

ANALISIS STRUKTUR MIKRO TERHADAP HASIL EKPERIMENTAL SAMBUNGAN LAS SMAW PADA BAJA KARBON ST 37

Toni Okviyanto^{1)*}, Dibyo Setiawan²⁾, Gugun Nugraha²⁾, Sutrimo²⁾, Destri Muliastri²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya, Jl. Sriwijaya Negara Bukit Besar, Palembang 30139

²⁾Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir, Bandung Barat 40559

*email korespondensi: toni.okviyanto@polsri.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Received:
09/06/2023

Accepted:
15/06/2023

Online-Published:
17/06/2023

ABSTRAK

Sambungan las merupakan proses penyambungan dua logam atau lebih menggunakan energi termal melelehkannya. Proses Termal sambungan las mempengaruhi perubahan fasa dan sifat fisik, struktur mikro serta mekanik las. Tujuan kegiatan, menganalisis hasil sambungan las SMAW, parameter kuat arus dan sudut kampuh las terhadap struktur mikro baja karbon ST 37 merupakan kelanjutan dari kegiatan publikasi sebelumnya. Variasi kuat arus 90 A, 100 A, 110 A dan sudut kampuh 60° dan 70° dengan elektroda Ø2,6 mm dan Ø3,2 mm. Ketika proses sambungan las, terjadi serangkaian siklus termal logam las dan HAZ, dari termalisasi hingga temperatur maksimum kemudian mengalami proses pendinginan. Komposisi akhir logam las, logam pengisi dan kondisi udara di daerah las merupakan faktor pembentukan struktur mikro. Struktur mikro seperti acicular ferrit dapat meningkatkan sifat mekanik logam las. Visualisasi struktur mikro menggunakan mikroskop optik pada proses pemeriksaan metalografi dilakukan pengamatan ukuran butir dan fasa yang terbentuk pada logam dasar, zona pengaruh panas (HAZ), fusi line (FL) dan logam las (WL). Hasil penelitian menunjukkan logam las (WM) dengan serangkaian eksperimen cenderung memiliki struktur acicular ferrit yang lebih besar. Kesimpulan analisis struktur mikro semakin besar kuat arus dan sudut kampuh maka semakin banyak struktur acicular ferrit yang terbentuk.

Kata Kunci: Kampuh las, Struktur mikro, Mikroskop optik, Acicular ferrite

ABSTRACT

Welding is a process of joining two or more metals using thermal energy to melt them. The thermal processes of welded joints affect the phase change and the physical, microstructural, and mechanical properties of the weld. The purpose of the activity, to analyze the results of SMAW welded joints, parameters of current strength, and seam angle of the ST 37 carbon steel microstructure is a continuation of previous publication activities. Variation of the current strength of 90 A, 100 A, 110 A and seam angles of 60° and 70° with electrodes Ø2.6 mm and Ø3.2 mm. During the welding process, a series of thermal cycles of the weld metal and HAZ occur, from thermalization to maximum temperature and then undergoing a cooling process. The final composition of the weld metal, filler metal, and the condition of the air in the weld area are factors for the formation of the microstructure. Microstructures such as acicular ferrite can improve the mechanical properties of the weld metal. Visualization of the microstructure using an optical microscope during the metallographic inspection process was carried out by observing the grain size and phase formed on the base metal, heat-affected zone (HAZ), fusion line (FL), and weld metal (WL). The results showed that the weld metal (WM) with a series of experiments tended to have a larger acicular ferrite structure. The conclusion of the microstructural analysis is that the greater the current strength and seam angle, the more acicular ferrite structures are formed.

Keywords : Weld joint, Microstructure, Optical microscope, Acicular ferrite

© 2023 The Authors. Published by
Machinery: Jurnal Teknologi Terapan
(Indexed in SINTA)

doi:
doi.org/10.5281/zenodo.8049215

1 PENDAHULUAN

Pemanfaatan material logam pada sektor industri jasa konstruksi salah satunya membutuhkan perakitan dengan teknik sambungan las (Husaini 2020). Sambungan las merupakan salah satu teknik penyambungan yang membutuhkan keterampilan menyambung yang khusus dalam memperoleh mutu sambungan logam yang baik (Sukarman 2020). Sambungan las merupakan proses sambungan dua buah logam atau lebih, menggunakan energi termal untuk melelehkan material dengan tujuan penyatuan (*fused*), pemberian penetrasi atau tidak, dan penggunaan bahan tambahan atau tidak (Daryono, 2021).

