PENGARUH POSISI PENGELASAN SMAW TERHADAP UJI KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA BAJA SS 316L UNTUK APLIKASI KLEP MESIN KAPAL

Muhammad Adam Bertram Nugroho Widi
S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: muhammadadam.21011@mhs.unesa.ac.id

Mochamad Arif Irfa'i
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: arifirfai@unesa.ac.id

Abstrak

Pengelasan sambungan logam pada komponen industri perkapalan, khususnya katup buang (*exhaust valve*) mesin kapal berbahan baja tahan karat austenitik SS 316L menuntut tingkat presisi dan kualitas mekanik tinggi agar tahan suhu lingkungan kerja yang ekstrem. Kerusakan komponen dipicu ketidaksempurnaan proses pengelasan, posisi pengelasan krusial terhadap distribusi masukan panas, laju pendinginan, dinamika kolam cairan las akibat pengaruh gaya gravitasi. Penelitian eksperimental ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi posisi pengelasan SMAW meliputi posisi datar (1G), horizontal (2G), dan vertikal (3G) terhadap kekerasan dan struktur mikro pada sambungan baja SS 316L. Pengujian material menggunakan spesimen pelat dan komponen katup buang bekas dengan parameter arus konstan 100A serta elektroda Nikosteel B17 kemudian dievaluasi melalui uji kekerasan Rockwell C serta pengamatan metalografi struktur mikro menggunakan mikroskop cahaya pada area *Base Metal* (BM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Weld Metal* (WM). Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh spesimen pasca pengelasan mengalami peningkatan nilai kekerasan dibandingkan bahan mentah (*raw material* sebesar 46,27 HVN), dengan posisi pengelasan 1G menghasilkan tingkat kekerasan tertinggi dengan rata-rata 52,31 HVN berkat distribusi panas simetris dan laju pendinginan yang membentuk struktur las padat; posisi 3G menyusul dengan rata-rata 51,07 HVN yang menampilkan struktur dendritik rapat; sedangkan posisi 2G mencatat nilai kekerasan terendah yaitu rata-rata 49,72 HVN akibat hambatan gravitasi lateral yang membuat struktur pembekuan lebih longgar. Analisis struktur mikro mengonfirmasi bahwa posisi pengelasan memengaruhi morfologi butir, lebar batas butir pada area HAZ, serta kerapatan fasa ferit-austenit pada logam las, posisi 1G menghasilkan pertumbuhan butir yang paling terkontrol dan teratur dibandingkan posisi 2G dan 3G

Kata Kunci: Pengelasan SMAW, Posisi Pengelasan, Baja SS 316L, Uji Kekerasan, Struktur Mikro, *Exhaust Valve*.

Abstract

Welding metal joints in marine industry components specifically exhaust valves for ship engines made of austenitic stainless steel (SS 316L) requires high precision and mechanical quality to withstand extreme operating temperatures. Component failure is often triggered by welding process imperfections; the welding position is critical as it influences heat input distribution, cooling rates, and weld pool dynamics affected by gravity. This experimental study aims to analyze the effect of varying SMAW positions flat (1G), horizontal (2G), and vertical (3G) on the hardness and microstructure of SS 316L steel joints. Material testing utilized plate specimens and used exhaust valve components, employing a constant current of 100A and Nikosteel B17 electrodes; evaluations included Rockwell C hardness testing and microstructural metallographic analysis using a light microscope across the Base Metal (BM), Heat-Affected Zone (HAZ), and Weld Metal (WM) areas. Test results indicate that all welded specimens exhibited increased hardness compared to the raw material (46.27 HVN). The 1G position yielded the highest hardness (average 52.31 HVN) due to symmetrical heat distribution and a cooling rate that fostered a dense weld structure; the 3G position followed (average 51.07 HVN) with a tight dendritic structure; while the 2G position recorded the lowest hardness (average 49.72 HVN), attributed to lateral gravitational resistance that resulted in a looser solidification structure. Microstructural analysis confirms that the welding position influences grain morphology, grain boundary width in the Heat-Affected Zone (HAZ), and the density of ferrite-austenite phases in the weld metal; the 1G position yields the most controlled and orderly grain growth compared to the 2G and 3G positions.

***Keywords**: SMAW welding, welding position, SS 316L steel, strength test, microstructure, exhaust valve.*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi industri saat ini logam menjadi bagian penting dari banyak produk, ini termasuk hal-hal yang paling sederhana, seperti alat rumah tangga, hingga konstruksi bangunan dan permesinan, hal ini menyebabkan peningkatan penggunaan logam seperti besi cor, baja, aluminium, dan lainnya, sehingga dapat dikatakan bahwa kemajuan kearah peradaban manusia tidak mungkin terjadi tanpa penggunaan logam. Manusia dapat memanfaatkan logam sebagai alat penting dalam kehidupan karena kemampuan akalnya. Logam memungkinkan pembuatan berbagai mesin, struktur, dan lainnya. Perakitan atau penyambungan teknologi

diperlukan dengan cara pengelasan. Menurut Memet (2025) salah satu bahan/logam yang dipakai didunia industri perkapalan ialah baja SS 316L, sedangkan menurut Suardi (2023) material *stainless steel* (SS) menjadi pilihan yang umum digunakan. Pengelasan merupakan proses yang digunakan untuk menyambungkan dua atau lebih material melalui proses pemanasan yang kemudian dilanjutkan dengan proses solidifikasi, sedangkan pendapat dari Syaiful (2022) mengungkapkan *Stainless steel* merupakan baja anti karat yang tahan terhadap korosi karena memiliki unsur paduan minimal 18% krom dan 8% nikel. *Stainless steel* dapat diperoleh dengan mencampurkan feronikel (18-20% Ni. 75-78% Fe) ke dalam leburan nikel *ferokrom* melalui oksidasi sebelum dilakukan proses pembuatan baja.

