

**Evaluasi *Overlay Welding* pada Pipa Baja Karbon ASTM A106
Grade B Diameter Pipa 4 Inch 5 Inch dan 6 Inch dengan
Pengelasan SMAW 2 dan 4 Layer Serta Arah Pengelasan
Longitudinal dan *Circumferential* Melalui Pengujian *Hardness*
*Vickers***

***Evaluation of overlay welding on ASTM 106 Grade B Carbon Steel
Pipes with Diameters of 4 Inch 5 Inch 6 Inch Using SMAW with 2
and 4 Layers and Welding Directions of Longitudinal and
Cirumferential through Vickers Hardness Testing***

SKRIPSI

**Disusun Oleh:
Nama: Astra Permana
NPM: 183030012**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2025**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

N a m a : Astra Permana

Nomor Pokok Mahasiswa : 183030012

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Dalam Skripsi yang saya kerjakan ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan/ditulis oleh orang lain untuk memperoleh gelar dari suatu perguruan tinggi,
2. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu/dikutip/disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam referensi,
3. Naskah laporan skripsi yang ditulis bukan dilakukan secara *copy paste* dari karya orang lain dan mengganti beberapa kata yang tidak perlu.
4. Naskah laporan skripsi bukan hasil *plagiarism*.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka saya sanggup menerima hukuman/sanksi apapun sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 25 juli 2025

Penulis,



Astra Permana

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini, sebagai sivitas akademik Universitas Pasundan, saya:

N a m a : Astra Permana

NPM : 183030012

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Jenis Karya : Skripsi

Menyatakan bahwa sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, saya menyetujui memberikan kepada Universitas Pasundan Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Evaluasi *Overlay Welding* pada Pipa Baja Karbon ASTM A106 Grade B Diameter Pipa 4 Inch 5 Inch dan 6 Inch dengan Pengelasan SMAW 2 dan 4 Layer Serta Arah Pengelasan *Longitudinal* dan *Circumferential* Melalui Pengujian *Hardness Vickers*”

Beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pasundan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pakalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Bandung, 25 juli 2025

Yang menyatakan,



Astra Permana

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**Evaluasi *Overlay Welding* pada Pipa Baja Karbon ASTM A106
Grade B Diameter Pipa 4 Inch 5 Inch dan 6 Inch dengan
Pengelasan SMAW 2 dan 4 Layer Serta Arah Pengelasan
Longitudinal dan *Circumferential* Melalui Pengujian *Hardness*
*Vickers***



**Nama : Astra Permana
NPM : 183030012**

Pembimbing Utama

Prof. Dr. Ir. Hery Sonawan, M.T.

Pembimbing Pendamping



Mohammad Reza Hermawan, S.T., M.T.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

**Evaluasi *Overlay Welding* pada Pipa Baja Karbon ASTM A106
Grade B Diameter Pipa 4 Inch 5 Inch dan 6 Inch dengan
Pengelasan SMAW 2 dan 4 Layer Serta Arah Pengelasan
Longitudinal dan *Circumferential* Melalui Pengujian *Hardness*
*Vickers***



**Nama : Astra Permana
NPM : 183030012**

Tanggal sidang skripsi: 25 juli 2025

Ketua : Prof. Ir. Hery Sonawan, M.T.

Sekretaris : Mohammad Reza Hermawan, S.T., M.T.

Anggota : Dr. Ir. Dedi Lazuardi, DEA.

Anggota : Dr. Ir. Gatot Santoso, M.T.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, atas rahmat-nya, kepada kedua orang tua, sehingga mampu menyelesaikan Laporan Usulan Penelitian yang berjudul “Asesemen kekerasan produk las arah longitudinal dan circumfrential” dapat diselesaikan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Laporan Usulan Penelitian ini.

