Seminar Nasional – XX
Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri
Kampus ITENAS
Bandung, 25 November 2021

ISSN 1693-3168

Analisis Mikrostruktur dan Sifat Mekanis Sambungan Las Tak Sejenis Aluminium Paduan AA5083-H112/AA6061-T6

Eki Afifuddin dan M. N. Ilman

Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No. 2, Yogyakarta, 55281, Indonesia
e-mail: ekiafifuddin@mail.ugm.ac.id
e-mail: ilman_noer@ugm.ac.id

Abstrak

Pengelasan dua jenis logam yang berbeda banyak diaplikasikan pada struktur atau mesin karena 2 alasan utama., yaitu: (1) untuk optimasi sifat-sifat mekanis dan korosi dan (2) pertimbangan ekonomi. Pada penelitian ini material yang diteliti adalah sambungan las metal inert gas (MIG) dari aluminium paduan AA5083-H112 dan AA6061-T6. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan studi komparasi pada hasil pengelasan logam sejenis aluminium dengan seri AA5083-H112 dan AA6061-T6 terhadap pengelasan logam tak sejenis aluminium AA5083-H112/AA6061-T6 ditinjau dari pengamatan struktur mikro yang terbentuk, nilai kekerasan, dan kekutan tarik,. Pengelasan dilakukan menggunakan jenis las MIG dengan parameter las sebagai berikut: arus listrik AC dengan (I): 120 Amper, tegangan (E): 20 Volt ,kecepatan pengelasan (v): 12 mm/detik dan masukan panas (H): 200 J/mm. Elektroda yang digunakan ER5356 dengan diameter elektroda: 0,8 mm sedangkan gas pelindung berupa Argon debit sebesar 25 liter/menit. Hasil pengamatan struktur mikro pada logam las menunjukkan bahwa struktur mikro yang terbentuk berupa equiaxed dendrite dan kekuatan tarik maksimum (ultimate tensile strength) pada sambungan las logam tak sejenis AA5083-H112/AA6061-T6 ini sebesar 164.50 MPa dan berada diantara kekuatan tarik sambungan las sejenis logam AA5083H-112 dan logam sejenis AA6061-T6. Pada pengujian korosi menunjukkan bahwa logam tak sejenis AA5083-H112/AA6061-T6 mengalami korosi lebih cepat dari pengelasan sejenis.

Kata kunci :AA5083-H112, AA6061-T6, pengelasan las logam tak sejenis, las MIG.

1. Pendahuluan

Teknik pengelasan Metal Inert Gas (MIG) merupakan salah satu teknik las busur listrik dimana proses penyatuan logam dilakukan dengan sumber panas dihasilkan dari busur listrik yang terbentuk di antara kawat elektroda pengisi yang terumpan secara kontinu dan logam yang dilas. Untuk melindungi busur dan kolam las cair dari udara luar biasanya digunakan gas mulia (inert gas) seperti Argon dan Helium [1]. Las MIG banyak digunakan untuk pengelasan pelat tipis pada paduan logam non-ferro dan baja tahan karat. Pengelasan logam tak sejenis atau biasanya juga disebut pengelasan dissimilar merupakan proses penyambungan dua jenis logam yang berbeda. Beberapa pengelasan tentang logam tak sejenis menggunakan las MIG telah dilakukan seperti pengelasan baja tahan karat dan baja struktur [2], baja dengan aluminium [3] dan baja kuat dengan baja Mn tinggi yang dikenal dengan nama baja hadfield [4].

Paduan aluminium digunakan dalam berbagai aplikasi di industri, seperti permesinan dan struktur, kedirgantaraan, perkapalan dan otomotif. Dalam beberapa aplikasi, ada kebutuhan untuk menggabungkan dua seri paduan aluminium yang berbeda. Namun demikian, dua aluminium paduan yang berbeda mempunyai sifat-sifat kimia, metalurgi

ISSN 1693-3168

dan termal yang berbeda pula dan dengan demikian menyebabkan kesulitan saat penyambungan dengan menggunakan las cair (fusion welding) seperti las gas metal arc welding (GMAW) sehingga proses pengelasan menjadi sangat kompleks [5] Aluminium paduan jenis AA5083-H112 dan AA6061-T6 adalah logam paduan yang banyak digunakan di industri dimana proses pemilihan material ini didasarkan pada kebutuhan desain sesuai dengan sifat fisik dan mekanik dari masing masing material. Pada umumnya, aluminium paduan seri 5xxx digunakan pada bagian-bagian kapal seperti hull karena ketahanan korosinya yang baik terhadap air laut dan aluminium seri 6xxx umumnya juga digunakan pada bagian kapal seperti seperti stiffener dan deck kapal [6].