Penetapan desain rancangan sambungan las untuk industri jasa konstruksi dan mesin, perlu memperhatikan beberapa faktor penting yang harus dipahami seperti teknik sambungan las, pemilihan material, dan pengetahuan sifat material, ketika mengalami proses perlakuan termal (Diby 2023). Faktor penting lainnya yang perlu diperhatikan dalam menentukan parameter proses sambungan las seperti tegangan, nilai kuat arus, penekanan termal, kecepatan proses sambungan las, pemilihan elektroda, dan kampuh las. Penentuan parameter tersebut sangat mempengaruhi struktur mikro dan sifat mekanik hasil sambungan las. (Wiryosumarto, 2000). Termal yang dihasilkan selama proses sambungan las memiliki pengaruh yang signifikan terhadap distribusi temperatur, tegangan internal dan regangan. Selain itu, termal dari proses pengelasan juga mempengaruhi transformasi fasa, sifat fisik, mekanik dan struktur mikro hasil sambungan las.

Proses sambungan las yang terjadi, mengakibatkan terjadinya serangkaian siklus termal pada logam las (*weld metal*) dan HAZ, dari pemberian termal hingga temperatur maksimum, selanjutnya mengalami proses pendinginan (Kumar 2019). Transformasi struktur mikro pada proses sambungan las, berkaitan dengan media pendingin dan laju percepatan pendinginan yang terjadi. Tingkat percepatan pendinginan menentukan nilai transformasi *accicular ferrite*. *Accicular ferrite* memiliki sifat lebih keras memiliki fungsi sebagai *inter-locking structure*, merupakan struktur yang diharapkan untuk setiap proses sambungan las. (Azis, dkk, 2019). Faktor laju pendinginan harus diperhatikan, karena sangat penting pada temperatur kritis pada rentan temperatur 800°C hingga 500°C). Pada rentan temperatur tersebut akan transformasi fasa-fasa keras yang dapat berdampak pada terjadinya kecacatan pada hasil sambungan las yang tidak diharapkan yang dapat mereduksi ketangguhan hasil sambungan las (Suharno, 2008).

Sifat-sifat logam, seperti sifat mekanik dan fisik, dipengaruhi oleh struktur mikro, selain komposisi kimia logam tersebut. Contohnya seperti logam paduan menunjukkan sifat mekanik yang berbeda beda saat struktur mikro bertransformasi (Djafar 2021). Logam dan paduan mengalami transformasi struktur mikro saat diberikan perlakuan termal dan perlakuan dingin pada kecepatan tertentu. Logam paduan yang sama memiliki komposisi kimia, tetapi memiliki sifat mekanik dan struktur mikro yang tidak sama. Hal ini terjadi karena struktur mikro yang terbentuk dari proses transformasi yang dialami oleh logam tersebut, seperti proses perlakuan termal yang dialami ketika proses sambungan las berlangsung (Erizal, 2009).

Beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait hasil uji sifat mekanik menunjukkan bahwa tegangan tarik dan ketangguhan logam hasil sambungan las pada baja paduan rendah dan baja karbon sangat dipengaruhi pada struktur mikro yang terbentuk di area sambungan las. Ketika proses pendinginan terjadi lambat, struktur *ferrit* mulai perlahan transformasi di sepanjang tepi dan kemudian tumbuh ke dalam menuju batas butir *austenit*. *Ferrit* merupakan kristal besi murni yang memiliki sifat lunak dan ulet (Sailon 2014). *Ferit* yang transformasi pada proses ini disebut *grain boundary ferrite*. Transformasi *ferit* ini terjadi dengan proses difusi karbon. Transisi dari batas butir *austenit* menuju ke butir *austenit* seperti pelat panjang, pertumbuhan *acicular ferrite* terjadi karena adanya kerapatan pada *nukleasi* dengan kepadatan tinggi. Proses transisi tersebut berkontribusi pada transformasi *acicular ferrite* yang memiliki wujud seperti jarum yang berorientasi arah acak (Anang, dkk, 2006). Struktur *acicular ferrite* dengan wujud seperti jarum anyaman. Wujud tersebut kemudian disebut dengan *interlock structure*. (Suharno, dkk 2005).

Wayan melakukan uji struktur mikro dengan pembesaran 200x. Struktur mikro dengan kuat arus 70 A dengan sudut kampuh 55° dan 75° didominasi oleh struktur *cementit*, terlihat butiran perlit halus yang menunjukkan material bersifat keras/getas. Pada spesimen dengan kuat arus 85 A dan 100 A dengan variasi sudut kampuh 55° dan 75° didominasi struktur *ferit* terlihat juga butiran perlit kasar yang merupakan material bersifat lunak/ulet (Wayan 2020). Andi melakukan penelitian dengan variasi arus 85 Ampere (A), 90 Ampere (A), 110 Ampere (A) dan sudut kampuh V sebesar 60° dan 80° untuk penyambung dua material SS 410 dengan menggunakan las SMAW. Hasil penelitian yang didapat menunjukkan nilai kekerasan tertinggi terjadi pada arus 110 A dengan sudut kampuh 80° pada daerah HAZ yang memiliki struktur *ferrit* dan karbida (Andi 2019).

