si)	0,75
Fosfor (P)	0,035
Sulfur (S)	0,035

Elektroda E7018 dipilih untuk pengelasan baja ASTM A36 karena karakteristiknya sesuai dengan sifat baja karbon rendah yang banyak digunakan pada konstruksi dan fabrikasi. Penggunaannya mampu menghasilkan sambungan las berkekuatan tarik tinggi, cukup tangguh, dan dengan risiko retak hidrogen yang rendah. Selain itu, E7018 dapat dipakai pada berbagai posisi pengelasan sehingga menjadi salah satu elektroda yang paling umum digunakan dalam industri konstruksi dan fabrikasi baja.

2.2.5 Sambungan Las *Single V Butt Joint*

Pemilihan jenis sambungan las harus disesuaikan dengan kebutuhan kekuatan dan keandalan struktur yang akan digunakan. Dalam perancangannya, beberapa faktor perlu diperhatikan, seperti besar beban yang bekerja, arah dan jenis tegangan yang diterima, serta kondisi lingkungan operasional. Sambungan yang menerima beban dinamis, seperti getaran atau pembebanan berulang, memerlukan pertimbangan khusus dibandingkan sambungan yang hanya menerima beban statis. Pada kondisi tersebut, desain sambungan harus mampu mengurangi risiko kegagalan akibat kelelahan (*fatigue*) maupun retak getas (*brittle fracture*). Oleh karena itu, bentuk sambungan dan prosedur pengelasan perlu direncanakan dengan baik untuk meminimalkan konsentrasi tegangan dan mengendalikan tegangan sisa yang timbul selama proses pengelasan. Selain memiliki kekuatan yang memadai, sambungan las juga diharapkan memiliki keuletan dan ketangguhan yang baik serta dapat diproduksi secara efisien dengan risiko cacat dan distorsi yang rendah (O'Brien, 2004).

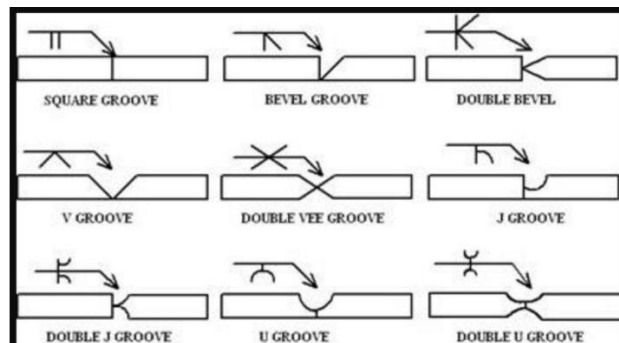
Secara umum, sambungan las dapat dibedakan menjadi dua kelompok utama, yaitu sambungan las kampuh (*groove weld*) dan sambungan las sudut (*fillet weld*).

a. Sambungan Las Kampuh (*Groove Weld*)

Sambungan las kampuh merupakan sambungan yang dibuat dengan memberikan kampuh pada tepi material yang akan disambung sehingga logam las dapat mengisi celah sambungan dan menghasilkan penetrasi yang baik. Jenis sambungan ini umumnya digunakan pada konstruksi yang memerlukan kekuatan sambungan tinggi.

Beberapa jenis sambungan las kampuh antara lain:

- *Square Groove*
- *Single V Groove*
- *Double V Groove*
- *Single Bevel Groove*
- *Double Bevel Groove*
- *Single U Groove*
- *Double U Groove*



Gambar 2.2 Jenis-jenis las kampuh (Achmadi, 2022)

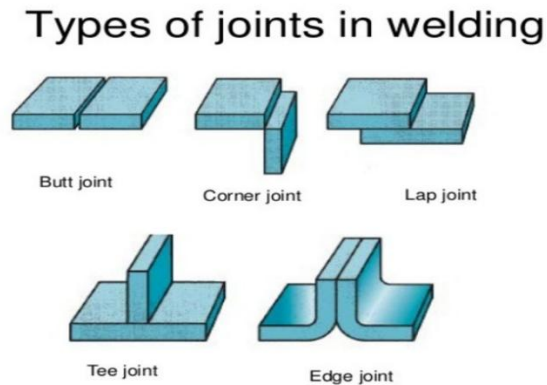
b. Sambungan Las Sudut (*Fillet Weld*)

Sambungan las sudut merupakan sambungan yang digunakan untuk menghubungkan dua material yang membentuk sudut tertentu, umumnya mendekati 90°. Sambungan ini tidak memerlukan pembuatan kampuh sehingga proses pengerjaannya relatif lebih sederhana dan ekonomis.

Beberapa jenis sambungan las sudut antara lain:

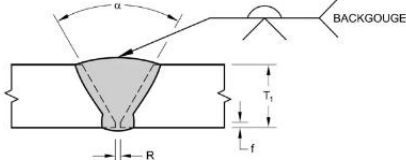
- *T-Joint*
- *Lap Joint*

- *Corner Joint*
- *Edge Joint*



Gambar 2.3 Jenis-jenis sambungan las sudut (Achmadi, 2022)

Pada penelitian ini digunakan sambungan las kampuh jenis *Single V Butt Joint* dengan sudut *bevel* 35° pada material ASTM A36 ketebalan 10 mm. Pemilihan sambungan ini didasarkan pada kemampuannya menghasilkan penetrasi las yang baik pada proses SMAW menggunakan elektroda E7018. Selain itu, sambungan *Single V Butt Joint* banyak digunakan pada konstruksi baja dan pekerjaan fabrikasi sehingga hasil penelitian diharapkan dapat merepresentasikan kondisi pengelasan yang umum diterapkan di industri.

Single-V-groove weld (2) Butt joint (B)									
									
Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness (U = unit)		Groove Preparation			Approved Welding Positions	Gas Shielding for FCAW	Notes
		T ₁	T ₂	Root Opening Root Face Groove Angle	As Detailed (see 5.4.1.1)	As Fitted-Up (see 5.4.1.8)			
SMAW	B-U2	U		R = 0 to 3 f = 0 to 3 α = 60°	+2, 0 +2, 0 +10° - 0°	+2, 3 Not limited +10° - 5°	A		d, e, j

Gambar 2.4 Sambungan *Single V Butt Joint* (AWS D1.1, 2025)

2.2.6 Baja Karbon Rendah ASTM A36

Baja karbon rendah merupakan jenis baja yang memiliki kandungan karbon relatif rendah, umumnya kurang dari 0,30%. Kandungan karbon yang rendah memberikan sifat keuletan, ketangguhan, dan kemudahan pembentukan yang baik dibandingkan dengan baja karbon sedang maupun baja karbon tinggi. Salah satu material yang termasuk dalam kelompok baja karbon rendah adalah

ASTM A36. Material ini banyak digunakan dalam konstruksi bangunan, jembatan, fabiasi baja, perkapalan, dan berbagai komponen struktur karena memiliki kombinasi sifat mekanik yang baik serta harga yang relatif ekonomis. ASTM A36 merupakan baja struktural karbon rendah yang memiliki kemampuan deformasi yang baik tanpa mengalami kegagalan secara tiba-tiba. Material ini mempunyai tingkat ketangguhan dan keuletan yang tinggi sehingga mampu menahan beban statis maupun dinamis dalam berbagai aplikasi teknik. Selain itu, baja ASTM A36 memiliki kekerasan yang relatif rendah dibandingkan baja paduan atau baja karbon tinggi, sehingga lebih mudah diproses melalui pemotongan, pembentukan, maupun pengelasan (Jaenal, 2017).

**Tabel 2.3 Komposisi kimia dan sifat mekanik baja ASTM A36
(Rifaldi dkk., 2021)**

Unsur	Kandungan
Carbon (C) max	0.25-0.29 % (tergantung ketebalan)
Copper (Cu) min	0.2 %
Iron (Fe)	98 %
Manganese (Mn) max	1.03 %
Phosphorus (P)	0.04 %
Silicon (Si)	0.4 % max
Sulfur (S) max	0.05 %
Sifart Mekanik	Nilai
Tensile Strength. Ultimate	58-80 ksi
Tensile Strength. Yield	36 ksi
Elongation (in 200mm)	20 %
Elongation (in 50mm)	23 %
Modulus Elasticity	29000 ksi

2.2.7 Pengaruh Suhu *Preheat* dalam Proses Pengelasan

Preheat atau pemanasan awal merupakan proses pemanasan material sebelum dilakukan pengelasan dengan tujuan untuk mengendalikan siklus termal selama proses pengelasan berlangsung. Pada pengelasan baja karbon, khususnya baja karbon rendah seperti ASTM A36, preheat sering diterapkan untuk meningkatkan kualitas sambungan las dan mengurangi kemungkinan terjadinya cacat pengelasan. Temperatur *preheat* diberikan pada daerah sekitar

sambungan sebelum proses pengelasan dimulai sehingga perbedaan temperatur antara logam las dan logam induk dapat dikurangi (Rifaldi dkk., 2021).

Penerapan *preheat* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap laju pendinginan sambungan las. Semakin tinggi temperatur *preheat* yang diberikan, semakin lambat laju pendinginan yang terjadi setelah proses pengelasan. Penurunan laju pendinginan tersebut dapat mengurangi gradien temperatur yang terbentuk pada daerah las dan *Heat Affected Zone* (HAZ), sehingga tegangan sisa yang timbul akibat kontraksi termal menjadi lebih rendah. Selain itu, pendinginan yang lebih lambat dapat mengurangi kemungkinan terbentuknya struktur mikro keras dan rapuh seperti martensit maupun bainit pada daerah HAZ yang berpotensi menurunkan ketangguhan sambungan las (Primazda & Nugroho, 2019).

Penggunaan *preheat* juga berperan penting dalam mengurangi risiko terjadinya retak dingin (*cold cracking*) pada sambungan las. Retak dingin umumnya terjadi akibat kombinasi antara kandungan hidrogen terlarut, tegangan sisa yang tinggi, dan terbentuknya struktur mikro yang keras pada daerah HAZ. Dengan adanya pemanasan awal, difusi hidrogen dari logam las dapat berlangsung lebih baik sehingga konsentrasi hidrogen yang terperangkap dalam sambungan las dapat dikurangi. Selain menurunkan risiko retak dingin, *preheat* juga dapat membantu mengurangi kemungkinan terjadinya cacat pengelasan lainnya, seperti retak pada daerah HAZ, kurangnya penetrasi akibat pendinginan yang terlalu cepat, serta distorsi yang berlebihan (Primazda & Nugroho, 2019).

Berdasarkan standar *American Welding Society* D1.1, kebutuhan temperatur *preheat* ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain jenis material, ketebalan material, kandungan karbon ekuivalen (*carbon equivalent*), jenis elektroda yang digunakan, serta tingkat kekangan (*restraint*) sambungan. Untuk baja karbon rendah seperti ASTM A36 dengan ketebalan relatif tipis, pengelasan umumnya dapat dilakukan tanpa *preheat* atau dengan temperatur *preheat* yang rendah. Namun, Pada kondisi material yang lebih tebal atau memiliki tingkat kekangan yang tinggi, temperatur *preheat* yang diterapkan dalam praktik industri

umumnya berada pada kisaran 50–200 °C untuk membantu mengurangi risiko retak dan meningkatkan kualitas sambungan las (American & Standard, 2025).

Dalam penelitian ini, digunakan variasi temperatur *preheat* berupa kondisi *non-preheat* (temperatur *ambient*), 50 °C, 100 °C, dan 150 °C untuk menganalisis pengaruh pemanasan awal terhadap karakteristik sambungan las pada baja ASTM A36 yang dilas menggunakan metode SMAW. Pemilihan variasi temperatur tersebut didasarkan pada rentang temperatur *preheat* yang umum direkomendasikan dalam standar pengelasan serta banyak diterapkan dalam industri konstruksi dan fabrikasi baja. Temperatur *ambient* digunakan sebagai kondisi pembanding untuk mengevaluasi efektivitas pemberian *preheat*, sedangkan temperatur 50 °C, 100 °C, dan 150 °C dipilih untuk merepresentasikan peningkatan bertahap tingkat pemanasan awal yang masih berada dalam rentang praktik pengelasan baja karbon rendah. Melalui variasi temperatur tersebut, dapat dianalisis pengaruh *preheat* terhadap struktur mikro, nilai kekerasan, serta kualitas sambungan las sehingga diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai kondisi pengelasan yang optimal pada material ASTM A36.

2.2.8 Uji Struktur Mikro

Uji struktur mikro merupakan pengujian metalografi untuk mengamati susunan butir, fasa, dan cacat pada logam menggunakan mikroskop, sehingga dapat diketahui hubungan antara struktur mikro dan sifat mekanik material. Pada sambungan las, pengamatan dilakukan pada logam las (*weld metal*), daerah terpengaruh panas (HAZ), dan logam induk untuk mengevaluasi kualitas sambungan serta pengaruh proses pengelasan terhadap kekuatan tarik, kekerasan, dan ketangguhan (Mashuda dkk., 2024).

Pada baja karbon rendah dan sedang, fasa mikro yang relevan meliputi ferit dan perlit sebagai fasa dasar, bainit dan martensit yang dapat terbentuk pada pendinginan lebih cepat, serta *ferrite* khusus seperti *grain boundary ferrite*, *Widmanstätten ferrite*, dan *acicular ferrite* yang tumbuh di dalam butir austenit. Kombinasi fasa dan ukuran butir di *weld metal* dan HAZ sangat mempengaruhi kekerasan dan ketangguhan sambungan; *acicular ferrite* umumnya

meningkatkan ketangguhan, sedangkan martensit yang getas cenderung menurunkan keuletan dan meningkatkan risiko retak (suci, 2019).

Heat input dan laju pendinginan menjadi faktor utama yang mengontrol fasa dan ukuran butir pada daerah las. *Heat input* yang tinggi atau adanya *preheat* menyebabkan pendinginan lebih lambat, butir cenderung lebih besar dan pembentukan martensit berkurang, sehingga ketangguhan dapat meningkat meskipun kekerasan lokal menurun. Sebaliknya, *heat input* yang rendah dan pendinginan cepat mendorong terbentuknya martensit, meningkatkan kekerasan tetapi menurunkan ketangguhan (suci, 2019).

2.2.9 Uji Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan merupakan salah satu pengujian sifat mekanik yang bertujuan untuk mengetahui ketahanan material terhadap deformasi plastis lokal akibat pembebanan pada permukaannya. Secara umum, metode pengujian kekerasan dibedakan menjadi metode goresan, metode penekanan, dan metode dinamik. Dari ketiga metode tersebut, metode penekanan merupakan metode yang paling umum digunakan, dengan jenis pengujian yang meliputi Brinell, Rockwell, dan Vickers (Tirta dkk., 2021).