Dalam penyusunan dan penulisan tidak lepas dari bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Kesempatan kali ini penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua, atas segala doa dan dukungan yang telah diberikan kepada saya.
2. Kepada Bapak Dr. Ir. Sugiharto, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasundan.
3. Kepada Bapak Prof. Ir. Hery Sonawan, M.T. selaku pembimbing I yang selalu memberikan ilmu, arahan, kesempatan, semangat dan motivasi, serta fasilitas kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini dengan tepat waktu.
4. Kepada Bapak Mohammad Reza Hermawan, S.T., M.T. selaku pembimbing II yang selalu memberikan ilmu, arahan, kesempatan, semangat dan motivasi, serta fasilitas kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini dengan tepat waktu.
5. Kepada rekan satu perjuangan Teknik Mesin angkatan 2018 Universitas Pasundan.
6. Sahabat serta seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu oleh penulis atas keterlibatan dan dukungannya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Pada Laporan Usulan Penelitian ini masih banyak kekurangan, penulis sudah memaksimalkan sebaik mungkin. Semua bentuk saran dan kritik diterima dengan senang hati. Semoga Laporan Usulan Penelitian ini bermanfaat bagi pembaca.

Bandung, 25 juli 2025

Penulis,



Astra Permana

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN	I
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	II
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	III
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	IV
KATA PENGANTAR.....	V
DAFTAR ISI	VI
DAFTAR GAMBAR.....	VII
DAFTAR TABEL	VIII
ABSTRAK	IX
ABSTRACT	X
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1. Latar belakang	1
2. Rumusan masalah.....	2
3. Tujuan.....	2
4. Manfaat.....	2
5. Batasan masalah	3
6. Sistematika penulisan	3
BAB V KESIMPULAN	5
1. Kesimpulan.....	5
2. Saran	6
DAFTAR PUSTAKA.....	7

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Pengelasan [3].	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 2. Shielded Metal Arc Welding (SMAW) [7].	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 3. Posisi Pengelasan [12].	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 4. Diagram Fasa <i>Carbon Steel</i> [14].	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 5. Welding Overlay Cladding [18].	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 6. Metalografi Mounting [19].	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 7. Mesin <i>Polishing</i> [20].	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 8. Eting (Etsa) [21].	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 9. Mesin Hardness Vickers [23].	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 10. Tahapan Penelitian	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 11. Lokasi Pengujian	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 12. Standar Uji Vickers	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 13. Bahan Spesimen Uji	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 14. Pemotongan Spesimen	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 15. Spesimen Hasil Pemotongan	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 16. Proses Mounting	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 17. Proses Pemolesan	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 18. Proses Etsa	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 19. Spesimen Hasil Etsa	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 20. Pengujian Hardness Vickers	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 21. Spesifikasi Mesin <i>Hardness Vickers</i>	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 22. Titik Piramida Segi Empat	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 23. Foto Makro Spesimen Hasil Uji	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 24. Diagram 4" C/L 2L/4L	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 25. Diagram 5" C/L 2L/4L	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 26. Diagram 6" C/L 2L/4L	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Gambar 27. 5 inch longitudinal 4 layer	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Alat Dan Bahan.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 2. 4" <i>Longitudinal</i> 2 Layer.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 3. 4" <i>Circumferential</i> 2 Layer	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 4. 4" <i>Longitudinal</i> 4 Layer	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 5. 4" <i>Circumferential</i> 4 Layer	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 6. 5" <i>Longitudinal</i> 2 Layer.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 7. 5" <i>Circumferential</i> 2 Layer	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 8. 5" <i>Longitudinal</i> 4 Layer.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 9. 5" <i>Circumferential</i> 4 Layer	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 10. 6" <i>Longitudinal</i> 2 Layer.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 11. 6" <i>Circumferential</i> 2 Layer	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 12. 6" <i>Longitudinal</i> 4 Layer.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 13. 6" <i>Circumferential</i> 4 Layer	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 14. Perhitungan Ketidakpastian 4" Long/Circum 2L/4L	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 15. Perhitungan Ketidakpastian 5" Long/Circum 2L/4L	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 16. Perhitungan Ketidakpastian 6" Long/Circum 2L/4L	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 17. Desain Faktorial Area <i>Weld</i>	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 18. Desain Faktorial Area HAZ	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 19. Desain Faktorial Area Base	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.

