

Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Pengelasan AA 5083 dengan Proses Friction Stir Welding pada Arah Sejajar dan Tegak Lurus Rol

Rahadian N^{1*}, Bambang S¹, Yudi M. S.¹, Tarmidzi²

¹Departemen Fisika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia
Kampus UI Depok, Indonesia, 16424

²Metal Industries Development Center,
Jl. Sangkuriang No.14 Bandung, Indonesia, 40135

^{a)}rrfisika@gmail.com (corresponding author)

Abstrak

Friction Stir Welding (FSW) merupakan sebuah metode pengelasan ramah lingkungan yang telah diaplikasikan di banyak industri. AA 5083 secara luas digunakan dalam berbagai aplikasi yang memanfaatkan kelebihan tahan korosi dengan kekuatan yang sangat baik setelah penyambungan. AA 5083 disambungkan dalam proses FSW dengan mengorientasikan arah las sejajar dan tegak lurus rol pada beberapa variasi kecepatan pengelasan. Analisis hasil pada daerah las menunjukkan perbedaan sifat mekanis pada perubahan orientasi arah pengelasan dan pengerolan benda kerja.

Kata-kata kunci: Friction Stir Welding, Sifat Mekanis, AA 5083, Arah Las, Orientasi Pengerolan.

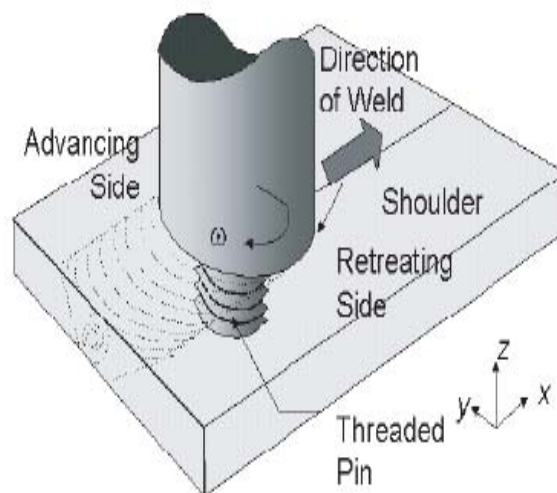
PENDAHULUAN

Penelitian FSW untuk *aluminium alloy* saat ini tengah mengalami perkembangan yang pesat dan secara luas dilakukan oleh berbagai kalangan, baik itu yang sifatnya sains maupun teknik. Berikut adalah beberapa penelitian yang pernah dilakukan oleh orang lain dan berkaitan dengan penelitian yang kami lakukan. Joshi V [1]. Melakukan riset optimisasi parameter pengelasan FSW dengan melihat kualitas material lasan yang dihasilkan. J. Hussain [2]. Menginvestigasi pengaruh arah pengelasan FSW AA 7075 yang dilakukan pada arah sejajar dan tegak lurus arah pengerolan. Cavaliere [3]. Menganalisis parameter proses yang mempengaruhi sifat mekanik hasil pengelasan FSW. Morteza G [4]. Mengevaluasi hasil pengelasan antara AA 5083 dan AA 6061 dengan proses FSW. Riset tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter proses FSW dan optimasinya pada kualitas hasil lasan serta *formability* dari material tersebut setelah proses FSW. Er. Rajiv [5]. Melakukan studi experimental FSW dari AA 5083 dan AA 6061, mengukur hubungan antara kecepatan rotasi tool, kecepatan pengelasan, dan sudut tool, dengan tujuan untuk menganalisis efek parameter proses FSW terhadap respon pengujiannya. M. Ilangovan [6]. Telah menyambungkan dua tipe aluminium berbeda, yaitu AA 6061 yang berjenis *heat treatable* dengan AA 5083 yang berjenis *non-heat treatable*, oleh proses FSW dengan menggunakan tiga profil pin *tool* berbeda seperti *straight cylindrical*, *taper cylindrical* dan *threaded cylindrical*. Selanjutnya penelitian kami saat ini adalah menganalisis bagaimana pengaruh dan perbedaan sifat mekanik pada pengelasan AA 5083 dengan proses FSW yang mana dilakukan pada arah sejajar dan tegak lurus rol serta memvariasikan kecepatan pengelasan untuk kedua jenis pengelasannya. Berangkat dari pertanyaan bagaimanakah pengaruh dari pengorientasian arah las pada arah sejajar dan tegak lurus rol plat terhadap perilaku mekaniknya yang ditinjau dari segi kekuatan dan kekerasan hasil pengelasannya. Sehingga dengan demikian penelitian ini bertujuan untuk

mengetahui bagaimana pengaruh proses pengerjaan itu terhadap nilai kekuatan tarik dan kekerasannya, serta perbandingannya antara kedua arah pengelasan tersebut.

