

PENGARUH KECEPATAN PUTAR *TOOL* TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA PROSES *FRICITION STIR WELDING* ALUMINIUM PADUAN 2024

THE EFFECT OF TOOL ROTATIONAL SPEED TO MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE ON FRICTION STIR WELDING OF ALUMINUM 2024

Tarmizi¹, Dicky Muh. Alaits Marzuqi², Irfan¹

¹Balai Besar Logam dan Mesin Bandung

²Jurusan Teknik Metalurgi, Unjani Bandung
tarmizi@kemenperin.go.id, irfan@kemenperin.go.id

Diterima : 29 September 2017 Direvisi : 11 Oktober 2017 Disetujui : 6 November 2017

ABSTRAK

Friction Stir Welding (FSW) merupakan proses pengelasan kondisi padat dengan sebuah *tool* yang berputar dan melunakkan benda kerja akibat panas dari gesekan *tool* dan secara mekanis menggerakkan logam untuk membentuk sambungan las. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik dan struktur mikro hasil proses FSW dengan variasi putaran *tool* 1555 rpm, 1175 rpm dan 910 rpm menggunakan mesin frais. Proses FSW aluminium 2024 menggunakan parameter *tool* tetap dengan bentuk silinder ulir, kecepatan pengelasan 29 mm/min, sudut kemiringan *tool* 0° dan *dwell time* 3 menit menunjukkan tidak adanya cacat dengan kuat tarik terbesar 269 MPa dan kekerasan tertinggi 125 HVN pada daerah lasan menggunakan kecepatan putar 1175 rpm. Proses FSW aluminium 2024 menunjukkan bahwa penggunaan kecepatan putar 1175 rpm menghasilkan sifat mekanik yang lebih tinggi dan struktur mikro yang lebih halus dibandingkan dengan kecepatan putar 1500 rpm dan 910 rpm.

Kata kunci: FSW, kondisi padat, frais, *tool*, aluminium 2024, kecepatan putar dan *dwell time*

ABSTRACT

Friction Stir Welding (FSW) is a solid welding process with a tool that rotates and softens the workpiece due to the heat of the friction tool and mechanically moves the metal to form a welded joint. This study aimed to determine the mechanical properties and microstructure of FSW process with variation of tool rotation 1555 rpm, 1175 rpm and 910 rpm using frais machine. The FSW process of aluminum 2024 used fixed tool parameters with threaded cylinder shape, 29 mm/min welding speed, tilt angle 0° and dwell time 3 min indicated no defect with largest tensile strength 269 MPa and highest hardness 125 HVN in weld area using tool rotation 1175 rpm. The FSW process of aluminum 2024 showed that the use of 1175 rpm rotational speed resulted in higher mechanical properties and finer microstructure compared to the rotational speed of 1500 rpm and 910 rpm.

Keywords: FSW, solid state, milling, tool, aluminum 2024, rotational speed, dwell time

PENDAHULUAN

Aluminium dan paduan aluminium termasuk logam ringan yang mempunyai kekuatan tinggi, tahan terhadap karat dan merupakan konduktor listrik yang cukup baik. Logam ini dipakai secara luas dalam bidang kimia, listrik, bangunan, transportasi dan alat-alat penyimpanan.

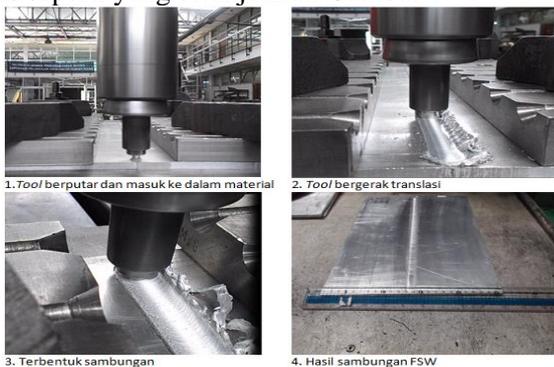
Dalam hal pengelasan, paduan aluminium mempunyai sifat yang kurang baik bila dibandingkan dengan baja. Sifat-sifat yang kurang baik atau merugikan tersebut antara lain:

1. Panas jenis dan daya hantar panasnya tinggi sehingga sukar sekali untuk memanaskan dan mencairkan sebagian kecil saja.

