

# PENGARUH PUTARAN SPINDLE TERHADAP KEKUATAN TARIK ALUMINIUM DAN TEMBAGA MURNI BUTT JOINT FRICTION STIR WELDING

M. Kautsar Harish, Djarot B. Darmadi, Bayu Satriya Wardhana  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang  
Jl. MT Haryono 167, Malang 65145  
E-mail: m.kautsar.harish@gmail.com

## Abstract

*Friction Stir Welding* pertama kali dikenalkan oleh *The Welding Institute* (TWI) pada tahun 1991 di Inggris. *Friction Stir Welding* merupakan salah satu dari beberapa *welding method* yang menggunakan fase *solid-state* atau dapat juga dibilang sebagai fase *intermetallic* dari material yang tidak pada lazimnya dipakai dalam menyambungkan logam. *Friction stir welding* (FSW) mulai banyak dikembangkan karena merupakan metode yang dapat menyambungkan dua buah material yang berbeda jenis. Untuk saat ini metode FSW terus dikembangkan agar nantinya didapatkan hasil pengelasan yang optimal, maka dari itu penelitian ini dibuat dan dikhususkan untuk mencari parameter permesinan yang sesuai untuk menyambungkan material yang berbeda. Penelitian ini menggunakan sambungan *butt joint* dengan material aluminium dan tembaga murni dengan parameter permesinan yakni kecepatan *spindle* 1096 rpm; 1452 rpm; 1842 rpm; dan 2257 rpm; 2906 rpm. Dari penelitian didapatkan hasil kekuatan tarik optimal pada kecepatan putaran *spindle* 1452 rpm dengan kekuatan tarik rata – rata sebesar 61.72 MPa.

**Keywords:** *Friction Stir Welding, Dissimilar Metal, butt joint, Kecepatan Putaran Spindle, Aluminium Murni, Tembaga Murni, Kekuatan Tarik.*

## PENDAHULUAN

Dalam dunia industri yang semakin maju, tuntutan sebuah proses yang sangat sederhana dan murah namun dapat menciptakan hasil yang maksimal. Proses yang tergolong sederhana dan murah adalah proses pengelasan yang dimana dewasa ini dikembangkan untuk menyambungkan dua buah material yang berbeda. Berdasarkan *Welding Science and Technology* pengelasan merupakan proses menggabungkan dua material lewat penggabungan lokal dari kombinasi yang tepat antara temperatur, tekanan dan kondisi metalurgi. Dari temperatur dan tekanan, mulai dari pengelasan dengan temperatur tinggi tanpa tekanan sampai tekanan tinggi dengan temperatur yang rendah [2]. Aluminium dan tembaga murni merupakan contoh dari beberapa jenis material yang susah disambungkan atau dilas.

Pengelasan *Friction Stir Welding* pertama kali dikenalkan oleh *The Welding Institute* (TWI) pada tahun 1991 di Inggris. *Friction Stir Welding* merupakan salah satu dari beberapa *welding*

*method* yang menggunakan fase *solid-state* atau dapat juga dibilang sebagai fase *intermetallic* dari material yang tidak pada lazimnya dipakai dalam menyambungkan logam. *Friction Stir Welding* merupakan salah satu jenis pengelasan yang dapat menyambungkan dua buah material yang berbeda. Prinsip pengelasan ini memanfaatkan gesekan dan tekanan yang dapat menciptakan panas. Gesekan dan tekanan terjadi akibat putaran dari *tool* yang digunakan untuk menciptakan panas, sedangkan putaran *tool* terjadi akibat putaran dari *spindle*.

Proses pengelasan pada FSW bekerja di bawah suhu *melting* dari material benda kerja yaitu sekitar 80%-90% dari titik *melting*-nya. [1] mereka juga berpendapat bahwa suksanya proses FSW pada AA2195 akan menambah pengaplikasian material AA2195 ke berbagai komponen struktur terutama pada industri *aerospace* karena material AA2195 memiliki massa yang ringan dan kekuatan yang tinggi.