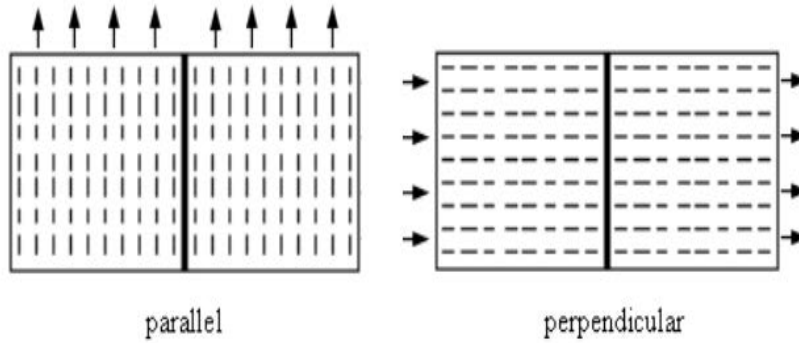
TEORI DASAR

Friction Stir Welding (FSW) adalah proses penyambungan material dalam keadaan solid yang memanfaatkan energi panas yang dihasilkan dari gesekan antara pin dengan material benda kerja dan dengan tanpa memerlukan bahan penambah (*filler*) seperti pengelasan konvensional lainnya. Metode FSW dapat digunakan untuk menyambungkan material yang sama maupun material yang tidak sama seperti aluminium dengan kuningan, baja dengan baja tahan karat. Metode ini juga memungkinkan untuk mengelas kombinasi material lainnya yang tidak dapat di las dengan menggunakan metode pengelasan konvensional yang lain. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam proses pengelasan diantaranya adalah desain tool, kecepatan rotasi tool, kecepatan pengelasan, *plunge depth*, dan tekanan tool.



Gambar 1 Prinsip friction stir welding

Dalam penelitian ini metode proses pengelasan yang digunakan adalah metode FSW, dengan mengatur parameter proses yang telah ditentukan sebelumnya sesuai dengan penelitian ini. Kami menggunakan plat *Aluminium Alloy* seri 5083 dengan tebal 6 mm sebagai benda kerja, serta memakai pin *tool cylinder steel H13* dengan diameter shoulder tool 18 mm dan diameter pin 6 mm. Kemudian mengatur parameter proses pengelasan dengan kecepatan rotasi tool 1550 rpm, *plunge depth* 4,87 mm, dan variasi kecepatan pengelasan sebesar 22, 29 dan 38 mm/menit. Pengelasan dilakukan pada arah sejajar dan tegak lurus rol plat untuk setiap variasi nilai kecepatan pengelasan seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1. Sehubungan dengan hal itu, maka dalam penelitian ini kami menganalisis hasil pengelasan AA 5083 dalam proses FSW yang dilakukan dengan mengorientasikan pengelasan pada arah sejajar dan tegak lurus terhadap arah pengerolan plat aluminium. Lalu menganalisis apa yang terjadi dan perbandingan nilai kekerasannya antara kedua hasil pengelasan tersebut.



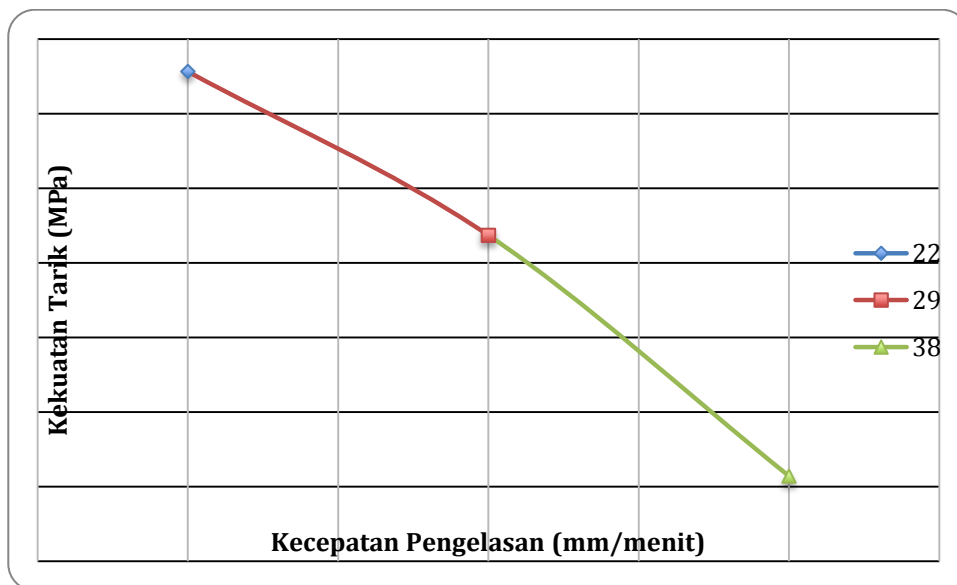
Gambar 2. Skema arah pengelasan terhadap arah rol plat

