

Pengaruh *Kuat Aarus* terhadap Sifat Mekanis pada Aluminium Al-Si-Fe dengan Filler Er 4043 Metode Pengelasan GTAW

Surya Dharma¹, Suherman², Sarjianto¹, Rihat Sebayang³, H.B Kurniyanto⁴

¹Prodi Teknik Mesin Politeknik Negeri Medan
Jl. Almamater No.1, Medan, Indonesia

²Prodi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Jl Kapten Muktar Basri No 3, Medan, Indonesia

³Prodi Konversi Energi Politeknik Negeri Medan
Jl. Almamater No.1, Medan, Indonesia

⁴Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Jl. Teknik Kimia Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, Indonesia

*E-mail: surya@polmed.ac.id

Diterima: 07-11-2021; Direvisi: 18-11-2021; Dipublikasi: 30-04-2022

Abstrak

Aluminium paduan tempa memiliki berbagai macam aplikasi dalam bidang industry pertahanan dan dirgantara, termasuk untuk pembuatan tangki bahan bakar. Masalah utama dalam pengelasan fusi Aluminium paduan adalah pembentukan porositas dalam logam las (*Welding Metals*), karena kelarutan hidrogen yang tinggi pada suhu tinggi dalam kondisi cair. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh kuat arus terhadap sifat mekanis (kekuatan tarik dan kekuatan lengkung) paduan Al-Si-Fe dengan menggunakan filler metal Er 4043 dan menggunakan metode pengelasan GTAW. Penelitian menggunakan jenis mesin las GTAW untuk mengelas aluminium paduan dengan variasi kuat arus (140, 160 dan 180 A). *Test coupon* plat aluminium berukuran 15x 15 mm dengan ketebalan 5 mm dibuat kampuh V. Pada penelitian ini digunakan logam pengisi ER4043 berdiameter 3.2 mm dengan polaritas DCEN. Hasil penelitian menunjukkan distribusi nilai kekerasan vickers pada daerah las lebih tinggi dibanding daerah logam dasar dan daerah terpengaruh panas (Haz). Mikrostruktur daerah las mengalami peningkatan ukuran *denrite* sedangkan mikrostruktur pada daerah Haz membentuk butiran kolomnar. Nilai kekuatan tarik optimum diperoleh pada kuat arus 140 A. Pengamatan fraktografi menggunakan SEM pada permukaan patah uji tarik menunjukkan patah ulet.

Kata kunci: Al-Si-Fe; Er 4043; GTAW

Abstract

Wrought aluminum alloys have a wide range of applications in the defense and aerospace industries, including for the manufacture of fuel tanks. The main problem in fusion welding of aluminum alloys is the formation of porosity in the welding metal, due to the high solubility of hydrogen at high temperatures in the molten metals. The purpose of this study was to determine the effect of current on the mechanical properties (tensile strength and bending strength) of Al-Si-Fe alloy using filler metal Er 4043 and GTAW welding method. The GTAW welding machine used joint aluminum alloys with various currents (140, 160 and 180 A). The Test coupon aluminum plate measured 15x 15 mm with a thickness of 5 mm is made of V bevels. In this study, filler metal ER4043 with a diameter of 3.2 mm with DCEN polarity was used. The results showed that the distribution of Vickers hardness values in the weld area was higher than the base metal area and the heat affected area (Haz). The microstructure observed of the weld metals enhance in the size of the denrite and the microstructure in the Haz formed columnar grains. The optimum tensile strength value was obtained at a current of 140 A. the Fractographic observations using SEM showed that the fracture surface in the weld area appeared to be ductile fracture.

Keywords: Al-Si-Fe; Er 4043; GTAW

1. Pendahuluan

Aluminium paduan banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti dalam bidang Dirgantara dan pertahanan [1], bidang pengemasan, teknologi elektronik, struktur, energi angin dan matahari [2]. Aluminium umumnya dikenal sebagai bahan ringan, ketahanan dan ketahanan korosi yang baik [3];[1], keunggulan spesifik yang tinggi, konduktivitas yang baik, dan sifat ramah lingkungan [1];[4].

Aluminium paduan tempa (Al-Si-Fe) memiliki berbagai macam aplikasi dalam bidang industry pertahanan dan dirgantara, termasuk untuk pembuatan tangki bahan bakar roket dan amunisi [5], otomotif, transportasi, aluminium paduan juga banyak digunakan untuk bagian luar atas sayap dan rangka badan pesawat [3]. Aluminium paduan ini memiliki rasio kekuatan terhadap kepadatannya yang tinggi, bobotnya yang ringan, dan ketahanan korosi yang baik [6]. Meskipun Aluminium paduan Al-Si-Fe adalah paduan aluminium dengan sifat mekanik tinggi, namun jarang digunakan di bidang manufaktur. Begitulah, karena dianggap sangat sulit untuk diproduksi sambungan las bebas cacat. Hal ini terjadi karena paduan ini memiliki kecenderungan retak panas. Masalah metalurgi yang muncul selama pengelasan aluminium Al-Si-Fe [7].

