

PENGARUH HEAT TREATMENT T6 TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN CORROSION RESSISTANCE PADA DISSIMILAR MATERIALS WELDING ANTARA AA5083-H112 DAN AA6063

Hendra Setyawan ¹⁾, Triani Aulya Fitri ²⁾, Oldy Fahlovi ³⁾, Tito Alfarizi ⁴⁾, Ganjar kurnia ⁵⁾

^{1,2,3,4,5)} Politeknik Industri Petrokimia Banten

Email : *hendra.setyawan@poltek-petrokimia.ac.id ¹⁾, triani.fitri@poltek-petrokimia.ac.id ²⁾, oldy.fahlovi@poltek-petrokimia.ac.id ³⁾, tito.alfarizi@poltek-petrokimia.ac.id ⁴⁾, ganjar.kurnia@poltek-petrokimia.ac.id ⁵⁾*

ABSTRAK

Paduan aluminium AA5083-H112 dan AA6063 banyak digunakan dalam transportasi darat, laut, dan udara karena sifatnya yang ringan, tahan korosi, mudah dibentuk, dan mudah dilas. Proses penyambungan umumnya dilakukan dengan Gas Metal Arc Welding (GMAW), namun pengelasan dapat memengaruhi struktur mikro, sifat mekanik, dan ketahanan korosi sambungan. Penelitian ini mengevaluasi pengaruh perlakuan panas T6 terhadap struktur mikro dan ketahanan korosi sambungan las *dissimilar material* antara AA5083-H112 dan AA6063. Perlakuan T6 terdiri dari *solution treatment* pada 540 °C selama 6 jam, *quenching* air, dan *artificial aging* pada 158 °C, 200 °C, dan 230 °C selama 6 jam. Uji korosi dilakukan dengan metode potensiodynamik sesuai ASTM G102. Hasil menunjukkan bahwa perlakuan T6 meningkatkan ketahanan korosi secara signifikan. Variasi suhu *aging* tidak memberikan pengaruh berarti, begitu juga letak fasa β . Namun, kemunculan dan jenis fasa β presipitat berkontribusi signifikan terhadap ketahanan korosi sambungan.

Kata Kunci : AA5083-H112, AA6063, Struktur Mikro, Corrosion Resistance, Heat treatment.

ABSTRACT

Aluminium alloys AA5083-H112 and AA6063 are widely used in land, marine, and aerospace transportation due to their low density, high corrosion resistance, good formability, and weldability. These alloys are commonly joined using Gas Metal Arc Welding (GMAW), which can alter the microstructure, mechanical properties, and corrosion resistance of the weld. This study investigates the effect of T6 post-weld heat treatment on the microstructure and corrosion resistance of dissimilar welds between AA5083-H112 and AA6063. The T6 treatment involved solution heat treatment at 540 °C for 6 hours, followed by water quenching and artificial aging at 158 °C, 200 °C, and 230 °C for 6 hours. Corrosion resistance was evaluated using potentiodynamic polarization in accordance with ASTM G102. The results indicate that T6 treatment significantly improves corrosion resistance. Aging temperature and β -phase location had no significant effect, while the presence and type of β precipitates had a notable impact on corrosion resistance of the welds.

Keywords: AA5083-H112, AA6063, Microstructure, Corrosion Resistance, Heat Treatment.

1. PENDAHULUAN

Aluminium merupakan material yang banyak digunakan dalam industri manufaktur karena memiliki keunggulan seperti massa jenis rendah, ketahanan korosi tinggi, kemudahan dalam pembentukan, serta kemampuan las yang baik (Muñoz et al., 2020; Yürük et al., 2021; Huda et al., 2009). Karakteristik ini menjadikannya sangat sesuai untuk aplikasi transportasi yang menuntut efisiensi energi dan pengurangan emisi CO₂ (de Andrade et al., 2020). Diantara paduan aluminium, AA5083-H112 dan AA6063 banyak digunakan pada struktur kapal karena ringan, tahan korosi, dan memiliki harga relatif ekonomis (Huang et al., 2017; Manikandan et al., 2022).

AA5083-H112 adalah paduan Al-Mg *non-heat treatable* yang diperkuat melalui proses *strain hardening (rolling)*, sementara AA6063 merupakan paduan *heat-treatable* Al-Mg-Si yang umum digunakan dalam industri otomotif, penerbangan, dan konstruksi kelautan (Muñoz et al., 2020; Meng et al., 2021; Pakdil et al., 2011; Liu et al., 2012; Wahid et al., 2020). Kombinasi kedua paduan ini sering diterapkan pada struktur kapal, di mana AA5083-H112 digunakan sebagai plat lambung karena ketahanan korosinya terhadap air laut, sedangkan AA6063 digunakan sebagai stiffener karena kekuatan mekaniknya (Huang et al., 2017; Manikandan et al., 2022).

Pengelasan *dissimilar material* antara AA5083-H112 dan AA6063 umumnya dilakukan menggunakan teknik *Friction Stir Welding (FSW)* dan Gas Metal Arc Welding (GMAW) (Choi et al., 2013; Wang et al., 2022). FSW dinilai mampu menghasilkan sambungan dengan sifat mekanik dan ketahanan korosi yang baik karena minimnya input panas dan terbentuknya presipitat fasa β (Al₃Mg₂) serta lapisan protektif Al₂O₃/Al(OH)₃ yang membatasi difusi H₂O, O₂, dan ion Cl⁻ (Kumar et al., 2019; Yadav et al., 2022). Namun, FSW memiliki keterbatasan dalam hal ketebalan material, orientasi pengelasan, dan fleksibilitas aplikasi, sehingga kurang cocok untuk kebutuhan produksi massal

(Heidarzadeh et al., 2021; Kashaev et al., 2018).

Sebagai alternatif, pengelasan GMAW menawarkan fleksibilitas yang lebih tinggi, dapat diaplikasikan pada berbagai ketebalan, semi-otomatis, biaya peralatan rendah, serta efisiensi tinggi, sehingga sesuai untuk kebutuhan industri manufaktur berskala besar (Ascari et al., 2012; Yürük et al., 2021). GMAW merupakan proses pengelasan busur listrik dengan gas pelindung (CO₂, Ar, atau campurannya) dan menggunakan elektroda habis pakai yang diumpankan secara kontinu (Chacón-Fernández et al., 2022). Meski demikian, GMAW pada paduan aluminium seringkali menimbulkan permasalahan seperti porositas, retak panas, dan penurunan sifat mekanik serta ketahanan korosi, terutama pada zona las dan daerah pengaruh panas (HAZ) (Vargas et al., 2013; Ahmad & Bakar, 2011; Cross & Kohn, 1993; Jebaraj et al., 2020).

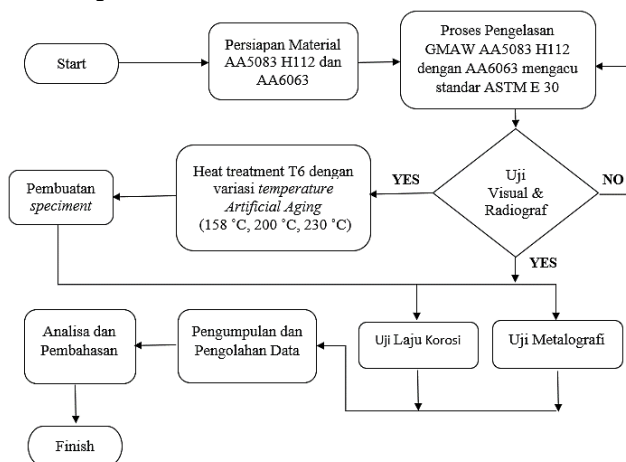
Penurunan ketahanan korosi pada zona las umumnya disebabkan oleh pembentukan fasa β presipitat (Mg₃Al₂) yang bersifat lebih anodik dibanding matriks aluminium, sehingga meningkatkan laju korosi (Jebaraj et al., 2020; Cross & Kohn, 1993; Yadav et al., 2022). Salah satu metode untuk meningkatkan ketahanan korosi adalah melalui perlakuan panas pasca-las (PWHT) dengan skema T6, yang mampu membentuk struktur supersaturated solid solution dan presipitat fasa β yang lebih stabil dan protektif (Pratikno, 2015; Ding et al., 2020; Feng et al., 2023; Tan & Allen, 2010; Setyawan et al., 2025).

