

# Pengaruh Sudut Kemiringan Tool Friction Stir Welding terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Sambungan Plat AA5083

*(The Effect of Tool Angle of Friction Stir Welding on Mechanical Properties and Micro Structure of The Joint of AA5083 Plate)*

Bayu Prabandono<sup>a</sup>, Wisnu Wijayanto<sup>b</sup>, Yohanes Nugroho<sup>c</sup>  
<sup>a,b,c</sup>Program Studi Teknik Mesin, Politeknik ATMI Surakarta  
JI Adisucipto/JI Mojo No 1 PO BOX 215 Surakarta.  
Email: bayu\_prabandono@atmi.ac.id<sup>a</sup>

---

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh sudut kemiringan *tool* pada proses *friction stir welding* (FSW) terhadap sifat mekanik dan struktur mikro sambungan las pelat *aluminium sheet 5083*. Pengelasan menggunakan mesin *milling* dan material *welding tool* dari jenis Bohler K100 dengan kekerasan 59HRc. Proses pengelasan ini memiliki kecepatan putar *spindle* 1125 rpm, kecepatan pengelasan 30 mm/menit, dan kedalaman pembenaman *tool* 3,9 mm. Variasi sudut kemiringan *tool* terdiri dari 1°, 2°, 3° dan 4°. Pengujian spesimen dengan uji tarik, uji tekuk, uji kekerasan dan pengamatan secara makro dan mikro. Hasil penelitian menunjukkan kekuatan tarik tertinggi (312,5MPa) pada sudut kemiringan 3°. Kekuatan tekuk uji *face bending* tertinggi (655,1MPa) dan *root bending* tertinggi (651,8MPa) pada sudut kemiringan 2°. Daerah *retreating side* rata-rata mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibanding *advancing side*. Sudut kemiringan *tool* sampai 3° meningkatkan kekuatan tarik dan di atas sudut tersebut membuat kekuatan tarik menurun, sedangkan nilai kekuatan tekuk optimal terjadi pada sudut 2°. Pada foto mikro, semakin besar sudut kemiringan *tool* membuat ukuran butir pada daerah HAZ semakin besar tetapi tidak terlalu berpengaruh terhadap *nugget*.

**Kata kunci:** FSW, sudut kemiringan, sifat mekanik, struktur mikro.

## Abstract

*This research aims to study the effect of tool tilt angle of friction stir welding (FSW) process on the microstructure and mechanical properties of 5083 aluminum plate weld joints. The welding used a milling machine and welding tool material is from the Bohler K100 type possessing 59HRc hardness. This welding used spindle rotational speed of 1125 rpm, welding speed of 30 mm/minute, and tool immersion depth of 3.9 mm. The variations of tool tilt angle are 1°, 2°, 3° and 4°. The specimens were tested tension, bending, hardness, as well as macro and microstructure observations. The results showed the highest tensile strength (312.5MPa) was obtained at a slope of 3°. The highest bending strength of the face bending test (655.1MPa) and the highest root bending (651.8MPa) are at a slope angle of 2°. The average retreating side area has higher hardness than the advancing side does. The increase of tilt angle up to 3° increases the tensile strength and further increase makes tensile strength decrease, while the optimum buckling strength obtained at an angle of 2°. Photo micrograph shows that the larger the angle of the tool makes the grain size in the HAZ area coarser but not too influential on the nugget.*

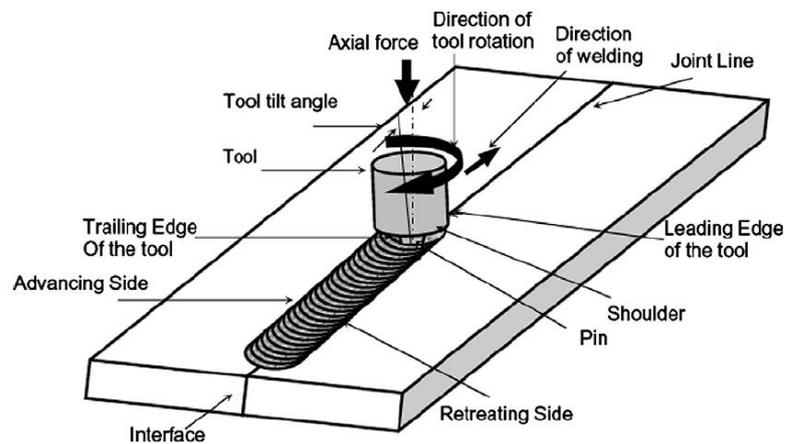
**Keywords:** FSW, tool tilt angle, mechanical properties, microstructure.

