

PENGARUH VARIASI KECEPATAN LAS TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK PADUAN Al 2024 HASIL PENGELASAN PUTAR GESEK

THE INFLUENCE OF WELDING SPEED VARIATION ON MECHANICAL PROPERTIES AND MICRO STRUCTURE OF Al 2024 AS A RESULT OF FRICTION STIR WELDING

Tarmizi*¹, Agus Daryana², Irfan¹

¹Balai Besar Logam dan Mesin Bandung

²Jurusan Teknik Metalurgi, Unjani Bandung

Email: *tarmizi@kemenperin.go.id, irfan@kemenperin.go.id

Diterima: 6 Maret 2018

Direvisi: 28 Maret 2018

Disetujui: 4 April 2018

ABSTRAK

Aluminium seri 2xxx termasuk jenis aluminium yang sulit untuk dilas secara konvensional dapat disambung menggunakan proses las putar gesek. Metode las putar gesek menggunakan prinsip termomekanik dengan memanfaatkan energi panas yang dihasilkan dari proses gesekan antara *tool* dengan benda kerja yang akan dilas. Proses las putar gesek aluminium 2024 tipe butt joint dengan variasi kecepatan pengelasan 22, 29, 38 mm/menit menggunakan mesin frais telah berhasil dilakukan dengan baik. Hasil uji mekanik menunjukkan nilai kekuatan tarik terbesar 238 MPa dan nilai kekerasan terbesar 135 HVN, dihasilkan dari kecepatan pengelasan 29 mm/menit. Hasil lasan menggunakan kecepatan 29 mm/menit menunjukkan struktur mikro lebih halus dibandingkan menggunakan kecepatan 22 dan 38 mm/menit. Proses las putar gesek aluminium 2024 dengan parameter putaran *threaded cylindrical tool* 1500 rpm, sudut kemiringan *tool* 0° dan kedalaman pembenaman pin 4,8 mm menggunakan *tool* kecepatan pengelasan 29 mm/menit, hasilnya lebih baik dari pada kecepatan pengelasan 22 dan 39 mm/menit.

Kata kunci: las putar gesek, termomekanik, *tool*, kecepatan pengelasan

ABSTRACT

Aluminum 2xxx series including the type of aluminum that is difficult to weld in conventional can be connected using a friction stir welding process. The weld stirring method uses the thermomechanical principle by utilizing the heat energy generated from the friction process between the stirrer and the work piece to be welded. The welding stirring process of aluminum 2024 butt joint with variation of welding speed 22, 29, 38 mm/min using frais machine has been successfully done well. The mechanical test results showed the largest tensile strength value of 238 MPa and the greatest hardness value of 135 HVN resulted from welding speed of 29 mm/min. The welded results using a speed of 29 mm/min showed a finer microstructure than using speeds of 22 and 39 mm/min. The welding process of aluminum friction 2024 with threaded cylindrical tool 1500 rpm rotation, 0° tool inclination angle and 4.8 mm pin depth deployment using tool welding speed 29 mm/min gave better result than welding speed of 22 and 39 mm/min.

Keywords: FSW, thermomechanical, *tool*, welding speed

PENDAHULUAN

Aluminium merupakan unsur *non ferrous* yang paling banyak terdapat di bumi, merupakan logam ringan yang mempunyai sifat yang ringan, ketahanan korosi yang baik serta hantaran listrik dan panas yang baik, mudah dibentuk baik

melalui proses pembentukan maupun permesinan. Sebagai tambahan terhadap kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan sebagainya, secara satu persatu atau bersama-sama, memberikan juga sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus,

koefisien pemuaian rendah dan sebagainya. Kelebihan di atas menyebabkan aluminium dan paduannya banyak digunakan di bidang struktur dan permesinan, seperti pesawat terbang, kapal serta industri otomotif [1].

Aluminium termasuk bahan logam yang sulit dilas dengan teknik pengelasan konvensional, disebabkan karena daya hantar panasnya yang tinggi sehingga sulit untuk memanaskan sebagian kecil dan disamping itu paduan aluminium mudah teroksidasi sehingga membentuk oksida Al_2O_3 yang mempunyai titik leleh yang tinggi [2].

