

# Pengaruh Putaran Tools Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanis Sambungan *Friction Stir Welding* Pada Aluminium Paduan 6061

Wartono, Hasta Kuntara

Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional, Yogyakarta

Email : [wartono\\_sttnas@yahoo.com](mailto:wartono_sttnas@yahoo.com)

Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional, Yogyakarta

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh putaran *tools* terhadap struktur mikro dan sifat mekanis sambungan *friction stir welding* (FSW). Hasil penelitian ini merupakan bagian dari penelitian yang berjudul “Upaya Meningkatkan Karakteristik Sambungan FSW Dengan Proses *Shot Peening* Pada Aluminium 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 putaran *tools* masing-masing sebesar 540, 910, 1500 (rpm) dan kecepatan tetap 18 mm/menit.

Hasil pengujian tarik pada sambungan FSW dengan variabel putaran *tools* sebesar : 540, 910, 1500 (rpm) dan kecepatan 18 mm/menit menunjukkan kekuatan tarik optimum pada putaran spindel 910 rpm sebesar 176 Mpa, sedangkan hasil pengujian *impact* menunjukkan nilai *impact* optimum pada putaran spindel 910 rpm yaitu sebesar 0,624 J/mm<sup>2</sup>.

Kata Kunci: Aluminium paduan, *friction stir welding*, putaran *tools*, struktur mikro, sifat mekanis.

## 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 putaran *tools* terhadap struktur mikro dan sifat mekanis sambungan *friction stir welding* (FSW) Pada Aluminium Paduan 6061”.

## 2. Metode

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.

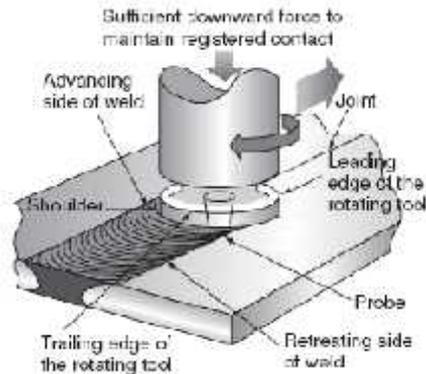
Tabel 1 : Komposisi kimia.

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 putaran spindel 540 rpm, 910 rpm, 1500 rpm dan kecepatan pemakanan 18 mm/menit.

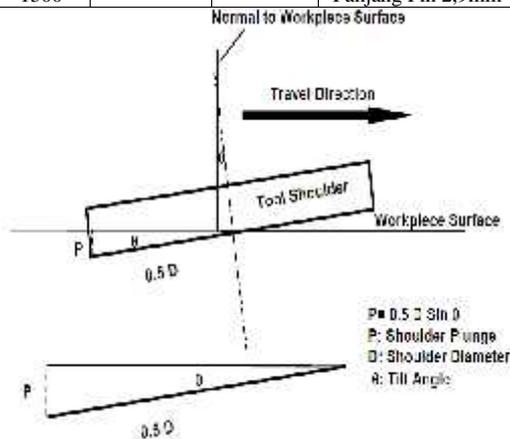
Prinsip kerja pengelasan *FSW* ditunjukkan seperti gambar 1, sedangkan parameter pengelasan dapat dilihat pada tabel 2.



Gambar 1 : Prinsip Kerja Las FSW.

Tabel 2: Parameter Pengelasan

Putaran Tools (rpm)	Kecepatan feeding (mm/mnt)	Penurunan Tool (mm)	Ukuran Tool (pin & shoulder) (mm)
540	18	0,2	Shoulder Ø15 mm Pin Ø 3 mm, Panjang Pin 2,9mm
910			
1500			



Gambar 2 : Shoulder plunge.