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari struktur mikro, kekerasan, kekuatan tarik dan perilaku korosi sambungan las dissimilar AA5083-H112/AA6061-T6 dan selanjutnya dibandingkan dengan pengelasan sejenis (similar) pada aluminium AA5083-H112 dan AA6061-T6. Hasil penelitian ini selanjutnya akan memberikan kontribusi pada proses perancangan sebuah produk mesin/struktur yang lebih efektif dan efesien sehingga penggunaan dari aluminium paduan ini dapat dioptimalkan.

2 Metodologi

2.1 Material

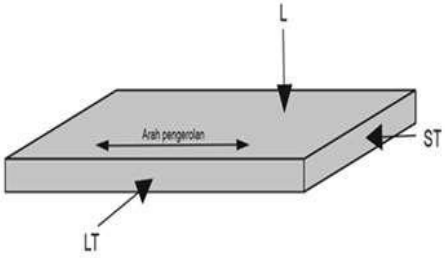
Material yang digunakan pada penelitian ini adalah pelat aluminium paduan AA5083 H-116 dan AA6061-T6 dengan ketebalan 3 mm sedangkan elektroda berupa ER5356 dengan komposisi yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia material.

Material	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Al
AA5083-H112	0,18	0,31	0,042	0,6	4,76	0,15	0,086	0,013	Bal.
AA6061-T6	0,6	0,7	0,2	0,25	0,95	0,25	0,15	0,02	Bal.
ER5356	0,25	0,7	0,2	0,05-0,2	4,5-5,5	0,1	0,05-0,2	0,06-0,2	Bal.

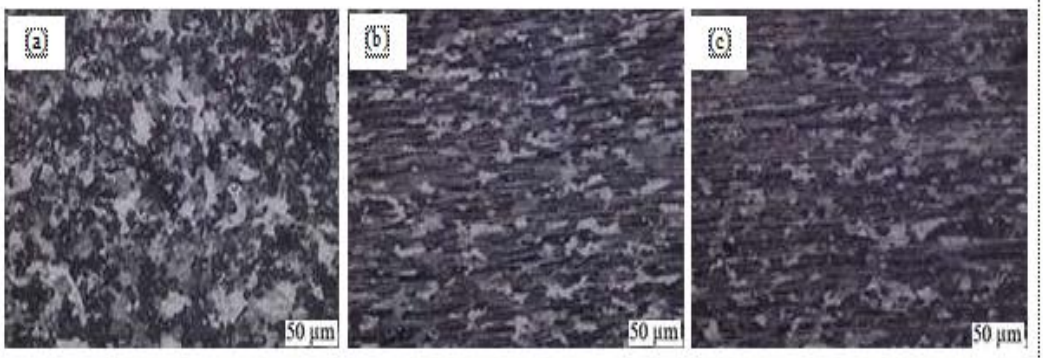
2.2 Prosedur Penelitian

Pengamatan struktur mikro dari logam induk AA5083-H112 dan AA6061-T6 dilakukan dengan pemolesan dan dilakukan etsa sesuai standar ASTM E407 [5] dan diambil dari tiga arah seperti yang ditampilkan pada Gambar 1, yaitu arah *longitudinal* (L),arah *long tranverse* (LT) dan arah *short tranverse* (ST) dengan hasil struktur mikro yang ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3 masing-masing untuk pelat AA5083-H112 dan AA6061-T6. Dari Gambar 2 dan Gambar 3 terlihat bahwa butir-butir pada AA5083-H112 dan AA6061-T6 posisi ST terlihat memanjang searah dengan arah rol yang dikenal dengan *texture*. Butir kasar dan cenderung berupa *polygonal* (*equi-axed*) terlihat pada arah longitudinal (L) untuk kedua jenis pelat.