Aluminium seri 2024 ini termasuk ke dalam seri aluminium yang tidak dapat disambungkan dengan metode pengelasan cair GTAW ataupun GMAW karena akan menyebabkan retak panas dan *stress corrosion cracking* [3]. Karena sulitnya dilas maka penyambungan aluminium pada tataran aplikasi banyak menggunakan proses *rivetting* atau pengelingan. Namun sekarang pengelasan aluminium sudah bisa dilakukan dengan proses *Friction Stir Welding* [2].

Friction Stir Welding (FSW) merupakan sebuah metode pengelasan yang telah ditemukan oleh Wayne Thomas di TWI (*The Welding Institute*) pada tahun 1991. Prinsip kerja FSW adalah proses pengelasan *solid-state*, yaitu benda kerja diam dan sebuah *tool* yang berputar sehingga mampu melelehkan benda kerja tersebut sehingga dapat menyatu dan tersambung menjadi satu. *Tool* yang berputar dan diumpukan pada garis sambungan menghasilkan panas serta secara mekanis menggerakkan logam lunak untuk membentuk sambungan las. *Friction Stir Welding* salah satu metode pengelasan yang baru dan memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan metode pengelasan yang lainnya serta *Friction Stir Welding* berhasil menekan biaya proses pengelasan menjadi lebih murah karena proses pengelasan hanya membutuhkan *input energy* yang rendah dan tidak menggunakan *filler metal*.

Penelitian tentang FSW masih dikembangkan seperti variasi bentuk *tool*, perbaikan teknik pengelasan, dan perbaikan material *tool* agar memiliki umur pakai yang lama. Pada FSW, *tool* sangat berperan penting karena menjadi faktor penentu utama pada hasil pengelasan. Permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah pengaruh variasi *welding speed* pada proses FSW terhadap sifat mekanik

dan struktur mikro dari sambungan aluminium paduan seri 2024.

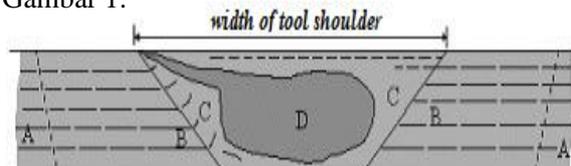
Parameter yang berpengaruh pada pengelasan FSW antara lain [4]:

1. Kecepatan Putar (rpm) adalah putaran dari *tool* yang berpengaruh pada besarnya *heat input*.
2. *Travel Speed* (mm/s) adalah laju dari kecepatan pengelasan dan akan berpengaruh terhadap *heat input* dan laju pendinginan.
3. Desain *Tool/Probe* Desain yang tepat akan meningkatkan kualitas hasil pengelasan
4. *Plunge Depth* adalah kedalaman dari permukaan *shoulder* yang masuk kedalam material yang dilas.

Kecepatan pengelasan dalam proses FSW akan menentukan kualitas lasan, karena berpengaruh terhadap besarnya masukan panas saat proses pengelasan dan dapat memberikan perubahan terhadap sifat-sifat mekanik dan mikrostruktur daerah sambungan [5].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan pengelasan terhadap sifat mekanik dan struktur mikro hasil proses FSW dan parameter yang tepat untuk proses penyambungan aluminium seri 2024 menggunakan FSW.

Akibat adanya panas pada FSW, maka terjadi perubahan struktur mikro pada area yang dilas dan dapat dibagi menjadi 4 zona seperti Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Mikro Hasil Pengelasan dengan Metode FSW [6]

A. Base Metal

Area ini merupakan bagian *base material* yang tidak terkena pengaruh panas yang dihasilkan selama proses FSW berlangsung.

B. Heat-Affected Zone (HAZ)

Area ini merupakan area yang paling dekat dengan *center* dari lokasi pengelasan, material pada area ini sudah mengalami siklus termal yang menyebabkan perubahan struktur mikro dan sifat mekanik dari *base material*, tetapi pada area ini tidak terjadi deformasi plastis akibat pengelasan.

C. Thermomechanically Affected Zone (TMAZ)

Pada area ini *tool* mendeformasi material secara plastis, dan tentunya panas yang dihasilkan pada saat proses pengelasan juga membawa pengaruh terhadap material. Pada material aluminium panas tersebut memungkinkan untuk menghasilkan regangan plastis tanpa adanya proses rekristalisasi, dan biasanya ada batas yang jelas yang membedakan antara area rekristalisasi (*weld nugget*) dan area TMAZ yang terdeformasi.