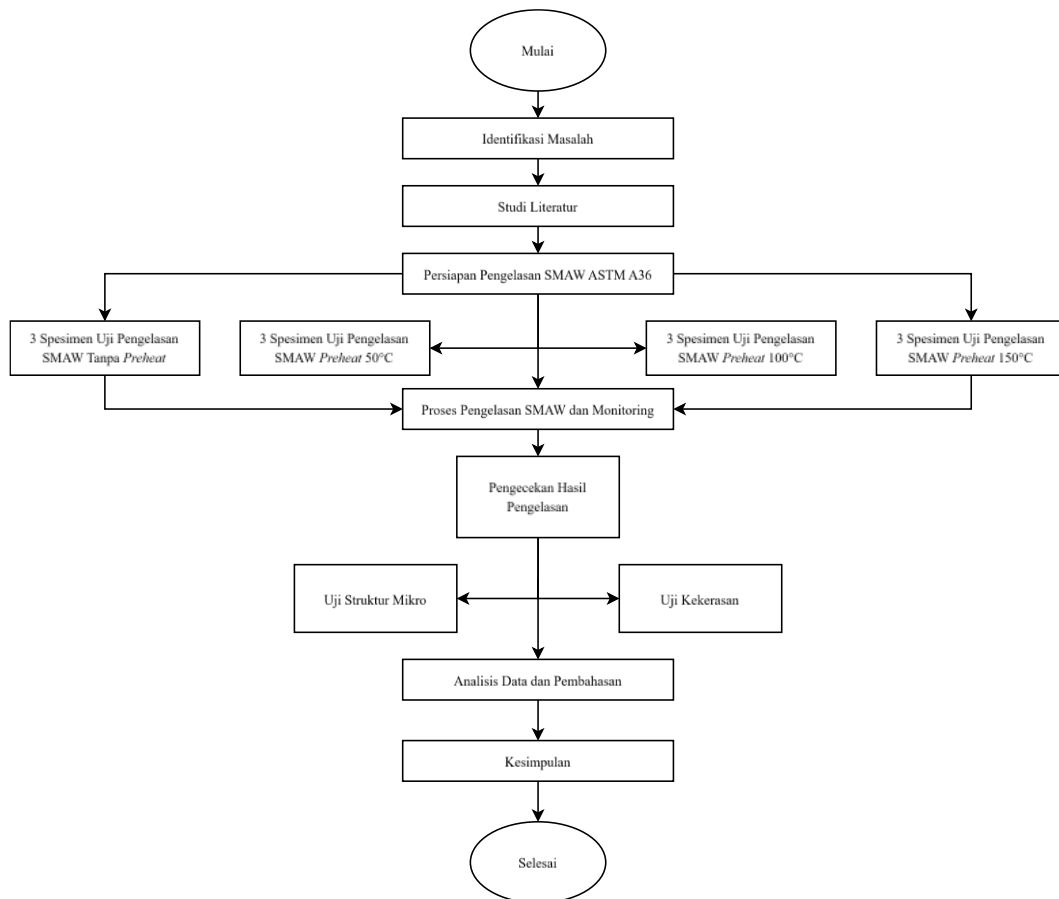
Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah uji kekerasan Vickers. Pengujian Vickers dilakukan dengan menekan permukaan spesimen menggunakan indenter intan berbentuk piramida alas persegi dengan sudut puncak 136° , kemudian dua diagonal jejak indentasi yang terbentuk diukur untuk menentukan nilai kekerasan Vickers dalam satuan HV. Pelaksanaan pengujian ini mengacu pada ASTM E92, yang memuat prosedur pengujian Vickers pada material logam (Eko Budi Santoso, 2021).

Pada penelitian pengelasan, uji Vickers digunakan untuk mengetahui distribusi kekerasan pada daerah logam las, heat affected zone (HAZ), dan logam induk. Dengan pengujian pada beberapa titik di setiap daerah tersebut, perubahan sifat mekanik akibat variasi parameter pengelasan dapat dianalisis secara lebih jelas dan terukur (Tirta dkk., 2021)

BAB III METODOLOGI

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis pengaruh variasi suhu preheat terhadap kualitas sambungan las SMAW pada material ASTM A36 berdasarkan hasil uji kekerasan dan struktur mikro. Tahapan penelitian, mulai dari persiapan material, proses pengelasan, perlakuan preheat, hingga pengujian kekerasan dan struktur mikro, disajikan dalam diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 60 hari di Politeknik Negeri Batam. Kegiatan penelitian meliputi studi literatur, persiapan material dan spesimen, proses pengelasan, pelaksanaan pengujian, pengumpulan data, serta analisis hasil penelitian.

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi untuk mendukung proses pembuatan spesimen dan pelaksanaan pengujian. Daftar peralatan yang digunakan disajikan pada Tabel 3.1, sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Alat Penelitian

No	Alat	Fungsi
1	Mesin las SMAW	Digunakan untuk menghasilkan busur listrik dan mencairkan logam induk serta elektroda selama proses pengelasan SMAW.
2	Kabel las dan penjepit elektroda	Digunakan untuk menyalurkan arus listrik dari mesin las ke elektroda selama proses pengelasan.
3	<i>Burner</i>	Digunakan untuk memanaskan material/melakukan proses <i>preheat</i> .
4	<i>Infrared thermometer</i> atau <i>temperature gun</i>	Digunakan untuk mengukur suhu <i>preheat</i> pada spesimen sebelum proses pengelasan dilakukan.
5	Gerinda tangan	Digunakan untuk membuat kampuh, merapikan permukaan spesimen, dan membersihkan hasil pengelasan.
6	Palu <i>chipping</i>	Digunakan untuk melepaskan terak (<i>slag</i>) yang terbentuk setelah proses pengelasan.
8	Sikat kawat	Digunakan untuk membersihkan sisa terak dan kotoran pada permukaan hasil las.
9	Mesin amplas/poles metalografi	Digunakan untuk menghaluskan dan memoles permukaan spesimen sebelum pengamatan struktur mikro.
10	Mikroskop optik metalografi	Digunakan untuk mengamati dan menganalisis struktur mikro pada spesimen hasil pengelasan.
11	Mesin uji kekerasan	Digunakan untuk mengukur nilai kekerasan pada daerah <i>weld metal</i> , <i>Heat Affected Zone (HAZ)</i> , dan <i>base metal</i> .
12	APD (<i>welding helmet</i> , sarung tangan las, sepatu keselamatan)	Digunakan untuk melindungi peneliti dari bahaya selama proses pengelasan dan pengujian.

Tabel 3.2 Bahan Penelitian

No	Bahan	Fungsi
1	Baja ASTM A36	Digunakan sebagai material dasar (<i>base metal</i>) yang akan dilas dan dijadikan spesimen penelitian.
2	Elektroda E7018 diameter 2,6 mm	Digunakan sebagai logam pengisi (<i>filler metal</i>) pada proses pengelasan SMAW.
3	Elektroda E7018 diameter 3,2 mm	Digunakan sebagai logam pengisi (<i>filler metal</i>) pada proses pengelasan SMAW untuk lapisan pengelasan tertentu sesuai prosedur yang digunakan.
4	Larutan Etsa	Digunakan untuk mengungkap dan memperjelas struktur mikro spesimen setelah proses pengamplasan dan pemolesan sehingga dapat diamati menggunakan mikroskop metalografi.
5	Amplas (<i>grit</i> 80, 180, 240, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500, dan 2000)	Digunakan untuk menghaluskan permukaan spesimen secara bertahap sebelum proses pemolesan dan pengamatan struktur mikro.
6	Kain poles	Digunakan sebagai media pemolesan untuk menghasilkan permukaan spesimen yang halus dan bebas goresan sebelum proses etsa dan pengamatan mikrostruktur.
7	Autosol Metal Polish	Digunakan sebagai bahan pemoles untuk memperoleh permukaan spesimen yang mengkilap dan siap dilakukan proses etsa serta pengamatan struktur mikro.

3.3 Objek Penelitian

Objek penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sambungan las *single V butt joint* dengan sudut *bevel* 30° hasil proses pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) pada material baja karbon rendah ASTM A36. Menggunakan elektroda E7018 dengan variasi suhu *preheat* yang terdiri atas tanpa *preheat*, 50°C, 100°C, dan 150°C. Sambungan las yang dihasilkan menjadi objek pengamatan dan pengujian untuk mengetahui pengaruh variasi suhu *preheat* terhadap kualitas sambungan las. Evaluasi kualitas sambungan dilakukan melalui pengujian struktur mikro dan uji kekerasan pada daerah

logam las (*weld metal*), daerah terpengaruh panas (*Heat Affected Zone/HAZ*), dan logam induk (*base metal*). Hasil pengujian tersebut digunakan untuk menganalisis perubahan mikrostruktur dan distribusi nilai kekerasan yang terjadi akibat perbedaan suhu *preheat* yang diterapkan sebelum proses pengelasan.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian merupakan unsur yang ditetapkan dalam penelitian untuk mengetahui pengaruh perlakuan yang diberikan terhadap hasil pengujian. Pada penelitian ini, variabel bebas adalah variasi suhu *preheat* yang terdiri atas tanpa *preheat* (*non-preheat*), 50°C, 100°C, dan 150°C. Variabel terikat meliputi nilai kekerasan *Vickers* dan struktur mikro pada daerah *weld metal*, *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *base metal*. Sementara itu, variabel kontrol dalam penelitian ini meliputi material ASTM A36 tebal 10 mm, proses pengelasan SMAW, sambungan *single V butt joint*, posisi pengelasan 1G, elektroda E7018 diameter 2,6 mm dan 3,2 mm, serta arus pengelasan 75 A untuk *root pass* dan 110 A untuk *fill pass* serta *cap pass*. Penetapan variabel tersebut dilakukan agar perubahan hasil pengujian dapat dianalisis sebagai pengaruh dari variasi suhu *preheat*. (Ramadhani dkk., 2022)

Tabel 3.3 Variabel Penelitian

No	Jenis Variabel	Variabel	Keterangan
1	Variabel Bebas	Tanpa <i>preheat</i>	Suhu lingkungan (<i>ambient temperature</i>)
2	Variabel Bebas	<i>Preheat</i> 50°C	Pemanasan awal spesimen hingga 50°C
3	Variabel Bebas	<i>Preheat</i> 100°C	Pemanasan awal spesimen hingga 100°C
4	Variabel Bebas	<i>Preheat</i> 150°C	Pemanasan awal spesimen hingga 150°C
5	Variabel Terkait	Nilai Kekerasan	Nilai kekerasan pada daerah <i>weld metal</i> , <i>Heat Affected Zone</i> (HAZ), dan <i>base metal</i>
6	Variabel Terkait	Struktur Mikro	Karakteristik mikrostruktur pada daerah <i>weld metal</i> , HAZ, dan <i>base metal</i>
7	Variabel Kontrol	Material	Baja ASTM A36
8	Variabel Kontrol	Ketebalan Material	10 mm
9	Variabel Kontrol	Dimensi Spesimen	100mm x 150mm

10	Variabel Kontrol	Jenis Sambungan	<i>Single V butt joint</i>
11	Variabel Kontrol	Sudut <i>Bevel</i>	30°
12	Variabel Kontrol	Proses Pengelasan	SMAW
13	Variabel Kontrol	Jenis Elektroda	E7018
14	Variabel Kontrol	Diameter Elektroda	2,6 mm dan 3,2 mm
15	Variabel Kontrol	Posisi Pengelasan	1G
16	Variabel Kontrol	Teknik Pengelasan	<i>Multi pass (root pass, fill pass, dan cap pass)</i>

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian merupakan rangkaian langkah sistematis yang dilakukan untuk memperoleh data dan mencapai tujuan penelitian. Prosedur ini disusun secara terstruktur mulai dari tahap perencanaan, pelaksanaan penelitian, pengujian spesimen, hingga analisis data sehingga penelitian dapat berjalan secara terarah dan menghasilkan data yang valid. Adapun tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

3.5.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari berbagai sumber pustaka seperti buku, jurnal ilmiah, standar pengelasan, serta referensi lain yang berkaitan dengan penelitian. Referensi yang digunakan meliputi teori mengenai proses pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW), material baja karbon rendah ASTM A36, elektroda E7018, perlakuan *preheat*, struktur mikro logam las, daerah terpengaruh panas (*Heat Affected Zone/HAZ*), serta metode pengujian struktur mikro dan uji kekerasan. Studi literatur dilakukan untuk memperoleh landasan teori yang mendukung pelaksanaan penelitian dan analisis hasil pengujian.

3.5.2 Pemilihan Material dan Persiapan Alat dan Bahan

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah ASTM A36. Material tersebut dipilih karena merupakan salah satu baja struktural yang banyak digunakan pada industri konstruksi, manufaktur, dan galangan kapal. Selain memiliki sifat mampu las (*weldability*) yang baik, ASTM A36 juga memiliki sifat mekanik yang sesuai untuk berbagai aplikasi struktur sehingga banyak digunakan dalam proses fabrikasi dan penyambungan

logam. Pemilihan ASTM A36 pada penelitian ini juga didasarkan pada relevansinya terhadap kebutuhan industri di Kota Batam yang didominasi oleh sektor galangan kapal, konstruksi baja, dan manufaktur logam.

Sebelum penelitian dilaksanakan, dilakukan persiapan alat dan bahan yang digunakan selama proses penelitian. Alat penelitian yang digunakan meliputi peralatan pengelasan dan peralatan pengujian serta peralatan pendukung lainnya yang telah di sajikan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

3.5.3 Pembuatan dan Persiapan Spesimen

Pembuatan spesimen diawali dengan pemotongan material ASTM A36 menggunakan mesin CNC laser. Material dipotong menjadi 24 buah pelat dengan ukuran $100\text{ mm} \times 150\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ sesuai dengan dimensi spesimen yang telah ditentukan. Setelah proses pemotongan selesai, dilakukan pembuatan kampuh pada sisi pelat yang akan disambung. Pembuatan kampuh dilakukan menggunakan *cutting rel* dengan sudut *bevel* 30° sehingga membentuk kampuh *single V butt joint*. Hasil pembuatan kampuh kemudian diperiksa untuk memastikan bentuk dan sudut kampuh sesuai dengan desain yang digunakan dalam penelitian.

Tahap berikutnya adalah proses *fit up*. Pada tahap ini, dua buah pelat yang telah dibuat kampuh disusun dan dirakit menjadi satu sambungan *single V butt joint*. Proses *fit up* dilakukan dengan mengatur posisi kedua pelat agar sejajar dan sesuai dengan bentuk sambungan yang telah direncanakan. Setelah proses *fit up* selesai, spesimen siap untuk diberikan perlakuan suhu *preheat* dan dilakukan proses pengelasan SMAW.



Gambar 3.2 Proses *fit up* single V butt joint

3.5.4 Pemberian Perlakuan Suhu *Preheat*

Pemberian perlakuan suhu *preheat* dilakukan sebelum proses pengelasan untuk mengetahui pengaruh variasi suhu pemanasan awal terhadap kualitas sambungan las SMAW pada material ASTM A36. Variasi suhu *preheat* yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas tanpa *preheat* (*ambient temperature*), *preheat* 50°C, *preheat* 100°C, dan *preheat* 150°C. Variasi suhu tersebut dipilih untuk membandingkan kondisi spesimen tanpa pemanasan awal dengan spesimen yang diberikan pemanasan awal pada beberapa tingkat suhu yang umum digunakan dalam proses pengelasan baja karbon rendah.

Proses *preheat* dilakukan menggunakan *burner* yang menggunakan bahan bakar gas LPG. Peralatan yang digunakan pada tahap ini meliputi *burner*, tabung gas LPG, pematik, dan *infrared thermometer* (*thermogun*) sebagai alat pengukur suhu. Sebelum pengelasan dilakukan, setiap spesimen diberikan perlakuan *preheat* sesuai dengan variasi suhu yang telah ditentukan.