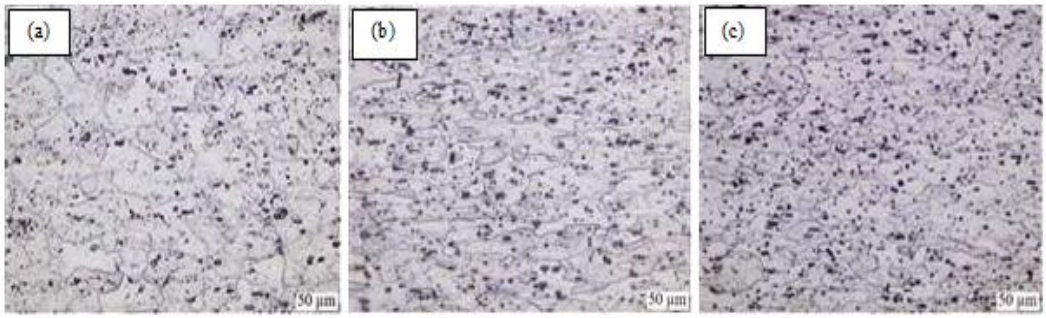


Gambar 1. Skema pengambilan struktur mikro logam induk

ISSN 1693-3168

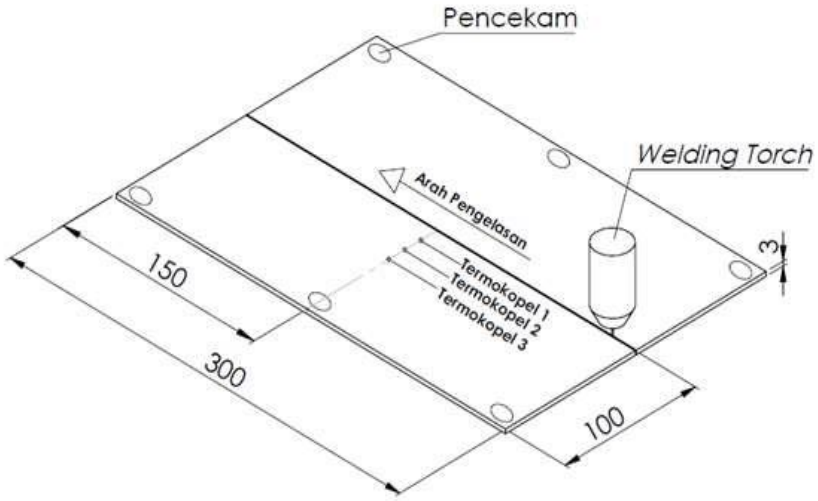


Gambar 2. Struktur mikro AA5083-H112 dari arah (a) *longitudinal* (L), (b) *long transversal* (LT), dan (c) *short transversal* (ST)



Gambar 3. Struktur mikro AA6061-T6 dari arah (a) *longitudinal* (L), (b) *long transversal* (LT), dan (c) *short transversal* (ST)

Proses pengelasan logam tak sejenis dilakukan dengan las MIG sedangkan pelat AA5083-H112 dan AA6061-T6 yang disambung mempunyai ukuran 3 mm x 300 mm x 100 mm sepeti pada Gambar 4 dengan parameter pengelasan yang digunakan seperti pada Tabel 2. Pengelasan dilakukan secara otomatis menggunakan *welding rig* dengan *software Mach 3 CNC* pada komputer. Pengelasan dilakukan dengan menggunakan sambungan tumpul (*butt joint*) dan sejajar dengan arah pengerolan.



Gambar 4. Skema pengelasan proses pengelasan MIG

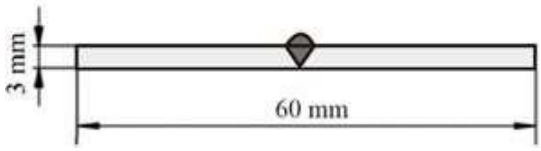
ISSN 1693-3168

Tabel 2. Spesifikasi elektroda, gas pelindung dan parameter pengelasan

MATERIAL DAN PARAMATER LAS	KETERANGAN
Tipe dan diameter kawat elektroda	ER5356, Ø 0,8 mm
Tegangan (*E*)	20 V
Arus (*I*)	120 A
Kecepatan pengelasan (*v*)	12 mm/detik
Masukan panas (*EI/v*)	200 J/mm
Kecepatan elektroda	8 m/menit
Gas pelindung	Argon UHP
Laju alir gas pelindung	25 L/menit

Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro bertujuan untuk mengetahui bagaimana bentuk struktur yang terbentuk dari hasil las MIG pada bagian logam, *heat affected zone* (HAZ), dan bentuk butir pada logam induk, pembagian daerah ditunjukkan pada Gambar 5. Spesimen untuk uji metalografi ini disiapkan dengan cara diampelas, dipoles dan diberikan cairan etsa sesuai pada standar ASTM E407 [7]



