

Effect of Tool Tilt Angle on the Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Welded Aluminum AA5083

Wisnu Wijayanto¹, Kuncoro Diharjo² dan Triyono^{2,*}

¹Akademi Teknik Mesin Industri (ATMI) Surakarta

²Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta

*Corresponding author: triyonomesin@uns.ac.id

Abstract The aim of this research is to study the effect of welding tool tilt angle in friction stir welding (FSW) process on the mechanical properties and micro structural of weld joint on aluminium sheet 5083. FSW process used milling machine and the welding tool material was Bohler K100 with hardness of 59HRC. The welding process had spindle rotation of 1125 rpm, welding rate of 30mm/minute, and plunge depth of 3,9 mm. The welding tool tilt angles were varied in 1°, 2°, 3° and 4°. The specimens were tested for tensile test, bending test, hardness test, macro and micro photograph. The results showed that the highest tensile strength (312.5MPa) occurs on the tool tilt angle of 3°. The highest buckling strength for face bending (655.1MPa) and root bending (651.8MPa) occurs on the tool tilt angle of 2°. The retreating side on average has a higher hardness than the advancing side. Until tool tilt angle until 3°, the tensile strength increases and after that the tensile strength decreases. However, the buckling strength has the highest value at the tilt angle 2°. Based on the micro structure analysis, the higher value of tool tilt angle, the bigger grain size in HAZ. Unfortunately, the tilt angle does not influence to grain size in nugget area.

Abstrak Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh sudut kemiringan *tool* pada proses *friction stir welding* (FSW) terhadap sifat mekanik dan struktur mikro sambungan las aluminium AA5083. Proses FSW menggunakan mesin milling dan material tool adalah Bohler K100 dengan kekerasan 59HRC. Proses pengelasan dilakukan dengan rotasi spindle 1125 rpm, laju pengelasan 30mm/menit, dan *depth of plunge* 3,9 mm. Sudut tool divariasikan 1°, 2°, 3° dan 4°. Uji tarik, uji bending, uji kekerasan, foto makro dan mikro dilakukan pada hasil las. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi (312.5MPa) terjadi pada sudut kemiringan alat 3°. Kekuatan tekuk tertinggi untuk *face bend* (655.1MPa) dan *root bend* (651.8MPa) terjadi pada sudut kemiringan tool 2°. *Retreating side* rata-rata memiliki kekerasan yang lebih tinggi daripada *advancing side*. Sampai sudut kemiringan tool hingga 3°, kekuatan tarik meningkat dan setelah itu kekuatan tarik menurun. Namun, kekuatan tekuk memiliki nilai tertinggi pada sudut kemiringan 2°. Berdasarkan analisis struktur mikro, semakin tinggi nilai sudut kemiringan alat, semakin besar ukuran butir dalam HAZ. Sayangnya, sudut kemiringan tidak mempengaruhi ukuran butir di area nugget..

Keywords: tool tilt angle, friction stir weld, tensile strength, bending, microstructure

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Friction Stir Welding (FSW) adalah salah satu metode pengelasan dengan memanfaatkan panas yang timbul akibat gesekan antara putaran *tool* dengan benda kerja. FSW banyak diaplikasikan untuk menyambung material aluminium dan salah satunya adalah *aluminium alloy 5083* (AA5083).

Pengelasan FSW ditemukan oleh Wayne Thomas dari *The Welding Institute* dan dipatenkan di United Kingdom pada bulan Desember 1991 (Mishra, dkk, 2005). Panas yang terjadi ini dipengaruhi oleh faktor geometri tool dan parameter proses pengelasan yaitu: putaran tool, kecepatan pengelasan, *tool tilt angle* dan kedalaman pembenaman tool (Chien, dkk, 2009).

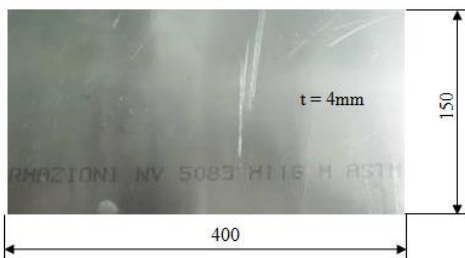
Zhang, dkk (2009) menyebutkan bahwa semakin besar diameter *shoulder* akan menghasilkan temperatur yang semakin tinggi. Pada saat proses rekristalisasi, temperatur yang terjadi menjadi faktor utama tumbuhnya butir di sekitar *welding line*, sedangkan di batas luar *stirring zone* lebih didominasi akibat adanya deformasi material. Parida, dkk (2011) didalam penelitiannya menyebutkan bahwa hasil pengelasan mempunyai kekuatan tarik yang lebih baik daripada material induk dan di daerah HAZ memiliki kekerasan yang lebih rendah dibandingkan material induk.