Kerusakan pada logam/plat diindustri perkapalan dapat disebabkan oleh beberapa hal, salah satunya adalah proses pengelasan yang kurang baik, penggunaan jenis las yang kurang tepat, dan perawatan pada logam itu sendiri yang kurang diperhatikan. Proses pengelasan yang kurang baik dan penggunaan jenis las yang tidak tepat dapat menyebabkan hasil kekuatan yang tidak sesuai juga. Salah satunya adalah posisi pengelasan yang kurang tepat, penggunaan posisi pengelasan ditentukan oleh kondisi dan titik pengelasan, hal ini selaras dengan pendapat dari Surahman (2023) mengungkapkan posisi pengelasan memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap kualitas hasil las, efisiensi pengerjaan, serta tingkat kesulitan yang dihadapi oleh juru las. Pada posisi datar (1G), logam cair mengalir merata karena pengaruh gravitasi yang sangat kecil, sehingga menghasilkan sambungan las yang rapi dengan penetrasi yang baik dan risiko cacat yang rendah. Posisi horizontal (2G), dimana logam cair cenderung jatuh ke dasar sambungan, sehingga membutuhkan keterampilan lebih untuk mempertahankan bentuk dan ketebalan las agar tetap rata. Pada posisi vertikal (3G), pengelasan menjadi lebih menantang karena logam cair mudah mengalir ke bawah karena gravitasi, sehingga diperlukan teknik khusus seperti vertikal keatas atau vertikal kebawah untuk mendapatkan hasil las yang kuat dan seragam. Dengan demikian, semakin sulit posisi pengelasan, semakin tinggi keterampilan, pengalaman, dan kehati-hatian yang dibutuhkan untuk memastikan las tetap kuat dan memenuhi standar kualitas.

Uji kekerasan dan mikrostruktur pada las dilakukan untuk menentukan sejauh mana proses pengelasan memengaruhi sifat mekanik dan karakteristik mikrostruktur logam, terutama untuk baja SS 316L, yang banyak digunakan dalam industri perkapalan. Proses pengelasan SMAW melibatkan suhu tinggi yang menyebabkan logam dasar dan elektroda meleleh dan kemudian memadat kembali. Proses pemanasan dan pendinginan yang cepat ini menciptakan perbedaan struktural dalam tiga zona utama yaitu logam las, zona terpengaruh panas (HAZ), dan logam dasar (Bawazir, 2021). Perubahan termal ini berpotensi menyebabkan variasi kekerasan, tegangan sisa, dan perubahan mikrofase yang dapat memengaruhi kekuatan dan ketahanan korosi logam. Pengujian kekerasan diperlukan untuk menentukan distribusi kekerasan disetiap zona las, karena nilai kekerasan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerapuhan, sementara nilai yang terlalu rendah menunjukkan ikatan logam yang lemah. Dengan demikian, pengujian kekerasan dapat memberikan gambaran umum tentang kualitas sambungan las dan ketahanannya terhadap beban mekanis. Sementara itu, pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengamati bentuk dan ukuran butiran, distribusi fasa, dan keberadaan cacat mikro seperti porositas atau retak akibat proses pengelasan. melalui pengamatan mikroskopis, pengaruh posisi pengelasan terhadap homogenitas dan stabilitas struktur logam dapat ditentukan.

Pengujian ini krusial karena posisi pengelasan (1G, 2G, atau 3G) memengaruhi distribusi panas dan laju pendinginan, yang secara langsung memengaruhi sifat mekanik dan struktur mikro las. Dengan melakukan uji kekerasan dan struktur mikro secara sistematis, para peneliti dapat menilai kualitas, kekuatan, dan keandalan sambungan las SMAW pada baja SS 316L dan menentukan posisi pengelasan optimal untuk aplikasi katup mesin kelautan, kekuatan, ketahanan korosi, dan stabilitas struktural sangat penting. Jenis las yang dipakai ialah las SMAW, pengelasan SMAW yaitu proses pengelasan yang menggunakan energi panas listrik untuk melelehkan logam dasar dan bahan pengisi adalah elektroda. Panas yang dihasilkan selama proses pengelasan ini terakumulasi karena koneksi ion listrik antara anoda dan katoda elektroda busur dan logam dasar, membentuk atom atau molekul batang logam yang terhubung bersama (Surahman, 2023).

Pengujian pada hasil las itu juga tidak kalah penting untuk mengetahui hasil las yang dipakai, salah satu pengujian las yang dapat dipakai adalah uji kekerasan dan uji struktur mikro. Uji struktur mikro menurut Suher (2024) ialah pengujian struktur mikro dilakukan untuk melihat mikro struktur yang terbentuk akibat proses pengelasan, sedangkan uji kekerasan bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kekerasan logam setelah proses pengelasan, dan bagaimana kekerasan didaerah las, area yang terkena panas (*Heat AreaZone*), dan logam dasar berbeda. Pengelasan SMAW adalah jenis pengelasan dimana logam dasar meleleh menggunakan energi panas listrik, dan elektroda digunakan sebagai bahan pengisi. Panas yang dihasilkan dalam proses ini terakumulasi karena ion listrik terhubung antara anoda dan katoda elektroda busur dan logam dasar, membentuk atom atau molekul batang logam yang terhubung bersama (Surahman, 2023). Pengujian tersebut untuk mengetahui kekuatan, kekerasan dan struktur mikro dari hasi las SMAW.