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Kekuatan Tarik

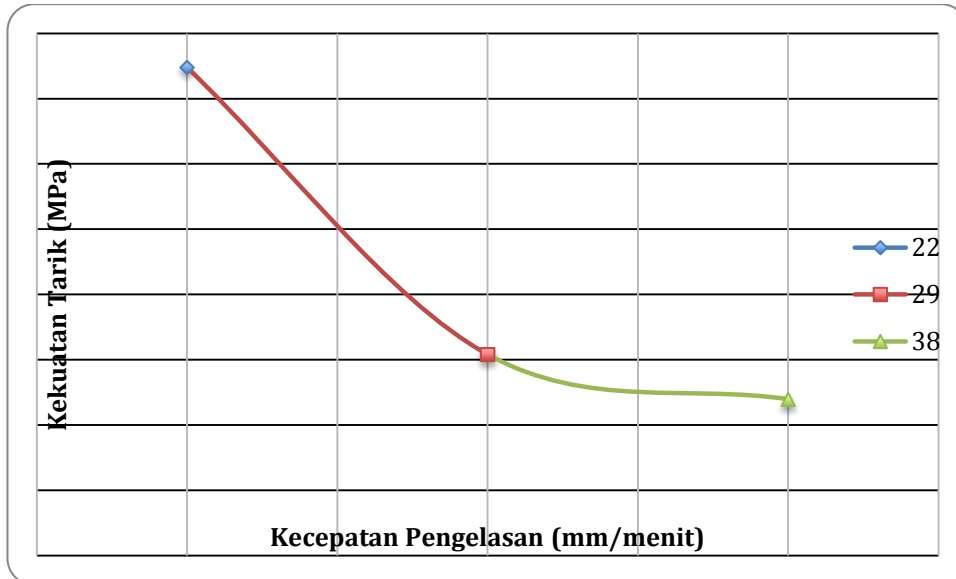
Setelah melakukan proses pengelasan dan pengujian, berikutnya kami tampilkan data hasil penelitian beserta pembahasannya. Di bawah ini adalah grafik hasil uji tarik Pengelasan Arah Sejajar Rol (PASR) dan Pengelasan Arah Tegak Lurus Rol (PATLR). Hasil yang ditampilkan di bawah ini adalah hasil yang sudah diolah secara statistik terlebih dahulu, yakni hasil nilai rata-rata kekuatan tarik yang didapat dari dua sampel yang diuji untuk setiap satu variasi nilai kecepatan pengelasan. Hal ini dilakukan agar mendapatkan nilai yang representatif dari hasil pengelasan yang didapat.

Berdasarkan Grafik 1 dapat kita lihat bahwa hasil kekuatan tarik PASR untuk setiap variasi kecepatan pengelasan adalah berbeda-beda. Hasil menunjukkan bahwa kecepatan 22 mm/menit nilai kuat tariknya adalah 131.28 MPa, sedangkan nilai kekuatan tarik pada kecepatan 29 dan 38 mm/menit masing-masing adalah sebesar 87.38 MPa dan 22.8 MPa. Dari ketiga variasi yang kami lakukan terlihat bahwa nilai kekuatan tarik yang paling optimum adalah pada saat kecepatan pengelasannya adalah 22 mm/menit, sedangkan yang relatif kurang optimum dari ketiga variasi tersebut adalah pada saat kecepatan pengelasannya 38 mm/menit. Sehingga dari hal tersebut dapat kita katakan bahwa seiring dengan kenaikan kecepatan pengelasan terjadi penurunan nilai kekuatan tarik terhadap hasil pengelasan yang bersangkutan, seperti yang ditunjukkan pada grafik berikut ini