ABSTRAK

Poros merupakan komponen mekanik yang memiliki peran krusial dalam berbagai aplikasi industri, namun sangat rentan mengalami keausan akibat beban kerja dan kondisi operasional. Proses pengelasan sering diterapkan sebagai metode reparatif untuk mengembalikan fungsi poros, namun perlu dilakukan evaluasi terhadap sifat mekanik hasil pengelasan, khususnya kekerasan material. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh arah pengelasan (longitudinal dan circumferential) serta jumlah lapisan las (2 dan 4 layer) terhadap distribusi kekerasan pada pipa baja karbon ASTM A106 Grade B. Proses pengelasan dilakukan menggunakan metode Shielded Metal Arc Welding (SMAW) dengan elektroda AWS E7018, sedangkan pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Vickers sesuai standar ASTM E92.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengelasan dengan orientasi longitudinal cenderung menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengelasan circumferential. Nilai kekerasan maksimum sebesar 311,67 HV diperoleh pada spesimen dengan pengelasan longitudinal 4 lapisan, meskipun disertai deviasi yang tinggi, mengindikasikan ketidakhomogenan struktur mikro. Sebaliknya, spesimen dengan pengelasan longitudinal 2 lapisan menunjukkan kekerasan tinggi yang stabil, yaitu 255,33 HV, dengan deviasi yang rendah. Penambahan jumlah lapisan tidak secara konsisten meningkatkan kekerasan, khususnya pada pengelasan circumferential, yang justru mengalami penurunan kekerasan akibat akumulasi panas yang berlebihan.

Berdasarkan temuan tersebut, kombinasi parameter pengelasan yang paling optimal untuk aplikasi perbaikan poros aus adalah pengelasan longitudinal dengan dua lapisan, karena mampu memberikan kekerasan tinggi yang stabil serta efisiensi secara teknis dan ekonomis.

Kata Kunci: pengelasan, kekerasan Vickers, longitudinal, circumferential, baja karbon

ABSTRACT

Shafts are critical mechanical components in various industrial applications but are highly susceptible to wear due to operational loads and conditions. Welding is commonly employed as a repair method to restore shaft functionality; however, a thorough evaluation of the welded material's mechanical properties, particularly hardness, is essential. This study aims to analyze the influence of welding direction (longitudinal and circumferential) and the number of weld layers (2 and 4 layers) on the hardness distribution of ASTM A106 Grade B carbon steel pipes. The welding process was conducted using the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) method with AWS E7018 electrodes, while hardness testing was performed using the Vickers method in accordance with ASTM E92 standards.

The results indicate that longitudinal welding produces higher hardness values compared to circumferential welding. The highest hardness value of 311.67 HV was recorded in specimens welded longitudinally with 4 layers, although this was accompanied by a high standard deviation, suggesting microstructural inhomogeneity. Conversely, the longitudinal 2-layer specimens exhibited a more stable and consistently high hardness of 255.33 HV with a low deviation. Increasing the number of layers did not consistently enhance hardness, particularly in circumferential welding, where excessive heat accumulation led to a reduction in hardness.

Based on these findings, the most optimal welding parameter combination for repairing worn shafts is longitudinal welding with two layers, as it provides high, stable hardness and is technically and economically efficient.

Keywords: welding, Vickers hardness, longitudinal, circumferential, carbon steel

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Dalam dunia industri, poros merupakan salah satu komponen mekanik yang memiliki peran sangat penting, yaitu sebagai media transmisi daya dan putaran pada berbagai jenis mesin dan peralatan. Namun, seiring waktu, poros dapat mengalami degradasi kinerja akibat keausan yang disebabkan oleh gesekan, beban berlebih, maupun korosi. Kondisi ini dapat menurunkan efisiensi serta keandalan sistem secara keseluruhan. Salah satu metode yang umum diterapkan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah melalui proses perbaikan dengan teknik pengelasan, yang bertujuan untuk memulihkan dimensi serta sifat mekanik poros agar mendekati kondisi semula.

Dalam proses perbaikan tersebut, evaluasi sifat mekanik hasil pengelasan, khususnya sifat kekerasan, menjadi hal yang sangat krusial, mengingat kekerasan merupakan indikator penting dalam menentukan ketahanan aus suatu material. Oleh karena itu, pengujian kekerasan Vickers digunakan dalam penelitian ini karena mampu memberikan informasi yang akurat pada skala mikro, termasuk pada area yang sempit seperti logam induk (base metal), zona pengaruh panas (heat affected zone), dan logam las (weld metal).