2. Paduan aluminium mudah teroksidasi dan membentuk oksida aluminium Al_2O_3 yang mempunyai titik cair yang tinggi. Karena sifat ini maka peleburan antara logam dasar dan logam las menjadi terhalang.
3. Koefisien muai yang besar, menyebabkan mudah sekali terjadi deformasi sehingga paduan-paduan yang mempunyai sifat getas panas akan cenderung membentuk retak-panas.
4. Perbedaan yang tinggi antara kelarutan hidrogen dalam logam cair dan logam padat, sehingga dalam proses pembekuan yang terlalu cepat akan terbentuk rongga halus bekas kantong-kantong hidrogen.
5. Paduan aluminium mempunyai berat jenis rendah. Zat-zat lain yang terbentuk selama pengelasan akan tenggelam, sehingga menyebabkan masuknya zat-zat yang tidak dikehendaki.
6. Titik cair dan viskositasnya rendah, sehingga daerah yang terkena pemanasan mudah mencair dan jatuh menetes.

Akhir-akhir ini sifat yang kurang baik tersebut telah dapat diatasi dengan menggunakan alat dan teknik las yang lebih maju, salah satunya adalah proses *Friction Stir Welding* (FSW). Dengan teknik ini maka sifat mampu las dari paduan aluminium menjadi lebih baik [12].

Friction Stir Welding (FSW) adalah proses pengelasan *solid-state*. Sebuah *tool* yang berputar diumpankan sepanjang garis sambungan antara dua benda kerja pada garis sambungan material. Gerakan *tool* menghasilkan gesekan panas pada logam induk sehingga logam induk menjadi lunak dan pada saat yang sama terjadi penekanan logam lunak secara mekanis untuk membentuk sambungan las seperti yang ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. Proses *Friction Stir Welding* [5]

Friction Stir Welding (FSW) banyak digunakan untuk menyambung material aluminium dan paduannya pada industri otomotif seperti pembuatan bodi mobil, pembuatan sayap atau bodi pesawat pada industri kedirgantaraan dan pengelasan lambung kapal pada industri perkapalan. Salah satu jenis material aluminium yang sering digunakan adalah aluminium alloy 2024 [4].

Parameter pengelasan yang umum digunakan dalam proses FSW antara lain geometri *tool*, kecepatan putar *tool* (rpm), kecepatan translasi *tool* (mm/min), dan sudut kemiringan *tool* [9].

Kecepatan putaran *pin* yang tinggi (> 10000 rpm) dapat meningkatkan *strain rate* dan dapat mempengaruhi proses rekristalisasi. Putaran yang tinggi menghasilkan temperatur yang tinggi dan tingkat pendinginan yang lambat pada FSW.

Untuk mengetahui pengaruh putaran *pin* khususnya pada material paduan aluminium jenis 2024, maka dilakukan penelitian terhadap hasil sambungan pengelasan FSW dengan menggunakan beberapa variasi putaran *pin*.

Permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah bagaimana kemampuan *tool* yang sama dengan putaran *pin* berbeda untuk menghasilkan lasan yang bagus pada proses FSW dikaitkan dengan sifat mekanik dan struktur mikro hasil lasannya pada proses FSW aluminium seri 2024. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan parameter pengelasan yang optimum pada proses *Friction Stir Welding* pada material paduan aluminium 2024 dan mengetahui sifat mekanik lasan hasil proses *Friction Stir Welding*. Struktur mikro hasil proses *Friction Stir Welding* serta putaran *pin* yang cocok pada proses *Friction Stir Welding* paduan aluminium 2024 dianalisis. Logam yang akan disambung adalah aluminium 2024 tebal 6 mm dengan tipe sambungan *butt joint* menggunakan mesin *milling* dengan tiga variasi putaran *pin*.

Prinsip kerja proses *friction stir welding* [8].

1. *Pin* memutar dan menekan material lalu *shoulder* mengenai permukaan benda kerja sehingga *pin* berada di dalam permukaan benda kerja.
2. Benda kerja dalam keadaan plastis akibat pemanasan dari gesekan antara *shoulder* dengan permukaan benda kerja.

3. Tool bergerak translasi dan terjadi proses penyambungan material (*joining process*) akibat adanya penekanan oleh *tool*.
4. Proses selesai, *tool* diangkat dengan cara memutar. Setelah *tool* terangkat maka akan membentuk “hole” pada benda kerja akibat indentasi *tool*.

Siklus dari proses FSW dapat dibagi menjadi beberapa langkah, dan masing-masing langkah memiliki aliran panas serta *thermal profile* yang berbeda-beda. Siklus tersebut yaitu:

Dwelling Time, proses pemanasan awal dilakukan pada benda kerja dengan cara membiarkan *tool* berputar tanpa bergerak translasi (*stationery*). Pada langkah ini material yang berada dibawah *tool* siap bergerak translasi sepanjang *join line*. Biasanya pada proses ini juga proses penetrasi *probe/pin* dimulai.

