

STUDI EKSPERIMENTAL *FRICTION STIR WELDING* ALUMINIUM 5083 DENGAN VARIASI KECEPATAN PUTARAN DAN KEMIRINGAN *TOOL*

Ivan Aji Kuntar, Mas Irfan P. Hidayat, Wikan Jatimurti
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: irfan@mat-eng.its.ac.id

Abstrak—Pengelasan merupakan teknik fabrikasi yang umum digunakan dalam sebuah konstruksi logam. Pada konstruksi kapal, material yang umum digunakan adalah aluminium paduan magnesium dengan seri penamaan aluminium alloy (AA) 5083. Paduan aluminium merupakan logam yang memiliki sifat weldability yang kurang baik sehingga dikembangkan metode yang baru yaitu *friction stir welding*. Pada penelitian ini digunakan paduan aluminium AA 5083 untuk dilakukan pengelasan *friction stir welding* secara *butt joint*. Parameter yang digunakan adalah kecepatan putaran *tool* 1115 & 1725 rpm dan sudut kemiringan *tool* 0° & 2°. Dari hasil yang diperoleh, ditemukan adanya cacat pengelasan berupa ketidaksempurnaan daerah adukan las. Peningkatan rpm dan penurunan kemiringan *tool* menghasilkan masukan panas yang semakin besar sehingga mempengaruhi struktur mikro dengan munculnya Mg₂Si. Distribusi kekerasan menunjukkan nilai kekerasan yang semakin menurun dari daerah base metal ke nugget zone. Namun nilai penurunannya tidak signifikan karena sifat aluminium 5083 yang tidak dapat diperlakukan panas.

Kata Kunci : *fsw*, rpm, sudut kemiringan, sifat mekanik

I. PENDAHULUAN

Pada era industrialisasi, perkembangan teknologi pengelasan berkembang pesat. Teknik ini telah banyak diaplikasikan di berbagai industri manufaktur seperti bidang penerbangan, otomotif, konstruksi dan masih banyak lagi. Hasil dari lasan dinilai lebih ringan dibandingkan teknik penyambungan lainnya. Proses penyambungannya pun lebih cepat dikarenakan tidak perlu membuat lubang terlebih dahulu seperti pada teknik penyambungan menggunakan paku keling (*rivet joints*) atau baut, sehingga biaya produksi dapat berkurang. Dari beberapa kelebihan tersebut, penelitian mengenai teknik pengelasan banyak dilakukan untuk mendapatkan sifat mekanis sambungan yang sesuai dengan kebutuhan pada suatu konstruksi serta dapat juga diaplikasikan dengan baik termasuk pada logam yang dirasa cukup sulit dilas, seperti aluminium [1-3].

Pengelasan secara konvensional diartikan sebagai proses penyambungan dua logam dan atau paduan-paduan logam dengan cara memanasi baik di atas batas cairnya atau di

bawah batas cair tersebut, disertai dengan tekanan/tanpa tekanan ditambah dengan logam pengisi atau tanpa logam pengisi [4].

Pengelasan pada aluminium secara umum menggunakan metode *fusion welding* yaitu GMAW dan GTAW yang pada hasil dari pengelasan dengan metode tersebut masih kerap ditemukan adanya *defect* pada daerah lasan. Cacat las yang sering terjadi diantaranya berupa porositas dan retakan [5]. Selain itu, dampak yang dihasilkan dari proses pengelasan dengan metode GTAW dan GMAW terhadap kesehatan juga kurang baik karena dibutuhkannya *shielding gas*. Dan secara metalurgi, adanya *filler* yang digunakan sangat memungkinkan perubahan komposisi kimia yang berpengaruh pada sifat mekaniknya.

Untuk mengatasi adanya hal tersebut, dikembangkan sebuah proses pengelasan yaitu pengelasan pada kondisi padat atau *solid state welding*. Pada tahun 1991, TWI menemukan sebuah metode pengelasan yang dinamakan *Friction Stir Welding* [6]. Di mana pada pengelasan ini, material yang akan dilas tidak benar-benar mencair dan masih dalam keadaan solid.

Pada penelitian tugas akhir ini, proses *friction stir welding* dilakukan dengan memvariasikan kecepatan *tool* berputar dan sudut yang diberikan pada *tool*. Dua variabel ini sangatlah penting karena mempengaruhi panas yang dihasilkan dan kualitas hasil lasan nantinya. Pemeriksaan yang dilakukan adalah secara visual, struktur makro dan mikro, xrd serta nilai kekerasan dari plat aluminium yang telah dilakukan proses *friction stir welding*.