Beragam komponen untuk aplikasi penerbangan dan industri transportasi selalu menggunakan pengelasan fusi, di mana masukan panas dari pengelasan siklus termal menyebabkan transformasi mikrostruktur dan mengurangi karakteristik mekanik dan kimia pada sambungan las Aluminium [8]. Paduan aluminium berkekuatan tinggi telah banyak digunakan di struktur pesawat. Untuk meningkatkan ketahanan korosi dan keamanan struktur pesawat, sistem pelapisan telah banyak digunakan untuk melindungi paduan aluminium dari korosi [9].

Pengelasan adalah salah satu metode yang paling banyak digunakan untuk menyambungkan aluminium dan paduannya [10][11]. Banyak metode pengelasan telah dicoba untuk mencapai penyambungan aluminium yang handal, termasuk dengan kondisi *solid-state* atau pada dengan *fusion-welding* [12]. Metode yang ekonomis dan efisien sangat dibutuhkan untuk memperbaiki sifat mekanik dan mikrostruktur dari sebuah sambungan [13]. Saat ini penggunaan las *Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)* atau *tungsten inert gas (TIG)* telah diterapkan dalam pembuatan tangki bahan bakar yang berukuran besar [14]. Dalam proses ini, lembaran dan pengisi logam dipanaskan atau dilebur oleh busur [15]. Sayangnya, terjadi pepadatan segregasi terjadi di zona las (WZ) dan endapan berukuran nanometer banyak berubah di daerah sambungan selama pengelasan GTAW yang tentunya mempengaruhi kekuatan las [3].

Proses pengelasan ini sangat sesuai untuk logam yang sangat tipis, sehingga memungkinkan untuk mendapatkan lasan berkualitas tinggi. Kecepatan pengelasan umumnya sekitar 15-50 cm/ menit; dalam pengelasan otomatis, kecepatan yang lebih tinggi dimungkinkan. Untuk pengelasan baja, polaritas langsung (elektroda negatif) selalu digunakan dengan argon sebagai gas pelindung [16]. Kekuatan tarik pada sambungan las fusi merupakan hal yang sangat penting dalam struktur las yang kompleks dan mereka bisa memprediksi apakah struktur yang dilas dapat berfungsi dengan aman. Kurangnya fusi atau penetrasi, porositas, inklusi terak, dan retakan adalah cacat yang paling umum banyak ditemukan pada pengelasan yang mempengaruhi sifat tarik sebuah sambungan [9]. Penambahan nanopartikel yang mengandung nanopartikel TiC selama pengelasan pada paduan tidak hanya menunjukkan butiran bulat halus dan menghilangkan kerentanan retak panas material, tetapi juga menunjukkan kekuatan tarik yang luar biasa baik dalam perlakuan panas saat dilas maupun pasca las [17][18].

Gandi et.al [19] meneliti tiga metode pengelasan yang berbeda (FSW, TIG dan MIG) pada pengelasan Aluminium paduan tempa terlihat distorsi besar dengan mikrostruktur butiran bentuk *equiaxed* dan kecenderungan memiliki diameter yang lebih besar di wilayah HAZ dan daerah las dibandingkan dengan logam dasar. Sedangkan [20] membandingkan kedua jenis metode pengelasan (GTAW dan GMAW) pada Aluminium paduan Al-Si-Fe. Dimana Sambungan las yang dibuat dengan proses GMAW menghasilkan kekuatan yang lebih

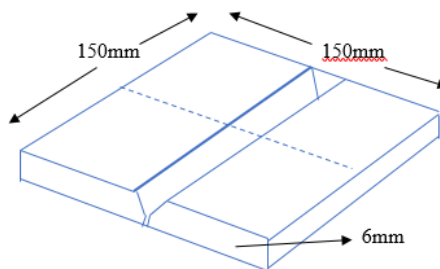
rendah dibandingkan dengan nilai GTAW dan menghasilkan struktur butir *equiaxed* yang tersebar merata pada daerah las.

Perbedaan jenis logam pengisi telah dibandingkan untuk mengetahui cacat yang terbentuk. Aluminium paduan tempa yang dilas menggunakan proses GTAW menyebabkan terjadinya *microfissuring* atau retak. Akan tetapi dengan menggunakan ER 4340 sebagai filler metal tidak menunjukkan cacat di Zona yang Terkena Panas dengan kecenderungan menghasilkan *microvoid intergranular* masuk yang HAZ [7]. Beberapa parameter seperti kuat arus dan laju aliran gas pelindung mempengaruhi kekuatan tarik sambungan las aluminium paduan A7075. Parameter yang terbaik diperoleh pada kuat arus 140 A dan laju aliran gas pelindung 17 L/menit [21].