Transient Heating, pada saat *tool* mulai untuk bergerak translasi biasanya menyebabkan terjadinya pemanasan sementara dan suhu pada sekitar *tool* menjadi tidak stabil dan bergerak hingga menjadi *steady state* pada saat *tool* sudah mulai bergerak.

Pseudo Steady State, walaupun pada saat proses berlangsung terjadi fluktuasi suhu pada area sekitar *tool* tetapi secara *thermal* pada area tersebut dalam keadaan konstan paling tidak secara mikrostruktur.

Post Steady State, pada saat menjelang akhir dari proses pengelasan, panas akan meningkat pada sekitar *tool* [9].

Jenis paduan Al-Cu (Seri 2000) adalah jenis yang dapat dikenai perlakuan panas (*heat treatment*). Dengan melalui pengerasan endap atau penyepuhan sifat mekanik paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak, tetapi daya tahan korosinya rendah bila dibandingkan dengan jenis paduan lainnya. Sifat mampu-lasnya juga kurang baik, sehingga paduan jenis ini biasanya digunakan pada konstruksi keling dan banyak sekali digunakan dalam konstruksi pesawat terbang seperti duralumin (2011) dan super duralumin (2024) [12].

Aluminium paduan seri 2024 merupakan material yang dapat dikenai perlakuan panas terutama yang mengandung 2,5-5% Cu. Dari seri ini yang terkenal seri 2017 dikenal dengan nama “duralumin” mengandung 4% Cu, 0,5% Mg, 0,5% Mn pada komposisi standar. Paduan ini Mg ditingkatkan pada komposisi standar dari Al, 4,5% Cu, 1,5% Mg, 0,5% Mn, dinamakan paduan 2024 yang bernama Duralumin Super. Paduan yang memiliki kandungan unsur Cu

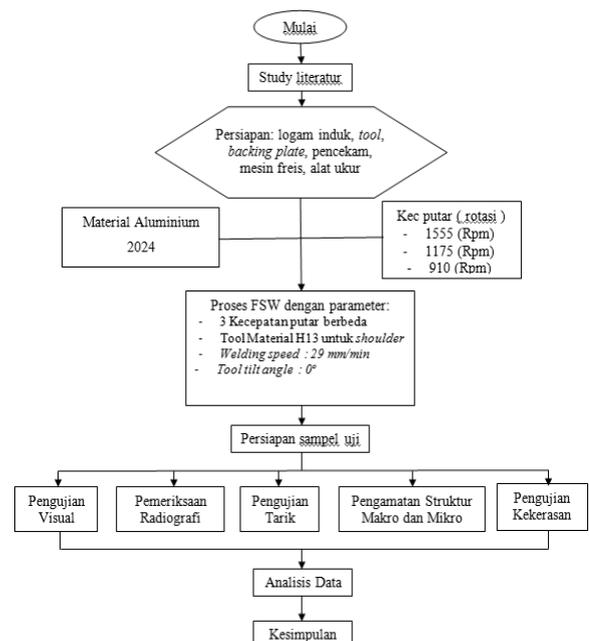
mempunyai ketahanan korosi yang jelek, sehingga apabila ketahanan korosi khusus diperlukan, permukaannya dilapisi dengan Al murni atau paduan Al yang tahan korosi yang disebut pelat alkad. Paduan ini banyak digunakan untuk alat-alat yang bekerja pada temperatur tinggi misalnya pada industri pesawat terbang, piston, dan silinder head motor bakar [10]. Komposisi kimia aluminium seri 2024 tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia aluminium 2024 (*ASM Handbook volume 2*)

Component	Wt. %
Al	90,7 – 94,7
Cr	Max 0,1
Cu	3,8 – 4,9
Fe	Max 0,5
Mg	1,2 – 1,8
Mn	0.3 - 0.9
Other, each	Max 0,05
Other, total	Max 0,15
Si	Max 0,5
Ti	Max 0,15
Zn	Max 0,25

BAHAN DAN METODE

Aluminium paduan 2024 digunakan dalam penelitian ini. Tahapan proses yang dilakukan dalam penelitian proses FSW ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian Friction Stir Welding

Proses FSW ini dilakukan di Balai Besar Logam dan Mesin Bandung menggunakan mesin *Milling*. Material yang disambung adalah aluminium 2024 ketebalan 6 mm dengan ukuran 300 mm x 110 mm menggunakan *tool* baja H13 dengan bentuk *threaded cylinder*. Bentuk *tool* yang digunakan pada proses FSW ini ditunjukkan pada Gambar 3.