Proses perwujudan struktur mikro pada logam las terjadi karena proses transformasi fase *austenite* menuju ke *ferrit*. Proses perwujudannya dipengaruhi komposisi kimia *base metal* dan logam pengisi (*filler*), masukan termal, dan proses percepatan pendinginan (Suharno, 2009). Nilai termal yang masuk pada proses sambungan las yang berlangsung, sangat mempengaruhi wujud penampang hasil sambungan las meliputi besarnya permukaan cairan *base metal*, *filler* dan HAZ. Sumber termal saat proses sambungan las memiliki fungsi utama pada cairan las (*fusion welding*) untuk mencairkan logam *base metal* dan *filler*, yang berpengaruh pada proses pembentukan struktur mikro hasil pengelasan (Riyadi, dkk, 2015).

Hasil penelitian sebelumnya (Diby Setiawan dkk, 2023) membahas eksperimen variasi kuat arus dan sudut kampuh untuk sambungan las SMAW dengan variasi kuat arus 90 A, 100 A dan 110 A, serta terapan sudut kampuh 60⁰ dan 70⁰ pada material ST 37 selanjutnya dilakukan analisis terkait sifat mekanis.

2 BAHAN DAN METODA

2.1 Alat dan Bahan

2.1.1 Alat dan Peralatan Penelitian

- a) Mesin las;
- b) Elektroda E7016;
- c) Sarung tangan las;
- d) *Welding helmet*;
- e) *Apron* las;
- f) Tang penjepit;
- g) Amplas nomor 120-200;
- h) Sikat kawat;
- i) Gergaji;
- j) *Mold resin*;
- k) Gunting;
- l) *Glaze*;
- m) *Resin*;
- n) *Katalis*;
- o) Lakban.

2.1.2 Bahan

Material yang digunakan adalah material baja ST 37. Material tersebut termasuk klasifikasi baja karbon medium, karena kandungan karbon yang dimiliki sekitar 0,162 %. Komposisi kimia pada baja ST 37 dapat diketahui dengan dilakukan pengujian *spektrometri*. Pengujian ini dilakukan di laboratorium Pengujian Material, Politeknik Manufaktur Bandung. Hasil uji *spektrometri* menunjukkan bahwa komposisi kimia baja ST 37 yang digunakan pada studi ini telah sesuai dengan referensi dan hasil pengujian tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia baja ST 37

Unsur-unsur	Persentase %
Carbon (C)	0,162
Silicon (Si)	0,233
Sulfur (S)	0,01
Phorporus (P)	0,021
Manganese (Mn)	0,867
Chromium (Cr)	0,02
Molybdenum (Mo)	0,01
Copper (Cr)	0,003
Wolfram (W)	0,002
Titanium (Ti)	0,003
Aluminium (Al)	0,055
Ferro/Iron (Fe)	98,610

Komposisi kimia spesimen penting untuk diketahui, hal ini bertujuan untuk menentukan dan memilih logam pengisi (*filler*) yang digunakan. Penentuan *filler* yang akan digunakan pada studi ini dilakukan untuk memastikan bahwa *melting point* yang terbentuk sesuai dengan logam dasar (*based metal*) yang akan disambung. *Melting point* penting dimana berfungsi untuk melihat kadar kandungan karbon pada material logam dasar (*based metal*) yang akan disambung.

2.2 Pelaksanaan Studi

2.2.1 Pembuatan Spesimen

Spesimen pelat baja ST 37 yang akan dilas dengan dimensi 300x100 mm tebal 8 mm dipotong

menggunakan blender dan dihaluskan. Selanjutnya dibentuk pola kampuh V (*butt joint*) dengan sudut 60° dan 70° menggunakan gerinda. Proses sambungan las dilakukan tiga kali proses antara lain proses *rooting* menggunakan elektroda E7016 $\varnothing 2,6$ mm dengan polaritas DCEN, kedua yaitu proses *filler* dengan polaritas DCEN menggunakan elektroda dengan $\varnothing 3,2$ mm, dan yang terakhir proses *capping* dengan polaritas DCEP menggunakan elektroda dengan $\varnothing 3,2$ mm. Parameter sambungan las yang digunakan yaitu 90A, 100A dan 110A.



Gambar 1. Hasil pengelasan spesimen uji

Setelah dilakukan proses sambungan las seluruh spesimen, kemudian dibuat spesimen benda uji struktur mikro. Pelat hasil sambungan las dipotong pada dimensi 28 x 10 mm menggunakan gergaji. Cetakan *resin* dibuat menggunakan lakban agar tidak mudah lepas. Oleskan *glaze* pada cetakan *resin* kemudian setiap sisi cetakan *resin* ditempelkan *plastisin*. Campurkan *resin* dengan *katalis hardener*. Setelah cairan tercampur, masukkan kedalam cetakan dan diamkan selama 6 jam. Lakukan langkah tersebut ke semua spesimen uji.