Pada penelitian ini menggunakan metode pengelasan GTAW untuk menyambung aluminium paduan Al-Si-Fe dengan perbedaan kuat arus dengan jenis filler Er 4043 terhadap kekuatan Tarik. Permukaan patah juga diamati menggunakan *scanning electron microscope/ SEM*, distribusi nilai kekerasan pada daerah Haz dan daerah las juga dikerjakan pada penelitian ini. Perubahan mikrostruktur dibandingkan antara logam dasar, Haz dan daerah las (*weld metals*).

2. Metode Penelitian

Bahan dasar aluminium paduan berbentuk pelat persegi panjang dipotong dengan dimensi 150 mm x 150 mm x 6,0 mm dibuat untuk membuat test coupon pengelasan (Gambar 1). Pelat aluminium tersebut dibuat konfigurasi sambungan dengan kampuh V tunggal dengan sudut alur 70°.



Gambar 1. Test coupon

Ukuran *root face* dan celah akar masing-masing berukuran 1 dan 2 mm. Untuk menghindari ketidak sejajaran logam dasar, dilakukan pengelasan *tack* pada kedua ujung dan di klem di kedua sisinya.

Pengelasan dilakukan menggunakan mesin las GTAW dengan parameter sebagaimana pada Tabel 1. Proses pengelasan dilakukan dilakukan dengan 2 layer.

Tabel 1. parameter pengelasan

Welding parameter	
<i>Welding current/A</i>	140, 160, 180 A
<i>Welding voltage/ V</i>	12
<i>Welding Speed/ mm.s⁻¹</i>	3.5
<i>Arc length/mm</i>	1.5
<i>Tungsten electrode diameter (EWTh²)/ mm</i>	2.4
<i>Flow rate Shielding metals using pure argon (L/min)</i>	15
<i>Diameter Filler metal using type Er 4043 / mm</i>	2.4

Aluminium paduan ini dilas dengan metode GTAW dengan polaritas (DCEN) (ESAB Buddy TIG 160), parameter pengelasan yang digunakan adalah arus pengelasan dan jenis *filler metals* dengan jumlah lintasan dua

lintasan. Setelah pengelasan dilakukan pengujian secara visual dan dengan alat las protactor untuk melihat ketidaksempurnaan hasil pengelasan pada test coupon (Gambar 4). Komposisi kimia pada daerah las dan logam dasar yang diuji menggunakan spectrometer analisis (Instrumen Oxford) seperti terlihat pada Tabel 2. Setelah proses pengelasan, test kupon kemudian dipotong dengan mesin uji potong untuk menyiapkan spesimen uji tarik, bending, kekerasan, komposisi dan mikro.

Pengujian mikro Vickers menggunakan pengukuran nilai kekerasan logam dasar, Zona terkena panas (Haz), dan daerah pengelasan (Weld zone). Uji Kekerasan menggunakan uji Vickers dengan beban 300 gram (Future Tech FMX8176). Pengujian kekerasan dilakukan pada daerah logam dasar, Haz dan daerah las, proses pengujian specimen uji seperti terlihat pada Gambar (2) dibawah. Pengujian dan specimen uji tarik dan uji tekuk dilakukan sesuai dengan AWS D1.2 [22] untuk Aluminium alloys (Gambar 3). Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik servo pulser dengan beban maksimum 10 Ton. Pengujian tekuk (*bend test*) dilakukan bertujuan untuk mengetahui kekuatan lengkung pada daerah las yang dilakukan pada permukaan dan akar logam las dengan menggunakan mesin servo pulser dimana specimen uji diberikan beban tekuk hingga specimen melengkung (Gambar 2). Uji tekuk dilakukan pada sampel masing-masing dua sampel (permukaan dan akar las) yang dimensinya 150 mm x 25 mm x 6 mm.



Gambar 2. *Specimen bend test*

Pengamatan preparasi sampel mikrostruktur dengan proses polishing pada specimen uji yang dilakukan pengamatan seluruh variasi kuat arus dan filler metal pada zona pengelasan, HAZ, dan material dasar. Proses pemolesan menggunakan kertas 2000 grid dan dilakukan etsa (2,5 ml HNO₃, 1 ml HF, 1,5 ml HCL, dan 95 ml setara). Mikrostruktur diamati menggunakan mikroskop optik (OM) oleh Olympus BX41M. Permukaan specimen uji tarik yang retak diperiksa dengan mikroskop elektron (Zeiss Germany EVO MA 10 yang dioperasikan pada 20 kV).