Grafik. 1. Hasil kekuatan tarik PASR pada tiga variasi nilai kecepatan pengelasan

Pada Grafik 2 dapat kita lihat bahwa hasil kekuatan tarik PATLR untuk setiap variasi kecepatan pengelasan adalah berbeda-beda. Hasil menunjukkan bahwa pada kecepatan 29 dan 38 mm/menit masing-masing adalah sebesar 61.7 MPa dan 47.9 MPa, sedangkan untuk kecepatan 22 mm/menit nilai kekuatan tariknya adalah 149.9 MPa. Sama seperti pada arah pengelasan arah sejajar rol, dari ketiga variasi kecepatan yang kami lakukan terlihat bahwa nilai kekuatan tarik yang paling optimum adalah pada saat kecepatan pengelasannya 22 mm/menit, sedangkan yang relatif kurang optimum dari ketiga variasi tersebut adalah pada saat kecepatan pengelasannya 38 mm/menit. Dari Grafik 2 terlihat bahwa nilai kekuatan tarik yang dihasilkan menurun seiring dengan meningkatnya kecepatan pengelasannya.



Grafik 2. Hasil kekuatan tarik PATLR pada tiga variasi nilai kecepatan pengelasan

Terkait dengan hasil kekuatan tarik yang didapatkan, kami menganalisa bahwa setidaknya ada beberapa hal yang dapat mempengaruhi hasil pengujian terhadap pengelasan yang dilakukan. Faktor-faktor itu diantaranya adalah kecepatan pengelasan, arah pengelasan terhadap arah rol, serta termasuk faktor teknis alat / instrumen seperti pemosisian benda kerja saat melakukan pengelasan dan pengujian tarik.

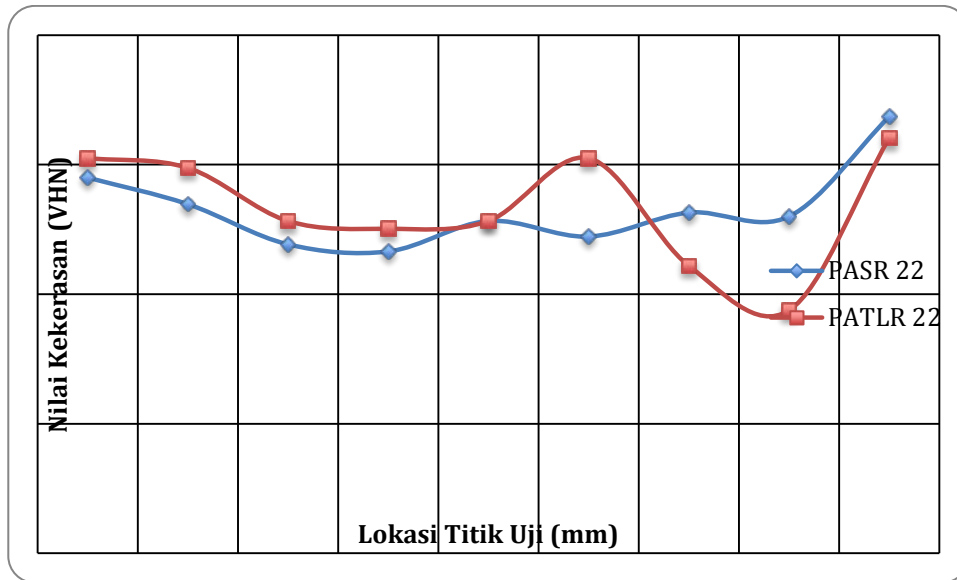
Hasil Kekerasan

Selanjutnya kami berikan hasil uji kekerasan PASR dan PATLR pada variasi kecepatan pengelasan 22, 29, dan 38 mm/menit. Di bawah ini adalah tabel data dan grafik nilai kekerasan pada kecepatan pengelasan 22 mm/menit.