D. Weld Nugget

Area ini yang secara utuh mengalami rekristalisasi atau terkadang disebut juga *stir zone*. Area ini merupakan area yang menghasilkan sambungan akibat gerakan *tool* [6].

Aluminium paduan seri 2024 merupakan material yang dapat mengalami perlakuan panas terutama yang mengandung 2,5-5% Cu. Seri 2017 dikenal dengan nama “Duralumin” yang mengandung 4% Cu, 0,5% Mg, dan 0,5% Mn pada komposisi standar. Komposisi Mg pada paduan standar Al ini ditingkatkan, menjadi 4,5% Cu, 1,5% Mg, 0,5% Mn, yang dinamakan paduan 2024 bernama Duralumin Super.

Paduan yang memiliki kandungan unsur Cu mempunyai ketahanan korosi yang buruk, sehingga apabila ketahanan korosi khusus diperlukan, permukaannya dilapisi dengan Al murni atau paduan Al yang tahan korosi yang disebut pelat alkad. Paduan ini banyak digunakan untuk alat-alat yang bekerja pada temperatur tinggi misalnya pada industri pesawat terbang, piston, dan silinder *head* motor bakar [1]. Komposisi kimia aluminium seri 2024 tercantum pada Tabel 1.

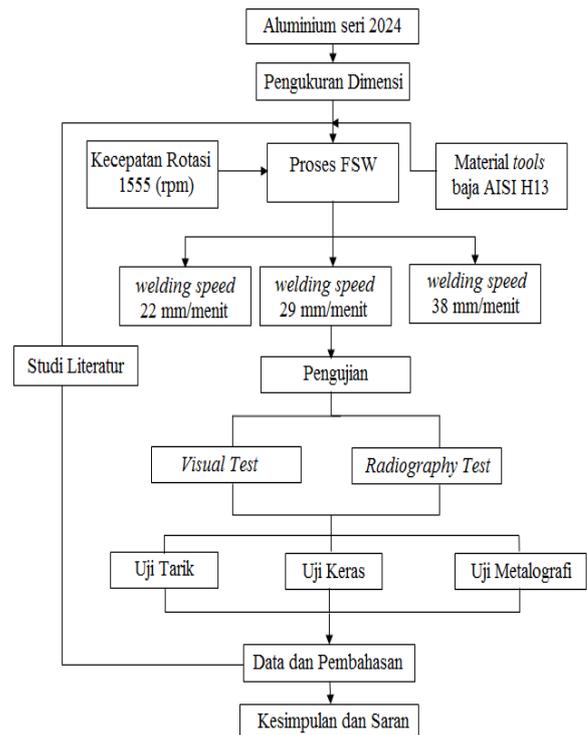
Tabel 1. Komposisi Kimia Aluminium 2024 [7]

Komponen	Berat, %
Al	90,7 – 94,7
Cr	maks 0,10
Cu	3,8 – 4,9
Fe	maks 0,50
Mg	1,2 – 1,8
Mn	0,3 – 0,9
lain ² , masing ²	maks 0,05
lain ² , total	maks 0,15
Si	maks 0,50
Ti	maks 0,15
Zn	maks 0,25

BAHAN DAN METODE

Dalam penelitian ini beberapa tahapan proses FSW dapat dilihat dari diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Proses FSW ini dilakukan di Balai Besar Logam dan Mesin Bandung menggunakan mesin *Milling*. Material yang disambung adalah aluminium 2024, ketebalan 6,5 mm dengan ukuran 300 mm x 120 mm. Tool dibuat dari baja H13 dengan bentuk *threaded cylinder*.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian FSW

Bentuk *tool* yang digunakan pada proses FSW ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tool untuk FSW

Parameter proses FSW yang digunakan adalah putaran tool 1555 rpm, kedalaman pembedaan pin 6,3 mm dengan sudut kemiringan tool 0°, dan *dwelling time* 5 menit. Variasi kecepatan pengelasan adalah 22 mm/min, 29 mm/min dan 38 mm/min.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Visual Hasil Pengelasan