METODE

Metode penelitian ialah runtutan cara berfikir dengan sistematis pada suatu sistem, pada penelitian juga ada proses pengembilan suatu keputusan. Penelitian ini memakai jenis penelitian eksperimental (*experimental research*), menurut Dhianti Putri (2023) metode eksperimen adalah metode penelitian yang digunakan utuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendalikan.

Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah perbandingan posisi 1G, 2G dan 3G pengelasan

SMAW. Variabel terikat yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah kekerasan hasil las dan struktur mikro. Variabe kontrol yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

a. Material yang digunakan adalah baja *steinless steel 316L*.
b. Metode pengujian yang digunakan uji struktur mikro dan *Hardness Rockwell C* (Ikhsan, 2022).
c. Las SMAW menggunakan kawat las kobe steel B17, *merk* lakoni dengan setelan arus 100A

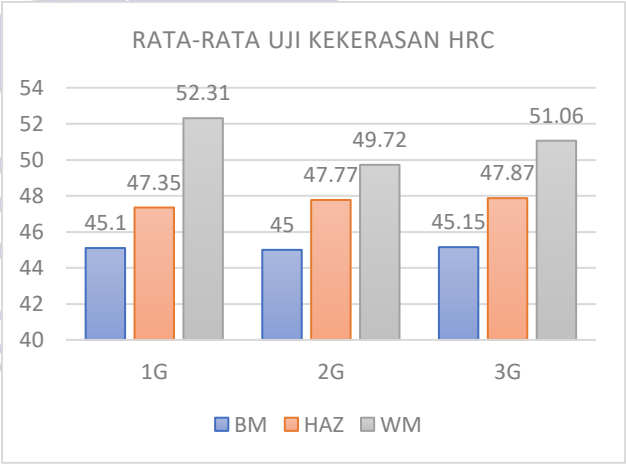
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian spektrometer yang terdapat dalam dokumen pemeriksaan, komposisi kimia bahan uji menunjukkan kesesuaian yang sangat baik dengan standar baku bahan *Stainless Steel* (SS) 316L sesuai spesifikasi ASTM A240. Data laboratorium menunjukkan bahwa kandungan unsur karbon tercatat sebesar 0,028%. Angka ini berada di bawah batas maksimal 0,030%, yang merupakan syarat utama bagi baja nirkarat berkarbon rendah. Tidak ada paduan utama juga terpenuhi dengan baik. Kromium tercatat sebesar 16,603%, Nikel sebesar 11,072%, dan Molibdenum sebesar 2,394%. Elemen ketiga ini berada dalam kisaran standar yang ditetapkan untuk material SS 316L, hal ini selaras dengan hasil penelitian dari Moh. Syaiful Amri (2025) Fe-Cr-Ni pada kandungan besi 70% untuk material austenitic *stainless steel* dengan kandungan 18% chromium dan 12% nikel. Kombinasi ketiga unsur ini sangat penting karena memberikan ketahanan tinggi terhadap korosi, terutama dalam kondisi baik atau lingkungan asam yang agresif.

Material uji juga mengandung besi (*Iron*) sebesar 78,296%, yang merupakan unsur penyeimbang utama. Selain itu, unsur-unsur minor lainnya juga dicatat dalam batas toleransi pabrikan. Hasil uji spektrometer secara keseluruhan mengkonfirmasi bahwa material yang diuji memang sesuai dengan karakteristik struktur austenitik dari baja SS 316L. Material ini terbukti valid dan memenuhi semua persyaratan teknis yang ditetapkan. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, data perolehan nilai kekerasan material pada berbagai variasi (RAW, 1G, 2G, dan 3G) disajikan secara lengkap pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian kekerasan

Hasil Uji Kekerasan (HVN)					
VARIASI	TITIK UJI	LOAD	BM	HAZ	WM
RAW	1	50 gf	45,2	45,7	46,2
	2		45,4	45,8	46,1
	3		45,9	45,8	46,5
1	1	50 gf	45,3	48,8	52,5
	2		45,1	48,9	51,9
	3		45,4	48,9	52,8
2	1	50 gf	45,3	48	52,4
	2		45,1	48,5	52
	3		44,9	48,7	52,1
3	1	50 gf	45	47,8	52,2
	2		45,1	47.1	52,5
	3		45,21	48,3	52,4
4	1	50 gf	45,21	46,61	50
	2		45,1	47,4	49,5
	3		45	47,8	49,8
5	1	50 gf	45,1	47,3	49,1
	2		45,2	46,2	50,1
	3		44,1	47,1	49,7
6	1	50 gf	45,1	46,3	49,9
	2		45,4	47,1	49,6
	3		45	47,2	49,8
7	1	50 gf	45,1	47,9	51,4
	2		45,2	46,4	51,1
	3		45,01	46,8	51,3
8	1	50 gf	45	48.3	51,6
	2		45,1	49,1	51,5
	3		45	48,5	51,9
9	1	50 gf	45,16	47,9	50,3
	2		45	48,1	50,1
	3		45,1	47,4	50,4