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji efek perlakuan panas terhadap sifat mekanik dan ketahanan korosi pada paduan AA5083 dan AA6063 secara terpisah (Jebaraj et al., 2020; Koganti et al., 2008; Pratikno, 2015), serta analisis mikrostruktur dan kekuatan mekanik pada sambungan las dissimilar (Mercan et al., 2020; Yürük et al., 2021). Namun, kajian mengenai pengaruh perlakuan panas T6 terhadap ketahanan korosi pada sambungan las *dissimilar* AA5083-H112 dan AA6063 masih terbatas.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan panas T6 terhadap struktur mikro dan ketahanan korosi pada sambungan las dissimilar antara AA5083-H112 dan AA6063. Perlakuan T6 terdiri dari *solution treatment* pada suhu 540 °C selama 6 jam, dilanjutkan dengan pendinginan cepat menggunakan air (*quenching*), dan *artificial aging* pada suhu 158 °C, 200 °C, dan 230 °C selama 6 jam, dengan pendinginan udara. Uji ketahanan korosi dilakukan menggunakan metode potensiodinamik sesuai dengan standar ASTM G102 (ASTM, 2002).

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan panas T6 terhadap struktur mikro dan ketahanan korosi sambungan las *dissimilar* antara aluminium AA5083-H112 dan AA6063. Bagan alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alur Penelitian

Aluminium AA5083-H112 dan AA6063 berdimensi masing-masing 300 x 150 x 6 mm di bagian tengah material diberikan bavel 30° untuk proses pengelasan. Komposisi kimia *base metal* dan *welding wire* dapat dilihat pada Table 1, sedangkan sifat mekanik *base metal* dan *welding wire* dapat dilihat pada Table 2. Proses pengelasan untuk menyambungkan aluminium AA5083-H112 dan AA6063 menggunakan las MIG GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) dengan merk Merkle tipe compac MIG Pro 210K.

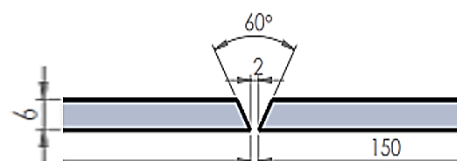
Tabel 1. Komposisi kimia *base metal* dan *welding wire*

Element	AA5083	AA6063	ER5356
Si	0,32	0,44	0,25
Fe	0,29	0,28	0,4
Cu	0,44	0,03	0,1
Mn	0,88	0,01	0,05-5,5
Mg	4,73	0,62	4,5-5,5
Zn	0,09	0,05	0,05-0,2
Zn	0,22	0,04	0,1
Ti	0,02	0,02	0,06-0,15
Al	Balance	Balance	Balance

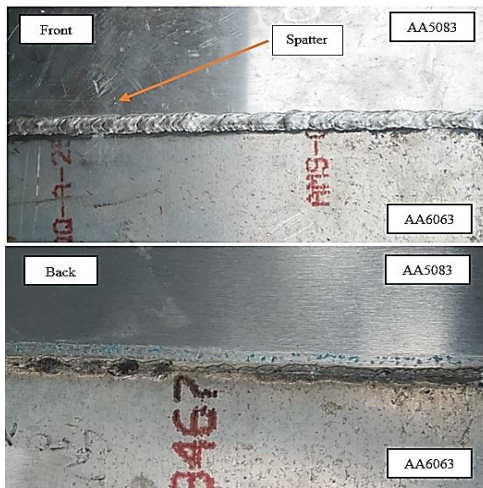
Tabel 2. Sifat mekanik *base metal* dan *welding wire*

Materials	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
AA5083-H112	346	26,7
AA6063	203,53	11,13
ER5356	240-296	17-27

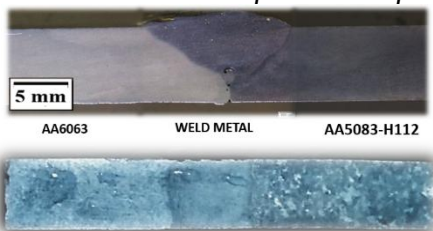
Parameter yang digunakan mengacu pada standar ASTM E 30, *groove and root dimensions* dapat dilihat pada Gambar 2. Proses pengelasan GMAW menggunakan *welding wire* ER5356 berdiameter 1,2 mm, *welding speed* 20,7 cm/min, *wire speed* 5,5 m/min, *voltage* 22 V dan *current* 170 A. *Shelding gas* yang digunakan adalah Argon 99% dengan *flow rate* 18 lt/Mnt. Hasil dari pengelasan GMAW dapat dilihat pada Gambar 3, sedangkan spesimen uji *microstructure* dan laju korosi dapat dilihat pada Gambar 4, yang memiliki detail daerah pengujian dan dimensi seperti terlihat pada Gambar 5.



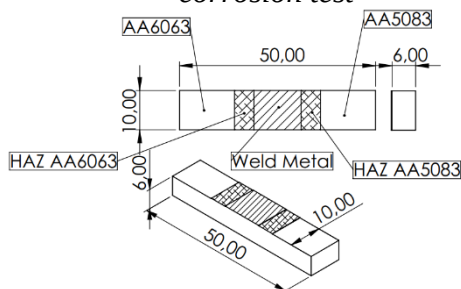
Gambar 2. Groove and root dimensions



Gambar 3. Welded specimens after



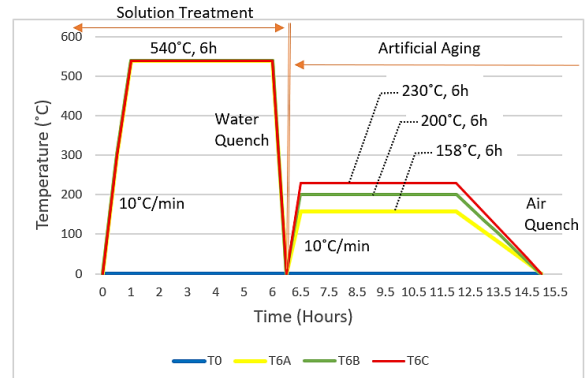
Gambar 4. Specimens of microstructure and corrosion test



Gambar 5. Dimension and area corrosion test

Setelah dilakukan proses pengelasan, selanjutnya dilakukan pembuatan spesimen sesuai dengan Gambar 4, yang memiliki detail daerah pengujian dan dimensi seperti terlihat pada Gambar 5. Selanjutnya pemberian notasi dan proses perlakuan heat treatment T6 untuk masing-masing spesimen dengan ketentuan notasi T0 adalah spesimen tanpa perlakuan heat treatment T6, notasi T6A dilakukan proses heat treatment T6 variasi 1, notasi T6B variasi heat treatment 2, notasi T6C variasi heat treatment 3. Detail variasi heat treatment dapat dilihat pada Table 3, diagram heat treatment T0, T6A, T6B, dan T6C dapat dilihat pada Gambar 6. Furnace yang digunakan untuk proses heat treatment yaitu furnace dengan

merk B-One ceramic fiber muffle furnace 2020 model FNC-7.