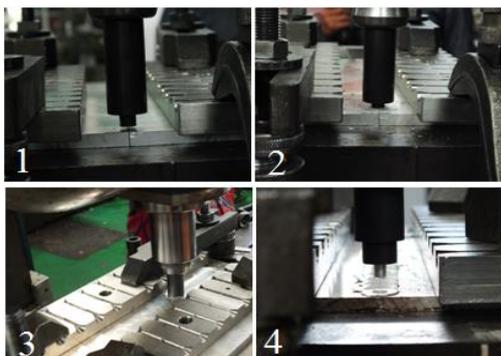


Gambar 3. Bentuk *Tool Friction Stir Welding*

Dimensi *tool* pada proses FSW ini adalah diameter *pin* 6 mm, panjang *pin* 6 mm, diameter *shoulder* 20 mm dan terbuat dari material *tool steel* H13 [7].

Parameter proses FSW yang digunakan adalah kecepatan pengelasan 29 mm/min, kedalaman identasi *pin* 5,8 mm dan sudut kemiringan *tool* 0° dengan variasi putaran *tool* 1555 rpm, 1175 rpm dan 910 rpm

Material aluminium 2024 yang akan disambung dengan tipe *butt joint* diletakkan diatas meja kerja mesin frais. Proses FSW ini menggunakan *backing plate* yang diklem pada beberapa sisi untuk mengurangi rambatan panas yang terjadi. Setelah semua parameter proses diatur dengan baik maka *tool* diturunkan secara perlahan sampai kedalaman identasi mencapai 5,8 mm. Gerakan translasi yang dilakukan setelah ditahan beberapa saat menyebabkan spesimen akan tersambung sampai akhirnya *tool* diangkat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Proses FSW Aluminium 2024

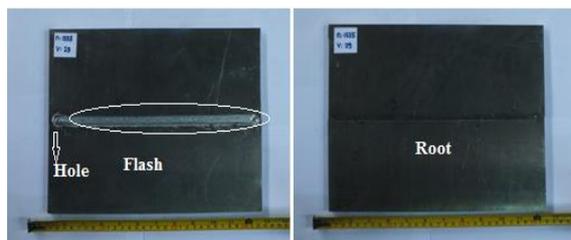
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Visual Hasil Pengelasan

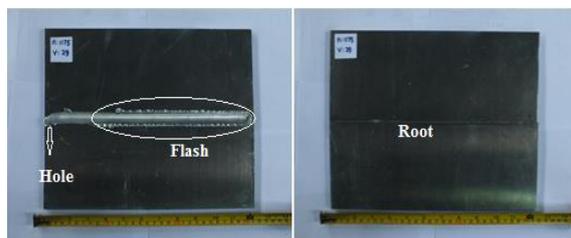
Secara visual hasil proses *friction stir welding* yang paling baik adalah percobaan dengan kecepatan putar 1175 rpm dan laju pengelasan 29 mm/ menit. Hasil percobaan ini lebih bagus dibandingkan dengan kedua percobaan lainnya. Pada percobaan ini terlihat adanya flash dan hasil pengelasan halus. Hal ini terjadi karena kecepatan dari putaran *tool* konstan dan laju pengelasan yang tidak terlalu cepat, sehingga adukan menjadi baik.

Pada morfologi permukaan terlihat ada garis-garis pada hasil pengelasan yang selanjutnya membentuk potongan-potongan diameter. Hal ini menunjukkan bahwa pada proses FSW terjadi pengadukan yang menyebabkan kedua logam menyambung.

Hasil proses *Friction Stir Welding* ditampilkan secara visual dalam bentuk Gambar 5, 6 dan 7 :



Gambar 5. Hasil Pengelasan FSW Kecepatan Putar 1555 rpm



Gambar 6. Hasil Pengelasan FSW Kecepatan Putar 1175 rpm



Gambar 7. Hasil Pengelasan FSW Kecepatan Putar 910 rpm

Secara visual hasil pengelasan FSW yang dilihat dari *face* dan *root* menggunakan kecepatan putar 1175 rpm dan laju pengelasan 29 mm/menit, memiliki hasil yang halus dan teraduk secara merata.

Pengujian visual yang dilakukan mengacu pada standar AWS D17.3. Dari pengamatan secara visual terlihat logam lasan tersambung dengan baik dan tidak ada defleksi pada hasil lasan. *Flash* yang muncul dapat dibersihkan sebelum dilakukan pengujian berikutnya.