Gambar 1. Diagram Hasil Uji Kekerasan

Berdasarkan hasil pengujian tingkat kekerasan yang disajikan, nilai rata-rata pada area *Base Metal* (BM) menunjukkan angka yang relatif stabil dan seragam di seluruh variasi, yaitu tercatat sebesar 45,3 HVN pada kondisi *RAW* (bahan mentah), serta berada di kisaran 45,1 HVN hingga 45,15 HVN pada spesimen yang telah melalui proses pengelasan posisi 1G, 2G, dan 3G. Stabilitas nilai kekerasan pada area BM ini membuktikan bahwa logam induk di luar pengaruh langsung panas pengelasan tidak mengalami perubahan struktur mikro yang signifikan,

sehingga karakteristik mekanik aslinya tetap terjaga dengan baik. Sebaliknya, peningkatan nilai kekerasan yang cukup konsisten tampak jelas pada area *Heat Affected Zone* (HAZ) akibat siklus termal dan masukan panas (*heat input*) selama proses pengelasan SMAW berlangsung. Pada posisi pengelasan 1G (flat), nilai rata-rata kekerasan HAZ tercatat sebesar 47,35 HVN, yang kemudian mengalami sedikit peningkatan pada posisi 2G (horizontal) menjadi 47,77 HVN, dan mencapai nilai tertinggi pada posisi 3G (vertikal) dengan rata-rata sebesar 47,87 HVN.

Perbedaan nilai kekerasan pada area HAZ ini sangat dipengaruhi oleh dinamika orientasi pengelasan dan gaya gravitasi yang menuntut penyesuaian teknik manipulasi busur listrik (seperti waktu tinggal atau *dwell time* panas). Posisi 3G menghasilkan kekerasan HAZ tertinggi karena waktu penahanan panas yang lebih lama di sepanjang garis fusi memicu gradien suhu curam serta pertumbuhan butir yang lebih padat secara lokal, sementara posisi 1G memberikan distribusi panas yang paling simetris dan terkontrol sehingga kenaikan kekerasan di area transisi HAZ relatif lebih stabil.

Pembahasan terperinci untuk setiap variasi posisi pengelasan diuraikan sebagai berikut:

1. Posisi Pengelasan 1G (Variasi Nomor 1–3): Posisi 1G merupakan posisi pengelasan datar (*flat position*), di mana proses deposisi logam las dilakukan pada permukaan datar yang paling konvensional dan mudah dikontrol (Winardi et al., 2020). Berdasarkan data pengujian, variasi pada kelompok ini (nomor 1, 2, dan 3) menghasilkan tingkat kekerasan tertinggi di antara seluruh posisi pengelasan, dengan nilai rata-rata mencapai 52,31 HVN. Sebaran nilai pada titik-titik ujinya sangat konsisten dan tinggi, berkisar antara 51,9 HVN hingga 52,8 HVN. Tingginya nilai kekerasan pada posisi 1G ini umumnya dipengaruhi oleh penetrasi panas yang optimal serta laju pendinginan yang mendukung terbentuknya struktur mikro yang lebih padat dan keras (seperti fasa martensit atau bainit tergantung pada material dasar) akibat akumulasi panas yang merata selama proses pengelasan datar.
2. Posisi Pengelasan 2G (Variasi Nomor 4–6): Posisi 2G adalah posisi pengelasan horizontal (*horizontal position*), di mana sumbu las berada pada bidang horizontal. Pada kelompok variasi nomor 4, 5, dan 6 ini, nilai rata-rata kekerasan mengalami penurunan yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan posisi 1G, yaitu berada di angka 49,72 HVN dengan rentang titik uji antara 49,1 HVN hingga 50,1 HVN. Penurunan nilai kekerasan ini dapat dikaitkan dengan dinamika kolam cairan las (*weld pool*) yang terpengaruh oleh gaya gravitasi secara lateral. Kondisi ini sering kali mengubah karakteristik masukan panas efektif (*effective heat input*) dan kecepatan pendinginan lokal, sehingga menghasilkan struktur mikro dengan butiran yang sedikit lebih kasar atau tingkat transformasi fasa keras yang lebih rendah dibandingkan posisi 1G.
3. Posisi Pengelasan 3G (Variasi Nomor 7–9): Posisi 3G merupakan posisi pengelasan vertikal (*vertical position*), di mana pengelasan dilakukan dengan arah vertikal (biasanya naik atau turun). Pada kelompok variasi nomor 7, 8, dan 9 ini, nilai rata-rata kekerasan kembali mengalami peningkatan menjadi 51,07 HVN, dengan sebaran nilai titik uji berkisar antara 50,1 HVN hingga 51,9 HVN. Naiknya kembali nilai kekerasan pada posisi 3G dibandingkan posisi 2G dipengaruhi oleh karakteristik teknik pengelasan vertikal yang menuntut manipulasi busur listrik khusus. Yasinta Putri Damayanti, Mulyadi (2019) waktu tinggal panas (*dwell time*) dan laju pendinginan yang cenderung lebih lambat atau terkontrol pada pengelasan vertikal ke atas/bawah dapat memicu pembentukan struktur mikro yang kembali mengeras, meskipun nilainya masih sedikit di bawah pencapaian posisi 1G.