Gambar 6. Diagram heat treatment T0, T6A, T6B, dan T6C

Proses pengujian microstructure menggunakan mikroskop dengan merk Euromex Holland model iScope IS.1153-PLi. Perbesaran yang digunakan 400x, material yang akan diuji mikro dilakukan persiapan terlebih dahulu dengan diampas menggunakan grit silicon carbide yang berbeda. Setelah itu dilakukan proses pemolesan, dan etsa dengan keller's reagent yang terdiri dari 5 ml nitric acid, 3 ml hydrochloric acid, 2 ml hydrofluoric acid, dan 190 ml aquades. Pengujian laju korosi dilakukan menggunakan metode pengujian electrochemical potensiodynamic dengan bantuan mesin potentiostat electrochemical bermerk Corrtest tipe Cs310, untuk memperoleh nilai i corr melalui diagram Tafel.

Pengujian laju korosi dilakukan persiapan dengan pengamplasan dan pemolesan dipermukaan yang akan direndam dalam mesin potentiostat electrochemical. Selanjutnya dilakukan proses penutupan permukaan yang tidak diinginkan untuk terendam menggunakan isolative khusus yang bersifat tahan air. Letak pengujian korosi dilakukan pada 5 daerah yaitu: base metal AA5083-H112, HAZ AA5083-H112, base metal AA6063, HAZ 6063 dan weld metal, seperti terlihat pada Gambar 5. Kemudian material direndam dengan larutan NaCl 3.5% wt sesuai ASTM D1141 (ASTM D1141-98 2003) untuk dilakukan proses pengujian electrochemical potensiodynamic. Setelah didapatkan nilai i corr melalui diagram Tafel, kemudian nilai tersebut digunakan untuk

perhitungan laju korosi melalui rumus Hukum Faraday seperti pada persamaan (1) (ASTM G102 2002).

$$\text{Corrosion Rate (mmpy)} = \frac{K \times \alpha \times i}{n \times D} \quad (1)$$

Dimana K = konstanta (0.00327 untuk mmpy), n = jumlah elektron yang dilepas pada logam aluminium (3), D = masa jenis logam aluminium terkorosi (2.69 gram/cm³), α = Berat atom logam aluminium yang terkorosi (26.98 gram/mol), i = i_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$). Validitas data hasil pengujian electrochemical potensiodynamic dikonfirmasi dengan pengujian mikro spesimen sebelum dan sesudah dilakukan heat treatment T6 melalui perhitungan *volume fraction* komposisi *phase* α dan *pitting* lapisan korosi akibat penetrasi Cl- setelah dilakukan pengujian electrochemical potensiodynamic. Perhitungan *volume fraction* menggunakan pendekatan *point counting* yang mengacu standar ASTM E562-19 dengan menggunakan *grid* zize PT 100 *point* dan *grid configurations square pattern* dapat dilihat pada persamaan (2) (ASTM E562-19 2019), (Mein et al. 2012), (Ercetin et al. 2021).

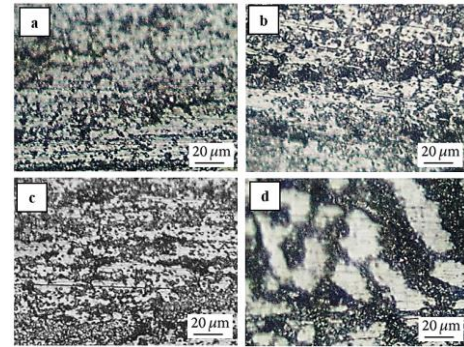
$$Pp(\alpha) = \frac{\Sigma P\alpha}{PT} \times 100 \quad Pp(c) = \frac{\Sigma Pc}{PT} \times 100 \quad (2)$$

Dimana: $Pp(\alpha)$ = % *composition phase* α , $Pp(c)$ = % *composition corrosion layer product*, $\Sigma P\alpha$ = *point count on the* α *field*, ΣPc = *point count on pitting corrosion layer product*, PT = *total number of points in the test grid*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

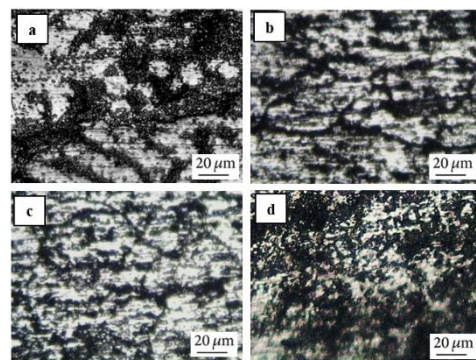
3.1. Microstructure

Pengujian mikro dalam penelitian ini digunakan untuk melihat perubahan microstructure aluminium dan melihat persebaran presipitat baik sebelum maupun setelah dilakukan proses heat treatment T6, berikut hasil pengujian mikro yang diperoleh.



Gambar 7. (a) T0 Base metal AA6063 (b) T6A Base metal AA6063 (c) T6B Base metal AA6063 (d) T6C Base metal AA6063

Berdasarkan Gambar 7 microstructure daerah base metal AA6063 terlihat ukuran butir mengalami perubahan yang awalnya material tanpa heat treatment T6 memiliki ukuran butir cenderung kecil dan tidak banyak pemunculan *phase* β presipitat Mg_2Si . Namun setelah dilakukan heat treatment baik artificial aged 158 °C, artificial aged 200 °C ukuran butir cenderung tidak berubah, tetapi mulai terlihat pemunculan *phase* β presipitat Mg_2Si di matriks α Aal-Mg-Si. Base metal AA6063 artificial aged 230 °C memiliki ukuran butir yang justru menjadi lebih besar dan *phase* β presipitat Mg_2Si cenderung menggumpal pada batas butir. Hal ini terjadi karena daerah base metal AA6063 mengalami over aging setelah dilakukan heat treatment artificial aged 230 °C (Alberto Muñoz et al. 2020b; 2020a; Li et al.

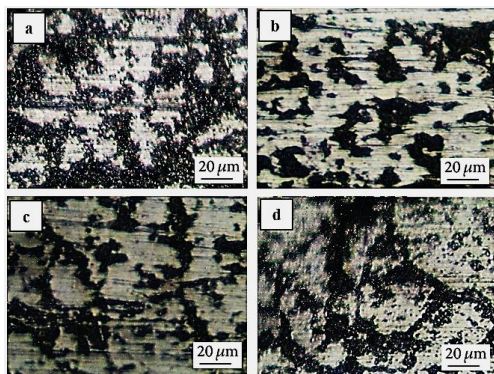


2016).

Gambar 8. (a) T0 HAZ AA6063 (b) T6A HAZ AA6063 (c) T6B HAZ AA6063 (d) T6C HAZ AA6063

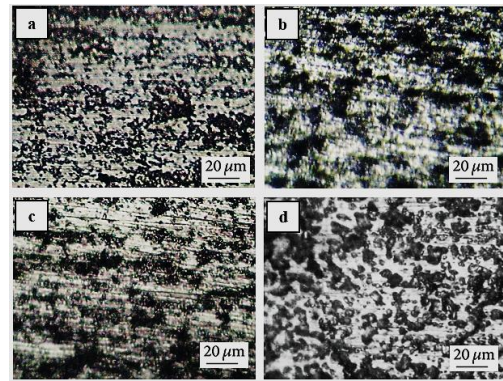
Berdasarkan Gambar 8 microstructure daerah HAZ AA6063 terlihat terdapat perubahan struktur mikro setelah dilakukan proses heat treatment T6. Daerah HAZ AA6063 sebelum dilakukan proses *heat*

treatment T6 terlihat memiliki ukuran butir cenderung besar dan tidak seragam, *phase* β presipitat Mg_2Si banyak yang menggumpal di daerah batas butir. Pemunculan dan menggumpalnya *phase* β presipitat Mg_2Si ini di batas butir terjadi karena proses *heat transfer* di daerah HAZ pada saat proses pengelasan GMAW (Koganti et al. 2008). Setelah dilakukan proses *heat treatment* T6, baik *artificial aged* 158 °C, maupun *artificial aged* 200 °C, struktur mikro AA6063 di daerah HAZ mengalami perubahan ukuran butir menjadi lebih kecil dan cenderung seragam, *phase* β presipitat Mg_2Si menyebar merata pada matriks α Al-Mg-Si (Setyawan et al. 2023). Microstructure daerah HAZ AA6063 *artificial aged* 230 °C menunjukkan presipitat Mg_2Si cenderung kembali menggumpal di daerah batas butir, hal ini terjadi karena daerah HAZ AA6063 mengalami *over aging* setelah dilakukan *artificial aged* 230 °C (Alberto Muñoz et al. 2020b; 2020a; Li et al. 2016).