II. METODE PENELITIAN

Aluminium yang digunakan pada penelitian ini adalah paduan aluminium seri 5083 H116 berbentuk plat dengan komposisi kimia seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia AA 5083 [7]

Unsur	Al	Cr	Cu	Fe	Mg
Wt %	92-95	0,05-0,25	<0,1	<0,4	4-5
Unsur	Mn	Si	Ti	Zn	
Wt %	0,4-1	<0,4	<0,15	<0,25	

Baja yang digunakan sebagai *tool* pada penelitian *friction stir welding* adalah baja tipe HSS Co8. Material

jenis tersebut mampu digunakan pada proses berkecepatan tinggi dan sifat mekaniknya baik dalam temperatur yang tinggi. Dalam pembentukannya digunakan mesin bubut untuk mencapai dimensi yang diharapkan. Material yang akan dilas adalah aluminium seri 5083 dalam bentuk berupa plat. Plat yang masih berukuran besar kemudian dipotong dengan ukuran 100 x 100 x 6 mm sebanyak 8 buah menggunakan *cutting tool*. Untuk meratakan permukaan spesimen digunakan gerinda tangan agar selama proses pengelasan berjalan dengan baik. Pengelasan dalam keadaan solid secara *friction stir welding* dilakukan secara *butt joint*. Pada penelitian ini digunakan dua parameter yaitu kecepatan putaran *tool* (RPM) dan kecepatan las. Permukaan dari dua plat yang akan dilas harus dihaluskan terlebih dahulu dengan menggunakan mesin frais. Kemudian, dua plat tersebut diletakkan di *backing plate* secara rapat. *Tool* yang akan digunakan untuk mengelas diletakkan tepat di atas dua plat dan posisinya berada di awal titik pengelasan. Kemudian *tool* tersebut berputar dan penetrasi di antara dua plat hingga *shoulder* dari *tool* menyentuh plat. Selanjutnya *tool* bergerak maju searah *weld joint* hingga di titik akhir pengelasan dan *tool* yang masih berputar diangkat kembali. Proses pengelasan diulangi pada material yang baru dengan parameter yang berbeda. Hasil plat yang telah dilas kemudian dipotong melintang dan diratakan dengan kikir dan amplas untuk dilakukan makro etsa menggunakan larutan HF dan selanjutnya pengamatan secara mikro dan pengujian XRD. Setelah itu, dilakukan uji kekerasan pada tiap daerah hasil lasan untuk mengetahui distribusi kekerasan yang dihasilkan.



Gambar 1. Dimensi Tool yang Digunakan

III. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengamatan Visual

Dari hasil pengelasan *friction stir welding* yang dilaksanakan maka didapatkan hasil pengamatan tampak permukaan atas sebagai berikut.



Gambar 2. Hasil Tampak Atas Pengelasan dengan RPM 1115 dan sudut 0°



Gambar 3. Hasil Tampak Atas Pengelasan dengan RPM 1115 dan sudut 2°



Gambar 4. Hasil Tampak Atas Pengelasan dengan RPM 1725 dan sudut 0°

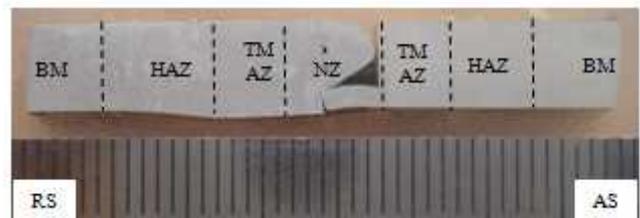


Gambar 5. Hasil Tampak Atas Pengelasan dengan RPM 1725 dan sudut 2°

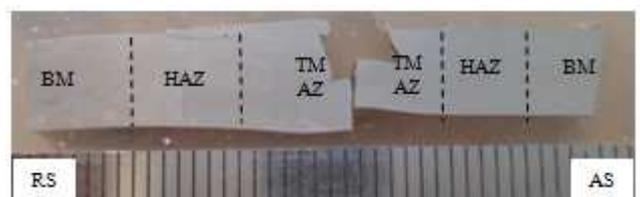
Hasil pengelasan dengan metode *friction stir welding* menghasilkan penampakan atas yang berbeda karena pengaruh kecepatan putaran dan sudut yang diberikan selama proses pengelasan berlangsung sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2, 3, 4 dan 5. Pada semua parameter pengelasan menunjukkan ketidaksempurnaan *fusion* pada daerah adukan las yang tidak teraduk secara sempurna untuk membentuk *joining* yang terlihat jelas pada gambar 4.2 di mana daerah lasannya tidak terbentuk. Hal ini dikarenakan hasil adukan yang seharusnya membentuk *joining* justru melebur dan teraduk ke atas dan keluar di permukaan bidang plat yang dilas.