Tabel 1. Perbandingan kekerasan PASR dan PATLR kecepatan 22 mm/menit

Posisi Titik Uji (mm)	Nilai Kekerasan (VHN)		Persentasi Nilai PATLR : PASR
	PASR 22	PATLR 22	
-12	78	81	1.04
-9	73.9	79.5	1.08
-6	67.7	71.3	1.05
-3	66.6	70.1	1.05
0	71.3	71.3	1.00

3	68.9	81	1.18
6	72.6	64.4	0.89
9	72	57.5	0.80
12	87.4	84.1	0.96
Rata-rata			1.0048



Grafik 3. Perbandingan kekerasan PASR dan PATLR kecepatan 22 mm/menit

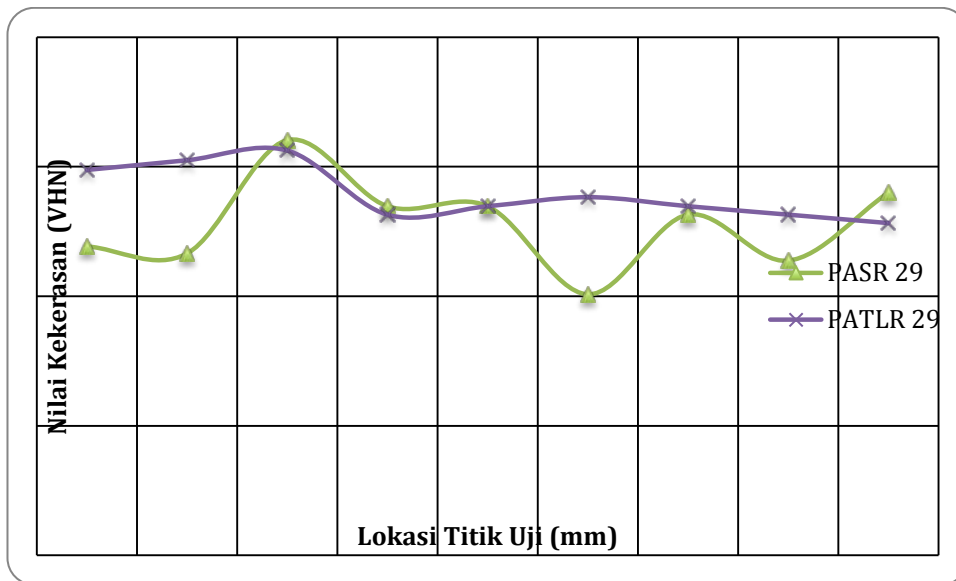
Dari data tersebut kita bisa melihat bahwa pada variasi kecepatan pengelasan 22 mm/menit hasil PATLR memiliki nilai kekerasan yang sedikit lebih baik dibandingkan dengan PASR. Jika kita lihat dari nilai rata-rata persentasi perbandingan hasil uji kekerasannya pada posisi yang sama, PATLR menunjukkan perbedaan nilai kekerasan yang relatif kecil dengan nilai kekerasan PASR. Adapun persentasi perbandingan antara PATLR dengan PASR adalah 0.48 %, yang mana persen tersebut amatlah kecil bahkan kita dapat mengatakan bahwa nilai kekerasan PASR maupun PATLR pada kecepatan pengelasan 22 mm/menit adalah relatif sama.

Berikutnya kami akan membahas komparasi antara hasil uji kekerasan PASR dan PATLR pada kecepatan pengelasan 29 mm/menit. Jika kita lihat pada kecepatan 29 mm/menit memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dan kecenderungan garfik yang lebih baik dibandingkan dengan nilai kekerasan pada kecepatan pengelasan 22 mm/menit. Agar lebih jelas lagi berikut kami berikan tabel data dan grafik komparasinya.

Tabel 2. Perbandingan kekerasan PASR dan PATLR kecepatan 29 mm/menit

Posisi Titik Uji (mm)	Nilai Kekerasan (VHN)		Perbandingan Nilai PATLR : PASR
	PASR 29	PATLR 29	
-12	67.7	79.5	1.17
-9	66.6	81	1.22
-6	84.1	82.5	0.98
-3	73.9	72.6	0.98

0	73.9	73.9	1.00
3	60.3	75.3	1.25
6	72.6	73.9	1.02
9	65.5	72.6	1.11
12	76	71.3	0.94
Rata-rata			1.0741