Penelitian ini dilakukan pada spesimen pipa baja karbon sebagai representasi dari material poros yang umum digunakan di industri. Proses pengelasan diterapkan dalam dua arah berbeda, yaitu longitudinal dan circumferential, guna mensimulasikan variasi kondisi aktual perbaikan poros di lapangan. Metode pengelasan yang digunakan adalah Shielded Metal Arc Welding (SMAW) karena metode ini bersifat praktis, fleksibel, dan banyak diaplikasikan dalam berbagai sektor industri. Selain itu, variasi jumlah lapisan pengelasan, yakni dua lapis (2L) dan empat lapis (4L), digunakan untuk mengetahui pengaruh ketebalan serta jumlah lapisan terhadap distribusi kekerasan pada hasil pengelasan.

Melalui pengujian kekerasan Vickers terhadap spesimen hasil pengelasan, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kombinasi arah pengelasan dan jumlah lapisan yang menghasilkan sifat kekerasan optimal. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis yang efektif dan ekonomis dalam perbaikan poros aus, serta memberikan kontribusi terhadap peningkatan kualitas perbaikan komponen mesin melalui pendekatan teknik pengelasan yang tepat dan terukur.

2. Rumusan masalah

1. Bagaimana pengaruh arah pengelasan (*Longitudinal* dan *Circumferential*) terhadap distribusi nilai kekerasan pada pipa baja karbon hasil pengelasan?
2. Bagaimana pengaruh jumlah lapisan las (2 layer dan 4 layer) terhadap nilai kekerasan pada area *Weld*, *HAZ*, *Base Metal* ?
3. Bagaimana pengaruh variasi ukuran 4 Inch, 5 Inch, dan 6 Inch terhadap nilai kekerasan pada area *Weld*, *HAZ*, *Base Metal* ?
4. Kombinasi arah pengelasan dan jumlah lapisan seperti apa yang menghasilkan distribusi kekerasan paling optimal untuk perbaikan poros aus?

3. Tujuan

1. Menganalisis pengaruh arah pengelasan (*Longitudinal* dan *Circumferential*) terhadap distribusi kekerasan pada pipa baja karbon ASTM A106 Grade B.
2. Menganalisis pengaruh jumlah lapisan las (2 layer dan 4 layer) terhadap nilai kekerasan pada area *Weld*, *HAZ*, *Base Metal*.
3. Mengidentifikasi kombinasi arah pengelasan, jumlah lapisan, dan variasi ketebalan spesimen yang menghasilkan kekerasan optimal sebagai acuan metode perbaikan poros aus secara efektif dan ekonomis.
4. Mendapatkan nilai kekerasan dan memberikan rekomendasi teknis terhadap metode pengelasan yang paling sesuai untuk perbaikan poros berdasarkan hasil uji kekerasan *Vickers*.

4. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini diharapkan dapat memperluas pemahaman mengenai pengaruh arah pengelasan, variasi ukuran pipa, dan jumlah lapisan pengelasan terhadap kekerasan material, khususnya pada pipa baja karbon yang sering digunakan dalam aplikasi industri.
2. Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai panduan praktis dalam proses perbaikan poros mesin yang mengalami keausan, sehingga perbaikan dapat dilakukan dengan metode pengelasan yang lebih tepat, efisien, dan tahan lama.

3. Penelitian ini juga dapat menjadi bahan referensi bagi pengembangan riset selanjutnya di bidang teknik pengelasan dan rekayasa material, terutama dalam hal peningkatan performa komponen hasil perbaikan.

5. Batasan masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Material pipa yang digunakan adalah pipa *Carbon Steel* ASTM Grade B.
2. Pengelasan yang dilakukan adalah pengelasan *Shielding Metal Arc Welding* (SMAW).
3. Arah pengelasan yaitu *Longitudinal* dan *Circumferential*.
4. Posisi pengelasan adalah 1G.
5. Elektroda yang digunakan adalah AWS E7018.
6. Diameter pipa 4 inch, 5 inch dan 6 inch SCH 40.
7. Jumlah *welding* pass adalah 5 pass.
8. Jumlah *welding layer* adalah 2 dan 4 layer.
9. Pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan dengan metode *Hardness Vickers*.