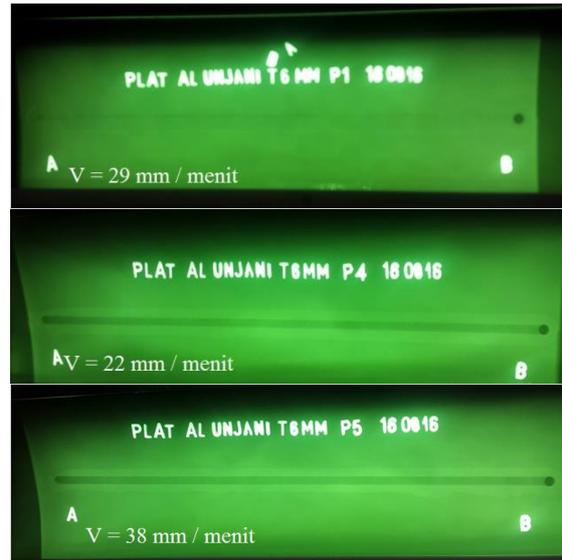
Hasil proses FSW aluminium seri 2024 disajikan pada Gambar 4. Hasil proses FSW secara visual menunjukkan proses pengelasan berlangsung baik, terlihat menyatu dan mulus serta tidak terjadi defleksi, walaupun terjadi *flash* pada permukaan lasan untuk semua spesimen dengan ukuran dan jumlah yang berbeda. *Flash* terjadi karena adanya gaya penetrasi dan penekanan tool yang berlebih dan pengadukan material tidak sempurna sehingga menyebabkan material terdorong ke permukaan. Proses FSW menggunakan tool dengan kecepatan pengelasan 29 mm/menit menghasilkan *flash* yang lebih sedikit dibandingkan yang menggunakan kecepatan 22 mm/menit dan 38 mm/menit. Menurut AWS D17.3 *flash* yang muncul harus dihilangkan sebelum pengujian radiografi.



Gambar 4. Hasil Proses FSW Secara Visual

Analisis Hasil Pemeriksaan Radiografi

Hasil pengujian radiografi spesimen FSW menunjukkan adanya kekosongan pada daerah lasan untuk percobaan menggunakan kecepatan 22 mm/menit dan 38 mm/menit. Sedangkan proses pengelasan dengan kecepatan 29 mm/menit terlihat bagus dan tidak ada indikasi cacat (Gambar 5).

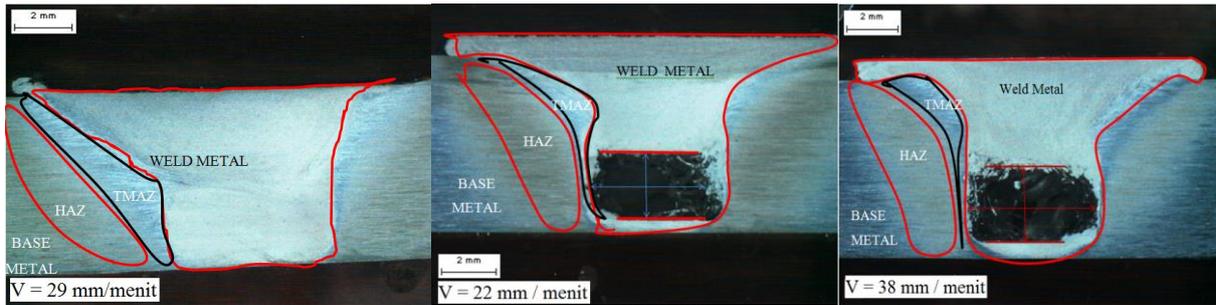


Gambar 5. Hasil Pengujian Radiografi

Analisis Cacat dan Struktur Makro

Hasil analisis cacat dan foto makro memperlihatkan adanya *cavity* [8] pada hasil potongan spesimen untuk proses FSW dengan kecepatan pengelasan 22 mm/menit dan 38 mm/menit. Sedangkan foto makro untuk proses pengelasan dengan kecepatan 29 mm/menit tidak menunjukkan adanya cacat. Hasil ini sesuai dengan hasil uji radiografi sebelumnya.