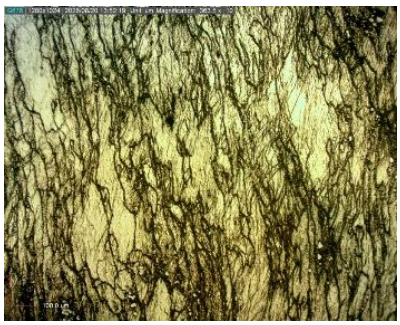
Secara keseluruhan, variasi posisi pengelasan (1G, 2G, dan 3G) memberikan pengaruh yang nyata dan signifikan terhadap distribusi nilai kekerasan material hasil las. Seluruh spesimen pasca-pengelasan menunjukkan peningkatan nilai kekerasan yang cukup drastis apabila dibandingkan dengan *raw material* (46,27 HVN). Posisi pengelasan 1G menghasilkan tingkat kekerasan paling tinggi (rata-rata 52,31 HVN), diikuti oleh posisi 3G (rata-rata 51,07 HVN), dan posisi 2G menghasilkan nilai kekerasan paling rendah di antara variasi las lainnya (rata-rata 49,72 HVN). Perbedaan ini membuktikan bahwa dinamika gravitasi dan distribusi masukan panas pada setiap posisi pengelasan memegang peranan penting dalam menentukan transformasi struktur mikro dan sifat mekanik akhir dari sambungan las.

Uji mikro/ Proses metalografi bertujuan untuk melihat struktur mikro suatu bahan dengan memanfaatkan mikroskop khusus metalografi untuk menguji struktur bahan melalui pembesaran. Dalam pengujian mikro struktur dapat melihat bentuk dan ukuran kristal logam, kerusakan yang disebabkan oleh deformasi, perlakuan panas, dan perbedaan komposisi (Prayogo, 2024). Struktur bahan dalam orde kecil sering disebut struktur mikro. Struktur ini tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, tetapi harus menggunakan alat pengamat struktur mikro. Penelitian ini menggunakan mikroskop cahaya.

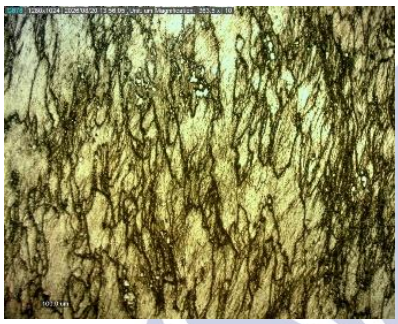
Persiapan yang dilakukan sebelum mengamati struktur mikro adalah pengefraisan spesimen, pengampelasan, pemolesan dan pengetsaan. Setelah dipilih, bahan uji diratakan kedua permukaannya dengan menggunakan mesin frais, dalam pendinginan harus selalu terjaga agar tidak timbul panas yang mempengaruhi struktur mikro. Setelah rata digosok dengan menggunakan ampelas mulai dari yang kasar sampai yang halus. Hasil pengujian struktrur mikro dapat diliat pada gambar.

UNESA Universitas Negeri Surabaya

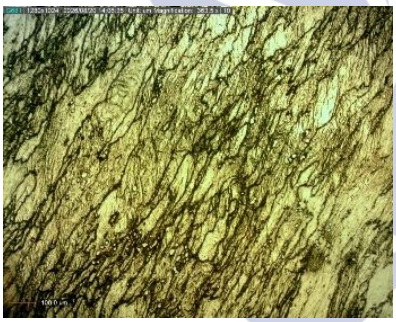
a. Analisis *Base Metal*



Gambar 1 base metal benda kerja pada posisi pengelasan 1G



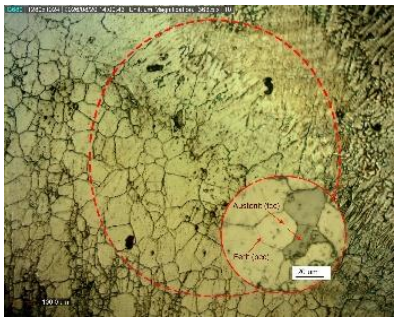
Gambar 2 base metal benda kerja pada posisi pengelasan 2G



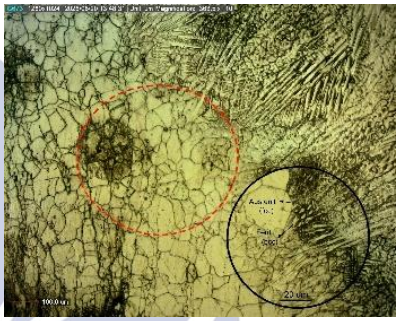
Gambar 3 base meta; benda kerja pada posisi pengelasan 3G

Karakteristik Umum (Gambar 1G, 2G, dan 3G Base Metal). Ketiga gambar menunjukkan struktur mikro baja austenitic *stainless steel* yang khas, memperlihatkan struktur butiran austenit dengan *twinning* (garis kembar) serta orientasi serat atau deformasi akibat proses pengerolan (*rolling direction*). Batasbutir (*grain boundaries*) terlihat jelas dengan struktur yang relatif homogen di luar pengaruh panas pengelasan. Tidak tampak perubahan signifikan antar-posisi pada logam induk karena area ini berada jauh dari kolam cairan las, sehingga strukturnya murni mencerminkan material aslinya (Setiawan & Wardana, 2006).