6. Sistematika penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II STUDI LITERATUR

Bab ini berisi tentang kumpulan penelitian dari penelitian-penelitian yang ada di jurnal-jurnal terverifikasi dan berisi tentang informasi-informasi yang berkaitan tentang *welding overlay cladding*.

BAB II METODOLOGI

Pada bab ini berisi tentang tahapan penelitian, tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan, setup, metode pengukuran/pengujian, dan metode pengolahan data.

BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan tentang data hasil pengujian yang telah dilakukan. Pada bab ini juga ditambahkan tabel dan gambar hasil pengujian pada variabel eksperimen yang telah ditetapkan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini dibahas tentang kesimpulan dan saran mengenai hal-hal penting yang diperoleh dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Pada bab ini disebutkan buku, artikel, dan sumber lain yang menjadi acuan skripsi ini.

LAMPIRAN



BAB V KESIMPULAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan *Vickers* pada pipa baja karbon ASTM A106 Grade B yang telah di-*overlay* dengan variasi arah pengelasan *Longitudinal* dan *Circumferential*, jumlah 2 dan 4 Layer, serta ukuran pipa 4", 5", dan 6", maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Pengaruh Arah Pengelasan:
 - Pengelasan dengan arah *Longitudinal* menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan arah *Circumferential* pada semua ukuran dan jumlah lapisan.
 - Hal ini disebabkan distribusi panas pada arah *Longitudinal* menghasilkan pendinginan yang lebih cepat dan membentuk struktur mikro yang lebih keras.
- Pengaruh Jumlah Lapisan (Layer):
 - Penambahan lapisan dari 2 menjadi 4 Layer tidak selalu meningkatkan kekerasan. Pada beberapa kondisi terutama *Circumferential*, kekerasan justru menurun akibat pengumpulan panas yang menyebabkan pelunakan mikrostruktur.
 - Pada arah *Longitudinal*, peningkatan lapisan bisa meningkatkan kekerasan, tetapi deviasinya cenderung lebih tinggi, menunjukkan hasil yang kurang homogen.
- Pengaruh Ukuran Pipa:
 - Ukuran pipa tidak terlalu signifikan dalam mempengaruhi tren kekerasan, tetapi pada pipa 6", terjadi perbedaan signifikan pada area HAZ (contoh: *Longitudinal* 2L = 126,67 HV) akibat efek panas yang terlalu tinggi pada daerah sempit.
- Kombinasi Optimal:
 - Kombinasi arah pengelasan *Longitudinal* dengan 2 Layer *overlay* terbukti menghasilkan nilai kekerasan tertinggi yang stabil dan konsisten, khususnya pada area *Weld*.
 - Contoh terbaik: 6" *Longitudinal* 2 Layer, nilai kekerasan *Weld* sebesar 255,33 HV, deviasi hanya 2,31, dan koefisien variasi 0,90%.

2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang telah diperoleh, berikut ini disampaikan beberapa saran yang diharapkan dapat menjadi masukan bagi penerapan di lapangan serta pengembangan penelitian selanjutnya. Saran-saran ini bertujuan untuk meningkatkan efektivitas proses perbaikan komponen menggunakan metode pengelasan, serta memperluas pemahaman terhadap pengaruh variabel pengelasan terhadap sifat mekanik material.

➤ Rekomendasi Teknik Perbaikan Poros:

- Untuk keperluan perbaikan poros aus pada baja karbon ASTM A106 Grade B, disarankan menggunakan metode pengelasan *Longitudinal* 2 Layer karena memberikan kekerasan tinggi, stabil, dan efisien secara teknis dan ekonomis.

➤ Kontrol Proses Pengelasan:

- Selama proses pengelasan, perlu dilakukan pengendalian suhu dan kecepatan las secara ketat untuk menghindari pengumpulan panas yang berlebihan, terutama pada proses dengan lapisan ganda 4 Layer dan arah *Circumferential*.