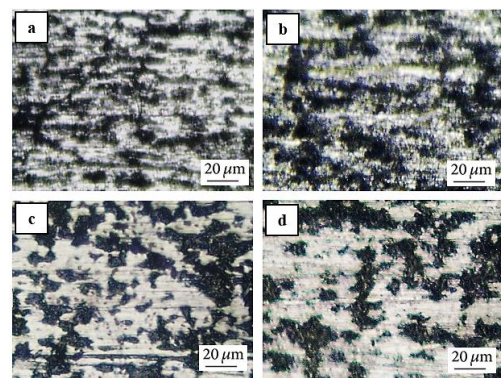
Gambar 9. (a) T0 weld metal (b) T6A weld metal (c) T6B weld metal (d) T6C weld metal

Berdasarkan Gambar 9 microstructure daerah *weld metal* terlihat ukuran butir tidak mengalami perubahan yang signifikan baik sebelum maupun setelah dilakukan proses *heat treatment* T6. Tidak berpengaruhnya *heat treatment* T6 ini terhadap ukuran butir pada daerah *weld metal* diakibatkan karena proses pengelasan GMAW yang digunakan untuk menyambungkan AA5083-H112 dan AA6063 menggunakan *filler* ER 5356 yang bersifat *non-heatreatable*, sehingga tidak akan berpengaruh jika diberikan perlakuan *heat treatment* T6 (Huang, Hua, and Wu 2017; Zhu et al. 2018; Huang, Wu, and Hua 2018; Han et al. 2022).



Gambar 10. (a) T0 HAZ AA5083-H112 (b) T6A HAZ AA5083-H112 (c) T6B HAZ AA5083-H112 (d) T6C HAZ AA5083-H112

Berdasarkan Gambar 10 microstructure daerah HAZ AA5083-H112 terlihat ukuran butir tidak mengalami perubahan yang signifikan baik sebelum maupun setelah dilakukan proses *heat treatment* T6. Hal ini terjadi karena efek H112 di daerah HAZ AA5083 telah hilang akibat proses *heat transfer* pada saat pengelasan GMAW, sehingga aluminium AA5083-H112 menjadi AA5018 normal (seperti tanpa-H112) yang bersifat *non-heatreatable* (Attarilar et al. 2021)

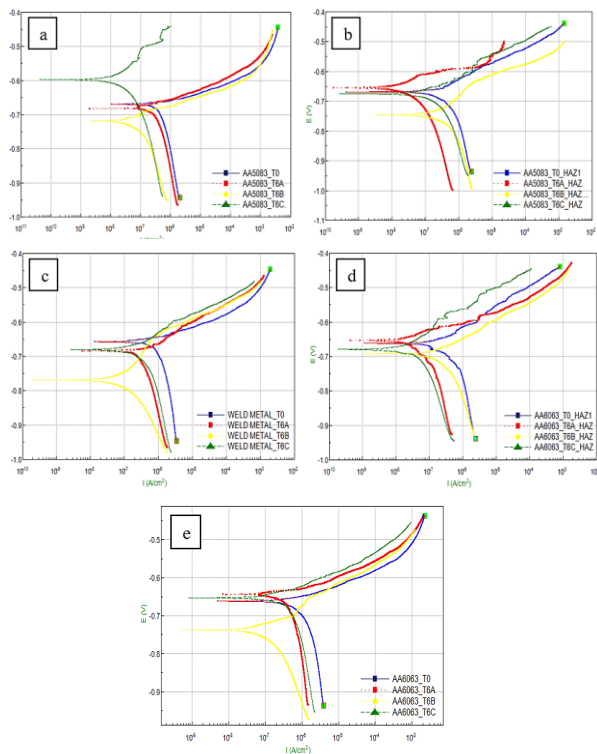


Gambar 11. (a) T0 base metal AA5083-H112 (b) T6A base metal AA5083-H112 (c) T6B base metal AA5083-H112 (d) T6C base metal AA5083-H112

Berdasarkan Gambar 11 microstructure daerah *base metal* AA5083-H112 terlihat ukuran butir mengalami perubahan yang awalnya material tanpa *heat treatment* memiliki ukuran butir kecil memanjang. Namun setelah dilakukan proses *heat treatment* baik *artificial aged* 158 °C, *artificial aged* 200 °C, maupun *artificial aged* 230 °C mengalami perubahan ukuran butir menjadi lebih besar. Aluminium AA5083-H112 sebenarnya merupakan aluminium yang

bersifat *non-heatreatable* yang seharusnya tidak mengalami perubahan ukuran butir akibat proses *heat treatment*. Perubahan ukuran butir tersebut terjadi karena AA5083-H112 sebelum dilakukan *heat treatment* berukuran kecil memanjang merupakan efek dari *strain hardening* berupa *rolling* H112, kemudian perubahan ukuran butir menjadi lebih besar setelah dilakukan proses *heat treatment* T6 terjadi akibat hilangnya efek *rolling* H112 [46], (P. Kumar and Singh 2018; A. Liu, Tang, and Lu 2013).

3.2. Electromechanical Behavior



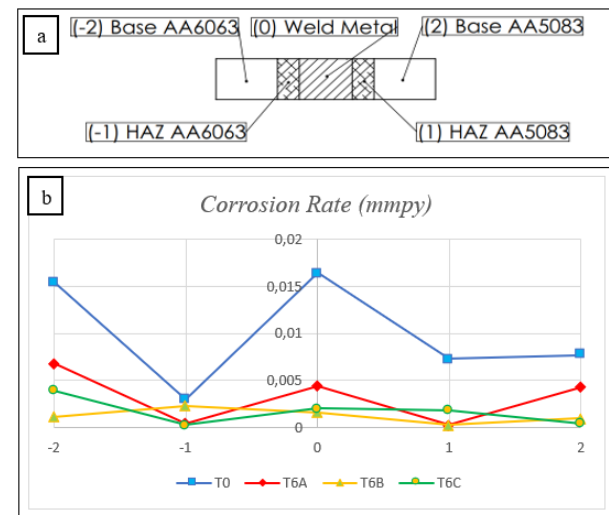
Gambar 12. (a) Diagram Tafel Base metal AA5083-H112, (b) Diagram Tafel HAZ AA5083-H112 (c) Diagram Tafel Weld Metal, (d) Diagram Tafel HAZ AA6063, (e) Diagram Tafel Base Metal AA6063

Berdasarkan diagram Tafel: daerah *base metal* AA5083-H112 dari Gambar 12 (a), daerah HAZ AA5083-H112 dari Gambar 12 (b), daerah *weld metal* dari Gambar 12 (c), daerah HAZ AA6063 dari Gambar 12 (d), dan daerah *base metal* AA6063 dari Gambar 12 (e), didapatkan nilai i_{corr} yang dapat dilihat pada Tabel 3. Melalui nilai i_{corr} tersebut kemudian dilakukan perhitungan dari persamaan Hukum Faraday dan didapatkan

hasil *corrosion rate* (mmpy) seperti terlihat pada Gambar 13.