Tabel 2 komposisi kimia Aluminium Al-Si-Fe

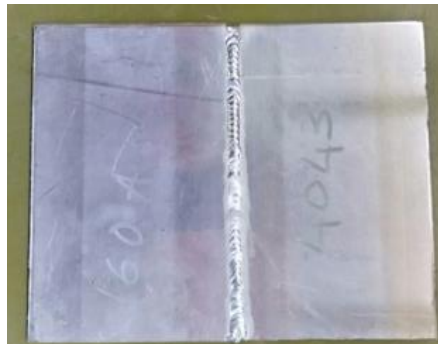
Material	Si	Fe	Cu	Mg	Zn	Mn	Ti	Cr	Ni	V	Al
Logam dasar	0.116	0,558	0,002	0,008	0,003	0.0047	0.025	0.0027	0,0056	0,012	balance
ER 4043	5.3	0,431	0,002	0.0068	0.011	0,002	0.018	0,008	0,007	0,013	balance

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengelasan pada *test Coupon*

Hasil pengelasan aluminium paduan dengan metode GTAW seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Pengamatan visual hasil pengelasan dengan metode GTAW pada aluminium paduan dilakukan untuk mengetahui cacat las pada *test coupon* sebagaimana pada Gambar (3) dibawah. Dari hasil pengamatan secara visual tidak terdapat cacat pada pada *test coupon* seperti Cacat Retak (*cracks*), Cacat lubang (*cavities*), Inklusi padatan (*solid*

inclusions), Kurangnya logam pengisi dan penetrasi (*Lack of fusion and penetration*), Ketidak sempurnaan bentuk dan dimensi (*Imperfect shape and dimensions*) dan Ketidaksempurnaan lainnya (*Miscellaneous imperfections*).



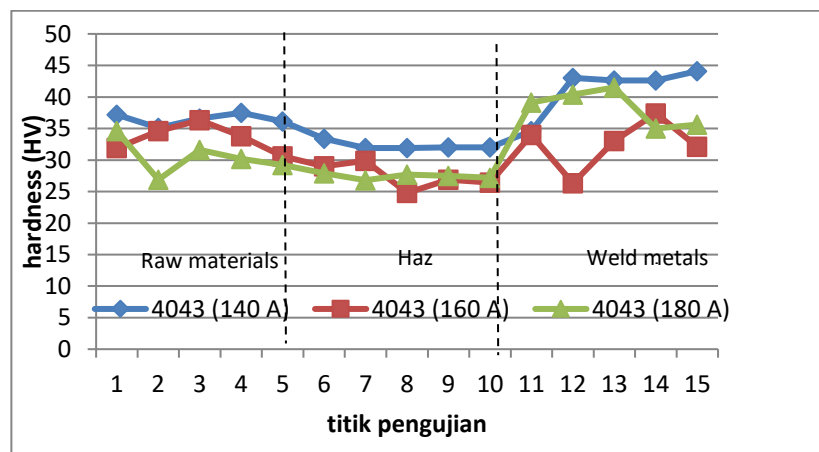
Gambar 3. hasil pengelasan GTAW dengan *filler metal* Er 4043

Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia pada logam dasar dan daerah las dengan filler metal Er 4043 sebagaimana disajikan pada Tabel 2. Pengujian komposisi kimia dilakukan pada logam dasar (*raw materials*) dan daerah las dengan menggunakan *filler metal* Er 4043.

Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan pada *spesimen uji* dilakukan sebanyak 15 titik yang dilakukan pada daerah logam dasar, Haz dan daerah las. Adapun hasil pengujian disajikan pada Gambar 4. Untuk mempermudah menganalisa data hasil pengujian kekerasan maka disajikan dalam bentuk grafik seperti terlihat pada Gambar 4.

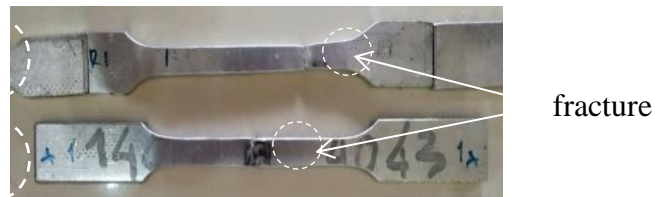


Gambar 4. Nilai kekerasan dengan variasi kuat arus

Nilai kekerasan pada bagian daerah las (*weld metals*) mengalami peningkatan nilai kekerasan. Hal ini disebabkan karena pengaruh kecepatan pendinginan saat proses pengelasan. Filler metal dan sebagian logam dasar ikut melebur akibat panas yang diberikan saat proses pengelasan sehingga terjadi perubahan komposisi kimia (Tabel 2) karena komposisi kimia logam dasar dan filler metal berbeda. Perubahan ini juga berpengaruh pada nilai kekerasan pada daerah las, dimana nilai kekerasan yang paling tinggi diperoleh pada daerah las dengan menggunakan kuat arus 140 A (Gambar 4). Distribusi nilai kekerasan pada daerah las sedikit mengalami penurunan nilai kekerasan disbanding daerah logam dasar dan logam las.