Gambar 5. Skema pengambilan foto struktur mikro

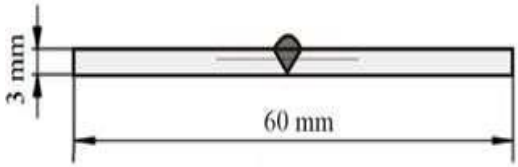
Pengujian Kekerasan Mikro *Vickers*

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan dari permukaan spesimen aluminium yang dilakukan pengelasan. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat uji kekerasan Buehler Micromet 2100 dengan jenis indentor mikro Vickers. Pengujian dilakukan dengan Beban indentasi yang digunakan adalah 100 gram-force dengan waktu tunggu 10 detik. Indentasi dilakukan pada 40 titik dengan jarak 0,5 mm antar titiknya dan diuji sebanyak 80 titik dengan skema pengujian seperti pada Gambar 6. Nilai kekerasan *Vickers* dapat dihitung dengan Persamaan 1 dan 2 sebagai berikut:

$$D = (d_1+d_2)/2 \quad (1)$$

$$VHN = \frac{2P\sin\left(\frac{\emptyset}{2}\right)}{D^2} = \frac{1.854\,P}{D^2} \quad (2)$$

dimana nilai *D* merupakan nilai rata-rata diagonal 1 (d_1) dan 2 (d_2) yang kemudian dimasukkan pada persamaan 2 untuk mendapatkan nilai kekuatan vicker (VHN).

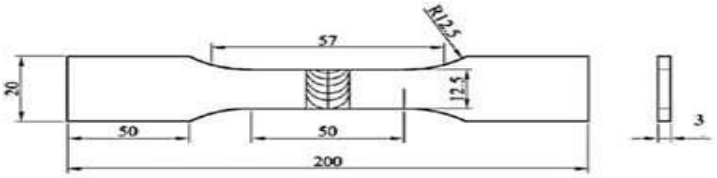


Gambar 6. Skema pengujian kekerasan *Vickers*

ISSN 1693-3168

Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan bertujuan mengetahui kekuatan titik luluh (*yield strength*) dan kekuatan tarik (tensile strength) suatu bahan terhadap pemberian beban tarik. Didalam pengujian ini terdapat tiga *variable* yang harus diperhatikan, yaitu tegangan dan regangan. Spesimen pengujian dibuat sesuai ASTM E8 [8] seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Spesimen uji Tarik

dari pengujian Tarik didapatkan grafik *ultimate tensil strength* dimana nilai tegangan diukur menggunakan persamaan 3.

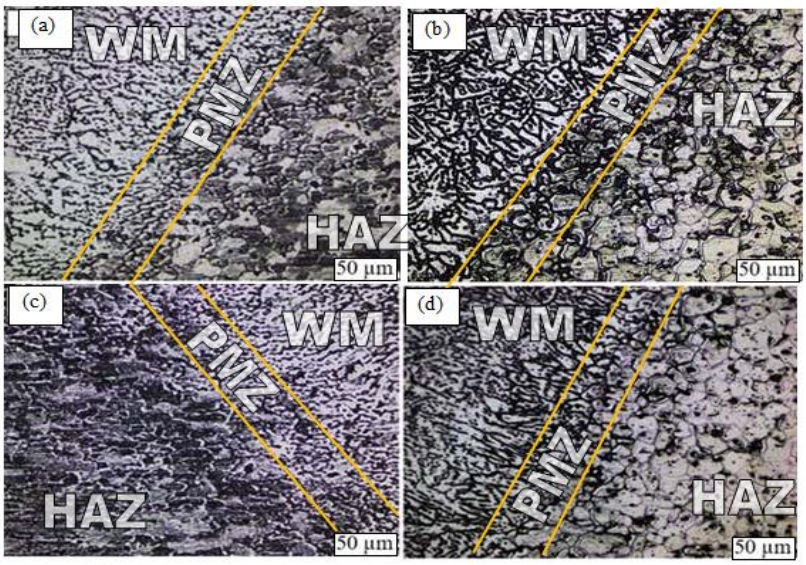
$$\sigma = \frac{P}{A_0} \tag{3}$$

dimana σ merupakan nilai tegangan yang didapatkan dari pembagian antara beban (P) dan luas penampang (A_o)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengamatan Struktur Mikro

Gambar 8 memperlihatkan struktur mikro di daerah *partially melted zone* (PMZ) dan *heat affected zone* (HAZ) pada sisi sambungan las *similar* untuk masing-masing pelat AA5083-H112 dan AA6061-T6 dan *dissimilar* untuk pelat AA5083-H112/AA6061-T6. Daerah PMZ merupakan batas antara logam las dan HAZ dan untuk kasus logam murni biasanya dinamakan *fusion line*.