Tabel 3. Nilai i_{corr}

Daerah	Nilai i_{corr} (amps/cm ²)			
	T0	T6A	T6B	T6C
AA6063	1,42E-06	6,20E-07	1,03E-07	3,57E-07
HAZ AA6063	2,75E-07	3,43E-08	2,11E-07	2,85E-08
Weld metal	1,50E-06	4,01E-07	1,44E-07	1,89E-07
HAZ 5083-H112	6,64E-07	1,84E-08	2,35E-08	1,67E-07
AA5083-H112	7,03E-07	3,93E-07	8,78E-08	3,64E-08



Gambar 13. (a) Letak pengujian *corrosion rate* (b) Nilai *corrosion rate* (mmpy)

Gambar 13 menunjukkan bahwa daerah *base metal* AA6063 tanpa *heat treatment* T6 memiliki *corrosion rate* yang cukup tinggi yaitu 0,015471 mmpy. Hal ini karena *base metal* AA6063 didominasi oleh matriks α Al-Mg-Si sedangkan sebaran presipitat fase β Mg₂Si hanya sedikit. Hal ini dibuktikan oleh Gambar 7 (a) (Mercan, Ayan, and Kahraman 2020). Daerah HAZ AA6063 memiliki nilai *corrosion rate* yang paling rendah pada material tanpa *heat treatment* T6 yaitu sebesar 0,003009 mmpy. Hal ini terjadi dikarenakan telah muncul fase β presipitat Mg₂Si yang berada di batas butir akibat *heat transfer* di daerah HAZ AA6063 pada saat proses pengelasan GMAW. Hal ini dibuktikan oleh

Gambar 8 (a). Phase β presipitat Mg_2Si akan mengakibatkan peningkatan *corrosion resistance* pada aluminium AA6063 (Qin et al. 2022).

Daerah *weld metal* material tanpa heat treatment memiliki nilai *corrosion rate* yang paling tinggi yaitu sebesar 0,016411 mmpy. Hal ini dikibatkan karena dengan adanya proses pengelasan GMAW pada AA5083-H112 dan AA6063 menggunakan ER5356 akan menghasilkan pemunculan phase β presipitat Mg_3Al_2 . Pemunculan presipitat Mg_3Al_2 ini akan berdampak pada penurunan *corrosion resistance* aluminium seri 5xxx (Alberto Muñoz et al. 2020a), (Hatch 1984), (Cross and Kohn 1993).

Daerah HAZ tanpa *heat treatment* T6 memiliki nilai *corrosion rate* sebesar 0,0072627 mmpy, sedangkan pada *base metal* AA5083-H112 sebesar 0,007689 mmpy. Nilai *corrosion rate* ini lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai *corrosion rate* pada daerah *base metal* AA6063 yaitu sebesar 0,015471 mmpy. Hal ini terjadi karena aluminium AA5083-H112 memiliki ketahanan terhadap korosi, akibat persebaran Mg di matriks α aluminium berupa senyawa Al_8Mg_5 yang memiliki sifat *corrosion resistance* yang tinggi (Wahid, Siddiquee, and Khan 2020), (Jebaraj, Sampath Kumar, and Jebaraj 2020b), (Yan and Hodge 2017).

Daerah *base metal* AA6063 setelah dilakukan *heat treatment* T6A *artificial aged* 158 °C mengalami penurunan *corrosion rate* menjadi 0,006782 mmpy. Hal ini terjadi karena daerah *base metal* AA6063 mulai muncul phase β presipitat Mg_2Si seperti terlihat pada Gambar 6 (b) yang mampu meningkatkan *corrosion resistance* (Yürük, Çevik, and Kahraman 2021). Daerah *base metal* AA6063 setelah dilakukan *heat treatment* T6B *artificial aged* 200°C, maupun T6C *artificial aged* 230°C mengalami penurunan *corrosion rate* yang lebih signifikan yaitu menjadi 0,0039 mmpy untuk T6C dan 0,001133 untuk T6B.

Hal ini terjadi karena pada *artificial aged* 200°C mulai muncul phase β presipitat Mg_2Si yang tersebar merata di matriks α Al-Mg-Si

seperti terlihat pada Gambar 7 (c) dan pada *artificial aged* 230°C phase β presipitat Mg_2Si yang menggumpal di batas butir akibat *over aging* seperti terlihat pada Gambar 7 (d), tetapi kedua kondisi ini sama-sama mampu meningkatkan *corrosion resistance* dari AA6063 (Alberto Muñoz et al. 2020a; 2020b; Koganti et al. 2008). Nilai *corrosion resistance* dari daerah *base metal* AA6063 meningkat signifikan setelah dilakukan *heat treatment* T6, tetapi dari ketiga variasi *temperature artificial aging* T6A, T6B, dan T6C relative sama. Hal ini menunjukkan pemunculan phase β presipitat Mg_2Si akan meningkatkan *corrosion resistance*, tetapi letak persebaran phase β presipitat Mg_2Si baik di batas butir maupun tersebar merata di matriks α tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan *corrosion resistance* AA6063 (Qin et al. 2022), (Kim, Shin, and Lee 2022).

Daerah HAZ AA6063 setelah dilakukan *heat treatment* T6A *artificial aged* 158 °C, *heat treatment* T6B *artificial aged* 200°C, maupun *heat treatment* T6C *artificial aged* 230°C tidak mengalami perubahan yang signifikan, walaupun ke-4 variasi memiliki perbedaan penyebaran phase β presipitat Mg_2Si . Material tanpa *heat treatment* T6 dan material dengan *artificial aged* 230°C memiliki phase β presipitat Mg_2Si yang menggumpal di batas butir seperti terlihat pada Gambar 8 (a) dan Gambar 8 (d), sedangkan material dengan *artificial aged* 158 °C dan *artificial aged* 200°C memiliki phase β presipitat Mg_2Si yang menyebar di matriks α Al-Mg-Si seperti terlihat pada Gambar 8 (b) dan Gambar 8 (c). Hal ini mengkonfirmasi pemunculan phase β presipitat Mg_2Si akan meningkatkan *corrosion resistance*, tetapi letak persebaran phase β presipitat Mg_2Si baik di batas butir maupun tersebar merata di matriks α tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan *corrosion resistance* HAZ AA6063 (Qin et al. 2022).

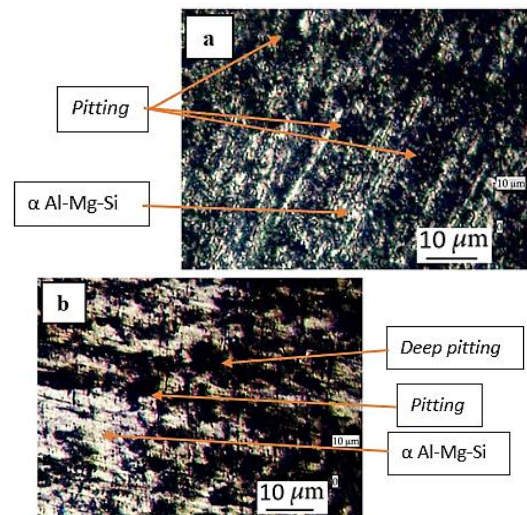
Daerah *weld metal* setelah dilakukan *heat treatment* T6 *artificial aged* 158 °C, *artificial aged* 200°C, maupun *artificial aged* 230°C mengalami penurunan *corrosion rate* yang signifikan. Namun variasi perbedaan *temperature artificial aging* T6A, T6B, dan