Pemanasan dilakukan pada area sekitar sambungan las secara merata hingga mencapai suhu *preheat* yang diinginkan. Pengukuran suhu dilakukan menggunakan *thermogun* Fluke 62 MAX pada daerah yang akan dilas dengan pengaturan emisivitas standar ($EMS = 0,95$). Lama pemanasan tidak ditentukan berdasarkan waktu tertentu, melainkan menyesuaikan dengan kenaikan suhu pada spesimen. Apabila hasil pengukuran menggunakan *thermogun* telah menunjukkan suhu sesuai dengan variasi yang ditetapkan, maka proses *preheat* dinyatakan selesai dan spesimen segera dilanjutkan ke proses pengelasan.

Setiap spesimen diberikan perlakuan suhu *preheat* sesuai kelompok variasinya, yaitu tanpa *preheat*, *preheat* 50°C, *preheat* 100°C, dan *preheat* 150°C. Perlakuan ini dilakukan sebelum proses pengelasan SMAW untuk memastikan bahwa setiap spesimen memiliki kondisi awal yang sesuai dengan parameter penelitian yang telah ditentukan.

3.5.5 Proses Pengelasan SMAW

Proses pengelasan pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) pada spesimen baja ASTM A36 yang telah diberikan perlakuan suhu *preheat* sesuai variasi penelitian. Sambungan yang digunakan adalah *single V butt joint* dengan sudut bevel 30° dan posisi

pengelasan 1G. Pengelasan dilakukan menggunakan elektroda E7018 dengan teknik *multi pass* yang terdiri atas *root pass*, *fill pass*, dan *cap pass*. Pemilihan variasi suhu *preheat* pada penelitian ini didasarkan pada tujuan untuk mengkaji pengaruh peningkatan suhu awal terhadap struktur mikro dan kekerasan sambungan las.

Berdasarkan AWS D1.1 Tabel 5.11, material ASTM A36 dengan ketebalan 10 mm yang dilas menggunakan proses SMAW dengan elektroda rendah hidrogen E7018 memiliki temperatur *preheat* dan *interpass* minimum sebesar 0°C. Oleh karena itu, variasi temperatur *preheat* 50°C, 100°C, dan 150°C yang digunakan dalam penelitian ini merupakan perlakuan eksperimental untuk menganalisis pengaruhnya terhadap kualitas sambungan las berdasarkan hasil pengujian struktur mikro dan kekerasan.

Selama proses pengelasan berlangsung, dilakukan pemantauan terhadap parameter pengelasan untuk menjaga konsistensi hasil las. Parameter yang diamati meliputi arus pengelasan dan tegangan pengelasan yang digunakan pada setiap lapisan pengelasan. Nilai arus dan tegangan disesuaikan dengan rentang parameter yang direkomendasikan untuk elektroda E7018 dan dicatat selama proses pengelasan berlangsung. Data parameter pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 3.6.

Suhu spesimen selama proses pengelasan dipantau menggunakan *infrared thermometer (thermogun)* untuk mengetahui perubahan temperatur yang terjadi akibat masukan panas (*heat input*) selama pengelasan. Namun demikian, temperatur *interpass* tidak dijadikan sebagai variabel yang dikendalikan dalam penelitian ini. Variasi temperatur yang diterapkan hanya berupa temperatur *preheat* awal sebelum proses pengelasan dimulai. Setelah setiap lapisan pengelasan selesai, spesimen dibiarkan mendingin secara alami hingga mendekati temperatur *preheat* yang telah ditentukan sebelum pengelasan lapisan berikutnya dilakukan. Metode ini diterapkan untuk menjaga keseragaman kondisi awal setiap lapisan pengelasan tanpa memberikan perlakuan khusus terhadap temperatur *interpass*.

Seluruh proses pengelasan dilakukan oleh *welder* yang telah memenuhi kualifikasi pengelasan sehingga parameter dan teknik pengelasan dapat

diterapkan secara konsisten pada setiap spesimen. Dengan demikian, variasi hasil pengujian yang diperoleh diharapkan lebih dipengaruhi oleh perlakuan temperatur *preheat* dibandingkan oleh perbedaan keterampilan operator pengelasan.

Tabel 3.6 Parameter pengelasan

Weld Layer	Proses	Filler Metal		Current		Volt Range (V)
		Class	Dia	Polarity	Amper Range (A)	
Root Pass	SMAW	E7018	2.6	DCEP	65 – 95	20 – 24
Fill Pass	SMAW	E7018	3.2	DCEP	90 - 130	22 – 26
Cap Pass	SMAW	E7018	3.2	DCEP	90 - 130	22 – 26

3.5.6 Preparasi Spesimen Metalografi

Preparasi spesimen metalografi dilakukan sebelum pengujian struktur mikro. Dari setiap spesimen sambungan las diambil satu sampel pengujian berukuran 50 mm × 25 mm yang selanjutnya dipreparasi untuk pengamatan mikrostruktur.

Pemotongan sampel dilakukan menggunakan mesin *bandsaw* dengan bantuan *coolant* sebagai media pendingin selama proses pemotongan. Setelah itu, spesimen diampelas secara bertahap menggunakan amplas dengan tingkat kekasaran (*grit*) 80, 180, 240, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500, dan 2000.

Spesimen yang telah diampelas kemudian dipoles menggunakan *Autosol Metal Polish* dan kain poles hingga permukaannya rata dan halus. Selanjutnya dilakukan proses etsa menggunakan larutan etsa untuk menampilkan struktur mikro material. Setelah proses etsa selesai, spesimen dibersihkan dan dikeringkan sebelum dilakukan pengamatan menggunakan mikroskop optik metalografi.

3.5.7 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengamati perubahan mikrostruktur pada sambungan las akibat variasi suhu *preheat* yang diberikan sebelum proses pengelasan. Sebelum dilakukan pengamatan, spesimen dipreparasi sesuai standar ASTM E3 melalui proses pemotongan,

pengamplasan, pemolesan, dan etsa. Proses etsa dilakukan dengan mengikuti ketentuan standar ASTM E407 agar detail mikrostruktur pada daerah las, HAZ, dan logam dasar dapat terlihat dengan jelas.

Pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop optik metalografi pada tiga daerah pengamatan, yaitu *weld metal*, *Heat Affected Zone (HAZ)*, dan *base metal*. Pada pengujian struktur mikro ini, setiap daerah (*weld metal*, *HAZ*, dan *base metal*) diamati pada satu titik pengamatan yang sama dengan dua tingkat perbesaran, yaitu 20× dan 50×.

Parameter yang diamati meliputi ukuran butir, fase mikro yang dominan, dan tingkat kehomogenan struktur mikro yang terbentuk. Hasil pengamatan struktur mikro selanjutnya dianalisis dan dievaluasi dengan mengacu pada ISO 17639. Berdasarkan hasil pengamatan tersebut, struktur mikro yang terbentuk pada setiap spesimen diklasifikasikan sesuai karakteristik mikrostrukturnya dan digunakan sebagai dasar dalam pembahasan pengaruh variasi suhu *preheat* terhadap kualitas sambungan las.

3.5.8 Pengujian Kekerasan Vickers

Metode pengujian kekerasan Vickers pada penelitian ini dilakukan untuk menentukan nilai kekerasan material berdasarkan ukuran jejak indentasi yang dihasilkan oleh indenter intan berbentuk piramida beralas persegi dengan sudut puncak 136°. Spesimen terlebih dahulu dipersiapkan hingga permukaannya rata, halus, dan bersih agar jejak indentasi dapat diamati dengan jelas, kemudian diletakkan pada meja uji dan diposisikan tepat di bawah indenter. Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Vickers menggunakan beban 5 kgf (HV 5) dengan waktu penahanan (*dwell time*) 10–15 detik sesuai ketentuan ASTM E92:2023. Beban diterapkan secara vertikal, ditahan selama waktu penahanan, lalu dilepaskan; kedua diagonal jejak indentasi selanjutnya diukur menggunakan mikroskop optik pada alat uji, dan nilai rata-rata diagonal digunakan untuk menghitung nilai kekerasan *Vickers* dalam satuan HV. Pengujian ini merupakan adaptasi dari persyaratan uji kekerasan pada prosedur kualifikasi pengelasan menurut ISO 15614-1:2017, yang umumnya mensyaratkan beban 10 kgf (HV 10) pada sambungan las. Pemakaian beban 5 kgf dipilih karena ketebalan spesimen yang relatif kecil dan untuk memperoleh

pemetaan kekerasan yang lebih rinci di sekitar garis fusi. Dengan pertimbangan tersebut, pelaksanaan pengujian kekerasan *Vickers* pada penelitian ini mengacu pada ASTM E92:2023 sebagai referensi metode pengujian, sedangkan penilaian hasil pengujian dan kriteria penerimaannya (acceptance criteria) dilakukan secara kualitatif dengan mengacu pada batas kekerasan maksimum yang direkomendasikan dalam ISO 15614-1:2017 sebagai standar acuan prosedur pengelasan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Pada penelitian ini digunakan pelat baja ASTM A36 dengan ketebalan 10 mm yang dipersiapkan dalam konfigurasi sambungan *single V butt joint* dengan sudut *bevel* 30° pada kedua tepi pelat sebagai bentuk kampuh pengelasan. Spesimen yang dilas berjumlah 12 buah, dimana tiap spesimen dilas menggunakan proses SMAW dengan elektroda E7018, ukuran elektroda yang digunakan untuk *root pass* adalah 2.6 mm sedangkan untuk fill dan cap pass digunakan elektroda 3.2 mm. Elektroda E7018 digunakan untuk pengelasan pada konstruksi yang membutuhkan kekuatan tinggi dan cocok untuk sambungan butt joint pada posisi pengelasan datar (1G).

4.1.2 Hasil Proses pengelasan

Pada bagian ini, ditampilkan hasil pengelasan pelat baja ASTM A36 yang dilakukan menggunakan proses Shielded Metal Arc Welding (SMAW) dengan konfigurasi sambungan *single V butt joint* dan elektroda E7018 sesuai parameter yang telah ditetapkan. Setiap sambungan las didokumentasikan untuk menggambarkan kondisi permukaan las, keseragaman pengisian kampuh, serta adanya indikasi cacat permukaan yang mungkin terbentuk selama proses pengelasan.

Dokumentasi tersebut disusun dalam bentuk tabel guna memberikan gambaran awal mengenai kualitas hasil pengelasan pada masing-masing spesimen sebelum dilakukan pengujian sifat mekanik dan pengamatan struktur mikro. Berdasarkan pemeriksaan visual (*visual inspection*) terhadap keempat kelompok spesimen (tanpa *preheat*, *preheat* 50°C, 100°C, dan 150°C), seluruh hasil las menunjukkan manik las (*weld bead*) yang terisi penuh dan seragam, tanpa indikasi cacat permukaan seperti *crack*, *undercut*, porositas permukaan, maupun *incomplete fusion* yang teramati secara kasat mata. Karena tidak ditemukan cacat pada pemeriksaan visual, penelusuran cacat lanjutan (misalnya melalui uji tidak merusak) tidak dilakukan, dan penelitian difokuskan pada pengujian kekerasan serta struktur mikro. Dengan demikian, hasil proses pengelasan pada Tabel 4.1 menjadi dasar untuk menilai konsistensi pelaksanaan prosedur pengelasan serta keterkaitannya dengan hasil pengujian pada bagian berikutnya.

Tabel 4.1 Hasil pengelasan SMAW

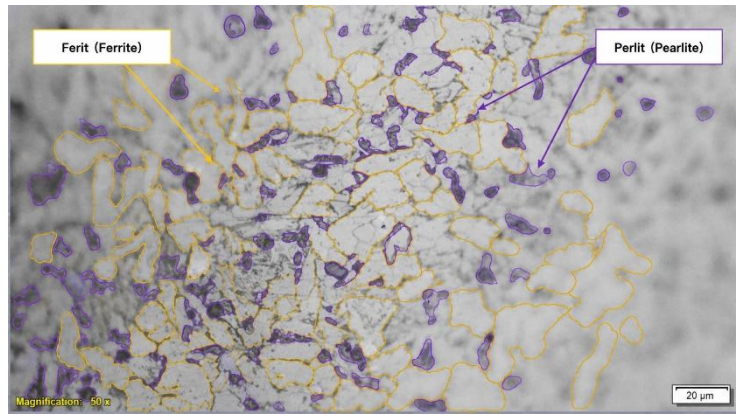
No	Gambar	Keterangan
1	 Three SMAW weld samples without preheat. The top two are side-by-side, and the third is centered below them. Each sample is labeled 'NON Preheat' in white marker.	Hasil pengelasan SMAW tanpa <i>preheat</i>
2	 Three SMAW weld samples with 50°C preheat. The top two are side-by-side, and the third is centered below them. Each sample is labeled '50°C' in white marker.	Hasil pengelasan SMAW dengan <i>preheat</i> 50°C
3	 Three SMAW weld samples with 100°C preheat. The top two are side-by-side, and the third is centered below them. Each sample is labeled '100°C' in white marker.	Hasil pengelasan SMAW dengan <i>preheat</i> 100°C

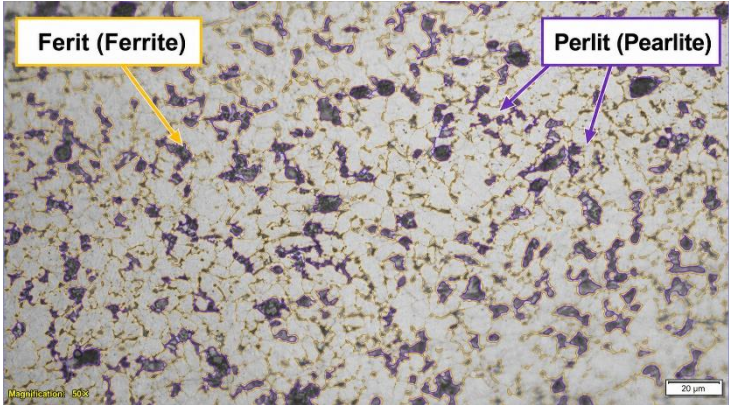
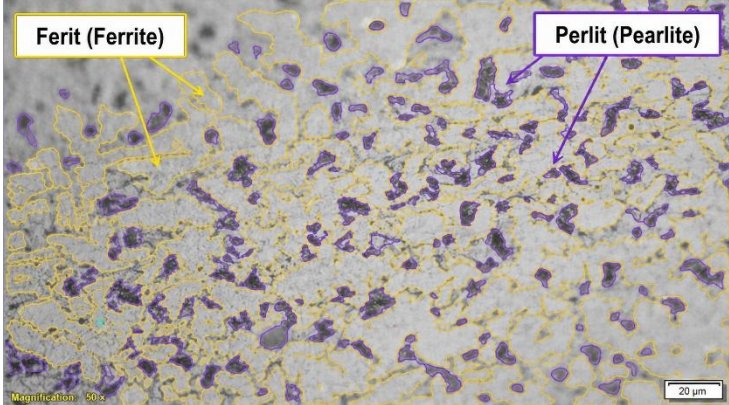
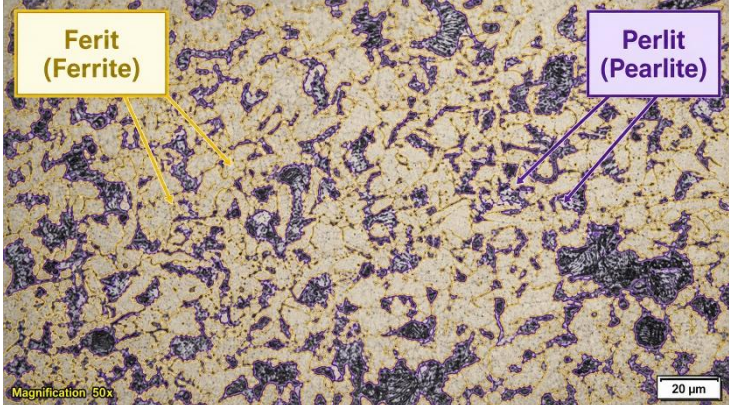
4		Hasil pengelasan SMAW dengan <i>preheat</i> 150°C
---	---	---