Gambar 2. Spesimen benda uji yang dengan lapisan *resin*

2.2.2 Pelaksanaan pengujian

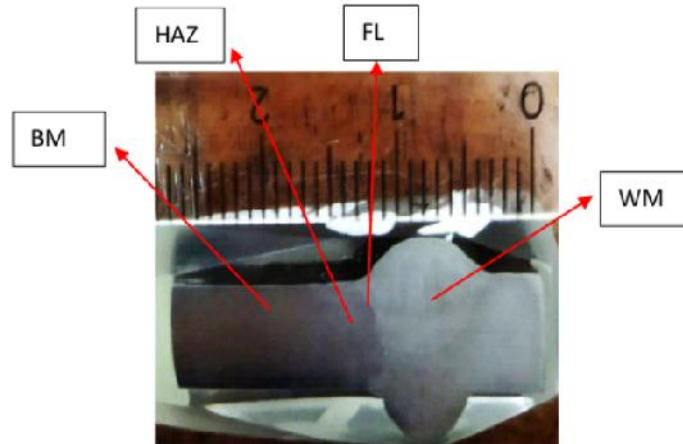
Pengujian *metalografi* bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dari hasil sambungan las pada masing-masing arus dan sudut kampuh berdasarkan struktur mikro yang dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop optik. Proses mempersiapkan spesimen uji dan melakukan prosedur metalografi mengikuti standar ASTM E1920-03 (ISO/ASTM International 2014). Daerah hasil sambungan las yang diteliti yaitu logam dasar (*base metal*), *HAZ area*, *fusion line*, dan logam sambungan las (*weld metal*) dengan potret gambar pembesaran 20 kali.



Gambar 3. Mikroskop Olympus

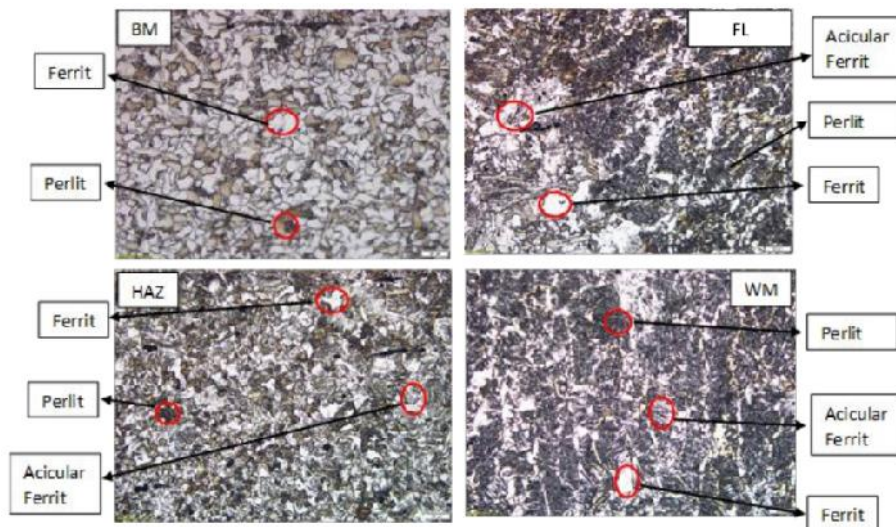
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengujian *metalografi* dilakukan untuk mengamati struktur mikro yaitu ukuran butir serta fasa yang terbentuk pada logam induk (*base metal*), HAZ (*Heat Affected Zone*), *fusion line* (FL), dan logam las (*weld metal*). Spesimen area yang diamati dengan metalografi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Spesimen area yang diamati dengan *metalografi*

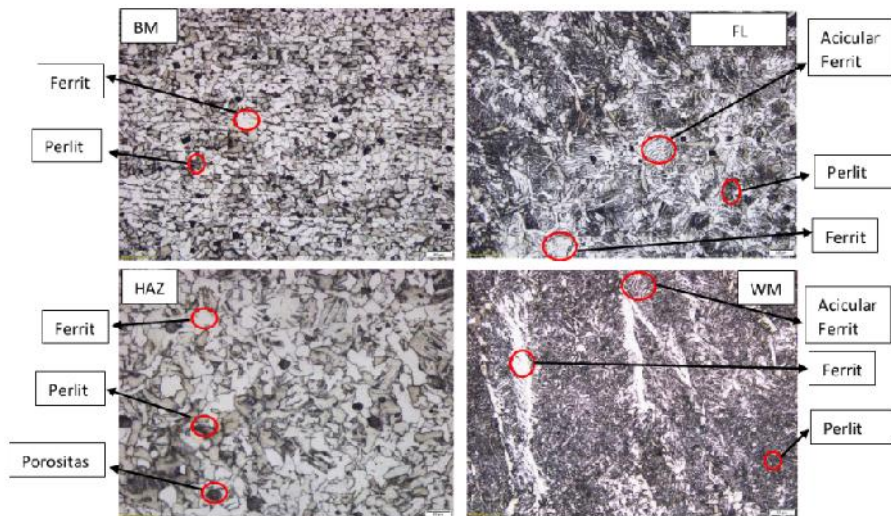
3.1 Visualisasi mikro struktur spesimen eksperimen pada kuat arus 90 A dan sudut kampuh 60°