Grafik 4. Perbandingan kekerasan PASR dan PATLR kecepatan 29 mm/menit

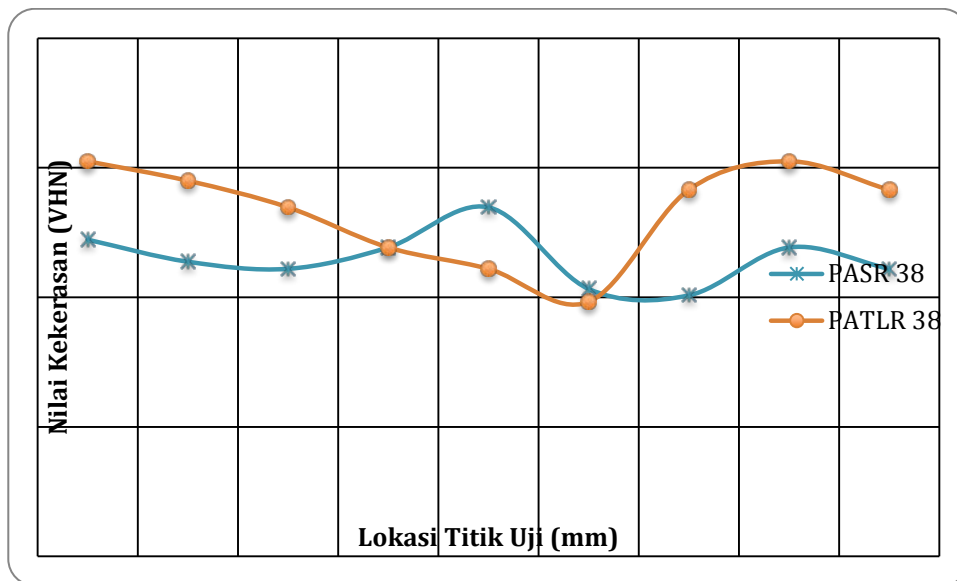
Berdasarkan Tabel 2 dan Grafik 4 dapat kita lihat bahwa pada variasi kecepatan pengelasan 29 mm/menit hasil PATLR memiliki nilai kekerasan yang lebih baik dibandingkan dengan PASR. Jika kita lihat dari nilai rata-rata persentasi perbandingan hasil uji kekerasannya pada posisi yang sama, maka PATLR menunjukkan nilai kekerasan sebesar 7.41 % lebih besar dari nilai kekerasan PASR.

Selanjutnya pembahasan tentang kecepatan pengelasan 38 mm/menit. Berdasarkan data **Tabel 3** dan **Grafik 5** pada variasi kecepatan pengelasan 38 mm/menit hasil PATLR memiliki nilai kekerasan yang lebih baik dibandingkan dengan PASR. Hal ini sama seperti variasi kecepatan 29 mm/menit, yang juga menunjukkan hal yang sama bahwa nilai kekerasan PATLR memiliki nilai kekerasan yang lebih baik dibanding dengan PASR. Jika kita lihat dari nilai rata-rata persentasi perbandingan hasil uji kekerasannya pada posisi yang sama, pada kecepatan 38 mm/menit ini PATLR menunjukkan nilai kekerasannya adalah 11.21% lebih tinggi dari nilai kekerasan PASR.

Tabel 3. Perbandingan kekerasan PASR dan PATLR kecepatan 38 mm/menit

Posisi Titik Uji (mm)	Nilai Kekerasan (VHN)		Perbandingan Nilai PATLR : PASR
	PASR 38	PATLR 38	
-12	68.9	81	1.18
-9	65.5	78	1.19
-6	64.4	73.9	1.15

-3	67.7	67.7	1.00
0	73.9	64.4	0.87
3	61.3	59.3	0.97
6	60.3	76.6	1.27
9	67.7	81	1.20
12	64.4	76.6	1.19
Rata-rata			1.1121