B. Hasil Pengamatan Makro

Dari hasil pengelasan *friction stir welding* yang dilaksanakan berdasarkan parameter yang telah ditentukan, didapatkan hasil pengamatan makro sebagai berikut



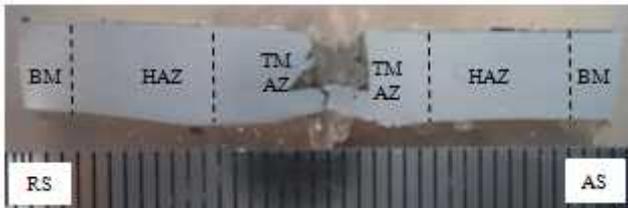
Gambar 6. Struktur Makro Pengelasan dengan RPM 1115 dan sudut 0°



Gambar 7. Struktur Makro Pengelasan dengan RPM 1115 dan sudut 2°



Gambar 8. Struktur Makro Pengelasan dengan RPM 1725 dan sudut 0°

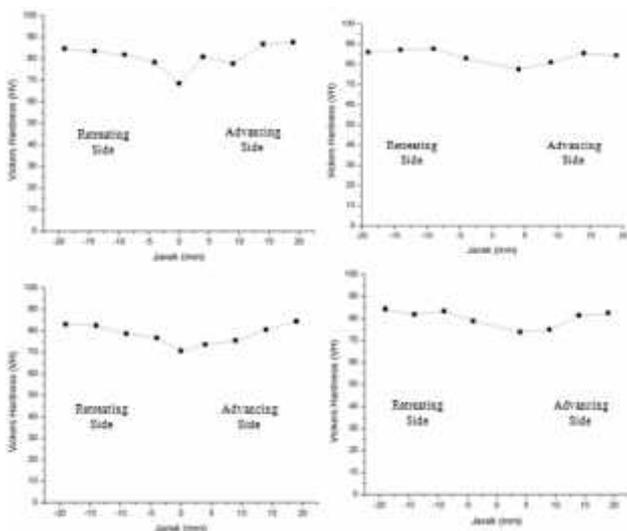


Gambar 9. Struktur Makro Pengelasan dengan RPM 1725 dan sudut 2°

Dari pengamatan struktur makro terlihat bahwa daerah adukan terlihat tidak terwujud secara sempurna. Hanya pada parameter dengan sudut 0° pada gambar 4.9 dan 4.11 ditemukan hasil adukan meskipun sedikit dan pada parameter dengan sudut 2° daerah adukan justru tidak terwujud seperti pada gambar 4.10 dan 4.12. Selain itu pula, terlihat jelas bahwa sambungan las dengan metode *friction stir welding* ini tidak tersambung sempurna. Pada pembagian zona-zona yang dihasilkan, hanya pada gambar 4.9 yang terlihat jelas perbedaan zona perbedaannya dibandingkan parameter lain. Sehingga pembagiannya dibantu melalui pengamatan struktur mikro yang telah dilakukan. Daerah TMAZ dan HAZ pada rpm 1725 terlihat lebih luas dibandingkan dengan rpm 1115 yang disebabkan oleh masukan panas yang lebih tinggi pada rpm 1725. Sedangkan pemberian sudut akan menurunkan panas sehingga daerah TMAZ dan HAZ tidak seluas dengan parameter yang tanpa sudut.

C. Hasil Pengujian Kekerasan

Berikut adalah hasil pengujian kekerasan pada hasil pengelasan dengan metode *friction stir welding* dalam gambar 10.

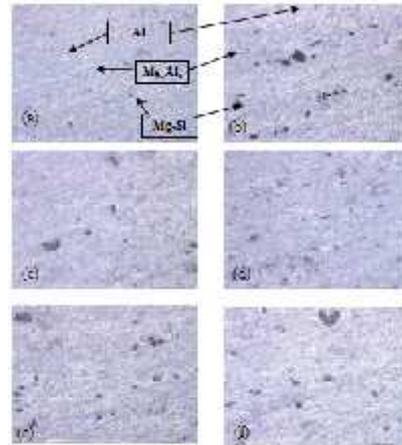


Gambar 10. Grafik Distribusi Kekerasan dengan Parameter (a) 1115 rpm dan 0° (b) 1115 rpm dan 2° (c) 1725 rpm dan 0° (d) 1725 rpm dan 2°