Gambar 5. Visualisasi struktur mikro spesimen dari eksperimen kuat arus 90 A dan sudut kampuh 60°

Gambar 5 menunjukkan visualisasi struktur mikro spesimen hasil eksperimen sambungan las SMAW baja karbon ST 37 pada parameter variasi kuat arus 90 A dan sudut kampuh 60°, menghasilkan struktur mikro berupa *ferrit* (area terang), *perlit* (area gelap) dan *acicular ferrit*. Struktur mikro *ferrit* lebih mendominasi pada *base metal* dan HAZ dibandingkan struktur mikro *ferrit*. Sedangkan pada *fusion line* (FL) dan *weld metal* (WL) struktur mikro *perlit* lebih banyak dibandingkan dengan *ferrit*. Pada area HAZ, FL dan BM terdapat *acicular ferrit*.

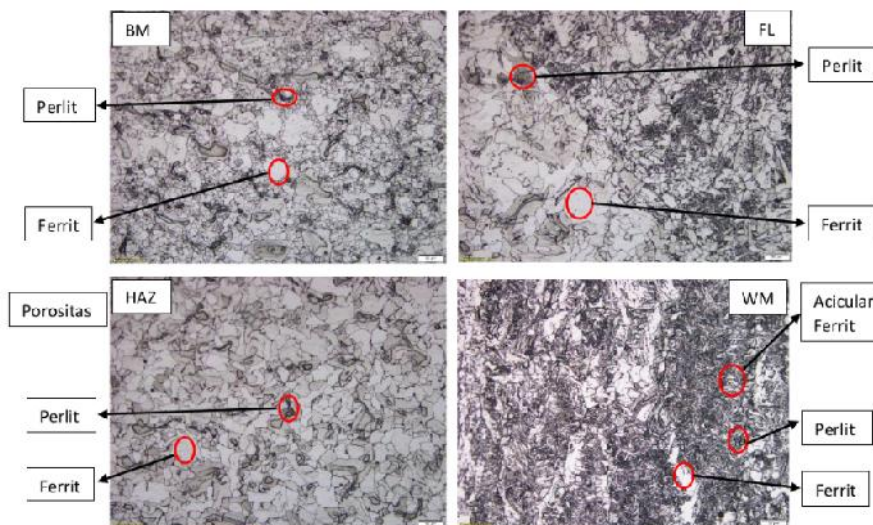
3.2 Visualisasi struktur mikro spesimen eksperimen kuat arus 100 A dan sudut kampuh 60°



Gambar 6. Visualisasi struktur mikro spesimen eksperimen kuat arus 100A dan sudut kampuh 60°

Spesimen eksperimen sambungan las SMAW variasi kuat arus 100 A dan sudut kampuh 60°, menghasilkan struktur mikro berupa *ferrit* (area terang), *perlit* (area gelap), dan *acicular ferrit*, struktur mikro *ferrit* lebih dominan pada *base metal* dan *HAZ* dibandingkan struktur mikro *perlit*. Sedangkan pada *fusion line* (*FL*) dan *weld metal* (*WM*) struktur mikro *perlit* lebih banyak dibandingkan dengan *ferrit*. Pada area *FL* dan *WM* terdapat *acicular ferrit* yang mengalami peningkatan dari eksperimen sebelumnya. Terdapat *porositi* pada spesimen namun sedikit.

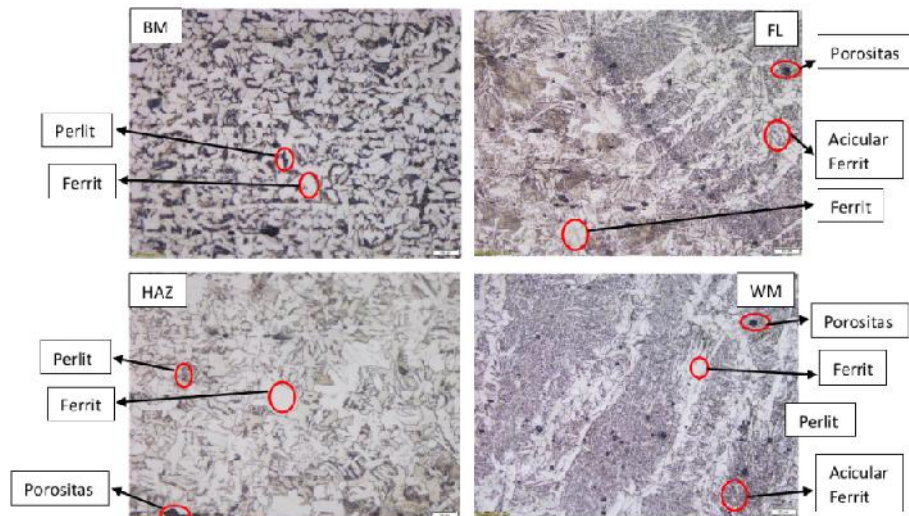
3.3 Visualisasi spesimen eksperimen kuat arus 110 A dan sudut kampuh 60°