Kekuatan Tarik Maksimum

Pengujian kekuatan tarik dilakukan pada raw material dan setelah pengelasan masing-masing 2 sampel. Sebagian besar *spesimen uji* mengalami kegagalan (*fracture*) pada daerah las, akan tetapi hanya ada 1 specimen mengalami patah pada logam dasar. Spesimen uji hasil pengelasan untuk semua variasi kuat arus mengalami patah pada daerah las kecuali pada kuat arus 140 Ampere. Adapun specimen uji setelah pengujian tarik sebagaimana terlihat pada Gambar (5). Nilai kekuatan tarik maksimum pada aluminium paduan, pada lasan dengan menggunakan filler Er 4043 dengan menggunakan kuat arus 140 A.



Gambar 5. *Spesimen uji tarik setelah pengujian*

Tabel 3. Data tegangan-regangan dari uji tarik yang dilakukan pada pengelasan.

sampel	σ_{yield} (Mpa)	σ_{mak} (Mpa)	Kegagalan
Raw 1	88	92	Logam las
Raw 2	83	93	Logam las
4043 (140) 1	74	90	Logam las
4043 (140) 2	75	79	Haz
4043 (160) 1	74	84	Logam las
4043 (160) 2	71	82	Logam las
4043 (180) 1	79	86	Logam las
4043 (180) 2	77	83	Logam las

Tabel 3 mengilustrasikan sifat mekanik (kekuatan luluh dan kekuatan maksimum pada logam dasar dan plat aluminium setelah pengelasan dengan variasi kuat arus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baik kekuatan luluh dan kekuatan maksimum pelat yang dilas dengan filler Er 4043 sedikit lebih rendah 3 wt% dibandingkan pelat logam dasar. sebagian besar spesimen uji tarik mengalami kegagalan akibat beban tarik statis pada daerah las dan hanya pada specimen uji tarik dengan kuat arus 140 Amper yang mengalami patah pada daerah Haz, hal ini dikarenakan karena nilai kekerasannya cenderung lebih rendah dibanding dengan logam dasar dan daerah las. Beberapa sumber menyebutkan bahwa sebagian besar proses pengelasan pada aluminium paduan tempa mengalami retak mikro, sehingga ini dimungkinkan sebagai penyebab wilayah ini merupakan yang paling rentan terjadinya kegagalan akibat beban tarik.

Pengujian Lengkung (Bending)

Pengujian bending pada ketiga perbedaan kuat arus (140, 160 dan 180 A) dan filler metal Er 4043 disajikan pada Tabel (4) dibawa

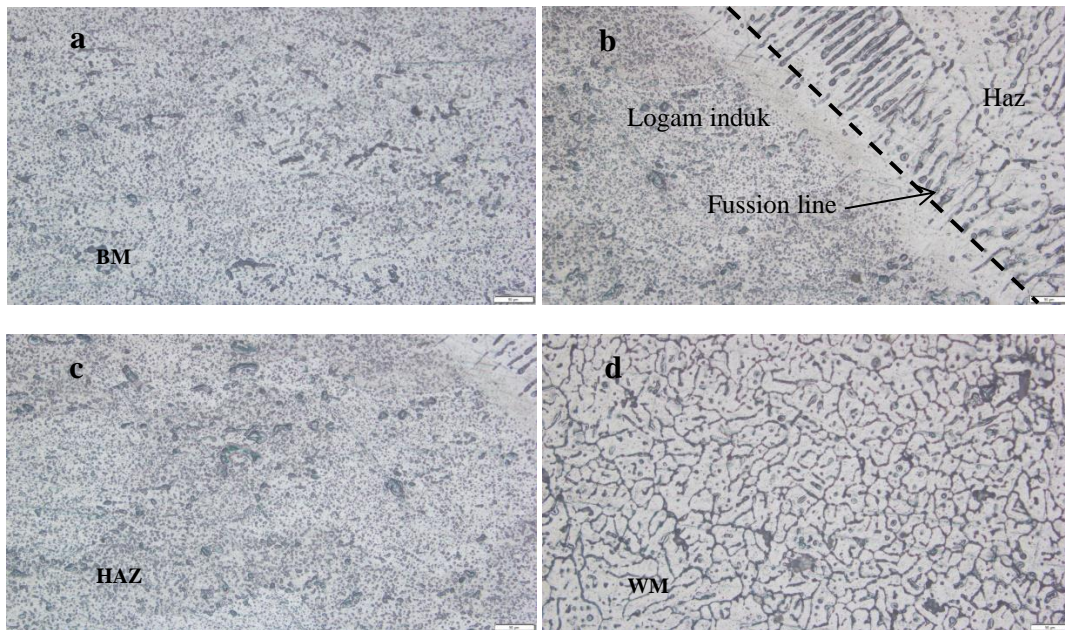
Tabel 4. hasil pengujian lengkung (*bending*)