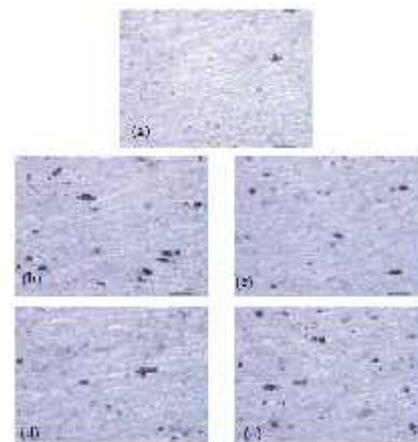
Dari pengamatan distribusi nilai kekerasan dapat dilihat bahwa kekerasan tertinggi ditemukan pada daerah base metal yang jaraknya paling jauh dari zona las. Kemudian nilainya menurun seiring jarak yang mendekati *weld nugget*, di mana pada daerah *weld nugget* adalah daerah dengan nilai kekerasan yang paling rendah.

D. Hasil Pengamatan Struktur Mikro

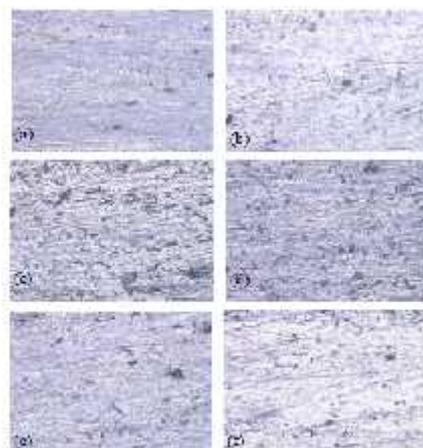
Dari hasil pengamatan metalografi, maka didapatkan struktur mikro pada daerah BM, HAZ, TMAZ dan NZ, di mana tampak penyusun material yaitu Al berpamatriksputih dan Mg_2Al_3 berwarna matriksbiru serta munculnya Mg_2Si (butiran hitam) akibat proses pengelasan. Berikut adalah struktur mikro hasil pengelasan *friction stir welding*.



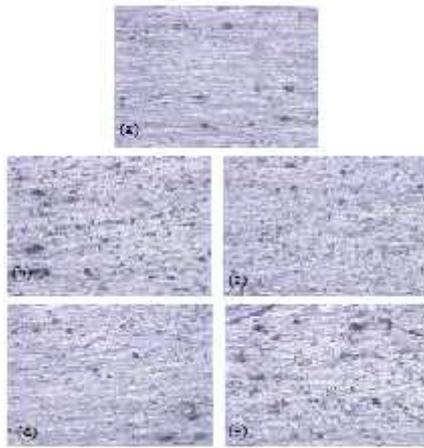
Gambar 11. Struktur Mikro pada parameter pengelasan 1115 rpm dan 0° pada daerah (a) base metal (b) NZ (c) HAZ sisi RS (d) HAZ sisi AS (e) TMAZ sisi RS (f) TMAZ sisi AS



Gambar 12. Struktur Mikro pada parameter pengelasan 1115 rpm dan 2° pada daerah (a) base metal (b) HAZ sisi RS (c) HAZ sisi AS (d) TMAZ sisi RS (e) TMAZ sisi AS



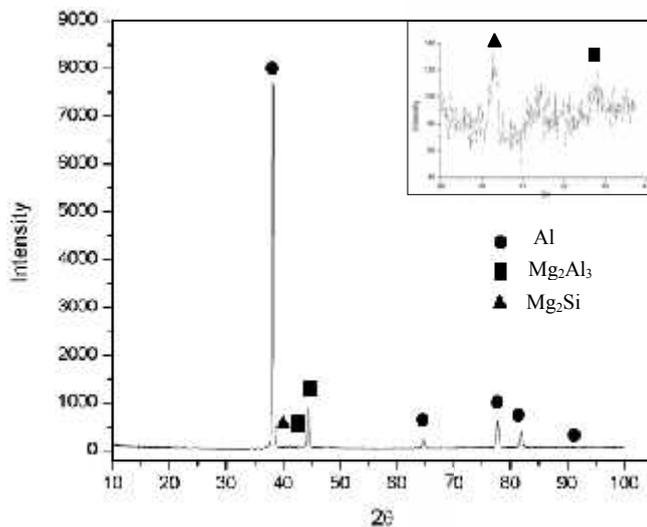
Gambar 13. Struktur Mikro pada parameter pengelasan 1725 rpm dan 0° pada daerah (a) base metal (b) NZ (c) HAZ sisi RS (d) HAZ sisi AS (e) TMAZ sisi RS (f) TMAZ sisi AS



Gambar 14. Struktur Mikro pada parameter pengelasan 1725 rpm dan 2° pada daerah (a) base metal (b) HAZ sisi RS (c) HAZ sisi AS (d) TMAZ sisi RS (e) TMAZ sisi AS

E. Hasil Pengamatan Pola XRD

Berikut adalah pola dari XRD dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 15. Pola XRD Hasil *Friction Stir Welding* Pada Parameter 1115 rpm dan 2° . Inset 2θ dari 39,03 – 43,73 yang menunjukkan Mg_2Si .