Gambar 7. Visualisasi struktur mikro spesimen eksperimen kuat arus 110 A dan sudut kampuh 60°

eksperimen variasi kuat arus 110 A dan sudut kampuh 60°, menghasilkan struktur mikro berupa *ferrit* (area terang), *perlit* (area gelap), dan *acicular ferrit*, struktur mikro *ferrit* lebih dominan pada *base metal* (*BM*) dan *HAZ* dibandingkan struktur mikro *perlit*. Sedangkan pada *fusion line* (*FL*) dan *weld metal* (*WM*) struktur mikro *perlit* lebih banyak dibandingkan dengan *ferrit*. Pada area *weld metal* (*WM*) terdapat *acicular ferrit* cenderung banyak.

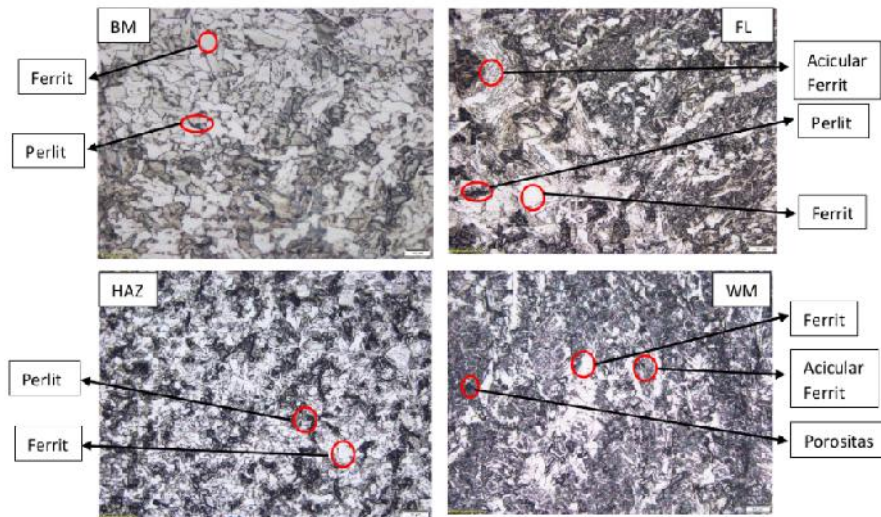
3.4 Visualisasi spesimen eksperimen kuat arus 90 A dan sudut kampuh 70°



Gambar 8. Visualisasi struktur mikro spesimen eksperimen kuat arus 90 A dan sudut kampuh 70°

Ekperimen variasi kuat arus 90 A dan sudut kampuh 70°, menghasilkan struktur mikro berupa *ferit* (area terang), *perlit* (area gelap), dan acicular ferrit, struktur mikro *ferit* lebih dominan pada base metal dan HAZ dibandingkan struktur mikro *perlit*. Sedangkan pada *fusion line* (FL) dan *weld metal* (WM) struktur mikro *perlit* lebih banyak dibandingkan dengan *ferrit*. Pada area FL dan WM terdapat *acicular ferrit*. Terdapat *porositi* pada HAZ, FL, dan WM cenderung sedikit.

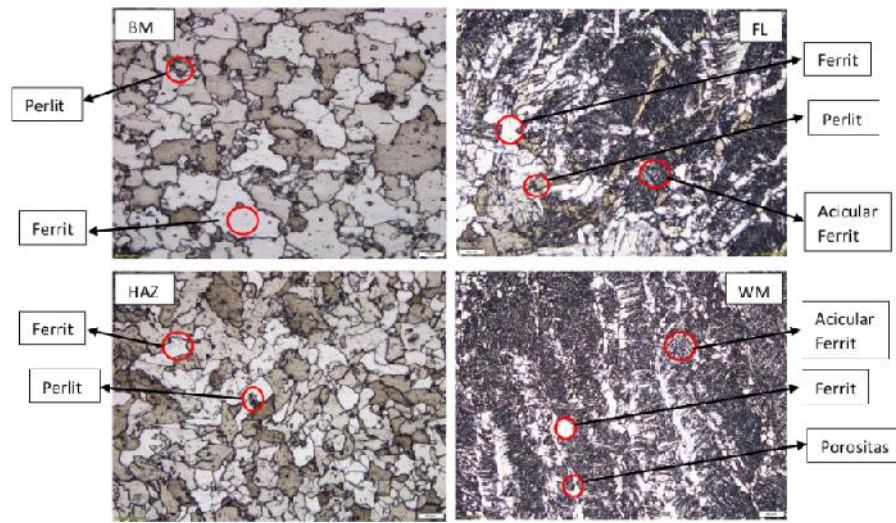
3.5 Visualisasi spesimen eksperimen kuat arus 100 A dan sudut kampuh 70°