T6C memiliki *corrosion rate* yang relative sama. Walaupun struktur mikro di daerah *weld metal* terlihat memiliki ukuran butir dan phase β yang relative sama baik sebelum maupun setelah dilakukan proses *heat treatment* baik T6A, T6B, maupun T6C, akan tetapi memiliki nilai *corrosion rate* yang sangat berbeda. Hal ini dikarenakan perbedaan jenis phase β yang muncul pada daerah *weld metal*. Daerah *weld metal* tanpa *heat treatment* T6 memiliki nilai *corrosion rate* yang tinggi karena proses pengelasan GMAW akan memunculkan phase β berupa presipitat Mg_3Al_2 yang bersifat lebih *anodict* sehingga akan menurunkan *corrosion resistance* di daerah *weld metal* (Cross and Kohn 1993), (Jebaraj, Sampath Kumar, and Jebaraj 2020a), (Yadav et al. 2022). Namun setelah dilakukan *heat treatment* T6 pada daerah *weld metal* dapat merubah kondisi menjadi super saturated solid solution dan memunculkan phase β berupa presipitat $Al_6(Mn,Fe)$ & Al_8Mg_5 yang berefek meningkatnya *corrosion resistance* (Tan and Allen 2010).

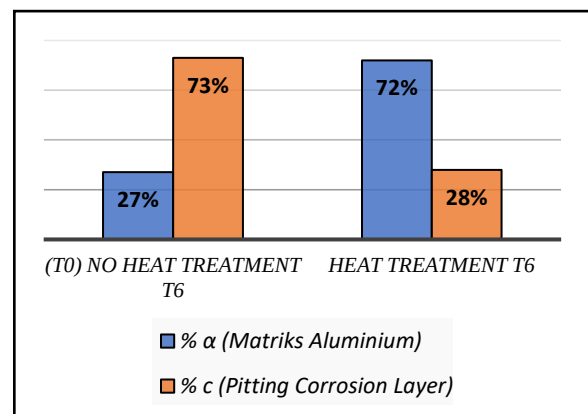
Daerah *base metal* dan HAZ AA5083-H112 setelah dilakukan *heat treatment* T6A *artificial aged* 158 °C, T6B *artificial aged* 200°C, maupun T6C *artificial aged* 230°C mengalami penurunan *corrosion rate* yang signifikan. Namun variasi perbedaan *temperature artificial aging* T6A, T6B, dan T6C memiliki *corrosion rate* yang relative sama. Hal ini terjadi karena perlakuan *heat treatment* T6 pada daerah *base metal* dan HAZ AA5083-H112 dapat merubah kondisi material menjadi *super saturated solid solution* dan Mg akan tersebar merata pada matriks α aluminium berupa Al_8Mg_5 serta memunculkan phase β $Al_6(Mn,Fe)$ yang berefek pada meningkatnya *corrosion resistance* di daerah ini (Tan and Allen 2010). Tidak berpengaruhnya variasi perbedaan *temperature artificial aging* terhadap *corrosion rate* daerah *base metal* dan HAZ AA5083-H112 diakibatkan karena struktur mikro yang tidak mengalami perubahan signifikan pada setiap variasi *heat treatment* seperti terlihat pada Gambar 10 (b), (c), (d) dan Gambar 11 (b), (c), (d) karena sifat dasar AA5083-H112 adalah material *non*

heatreatable (Jebaraj, Sampath Kumar, and Jebaraj 2020b; 2020a; Huang, Hua, and Wu 2017).

Data-data tersebut membuktikan bahwa *heat treatment* T6 pada pengelasan *dissimilar materials welding* antara AA6063 dan AA5083-H112 mengalami peningkatan *corrosion resistance*. Perubahan *corrosion resistance* tersebut dapat divalidasi dengan perubahan struktur mikro setelah dilakukan proses pengujian electrochemical potensiodynamic sebelum dan sesudah dilakukan *heat treatment* T6 seperti terlihat pada Gambar 14, yang dikonfirmasi melalui perhitungan volume fraction komposisi phase α dan pitting lapisan korosi akibat penetrasi clorida anion / Cl^- yang dapat dilihat pada Gambar 15 (ASTM E562-19 2019).



Gambar 14. Struktur mikro setelah pengujian electrochemical potensiodynamic (a) T0 No heat treatment T6 (b) T6 heat treated



Gambar 15. Composition pitting corrosion product layer

Berdasarkan Gambar 14 terlihat terdapat perbedaan struktur mikro aluminium sebelum dan sesudah dilakukan *heat treatment* T6. Aluminium sebelum dilakukan *heat treatment* T6 memiliki hasil nilai *corrosion rate* yang tinggi yaitu sebesar 0,015471 mpy, terlihat hampir seluruh permukaan tertutupi oleh pitting lapisan korosi akibat penetrasi klorida anion / Cl⁻. Hal ini dikonfirmasi dengan perhitungan *volume fraction* komposisi *corrosion layer product* sebesar 73 % dan α hanya sebesar 27 %.

Penelitian ini memiliki perbedaan signifikan dibandingkan penelitian sebelumnya, karena secara khusus mengevaluasi pengaruh variasi *temperatur artificial aging* dalam perlakuan panas T6 terhadap ketahanan korosi sambungan las *dissimilar* antara aluminium AA5083-H112 dan AA6063. Sebagian besar penelitian sebelumnya hanya berfokus pada karakterisasi mekanik atau struktur mikro tanpa mengaitkannya secara kuantitatif dengan ketahanan korosi setelah *heat treatment*.

Hal ini ditunjukkan dari hasil penelitian yang menegaskan bahwa *corrosion resistance* pada sambungan las *dissimilar* sebelum dilakukan *heat treatment* T6 tergolong rendah. Namun, setelah diberikan perlakuan panas T6, nilai *corrosion rate* menurun secara signifikan menjadi 0,000397 mpy. Permukaan material pasca-penguatan menunjukkan sangat sedikit area yang tertutupi oleh *pitting* akibat penetrasi ion klorida (Cl⁻), yang menjadi indikator penting dalam serangan korosi lokal.

Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa *volume fraction* dari produk lapisan korosi hanya sebesar 28%, sedangkan fasa α yang tahan korosi mendominasi hingga 72%, yang menandakan peningkatan *corrosion resistance* secara signifikan (Feng et al., 2023b). Temuan ini menegaskan bahwa perlakuan panas T6 memberikan kontribusi penting dalam meningkatkan ketahanan korosi pada sambungan las *dissimilar* AA5083-H112 dan AA6063, suatu aspek yang belum banyak dikaji secara komprehensif dalam studi sebelumnya.

4. PENUTUP

4.1. Kesimpulan

Proses *heat treatment* T6 terbukti meningkatkan ketahanan korosi pada sambungan las *dissimilar* antara AA5083-H112 dan AA6063 melalui pembentukan struktur *super saturated solid solution* dan *presipitat fasa β* , seperti Mg₂Si pada AA6063 serta Al₆(Mn,Fe) dan Al₈Mg₅ pada AA5083-H112. Jenis dan keberadaan fasa β *presipitat* berperan signifikan dalam peningkatan ketahanan korosi, sementara persebarannya—baik di batas butir maupun di dalam matriks α —tidak menunjukkan pengaruh yang berarti. Selain itu, variasi suhu pada tahap *artificial aging* (T6A, T6B, dan T6C) tidak memberikan perbedaan signifikan terhadap perilaku korosi pada sambungan las yang diteliti.