➤ Pemeriksaan Tambahan:

- Disarankan dilakukan pengujian metalografi untuk menganalisis struktur mikro dan memahami penyebab deviasi tinggi atau ketidakhomogenan, khususnya pada spesimen dengan nilai kekerasan ekstrem atau deviasi besar.
- Uji impak (toughness) juga penting dilakukan sebagai pelengkap, mengingat kekerasan tinggi tidak selalu menjamin ketangguhan material.

➤ Pengembangan Penelitian Selanjutnya:

- Penelitian selanjutnya disarankan mengeksplorasi pengaruh variasi arus listrik, kecepatan pengelasan, dan jenis elektroda, untuk mendapatkan parameter optimal sesuai dengan kondisi industri nyata.
- Selain itu, perlu dilakukan simulasi termal (heat distribution) untuk memahami lebih dalam efek siklus panas pada kekerasan dan ketahanan material.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Jokosisworo, "Pengaruh Besar Arus Listrik Dengan Menggunakan Elektroda Smaw Terhadap Kekuatan Sambungan Las *Butt Joint Pada Plat Mild Steel*," *Kapal J. Ilmu Pengetah. dan Teknol. Kelaut.*, vol. 6, no. 2, hal. 118–122, 2012, doi: 10.14710/kpl.v6i2.2725.
- [2] T. Pipit Mulyah, Dyah Aminatun, Sukma Septian Nasution, Tommy Hastomo, Setiana Sri Wahyuni Sitepu, "濟無No Title No Title No Title," *J. GEEJ*, vol. 7, no. 2, hal. 6–28, 2020.
- [3] S. Muddin, "Pengaruh Hasil Pengelasan Terhadap Kekuatan Dan Kekerasan," *ILTEK J. Teknol.*, vol. 11, no. 02, hal. 1658–1663, 2016, doi: 10.47398/iltek.v11i02.433.
- [4] W. A. Almuzikri, Usman, dan Bukhari, "Analisis pengaruh variasi arus terhadap kekuatan tarik dan kekerasan pada pengelasan material SM 400 B *Analysis of the effect of current variations on tensile strength and hardness in welding SM 400 B material*," *J. Weld. Technol.*, vol. 3, no. 2, hal. 34–40, 2021.
- [5] H. D. A. Purbonugroho, A. Suprihanto, dan G. D. Haryadi, "Analisis Metode Pengelasan SMAW Terhadap Laju Korosi dan Nilai Kekerasan Pada Baja Karbon Rendah AISI 1020," *J. Tek. Mesin*, vol. 11, no. 4, hal. 227–234, 2023.
- [6] M. S. Azdkar, H. Pratikno, dan H. S. Titah, "Analisis Pengelasan SMAW pada Baja ASTM A36 dengan Variasi Elektroda Terhadap Sifat Mekanik dan Ketahanan Biokorosi di Lingkungan Laut," *J. Tek. ITS*, vol. 7, no. 2, 2019, doi: 10.12962/j23373539.v7i2.32118.
- [7] A. Fazadima, H. Pratikno, dan H. Ikhwani, "Analisis Pengaruh Variasi Heat Input terhadap Uji Impact, Uji Metalografi, dan Laju Korosi pada Pengelasan SMAW Sambungan Pelat Baja A36 dengan Baja Structural Steel 400 (SS400)," *J. Tek. ITS*, vol. 11, no. 3, hal. 38–43, 2022, doi: 10.12962/j23373539.v11i3.88068.
- [8] A. N. Akhmadi dan M. T. Qurohman, "Analisa Hasil Pengelasan 2g Dan 3g Dengan Bahan Plat Besi St 40 Ketebalan 10 mm Dan Voltase 20 - 35 Menggunakan Mesin Las Mig," *Nozzle J. Mech. Eng.*, vol. 9, no. 2, hal. 25–30, 2020, doi: 10.30591/nozzle.v9i2.2259.
- [9] A. Saputra Ismy, R. Nanda, P. Negeri Lhokseumawe, dan P. Pupuk Iskandar Muda