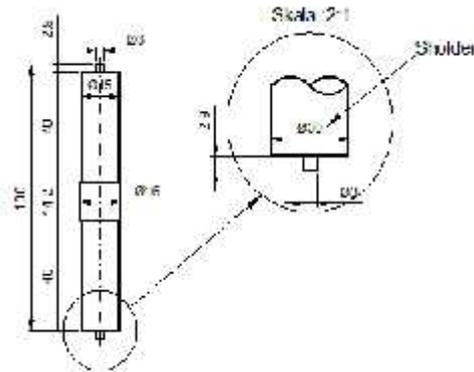
## 2.3 Pengaturan Sudut Tool

Sudut kemiringan *shoulder* (  $\alpha$  ) 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*  $3^\circ$ . Tipe sambungan las *Butt Joint*. Bentuk *tool* seperti ditunjukkan pada gambar 3 dibawah.



Gambar 3 : Bentuk tool.

## 2.5 Pengujian-pengujian

### 2.5.1 Pengujian Struktur Mikro

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



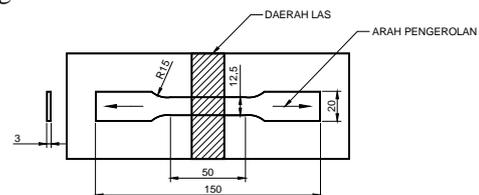
Gambar 4. Mikroskop optik.

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*) :

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

Regangan Teknik (*Engineering Strain*) :

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

dengan,

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

$$= \text{Regangan} (\%)$$

F = Beban (N)

A<sub>0</sub> = Luas penampang mula-mula (mm<sup>2</sup>)

L<sub>0</sub> = Panjang spesimen mula-mula (mm)

L = Panjang spesimen setelah pengujian.

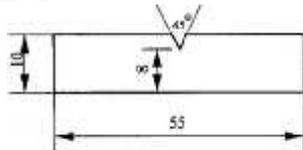
Pengujian dilakukan untuk melihat perbandingan antara kekuatan tarik dari *raw material*, material setelah proses pengelasan FSW,

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 kemampuan suatu bahan dalam menyerap energi sebelum patah.

#### a. Energi patah spesimen :

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

Dengan :

W = energi patah spesimen (Joule)

G = Berat pendulum (N)

R = Jarak pendulum ke pusat rotasi (m)

α = sudut pendulum setelah menabrak spesimen (°)

β = sudut pendulum tanpa spesimen (°)

#### b. Kekuatan impak spesimen :

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

Dengan :

a = kekuatan impak spesimen (J/mm<sup>2</sup>)

w = energi terserap spesimen (J)

h = tebal spesimen (mm)

b = lebar spesimen (mm)

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Struktur Makro

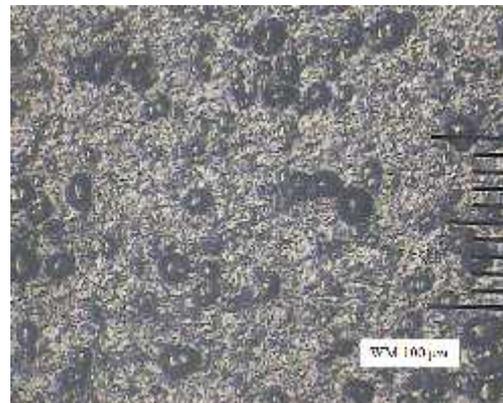
Pada gambar 7 dibawah, menunjukkan Struktur makro pada daerah logam las (*weld metal*) sambungan FSW.



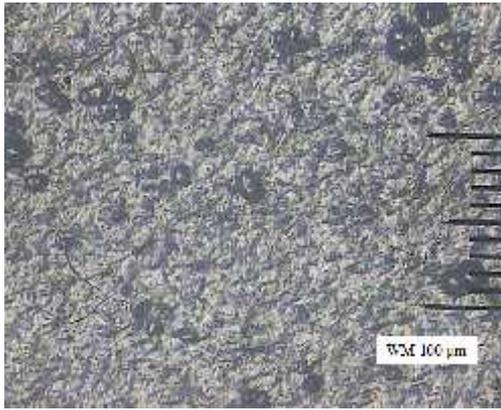
Gambar 7: Struktur makro perbesaran 10x.