Parameter pengelasan FSW yang tepat dapat meningkatkan kekuatan sambungan dan meminimalisir terjadinya cacat. Salah satu parameter tersebut adalah *tool tilt angle*. Data

tentang pengaruh kemiringan *tool* terhadap hasil sambungan pengelasan FSW material aluminium masih terbatas sehingga sangat penting untuk melakukan penelitian dengan variasi sudut kemiringan *tool*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kesimpulan mengenai pengaruh *tool tilt angle* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro material aluminium AA5083.

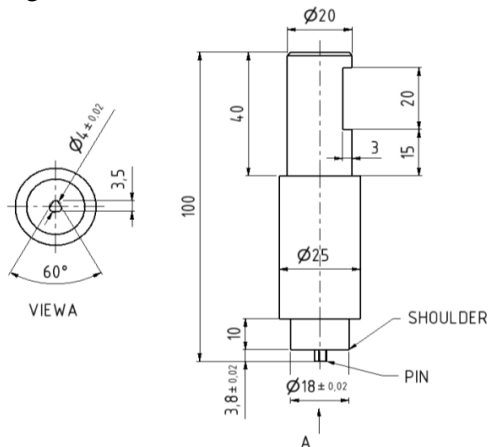
Metode Penelitian

Pengelasan menggunakan mesin milling merk Mikron WF 3SA dan bahan yang dilas adalah aluminium alloy 5083 H116 tebal 4mm dengan ukuran 150x400 mm seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Base metal

Material *tool* adalah baja Bohler K100 yang dikeraskan 59HRC dengan geometri *tool* seperti pada gambar 2.



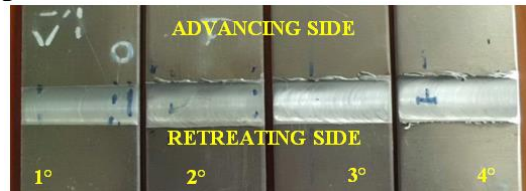
Gambar 2. Tool FSSW

Proses pengelasan dilakukan dengan rotasi spindle 1125 rpm, laju pengelasan 30mm/menit, dan *depth of plunge* 3,9 mm. Sudut *tool* divariasi 1°, 2°, 3° dan 4°. Uji tarik, uji bending, uji kekerasan, foto makro dan mikro dilakukan pada hasil las.

Hasil dan Pembahasan

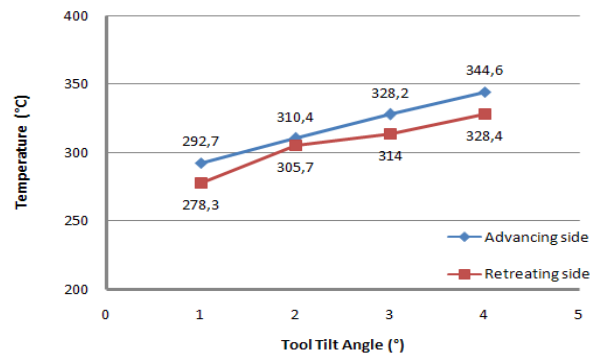
Perbandingan hasil pengelasan untuk masing-masing *tool tilt angle* tampak pada gambar 3. Gambar menunjukkan bahwa semakin besar *tool tilt angle* maka *weld flash* yang terbentuk juga semakin banyak. Dengan *tilt angle* yang semakin

besar akan mengakibatkan ujung dari *tool shoulder* yang menekan ke benda kerja akan semakin dalam sehingga material yang terdorong keluar pada saat proses pengelasan juga akan semakin banyak. Selain itu, dengan *tilt angle* yang semakin besar juga menyebabkan penekanan bidang *tool* terhadap permukaan material semakin besar sehingga akan menghasilkan gesekan yang semakin tinggi yang pada akhirnya panas yang terbentuk juga semakin tinggi.



Gambar 3. Hasil pengelasan FSW

Hasil pengujian menunjukkan data temperatur pengelasan seperti ditunjukkan pada gambar 4. Semakin tinggi *tool tilt angle* menghasilkan temperatur pengelasan yang lebih tinggi.