Analisis pola XRD menunjukkan adanya 9 puncak. Puncak-puncak yang berada pada peak 38.15, 64.67, 77.60, 77.80, 81.86, 98.28 yang menunjukkan Al sesuai dengan ICDD 00-003-0932. Sedangkan pada peak 42.82, 44.39 menunjukkan keberadaan Mg_2Al_3 yang sesuai dengan ICDD 00-001-1132 dan peak 40.25 yaitu Mg_2Si sesuai ICDD 01-074-6835. Hal ini membuktikan bahwa penyusutan dari aluminium 5083 adalah Al dan Mg_2Al_3 sesuai dengan diagram fase Al-Mg. Sedangkan munculnya Mg_2Si diakibatkan dari panas yang ditimbulkan selama proses pengelasan berlangsung.

F. Pembahasan

Pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kecepatan putaran dan kemiringan *tool* dalam proses *friction stir welding* terhadap struktur mikro dan nilai kekerasan pada material aluminium 5083 serta mekanisme pembentukan lasan dengan metode *friction stir welding*.

Proses *friction stir welding* dilakukan dengan variasi parameter kecepatan putaran *tool* 1115 dan 1725

rpm, sudut kemiringan *tool* 0° dan 2° sedangkan parameter tetapnya adalah *welding speed* 1 mm/s atau 60mm/min dan *dwell time* 30s. Untuk *tool* yang digunakan memiliki dimensi diameter pin 6mm dengan panjang 5,8 mm dan diameter *shoulder* 16mm dengan panjang 15mm.

Pada pengamatan visual hasil pengelasan, proses *joining* tidak berlangsung sempurna dan hasil adukan tidak terbentuk dengan baik pada semua variasi pengelasan. Hasil adukan yang seharusnya ditempa oleh *shoulder* justru keluar ke permukaan hasil pengelasan. Hal ini terjadi karena material aluminium yang teraduk telah melebur menjadi liquid yang disebabkan tingginya temperature hasil gesekan *tool* dan plat yang melewati titik lebur pada $600^{\circ}C$. Temperatur pada pengelasan dengan metode *friction stir welding* seharusnya berada pada *range* 80-90% dari titik lebur suatu material sehingga dapat dilakukan proses *joining* dalam keadaan padat [8]. Bahkan pada parameter 1115 rpm dengan sudut 2° yang ditunjukkan pada gambar 3, daerah adukan tidak tercipta karena tidak mempunya *tool* untuk penetrasi ke dalam plat secara penuh akibat dari kurangnya daya mesin milling yang digunakan. Kemudian, untuk pengamatan pada *exit hole* yang ada di ujung akhir *friction stir welding*, lubang terbentuk sempurna pada parameter 1115 rpm dan 0° . Sedangkan pada parameter lainnya, lubang tidak terbentuk secara sempurna karena tingginya temperatur yang dihasilkan dan menunjukkan bahwa parameter yang digunakan kurang tepat. Untuk pengamatan visual yang tampak bawah, sudah tampak menyatu dan tertutup rapat. Dan pada bagian awal pengelasan, tampak adanya bekas penetrasi dari *tool* yang diakibatkan oleh temperatur yang terlalu tinggi dan *dwell time* yang cukup lama.