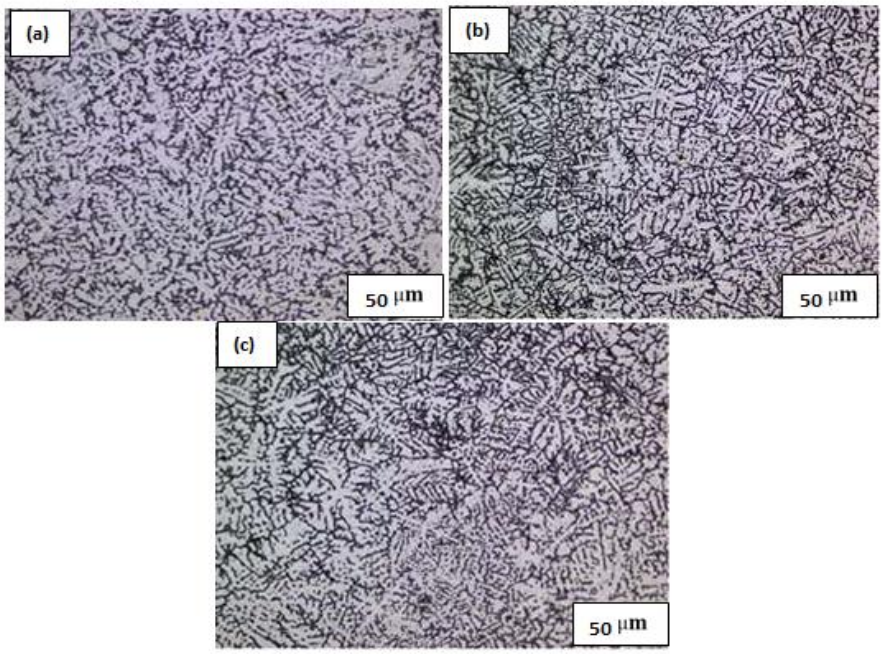


Gambar 8. Batas HAZ-LAS sambungan logam (a) sejenis AA5083-H112 (b) sejenis AA6061-T6 (c) tak sejenis sisi AA5083-H112 dan (d) tak sejenis sisi AA6061-T6

ISSN 1693-3168

Struktur mikro dari PMZ yang merupakan interface atau batas logam las dan HAZ pada sambungan las *similar* dari aluminium AA5083-H112 (Gambar 8a) dan AA6061-T6 (Gambar 8b) terlihat adanya perbedaan dimana PMZ pada AA6061-T6 lebih lebar dan struktur mikro berupa butir-butir *equiaxed* kasar sepanjang batas garis *fusion line*. Daerah dengan jenis struktur mikro ini dikenal sebagai zona butir equiaxed non-dendritic (EQZ). EQZ dihasilkan melalui nukleasi heterogen α-aluminium pada partikel intermetalik selama pengelasan [9]. Pada sisi aluminium AA5083-H112 terlihat ukuran butir PMZ yang relatif kecil. Disamping faktor metalurgi, masukan panas juga mempengaruhi ukuran butir di daerah HAZ dan PMZ yang selanjutnya menentukan sifat-sifat mekanis las [10].

Gambar 9 memperlihatkan struktur mikro daerah las masing-masing untuk logam sejenis AA5083-H112 dan AA6061-T6 dan *dissimilar* untuk pelat AA5083-H112/AA6061-T6. Secara umum ketiga jenis las memperlihatkan struktur mikro yang hampir sama yaitu berbentuk *dendrit* dan *equiaxed dendritic* dengan warna gelap yang menunjukkan fasa silikon-magnesium (Mg_2Si) dan atau silikon (Si), sedangkan warna terang merupakan fasa α aluminium [11]. Dari Gambar 9 terlihat bahwa struktur mikro las AA5083-H112 lebih kasar dibandingkan dengan AA6061-T6 sedangkan ukuran butir las dissimilar AA5083-H112/AA6061-T6 berada diantara 2 las similar. Perbedaan struktur mikro ini kemungkinan disebabkan karena AA5083-H112 dan AA6061-T6 merupakan aluminium dengan paduan yang berbeda sehingga berpengaruh pada proses pembekuan (solidifikasi) las. Pembentukan butir pada logam las selama proses solidifikasi sangat dipengaruhi oleh *G/R* dan laju pendinginan, *dT*/*dt* yang nilainya sama dengan *GR* di mana *G* adalah gradien suhu dan *R* adalah laju pembekuan [1]. Semakin rendah nilai *G/R* maka struktur mikro cenderung membentuk *equiaxed dendritic*.