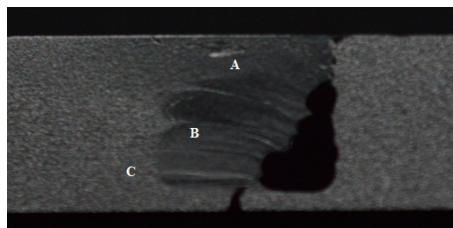


Grafik 5. Perbandingan kekerasan PASR dan PATLR kecepatan 38 mm/menit

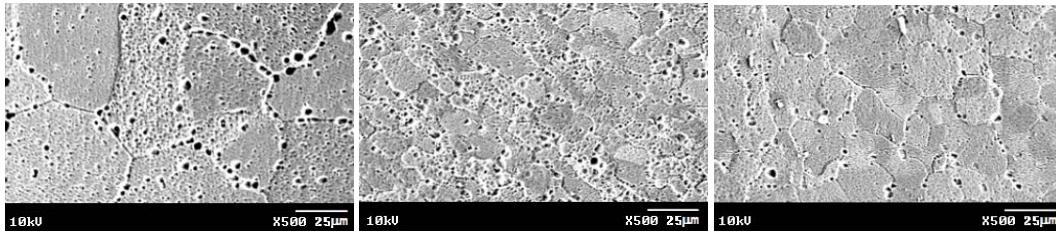
Adapun faktor-faktor yang dapat mempengaruhi nilai kekerasan yang kami dapatkan dalam penelitian ini, diantaranya adalah faktor parameter proses kecepatan pengelasan dan arah pengelasannya terhadap arah aliran material, sehingga berdampak pada morfologi stuktur hasil pengelasannya. Dan juga faktor koreksi atau kesalahan selama melakukan proses pengujian, baik itu terletak pada alat uji nya ataupun mungkin operator sebagai pelaksana yang melakukan pengujian tersebut.

Hasil Struktur Mikro

Selain sifat mekanik, kali ini kami juga akan membahas tentang struktur mikro yang dihasilkan dari pengelasan yang kami lakukan. DI bawah ini kami berikan gambar penampang mako yang kemudian diikuti dengan hasil stuktur mikro dari PASR

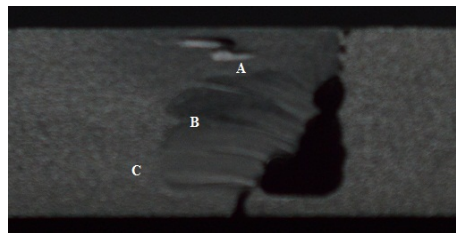


Gambar 3. Penampang makro PASR

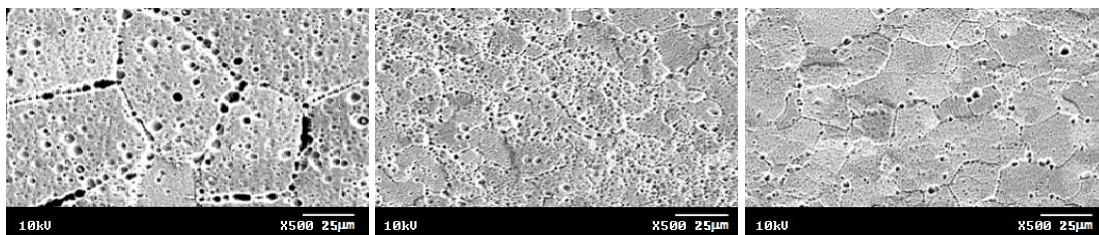


Gambar 4. Struktur mikro pada PASR. Dari kiri ke kanan masing-masing adalah daerah C, B, A.

Dari Gambar 3 kami membagi menjadi tiga daerah (A,B,C). Daerah A di atas kami identifikasikan sebagai zona adukan. Pada daerah tersebut terlihat bahwa rata-rata panjang diameternya grain size nya adalah sekitar $15\mu\text{m}$. Di kedua belah sisi pinggir zona adukan (dekat dengan area permukaan) terdapat daerah B yang kami definisikan sebagai daerah yang terpengaruh secara termal-mekanik (TMAZ). Jika kita perhatikan struktur mikro dari Gambar 4.B memiliki grain size dengan ukuran panjang diameternya kira-kira $15\text{-}20\mu\text{m}$. Dari perbedaan ukuran antara daerah A dan B tersebut dapat kita katakan bahwa itu terkait dengan temperatur pengelasan pada daerah B lebih rendah daripada di daerah tengah lasan (daerah A). Berikutnya adalah daerah C yang kami representasikan daerah yang terkena panas dan bisa juga logam induk. Pada Gambar 4.C menunjukkan bahwa pada daerah ini secara ukuran butirnya lebih besar daripada di daerah A dan B, dengan ukuran panjang diameternya rata-rata sekitar $35\text{-}50\mu\text{m}$. Hal itu juga menunjukkan pada kita bahwa temperturnya lebih rendah daripada temperatur di dua daerah lainnya. Selanjutnya kami akan membahas tentang hasil struktur mikro pada PATLR. Di bawah ini kami berikan gambar penampang makro hasil pengelasannya, yang untuk kemudian akan langsung kami lanjutkan dengan pembahasan struktur mikro dari PATLR pada daerah A, B, C.