Pada pengamatan struktur makro, maka dapat diketahui penampang melintang hasil pengelasan berupa kemungkinan cacat yang ditemukan. Pada pengelasan dengan parameter 1115 rpm dan 0° , struktur makro menunjukkan adanya cacat *tunnel defect* pada *advancing side* dan *wormhole* di daerah adukan (*nugget zone*). Kemudian pada variasi 1115 rpm dengan sudut 2° , didapatkan bahwa daerah adukan tidak terbentuk karena adanya cacat berupa *incomplete penetration* sebagai akibat *tool* tidak mampu penetrasi ke plat yang akan dilas. Hal ini dikarenakan mesin milling yang berkerja tidak memiliki daya yang cukup untuk mengaduk plat saat *tool* diposisikan membentuk sudut. Sedangkan pada variasi 1725 rpm dan 0° , daerah adukan terbentuk meski tidak sempurna dan didapatkan *incomplete penetration*. Dan untuk parameter 1725 rpm dengan sudut 2° , daerah adukan terbentuk secara tidak sempurna dan adanya *incomplete penetration* karena temperatur yang dihasilkan terlalu tinggi sehingga daerah yang seharusnya teraduk membentuk *joining*, justru keluar ke permukaan plat yang dilas. Shrivastavamenyatakan bahwa *defect* dalam proses *friction stir welding* yang dihasilkan karena kombinasi yang kurang baik antara kecepatan putaran dan translasi *tool* dapat terjadi sepanjang daerah las (*defect* ini sering disebut sebagai *wormhole*). Karena *wormhole* ada di sepanjang daerah lasan, maka rasio volume cacat las adalah sama dengan rasio cacat daerah penampanglasan terhadap luasan penampang daerah hasil lasan. Sedangkan *void* sering diketemukan pada daerah pusat pengelasan hingga pada *advancing side* [9]. Liu mengamati proses pembentukan *tunneldefect* pada *friction stir welding*. Ia menjelaskan bahwa proses pembentukan *nugget zone* meliputi beberapa tahapan yaitu yang pertama

adalah PAZ (*Pin Affected Zone*), kemudian WBZ (*Weld Bottom Zone*) dan terakhir adalah SAZ (*Stir Affected Zone*). *Tunnel defect* sendiri terjadi pada kurangnya aliran material dari *retreating side* ke *advancing side* di PAZ (yang mungkin disebabkan oleh kecepatan las yang cepat atau kecepatan putaran yang lambat) yang merupakan penyebab utama. Penyebab lainnya adalah kurangnya perpindahan massa ke sisi bawah pada SAZ (yang mungkin disebabkan oleh pemberian gaya yang tidak tepat). Dan waktu di mana hal hal tersebut terjadilah yang menyebabkan terjadi pembentukan *tunnel defect* [10]. Chen melakukan penelitian tentang pembentukan *defect* pada proses *friction stir welding* pada aluminium paduan 5456 di daerah las *nugget zone* dengan variasi sudut kemiringan *tool*. Hasil pengamatannya menunjukkan bahwa parameter ini sangat penting untuk meraih hasil lasan yang bebas dari adanya *defect*. Kemiringan *tool* memiliki pengaruh terhadap panas yang dihasilkan terhadap material dan letak kemungkinan terjadinya *defect* pada daerah pengelasan. Pada sudut kemiringan yang rendah ($\alpha < 1,5^{\circ}$), material yang telah terdeformasi tidak dapat mengalir dengan baik dan hanya teraduk di area sekitar pin selama proses pengelasan. Sedangkan pada sudut kemiringan yang lebih besar ($\alpha > 4,5^{\circ}$), *weld flash* akan terbentuk pada *retreating side* dan ditemukan *defect* berupa *cavity* pada *nugget zone* [11]. Banyak peneliti menyatakan bahwa bentuk *nugget zone* ditentukan oleh parameter proses, geometri *tool*, temperatur bidang kerja dan konduktivitas termal material tersebut. Seluruh proses dalam *friction stir welding* tidak simetris antara *advancing side* dan *retreating side* karena masukan panas yang dihasilkan sedikit berbeda [12]. Su mengamati bahwa selama proses *friction stir welding* berlangsung akan menimbulkan gaya torsi *tool*, gaya translasi dan gaya aksial yang dihasilkan secara simultan dari gerakan *tool* yang berotasi dan linear terhadap bidang kerja. Dari hasil pengamatannya menunjukkan putaran *tool* yang semakin tinggi maka torsi pada *tool* justru menurun akan tetapi gaya translasi cenderung meningkat. Sedangkan gaya translasi sendiri berbanding lurus dengan peningkatan *welding speed* dan putaran rotasi, hal ini juga berlaku pengaruhnya pada gaya aksial [13].

Pada hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan dari tiap daerah zona hasil pengelasan dengan metode *friction stir welding* semakin menurun jika mendekati *nugget zone* di semua parameter pengelasan. Nilai kekerasan tertinggi ada di daerah base metal kemudian menurun ke daerah HAZ dan TMAZ. Namun penurunan nilai kekerasan yang terjadi tidaklah sangat signifikan. Khaled menjelaskan bahwa penurunan nilai kekerasan ini dikarenakan sifat material aluminium AA 5083 H116 yang telah mengalami *strain hardened temper* di mana adanya panas yang cukup tinggi akan membuat rekristalisasi di *nugget zone* akan menurunkan efek dari *cold work* [14].