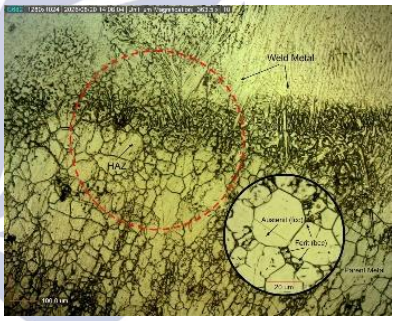
b. Analisis Heat Affected Zone (HAZ / Daerah Terpengaruh Panas)



Gambar 4 HAZ pada posisi pengelasan 1G



Gambar 5 HAZ pada posisi pengelasan 2G



Gambar 6 HAZ pada posisi pengelasan 3G

1) 1G HAZ (Flat):

Pengujian struktur mikro sambungan las posisi 1G transisi fasa pada daerah Heat *Affected Zone* (HAZ). Area HAZ mengalami perubahan struktur mikro akibat panas pengelasan yang menyebabkan pertumbuhan butir dan transformasi fasa pada material. Terdapat batas yang jelas antara fasa ferit dan austenit yang saling berdampingan, di mana morfologi serta ukuran butirnya sangat dipengaruhi oleh parameter masukan panas (*heat input*) selama proses penyambungan berlangsung. Menambahkan Winardi (2020) keseimbangan antara fasa ferit dan austenit pada daerah transisi ini memegang peranan krusial dalam menentukan karakteristik mekanik serta ketahanan korosi sambungan las agar tetap handal dan terhindar dari cacat mikrostruktur.

2) 2G HAZ (Horizontal):

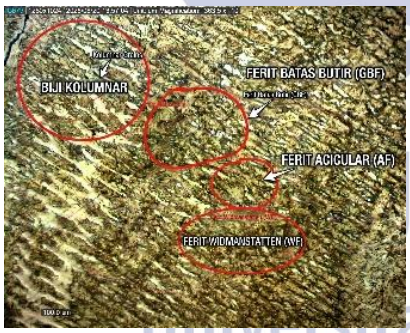
Pengujian struktur mikro pada sambungan las posisi 2G memperlihatkan transisi fasa yang signifikan pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ).

Area HAZ mengalami perubahan struktur mikro akibat siklus panas pengelasan yang menyebabkan pertumbuhan butir dan transformasi fasa pada material. Di dalam wilayah ini, terdapat batas yang jelas antara fasa ferit dan austenit yang saling berdampingan, di mana morfologi serta ukuran butirnya sangat dipengaruhi oleh parameter masukan panas (*heat input*) selama proses penyambungan berlangsung. Keseimbangan antara fasa ferit dan austenit pada daerah transisi ini memegang peranan krusial dalam menentukan karakteristik mekanik serta ketahanan korosi sambungan las agar tetap handal dan terhindar dari cacat mikrostruktur.

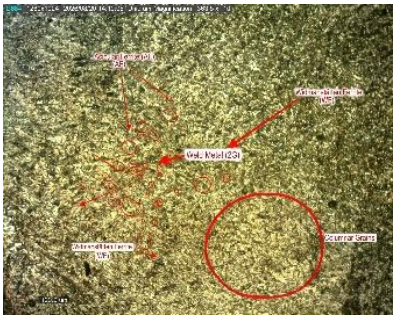
3) 3G HAZ (Vertical):

Pengujian struktur mikro pada sambungan las posisi 3G memperlihatkan transisi fasa yang signifikan pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ). Area HAZ mengalami perubahan struktur mikro akibat siklus panas pengelasan yang menyebabkan pertumbuhan butir dan transformasi fasa pada material. Di dalam wilayah ini, terdapat batas yang jelas antara fasa ferit dan austenit yang saling berdampingan, di mana morfologi serta ukuran butirnya sangat dipengaruhi oleh parameter masukan panas (*heat input*) selama proses penyambungan berlangsung. Keseimbangan antara fasa ferit dan austenit pada daerah transisi ini memegang peranan krusial dalam menentukan karakteristik mekanik serta ketahanan korosi sambungan las agar tetap handal dan terhindar dari cacat mikrostruktur.

c. Analisis Weld Metal



Gambar 7 weld metal benda kerja pada posisi pengelasan 1G



Gambar 8 weld metal benda kerja pada posisi pengelasan 2G



Gambar 9 weld metal benda kerja pada posisi pengelasan 3G

1) 1G Weld Metal:

Pengamatan struktur mikro pada daerah logam las (*weld metal*) posisi datar (1G) memperlihatkan terbentuknya butir kolumnar serta evolusi fasa yang mencerminkan karakteristik gradien suhu dan laju pendinginan pada kampuh datar. Berdasarkan hasil identifikasi pada mikrograf, konstituen yang muncul meliputi butir kolumnar (*columnar grains*) yang tumbuh mengarah ke pusat kubangan las dari garis fusi mengikuti arah disipasi panas terbesar, ferit batas butir (*grain boundary ferrite*) yang terdistribusi di sepanjang batas butir austenit awal akibat nukleasi pada suhu tinggi, ferit Widmanstätten dengan karakteristik bilah atau jarum memanjang ke arah dalam butir, serta ferit *acicular* yang tersusun atas jarum-jarum pendek berorientasi acak dan saling mengunci (*interlocking*). Keseimbangan pembentukan fasa-fasa tersebut dipengaruhi oleh siklus termal pengelasan 1G yang cenderung lebih seragam dibandingkan posisi miring atau vertikal, sehingga memungkinkan pertumbuhan fasa intragranular berlangsung secara terarah.