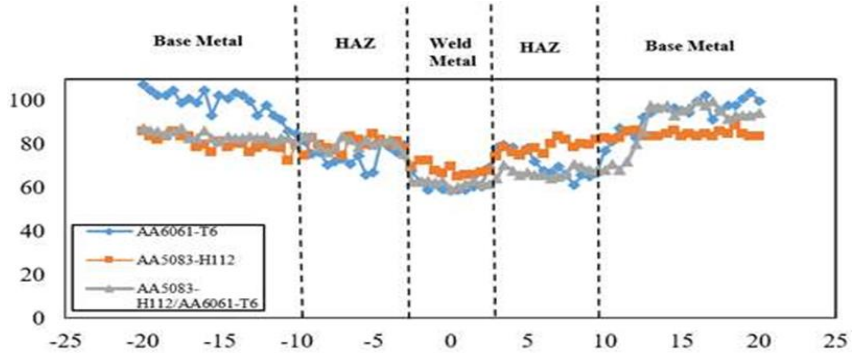


Gambar 9. (a) sambungan logam las sejenis AA5083-H112, (b) sambungan logam las sejenis AA6061-T6, dan (c) sambungan logam las tak sejenis AA5083-H112/AA6061-T6

ISSN 1693-3168

3.2 Pengujian Kekerasan

Distribusi kekerasan sepanjang sambungan las dapat dilihat pada grafik hubungan nilai kekerasan terhadap jarak dari pusat las seperti pada Gambar 10. Dari gambar terlihat bahwa terlihat bahwa nilai kekerasan bervariasi sepanjang daerah las, HAZ dan logam induk (*base metal*). Nilai kekerasan logam induk AA6061-T6 mempunyai kekerasan sekitar 100 HV sedangkan kekerasan logam induk untuk AA5083-H112 lebih rendah yaitu sekitar 85 HV. Selanjutnya, nilai kekerasan di daerah HAZ untuk kedua jenis pelat yaitu AA5083-H112 dan AA6061-T6 mengalami penurunan kekerasan atau pelunakan (*softening*) akibat pengasaran dan pelarutan endapan halus (*precipitate*) Mg_2Si saat proses pengelasan berlangsung [12,13]. Daerah las memiliki nilai kekerasan terendah akibat perbedaan komposisi dan proses *manufacturing* dimana las dapat dianggap sebagai produk cor (*cast product*) sementara logam induk merupakan produk tempa (*wrought product*). Hal ini bisa dilihat dari struktur mikro di daerah las yang berupa struktur *dendrite* dan *equiaxed dendritic* sedangkan pada logam induk berupa butiran memanjang searah dengan arah rol.



Gambar 10. Distribusi nilai kekerasan (VHN)

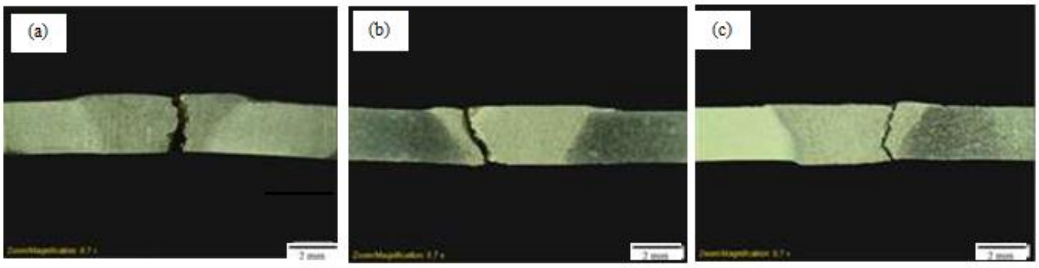
Berbeda dengan logam induk, nilai kekerasan di daerah las untuk pengelasan pelat AA5083-H112 terlihat paling tinggi disusul las dissimilar dan paling rendah AA6061-T6. Perbedaan nilai kekerasan ini bisa dihubungkan dengan ukuran butir sesuai dengan Persamaan Hall-Petch dimana semakin halus butir semakin tinggi nilai kekerasan dan komposisi kimia. Aluminium paduan AA6061-T6 mempunyai komposisi yang lebih kompleks (Al-Mg-Si) sedangkan AA5083-H112 hanya tersusun atas Al-Mg. Untuk AA6061-T6, mekanisme pengerasan terjadi akibat presipitasi Mg_2Si.