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.

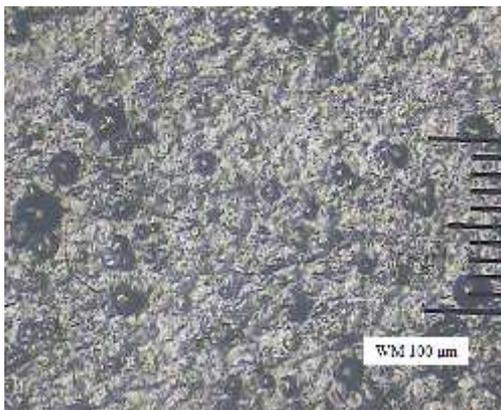
### 3.2 Struktur Mikro



(a)



(b)



(c)

Gambar 8: Struktur mikro *weld metal* FSW dengan variabel putaran spindle  
(a) 540 rpm (b) 910 rpm (c) 1500 rpm

Pada gambar 8 menunjukkan daerah logam las (*weld metal*), daerah logam las terjadi penghalusan butir akibat rekristalisasi. Fase yang terbentuk  $-Al + Al-Si-Mg$ . Daerah yang berwarna terang merupakan fasa (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  $10 \mu m$ . 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.

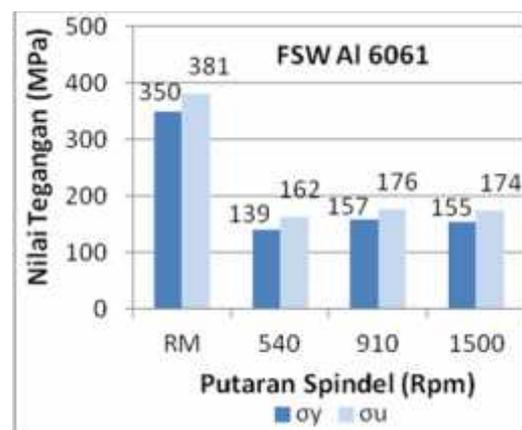
### 3.3 Pengujian Tarik

Aluminium paduan 6061 setelah dilakukan proses penyambungan FSW mempunyai ukuran panjang  $300 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ . Selanjutnya hasil sambungan FSW dibuat spesimen uji tarik baik untuk sambungan FSW dengan variabel putaran *tools* maupun sambungan FSW dengan variabel kecepatan, masing-masing sebanyak 3 buah. Spesimen Uji tarik mengacu ASTM E8M. Dari pengujian tarik dengan variasi putaran *tools* akan didapatkan sifat mekanik bahan, diantaranya adalah tegangan maksimum dan keuletan dari suatu bahan. Hasil uji tarik seperti ditunjukkan pada tabel 3.

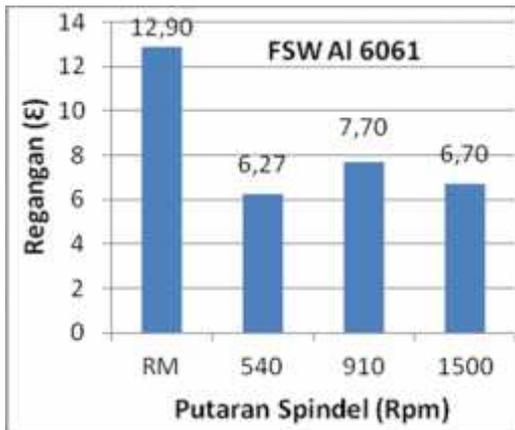
Tabel 3: Hasil uji tarik.