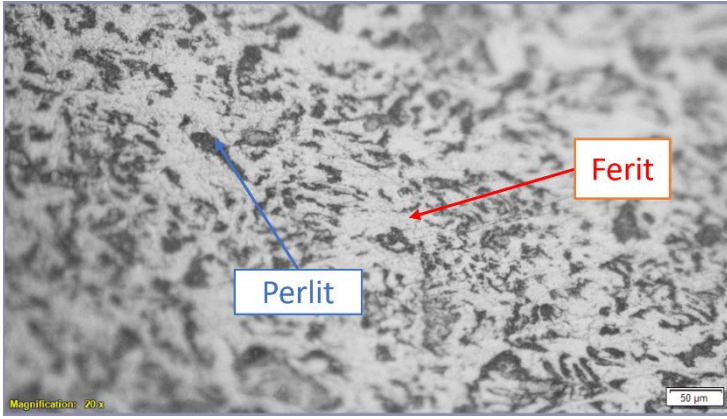
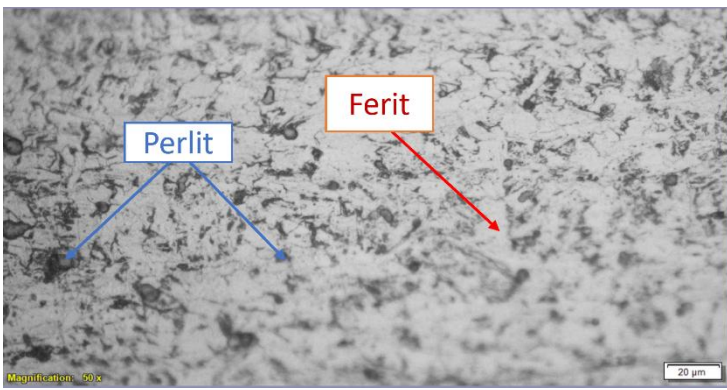
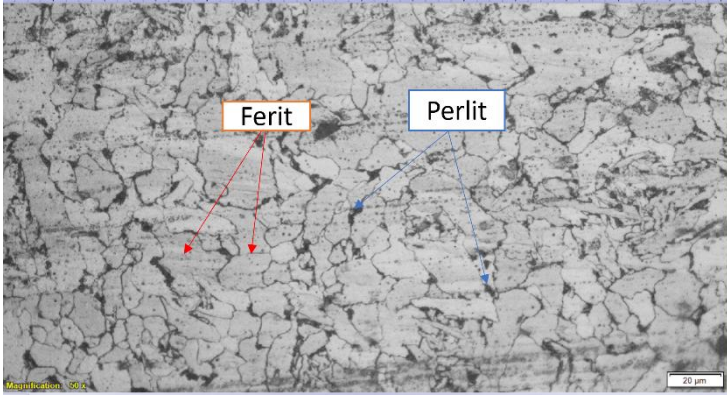
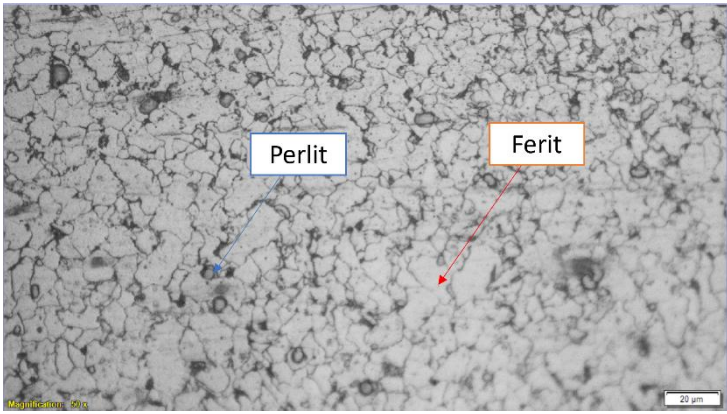
4.1.3 Hasil Uji Struktur Mikro

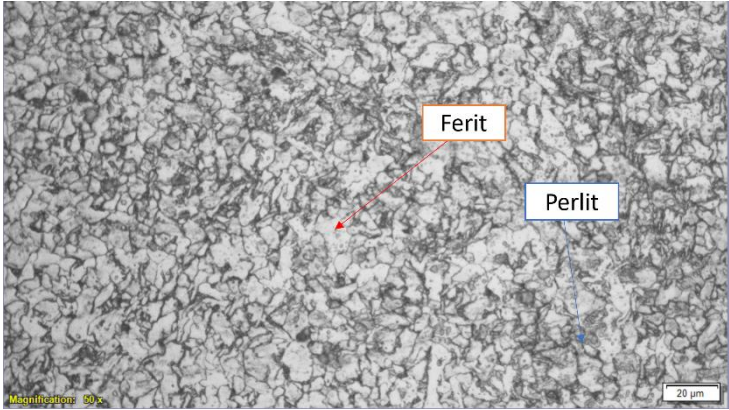
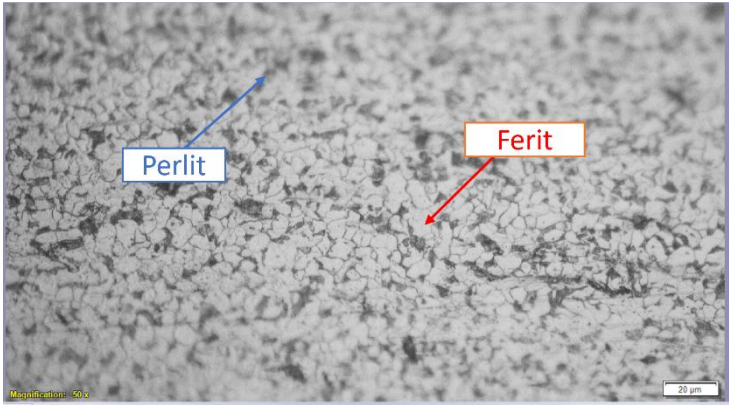
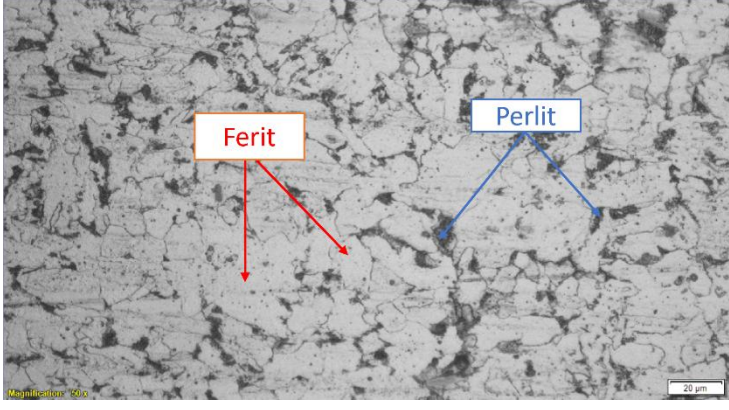
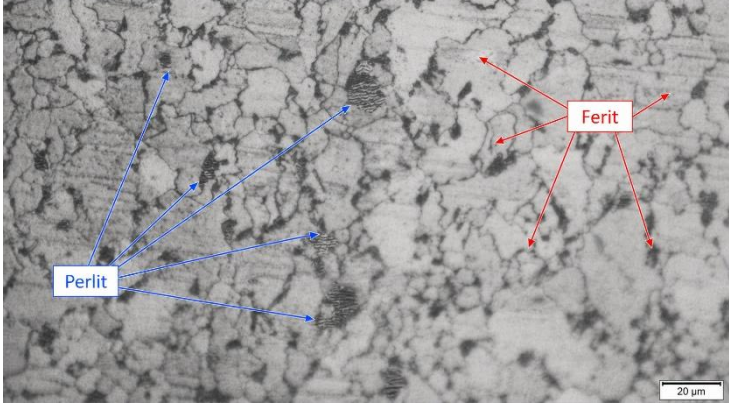
Pada bagian ini ditampilkan hasil pengamatan struktur mikro pada sambungan las baja ASTM A36 yang diperoleh melalui preparasi metalografi dan proses etsa sesuai standar yang digunakan. Foto mikro disusun dalam tabel untuk menunjukkan fasa-fasa yang terbentuk pada daerah *weld metal*, *heat affected zone* (HAZ), dan *base metal*, sehingga perubahan struktur akibat proses pengelasan dapat diamati secara lebih jelas.

Tabel 4.2 Hasil uji mikro pada *weld metal*

No	Gambar	Keterangan
1		Spesimen 1 <i>weld metal</i> <i>non preheat</i>

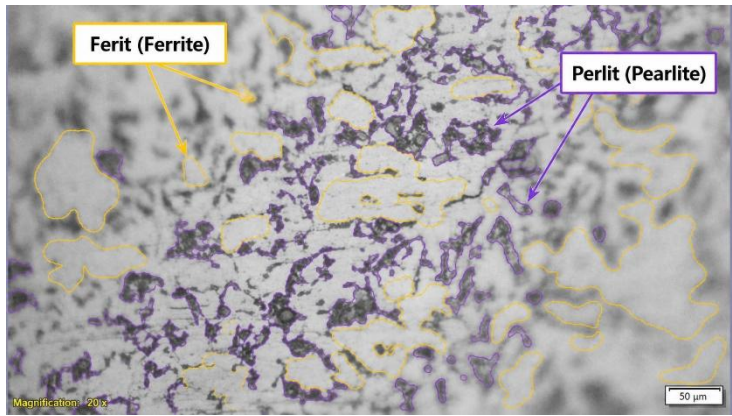
2		Spesimen 2 weld metal non preheat
3		Spesimen 3 weld metal non preheat
4		Spesimen 1 weld metal preheat 50°C

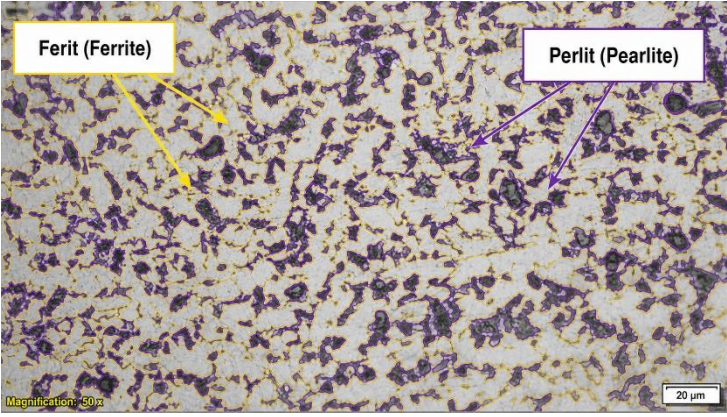
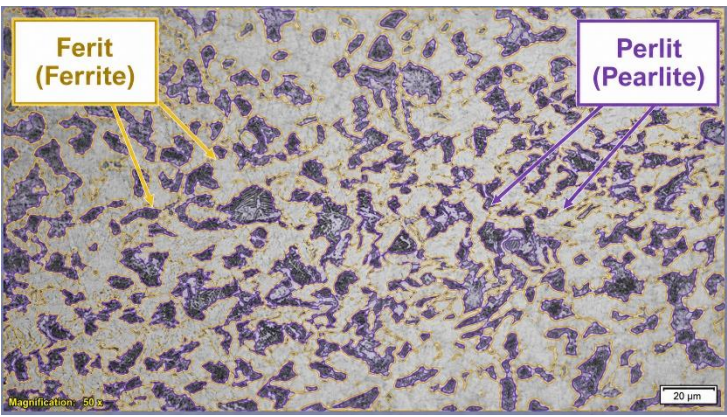
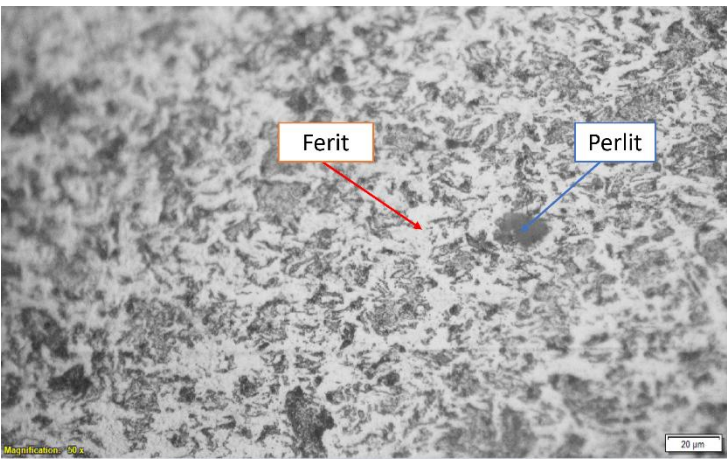
5		Spesimen 2 weld metal preheat 50°C
6		Spesimen 3 weld metal preheat 50°C
7		Spesimen 1 weld metal preheat 100°C
8		Spesimen 2 weld metal preheat 100°C