Gambar 9. Visualisasi struktur mikro spesimen dengan kuat arus 100 A dan sudut kampuh 70°

Ekperimen variasi kuat arus 100 A dan sudut kampuh 70°, menghasilkan struktur mikro berupa *ferit* (area terang), *perlit* (area gelap), dan *acicular ferrit*, struktur mikro *ferit* lebih dominan pada *base metal* dan HAZ dibandingkan struktur mikro *perlit*. Sedangkan pada *fusion line* (FL) dan *weld metal* (WM) struktur mikro *perlit* lebih banyak dibandingkan dengan *ferrit*. Pada area FL dan WM terdapat *acicular ferrit*. Terdapat *porositi* pada WM yang cenderung kecil.

3.6 Visualisasi spesimen eksperimen kuat arus 110 A dan sudut kampuh 70°



Gambar 10. Visualisasi struktur mikro eksperimen spesimen dengan kuat arus 110 A dan sudut kampuh 70°

Eksperimen variasi kuat arus 100 A dan sudut kampuh 70°, menghasilkan struktur mikro berupa *ferrit* (area terang), *perlit* (area gelap), dan *acicular ferrit*, struktur mikro *ferrit* lebih dominan pada *base metal* dan *HAZ* dibandingkan struktur mikro *perlit*. Sedangkan pada *fusion line (FL)* dan *weld metal (WM)* struktur mikro *perlit* lebih banyak dibandingkan dengan *ferrit*. Pada area *FL* dan *WM* terdapat *acicular ferrit*. Terdapat *porositas* pada *WM* cenderung kecil.

Visualisasi struktur mikro masing-masing spesimen dapat dilihat bahwa *area base metal* memiliki jumlah *ferrit* (bagian berwarna putih) lebih banyak dibandingkan dengan jumlah *perlit* (bagian berwarna hitam). *ferrit* pada *HAZ* lebih banyak dibandingkan *perlit* tetapi lebih sedikit dibandingkan bagian *base metal*. Pada area *HAZ* untuk variasi kuat arus 90 A dengan sudut kampuh 60° terdapat *acicular ferrit* yang disebabkan besarnya masukan termal dengan proses pendinginan yang lama.

Untuk daerah *fusion line (FL)* hampir semua spesimen terdapat *ferrit*, *perlit*, dan *acicular ferrit*. Sedangkan pada *weld metal (WM)* dapat dilihat *acicular ferrit* lebih banyak dibandingkan *perlit* dan *ferrit* pada semua spesimen. Berdasarkan keseluruhan spesimen *weld metal* pada variasi kuat arus 110 A dan sudut kampuh 70° memiliki *acicular ferrit* terbanyak.

Struktur mikro *acicular ferrit* dalam proses terbentuknya sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti inklusi. Inklusi merupakan partikel halus yang terjadi akibat adanya reduksi atau reaksi oksidasi pada saat berlangsungnya proses sambungan las yang tidak ikut larut dalam cairan logam las. Sedangkan terbentuknya inklusi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti komposisi kimia *base metal*, logam pengisi, gas pelapis, udara, atau *fluks* yang digunakan. Struktur *acicular ferrit* sangat diharapkan dapat terbentuk pada setiap proses sambungan las. Hal ini karena struktur tersebut merupakan struktur *interlock* yang mampu menghambat laju proses perambatan retak. Terbentuknya struktur mikro *acicular ferrit* akan meningkatkan ketangguhan dan keuletan dari logam hasil las, sebaliknya jika pada logam las struktur mikro yang terbentuk berupa *grain boundary ferrit* maka akan terjadi penurunan keuletan dan ketangguhan (Suharno, Iman, M.N. 2005).

4 KESIMPULAN

Hasil analisa dari pengamatan visualisasi struktur mikro menggunakan *metalografi* menunjukkan *area base metal* memiliki *ferrit* (bagian berwarna putih) lebih banyak dibandingkan dengan jumlah *perlit* (bagian berwarna hitam). Untuk daerah *fusion line (FL)* hampir semua eksperimen spesimen terdapat *ferrit*, *perlit*, dan *acicular ferrit*. Sedangkan pada *weld metal (WM)* dapat dilihat bahwa *acicular ferrit* lebih banyak dibandingkan *perlit* dan *ferrit* pada semua spesimen. Berdasarkan semua spesimen *weld metal* pada variasi kuat arus 110 A dan sudut kampuh 70° memiliki *acicular ferrit* terbanyak atau dapat disimpulkan bahwa semakin besar kuat arus dan sudut kampuh maka semakin banyak struktur *acicular ferrit* yang terbentuk.