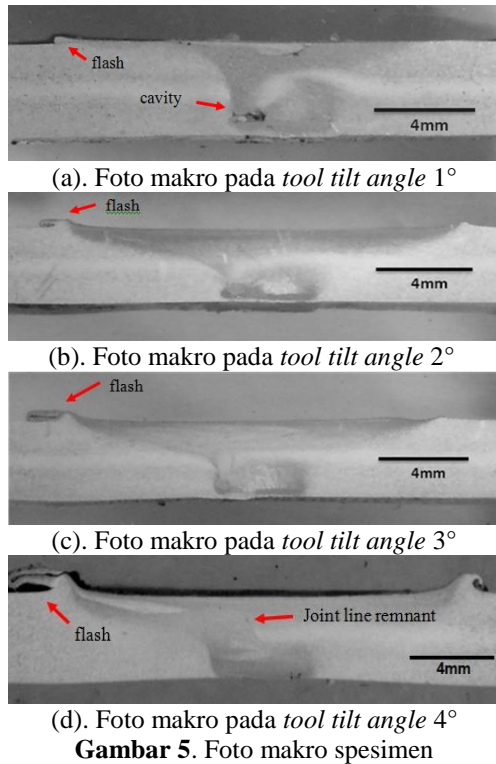
Gambar 4. Hubungan antara sudut kemiringan *tool* dan temperatur pengelasan

Grafik hubungan temperatur pengelasan dan sudut kemiringan *tool* menunjukkan temperatur pada bagian *advancing side* cenderung lebih tinggi daripada bagian *retreating side*. Hal ini dikarenakan gesekan yang terjadi pada *advancing side* lebih tinggi daripada *retreating side*.

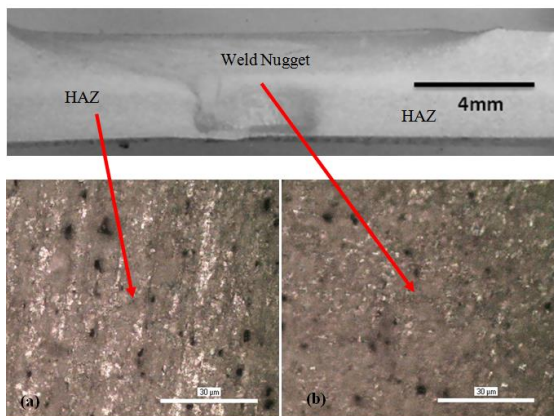
Hasil foto makro spesimen untuk setiap variasi *tool tilt angle* ditunjukkan pada gambar 5. Foto makro pada *tool tilt angle* 1° terdapat cacat las berupa rongga di sepanjang *weld joint* akibat input panas kurang dan pada *tool tilt angle* 4° juga terdapat cacat berupa *joint line remnant*. Keempat variasi terdapat cacat *weld flash* pada sisi luar *tool shoulder*. Semakin besar *tool tilt angle* maka *flash* yang terjadi semakin banyak dan pada bagian *advancing side* lebih banyak daripada bagian *retreating side*.

Struktur mikro pada daerah *weld zone* mempunyai bentuk dan ukuran yang berbeda dengan *base metal*. Pada daerah HAZ (Gambar.

6a), butir mengalami *grain growth* akibat temperatur pengelasan yang diterimanya tetapi tidak berubah orientasinya karena bagian ini tidak terdeformasi. Pada daerah *weld nugget* (Gambar. 6b), butir berubah bentuk menjadi *fine equiaxed* yaitu mempunyai besar yang sama. Ukuran butir menjadi halus dan rapat karena dideformasi oleh adukan *tool*.