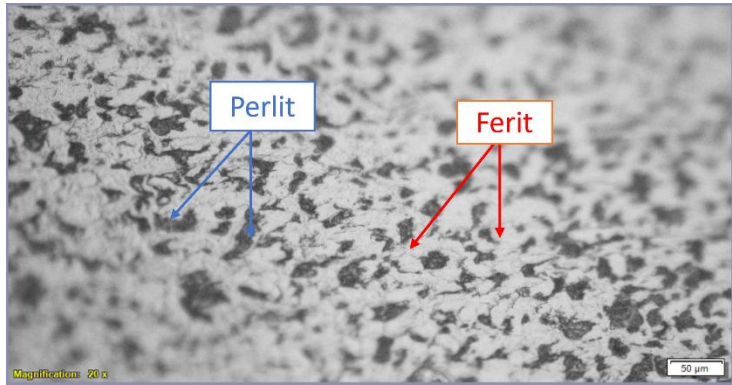
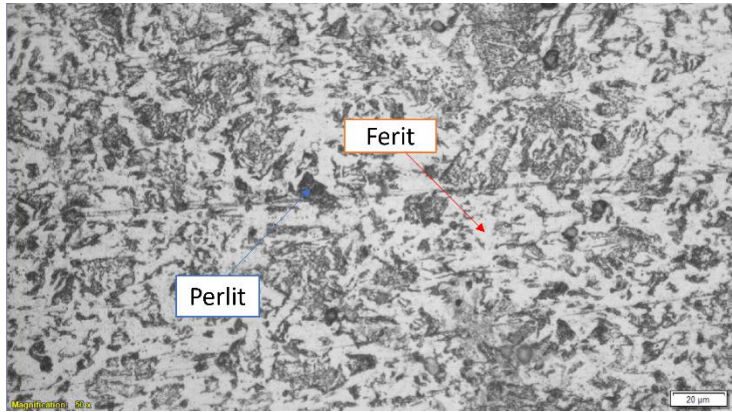
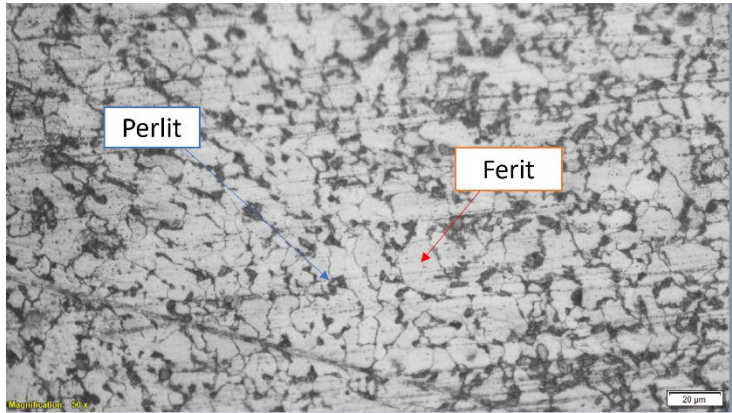
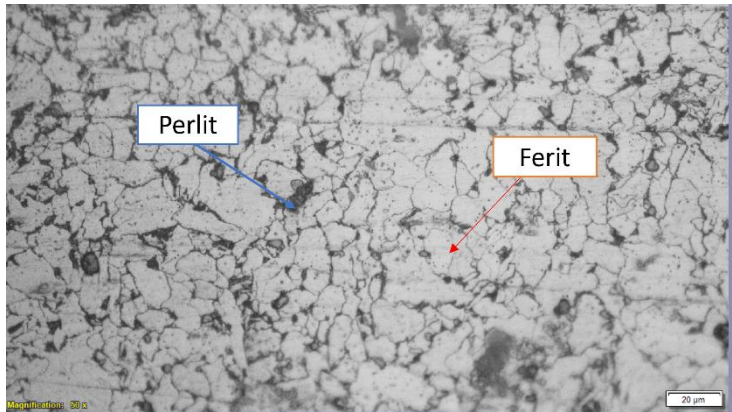
9		Spesimen 3 weld metal preheat 100°C
10		Spesimen 1 weld metal preheat 150°C
11		Spesimen 2 weld metal preheat 150°C
12		Spesimen 3 weld metal preheat 150°C

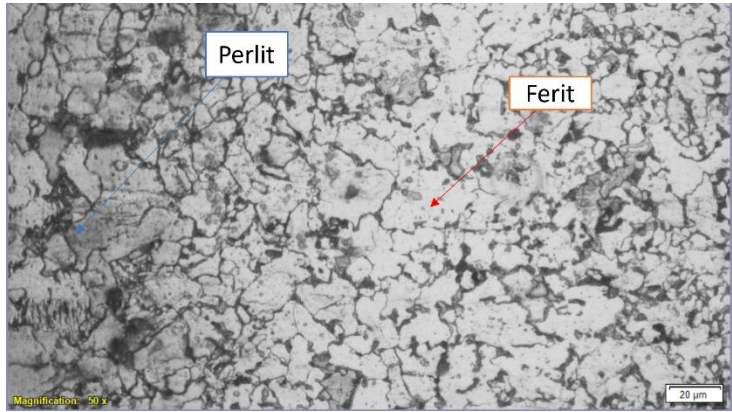
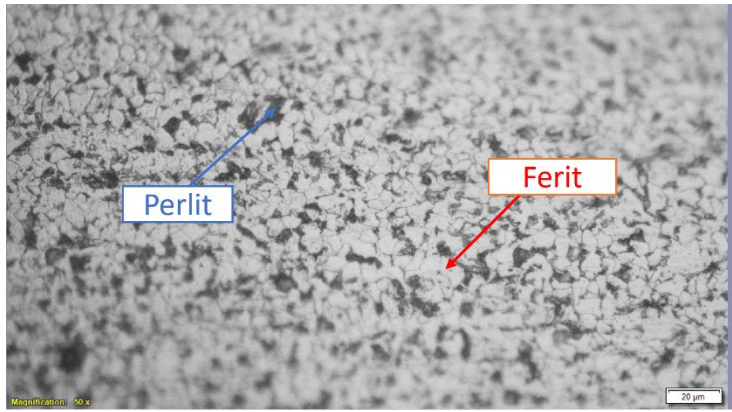
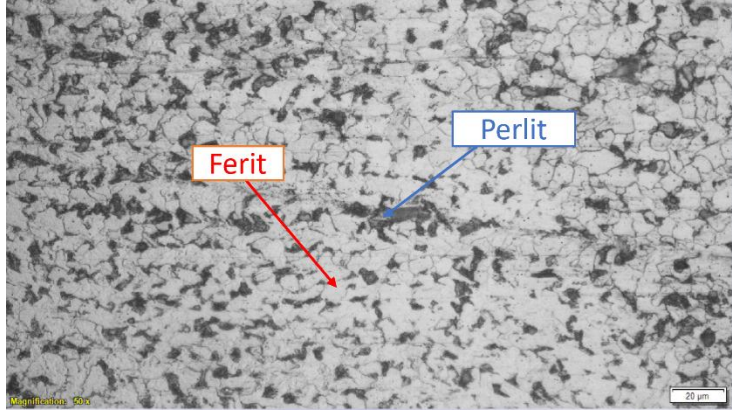
Pada pengamatan hasil las SMAW baja karbon rendah ASTM A36, daerah *weld metal* pada seluruh variasi didominasi oleh ferit sebagai fasa terang dengan perlit yang menyebar sebagai bagian gelap di antaranya, khas baja karbon rendah yang dilas SMAW. Pada kondisi tanpa *preheat*, ferit dan perlit menyebar di antara struktur las, sedangkan pada *preheat* 50 °C fraksi ferit tampak sedikit lebih banyak, sejalan dengan efek *preheat* yang memperlambat laju pendinginan. Peningkatan ini berlanjut pada *preheat* 100 °C, di mana *weld metal* lebih banyak didominasi warna terang penanda ferit dengan struktur yang lebih halus dibandingkan kondisi tanpa *preheat* maupun *preheat* 50 °C, sementara perlit gelap tampak lebih sedikit dan tersebar. Pada *preheat* 150 °C, ferit menyebar merata dengan fraksi yang tampak paling banyak di antara seluruh variasi suhu dan perlit hanya tersisa di sela-selanya, sejalan dengan nilai kekerasan *weld metal* yang paling rendah pada kondisi ini akibat laju pendinginan yang paling lambat.

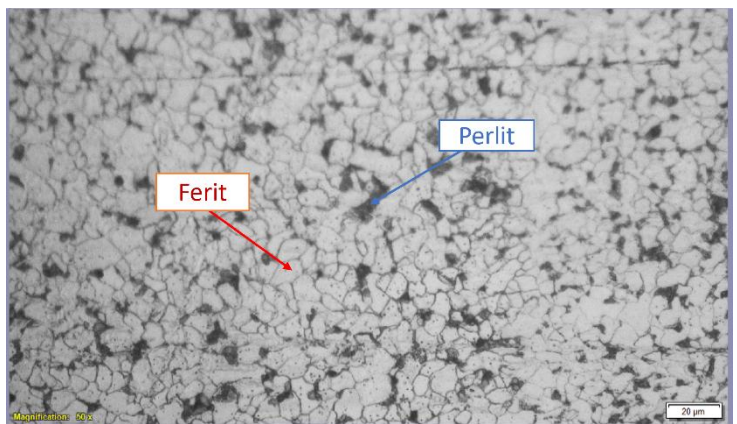
Tabel 4.3 Hasil uji mikro pada HAZ

No	Gambar	Keterangan
1		Spesimen 1 HAZ <i>non preheat</i>

2	 This micrograph shows the microstructure of Specimen 2's Heat-Affected Zone (HAZ) without preheating. It features a mixture of Ferrite (Ferrite) and Pearlite (Pearlite). The Ferrite is indicated by yellow arrows and the Pearlite by purple arrows. The magnification is 50x, and a 20 μm scale bar is present in the bottom right corner.	Spesimen 2 HAZ <i>non preheat</i>
3	 This micrograph shows the microstructure of Specimen 3's Heat-Affected Zone (HAZ) without preheating. It features a mixture of Ferrite (Ferrite) and Pearlite (Pearlite). The Ferrite is indicated by yellow arrows and the Pearlite by purple arrows. The magnification is 50x, and a 20 μm scale bar is present in the bottom right corner.	Spesimen 3 HAZ <i>non preheat</i>
4	 This micrograph shows the microstructure of Specimen 1's Heat-Affected Zone (HAZ) after preheating at 50°C. It features a mixture of Ferrite and Pearlite. The Ferrite is indicated by a red arrow and the Pearlite by a blue arrow. The magnification is 50x, and a 20 μm scale bar is present in the bottom right corner.	Spesimen 1 HAZ <i>preheat</i> 50°C

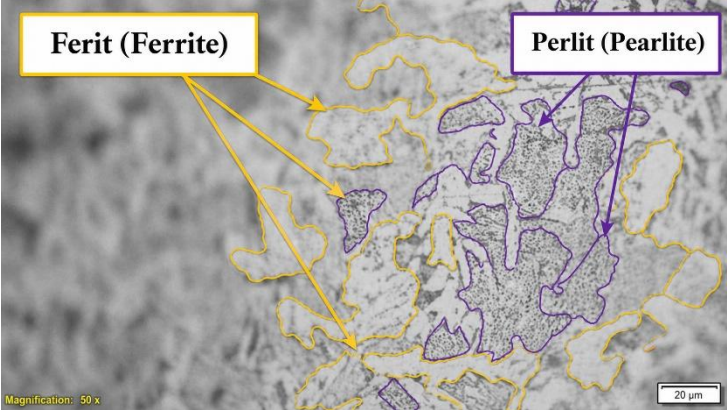
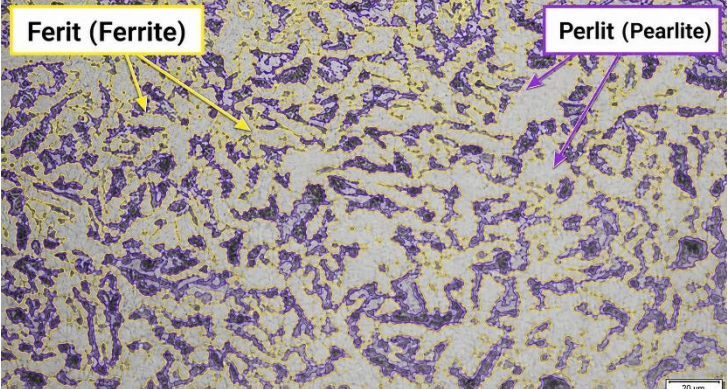
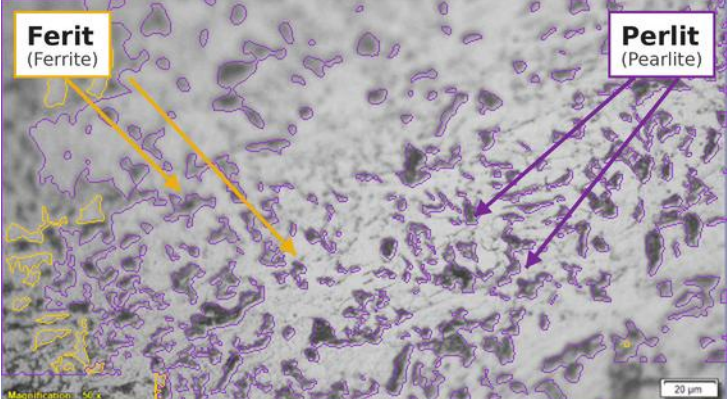
5		Spesimen 2 HAZ <i>preheat</i> 50°C
6		Spesimen 3 HAZ <i>preheat</i> 50°C
7		Spesimen 1 HAZ <i>preheat</i> 100°C
8		Spesimen 2 HAZ <i>preheat</i> 100°C

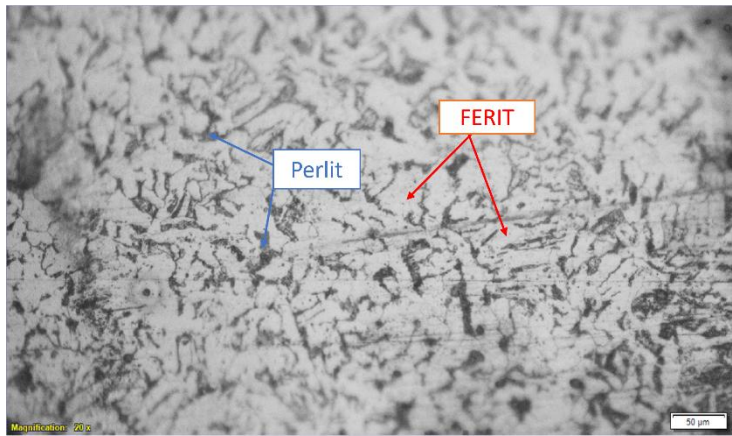
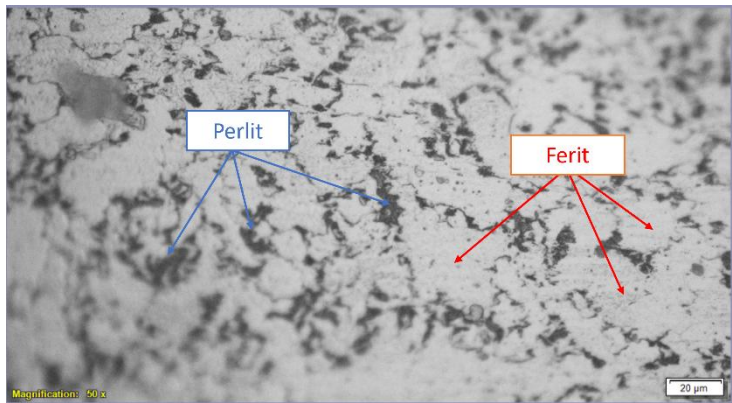
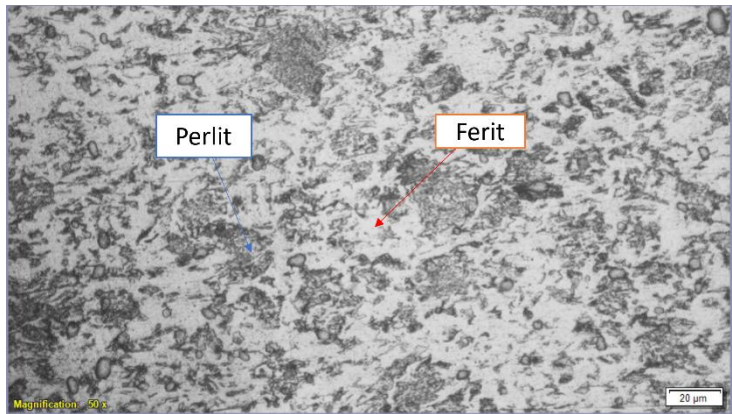
9		Spesimen 3 HAZ <i>preheat</i> 100°C
10		Spesimen 1 HAZ <i>preheat</i> 150°C
11		Spesimen 2 HAZ <i>preheat</i> 150°C