Gambar 5. Penampang makro PATLR



Gambar 6. Struktur mikro pada PASR. Dari kiri ke kanan masing-masing adalah daerah C, B, A.

Berdasarkan gambar 5 dan 6 dapat kita lihat bahwa struktur mikro pada daerah A (*nugget zone*) grain size ukuran butir diameter panjangnya rata-rata sekitar $15\text{-}20\mu\text{m}$. Kemudian yaitu daerah B (TMAZ) yang terletak di kedua belah sisi pinggir daerah lasan, butirannya yang terlihat berukuran diameter panjangnya rata-rata sekitar $15\text{-}25\mu\text{m}$. Sebelah TMAZ, terdapat daerah C (HAZ), terlihat bahwa ukuran diameter panjang dari butirannya adalah sekitar $40\text{-}60\mu\text{m}$. Jika kita perhatikan dari hasil struktur mikro baik pada PASR dan PATLR, struktur mikro yang dihasilkan dari pengelasan pada daerah nugget zone, TMAZ dan HAZ adalah berbeda-beda. Hal tersebut terkait dengan perbedaan temperatur yang terjadi pada ketiga daerah tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pengelasan friction stir welding yang dilakukan pada arah sejajar rol memiliki hasil kekuatan tarik yang berbeda dari yang dilakukan pada arah tegak lurus rol. Pada kecepatan pengelasan 29 mm/menit, nilai kekuatan tarik yang dihasilkan dari pengelasan arah sejajar rol lebih baik dari pengelasan arah tegak lurus rol. Sedangkan untuk kecepatan 22 dan 38 mm/menit adalah kebalikannya. Selain itu dari pembahasan yang telah diberikan sebelumnya dapat dikatakan bahwa nilai kekuatan tarik yang dihasilkan, baik pada pengelasan arah sejajar maupun tegak lurus rol, nilainya menurun seiring dengan kenaikan kecepatan pengelasan yang dilakukan.

Selain hasil kekuatan tarik pada penelitian ini juga mendapatkan hasil kekerasan yang menunjukkan bahwa nilai rata-rata perbandingan kekerasan pada posisi yang sama, hasil pengelasan arah tegak lurus rol pada kecepatan pengelasan 29 dan 38 mm/menit masing-masing lebih tinggi sekitar 7.41 % dan 11.21 % dibandingkan dengan nilai kekerasan pada hasil pengelasan arah sejajar rol. Sedangkan untuk kecepatan 22 mm/menit hasil pengelasan arah sejajar rol nilainya hanya berbanding tipis sekitar 0.48% terhadap hasil pengelasan arah tegak lurus rol.

Hasil struktur mikro yang terbentuk dari hasil pengelasan yang dilakukan pada arah sejajar dan tegak lurus rol adalah relatif sama. Namun demikian tentu saja tetap terdapat ciri dan perbedaan khusus antara keduanya yang terletak pada bentuk, ukuran, kehalusan dan juga mungkin arah butiran (*grain*) yang terbentuk, yang mana juga hal tersebut akan berpengaruh terhadap sifat mekanik pada hasil pengelasan yang didapat.

REFERENSI

1. Joshi V, Balasubramanian, Krishnan, Prakash. R.V. Optimization of Friction Stir Welding Parameter for AA 5083 by Radiography and Ultrasonic Technique. IEEE Journal (2011).
2. J Hussain, Kandasamy, M. Manzoor, Rajashem S. Investigation on The Effect of Rolling Direction on The IMC Formed During Friction Stir Welding of AA 7075 Alloys. IUP Journal (2011).
3. P. Cavaliere. Friction Stir Welding of Al Alloys: Analysis of Processing Parameters Affecting Mechanical Behavior. Elsevier Journal (2013).
4. Morteza G, Sina K, B.M. Dariani, Kamran D. Evaluation of Dissimilar Welds of 5083-H112 and 6061-T6 Produced by Friction Stir Welding. ASM International Journal (2013).
5. Er. Rajiv, Er. Lokesh Mangla, Er. Ravinder C. Exeperimental Study of Friction Stir Welding of AA 6061 and AA 5083 Using Taguchi Technique. IJREAS Journal (2014)
6. M. Ilangovan, S. Rajendra B, V. Balasubramanian. Effect of Tool Pin Profile on Microstructure and Tensile Properties of Friction Stir Welded Dissimilar AA 6061 – AA 5086 Alumunium Alloy Joints. Elsevier Journal (2015).