No	Material	Fracture	
		Face	Root
1	4043 (140) 1	oke	3,62
2	4043 (140) 2	oke	2,13
3	4043 (160) 1	oke	4,8
4	4043 (160) 2	oke	1,8
5	4043 (180) 1	oke	oke
6	4043 (180) 2	oke	oke

Pengujian lengkung (*Bend Test*) dilakukan untuk mengetahui kekuatan lengkung pada daerah permukaan las (*face*) dan daerah akar las (*face*). Pengujian lengkung ini masing-masing diterapkan pada 2 spesimen uji. Hasil penelitian menunjukkan sebagian besar specimen uji mengalami retak pada bagian permukaan las (*face*) dan daerah akar las (*face*) seperti ditunjukkan pada Tabel (4). specimen yang tidak mengalami retak setelah pengujian lengkung baik pada permukaan las (*face*) dan daerah akar las (*face*) yaitu pada specimen dengan kuat arus 180 Amper.

Pengamatan Mikrostruktur

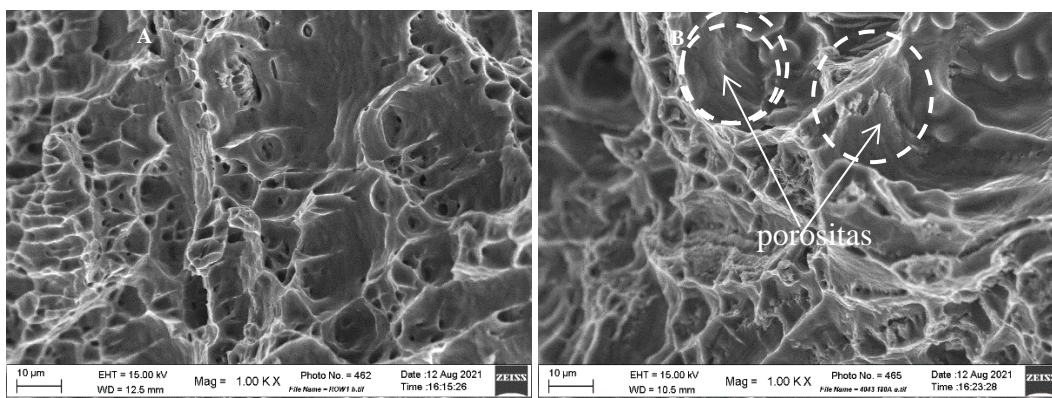
Pengamatan mikrostruktur dilakukan pada daerah las (*welding metal/ WM*), daerah terpengaruh panas (*Heat Affected Zone/ Haz*) dan Logam dasar (*base metal/ BM*) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7. Seperti yang ditunjukkan, distribusi partikel kasar yang tidak teratur di seluruh BM terlihat jelas di semua kondisi. Partikel ini diyakini terbentuk selama pengecoran [23]. Pengamatan menggunakan mikroskop optik metalurgi menunjukkan detail mikrostruktur pada penampang pada zona sambungan las (7.d). Terlihat bahwa porous sebagian besar terdistribusi di daerah las. Ukuran dan bentuk butir pada daerah logam las mengalami perubahan dimana diakibatkan karena laju pendingin lambat sehingga menyebabkan ukuran lengan denrit (*secondary dendrite arm spacing*) yang lebih kasar berukuran 30-50 μm dengan arah yang tidak beraturan [24]. Sehubungan dengan struktur mikro daerah terpengaruh panas (Haz), diamati bahwa garis kecil butiran kolumnar dengan ukuran panjang 100 μm tumbuh dari logam tidak mulia mengikuti arah sumber panas dengan transisi ke butiran sama pada semua pengelasan (7.b). Hal ini menyatakan bahwa peningkatan ukuran butir pada logam las dapat dicapai karena interaksi antara busur listrik dan intensifikasi turbulensi aliran logam dalam keadaan cair, mengubah laju pembekuan, karena beberapa logam membeku secara parsial dapat terseret ke dalam kolam las. karena aliran konveksi dan peningkatan Gaya Lorentz, produk dari arus listrik derek dari proses pengelasan hibrida, dan logam terseret yang tidak meleleh bertindak sebagai substrat untuk meningkatkan laju nukleasi [25].