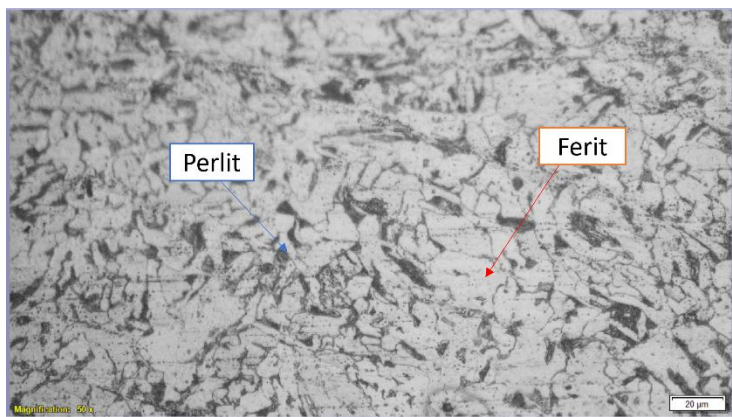
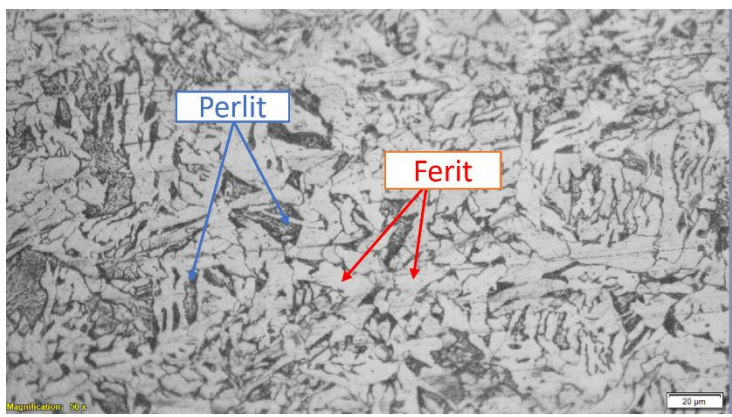
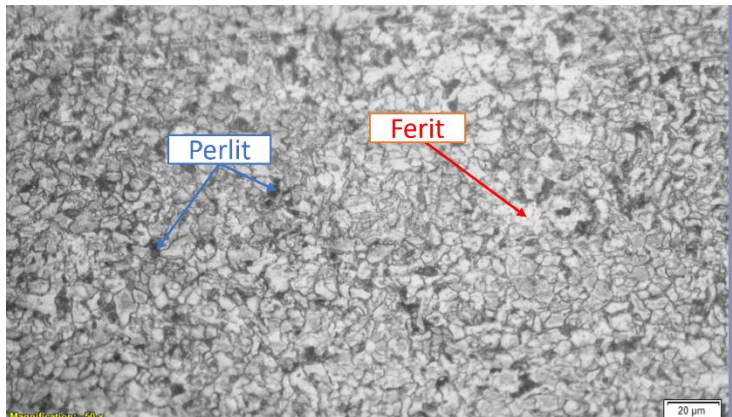
12		Spesimen 3 HAZ <i>preheat</i> 150°C
----	--	---

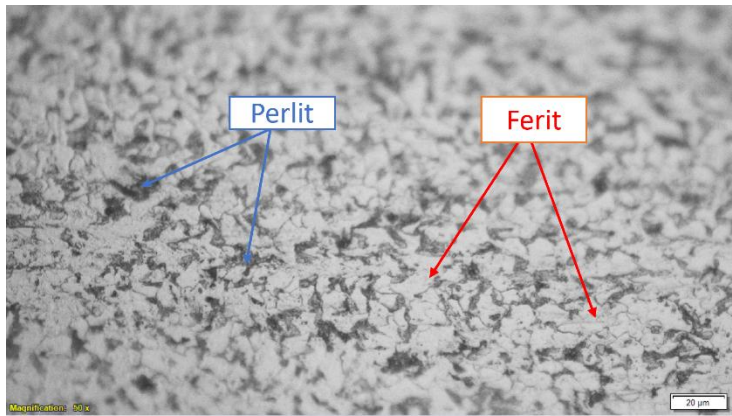
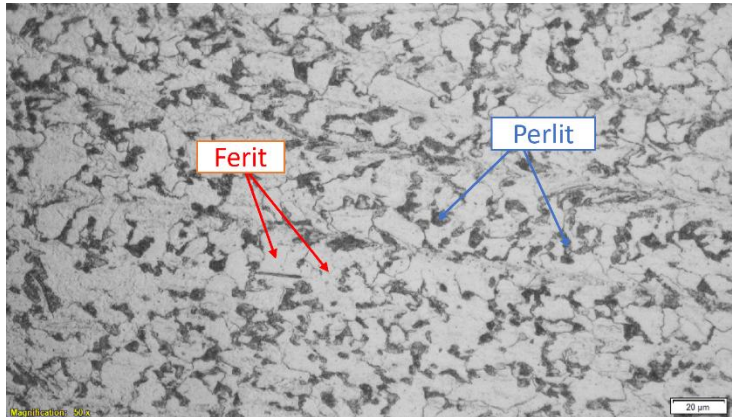
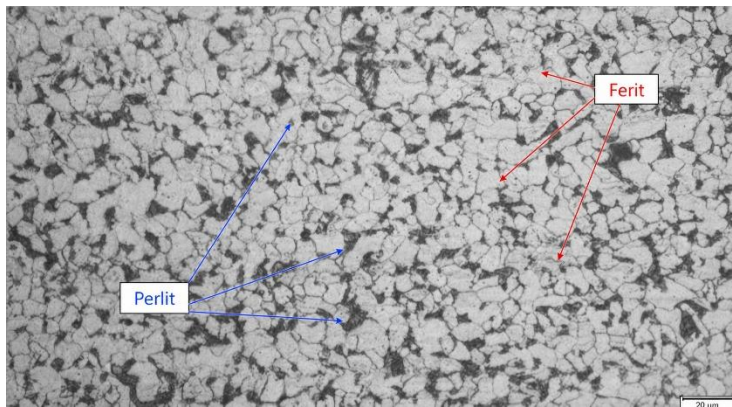
Pada daerah HAZ, ferit dan perlit masih terlihat jelas di seluruh variasi, tetapi ukuran, bentuk, dan keseragaman butirnya berubah seiring peningkatan suhu *preheat*. Pada kondisi tanpa *preheat*, ukuran dan bentuk butir lebih tidak seragam dan cenderung lebih kasar dibandingkan *weld metal* karena daerah ini mengalami panas tertinggi saat pengelasan meskipun tidak sampai meleleh. Dengan *preheat* 50 °C, distribusi butir menjadi relatif lebih seragam, menunjukkan bahwa pemanasan awal membantu mengurangi perbedaan suhu yang terlalu tinggi saat pengelasan. Kondisi ini semakin baik pada *preheat* 100 °C, di mana ukuran butir tampak lebih seragam dan tidak sekasar pengelasan tanpa *preheat*. Pada *preheat* 150 °C, pola ferit dan perlit tetap jelas, tetapi batas antarbutir tampak lebih halus dan tidak terlalu kontras, menandakan bahwa pemanasan awal yang lebih tinggi membuat transisi struktur di daerah ini berlangsung lebih lembut dibandingkan pada suhu *preheat* yang lebih rendah.

Tabel 4.4 Hasil uji mikro *base metal*

No	Gambar	Keterangan
1		Spesimen 1 <i>base metal</i> <i>non preheat</i>
2		Spesimen 2 <i>base metal</i> <i>non preheat</i>
3		Spesimen 3 <i>base metal</i> <i>non preheat</i>

4		Spesimen 1 base metal preheat 50°C
5		Spesimen 2 base metal preheat 50°C
6		Spesimen 2 base metal preheat 50°C

7		Spesimen 1 base metal preheat 100°C
8		Spesimen 2 base metal preheat 100°C
9		Spesimen 3 base metal preheat 100°C

10		Spesimen 1 <i>base metal</i> <i>preheat 150°C</i>
11		Spesimen 2 <i>base metal</i> <i>preheat 150°C</i>
12		Spesimen 3 <i>base metal</i> <i>preheat 150°C</i>

Pada daerah *base metal*, susunan ferit dan perlit relatif tidak banyak berubah pada seluruh variasi suhu *preheat*, karena area ini berada jauh dari sumber panas pengelasan dan hampir tidak terpengaruh siklus termal las. Baik pada kondisi tanpa *preheat*, *preheat* 50 °C, 100 °C, maupun 150 °C, struktur ferit–perlit tetap terlihat merata dengan ukuran butir yang relatif seragam sehingga masih mencerminkan struktur asli material ASTM A36. Konsistensi tampilan mikrostruktur *base metal* pada seluruh variasi ini menegaskan bahwa perlakuan

preheat dan siklus termal selama pengelasan lebih dominan memengaruhi daerah *weld metal* dan HAZ, sementara karakter dasar baja karbon rendah ASTM A36 pada *base metal* tetap terjaga.

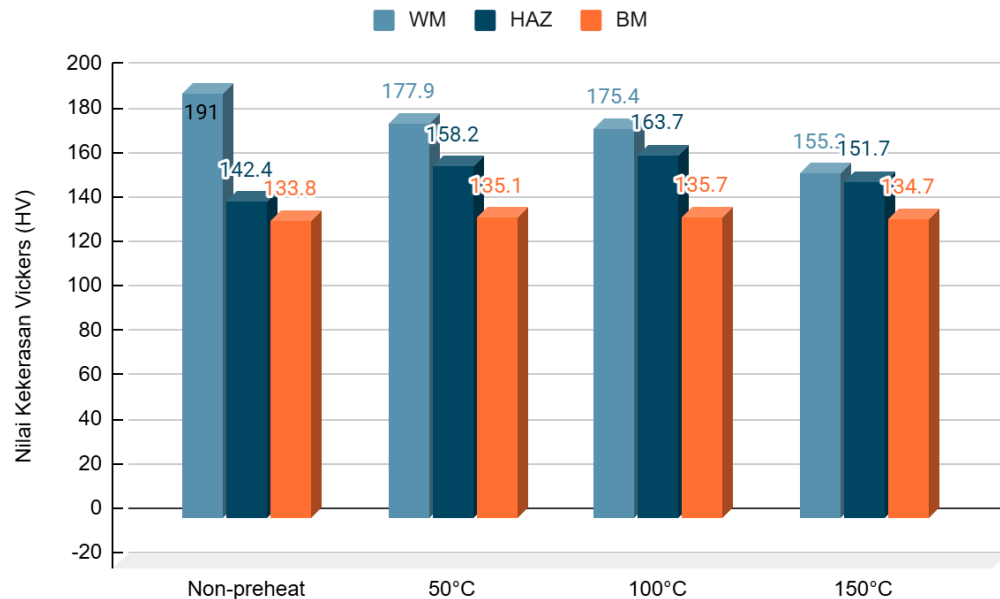
4.1.4 Hasil Uji Kekerasan *Vickers*

Hasil uji kekerasan digunakan untuk melihat pengaruh variasi suhu *preheat* pada proses las *SMAW* terhadap kekerasan di daerah *weld metal*, HAZ, dan *base metal*. Berikut adalah nilai uji kekerasan pada spesimen uji yang disajikan pada Tabel 4.6, meliputi kondisi tanpa *preheat*, *preheat* 50 °C, 100 °C, dan 150 °C, sehingga dapat diketahui kecenderungan sambungan las menjadi lebih keras atau lebih ulet sesuai tujuan penelitian.

Tabel 4.5 Hasil keseluruhan pengujian kekerasan

Sampel	<i>Preheat</i>	Nilai Kekerasan <i>Vickers</i> (HV)		
		<i>Weld Metal</i>	HAZ	<i>Base Metal</i>
1	<i>Non-preheat</i>	213,4	147,6	136,6
2	<i>Non-preheat</i>	178	137,9	131,4
3	<i>Non-preheat</i>	181,5	141,8	133,3
<i>Average</i>		191,0	142,4	133,8
1	50°C	182,5	144,6	132,7
2	50°C	173,1	164,3	139,3
3	50°C	178	165,7	133,3
<i>Average</i>		177,9	158,2	135,1
1	100°C	177	175,5	141,4
2	100°C	173,1	154,6	133,9
3	100°C	176	160,9	131,7
<i>Average</i>		175,4	163,7	135,7
1	150°C	152,6	153,4	133

2	150°C	155,8	149,9	140,7
3	150°C	157,1	151,8	130,4
<i>Average</i>		155,2	151,7	134,7



Gambar 4.1 Grafik nilai rata-rata uji kekerasan

Grafik rata-rata kekerasan juga menunjukkan bahwa WM memiliki nilai tertinggi pada semua variasi, diikuti HAZ dan *base metal* (BM), sehingga urutan $WM > HAZ > BM$ tetap konsisten dengan karakteristik sambungan las baja karbon. Pada daerah HAZ, nilai kekerasan meningkat dari $142,4 \pm 4,9$ HV tanpa *preheat* menjadi $158,2 \pm 11,8$ HV pada 50 °C dan $163,7 \pm 10,7$ HV pada 100 °C, kemudian menurun menjadi $151,7 \pm 1,8$ HV pada 150 °C. Secara teoritis, *preheat* cenderung menurunkan laju pendinginan dan menurunkan kekerasan, tetapi simpangan baku yang cukup besar pada 50 °C dan 100 °C menunjukkan bahwa kekerasan HAZ tidak seragam dan kemungkinan dipengaruhi oleh posisi indentasi terhadap batas fusi serta temperatur *interpass* yang tidak dikendalikan.

Oleh karena itu, kenaikan kekerasan HAZ hingga 100 °C lebih aman dipandang sebagai indikasi bahwa pada rentang *preheat* rendah–sedang HAZ berada dalam kondisi termal yang menguntungkan untuk pembentukan struktur

mikro yang halus dan relatif keras, sementara kontribusi *preheat* dan variasi *interpass* belum bisa dipisahkan secara tegas, namun hasil nilai penelitian ini sejalan dengan penelitian (Donnallo dkk., 2024), dimana pada pengujian kekerasan nilai *weld metal* mengalami penurunan dengan meningkatnya suhu *preheat* dan pada HAZ nilai kekerasan meningkat seiring dengan naiknya suhu *preheat*. *Base metal* sendiri berada pada rentang 133,8–135,7 HV dengan selisih antar variabel kurang dari 2 HV, sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi suhu *preheat* praktis tidak memengaruhi kekerasan *base metal*.