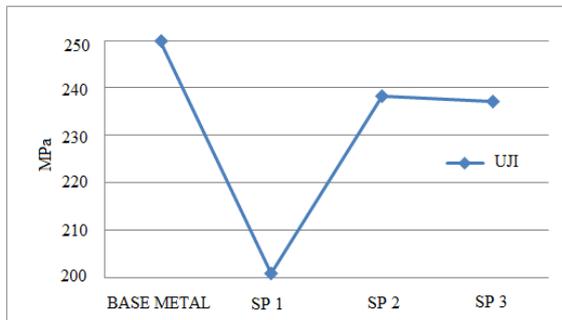
Cacat *cavity* ini muncul karena kurangnya *heat input* pada saat proses FSW sehingga tidak cukup untuk melunakkan dan memindahkan material lunak pada saat pergerakan tool. Hasil uji makro dapat dilihat pada Gambar 6. Adanya cacat *cavity* menurut standar AWS D17.3 tidak dapat diterima sehingga terhadap spesimen hasil pengelasan tidak perlu dilakukan pengujian tarik.



Gambar 6. Hasil Uji Makro

Analisis Hasil Pengujian Tarik

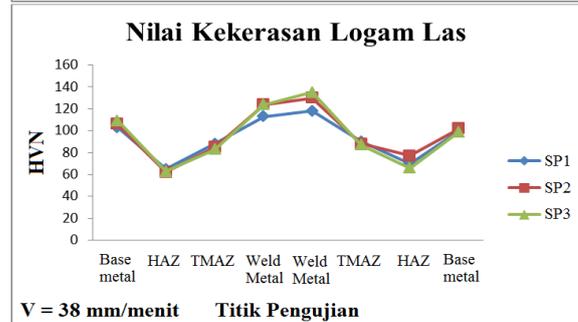
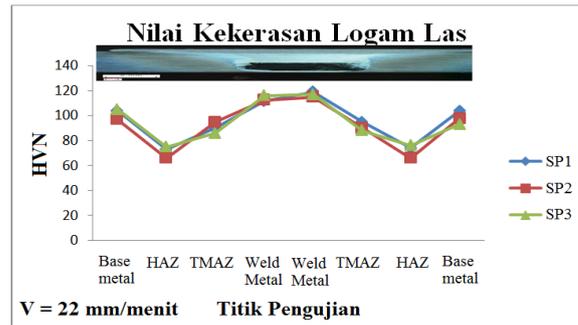
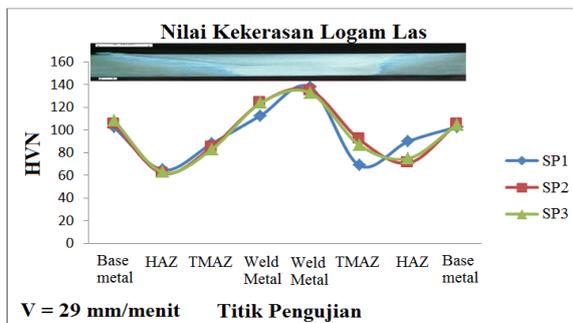
Pengujian tarik hanya dilakukan pada spesimen dengan kecepatan pengelasan 29 mm/menit karena spesimen lainnya tidak memenuhi persyaratan AWS D17.3. Pengujian tarik dilakukan untuk tiga lokasi sambungan yang berbeda dan hasilnya menunjukkan bahwa ketiga spesimen patah getas pada daerah *weld metal* dengan kuat tarik tertinggi adalah 238 MPa, lebih rendah dibandingkan kuat tarik logam induk sebesar 250 MPa (Gambar 7). Hal ini menunjukkan bahwa terjadi pelunakan logam las setelah mengalami pemanasan akibat proses FSW.



Gambar 7. Hasil Uji Tarik Logam Las

Analisis Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan logam las proses FSW disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil Uji Kekerasan Logam Las

Pengujian kekerasan yang dilakukan terhadap hasil proses *Friction Stir Welding* (FSW) aluminium seri 2024 menunjukkan bahwa perubahan struktur mikro menjadi lebih halus pada daerah *weld metal* yang menyebabkan nilai kekerasan juga meningkat dibanding daerah sekitar yang terpengaruh oleh panas *tool*. Hal ini menyebabkan nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada daerah *weld metal* sebesar 138 HVN menggunakan kecepatan pengelasan 29 mm/menit. Sedangkan daerah HAZ memiliki nilai kekerasan terendah yaitu 62 HVN karena area ini tidak mengalami deformasi plastis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