Gambar 7. Foto mikro pada daerah a) logam dasar, (b) fussion line, (b) Haz dan d) weld metal

Pengamatan SEM

Gambar 8 menunjukkan morfologi permukaan patahan yang diamati pada SEM setelah uji tarik las. Morfologi khas dari patah ulet dapat dibedakan karena adanya rongga mikro dan cekungan berukuran kecil baik pada daerah las maupun pada logam dasar sebagai akibat gaya aksial selama uji tarik. Pada sampel logam las kegagalan terjadi pada logam las baik pada kuat arus 160 A dan 180 A, porositas pada logam las berperan sebagai konzentrador tegangan dan inisiasi retak, kegagalan tersebut juga disebabkan oleh pengkasaran presipitat di HAZ sebagai " berubah menjadi ' atau , dan terlihat adanya peluruhan pada sifat mekanik local [25]. Rasio porositas dan ukuran butir lebih tinggi dan berdampak negatif pada sifat mekanik, karena resistensi mekanik menjadi menurun.



Gambar 8. Pengamatan SEM a) raw material dan b) Er 4043

4. Kesimpulan

Dari penelitian dapat ditarik kesimpulan yaitu Nilai kekuatan tarik optimum diperoleh pada specimen uji pada kuat arus 140 A yaitu sebesar 90 MPa. Distribusi nilai kekerasan pada daerah las dengan perbedaan kuat arus dan jenis *filler metal* Er 4043 menghasilkan sedikit perbedaan nilai kekerasan, nilai kekerasan vickers yang paling tinggi pada specimen uji dengan kuat arus 140 A. Beban lengkung yang diberikan pada pengujian *bend test* menyebabkan retak terutama pada daerah akar las (*root*) dan permukaan las (*face*) pada specimen uji lengkung terutama pada kuat arus 140 A dan 160 A. mikrostruktur daerah las mengalami peningkatan ukuran *denrite* dimana ukuran *denrite* rata-rata sebesar 30-50 μm , sedangkan pada daerah Haz membentuk butiran kolumnar dengan ukuran panjang 100 μm yang mengikuti arah sumber panas. Pengamatan fraktografi permukaan patah dengan menggunakan SEM menunjukkan patah ulet dengan *filler metal Er 4043* dimana terlihat cekungan kecil membentuk seperti sarang laba-laba.

Ucapan Terimakasih

Para penulis dengan penuh rasa syukur menyampaikan penghargaan dan mengucapkan terima kasih atas dukungan finansial yang diberikan melalui dana DIPA Politeknik Negeri Medan tahun 2021 dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Kegiatan Nomor: B/153/PL5/PT.01.03/2021, dan Surat Penugasan Pelaksanaan Penelitian Nomor: B/192A/PL5/PT.01.04/2021.

Daftar Pustaka

- [1] S. Aravind and A. D. Das, "An examination on GTAW samples of 7-series aluminium alloy using response surface methodology," *Mater. Today Proc.*, vol. 37, no. Part 2, pp. 614–620, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.05.623.
- [2] D. Varshney and K. Kumar, "Application and use of different aluminium alloys with respect to workability, strength and welding parameter optimization," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 12, no. 1, pp. 1143–1152, 2021, doi: 10.1016/j.asej.2020.05.013.
- [3] W. Zhang *et al.*, "Green preparation of branched biolubricant by chemically modifying waste cooking oil with lipase and ionic liquid," *J. Clean. Prod.*, vol. 274, p. 122918, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122918.
- [4] H. Mehdi and R. S. Mishra, "Effect of friction stir processing on mechanical properties and heat transfer of TIG welded joint of AA6061 and AA7075," *Def. Technol.*, no. xxxx, 2020, doi: 10.1016/j.dt.2020.04.014.
- [5] H. Mehdi and R. S. Mishra, "Investigation of mechanical properties and heat transfer of welded joint of AA6061 and AA7075 using TIG+FSP welding approach," *J. Adv. Join. Process.*, vol. 1, no. January, p. 100003, 2020, doi: 10.1016/j.jajp.2020.100003.
- [6] U. Dwivedi, S. Tiwari, A. Mishra, and S. Das, "Comparative Study of Weld Characteristics of Friction Stir Welded Joints on Aluminium 7075 with Autogenous TIG," *Mater. Today Proc.*, vol. 22, pp. 2532–2538, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2020.03.382.
- [7] W. Huo, T. Sun, L. Hou, W. Zhang, Y. Zhang, and J. Zhang, "Effect of heating rate during solution treatment on microstructure, mechanical property and corrosion resistance of high-strength AA 7075 alloy," *Mater. Charact.*, vol. 167, no. April, p. 110535, 2020, doi: 10.1016/j.matchar.2020.110535.
- [8] J. S. REYNA-MONTOYA, M. A. GARCÍA-RENTERÍA, V. L. CRUZ-HERNÁNDEZ, F. F. CURIEL-LÓPEZ, L. R. DZIB-PÉREZ, and L. A. FALCÓN-FRANCO, "Effect of electromagnetic interaction on microstructure and corrosion resistance of 7075 aluminium alloy during modified indirect electric arc welding process," *Trans. Nonferrous Met. Soc. China (English Ed.)*, vol. 29, no. 3, pp. 473–484, 2019, doi: 10.1016/S1003-6326(19)64956-3.