4.2. Saran

Diperlukan kajian lebih lanjut mengenai optimalisasi komposisi dan morfologi fasa β *presipitat* untuk memperoleh ketahanan korosi yang lebih tinggi pada sambungan las *dissimilar* AA5083-H112 dan AA6063. Mengingat persebaran *presipitat* tidak berpengaruh signifikan, fokus penelitian lanjutan sebaiknya diarahkan pada pengendalian jenis dan ukuran *presipitat* melalui modifikasi parameter *aging* seperti laju pemanasan, waktu tahan, atau perlakuan termomekanik tambahan. Selain itu, pengujian dalam lingkungan korosif yang lebih kompleks dan realistis, seperti air laut alami, diperlukan untuk memastikan keandalan aplikasi hasil perlakuan panas T6 dalam kondisi operasional sebenarnya.

5. DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, R., and M. A. Bakar. 2011. 'Effect of a Post-Weld Heat Treatment on the Mechanical and Microstructure Properties of AA6061 Joints Welded by the Gas Metal Arc Welding Cold Metal Transfer Method'. *Materials and Design* 32 (10): 5120–26.

- <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.06.007>.
- Alberto Muñoz, Jairo, Alexander Komissarov, Martina Avalos, and Raúl E. Bolmaro. 2020a. 'Heat Treatment Effect on an AA6063 Alloy'. *Materials Letters* 277 (October).
<https://doi.org/10.1016/j.matlet.2020.128338>.
- Andrade, Jéssica Simões de, Magda Rosângela Santos Vieira, Sara Horácio Oliveira, Suseanne Kedma de Melo Santos, and Severino Leopoldino Urtiga Filho. 2020. 'Study of Microbiologically Induced Corrosion of 5052 Aluminum Alloy by Sulfate-Reducing Bacteria in Seawater'. *Materials Chemistry and Physics* 241 (February).
<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.122296>.
- Ascari, Alessandro, Alessandro Fortunato, Leonardo Orazi, and Giampaolo Campana. 2012. 'The Influence of Process Parameters on Porosity Formation in Hybrid LASER-GMA Welding of AA6082 Aluminum Alloy'. *Optics and Laser Technology* 44 (5): 1485–90.
<https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2011.12.014>.
- ASTM D1141-98. 2003. Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water. Washington: ASTM Publishing.
- ASTM E562-19. 2019. Standard Test Method for Determining Volume Fraction by Systematic Manual Point Count 1. Washington: ASTM publishing.
<https://doi.org/10.1520/E0562-19>.
- ASTM G102. 2002. Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurement. Washington: ASTM Publishing.
- Attarilar, Shokouh, Mahmoud Ebrahimi, Tsung Hsien Hsieh, Jun Yen Uan, and Ceren Göde. 2021. 'An Insight into the Vibration-Assisted Rolling of AA5052 Aluminum Alloy: Tensile Strength, Deformation Microstructure, and Texture Evolution'. *Materials Science and Engineering A* 803 (January).
<https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.140489>.
- Cevik, Bekir, and Behcet GülenC. 2018. 'The Effect of Welding Speed on Mechanical and Microstructural Properties of 5754 Al (AlMg3) Alloy Joined by Laser Welding'. *Materials Research Express* 5 (8).
<https://doi.org/10.1088/2053-1591/aad3b0>.
- Chacón-Fernández, Sandra, Antonio Portolés García, and Gerardo Romaní Labanda. 2022. 'Influence of Parameters on the Microstructure of a Duplex Stainless Steel Joint Welded by a GMAW Welding Process'. *Progress in Natural Science: Materials International*, July.
<https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2022.06.003>.
- Choi, Don Hyun, Byung Wook Ahn, David J. Quesnel, and Seung Boo Jung. 2013. 'Behavior of β Phase (Al3Mg2) in AA 5083 during Friction Stir Welding'. *Intermetallics* 35:120–27.
<https://doi.org/10.1016/j.intermet.2012.12.004>.
- Cross, C.E, and M.L. Kohn. 1993. Selection and Weldability of Non-Heat-Treatable Aluminum Alloys. ASM Handbook, Welding Brazing and Soldering. 6th ed.
- Ding, Yusheng, Xiaolan Wu, Kunyuan Gao, Cheng Huang, Xiangyuan Xiong, Hui Huang, Shenping Wen, and Zuoren Nie. 2020. 'The Influence of Stabilization Treatment on Long-Term Corrosion Resistance and Microstructure in Er and Zr Containing 5083 Aluminum Alloy'. *Materials Characterization* 161 (March).
<https://doi.org/10.1016/j.matchar.2020.110143>.
- Ercetin, Ali, Fatih Akkoyun, Ercan Şimşir, Danil Yurievich Pimenov, Khaled Giasin, Manjunath Patel Gowdru Chandrashekarappa, Avinash Lakshmikanthan, and Szymon Wojciechowski. 2021. 'Image Processing of Mg-al-Sn Alloy Microstructures for Determining Phase Ratios and Grain Size and Correction with Manual

- Measurement'. *Materials* 14 (17).
<https://doi.org/10.3390/ma14175095>.
- Feng, Hao, Yulin Chen, Hongshan Yang, Ping Yang, Jian Zhang, and Baipo Shu. 2023a. 'Effects of Aging Treatment on the Mechanical Properties and Corrosion Resistance of an Al-Cu-Mg-Li Alloy'. *Materials Today Communications*, June, 105487.
<https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.105487>.
- Han, Siyuan, Xinhua Tang, Guoqiang Liu, Lidong Xu, Haichao Cui, and Chendong Shao. 2022. 'Effects of Arc Interaction on Lack-of-Fusion and Porosity in Tandem NG-GMAW of 5083 Al-Mg Alloy'. *Journal of Manufacturing Processes* 81 (September):92–106.
<https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.06.059>.
- Hatch, J. E. 1984. *Aluminum: Properties and Physical Metallurgy*. American Society for Metals.
- Heidarzadeh, A., S. Mironov, R. Kaibyshev, G. Çam, A. Simar, A. Gerlich, F. Khodabakhshi, et al. 2021. 'Friction Stir Welding/Processing of Metals and Alloys: A Comprehensive Review on Microstructural Evolution'. *Progress in Materials Science*. Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2020.100752>.
- Huang, Lijin, Xueming Hua, and Dongsheng Wu. 2017. 'Microstructural Characterization of 5083 Aluminum Alloy Thick Plates Welded with GMAW and Twin Wire GMAW Processes'. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 93 (5–8): 1809–17. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0480-1>.
- Huang, Lijin, Dongsheng Wu, and Xueming Hua. 2018. 'Effect of the Welding Direction on the Microstructural Characterization in Fiber Laser-GMAW Hybrid Welding of 5083 Aluminum Alloy'. *Journal of Manufacturing Processes* 31 (January):514–22.
<https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2017.12.010>.
- Huda, Zainul, Nur Iskandar Taib, and Tuan Zaharinie. 2009. 'Characterization of 2024-T3: An Aerospace Aluminum Alloy'. *Materials Chemistry and Physics* 113 (2–3): 515–17.
<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2008.09.050>.
- Jebaraj, AVinoth, T Sampath Kumar, and Vinoth Jebaraj. 2020a. 'Mechanical and Corrosion Behaviour of Aluminum Alloy 5083 and Its Weldment for Marine Applications'. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 22. www.sciencedirect.comwww.materialstoday.com/proceedings2214-7853.
- A. Vinoth Jebaraj, K.V.V. Aditya, T. Sampath Kumar, L. Ajaykumar. 2020b. 'Mechanical and Corrosion Behaviour of Aluminum Alloy 5083 and Its Weldment for Marine Applications'. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 22. www.sciencedirect.comwww.materialstoday.com/proceedings2214-7853.
- Kashaev, Nikolai, Volker Ventzke, and Gürel Çam. 2018. 'Prospects of Laser Beam Welding and Friction Stir Welding Processes for Aluminum Airframe Structural Applications'. *Journal of Manufacturing Processes*. Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.10.005>.
- Kim, Junho, Suhee Shin, and Seunghyo Lee. 2022. 'Correlation between Microstructural Evolution and Corrosion Resistance of Hypoeutectic Al–Si–Mg Alloy: Influence of Corrosion Product Layer'. *Materials Characterization* 193 (November).
<https://doi.org/10.1016/j.matchar.2022.112276>.
- Koganti, Ramakrishna, Adrian Elliott, Matthew Zaluzec, Ari Caliskan, and Armando Joaquin. 2008. 'Influence of Heat Treatment on Gas Metal Arc Welded Aluminum 6063 Alloy for Automotive Aluminum Spaceframe Architectures'. In *IMECE2008*.