Penurunan kekerasan yang paling tajam terjadi pada *preheat* 150 °C, ketika WM turun dari kisaran 175–180 HV menjadi 155,2 HV dan HAZ menurun dari kisaran 158–163 HV menjadi sekitar 152 HV. Fenomena ini mengindikasikan adanya pelunakan berlebih (*over-tempering*) pada struktur martensit serta pembesaran butir *ferrite-pearlite* di WM dan HAZ akibat kombinasi *preheat* tertinggi dan pengelasan yang dilakukan tanpa pengendalian suhu *interpass*. Sambungan dilas secara bertahap, pengelasan sempat dihentikan dan dilanjutkan kembali saat logam masih panas, sehingga WM dan HAZ mengalami beberapa siklus pemanasan pada kisaran suhu tempering di bawah suhu austenitisasi. Siklus pemanasan pendinginan berulang ini berperan sebagai *tempering in situ*: martensit dan struktur keras yang terbentuk pada kondisi tanpa *preheat* maupun *preheat* lebih rendah mengalami pemanasan ulang, atom karbon berdifusi dan mengendap sebagai karbida halus, tegangan sisa berkurang, dan martensit berubah menjadi *tempered martensite* atau campuran ferit dan karbida yang lebih lunak. Bersamaan dengan itu, akumulasi panas dan lamanya material berada pada suhu menengah–tinggi mendorong pembesaran butir *ferrite-pearlite*, sehingga hambatan terhadap pergerakan dislokasi berkurang dan nilai kekerasan *Vickers* menurun secara nyata. Dengan demikian, data kekerasan WM dan HAZ pada 150 °C menunjukkan bahwa kondisi termal telah melampaui titik optimum dan memasuki zona *over-tempering*, di mana sebagian besar mekanisme penguatan akibat martensit berkurang dan struktur mikro sambungan las bergeser menjadi lebih lunak, meskipun penelitian ini belum mengukur keuletan secara langsung melalui uji tarik atau uji impak.

4.2 Pembahasan

Pembahasan pada sub-bab ini disusun untuk menjawab rumusan masalah penelitian, yaitu pengaruh variasi suhu *preheat* terhadap struktur mikro, nilai kekerasan pada daerah logam las (*weld metal*) dan daerah terpengaruh panas (*heat affected zone/HAZ*), serta kualitas sambungan las secara keseluruhan pada baja ASTM A36. Hasil penelitian dibahas dengan mengaitkan data kekerasan dan pengamatan struktur mikro terhadap mekanisme metalurgi las serta membandingkannya dengan penelitian terdahulu dan kriteria keberterimaan standar.

4.2.1 Pengaruh Variasi Suhu *Preheat* terhadap Struktur Mikro Sambungan Las

Pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa peningkatan suhu *preheat* cenderung memperbesar fraksi fasa ferit pada daerah logam las. Pemberian *preheat* menurunkan laju pendinginan sambungan las setelah proses pengelasan, sehingga transformasi austenit berlangsung lebih lambat dan lebih banyak terbentuk ferit yang bersifat lunak dibandingkan fasa hasil pendinginan cepat seperti bainit atau martensit. Kecenderungan ini paling jelas teramati pada spesimen dengan *preheat* 150°C, yang sekaligus menunjukkan nilai kekerasan logam las terendah.

Terkait istilah struktur butir “halus” dan “kasar”, ukuran butir pada baja umumnya dievaluasi secara kuantitatif menggunakan nomor besar butir (*grain size number*) menurut ASTM E112, di mana nomor yang lebih besar menunjukkan butir yang lebih halus. Menurut hubungan Hall–Petch, butir yang lebih halus justru meningkatkan kekerasan, sedangkan butir yang lebih kasar menurunkan kekerasan. Oleh karena itu, penurunan kekerasan *weld metal* pada *preheat* 150°C dalam penelitian ini lebih tepat dijelaskan oleh bertambahnya fraksi fasa ferit yang lunak akibat laju pendinginan yang lebih lambat, bukan oleh penghalusan butir. Penjelasan ini digunakan secara konsisten baik pada abstrak maupun pada uraian hasil, untuk menghindari kontradiksi. Perlu dicatat bahwa perbesaran mikroskop yang tersedia pada penelitian ini hanya 20× dan 50×, sehingga penilaian halus/kasar bersifat kualitatif dan tidak disertai pengukuran nomor besar butir.

4.2.2 Pengaruh Variasi Suhu *Preheat* terhadap Nilai Kekerasan Daerah Logam Las dan HAZ

Pada daerah logam las (*weld metal*), pemberian *preheat* cenderung menurunkan nilai kekerasan. Penurunan yang paling jelas dan konsisten terjadi pada suhu *preheat* 150 °C, dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 155,2 HV. Sementara itu, pada kondisi tanpa *preheat* hingga *preheat* 100 °C, nilai kekerasan relatif berdekatan, yaitu sekitar 175–180 HV. Penurunan kekerasan tersebut sejalan dengan peningkatan fraksi ferit yang teramati pada struktur mikro. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh *preheat* terhadap kekerasan logam las terjadi melalui pengendalian laju pendinginan. Semakin tinggi suhu *preheat*, laju pendinginan cenderung semakin lambat sehingga pembentukan ferit yang bersifat lebih lunak meningkat.

Nilai rata-rata kekerasan logam las pada kondisi tanpa *preheat* sebesar 191,0 HV tampak lebih tinggi dibandingkan kondisi lainnya. Namun, nilai tersebut dipengaruhi oleh satu titik indentasi yang menyimpang, yaitu sebesar 213,4 HV. Setelah data tersebut tidak disertakan dalam perhitungan, nilai rata-rata kekerasan tanpa *preheat* menjadi sekitar 179,8 HV, sehingga sangat berdekatan dengan nilai kekerasan pada *preheat* 50 °C dan 100 °C. Dengan demikian, data penelitian ini tidak menunjukkan penurunan kekerasan secara bertahap pada setiap kenaikan suhu *preheat*, melainkan memperlihatkan penurunan yang bermakna pada *preheat* 150 °C.

Hasil penelitian ini dibandingkan dengan penelitian terdahulu mengenai pengaruh *preheat* terhadap kekerasan baja karbon rendah. Ramadhani dkk. (2022) dan Oktaviandy dkk. (2023), yang meneliti pengaruh *preheat* pada baja SS400, yaitu baja karbon rendah yang setara dengan ASTM A36, menyimpulkan bahwa peningkatan suhu *preheat* cenderung menurunkan kekerasan pada daerah logam las. Penurunan tersebut terjadi karena laju pendinginan yang lebih lambat mendorong terbentuknya fraksi ferit yang lebih besar. Arah pengaruh tersebut sejalan dengan hasil penelitian ini, terutama pada kondisi *preheat* 150 °C. Namun, pada penelitian ini penurunan kekerasan baru terlihat secara jelas pada suhu tersebut.

Berbeda dengan daerah logam las, kekerasan pada daerah terpengaruh panas (*heat-affected zone/HAZ*) meningkat pada *preheat* 50 °C dan 100 °C, sebelum kembali menurun pada *preheat* 150 °C. Pola tersebut tidak sepenuhnya sesuai

dengan mekanisme *preheat* yang secara teoritis menurunkan laju pendinginan dan pada akhirnya menurunkan kekerasan, sebagaimana terlihat pada daerah logam las.

Terdapat beberapa kemungkinan penyebab anomali nilai kekerasan *HAZ* tersebut. Pertama, pengujian kekerasan pada *HAZ* hanya dilakukan pada satu titik indentasi untuk setiap spesimen, sehingga hasil pengukuran sangat sensitif terhadap ketepatan posisi indentasi, khususnya terhadap jaraknya dari batas fusi. Kedua, simpangan baku pada kondisi *preheat* 50 °C dan 100 °C tergolong cukup besar, masing-masing sebesar 11,8 HV dan 10,7 HV. Nilai tersebut menunjukkan adanya variasi kekerasan yang lebar antarspesimen. Ketiga, temperatur *interpass* pada proses pengelasan *multi-pass* tidak dikendalikan, sehingga akumulasi panas antar-*pass* berpotensi memengaruhi siklus termal dan nilai kekerasan pada *HAZ*. Oleh sebab itu, peningkatan kekerasan *HAZ* pada *preheat* 50 °C dan 100 °C belum dapat dinyatakan sebagai pengaruh murni dari *preheat*. Pengujian lanjutan dengan metode *hardness traverse* atau deret indentasi yang lebih rapat diperlukan untuk menggambarkan distribusi kekerasan secara lebih representatif.

4.2.3 Pengaruh Variasi Suhu *Preheat* terhadap Kualitas Sambungan Las

Kualitas sambungan las pada penelitian ini dievaluasi berdasarkan hasil uji kekerasan dan pengamatan struktur mikro. Secara umum, variasi suhu *preheat* tidak menyebabkan terjadinya pengerasan berlebih pada sambungan las. Sebaliknya, peningkatan suhu *preheat* cenderung menurunkan nilai kekerasan pada daerah *weld metal*, sehingga dapat mengurangi risiko terjadinya *cold cracking* yang umumnya berkaitan dengan terbentuknya struktur mikro yang keras dan getas akibat laju pendinginan yang terlalu cepat. Sementara itu, nilai kekerasan pada *base metal* relatif tidak mengalami perubahan yang signifikan, yaitu berada pada rentang 133,8–135,7 HV. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa variasi suhu *preheat* pada rentang penelitian tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap sifat logam induk karena posisinya berada jauh dari sumber panas pengelasan.

Apabila dibandingkan dengan kriteria keberterimaan pada ISO 15614-1 untuk kualifikasi prosedur pengelasan, standar tersebut menetapkan batas

kekerasan maksimum pada daerah las dan *Heat Affected Zone* (HAZ) untuk baja karbon yang tidak mengalami perlakuan pengerasan, yaitu sekitar 380 HV10. Seluruh hasil pengujian kekerasan pada daerah *weld metal*, HAZ, dan *base metal* dalam penelitian ini, termasuk nilai tertinggi sekitar 213 HV pada salah satu titik pengujian, masih berada jauh di bawah batas tersebut. Dengan demikian, seluruh spesimen memenuhi kriteria keberterimaan dari aspek kekerasan. Hasil ini menunjukkan bahwa perbedaan nilai kekerasan akibat variasi suhu *preheat* bersifat relatif dan tidak menimbulkan pengerasan berlebih yang berpotensi menurunkan kualitas sambungan las.

Perlu ditegaskan bahwa penilaian kualitas sambungan las pada penelitian ini dibatasi pada aspek kekerasan dan struktur mikro. Sifat mekanik lainnya, seperti kekuatan tarik, keuletan, dan ketangguhan impak, tidak diuji secara langsung sesuai dengan batasan penelitian. Oleh karena itu, kesimpulan mengenai kualitas sambungan las yang diperoleh dalam penelitian ini bersifat indikatif berdasarkan hasil uji kekerasan dan pengamatan struktur mikro. Untuk memperoleh penilaian kualitas sambungan las yang lebih komprehensif, diperlukan pengujian sifat mekanik lainnya sebagai pelengkap.

4.2.4 Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam menafsirkan hasil penelitian. Temperatur *interpass* pada proses pengelasan *multi-pass* tidak diukur maupun dikendalikan, sehingga pengaruh suhu *preheat* pada *pass* berikutnya setelah *root pass* berpotensi dipengaruhi oleh panas yang tersisa dari proses pengelasan sebelumnya (*interpass heat*). Selain itu, nilai *heat input* tidak dihitung karena parameter tegangan busur (*arc voltage*) dan kecepatan pengelasan (*travel speed*) tidak dicatat selama proses pengelasan, padahal *heat input* merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap pembentukan struktur mikro dan nilai kekerasan hasil las.

Pengujian kekerasan juga hanya dilakukan pada satu titik indentasi di setiap daerah pengujian pada masing-masing spesimen. Kondisi tersebut menyebabkan hasil pengujian lebih rentan terhadap variasi lokal maupun nilai yang menyimpang (*outlier*), seperti ditemukannya nilai kekerasan sebesar 213,4 HV pada daerah *weld metal* tanpa perlakuan *preheat*. Di samping itu, pengamatan struktur mikro hanya dilakukan pada satu titik di setiap daerah pengamatan dengan perbesaran 20× dan 50×. Akibatnya, ukuran butir (*grain size*) tidak dapat dianalisis secara kuantitatif maupun dibandingkan

secara statistik.

Keterbatasan-keterbatasan tersebut menjadi dasar dalam penyusunan saran untuk penelitian selanjutnya yang disajikan pada BAB V.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan dan pengamatan struktur mikro pada sambungan las SMAW baja ASTM A36 dengan variasi suhu *preheat* tanpa *preheat*, 50°C, 100°C, dan 150°C, dapat disimpulkan bahwa pemberian *preheat* menurunkan kekerasan logam las (*weld metal*), dengan penurunan yang paling jelas dan konsisten terjadi pada suhu *preheat* 150°C, yaitu menjadi 155,2 HV. Sementara itu, pada kondisi tanpa *preheat* hingga *preheat* 100°C, nilai kekerasan relatif berdekatan, yaitu sekitar 175–180 HV. Nilai rata-rata *weld metal* tanpa *preheat* sebesar 191,0 HV dipengaruhi oleh satu titik indentasi yang menyimpang, yaitu 213,4 HV. Apabila nilai tersebut tidak diperhitungkan, rata-rata kekerasan *weld metal* menjadi sekitar 179,8 HV.

Kekerasan *base metal* praktis tidak dipengaruhi oleh variasi suhu *preheat*, dengan nilai berada pada rentang 133,8–135,7 HV karena letaknya jauh dari sumber panas pengelasan. Sebaliknya, nilai kekerasan pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) mengalami peningkatan pada suhu *preheat* 50°C dan 100°C. Hasil ini tidak sesuai dengan mekanisme *preheat* yang diharapkan, yaitu menurunkan laju pendinginan sehingga kekerasan juga menurun. Kondisi tersebut diduga dipengaruhi oleh keterbatasan jumlah titik indentasi yang hanya satu titik pada setiap daerah pengujian serta temperatur *interpass* yang tidak diukur maupun dikendalikan, sehingga masih memerlukan penelitian lebih lanjut.