DAFTAR PUSTAKA

- Anang Setiawan, and Yusa Asra Yuli Wardana. 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.
- Azis, Rizal Abdul, Suharno Suharno, and Herman Saputro. 2019. "Pengaruh Variasi Diameter Elektroda E7018 Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan, Dan Struktur Mikro Pengelasan Pada Baja Karbon Rendah Jenis SS400 Dengan Metode SMAW." *Jurnal Teknik* 17 (2): 94–105.
- Daryono, Daryono, Topan Prihantoro, and Ady Setiawan. 2021. "Pengaruh Kuat Arus Las Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Sambungan Las Besi Tuang Kelabu Menggunakan Elektroda Nikel Dengan Proses Pengelasan SMAW." *Accurate: Journal of Mechanical Engineering and Science* 2 (1): 1–6.
- Diby Setiawan, Sutrimo, Gugun Nugraha, Hanni Maksum Ardi, Toni Okviyanto. 2023. "Analisis Sifat Mekanik Baja Karbon ST 37 Terhadap Variasi Kuat Arus Dan Sudut Kampuh SMAW." *Jurnal Politeknik Caltex Riau* 9 (1): 1–10.
- Djafar Shieddieque, Apang, Dibyo Setiawan, Nana Rahdiana, Program Studi Teknik Mesin, and Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana. 2021. "EVALUASI KEKUATAN UJI TARIK PADA PROSES PENGELASAN BUSUR LISTRIK BEDA MATERIAL SPHC DAN S30-C." *Politeknik STMI Jakarta Jl Letjen Suprpto* 1 (2): 41361.
- Erizal. 2009. "Analisa Struktur Mikro Pada Daerah Las Dan HAZ Hasil Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Pada Baja Karbon Medium Dan Quenching Air Laut." *Universitas Prof. DR. Hazairin, Bengkulu*, 12–42.
- Husaini, K. Akbary, I. Hasanuddin, T. E. Putra, and H. Husin. 2020. "Effects of Strain Rate Due to SMAW Welding on Mechanical Properties of AISI 1005 Low Alloy Steel." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 854 (1).
- Idhil Ismail, Andi. 2019. "Analisis Pengaruh Variasi Arus Dan Sudut Kampuh Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, Dan Ketangguhan Impact Pada Material SS410 Dengan Menggunakan Metode Las SMAW." *JST (Jurnal Sains Terapan)* 5 (2)..
- ISO/ASTM International. 2014. "Standard Guide for Metallographic Preparation of Thermal Sprayed Coatings-E 1920 – 03." *ASTM E1920-03* 03 (C): 8–12.
- Kumar, Sudhir, and Rajender Singh. 2019. "Investigation of Tensile Properties of Shielded Metal Arc Weldments of AISI 1018 Mild Steel with Preheating Process." *Materials Today: Proceedings* 26 (xxxx): 209–22.
- Riyadi, Tri Widodo Besar, and Lastono Aji. 2015. "Pengaruh Variasi Arus Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan Dan Kekuatan Sambungan Pada Proses Pengelasan Aluminium Dengan Metode Mig." *Symposium Nasional RAPI XIV - 2015 FT UMS*, 275–81.
- Sailon, Samsul Rizal. 2014. "Analisis Perubahan Kekerasan Dan Struktur Mikro Hasil Perlakuan Panas Produk Pandai Besi Dengan Menggunakan Media Pendingin Batang Pisang." *Junral Austenit* 6: 45–62.
- Suharno, Iman, M.N., & Jamasri. 2005. "Struktur Mikro Las Baja C-Mn Hasil Pengelasan Busur Terendam Dengan Variasi Masukan Panas." *TEKNOSAINS* 18 (1): 73–89.
- Suharno. 2008. "Prinsip-Prinsip Teknologi Dan Metalurgi Pengelasan Logam." *UNS Press. Surakarta.*, no. 022.
- Sukarman, Amri Abdulah, Jatira, Dede Ardi Rajab, Rohman, Choirul Anwar, Yulfian Aminanda, and Muhammad Ali Akbar. 2020. "Optimization of Tensile-Shear Strength in the Dissimilar Joint of Zn-Coated Steel and Low Carbon Steel." *Automotive Experiences* 3 (3): 115–25.
- Wayan Artadinata, Yunus. 2020. "Analisis Pengaruh Variasi Sudut Kampuh Las Double V Dan Kuat Arus Las Pada Pengelasan Smaw Weld Joint Plat Baja Astm A36 Terhadap Kekuatan Impact Dan Struktur Mikro." *Jurnal Teknik Mesin Unesa* 8: 123–30.
- Wiryosumarto, Harsono, and Toshie Okumura. 2000. "Teknologi Pengelasan Logam." *Pradnya Paramita* Jakarta.