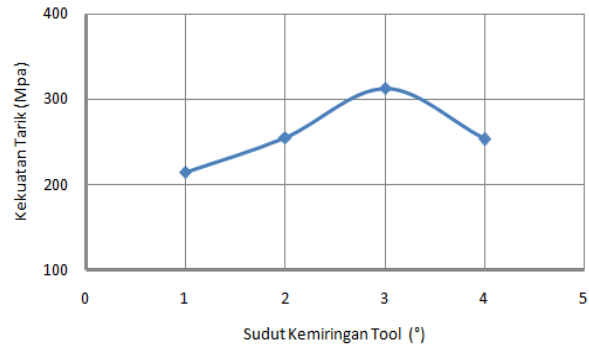
Gambar 5. Foto makro spesimen



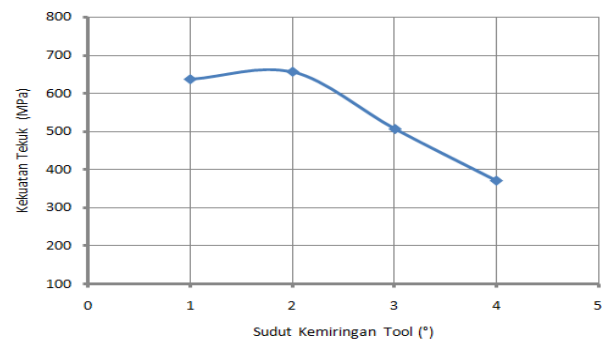
Gambar 6. Foto struktur mikro

Kekuatan tarik untuk setiap sudut kemiringan *tool* dapat dilihat pada Gambar 7. Hasil pengujian menunjukkan kekuatan tarik pada *tool tilt angle* 1° sampai 3° mengalami peningkatan yaitu dari 214,5MPa menjadi 312,5MPa, tetapi pada *tool tilt angle* 4° mengalami penurunan menjadi 252,5MPa. Hal ini dipengaruhi oleh struktur mikro maupun cacat las yang terdapat pada sambungan las. Pada *tool tilt*

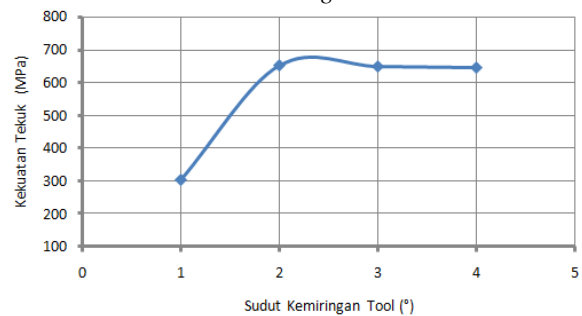
angle 1° terdapat cacat las sehingga menyebabkan kekuatan tariknya rendah, sedangkan untuk pengelasan dengan *tool tilt angle* 2° dan 3° dipengaruhi oleh ukuran butir di daerah *nugget*. Untuk kekuatan tarik pada *tool tilt angle* 4° terlihat mengalami penurunan akibat adanya cacat las berupa *joint line remnant*.



Gambar 7. *Tool tilt angle* vs kekuatan tarik



Gambar 8. *Tool tilt angle* vs kekuatan tekuk uji *face bending*

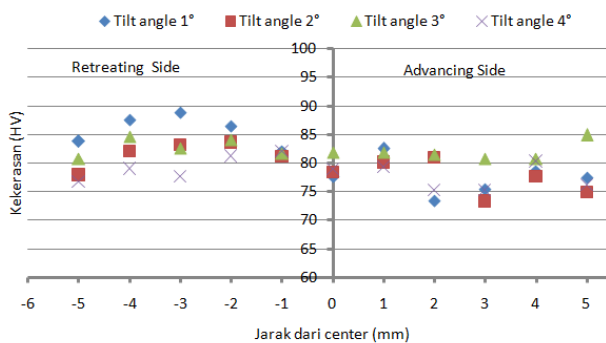


Gambar 9. *Tool tilt angle* vs kekuatan tekuk uji *root bending*

Kekuatan face bending untuk setiap sudut kemiringan *tool* dapat dilihat pada Gambar 8. Kekuatan *face bending* pada *tool tilt angle* 1° dan 2° relatif sama. Setelah itu dari *tool tilt angle* 2° sampai ke 4° mengalami penurunan. Kekuatan tekuk uji *face bending* dipengaruhi oleh *residual stress* yang dihasilkan pada saat proses FSW karena dengan adanya *residual stress* tersebut akan mengurangi kekuatan dari material tersebut. *Residual stress* tertinggi pada bagian atas *nugget* dan semakin ke bawah nilainya akan semakin turun.

Kekuatan root bending untuk setiap sudut kemiringan *tool* dapat dilihat pada Gambar 9. Kekuatan bending

pada *tool tilt angle* 2°, 3° dan 4° relatif sama, tetapi pada *tool tilt angle* 1° mempunyai perbedaan yang cukup signifikan. Hal ini terjadi karena pada variasi *tool tilt angle* 1° terdapat cacat memanjang searah *joint line* sehingga menurunkan kekuatannya. Kedalaman celah tergantung dari kedalaman pembenaman *tool* pada saat proses FSW. Semakin dalam pembenaman *tool*, maka celah yang terbentuk akan semakin sedikit tetapi juga akan beresiko *pin tool* bisa patah akibat bertabrakan dengan *backing plate*.