Dan jika diamati nilai kekerasan terhadap parameter yang digunakan dalam penelitian ini, dapat dilihat bahwa tren peningkatan kecepatan putaran dan penurunan kemiringan *tool* menyebabkan nilai kekerasan cenderung berkurang karena *heat input* yang dihasilkan justru mengalami peningkatan [15]. Sehingga menghilangkan efek tempa yang telah diterima sebagaimana telah dijelaskan oleh Khaled sebelumnya

Pada pengamatan struktur mikro, hasil yang didapatkan adalah struktur mikro pada daerah *base metal*, *heat affecte zone*, *thermo mechanical affected zone* dan

nugget zone. Berdasarkan *Atlas Micro Structure of Aluminum*, paduan aluminium 5083 terdiri dari senyawa $(\text{FeMn})_3\text{SiAl}_{12}$ yang menyatu dengan matrik putih aluminium dan senyawa Mg_2Al_3 . Hal ini didukung oleh hasil pengujian XRD di mana matrik aluminium sangat dominan sehingga $(\text{FeMn})_3\text{SiAl}_{12}$ tidak terdeteksi karena intensitasnya yang sangat sedikit. Dari hasil pengamatan menunjukkan bahwa karena adanya panas pada proses pengelasan ini maka terbentuklah Mg_2Si pada bagian daerah pengelasan. Di mana Mg_2Si semakin meningkat menuju ke daerah pusat pengelasan di mana pembentukan Mg_2Si berbanding lurus dengan kenaikan temperatur. Jika dibandingkan antara *advancing side* dan *retreating side*, maka terlihat bahwa Mg_2Si akan lebih banyak ditemukan pada *advancing side*. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan temperatur di mana pada *advancing side* sedikit lebih tinggi dibandingkan *retreating side*. Semakin tinggi rpm yang digunakan juga meningkatkan panas yang dihasilkan sehingga struktur mikro pada rpm 1725 menghasilkan lebih banyak Mg_2Si dibandingkan dengan rpm 1115. Dan memperhatikan sudut kemiringan yang diberikan, pada sudut 2° melihatkan Mg_2Si yang cenderung lebih sedikit bila dibandingkan tanpa sudut. Ini disebabkan saat *tool* diberikan sudut dan dipenetrasi ke material, bidang sentuh untuk menghasilkan gesekan sebagai sumber panas tidak maksimal namun akan memberikan efek tempa yang lebih sehingga menghasilkan struktur mikro Mg_2Si yang lebih pipih sebagai efek tempa yang diberikan oleh *tool*.

Shi mengamati bahwa gerakan rotasi dan translasi secara simultan menciptakan distribusi temperatur yang asimetris di antara dua sisi material yang dilas yang menyebabkan akan terjadinya perbedaan struktur mikro dan sifat mekanik antara *advancing side* dan *retreating side*. Ketidaksimetrisan inilah yang merupakan karakteristik tersendiri dalam pengelasan dengan metode *friction stir welding*. Selama proses *friction stir welding* berlangsung, putaran torsi yang tinggi dan gaya tekan dibutuhkan untuk melunakkan material dan membentuk daerah lasan yang baik. Tegangan tinggi yang diberikan pada *tool* dapat menyebabkan kegagalan premature terhadap *tool* yang digunakan. Di samping itu, kecepatan tangensial yang tinggi yang pada *shoulder* yang bergesekan mungkin menyebabkan panas berlebih (*over heating*) atau *incipient melting* di sepanjang daerah pengelasan (*joint line*) yang mengarah pada degradasi sifat mekanik (kekuatan tarik), terutama pada paduan aluminium dengan pengerasan presipitasi [16].

Pada proses pemanasan membuat Mg larut dalam kristal Al yang berbentuk FCC. Kemudian saat proses pendinginan berlangsung, batas kelarutan Mg di dalam Al sendiri menurun dan sisa-sisa Mg ini akan ke luar dan selanjutnya berikatan dengan Si sehingga membentuk senyawa baru Mg_2Si . Oleh karena itu, daerah yang paling terkena panas tinggi akan memiliki senyawa Mg_2Si lebih banyak dan dalam struktur mikro tampak seperti butiran hitam [17].

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Peningkatan kecepatan putaran dan penurunan kemiringan *tool* menyebabkan sifat mekanik yang cenderung menurun dengan nilai kekerasan vickers terkecil sebesar 70,6 HV di *nugget zone* pada

variasi 1725 rpm dan 0° . Hal ini disebabkan karena munculnya Mg_2Si pada struktur mikro dan hilangnya efek tempa dari panas yang dihasilkan dalam proses *friction stir welding*.