Analisis Hasil Pemeriksaan Radiografi

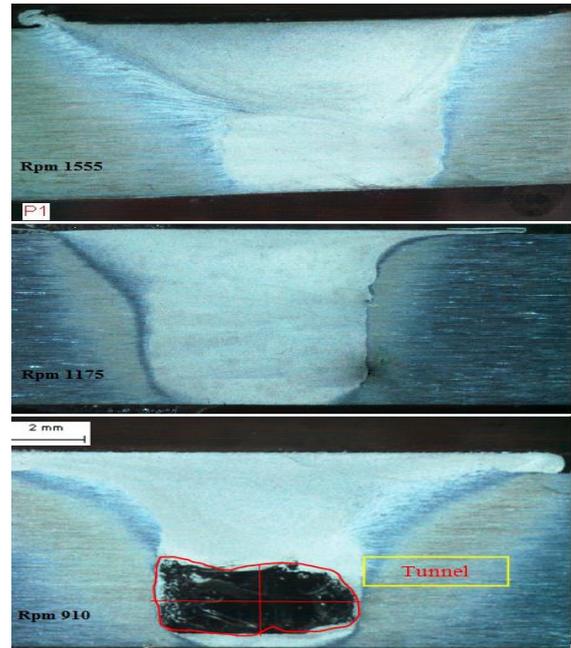
Pengujian Radiografi menunjukkan bahwa tidak ada cacat pada semua sambungan hasil proses *Friction Stir Welding* (FSW). Berdasarkan hasil Radiografi, proses pengelasan yang paling baik yaitu hasil proses FSW menggunakan variasi kecepatan putar 1175 rpm dengan kecepatan laju 29 mm/menit seperti ditunjukkan pada Gambar 8.

Analisis Cacat dan Struktur Makro

Hasil uji struktur makro menunjukkan bahwa adanya cacat *cavity* [6] pada specimen uji dengan kecepatan putar 910 rpm. Kecepatan putar yang kurang menyebabkan material tidak teraduk sempurna dan tekanan *tool* yang kurang akan menyebabkan aliran material tidak bergerak dengan sempurna untuk mengisi ruang yang kosong selama gerakan translasi dan rotasi seperti ditunjukkan gambar 9.



Gambar 8. Hasil Pengujian Radiografi



Gambar 9. Hasil Uji Makro

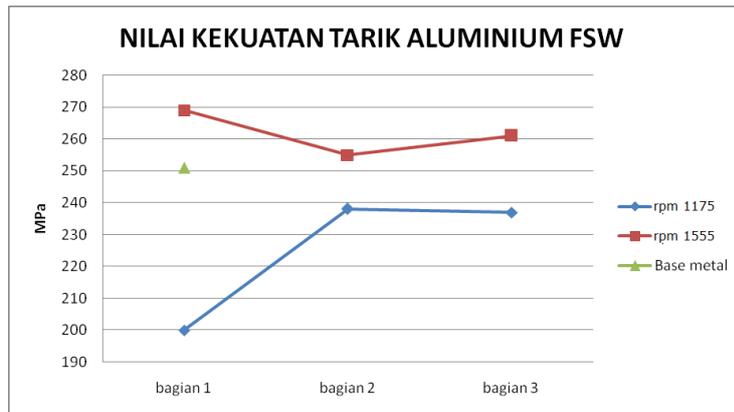
Berdasarkan standar AWS D17.3, adanya cacat *cavity/tunnel* tidak diijinkan, sehingga tidak perlu dilakukan pengujian tarik terhadap specimen uji tersebut.

Analisis Hasil Pengujian Tarik

Hasil uji tarik terhadap spesimen dengan kecepatan putar *tool* 1555 rpm dan 1175 rpm dan kecepatan pengelasan 29 mm/menit, menunjukkan patahan terjadi pada daerah *weld metal* seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Patahan berbentuk getas dan *necking* yang terjadi sangat kecil bila dibandingkan dengan daerah *base metal*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan tarik hasil proses *friction stir welding* yang paling baik adalah dengan kecepatan putar 1175 rpm dan kecepatan pengelasan 29 mm/menit yaitu 268 MPa, lebih besar dibandingkan dengan kekuatan tarik *base metal* yaitu 251 MPa seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Patahan pada Spesimen Uji Tarik