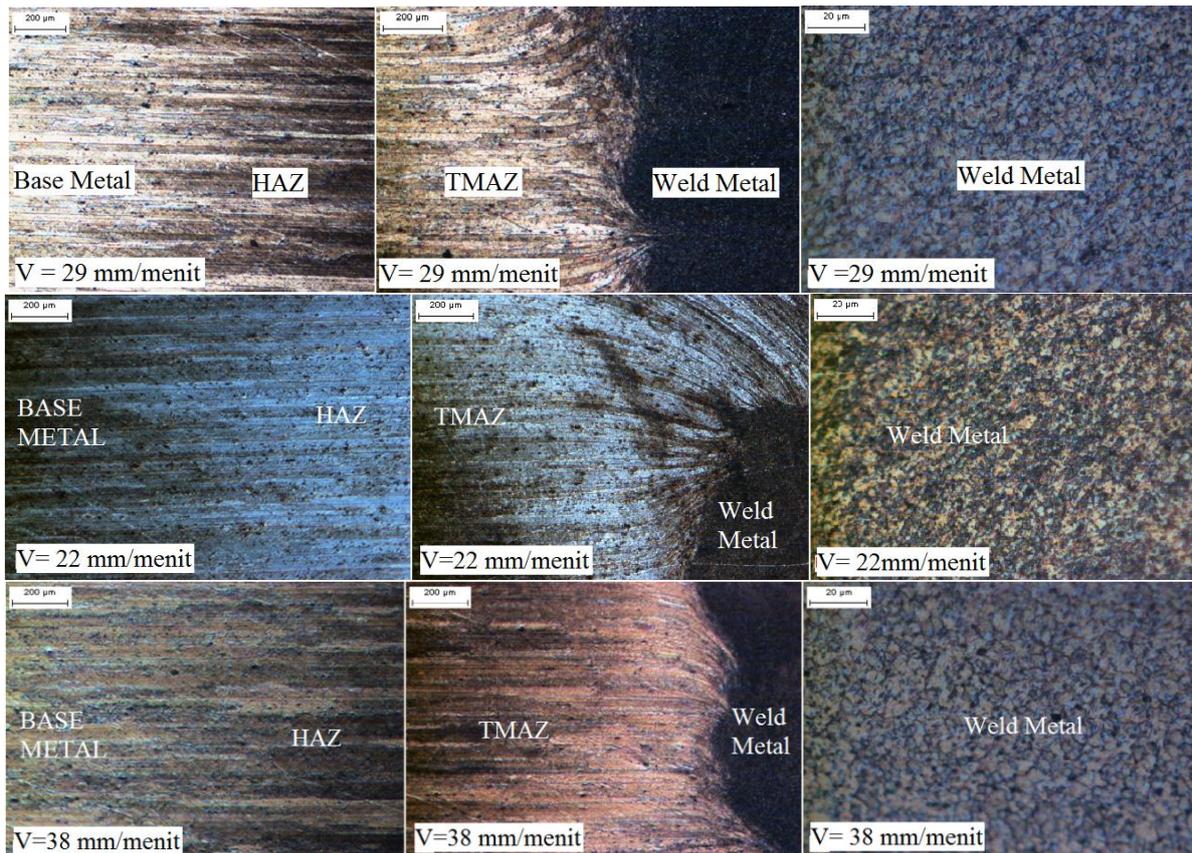
Analisis Hasil Uji Struktur Mikro

Proses penyambungan aluminium menggunakan FSW menyebabkan terjadinya perubahan pada struktur mikro di daerah *weld metal* dan sekitarnya [9]. Perubahan ini terjadi karena adanya pergerakan atom-atom pada saat

proses pengelasan berlangsung akibat adanya pengaruh panas yang diterima sehingga ketika pendinginan berlangsung cepat maka butir yang terbentuk menjadi lebih kecil pada daerah *weld metal* [10].