Gambar 10. Grafik hubungan nilai kekerasan dan posisi titik uji

Gambar 10 menunjukkan nilai kekerasan pada setiap titik uji mempunyai nilai yang hampir sama, tetapi pada bagian *retreating side* cenderung lebih tinggi bila dibandingkan dengan bagian *advancing side*. Pada proses FSW, arah aliran material berupa *asymmetric streamlines* karena adanya pengaruh dari putaran *tool*. Saat proses pengelasan material terdeformasi ke arah *retreating side* sehingga cenderung terjadi penekanan material pada sisi ini. Hal inilah yang menyebabkan kekerasan daerah *retreating side* lebih tinggi dari *advancing side*.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan antara lain :

- Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi terjadi pada *tool tilt angle* 3°, yaitu sebesar 312,5MPa. Uji *face bending*, nilai tertinggi terjadi pada *tool tilt angle* 2° yaitu 655,1MPa; sedangkan pada uji *root bending* nilai tertinggi pada *tool tilt angle* 2° yaitu 651,8MPa. Untuk uji *micro vickers*, daerah *retreating side* mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah *advancing side*. Sudut kemiringan *tool* sampai batas 3° meningkatkan kekuatan tarik dan di atas sudut tersebut membuat kekuatan tarik menurun, sedangkan nilai kekuatan tekuk optimal terjadi pada sudut 2°.
- Hasil pengamatan menunjukkan bahwa sudut kemiringan *tool* pada proses pengelasan mempengaruhi struktur mikro. Hasil foto pada

daerah *base metal*, HAZ dan *nugget* menghasilkan tampilan yang berbeda. Struktur mikro pada daerah HAZ mengalami *grain growth* akibat temperatur pengelasan yang diterima, sedangkan pada *nugget* menunjukkan tampilan struktur mikro yang lebih kecil dan rapat. Sudut kemiringan *tool* tidak terlalu berpengaruh terhadap struktur mikro di daerah *nugget* tetapi lebih dipengaruhi oleh adanya deformasi material akibat adukan *tool*.

Referensi

- American Welding Society, *Structural Welding Code-Aluminium*, AWS D1.2/D1.2M: 2008.
- Chien, C., Lin, W., Chen, T., 2011, *Optimal FSW process parameters for aluminum alloys AA5083*, Journal of the Chinese Institute of Engineers Vol. 34, No. 1: 99–105.
- Fujii, H., Cui, L., Maedadkk, M., 2006, *Effect Of Tool Shape On Mechanical Properties and Microstructure Of Friction Stir Welded Alluminium Alloys*, Materials Science and Engineering A 419: 25–31.
- Kima, Y.G, Fujii, H., Tsumura T., Komazaki T., Nakata, K., 2006, *Three defect types in friction stir welding of aluminum die casting alloy*, Materials Science and Engineering A 415: 250–254.
- Mathers, G., 2002, *The Welding of Aluminium and Its Alloys*, Woodhead Publishing Limited. ISBN 1-85573-567-9.
- Mishra, R.S., Ma, Y.z, 2005, *Friction Stir Welding And Processing Materials Science and Engineering*, R 50: 1–78.
- Neto, D.M., Neto, P., 2013, *Numerical modeling of the friction stir welding process: a literature review*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 65, Issue 1-4, pp 115-126
- Parida, B., Pal, S., Biswas, P., Mohapatra, MM., Tikader, S., 2011, *Mechanical and Micro-structural Study of Friction Stir Welding of Al-alloy*, International Journal of Applied Research In Mechanical Engineering, ISSN: 2231 –5950 Volume-1, Issue-2.
- Rajakumar, S., Balasubramanian, V., 2012, *Correlation between weld nugget grain size, weld nugget hardness and tensile strength of friction stir welded commercial grade aluminium alloy joints*, Materials and Design 34: 242–251.

- [10] Sutton, M. A., Reynolds, A. P., Wang, D. -Q., Hubbard, C. R., 2002, *A Study of Residual Stresses and Microstructure in 2024-T3 Aluminum Friction Stir Butt Welds*, Journal of Engineering Materials and Technology, Vol. 124:215-221.
- [11] Zhang, Z., Liu, Y.L., Chen, J.T., 2009, *Effect of shoulder size on the temperature rise and the material deformation in friction stir welding*, Int J Adv Manuf Technol 45:889–895.