Dominasi fasa ferit *acicular* pada struktur mikro logam las posisi 1G memberikan implikasi metalurgis yang menguntungkan bagi performa mekanik sambungan. Struktur jarum pendek yang saling mengunci (*interlocking*) memecah jalur perambatan retak secara efektif serta menghambat pergerakan dislokasi, sehingga meningkatkan ketangguhan impak dan kekuatan sambungan las tanpa mengorbankan duktilitas secara berlebihan. Keberadaan ferit *acicular* yang lebih dominan dibandingkan fasa getas atau bilah panjang seperti ferit Widmanstätten menunjukkan bahwa kondisi termal pada posisi 1G mendukung pembentukan mikrostruktur yang tangguh dan stabil. Dengan demikian, logam las pada posisi 1G tidak hanya memperlihatkan transisi fasa yang jelas sesuai laju pendinginannya, tetapi juga menghasilkan karakteristik struktur mikro yang mendukung keandalan mekanik sambungan las

2) 2G Weld Metal (Horizontal):

Struktur mikro pada daerah lasan tampak lebih padat dengan orientasi butiran yang cenderung terdistribusi menyamping sebagai implikasi langsung dari teknik manipulasi elektroda yang

digunakan untuk menahan pengaruh gaya gravitasi pada posisi horizontal. Selama proses pengelasan berlangsung, ayunan maupun sudut elektroda diarahkan secara terkendali agar kubangan logam cair tetap berada pada jalur sambungan dan tidak melorot ke arah bawah. Pola pergerakan elektroda tersebut memengaruhi arah gradien suhu setempat serta jalur pertumbuhan kristal saat logam membeku, sehingga butiran-butiran hasil solidifikasi mengarah menyamping mengikuti dinamika pembekuan kolam las.

Mekanisme pendinginan pada posisi horizontal juga menunjukkan karakteristik yang berbeda akibat orientasi kampuh yang menuntut konsistensi kecepatan *travel* (*travel speed*). Kecepatan gerak elektroda yang dijaga tetap stabil diperlukan untuk mengimbangi tarikan gravitasi dan mencegah logam cair turun melewati batas kampuh, sekaligus menjaga keseragaman masukan panas (*heat input*) sepanjang alur pengelasan. Kestabilan laju perpindahan panas tersebut menghasilkan laju pendinginan yang relatif terkendali namun tetap dipengaruhi oleh konduksi ke material induk di sekitarnya, sehingga terbentuk struktur mikro yang padat dengan keseragaman morfologi yang lebih terjaga sepanjang sambungan

.

3) 3G Weld Metal (Vertical):

Karakteristik struktur mikro hasil pengelasan *vertical-up* pada arus 100 A memperlihatkan terbentuknya fasa dengan kerapatan tinggi serta morfologi *acicular* dan dendritik yang sangat rapat. Kondisi ini dipicu oleh *dwell time* panas yang lebih lama pada satu titik sehingga memunculkan gradien suhu curam dan laju pendinginan lokal yang lebih cepat melalui konduksi ke plat di bawahnya. Percepatan pendinginan tersebut membatasi waktu pertumbuhan kristal selama pembekuan, sehingga mendorong penghalusan ukuran butir sekaligus memperkuat kerapatan susunan fasa pada daerah lasan.

Percepatan pendinginan lokal dan penumpukan panas pada posisi *vertical-up* juga membawa konsekuensi mekanis berupa potensi tegangan sisa (*residual stress*) yang lebih tinggi dibandingkan posisi datar (1G). Gradien termal yang tajam serta hambatan kontraksi pada sambungan memicu distribusi regangan plastis yang tidak merata ketika logam mendingin. Pengelasan *vertical-up* pada arus 100 A memang menguntungkan dari sisi kehalusan struktur mikro dan kerapatan fasa, tetapi tetap menuntut kewaspadaan terhadap akumulasi tegangan sisa pada sambungan.

.

Simpulan

Berdasarkan runtutan penelitian yang telah dilaksanakan oleh peneliti serta mengacu pada hasil penelitian dan pembahasan, peneliti menyimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan pengujian, posisi 1G (*flat*) menghasilkan kekerasan tertinggi (52,31 HVN) berkat laju pendinginan merata yang membentuk pertumbuhan butir HAZ terkontrol dan struktur *weld metal* yang padat. Posisi 3G (*vertical*) berada di urutan kedua (51,07 HVN) dengan struktur dendritik rapat meskipun memicu distorsi batas butir pada HAZ. Sementara itu, posisi 2G (*horizontal*) mencatat kekerasan terendah (49,72 HVN) akibat hambatan gravitasi lateral yang membuat struktur pembekuan *weld metal* lebih longgar.
2. Posisi pengelasan 1G, 2G, dan 3G memengaruhi struktur mikro di zona HAZ dan weld metal sambungan las SMAW, sementara base metal tetap homogen. Posisi 1G (datar) menghasilkan struktur dendritik kolom yang teratur dan pertumbuhan butir yang mulus karena distribusi panas yang simetris. Posisi 2G (horizontal) menyebabkan pelebaran batas butir dan distorsi awal karena akumulasi panas dan gaya gravitasi. Posisi 3G (vertikal) menciptakan gradien suhu yang curam dan waktu penahanan panas yang lebih lama, menghasilkan butir lebih halus dan kerapatan fasa tinggi pada logam las.