- [9] S. Zhang, T. Zhang, Y. He, X. Du, B. Ma, and T. Zhang, "Long-term atmospheric pre-corrosion fatigue properties of epoxy primer-coated 7075-T6 aluminum alloy structures," *Int. J. Fatigue*, vol. 129, no. August, 2019, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2019.105225.
- [10] M. Temmar, M. Hadji, and T. Sahraoui, "Effect of post-weld aging treatment on mechanical properties of Tungsten Inert Gas welded low thickness 7075 aluminium alloy joints," *Mater. Des.*, vol. 32, no. 6, pp. 3532–3536, 2011, doi: 10.1016/j.matdes.2011.02.011.
- [11] Suherman, *Teknik Pengelasan (Menghindari Cacat Las)*. UMSU Press.
- [12] H. T. Zhang, J. H. Liu, and J. C. Feng, "Effect of auxiliary TIG arc on formation and microstructures of aluminum alloy/stainless steel joints made by MIG welding-brazing process," *Trans. Nonferrous Met. Soc. China (English Ed.)*, vol. 24, no. 9, pp. 2831–2838, 2014, doi: 10.1016/S1003-6326(14)63415-4.
- [13] R. Li *et al.*, "Effect of axial magnetic field on TIG welding-brazing of AA6061 aluminum alloy to HSLA350 steel," *J. Mater. Res. Technol.*, 2021, doi: 10.1016/j.jmrt.2021.03.039.
- [14] Suherman, Ilmi, C. P. Sitompul, H. B. Kurniyanto, and Suprpto, "Gta welding dissimilar of aisi 309 to aisi 201 stainless steels by using aisi 308l filler metals," *Key Eng. Mater.*, vol. 892 KEM, pp. 17–24, 2021, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.892.17.
- [15] J. L. Song, S. B. Lin, C. L. Yang, G. C. Ma, and H. Liu, "Spreading behavior and microstructure characteristics of dissimilar metals TIG welding-brazing of aluminum alloy to stainless steel," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 509, no. 1–2, pp. 31–40, 2009, doi: 10.1016/j.msea.2009.02.036.
- [16] Blouneau, *Metallurgy and Mechanics of Welding*. 2008.
- [17] P. Liu, J. ying Hu, H. xue Li, S. yu Sun, and Y. bin Zhang, "Effect of heat treatment on microstructure, hardness and corrosion resistance of 7075 Al alloys fabricated by SLM," *J. Manuf. Process.*, vol. 60, no. June, pp. 578–585, 2020, doi: 10.1016/j.jmapro.2020.10.071.
- [18] V. Haliyal and M. Engg, "A Review on GTAW Technique for High Strength Aluminium Alloys (AA 7xxx series)," *Int. J. Eng.*, vol. 2, no. 8, pp. 2477–2490, 2013.
- [19] C. Gandhi *et al.*, "Characterization of AA7075 Weldment using CMT Process," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 11, pp. 24024–24032, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2018.10.195.
- [20] M. Sivashanmugam, C. Jothi Shanmugam, T. Kumar, and M. Sathishkumar, "Investigation of microstructure and mechanical properties of GTAW and GMAW joints on AA7075 aluminum alloy," *Proc. Int. Conf. Front. Automob. Mech. Eng. - 2010, FAME-2010*, pp. 241–246, 2010, doi: 10.1109/FAME.2010.5714843.
- [21] H. Bhatt, "Study of Effect of Process Parameters of Welding during TIG welding of AA 7075 and its optimization," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 13, no. 12, pp. 10658–10663, 2018.
- [22] AWS Aluminium, "Aluminium and Aluminium Alloys." .
- [23] Z. Nikseresht, F. Karimzadeh, M. A. Golozar, and M. Heidarbeigy, "Effect of heat treatment on microstructure and corrosion behavior of Al6061 alloy weldment," *Mater. Des.*, vol. 31, no. 5, pp. 2643–2648, 2010, doi: 10.1016/j.matdes.2009.12.001.
- [24] Suherman, M. D., Ridho, and M. C.P, "Pengaruh Kuat Arus Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Sambungan Las Smaw Baja SA 516 GR.70," *J. Ilm. "Mekanik" Tek. Mesin ITM*, vol. 4, no. 2, pp. 64–69, 2018.
- [25] T. Rodríguez-Hernández *et al.*, "First assessment on the microstructure and mechanical properties of gtaw-gmaw hybrid welding of 6061-t6 AA," *J. Manuf. Process.*, vol. 59, no. October, pp. 658–667, 2020, doi: 10.1016/j.jmapro.2020.09.069.