- JlBanda Aceh-Medan Km, “Pengaruh arus pengelasan SMAW terhadap kekuatan sambungan las double lap joint pada material AISI 1050,” *J. Weld. Technol.*, vol. 2, no. 1, hal. 1–7, 2020.
- [10] F. J. Tulung, “Modul praktek pengelasan smaw,” *Politek. Negeri Manad.*, hal. 1–74, 2019.
- [11] K. N. Syahputra dan A. W. Nugroho, “Analisa Kegagalan Sambungan Las Pada Tiang Penyangga Dermaga,” *Semesta Tek.*, vol. 18, no. 1, hal. 1–9, 2016, doi: 10.18196/st.v18i1.700.
- [12] H. Rarindo, “Menguji Spesifikasi Posisi Pengelasan Ergonomi,” *LONTAR J. Tek. Mesin Undana*, vol. 1, no. 1, hal. 1–5, 2014.
- [13] M. Nofri dan A. Fardiansyah, “Analisis Sifat Mekanik Pipa Carbon Steel Grade a a106 Dan Grade B a53 Untuk Proses Produksi Pada Kilang Lng,” *Bina Tek.*, vol. 14, no. 2, hal. 119, 2018, doi: 10.54378/bt.v14i2.335.
- [14] D. Juliaptini, “Analisis Sifat Mekanik dan Metalografi Baja Karbon Rendah untuk Aplikasi Tabung Gas 3 Kg,” *UIN Syarif Hidayatullah*, hal. 1–90, 2010.
- [15] S. Syamsuir, A. Lubi, dan F. B. Susetyo, “Karakteristik Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja Karbon Sedang Paska Perlakuan Panas Tempering,” ... *Kaji. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 1, hal. 1–7, 2022, [Daring]. Tersedia pada: <http://journal.uta45jakarta.ac.id/index.php/jktm/article/view/5941%0Ahttp://journal.uta45jakarta.ac.id/index.php/jktm/article/viewFile/5941/2147>
- [16] B. Permana, M. Badaruddin, dan Z. Zulhanif, “Karakterisasi Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja Carbon Rendah Untuk *Cane Cutter Blade* Pada Pt Gunung Madu Plantation,” *J. Ilm. Tek. Mesin FEMA*, vol. 1, no. 3, hal. 98891, 2013.
- [17] Y. Irwan, “Pengaruh Sifat Mekanik Hasil *Weld Overlay Cladding* Baja Karbon 0.35%C Dengan Elektroda E 309-16 Dan E 316-16,” *Tek. Mesin*, hal. 9, 2012.
- [18] Y. Irwan, “Analisis Korosi Proses *Cladding* Dengan Elektroda *Stainless Steel* Pada Baja Karbon,” hal. 1–10, 2014.
- [19] V. Manurung, Y. Tri, dan S. Yudi, *Panduan metalografi*. 2020.
- [20] M. S. Jamaluddin dan B. Putri, “Pembuatan Alat Hot Mounting untuk Spesimen Metalografi,” 2019, [Daring]. Tersedia pada: [http://repository.poliupg.ac.id/id/eprint/1522/1/Pembuatan Alat Hot Mounting Untuk Spesimen Metalografi.pdf](http://repository.poliupg.ac.id/id/eprint/1522/1/Pembuatan%20Alat%20Hot%20Mounting%20Untuk%20Spesimen%20Metalografi.pdf)

- [21] Budiman dan Riyanto, "Disusun Oleh : Disusun Oleh :," *Pengetah. dan Sikap Dalam Penelit. Kesehat.*, no. 11150331000034, hal. 1–147, 2013.
- [22] M. F. Kumayasari dan A. I. Sultoni, "Studi Uji Kekerasan *Rockwell Superficial VS Micro Vickers Comparison Study Of Hardness Testing By Using Rockwell Superficial VS Microvickers*," *J. Teknol. Proses dan Inov. Ind.*, vol. 2, no. 2, hal. 85–89, 2017.
- [23] G. V. Kozlov dan Y. G. Yanovskii, "- *Microhardness*," *Fractal Mech. Polym.*, vol. 5, hal. 256–265, 2014, doi: 10.1201/b17730-17.
- [24] Nizar, "Pengaruh Variasi Beban Indentor *Vickers Hardness Tester* Terhadap Hasil Uji Kekerasan Material Aluminium Dan Besi Cor," *Mer-C*, vol. 1, no. 10, hal. 1–5, 2018.