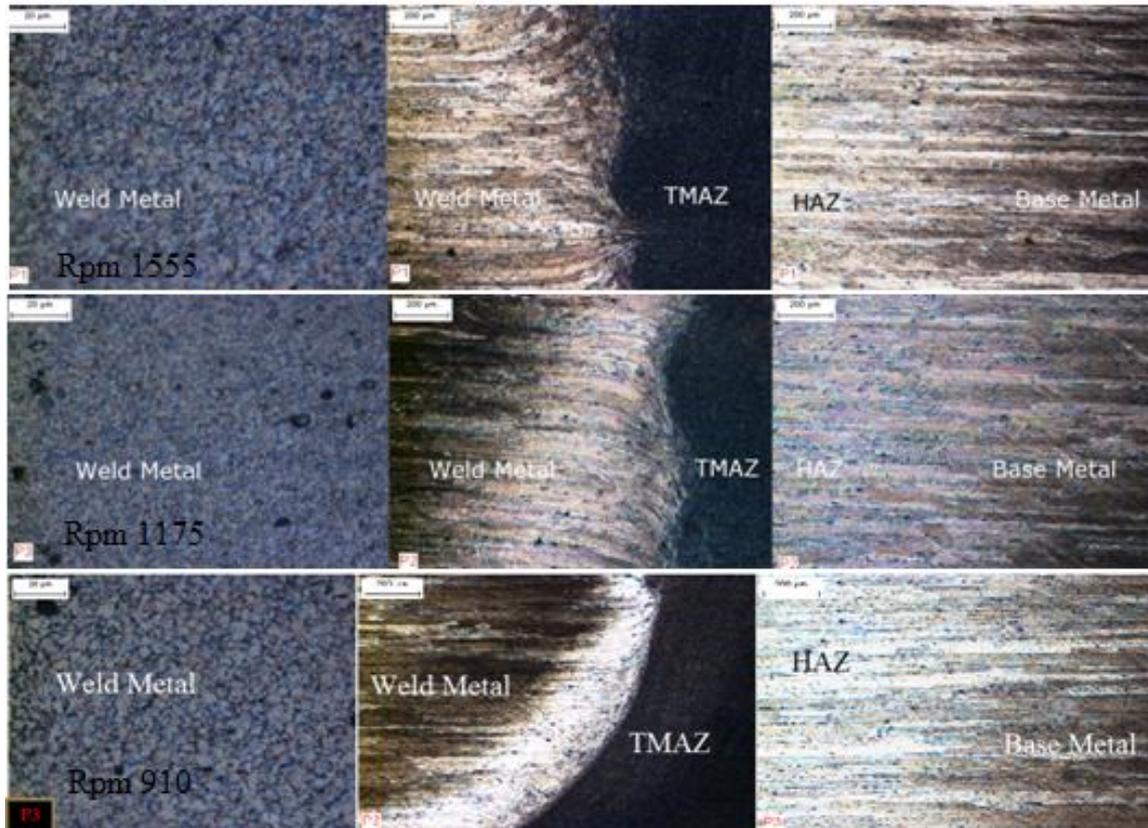


Gambar 11. Hasil Uji Tarik

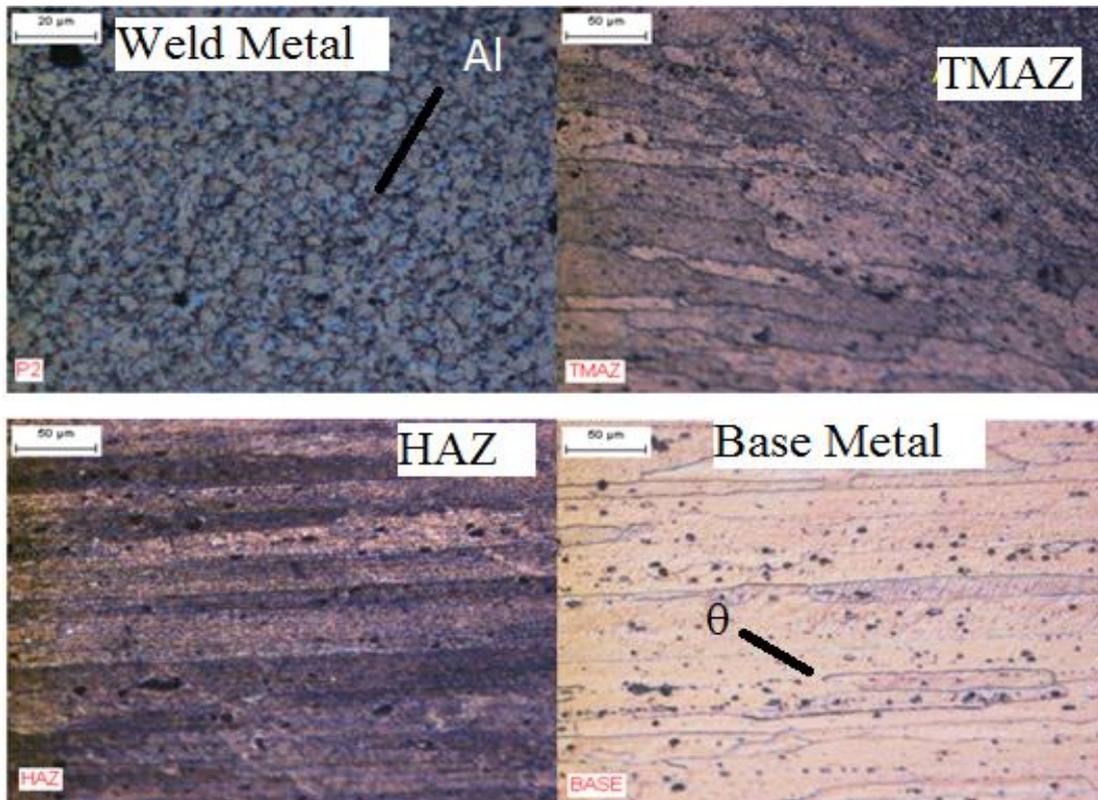
Analisis Hasil Uji Struktur Mikro

Setelah pengujian makro selanjutnya dilakukan pengujian mikro dengan pembesaran hingga 250x (50µm) dan 500x (20µm). Foto mikro hasil pengelasan *Friction Stir Welding* (Gambar 11) menunjukkan terjadinya penghalusan butir pada *weld metal* dan adanya pembesaran butir pada daerah HAZ [11]. Penghalusan butir disebabkan oleh terbentuknya butir baru pada temperatur rekristalisasi akibat adanya panas yang disebabkan oleh gesekan pada proses *Friction Stir Welding*. Dengan butir yang

halus akan meningkatkan kekuatan pada spesimen. Makin halus ukuran butir, kekuatan material akan meningkat. Untuk spesimen dengan kecepatan putar 1175 rpm dan kecepatan pengelasan 29 mm/menit bila dilihat secara struktur mikro (Gambar 12) dan sesuai dengan *ASM handbook volume 9* memiliki hasil butir yang lebih halus dibandingkan dengan spesimen yang lain. Nilai kekuatan tarik yang dimiliki spesimen ini lebih tinggi dibandingkan dengan kedua spesimen yang lain.



Gambar 12. Struktur Mikro Kecepatan Putar 1555 rpm, 1175 rpm dan 910 rpm

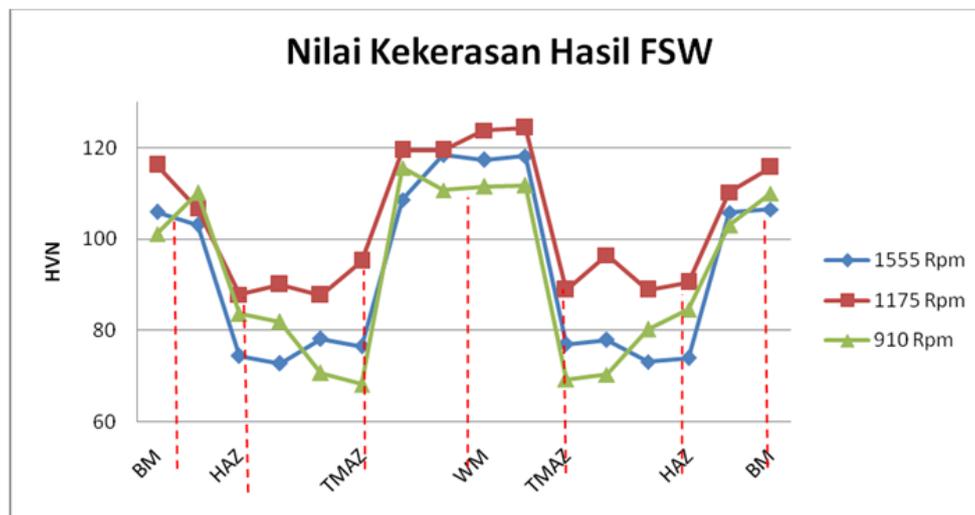


Gambar 13. Struktur Mikro Kecepatan Putar 1175 rpm

Analisis Hasil Pengujian Kekerasan

Setelah pengujian struktur makro dan mikro, selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan dengan menggunakan micro hardness test (micro vickers). Hasil pengujian kekerasan tertinggi rata-rata terdapat pada *base metal*. Untuk kekerasan pada daerah TMAZ menjadi daerah yang memiliki kekerasan paling kecil dibandingkan dengan ke 3 daerah lainnya yaitu HAZ, *Weld metal* dan *Base Metal*. Hal ini