Penelitian ini tidak mengukur sifat keuletan secara langsung karena tidak dilakukan pengujian tarik maupun pengujian impak. Oleh karena itu, kesimpulan mengenai keuletan sambungan las tidak dapat ditarik. Ditinjau dari aspek kekerasan, seluruh nilai pengujian masih berada jauh di bawah batas kekerasan maksimum sebesar 380 HV10 untuk baja kelompok 1 kondisi *non-heat treated* berdasarkan ISO 15614-1:2017, sehingga sambungan las masih memenuhi kriteria keberterimaan. Namun demikian, perlu diperhatikan bahwa pengujian pada penelitian ini menggunakan beban HV5, sedangkan ISO 15614-1:2017 mensyaratkan penggunaan HV10. Oleh karena itu, perbandingan terhadap batas kekerasan tersebut bersifat indikatif.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, tujuan penelitian untuk mengetahui pengaruh variasi suhu *preheat* terhadap kekerasan dan struktur mikro sambungan las SMAW pada baja ASTM A36 telah tercapai.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan tetap menggunakan variasi suhu *preheat* sebagai variabel utama, namun dilengkapi dengan pengendalian dan pencatatan yang lebih baik. Pertama, temperatur *interpass* perlu diukur dan dikendalikan pada setiap pass agar pengaruh *preheat* pada pengelasan *multi pass* dapat dievaluasi secara sah. Kedua, tegangan busur dan kecepatan pengelasan perlu dicatat sehingga masukan panas (*heat input*) dapat dihitung dan dikaitkan dengan struktur mikro serta kekerasan. Ketiga, pengujian kekerasan sebaiknya dilakukan dalam bentuk deret indentasi (bukan satu titik) melintasi logam las, HAZ, dan *base metal* mengacu pada ISO 9015-1 agar diperoleh profil kekerasan yang representatif. Keempat, pengamatan struktur mikro sebaiknya dilakukan pada beberapa titik dengan perbesaran yang lebih tinggi disertai pengukuran nomor besar butir mengacu pada ASTM E112. Kelima, untuk menilai keuletan sambungan secara langsung, dapat ditambahkan uji tarik dan uji impak pada penelitian berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi. (2022). Sambungan las. Pengelasan.net.
<https://www.pengelasan.net/sambungan-las/>
- American Welding Society. (2020). AWS D1.1/D1.1M: Structural welding code—Steel (24th ed.). American Welding Society.
- ASTM International. (2023). ASTM E92-23: Standard test methods for Vickers hardness and Knoop hardness of metallic materials. ASTM International.
<https://doi.org/10.1520/E0092-23>
- ASTM International. (2013). ASTM E112-13: Standard test methods for determining average grain size. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/E0112-13>
- International Organization for Standardization. (2011). ISO 9015-1: Destructive tests on welds in metallic materials—Hardness testing—Part 1: Hardness test on arc welded joints. ISO.
- International Organization for Standardization. (2017). ISO 15614-1: Specification and qualification of welding procedures for metallic materials—Welding procedure test—Part 1: Arc and gas welding of steels. ISO.
- Bontong, Y. (2016). Pengaruh preheat terhadap sifat mekanik dan struktur mikro sambungan las baja karbon. Neliti.
<https://www.neliti.com/publications/315789/>
- Santoso, E. B. (2021). Analisa peranan variasi arus pengelasan SMAW dengan material ASTM A36 terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro. *Mechanical Engineering*, 4.
- Hamdani. (2019). Pengaruh masukan panas proses pengelasan terhadap struktur mikro dan sifat mekanik baja karbon. Neliti.
<https://media.neliti.com/media/publications/313729-pengaruh-masukan-panas-proses-pengelasan-fc082ea8.pdf>
- Jaenal, A. (2017). Karakteristik baja karbon dan pengaruh kandungan karbon terhadap sifat mekanik. *Momentum*, 13(1), 27–31.
- Mashuda, F. A., Kosjoko, K., & Mufarida, N. A. (2024). Pengaruh Variasi Jumlah Layer Las Smaw Material Aisi 1045 Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Micro. *Jurnal Smart Teknologi*, 6(1), 108–120.
- O'Brien, A. (2004). *Welding Handbook volume 2*. Dl.Ojocv.Gov.
[https://dl.ojocv.gov.et/admin_/book/Welding Handbook%2C Volume 2 - Welding Processes%2C Part 1 %28 PDFDrive %29.pdf](https://dl.ojocv.gov.et/admin_/book/Welding%20Handbook%2C%20Volume%202%20-%20Welding%20Processes%2C%20Part%201%28PDFDrive%29.pdf)
- Oktaviandy, N. R., Kardiman, K., & Hanifi, R. (2023). Effect of Preheat Temperature Variation with Cooling Media on Mechanical Properties in Welding SS400 Steel. *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 17(2), 130. <https://doi.org/10.24853/sintek.17.2.130-142>
- Pakage, D. (2025). *ANALISA PENYEBAB TERJADINYA CACAT PENGELASAN*

INCOMPLATE PENETRATION PADA BAJA CARBON STEEL ASTM A36 DENGAN POSISI 3G (GROOVE). Rama.Unimal.
<https://rama.unimal.ac.id/id/eprint/17330/>

- Primazda, V. D., & Nugroho, N. Y. (2019). Sifat Mekanik Pengelasan Smaw Pada Baja Astm a36 Terhadap Variasi Preheating. *Prosiding Seminakel*, 54–60. <https://prosidingseminakel.hangtuah.ac.id/index.php/jurnal/article/view/90>
- Ramadhani, S., Basyirun, B., Rusiyanto, R., & Sunyoto, S. (2022). Pengaruh Variasi Temperatur Preheat Pada Pengelasan Smaw Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Baja Karbon SS400. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 7(1), 12–20. <https://doi.org/10.21831/dinamika.v7i1.46929>
- Donnallo, R. A., Pasau, K., & Salu, S. (2024). *Pengaruh Temperatur Preheating terhadap Dissimilar Material Hasil Pengelasan Titik terhadap Kekuatan dan Kekerasan.*
- Rifaldi, A., Ryadin, A. U., & Hakim, A. R. (2021). Pengaruh suhu preheating terhadap kekuatan tarik dan kekerasan pelat baja ASTM A36. *Jurnal Teknik Mesin*, 4(1), 81–90.
- Suci. (2019). Pengaruh variasi arus pengelasan terhadap kekerasan dan struktur mikro. *Jurnal Dinamis*, 4, 21–27.
- Sugiyono. (2019). Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D. Alfabeta.
- Tirta, A., Pribadi, A., & Gunawan, E. (2021). Analisa pengaruh variasi posisi pengelasan terhadap sifat mekanis hasil las SMAW. *Jurnal Teknik Mesin*, 4, 31–35.

LAMPIRAN

Lampiran A. Data Hasil Pengujian Kekerasan Vickers (HV5)

Data lengkap hasil pengujian kekerasan *Vickers* pada tiga titik indentasi untuk setiap daerah (*weld metal*, HAZ, dan *base metal*) pada masing-masing kondisi preheat disajikan pada tabel berikut.

Kondisi	Daerah	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-rata
Tanpa preheat	Weld metal	213,4	178,0	181,5	191,0
	HAZ	147,6	137,9	141,8	142,4
	Base metal	136,6	131,4	133,3	133,8
Preheat 50°C	Weld metal	182,5	173,1	178,0	177,9
	HAZ	144,6	164,3	165,7	158,2
	Base metal	132,7	139,3	133,3	135,1
Preheat 100°C	Weld metal	177,0	173,1	176,0	175,4
	HAZ	175,5	154,6	160,9	163,7
	Base metal	141,4	133,9	131,7	135,7
Preheat 150°C	Weld metal	152,6	155,8	157,1	155,2
	HAZ	153,4	149,9	151,8	151,7
	Base metal	133,0	140,7	130,4	134,7

Lampiran B. Sertifikat Material (Mill Certificate) Pelat Baja ASTM A36

Sertifikat material yang memuat komposisi kimia dan sifat mekanik pelat baja ASTM A36 ketebalan 10 mm yang digunakan pada penelitian ini dilampirkan pada bagian ini.

		HEBEI ANFENG IRON & STEEL GROUP CO. LTD		NO. B0Z20250517020												
产品名称: 热轧钢板 Product Name		执行标准: ASTM A36/36M Specification		牌 号: A36 Steel Grade												
		产品质量证明书 INSPECTION CERTIFICATE		发货日期: 2025.05.17												
炉号 HEAT NO.		规格及重量 MATERIAL DESCRIPTION				化学成分分析 (Chemical Composition)						拉伸试验			冷弯实验 Cold bend test	
		尺寸Size (mm*mm*mm)	件数 BUNDLES	重量 WEIGHT t	片数 PIECES	(%)						屈服 Y.S	抗拉 T.S	延伸率 EL.		
						C	Si	Mn	P	S	Als					
						X10-2	X10-2	X10-2	X10-3	X10-3	X10-3	Mpa			%	d=0.5s
A5006957		3.0X1219X2438	7	36.750	525	16	11	32	25	18	3	322	438	34		合格
A5006954		5.0X1219X2438	8	37.110	318	16	13	30	17	16	8	322	438	34		合格
A5006968		8.0X1219X2438	4	20.163	108	16	13	30	16	19	3	319	429	31		合格
A5006972		10.0X1219X2438	9	43.748	186	17	16	48	17	16	1	307	442	32		合格
A5006981		12.0X1219X2438	9	42.840	153	16	14	41	19	16	1	277	417	34		合格
A5006945		16.0X1219X2438	5	22.190	59	17	16	48	17	16	1	307	442	32		合格
A5006985		20.0X1219X2438	5	19.601	42	16	13	43	27	18	1	280	439	32		合格
合计 (Total)		数量 QTY: 47BUNDLES 重量WEIGHT: 222.402MT														
备注 (Notes) :																
1. 钢级以质量证明书为准 (The grade should base on the quality certificate)																
2. 交货状态: 热轧 (Condition of supply: As Rolled)																
地址: 中国河北昌黎县靖安 ADD: JingAn ChangLi HeBei China 河北安丰钢铁集团有限公司 (2) 质检专用章 DATE OF FILLING 2025.05.17																

Lampiran C. Dokumentasi Preparasi Pengelasan

Dokumentasi preparasi pengelasan pada pelat baja ASTM A36 yang meliputi proses pemotongan material, pembuatan bevel, pembersihan permukaan, dan *fit-up* sambungan sebelum proses pengelasan SMAW dilaksanakan disajikan pada bagian ini.



Lampiran D. Dokumentasi Proses *Preheat*

Dokumentasi proses *preheat* pada pelat baja ASTM A36 yang meliputi proses pemanasan menggunakan *burner* hingga mencapai variasi suhu yang telah ditentukan serta pengukuran suhu menggunakan *thermogun* sebelum proses pengelasan dilaksanakan disajikan pada bagian ini.



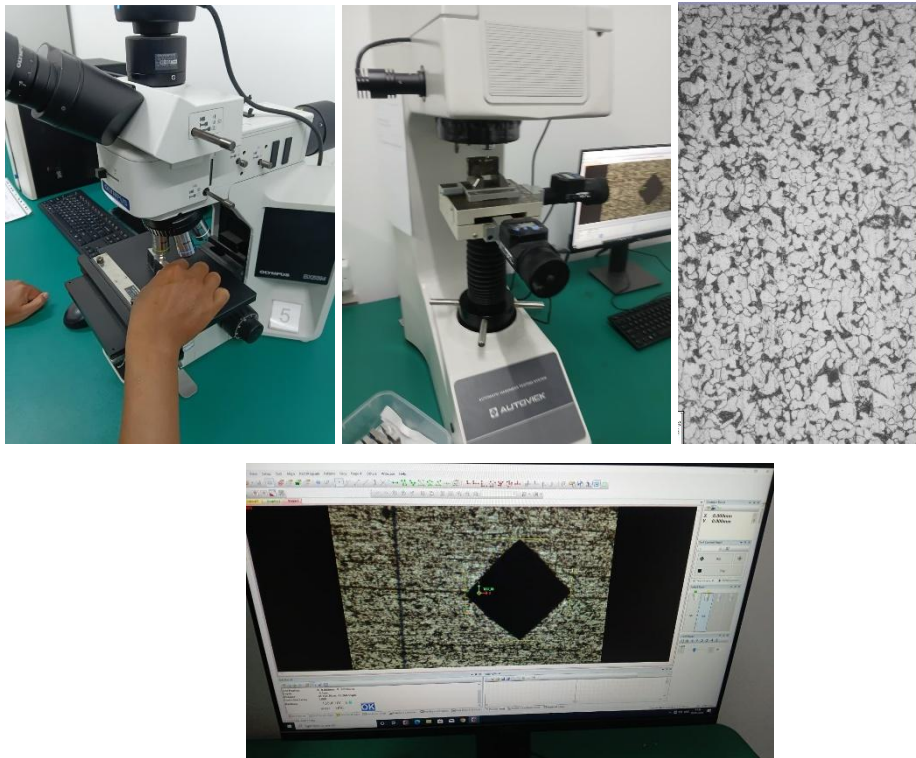
Lampiran E. Dokumentasi Prepaasari Pengujian

Dokumentasi preparasi spesimen pengujian yang meliputi proses pemotongan spesimen, pengamplasan bertahap, pemolesan (*polishing*), dan etsa (*etching*) sebelum dilakukan pengujian struktur mikro dan uji kekerasan disajikan pada bagian ini.



Lampiran F. Dokumentasi Pengujian Struktur Mikro dan Uji Kekerasan Vickers

Dokumentasi pelaksanaan pengujian struktur mikro dan uji kekerasan Vickers yang meliputi proses pengamatan spesimen menggunakan mikroskop metalografi serta pemberian indentasi dan pengukuran nilai kekerasan pada daerah *base metal*, *heat affected zone* (HAZ), dan *weld metal* disajikan pada bagian ini.



Lampiran G. Sertifikat Akreditasi Laboratorium




SERTIFIKAT AKREDITASI

Berlaku dari : 18 Februari 2026 LP-2230-IDN Berlaku hingga : 17 Februari 2031

Diberikan kepada

Laboratorium Metalurgi Politeknik Negeri Batam

di

Jalan Ahmad Yani, Batam Centre, Kecamatan Batam Kota, Batam

yang telah menunjukkan kompetensinya sebagai

LABORATORIUM PENGUJIAN

dengan menerapkan secara konsisten

SNI ISO/IEC 17025:2017 (ISO/IEC 17025:2017)

Persyaratan Umum untuk Kompetensi Laboratorium Pengujian dan Laboratorium Kalibrasi

untuk ruang lingkup seperti dalam lampiran

KOMITE AKREDITASI NASIONAL



Y. KRISTANTO WIDIWARDONO, MIT

Pt. KETUA



Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan Sertifikat Elektronik yang diterbitkan BSR-E

Sertifikat ini memberikan hak kepada LPK untuk menggunakan simbol akreditasi pada sertifikat/laporan yang diterbitkan, kop surat, iklan, dan tujuan promosi lainnya sesuai ketentuan yang berlaku. Ruang lingkup akreditasi dinyatakan pada Lampiran Sertifikat Akreditasi, yang menjadi bagian tidak terpisahkan dari Sertifikat Akreditasi ini. Sertifikat dan Lampiran Akreditasi tidak boleh direproduksi sebagian, kecuali secara keseluruhan, tanpa izin tertulis dari Komite Akreditasi Nasional.



LAMPIRAN SERTIFIKAT AKREDITASI LP-2230-IDN (Penetapan: 18 Februari 2026)
LABORATORIUM PENGUJIAN SNI ISO/IEC 17025:2017 (ISO/IEC 17025:2017)

Name LPK : Laboratorium Metalurgi Politeknik Negeri Batam Alamat : Jalan Ahmad Yani, Batam Centre, Batam Kota, Batam, Kepulauan Riau Telp. : (0778) 469856 / 469860 E-mail : info@polibatam.ac.id	Masa berlaku: 18 Februari 2026 s.d 17 Februari 2031
--	--

Lingkup Akreditasi				
Bidang pengujian	Bahan atau produk yang diuji	Jenis pengujian atau sifat-sifat yang diukur	Metode pengujian, teknik yang digunakan	Keterangan
Mekanik	Baja (Plat Baja, Batang Baja)	Uji tarik tensile	ASTM E8-15	<i>Intended used only</i>
		Uji impact	ASTM E23-24	<i>Intended used only</i>
		Uji kekerasan rockwell (HRB, HRC)	ASTM E18-22	<i>Intended used only</i>
		Uji kekerasan vickers (HV 200, 300 dan 700)	ASTM E92-23	
Catatan: Lampiran sertifikat akreditasi ini tidak boleh digandakan kecuali seluruhnya, tanpa persetujuan tertulis dari pihak KAN				



Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan Sertifikat Elektronik yang diterbitkan BSR-E

1 dari 1