3.3 Kekuatan Tarik Las

Gambar 11. memperlihatkan perpatahan pada ketiga jenis las. Profil patahan pada sambungan las aluminium AA5083-H112 terlihat permukaan patahan yang tegak lurus dengan arah gaya yang bekerja dan deformasi plastis yang terjadi relatif kecil, berbeda dengan spesimen sambungan las AA6061-T6 dan sambungan las aluminium tak sejenis AA5083-H112/AA6061-T6 yang mengalami patahan yang membentuk sudut mendekati sudut 45^o. Hal ini menandakan bahwa patahan yang terjadi adalah patahan geser dan biasanya terjadi untuk material ulet. Seperti halnya pada pengujian kekerasan, Peningkatan atau penurunan nilai kekuatan tarik berkaitan dengan terbentuknya butir presipitasi Mg_2Si dalam proses pengelasan. Jumlah butir presipitasi Mg_2Si semakin banyak dan halus cenderung akan semakin memperhalus butir. Presipitasi Mg_2Si yang

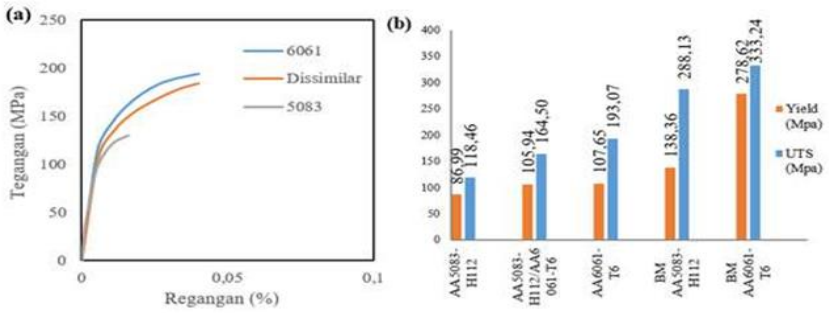
ISSN 1693-3168

banyak dan tersebar merata pada batas butir dapat menahan laju gerakan dislokasi dapat meningkatkan sifat mekanis menjadi lebih keras [14].



Gambar 11. Foto makro patahan sambungan logam (a) las AA5083-H112, (b) las AA6061-T6, (c) las tak sejenis AA5083-H112/AA6061-T6

Pada Gambar 12a menunjukkan kurva tegangan-regangan dari sambungan las AA5083-H112, AA6061-T6, dan sambungan las aluminium tak sejenis AA5083-H112/AA6061-T6 dengan kekuatan luluh rata-rata (σy) dan kekuatan tarik maksimal (σu) diperoleh seperti yang ditampilkan pada Gambar 12b. Hasil pengujian tarik memperlihatkan patahan di bagian tengah las dengan nilai kekuatan terendah pada sambungan las AA5083-H112 dengan kekuatan tarik 118,46 MPa, kemudian pada pengelasan dengan aluminium tak sejenis antara AA5083-H112/AA6061-T6 mengalami kenaikan kekuatan tarik hingga 164,5 MPa akibat adanya kandungan Si pada aluminium AA6061-T6 yang bercampur dengan elektroda ER5356 menjadi salah satu alasan peningkatan kekuatanyang terjadi pada logam las karena ada nya presipitasi Mg_2Si sehingga kekuatan tarik yang dihasilkan paling tinggi tinggi yaitu 193,07 MPa. Trend yang sama juga terjadi pada tegangan luluh (*yield stress*).



Gambar 12. (a) Diagram kurva tegangan-regangan (b) Rata-rata nilai UTS dan kekuatan luluh

4. Kesimpulan dan Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan maka penulis mengambil kesimpulan,

1. Struktur mikro di daerah las untuk sambungan similar maupun dissimilar pada pengelasan AA5083-H112 dan AA6061-T6 berupa fasa α-Al dalam bentuk *equiaxed dendrite* dan fasa kedua, kemungkinan Mg_2Si yang mengendap di antara ruang antar dendrit (*interdendritic spacing*). Adanya kandungan Si yang lebih bnyak pada kandungan AA6061-T6 menjadikan logam las pada sambungan las logam tak sejenis aluminium AA5083-H112/AA6061-T6 membentuk

ISSN 1693-3168

senyawa Mg_2Si sehingga sifat mekanisnya lebih tinggi daripada pengelasan similar AA5083-H112.