disebabkan oleh terjadinya pelunakan akibat adanya panas yang ditimbulkan oleh gesekan. Daerah TMAZ sendiri mengalami daerah pemanasan yang sangat tinggi, dan menerima efek gesekan yang sangat tinggi juga sehingga hal ini akan menurunkan nilai kekerasan yang dimiliki oleh material. Hasil Uji Kekerasan proses FSW Aluminium 2024 ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Distribusi Kekerasan Hasil Lasan

Dari Gambar 13 terlihat bahwa spesimen yang memiliki nilai kekerasan paling tinggi adalah spesimen dengan kecepatan putar 1175 rpm dan kecepatan 29 mm/menit.

Dibandingkan dengan *weld metal* yang lain, proses dengan menggunakan kecepatan putar 1175 dengan kecepatan pengelasan 29 mm/menit, butir spesimen lebih halus sehingga, meningkatkan kekuatan dan juga kekerasan pada spesimen yang diuji cobakan. Tetapi keuletan yang dimiliki berbanding terbalik dengan sifat aluminium sebelum proses *Friction Stir Welding* sehingga spesimen setelah proses FSW akan menjadi lebih getas dibandingkan dengan aluminium yang tidak mengalami proses *Friction Stir Welding*

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Proses *Friction Stir Welding* aluminium seri 2024 dengan parameter kecepatan pengelasan 29 mm/menit, sudut kemiringan *tool* 0°, kedalaman indentasi *tool* 5,8 mm dan varisai kecepatan putaran 1555 rpm, 1175 rpm dan 910 rpm telah berhasil dilakukan dengan baik menggunakan mesin frais. Hasil proses FSW menunjukkan kekuatan tarik optimum 268 MPa lebih besar dari kuat tarik *base metal* 251 MPa. Nilai kekerasan *weld metal* mengalami peningkatan dibanding daerah sekitar dan logam induk dengan nilai terbesar 125 HVN sesuai dengan perubahan struktur mikro di setiap area yang terpengaruh panas.

Proses *Friction Stir Welding* Aluminium 2024 menggunakan kecepatan putar 1175 rpm menghasilkan sifat mekanik lebih besar dan struktur mikro yang lebih halus daripada menggunakan kecepatan putar 1555 rpm dan 910 rpm.

Saran

Variasi *dwelling time* perlu dilakukan agar distribusi panas merata. Penggunaan *Tungsten Carbide* (WC) untuk material *tool* agar hasil pengelasan lebih bagus.

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] ASM Handbook, "Properties and Selection: Non Ferrous Alloy and Special Purpose Materials", Volume 2, 2004.
- [2] ASM Handbook, "Metallography and Microstructure", Volume 9, 2004.
- [3] AWS D17.3, "Specification For Friction Stir Welding Of Aluminium Alloys For Aerospace Application", 2010.
- [4] Irfan, Tarmizi, "Pengaruh Bentuk *Pin* Terhadap Sifat Mekanik Aluminium 5083–H112 Hasil Proses Friction Stir Welding", *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 2017.
- [5] N Ravinder Reddy, "Friction Stir Welding of Aluminium Alloys–A Review", *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, Volume 7, 73-80, 2016.
- [6] P. Podržaj, B. Jerman, D. Klobčar, "Welding Defects at Friction Stir Welding", *Metallurgija* 54, 2, 387-389, 2015.
- [7] R. Rai, A. De, H. K. D. H. Bhadeshia and T. DebRoy, "Friction Stir Welding tools", *Science and Technology of Welding and Joining*, Vol.16, 2011.
- [8] Rahayu Deden, "Analisis Proses Friction Stir Welding (FSW) pada Plat Tipis Aluminium" *Tugas Akhir Program Sarjana, Universitas Indonesia*, 2012.
- [9] Rajiv S. Mishra, Murray W. Mahoney, "Friction Stir Welding and Processing", *ASM international*, 2007.
- [10] Surdia, T. dan S, Saito, "Pengetahuan Bahan Teknik", Jakarta, 1995.
- [11] Pradnya Paramita Wiryosumarto H & 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.
- [12] Wiryosumarto H & Thosie Okumura, "Teknologi Pengelasan logam", Jakarta, Pradnya Paramita, 2000.