## 1. 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) [1],[5],[9]. Parameter pengelasan FSW yang tepat dapat meningkatkan kekuatan sambungan dan meminimalisir terjadinya cacat [8]. Salah satu parameter tersebut adalah *tool tilt angle* terhadap material induk (*base metal*) karena kemiringan *tool* akan mempengaruhi koefisien gesek *tool* terhadap *base metal*.

Penelitian terhadap pengaruh kemiringan *tool* pada hasil sambungan pengelasan FSW tersebut menggunakan beberapa variasi sudut kemiringan *tool*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kesimpulan mengenai *tool tilt angle* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro material pelat AA5083. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *tool tilt angle* pada pengelasan FSW terhadap hasil sambungan las FSW, kekuatan tarik, kekuatan bengkok kekerasan dan struktur mikro material AA5083.

Pengelasan FSW ditemukan oleh Wayne Thomas dari The Welding Institute dan dipatenkan di United Kingdom pada bulan Desember 1991 [6],[4]. Proses FSW memanfaatkan panas yang timbul akibat gesekan dari putaran *tool* yang ditekan pada benda kerja yang akan dilas. Gambar 1.1 memperlihatkan proses FSW. Panas yang terjadi ini dipengaruhi oleh faktor geometri dan parameter proses pengelasan yaitu: putaran *tool*, kecepatan pengelasan, sudut kemiringan *tool* dan kedalaman pembenaman *tool* [2],[3].



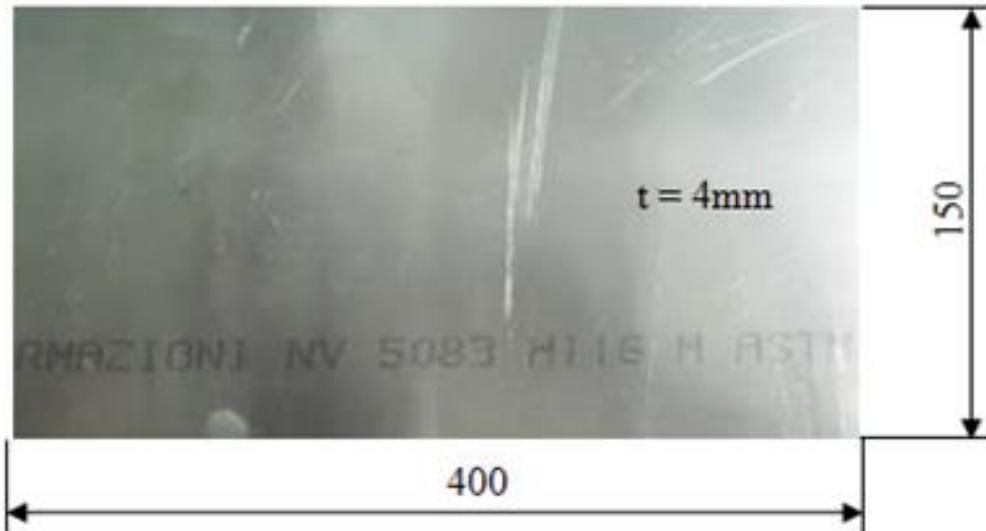
Gambar 1.1. Prinsip kerja FSW

Zhang, dkk [10] 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 [7] 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.

## 2. METODE

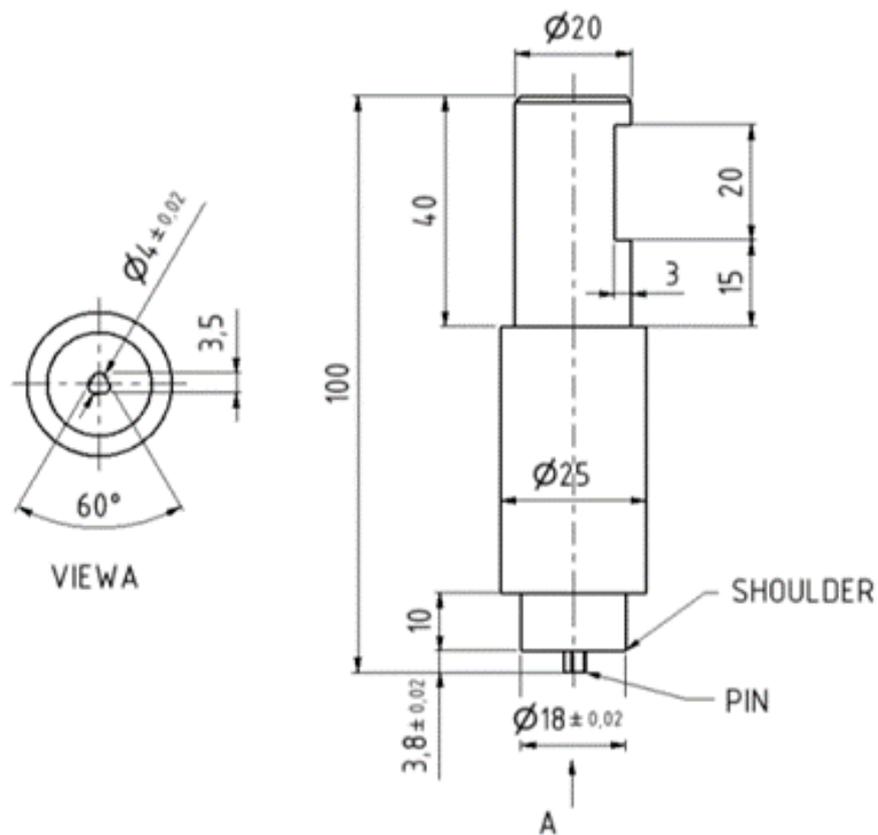
Pengelasan dilakukan menggunakan mesin *milling* merk Mikron WF 3SA dan bahan yang digunakan adalah:

- a. *Base metal* dari material pelat aluminium *alloy* 5083 H116 tebal 4 mm sebanyak 4 buah dengan ukuran 150x400 mm seperti pada Gambar 2.1.



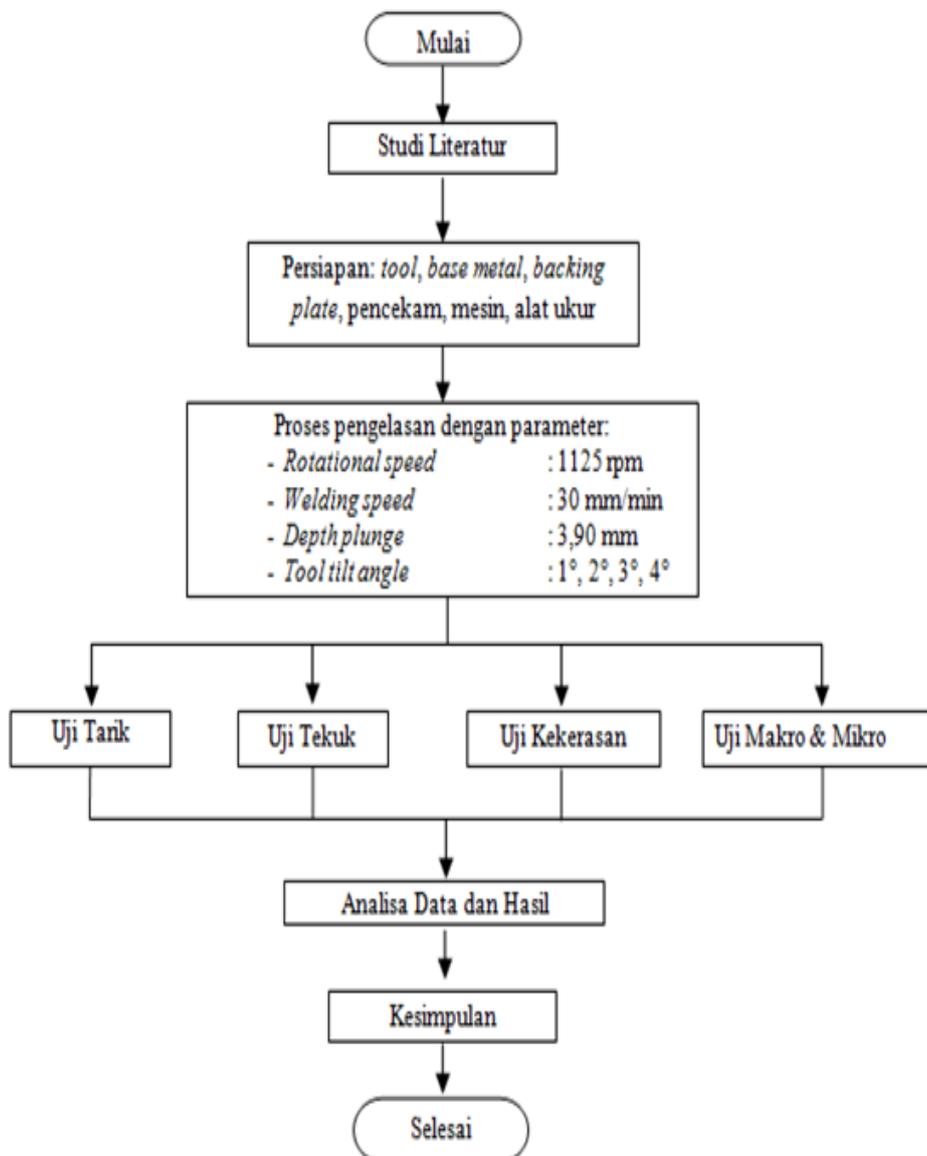
Gambar 2.1. Base metal

- b. Tool dari baja Bohler K100 yang dikeraskan 59HRc dengan geometri tool seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Tool

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan seperti terlihat pada gambar 2.3 berikut:



Gambar 2.3. Diagram alir penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

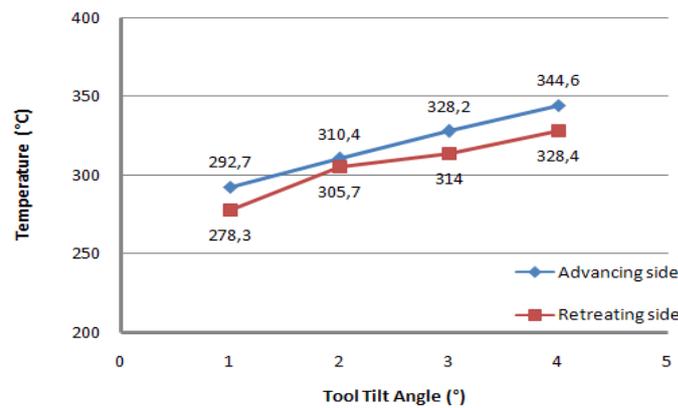
#### 3.1 Hasil Pengelasan

Perbandingan hasil pengelasan untuk masing-masing *tool tilt angle* tampak pada gambar 3.1 Gambar tersebut 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 juga 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 3.1. Hasil pengelasan FSW

Hasil pengujian menunjukkan data temperatur pengelasan seperti ditunjukkan pada Gambar 5.2. Semakin tinggi *tool tilt angle* menghasilkan temperatur pengelasan yang lebih tinggi.

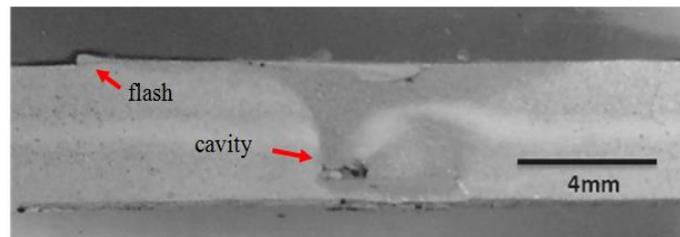


Gambar 3.2. Hubungan antara sudut kemiringan tool dan temperatur pengelasan

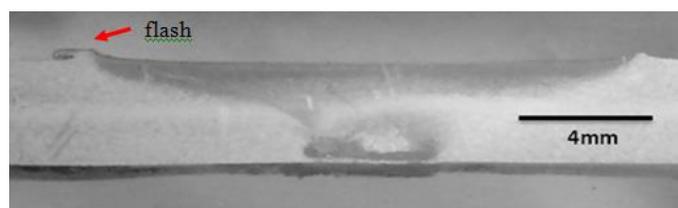
Grafik hubungan temperatur pengelasan dan sudut kemiringan *tool* menunjukkan temperatur pada bagian *advancing side* cenderung lebih tinggi daripada bagian *retreating side*. Hal ini dikarenakan gesekan yang terjadi pada *advancing side* lebih tinggi daripada *retreating side*.

### 3.2 Analisis Foto Makro

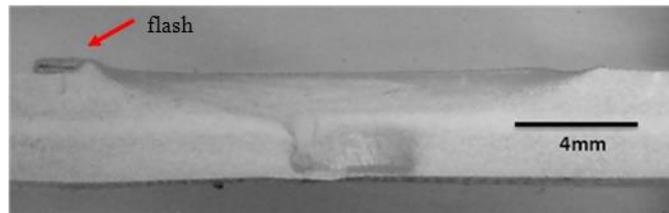
Hasil foto makro spesimen untuk setiap variasi *tool tilt angle* ditunjukkan pada Gambar 3.3 berikut ini.



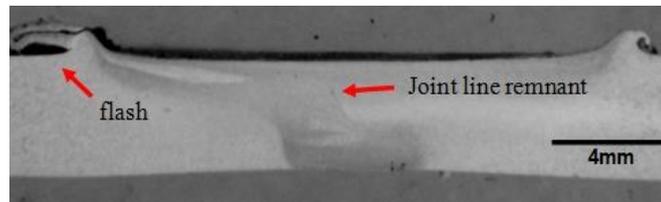
(a). Foto makro pada *tool tilt angle* 1°



(b). Foto makro pada *tool tilt angle* 2°



(c). Foto makro pada *tool tilt angle* 3°



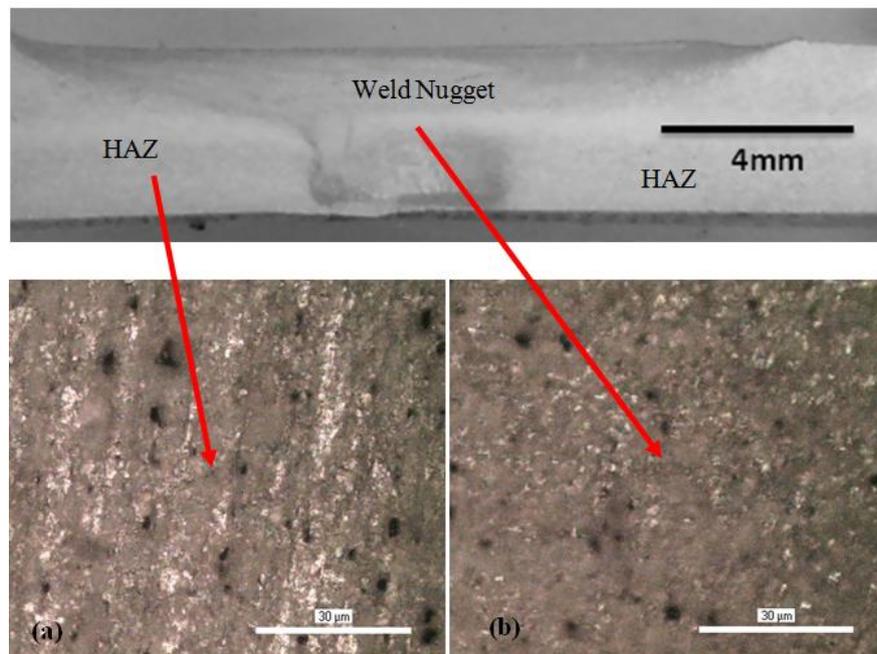
(d). Foto makro pada *tool tilt angle* 4°

Gambar 3.3 Foto makro spesimen

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*. Dari 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*.

### 3.3 Analisis Struktur Mikro

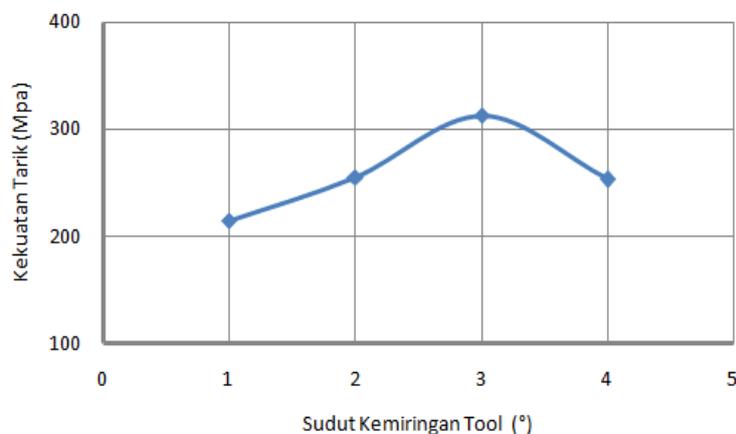
Struktur mikro pada daerah *weld zone* mempunyai bentuk dan ukuran yang berbeda dengan *base metal*. Pada daerah HAZ (Gambar 3.4.a), butir mengalami *grain growth* akibat temperatur pengelasan yang diterimanya tetapi tidak berubah orientasinya karena bagian ini tidak terdeformasi. Pada daerah *weld nugget* (Gambar 3.4.b), butir berubah bentuk menjadi *fine equiaxed* yaitu mempunyai besar yang sama. Ukuran butir menjadi halus dan rapat karena dideformasi oleh adukan *tool*.



Gambar 3.4. Foto struktur mikro

### 3.4 Analisa Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik untuk setiap sudut kemiringan *tool* dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. Tool tilt angle vs kekuatan tarik

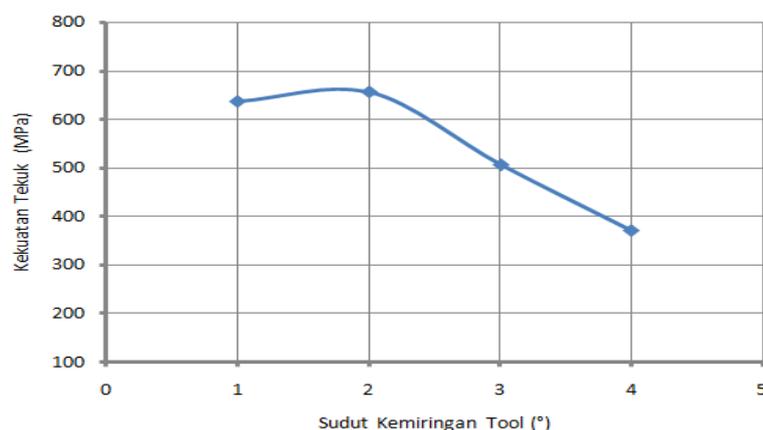
Hasil pengujian menunjukkan kekuatan tarik pada *tool tilt angle* 1° sampai 3° mengalami peningkatan yaitu dari 214,5 MPa menjadi 312,5 MPa, tetapi pada *tool tilt angle* 4° mengalami penurunan menjadi 252,5 MPa. Hal ini dipengaruhi oleh struktur mikro maupun cacat las yang terdapat pada sambungan las.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

### 5.5 Analisa Kekuatan Tekuk

Pengujian ini menggunakan metode *three point bending* terdiri dari:

a. *Face Bending*

Kekuatan tekuk untuk setiap sudut kemiringan *tool* dapat dilihat pada gambar 3.6.

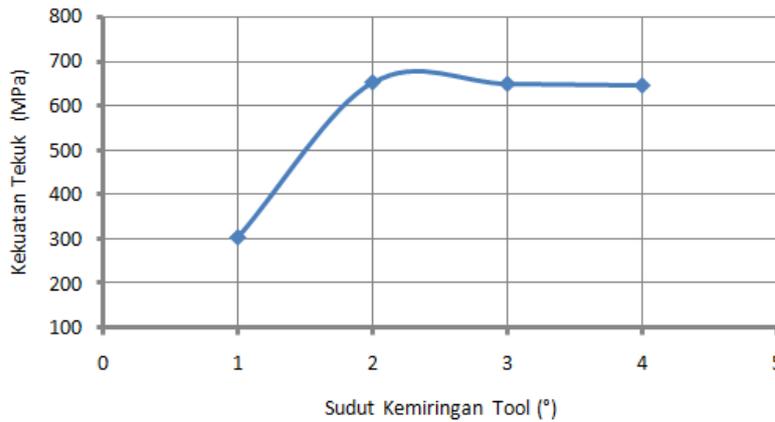


Gambar 3.6. Tool tilt angle vs kekuatan tekuk uji face bending

Kekuatan tekuk uji *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.

b. *Root Bending*

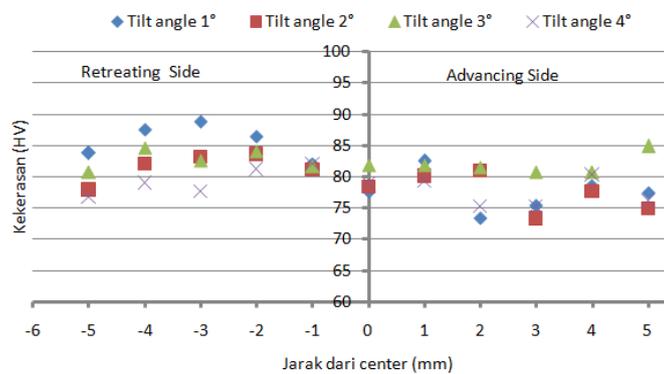
Kekuatan tekuk untuk setiap sudut kemiringan *tool* dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7. *Tool tilt angle vs kekuatan tekuk uji root bending*

Kekuatan tekuk 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 kekuatan tekuknya. 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*.

5.6 Analisa Kekerasan



Gambar 3.8. Grafik hubungan nilai kekerasan dan posisi titik uji

Gambar 3.8 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*.

4. KESIMPULAN

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

- a. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi terjadi pada *tool tilt angle* 3°, yaitu sebesar 312,5 MPa. 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°.

- b. 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*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] American Welding Society, *Structural Welding Code-Aluminium*, AWS D1.2/D1.2M: 2008.
- [2] Chien, C., Lin, W., Chen, T. Optimal FSW process parameters for aluminum alloys AA5083, *Journal of the Chinese Institute of Engineers*. 2011: 34,(1): 99–105.
- [3] Fujii, H., Cui, L., Maedadkk, M., Effect Of Tool Shape On Mechanical Properties and Microstructure Of Friction Stir Welded Alluminium Alloys, *Materials Science and Engineering A*. 2006: 419: 25–31.
- [4] Kima, Y.G, Fujii, H., Tsumura T., Komazaki T., Nakata, K., Three defect types in friction stir welding of aluminum die casting alloy, *Materials Science and Engineering A*. 2006: 415: 250–254.
- [5] Mathers, G. *The Welding of Aluminium and Its Alloys*, Woodhead Publishing Limited. ISBN 1-85573-567-9. 2002.
- [6] Mishra, R.S., Ma, Y.z, *Friction Stir Welding And Processing*, *Materials Science and Engineering*, R. 2005: 50: 1–78.
- [7] Parida, B., Pal, S., Biswas, P., Mohapatra, MM. , Tikader, S. Mechanical and Microstructural Study of Friction Stir Welding of Al-alloy, *International Journal of Applied Research In Mechanical Engineering*,. 2011;1 (2); 2231 –2250
- [8] Rajakumar, S., Balasubramanian, V. Correlation between weld nugget grain size, weld nugget hardness and tensile strength of friction stir welded commercial grade aluminium alloy joints, *Materials and Design*. 2012: 34: 242–251.
- [9] Sutton, M. A., Reynolds, A. P., Wang, D. –Q., Hubbard, C. R. A Study of Residual Stresses and Microstructure in 2024-T3 Aluminum Friction Stir Butt Welds, *Journal of Engineering Materials and Technology*, 2002: 124: 215-221.
- [10] Zhang, Z., Liu, Y.L., Chen, J.T., Effect of shoulder size on the temperature rise and the material deformation in frictionstri welding material deformation in friction stir welding, *Int J Adv Manuf Technol* 2009; 45; 889–895.