2. Nilai kekerasan pada bagian HAZ baik pada AA6061-T6 maupun AA5083-H112 mengalami penurunan nilai kekerasan yang menandakan bagian HAZ yang kemungkinan besar akibat pelunakan hasil dari pengasaran dan pelarutan endapan Mg_2Si.
3. Nilai kekuatan tarik pada las logam tak sejenis AA5083-H112/AA6061-T6 berada diantara las similar AA6061-T6 maupun AA5083-H112. Hal ini berhubungan dengan kuran butir *equiaxed dendrite* dan pembentukan/pelarutan presipitat Mg_2Si.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. M. Noer Ilman, S.T., M.Sc., Ph.D yang telah membimbing dalam penelitian ini dan segenap Tim Laboratorium Bahan Teknik Universitas Gajah Mada yang telah mendukung penelitian ini

Daftar Pustaka

[1] Kou S. 2003. *Welding metallurgy. 2nd ed*. Canada: Wiley-Interscience.
[2] Tasalloti H., Kah P. & Martikainen J. 2014. *Effects of welding wire and torch weaving on GMAW of S355MC and AISI 304L dissimilar welds. Int J Adv Manuf Tech.*71, 197-205
[3] Kah P., Suoranta R. & Martikainen J. 2012. *Advanced gas metal arc welding processes. Int J Adv Manuf Tech.* 67, 655-674.
[4] Spena P. Russo, D'Aiuto F., Matteis P. & Scavino G. 2014. *Dissimilar Arc Welding of Advanced High-Strength Car-Body Steel Sheets. JMEPEG.* 23, 3949-3956.
[5] Verma Rajesh P. 2020. *Study of mechanical properties of GMA welded dissimilar aluminium alloys of AA5083-O/AA6061-T6 at different welding torch directions*. Materials Today: Proceedings.
[6] Mandal N. R. 2017. *Ship Construction and Welding. 2nd ed.* USA: Springer Nature Singapore Pte Ltd.
[7] ASTM E407. 2015. *Standard Practice for Microetching Metals and Alloys.* West Conshohocken, PA: ASTM International.
[8] ASTM E8/E8M. 2016. *Standard test method for tension testing of metallic material.* West Conshohocken: ASTM International.
[9] Ilman M. N., Sriwijaya R. A., Muslih M. R & Triwibow, N. A. 2020. *Strength and fatigue crack growth behaviours of metal inert gas AA5083-H116 welded joints under in-process vibrational treatment. Journal of Manufacturing Processes*, 59(August),727–738.
[10] Zhang, Z., Yang, X., Zhou, Ghuang. Zhang, J., & Zou, B. 2011. *Effect of welding parameters on microstructure and mechanical properties of friction stir spot welded 5052 aluminum alloy*. In *Materials and Design.* 32:4461-4470.
[11] Ilman M. N., Muslih M. R., Triwibowo N. A., Wahyudianto A. 2017. *Environtmentally assisted fatigue behavior of stress relieved metal inert gas (MIG) AA5083 weld in 3,5 % NaCl solution. International journal of fatigue.* 100 : 285-295.
[12] Joni Arif and Koswara 2021. Pengaruh Variasi Sudut Kampuh V Terhadap Sifat Mekanis Pada Sambungan Las Aluminum 5083 Engine Girder Kapal Laut. TEKNOSAINS: Jurnal Sains, Teknologi dan Informatika, 54-62.

ISSN 1693-3168

[13] Dewi, Mirnawati., Alhamidi, A. Ali., Fitrullah, M. 2016. Studi mikrostruktur dan sifat mekanik Aluminium 6061 melalui proses canai dingin dan aging. Junal Furnace Vol 2, No 1.

[14] Paksi, J. G. A., Cristian, Ilham A., dan Indriansyah. 2021. Perancangan Struktur Road Bike Frame Menggunakan Alumunium 6063 Melalui Proses Optimalisasi Perlakuan Panas. Jurnal Teknik Mesin. ITI 5: 2548-3854.