Daerah sekitar *weld metal* yang ikut terpengaruh akan mengalami perubahan ukuran butir seperti di daerah TMAZ dan HAZ. Struktur mikro pada daerah HAZ menjadi lebih besar karena proses pendinginan berlangsung lebih

lama. Daerah *base metal* tidak mengalami perubahan struktur mikro karena tidak terpengaruh oleh panas akibat proses *Friction Stir Welding* (FSW). Struktur mikro pada proses FSW menggunakan kecepatan pengelasan 29 mm/menit terlihat lebih halus dan rapat dibandingkan menggunakan kecepatan pengelasan 22 mm/menit dan 38 mm/menit. Hasil pengamatan struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil Struktur Mikro Proses *Friction Stir Welding* (FSW)

KESIMPULAN DAN SARAN

Proses *Friction Stir Welding* (FSW) aluminium seri 2024 menggunakan parameter putaran *tool cylinder threaded* 1555 rpm, kedalaman pembenaman *tool* 6,3 mm dan *tilt angle* 0° telah berhasil dilakukan. Kuat tarik maksimum dihasilkan oleh spesimen pada kecepatan pengelasan 29 mm/menit yaitu 238 MPa, lebih rendah dibandingkan kuat tarik *base metal* sebesar 250 MPa. Cacat yang muncul disebabkan oleh material yang tidak teraduk sempurna sehingga perpindahan material lunak tidak berlangsung dengan baik.

Perubahan struktur mikro pada daerah lasan dan sekitarnya akibat pengaruh panas *tool* menyebabkan kekerasan logam lasan juga berubah menjadi lebih tinggi dengan kekerasan tertinggi pada *weld metal* menggunakan kecepatan pengelasan 29 mm/menit, lebih tinggi dibandingkan menggunakan kecepatan pengelasan 22 mm/menit dan 38 mm/menit.

Proses *Friction Stir Welding* (FSW) aluminium seri 2024 menggunakan kecepatan pengelasan 29 mm/menit menunjukkan sifat mekanik dan struktur mikro yang lebih baik dibandingkan menggunakan kecepatan pengelasan 22 dan 38 mm/menit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Ing. Ir. Supono Adi Dwiwanto, Staf Seksi Pemesinan dan Pengelasan BBLM yang menyediakan waktu dan fasilitas untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Surdia, T. Dan S, Saito, “Pengetahuan Bahan Teknik”, *Pradnya Paramita*, Jakarta, 1995.
- [2] Priyanto Tri Hardi dkk, “Analisis Struktur Kristal Hasil Las *Friction-Stir Welding* pada *Retreating Side Bimetal Dissimilar Aa6061-Cu* dengan Teknik *Difraksi Neutron*”, *Jurnal Sains Materi Indonesia* Vol. 14, No. 3, 2013.
- [3] Sonawan H., Suratman R, “Pengantar untuk Memahami Proses Pengelasan Logam”, *Alfabeta*, Bandung, 2006.
- [4] G. Rambabu dkk, “Optimization of Friction Stir Welding Parameters for Improved Corrosion Resistance of AA2219 Aluminum Alloy Joints”, *Science Direct, Defence Technology* 11 (2015) 330e337, 2015.
- [5] Cavaliere, P., Squillace, A., Campanile, G., Panella, F., “Effect of welding parameters on mechanical and microstructural properties of AA6056 joints produced by friction stir welding”, *Journal of Materials Processing Technology* 180, 2006.
- [6] Mishra R.S., Mahoney M.W., “Friction Stir Welding and Processing”, *ASM International*, 2007.
- [7] ASM Handbook Volume 2, “Properties and Selection : Non Ferrous Alloy and Special Purpose Materials”, 2004.
- [8] P. Podržaj, B. Jerman, D. Klobčar, “Welding Defects at Friction Stir Welding”, *Metalurgija* 54, 387-389, 2, 2015.
- [9] Wijayanto W, “Pengaruh Sudut Kemiringan Tool Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Sambungan Pelat Aa5083 pada Proses *Friction Stir Welding*”, *Tugas Akhir Program Sarjana Universitas Sebelas Maret*, 2013.
- [10] Irfan, Tarmizi, “Pengaruh Bentuk Pin Terhadap Sifat Mekanik Aluminium 5083 – H112 Hasil Proses *Friction Stir Welding*”, *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 2017.
- [11] ASM Handbook, *Metallography and Microstructure*, Volume 9, 2004.
- [12] AWS D17.3, “Specification for Friction Stir Welding of Aluminum Alloys for Aerospace Application”, 2010.