Al	v (mm/mnt)	$n_1, n_2, n_3$ (rpm)	y (MPa)	u (MPa)	(%)
6061	18	RM	350	381	12,90
		540	139	162	6,27
		910	157	176	7,70
		1500	155	174	6,70

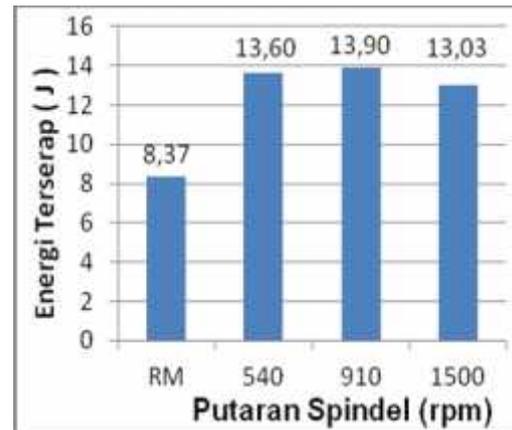
Pada gambar 9 menunjukkan grafik tegangan dengan beberapa variabel putaran *tools*. Dari hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa proses pengelasan FSW menyebabkan penurunan tegangan tarik. Hal ini disebabkan karena distribusi tegangan sisa yang terjadi pada permukaan bahan tidak seimbang, sehingga tegangan sisa tekan ini tidak dapat mengimbangi tegangan tarik pada bahan pada saat terjadi pembebanan tarik statis dari luar.



Gambar 9: Grafik tegangan tarik vs. putaran tools



Gambar 10: Grafik regangan vs. putaran tools



Gambar 11: Grafik Energi Terserap vs. Putaran Tools

### 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.

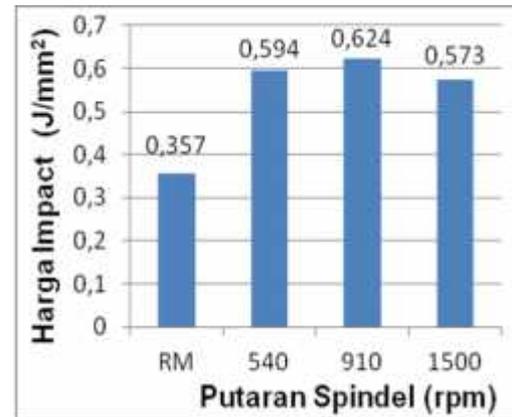
Pengujian impact menggunakan metode Charpy, Standar benda uji mengacu ASTM E 23, *type A*. Panjang lengan ayun sebesar 0,8 meter dan berat palu 20 kilogram.

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

Al	v (mm/mnt)	$n_1, n_2, n_3$ (rpm)	Energi Terserap (J)	Harga Impact ( $J/mm^2$ )
6061	18	RM	8,37	0,357
		540	13,60	0,594
		910	13,90	0,624
		1500	13,03	0,573

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

Pada sambungan *FSW* dengan variasi putaran spindel mulai dari 540 rpm, 910 rpm, menunjukkan ada peningkatan kekuatan impact yang signifikan. Peningkatan kekuatan impact masing-masing sebesar  $0,594 J/mm^2$  dan  $0,624 J/mm^2$ . Selanjutnya pada putaran 1500 rpm terjadi penurunan kekuatan impact.



Gambar 12: Grafik Nilai Impact vs. Putaran Tools

### 4. Kesimpulan

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

1. Pada daerah logam las (*weld metal*) terjadi penghalusan butir akibat rekristalisasi. Fase yang terbentuk yaitu  $-Al + Al-Si-Mg$ .
2. Hasil pengujian tarik pada sambungan *FSW* dengan variabel putaran *tools* sebesar : 540, 910, 1500 (rpm) dan kecepatan 18 mm/menit menunjukkan kekuatan tarik optimum pada putaran spindel 910 rpm yaitu sebesar 176 Mpa.
3. Hasil pengujian *impact* menunjukkan nilai *impact* optimum pada putaran spindel 910 rpm yaitu sebesar  $0,624 J/mm^2$ .

### Ucapan Terima Kasih

1. Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi yang memberikan dukungan dana melalui program Penelitian Hibah Bersaing tahun 2015.
2. 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, *Journal 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.