Ucapan Terima Kasih (opsional)

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya atas dukungan fasilitas, sarana laboratorium, serta iklim akademik yang sangat mendukung terselesaikannya penelitian ini. Ungkapan terima kasih dan apresiasi yang tulus juga disampaikan kepada para dosen pembimbing serta tim penelaah atas arahan, bimbingan, masukan konstruktif, dan dedikasi waktu yang telah diberikan demi menyempurnakan penulisan artikel ilmiah ini. Selain itu, penulis mengapresiasi seluruh pihak dan staf teknis laboratorium yang telah membatu dalam proses pengambilan data serta kelancaran jalannya pengujian di lapangan. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi nyata bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang teknik mesin.

DAFTAR PUSTAKA

Bawazir. (2021). Pengaruh Variasi Elektroda Las Pada Sambungan Pengelasan Smaw Baja St. 37 Dengan St. 40 Terhadap Sifat Mekanik. *Jurnal Mesin Sains Terapan*. Https://Doi.Org/Dx.Doi.Org/10.30811/Jmst.V5i2.2407

Dhianti Putri, A., Sayyida Hilmia, R., Almaliyah, S., Permana, S., & Studi Bimbingan Dan Konseling, P. (2023). *Pengaplikasian Uji T Dalam Penelitian Eksperimen*. *4*(3). Https://Doi.Org/10.46306/Lb.V4i3

Ikhsan, M. (2022). *Nomor 3 Maret 2022 Hal 1-12 Jurnal Homepage (Aisi 1070) Pada Las Tig (Tungsten Inert Gas) Dengan Variasi Arus 120*. *2*, 140.

Memenuhi, G., Tenaga, K., Berkualifikasi, K., Pengelasan, B., Sriwijayasih, I., Arninputranto, W., Fikry, I., Khaqiqi, A. S., Widyastuti, I. I., Nisazarifa,

A., Al Hazman, M., Wuryaningrum, N. D., Abdillah, H. N., & Wibowo, A. T. (2025). Pelatihan Welding Inspector Di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. *Jurnal Cakrawala Maritim*, *8*. Http://Jcm.Ppns.Ac.Id

Moh. Syaiful Amri, Bachtiar, Moh. Miftachul Munir, Mukhlis, Muhammad Ari, Mohammad Thoriq Wahyudi, Kurniawan, I., & Haruri, R. H. (2025). Analisis Kuat Arus Pengelasan Sambungan Tube To Tubesheet Stainless Steel Type 316l Terhadap Struktur Mikro, Dan Kekerasan Di Heat Exchanger. *Jurnal Teknologi Maritim*, *8*(2), 1–12. Https://Doi.Org/10.35991/Jtm.V8i2.78

Prayogo, R. D. (2024). *Analysis Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Baja Ss 41 Pada Pengelasan Gtaw*.

Setiawan, A., & Wardana, Y. (2006). Analisa Ketangguhan Dan Struktur Mikro Pada Daerah Las Dan Haz Hasil Pengelasan Sumerged Arc Welding Pada Baja Sm 490. *Jurnal Teknik Mesin*, *8*(2), 57–63. Http://Www.Petra.Ac.Id/~Puslit/Journals/Dir.Php?Departmentid=Mes

Suardi, Alamsyah, Pawara, M. U., Setiawan, W., & Ramadana, A. N. (2023). Kajian Eksperimental Terhadap Sifat Kekuatan Tarik Material Pada Poros Baling-Baling Kapal. *Jurnal Riset & Teknologi Terapan Kemaritiman*, *2*(2), 61–66. Https://Doi.Org/10.25042/Jrt2k.122023.03

Suher, M. (2024). Analisis Pengaruh Gas Back Purging Argon Dan Nitrogen Terhadap Struktur Mikro Pada Pengelasan Material Stainless Steel 316l Menggunakan Metode Gtaw. In *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* (Vol. 12).

Surahman. (2023). Pengaruh Variasi Arus Las Smaw Terhadap Uji Tarik Dan Uji Kekerasan Serta Struktur Mikro Pada Bahan St 37. *Journal Of Engineering, Science And Technology*. Https://Doi.Org/10.47134/Jesty.V1i3.21

Surahman, Ana, & Kosjoko. (2023). *Pengaruh Variasi Arus Las Smaw Terhadap Uji Tarik Dan Uji Kekerasan Serta Struktur Mikro Pada Bahan St 37*.

Syaiful, A. Z., Tang, M., Dwita, J., Kada, R. B., & Kimia, P. T. (N.D.). *Analisis Laju Korosi Dan Lifetime Material Stainless Steel*.

Winardi, Y., Fadelan, F., Munaji, M., & Krisdiantoro, W. N. (2020). Pengaruh Elektroda Pengelasan Pada Baja Aisi 1045 Dan Ss 202 Terhadap Struktur Mikro Dan Kekuatan Tarik. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, *8*(2), 86. Https://Doi.Org/10.23887/Jptm.V8i2.27772

Yasinta Putri Damayanti, Mulyadi, Dan D. (2019). Analisa Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Smaw Material Baja Ss 316 L Terhadap Kekerasan Rocwell. *Journal Of Technical Engineering: Piston Vol. 3, No. 1, (2019) 35-42*, *3*(1), 8. Https://Doi.Org/10.32493/Pjte.V3i1.7490

UNESA Universitas Negeri Surabaya