- <http://www.asme.org/about-asme/terms-of-use>.
- Kumar, Pankaj, and Akhilendra Singh. 2018. 'Investigation of Fracture Behaviour and Low Cycle Fatigue Properties of Cryorolled Al-Mg Alloy'. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics* 98 (December):78–94. <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2018.09.017>.
- Kumar, Sanjay, Ashish Kumar Srivastava, Rakesh Kumar Singh, and Shashi Prakash Dwivedi. 2019. 'Experimental Study on Hardness and Fatigue Behavior in Joining of AA5083 and AA6063 by Friction Stir Welding'. In *Materials Today: Proceedings*, 25:646–48. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.535>.
- Li, Zedi, Chong Li, Yongchang Liu, Liming Yu, Qianying Guo, and Huijun Li. 2016. 'Effect of Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Property of Al-10%Mg2Si Alloy'. *Journal of Alloys and Compounds* 663 (April):16–19. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.12.128>.
- Liu, Anhua, Xinhua Tang, and Fenggui Lu. 2013. 'Study on Welding Process and Prosperities of AA5754 Al-Alloy Welded by Double Pulsed Gas Metal Arc Welding'. *Materials and Design* 50:149–55. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.02.087>.
- Liu, Jun, Ming Jen Tan, Anders E.W. Jarfors, Samuel C.V. Lim, Kai Soon Fong, and Sylvie Castagne. 2012. 'Greener Manufacturing: Superplastic-like Forming'. In *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 379. Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/379/1/012034>.
- Manikandan, V., K. Mariselvam, R. Nekin Joshua, C. Ramesh, and K. Arunprasath. 2022. 'Study on Process Parameters of Tungsten Inert Gas Welded Aluminium Alloy 5086 through Mechanical Characteristics'. *Materials Today: Proceedings*, no. xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.641>.
- Mein, A., G. Fourlaris, D. Crowther, and P. J. Evans. 2012. 'The Influence of Aluminium on the Ferrite Formation and Microstructural Development in Hot Rolled Dual-Phase Steel'. *Materials Characterization* 64 (February):69–78. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2011.11.016>.
- Meng, Xuan, Shanglei Yang, Yubao Huang, Yu Fang, Jiaying Gu, Qi Xiong, and Chenfeng Duan. 2021. 'Microstructure Characterization and Mechanism of Fatigue Crack Propagation of 6082 Aluminum Alloy Joints'. *Materials Chemistry and Physics* 257 (January). <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123734>.
- Mercan, Emine, Yusuf Ayan, and Nizamettin Kahraman. 2020. 'Investigation on Joint Properties of AA5754 and AA6013 Dissimilar Aluminum Alloys Welded Using Automatic GMAW'. *Engineering Science and Technology, an International Journal* 23 (4): 723–31. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.11.004>.
- Pakdil, M., G. Çam, M. Koçak, and S. Erim. 2011. 'Microstructural and Mechanical Characterization of Laser Beam Welded AA6056 Al-Alloy'. *Materials Science and Engineering A* 528 (24): 7350–56. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2011.06.010>.
- Pratikno, Herman. 2015. 'Aging Treatment to Increase the Erosion-Corrosion Resistance of AA6063 Alloys for Marine Application'. *Procedia Earth and Planetary Science* 14:41–46. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.07.083>.
- Qin, Jian, Hiromi Nagaumi, Chengbin Yu, Fangzhen Liu, Yifeng Li, and Linsheng Wang. 2022. 'Coarsening Behavior of Mg2Si Precipitates during Post

- Homogenization Cooling Process in Al-Mg-Si Alloy'. *Journal of Alloys and Compounds* 902 (May). <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.162851>.
- Setyawan, H., N. Muhayat, M. Z. Yuliadi, Y. H.P. Manurung, and Triyono. 2023. 'Effect of Artificial Ageing Temperature in T6-Heat Treatment on the Mechanical Properties of Dissimilar Metals Weld between Aa5083 and Aa6063'. *Archives of Materials Science and Engineering* 123 (2): 72–85. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.2492>.
- Setyawan, H., Fahlovi, O., Kurnia, G., & Rasyda, T. D. U. (2025). A Comprehensive Review of the Corrosion Behavior in Dissimilar aluminum alloys Welding of AA5xxx and AA6xxx. *International Journal of Mechanics, Energy Engineering and Applied Science (IJMEAS)*, 3(1), 6–13. <https://doi.org/10.53893/ijmeas.v3i1.331>
- Tan, L., and T. R. Allen. 2010. 'Effect of Thermomechanical Treatment on the Corrosion of AA5083'. *Corrosion Science* 52 (2): 548–54. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.10.013>.
- Vargas, Javier A., Jaime E. Torres, Jovanny A. Pacheco, and Roque J. Hernandez. 2013. 'Analysis of Heat Input Effect on the Mechanical Properties of Al-6061-T6 Alloy Weld Joints'. *Materials and Design* 52:556–64. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.05.081>.
- Ventzke, V, J F dos Santos, M Koçak, G Jennequin, and P Gonthier-Maurin. 1999. 'Characterisation of Electron Beam Welded Aluminium Alloys'.
- Wahid, Mohd Atif, Arshad Noor Siddiquee, and Zahid A. Khan. 2020. 'Aluminum Alloys in Marine Construction: Characteristics, Application, and Problems from a Fabrication Viewpoint'. *Marine Systems and Ocean Technology*. Springer. <https://doi.org/10.1007/s40868-019-00069-w>.
- Wang, Caimei, Qilong Guo, Minghao Shao, Hua Zhang, Feifan Wang, Baoyong Song, Yajuan Ji, and Huaixue Li. 2022. 'Microstructure and Corrosion Behavior of Linear Friction Welded TA15 and TC17 Dissimilar Joint'. *Materials Characterization* 187 (February): 111871. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2022.111871>.
- Yadav, Rajesh, Ankur Kumar, Gajanan P. Chaudhari, and A. G. Paradkar. 2022. 'Mechanical and Stress Corrosion Cracking Behavior of Welded 5059H116 Alloy'. *Corrosion Science* 206 (September). <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2022.110528>.
- Yan, Jianfeng, and Andrea M. Hodge. 2017. 'Study of β Precipitation and Layer Structure Formation in Al 5083: The Role of Dispersoids and Grain Boundaries'. *Journal of Alloys and Compounds* 703:242–50. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.01.360>.
- Yürük, Ali, Bekir Çevik, and Nizamettin Kahraman. 2021. 'Analysis of Mechanical and Microstructural Properties of Gas Metal Arc Welded Dissimilar Aluminum Alloys (AA5754/AA6013)'. *Materials Chemistry and Physics* 273 (August): 125117. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.125117>.
- Zhu, Chenxiao, Jason Cheon, Xinhua Tang, Suck Joo Na, and Haichao Cui. 2018. 'Molten Pool Behaviors and Their Influences on Welding Defects in Narrow Gap GMAW of 5083 Al-Alloy'. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 126 (November):1206–21. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.05.132>.