2. *Friction stir welding* dilakukan dengan menggunakan panas dengan temperatur dibawah titik lebur logam yang akan dilas secara teraduk oleh *tool*. Pengaruh putaran dan kemiringan *tool* berperan penting dalam proses *friction stir welding* yang menentukan kualitas hasil lasan dan kemungkinan terjadinya *defect* berupa *tunnel defect*, *wormhole* ataupun *incomplete fusion/penetration*.

B. Saran

1. Diperlukan mesin yang memang digunakan untuk proses *friction stir welding* untuk hasil pengelasan yang lebih baik.
2. Perlu penambahan parameter yang lebih kompleks seperti *welding speed*, *dissimilar material* dan jenis *tool* yang digunakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua yang telah memberikan dukungan finansial dan motivasi sehingga penelitian ini selesai tepat pada waktunya. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada sejumlah pihak yang telah memberikan bantuan baik moril maupun materi sehingga penelitian ini bisa terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nurdiansyah, F. 2012. *Pengaruh RPM Terhadap Kualitas Sambungan dan Metalurgi Las pada Joint Line untuk Aluminium seri 5083 dengan Proses Friction Stir Welding*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [2] Gungor, B., Kaluc, E., Taban, E., Sik, A. 2013. *Mechanical, Fatigue and Microstructural Properties of Friction Stir Welded 5083-H111 and 6082-T651 Aluminum Alloys*. *Materials and Design* 56 (2014) 84-90
- [3] Rasyid, I.N., 2015. *Pengaruh Putaran Tool Terhadap Sifat Mekanis dan Korosi pada Sambungan Tak Sejenis Las FSW AA6061-T6 dan AA5083*. Universitas Gajah Mada Yogyakarta
- [4] Musaikan. 2002. *Teknik Las*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [5] Leonard, A.J., Lockyer, S.A. 2003. *Flaws In friction Stir Welds*. United Kingdom
- [6] Thomas, W.M., Nicholas, E.D., Needham, J.C., Murch, M.G., Temple-Smith, P., Dawes, C.J., 1991. *Friction Stir Butt Welding*. GB Patent No 9125978.8, International Patent Application No. PCT/GB92/02203
- [7] _____, 1990. *ASM Handbook Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. ASM International Handbook Committee.
- [8] Rajamanickam, N., Balusamy, V. 2007. *Numerical Simulation of Transient Temperature in Friction Stir Welding of Aluminum Alloy 2014 T6*. *Journal of Manufacturing Engineering*, Vol.2, pp. 41-44
- [9] Shrivastava, A., Dingler, C., Zinn, M., Pfefferkorn, F.E. 2015. *Physics-based Interpretation of Tool-workpiece Interface Temperature Signals for Detection Defect Formation During Friction Stir Welding*. *Journal of Manufacturing Letters* 5 (2015) 7-11
- [10] Liu, X.C., Wu, C.S. 2015. *Elimination of Tunnel Defect in Ultrasonic Vibration Enhanced Friction Stir Welding*. *Journal of Materials and Design* 90 (2006) 350-358
- [11] Chen, H.B., Yan, K., Lin, T., Chen, S.B., Jiang, C.Y., Zhao, Z. 2006. *The Investigation of Typical Welding Defects for 5456 Aluminum Alloy Friction Stir Welds*. *Journal of Materials Science and Engineering A* 433 (2006) 64-69
- [12] Gan, W.Y., Zhou, Z., Zhang, H., Peng, T. 2013. *Evolution of Microstructure and Hardness of Aluminum after Friction Stir Processing*. *Journal of Transaction of Nonferrous Metals Society of China* 24 (2014) 975-981
- [13] Su, H., Wu, C.S., Pittner, A., Rethmeier, M. 2013. *Simultaneous Measurement of Tool Torque, Traverse Force and Axial Force in Friction Stir Welding*. *Journal of Manufacturing Processes* 15 495-500
- [14] Khaled, T. 2005. *An Outsider Looks At Friction Stir Welding*. California: Report ANM-112N-05-06
- [15] _____, ASM International, 2007. *Friction Stir Welding and Processing*. American Society of Material, Ohio
- [16] Shi, L., Wu, C.S., Liu, H.J. 2015. *The Effect of The Welding Parameters and Tool Size on The Thermal Process and Tool Torque in Reverse Dual-Rotation Friction Stir Welding*. *International Journal of Machine Tools and Manufactur* 91 (2015) 1-11
- [17] Tranggono, Aryo Cahyo.2011. *Analisis Pengaruh Pengelasan Aluminium 5083 Dengan Metode Gas Metal Arc Welding Terhadap Sifat Mekanik, Struktur Mikro dan Ketahanan Korosinya*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember