

PENGARUH *FEEDING-SPEED* TERHADAP STRUKTUR-MIKRO DAN SIFAT-MEKANIS SAMBUNGAN *FRICITION STIR WELDING* PADA ALUMINIUM PADUAN 6061

Wartono

Staf Pengajar Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional, Yogyakarta
Jl. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta
e-mail: wartono_sttnas@yahoo.com,
wartono@itny.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *feeding speed* terhadap struktur mikro dan sifat mekanis sambungan *friction stir welding (FSW)* pada Aluminium Paduan Seri 6061. Pada umumnya, daerah sambungan las *FSW* mengalami proses pelunakan dan penurunan sifat mekanis dibanding logam induknya.

Proses *FSW* dilakukan pada aluminium paduan 6061 dengan tebal 3 mm, dengan sambungan las jenis *butt joint*. Mesin yang digunakan dalam proses *FSW* ini adalah mesin *Milling* dengan variabel *feeding speed* masing-masing sebesar 18; 22,5; 27 (mm/menit) dan putaran *tools* tetap 910 rpm.

Hasil pengujian pada sambungan *FSW* dengan variabel *feeding speed* sebesar : 18; 22,5; 27 (mm/menit) dan putaran *tools* tetap sebesar 910 rpm menunjukkan kekuatan tarik optimum pada *feeding speed* 27 mm/menit sebesar 206 MPa, sedangkan hasil pengujian *impact* menunjukkan nilai *impact* optimum pada *feeding speed* 18 mm/menit yaitu sebesar 0,624 J/mm².

Kata kunci: Aluminium-paduan, *friction stir welding*, *feeding-speed*, struktur-mikro, sifat mekanis.

Abstract

The objective of this research is to find out the effect of feeding speed on microstructure and mechanical properties in Al 6061 alloy that has undergone a process of friction stir welding (FSW). In general, local FSW welded joints undergo softening and decreased mechanical properties than the parent metal.

FSW process performed on aluminum 6061 alloy with a thickness of 3 mm, with the weld type butt joint. Machines used in the FSW process is a milling machine with a feeding speed by 18; 22,5; 27 mm / min and a spindle rotation speed of 910 rpm.

The test results on FSW process with a feeding speed by 18; 22,5; 27 mm / min and a spindle rotation speed of 910 rpm showed the optimum of tensile stress with a feeding speed by 27 mm / min of 206 MPa and the test results of an impact test showed the optimum of impact with a feeding speed by 18 mm / min of 0,624 J/mm².

Keywords: *Aluminum-alloy, friction stir welding, feeding-speed, microstructure and mechanical properties.*

1. PENDAHULUAN

Salah satu logam yang sangat penting di bidang teknik adalah aluminium, terutama untuk material struktur atau pemesinan, seperti struktur kapal laut, komponen otomotif, dan struktur pesawat terbang. Saat ini sambungan dengan cara proses pengelasan telah banyak digunakan

pada berbagai konstruksi mesin dan struktur, karena dapat menurunkan biaya produksi dan dapat meningkatkan kekuatan strukturnya.

Friction stir welding (FSW) merupakan salah satu dari beberapa metode penyambungan untuk aluminium. *FSW* adalah versi terbaru dari pengelasan gesek yang dikenal dengan teknik penyambungan pada kondisi padat atau logam las tidak mencair (*solid-state process*). Pengelasan gesek konvensional dilakukan dengan gerakan berupa gesekan memutar dan gaya aksial untuk menyambung dua logam. Penyambungan pada proses pengelasan *FSW* dilakukan dengan bantuan *tools (pin dan shoulder)* yang berputar dengan kecepatan (*speed*) dan pemakanan (*feeding*) tertentu, sehingga logam mengalami pelunakan dan terjadi proses penyambungan. *FSW* digunakan secara luas dan sangat menguntungkan melebihi teknik penyambungan yang telah ada.

Las *FSW* mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan las *TIG* atau *MIG* antara lain : tidak membutuhkan bahan tambah (*filler*) pada saat proses pengelasan, tidak terjadi percikan maupun asap, rendahnya distorsi sepanjang pengelasan, penyusutan rendah, peralatan yang digunakan sederhana dan biaya operasional rendah serta tidak memerlukan operator yang bersertifikat. Kelebihan lain proses *FSW* yaitu dapat mengelas beberapa paduan aluminium yang sulit dilas (sifat mampu las rendah) termasuk menyambung jenis aluminium yang berbeda (*dissimilar joint*).

Namun demikian las *FSW* mempunyai kelemahan yaitu pada daerah *HAZ (Heat Affected Zone)*, *TMAZ (Thermomechanically Affected Zone)*, dan daerah las (*weld metal*) sepanjang garis sambungan benda kerja, mengalami pelunakan akibat rekristalisasi saat proses stirring, sehingga dapat berpengaruh terhadap kemampuan bahan untuk menerima beban dan kekuatan tariknya.

Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang “Pengaruh *feeding speed* terhadap struktur mikro dan sifat mekanis sambungan *friction stir welding (FSW)* Pada Aluminium Paduan 6061”.

2. METODE PENELITIAN

Tulisan ini disusun berdasarkan hasil percobaan *friction stir welding* dan pengujian dilakukan sesuai urutan/prosedur berikut ini.

2.1. Bahan

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini yaitu aluminium paduan seri 6061 yang berbentuk lembaran (*sheet*), dengan ukuran panjang 300 mm, lebar 200 mm, tebal 3 mm. Sedangkan bahan mempunyai komposisi kimia seperti ditunjukkan dalam tabel 1.

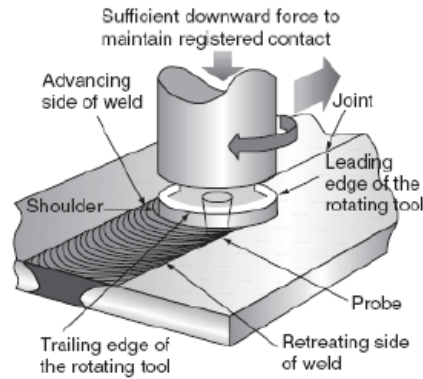
Tabel 1 : Komposisi kimia.

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti	Cr	Zn	Al
0,64	0,2	0,19	0,06	1,0	0,07	0,15	0,05	93,15

2.2. Proses Pengelasan dan Parameter Las

Pengelasan dengan metode *friction stir welding (FSW)*, menggunakan mesin *milling* Aciera dengan variasi *feeding speed* 18 mm/menit, 22,5 mm/menit, 27 mm/menit dan putaran *tools* 910 rpm.

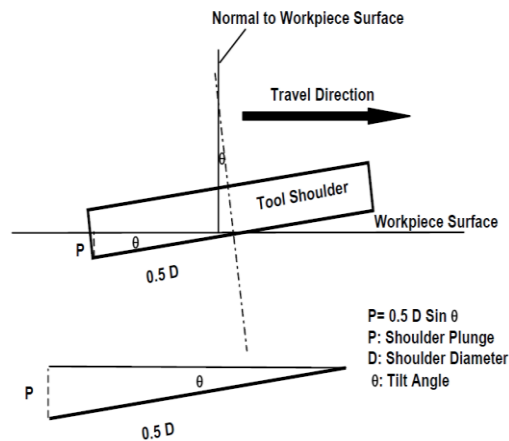
Prinsip kerja pengelasan *FSW* ditunjukkan seperti gambar 1, sedangkan parameter pengelasan dapat dilihat pada tabel 2.



Gambar 1 : Prinsip Kerja Las FSW.

Tabel 2: Parameter Pengelasan

Putaran <i>Tools</i> (rpm)	Kecepatan <i>feeding</i> (mm/mnt)	Penurunan <i>Tool</i> (mm)	Ukuran <i>Tool</i> (<i>pin & shoulder</i>) (mm)
910	18 22,5 27	0,2	<i>Shoulder</i> Ø15 mm Pin Ø 3 mm, Panjang Pin 2,9mm



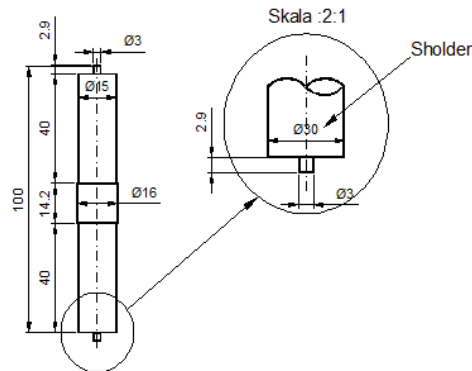
Gambar 2 : *Shoulder plunge*.

2.3. Pengaturan Sudut *Tool*

Sudut kemiringan *shoulder* (θ) antara $2^\circ - 4^\circ$ terhadap sumbu tegak lurus pada permukaan benda kerja. Sudut kemiringan *shoulder* seperti gambar 2 diatas.

2.4. Bentuk *Tool*

Proses pengelasan menggunakan *tool* dari bahan *HSS*, diameter *shoulder* 15 mm dan diameter pin 3 mm, sudut kemiringan *shoulder* 3° . Tipe sambungan las *Butt Joint*. Bentuk *tools* seperti ditunjukkan pada gambar 3 dibawah.

Gambar 3 : Bentuk *tools*.

2.5. Pengujian-pengujian

2.5.1. Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan dengan mikroskop optik seperti gambar 4 dibawah.



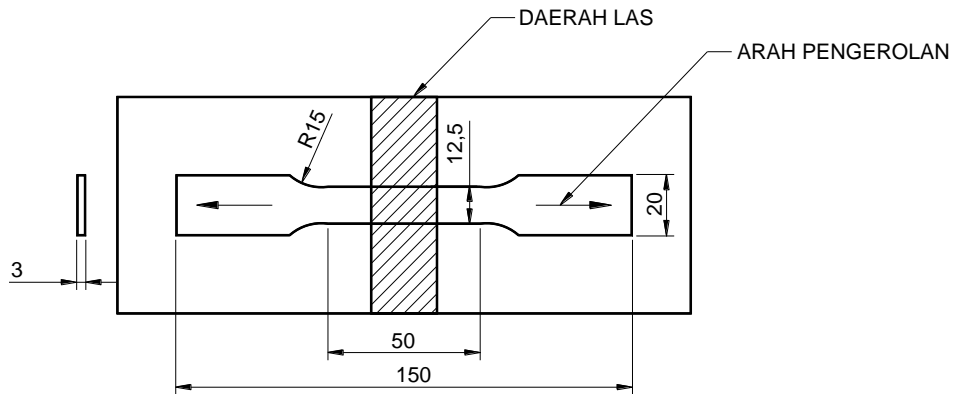
Gambar 4. Mikroskop optik.

Pengujian struktur makro dan mikro dilakukan pada arah transversal hasil pengelasan. Pekerjaan meliputi : pemotongan, pengamplasan, pemolesan, *etsa*. Proses *etsa* dengan diberi cairan *hidro flouride (HF)*, kemudian diamati dengan mikroskop optik.

2.5.2. Pengujian Tarik

Uji tarik sambungan las *FSW*, dilakukan pada masing-masing variabel proses pengelasan sebanyak 3 buah spesimen, dan sebagai pembandingan juga dilakukan pengujian pada *raw material* sebanyak 3 spesimen.

Pemotongan spesimen untuk uji tarik sesuai spesifikasi standar yang ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5 : Spesimen Uji Tarik mengacu ASTM E8M.

Persamaan pada pengujian tarik yaitu :

Tegangan Teknik (*Engineering Stress*) :

$$\sigma = \frac{F}{A_o}$$

Regangan Teknik (*Engineering Strain*) :

$$\epsilon = \frac{L-L_o}{L_o} = \frac{\Delta L}{L_o}$$

Dengan,

σ = Tegangan tarik ($\frac{N}{m^2}$, Pa)

ϵ = Regangan (%)

F = Beban (N)

Ao = Luas penampang mula-mula (mm²)

Lo = Panjang spesimen mula-mula (mm)

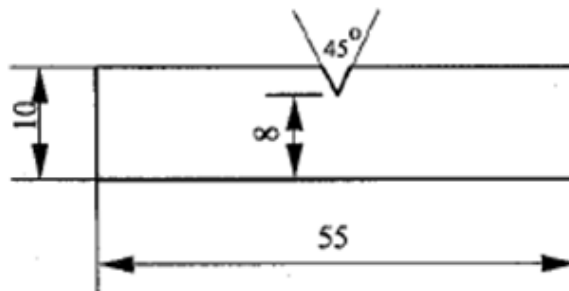
L = Panjang spesimen setelah pengujian.

Pengujian dilakukan untuk melihat perbandingan antara kekuatan tarik dari *raw material*, material setelah proses pengelasan *FSW*, sehingga diharapkan dapat mengetahui sifat mekanis dari benda uji yaitu kekuatan tarik (*tensile strength*), kekuatan luluh (*yield strength*) dan perpanjangan (*elongation*).

2.5.3. Pengujian Impact

Uji *impact* sambungan las *FSW*, juga dilakukan pada masing-masing variabel proses pengelasan sebanyak 3 buah spesimen, dan sebagai pembandingan juga dilakukan pengujian pada *raw material* sebanyak 3 spesimen.

Pemotongan spesimen untuk uji *impact* sesuai spesifikasi standar yang ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6 : Spesimen Uji Impact mengacu ASTM E 23, Type A

Uji *Impact* ini bertujuan untuk mengukur ketangguhan atau ke mampuan suatu bahan dalam menyerap energi sebelum patah.

a. Energi patah spesimen :

$$W = G \times R (\cos \beta - \cos \alpha)$$

Dengan :

- W = energi patah spesimen (Joule)
- G = Berat pendulum (N)
- R = Jarak pendulum ke pusat rotasi (m)
- β = sudut pendulum setelah menabrak specimen ($^{\circ}$)
- α = sudut pendulum tanpa specimen ($^{\circ}$)

b. Kekuatan impak spesimen :

$$a = \frac{W}{h + b}$$

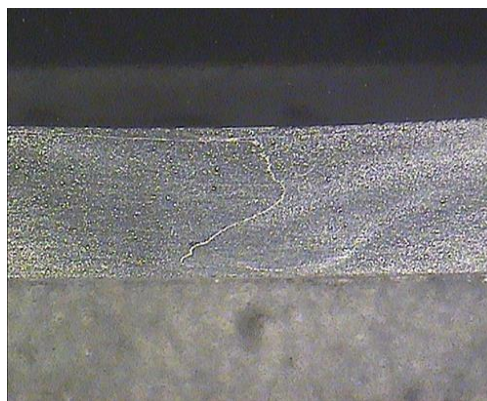
Dengan :

- a = kekuatan impak spesimen (J/mm^2)
- w = energi terserap spesimen (J)
- h = tebal spesimen (mm)
- b = lebar spesimen (mm)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Struktur Makro Perbesaran 10x

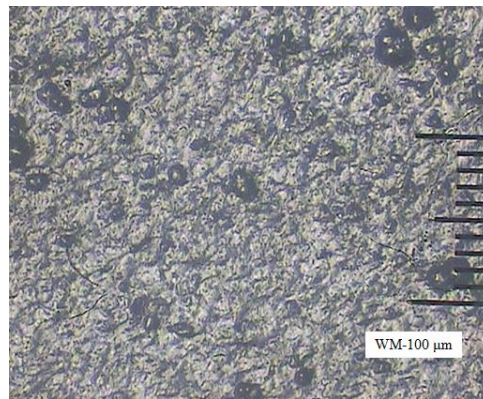
Pada gambar 7 dibawah, menunjukkan Struktur makro pada daerah logam las (*weld metal*) sambungan *FSW*.



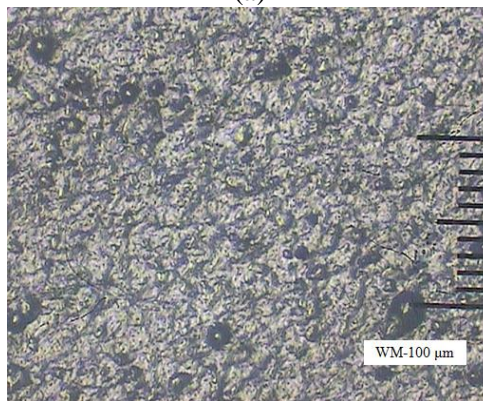
Gambar 7: Struktur makro perbesaran 10x.

Struktur mikro logam las proses *FSW* dari semua parameter masih terlihat adanya garis batas. Hal ini merupakan indikasi bahwa ikatan sambungan proses *FSW* yang dihasilkan masih kurang baik (*leak of bonding*) sehingga akan mempengaruhi sifat mekanik.

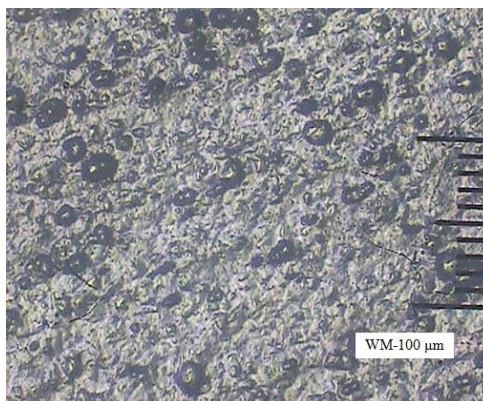
3.2. Struktur Mikro Perbesaran 100x



(a)



(b)



(c)

Gambar 8: Struktur mikro *weld metal* FSW dengan variabel *Feeding Speed*
(a. 18 mm/menit b. 22,5 mm/menit c. 27 mm/menit)

Pada gambar 8 menunjukkan daerah logam las (*weld metal*), daerah logam las terjadi penghalusan butir akibat rekristalisasi. Fase yang terbentuk α -Al + Al-Si-Mg. Daerah yang berwarna terang merupakan fasa α (aluminium), sedangkan yang berwarna gelap merupakan fasa Al + Mg_2Si dengan senyawa aluminium-silikon-magnesium (Al-Si-Mg) yang berbentuk presipitat (Vander, 2004). Ukuran butir rata-rata 10 μm . Kristal berbentuk *equiaxed*.

Daerah HAZ mempunyai bentuk butiran yang mengalami perubahan cenderung menjadi besar. Disamping HAZ merupakan daerah TMAZ (*thermomechanically affected zone*) dan terlihat garis batas dengan *weld metal*.

Daerah *TMAZ* merupakan daerah transisi antara material dasar dan daerah logam las (*weld metal*), dimana daerah ini terjadi deformasi plastis akibat dari putaran *tool* dan dari pengaruh panas pada waktu proses pengelasan *FSW*.

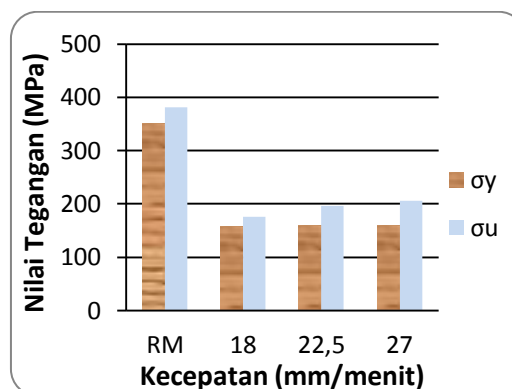
3.3. Pengujian Tarik

Aluminium paduan 6061 setelah dilakukan proses penyambungan *FSW* mempunyai ukuran panjang 300 mm x 200 mm x 3 mm. Selanjutnya hasil sambungan *FSW* dibuat spesimen uji tarik dengan variabel *feeding speed*, masing-masing sebanyak 3 buah. Spesimen Uji tarik mengacu ASTM E8M. Dari pengujian tarik dengan variasi *feeding speed* akan didapatkan sifat mekanik bahan, diantaranya adalah tegangan maksimum dan keuletan dari suatu bahan. Hasil uji tarik seperti ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3: Hasil uji tarik.

Al	n (rpm)	v_1, v_2, v_3 (mm/menit)	σ_y (MPa)	σ_u (MPa)	ϵ (%)
6061	910	RM	350	381	12,90
		18	157	176	7,70
		22,5	159	197	7,00
		27	159	206	6,10

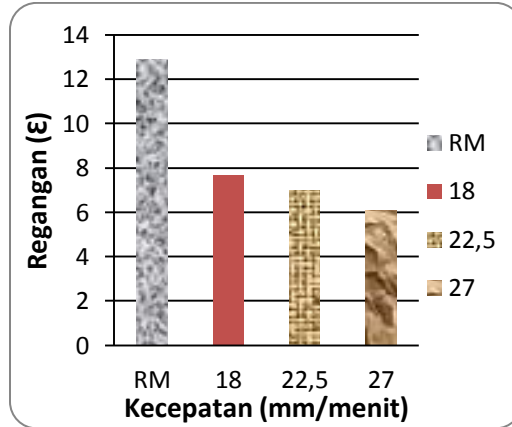
Pada gambar 9 menunjukkan grafik tegangan dengan beberapa variabel *feeding speed*. Dari hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa proses pengelasan *FSW* menyebabkan penurunan tegangan tarik.



Gambar 9: Grafik tegangan tarik vs. Kec.(*feeding speed*)

Hal ini disebabkan karena distribusi tegangan sisa yang terjadi pada permukaan bahan tidak seimbang, sehingga tegangan sisa tekan ini tidak dapat mengimbangi tegangan tarik pada bahan pada saat terjadi pembebanan tarik statis dari luar.

Disamping penurunan kekuatan tarik, proses *FSW* juga menurunkan keuletan dan meningkatkan kekakuan bahan. Hal ini dapat terlihat dari menurunnya nilai perpanjangan (ϵ). Pemberian *FSW* dengan *feeding speed* yang semakin tinggi dapat menyebabkan bahan menjadi getas seperti yang ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10: Grafik regangan vs. Kec.(feeding speed)

3.4. Pengujian Impact

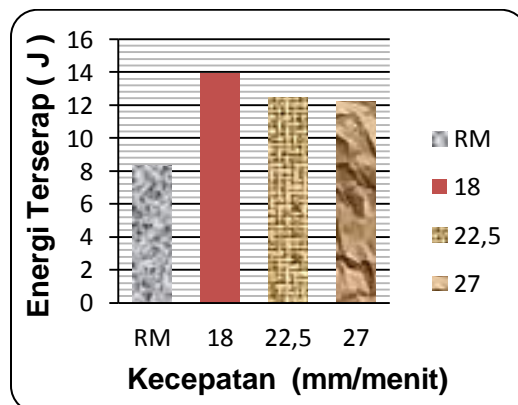
Kekuatan *impact* dapat diketahui dengan menggunakan alat uji *impact (impact test)*. Uji ini bertujuan untuk mengukur ketangguhan atau kemampuan bahan untuk menerima beban. Pengujian *impact* menggunakan metode Charpy, Standar benda uji mengacu ASTM E 23, *type A*. Panjang lengan ayun sebesar 0,8 meter dan berat palu 20 kilogram.

Tabel 4. Hasil uji *impact* dengan variasi putaran *tools*.

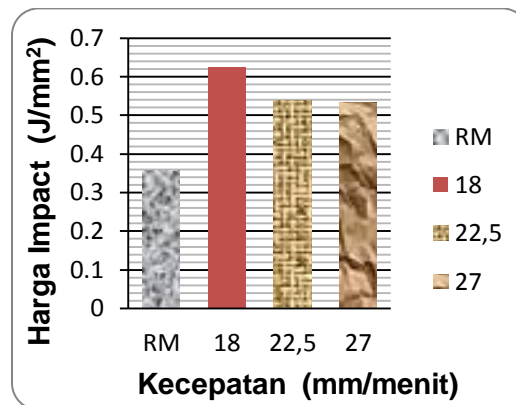
Al	n (rpm)	v ₁ , v ₂ , v ₃ (mm/menit)	Energi Terserap (J)	Harga <i>Impact</i> (J/mm ²)
6061	18	RM	8,37	0,357
		18	13,90	0,624
		22,5	12,50	0,539
		27	12,20	0,533

Pada gambar 11 dibawah menunjukkan grafik nilai *impact* dengan variasi *feeding speed*. Dari hasil pengujian impak menunjukkan bahwa proses pengelasan *FSW* menyebabkan kenaikan nilai *impact* dibandingkan *base material*.

Pada sambungan *FSW* dengan variasi *feeding speed* mulai dari 18 mm/menit, 22,5 mm/menit, dan 27 mm/menit menunjukkan ada peningkatan kekuatan *impact* dibandingkan *base materialnya*. Kekuatan *impact* optimum terjadi pada *feeding speed* 18 mm/menit yaitu sebesar 0,624 J/mm².



Gambar 11: Grafik Energi Terserap vs. Kec.(feeding speed)



Gambar 12: Grafik Nilai Impak vs. Kec.(*feeding speed*)

4. SIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Pada daerah logam las (*weld metal*) terjadi penghalusan butir akibat rekristalisasi. Fase yang terbentuk yaitu α -Al + Al-Si-Mg.
- Hasil pengujian tarik pada sambungan *FSW* dengan variabel *feeding speed* 18 ; 22,5 ; 27 (mm/menit) dan putaran *tools* 910 rpm menunjukkan kekuatan tarik optimum pada *feeding speed* 27 mm/menit yaitu sebesar 206 MPa.
- Hasil pengujian *impact* menunjukkan nilai *impact* optimum pada *feeding speed* 18 mm/menit yaitu sebesar 0,624 J/mm².

5. SARAN

Berdasarkan hasil kajian tersebut, maka penulis sarankan sebagai berikut :

- Pada saat proses *FSW* dengan *milling machine* perlu menggunakan Landasan dari bahan baja yang mempunyai ketebalan lebih dari 10 mm, supaya *tools* tidak merusak meja mesin.
- Pengaturan sudut kemiringan *shoulder* (θ) perlu diatur antara 2° – 4°, supaya ikatan sambungan lebih kuat.
- Penelitian sambungan *FSW* perlu dilakukan dengan variabel *feeding speed* yang berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

- Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi yang memberikan dukungan dana melalui program Penelitian Hibah Bersaing.
- Ketua jurusan teknik mesin dan Ka.lab, yang telah memberikan ijin penggunaan laboratorium NC di IST Akprind Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

Adamowski, J. and Szkodo, M. (2007), *Friction stir welds (FSW) of aluminium alloy AW6082-T6* 2007, *Jurnal of achievements in materials and manufacturing engineering*, Vol. 20.

- ASTM, 2004, *Standard Specification for aluminium and aluminium alloy sheet and plate*, vol. 02.02, Designation : B 209-00.
- Bradley, GR, dkk., 2000, *Geometry and Microstructure of Metal Inert Gas and Friction Stir Welded Aluminium Alloy 5383-H321*.
- Caballero, (2011), *Overall mechanical behavior of friction stir welded joints superficially treated by laser shot peening*, Jurnal Anales de Mecanica de la fractura, vol. 2.
- Cavaliere P., (2006), *Effect of welding parameters on mechanical and microstructural properties of AA6056 joints produced by Friction Stir Welding*, Journal of Materials Processing Technology 180, hal. 263-270.
- Engineering Division Handbook, 1999, *Technical Data Aluminium*, Aluminium City (Pty) Limited.
- Ilman, M.N., 2011, "Teknik Pengelasan TKM 6267", Teknik Mesin & Industri Pascasarjana, UGM, Yogyakarta.
- Kazuhiro Nakata, dkk., (2000), *Weldability of high strength aluminium alloys by friction stir welding*, ISIJ International, vol. 40, pp. S15-S19.
- Kumar, K. and Kailas, S.V., (2008), *The role of friction stir welding tool on material flow and weld formation*, Jurnal Materials Science & Engineering A 485 p. 367-374.
- Mandal, 2005, "Aluminum Welding", 2nd ed., Narosa Publishing House, New Delhi.
- Muhaimin, 2010, Pengaruh Perlakuan Panas Pelarutan T351 pada Perilaku Korosi Paduan Aluminium AA2024 Dalam Larutan 0.05 M NaCl.
- Nusyirwan, 2001, Pengaruh kekasaran permukaan logam pada akurasi hasil uji kekerasan dengan metode indentasi, Jurnal R&B, Vol.1 no.2.
- Pranjono, dkk., 2008, Uji kekasaran permukaan kelongsong zirkaloy-4 dan pellet UO₂ sinter dengan alat roughness checker type surtonic-25, Jurnal Hasil penelitian EBN.
- Reddy, G.M., dkk., 2006, *Microstructure, residual stress distribution and mechanical properties of friction stir AA6061 aluminium alloy weldments*, Proc. Seminar Nasional on Non-Destructive Evaluation, India.
- Thomas, W., (1991), *Friction Stir Welding*, The Welding Institute.
- Waris, 2011, Pengaruh Inhibitor Kalium Chromat Terhadap Laju Korosi dan Perambatan Retak Fatik pada Al 2024-T3 dengan Media Air Laut, Pascasarjana, UGM, Yogyakarta.
- William, R., (1997), *Welding Handbook*, 8th ed, Vol.3, Miami.
- Wirjosumarto, H. dkk., 2008, Teknologi Pengelasan Logam, PT Pradnya Paramita, Jakarta.