Pada proses *friction stir welding* (FSW), panas dihasilkan dari gesekan antara *tool* dan benda kerja. Benda kerja akan menerima 95%

dari panas total sedangkan *tool* akan menerima 5% dari panas total. Panas yang mengalir pada benda kerja akan menentukan kualitas dari lasan, *residual stress* dan distorsi, Sedangkan panas yang mengalir pada *tool* akan berpengaruh pada keawetan *tool*. [1]

Dalam penyambungan logam hal yang sering dipertanyakan adalah kekuatan tarik dari sambungan las itu sendiri. Dalam FSW terdapat beberapa parameter yang dapat mempengaruhi kekuatan tarik antara lain : kecepatan putaran *spindle*, tekanan, *offset*, kecepatan pengelasan, dan lain – lain.

Dari beberapa hal diatas maka dirasa perlu adanya penelitian mengenai pengaruh kecepatan putaran *spindle* terhadap kekuatan tarik sambungan las temu antara aluminium murni dengan tembaga murni.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental (*experimental research*), yaitu melakukan penelitian pada objek yang dituju untuk mencari data dalam suatu proses melalui eksperimen / uji coba, yang dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh *spindle speed* (kecepatan poros) pada daerah sambungan las antara aluminium dengan tembaga murni terhadap kekuatan tarik yang dihasilkan oleh pengelasan *Friction Stir Welding*. Selain itu juga telah dilakukan pengkajian terhadap dasar teori dan literatur yang sudah ada.

## VARIABEL PENELITIAN

Pada penelitian ini ada tiga macam variabel yang digunakan antara lain: variabel bebas, variabel terikat dan variabel terkontrol. Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi nilai dari variabel terikat, sedangkan besarnya dapat ditentukan oleh peneliti dan divariasikan untuk mengetahui hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat dari objek penelitian ini. Variabel bebas yang digunakan adalah Kecepatan putaran *spindle* : 1096 rpm, 1452 rpm, 1842 rpm, 2257 rpm, dan 2906 rpm.

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas yang telah ditentukan oleh penulis dalam penelitian ini. Dan variabel terikatnya adalah kekuatan tarik (Mpa) dan variabel terkontrol adalah variabel yang dijaga konstan selama pengujian berlangsung yaitu dimensi *tool*, celah sambungan las, kerataan permukaan spesimen.

## ALAT DAN BAHAN PENELITIAN

Mesin yang digunakan adalah mesin *milling universal* X6328B dengan menggunakan *tool* pengelasan menggunakan material HSS. Material yang digunakan dalam penelitian ini aluminium dan tembaga murni. Benda kerja hasil

pengelasan diuji dengan mesin uji tarik. Material yang digunakan adalah aluminium murni dan tembaga murni. Saat ini tembaga yang paling murni mempunyai konduktivitas listrik 103%. Pada tahun 1950-an nilai hantaran panas tembaga pada 20°C sebesar 0,923 cal/(cm.derajat.detik) dan menjadi lebih baik pada tahun 1970-an menjadi 0,941 cal/(cm.derajat.detik) [4]. Sedangkan, aluminium mempunyai beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan logam lain. Aluminium termasuk logam ringan yang mempunyai kekuatan tinggi, tahan korosi, dan merupakan konduktor listrik yang baik [5]. Gambar 1. dan 2. serta hasil uji komposisi menjelaskan jenis dan sifat sifat aluminium dan tembaga murni yang dipakai pada penelitian ini.

Paduan	Komposisi kimia utama (%)	Sifat-sifat mekanik setelah penganilan			Penggunaan
		Kekuatan tarik ( $\frac{kg}{mm^2}$ )	Kekuatan mulur ( $\frac{kg}{mm^2}$ )	Perpanjangan (%)	
Kuningan 70-30	70Cu-30Zn	32,6	11,5	60	Emas tiruan, penarikan dalam
Kuningan 60-40	60Cu-40Zn	37,8	12,0	45	Pemrosesan logam tipis
Kuningan pemotongan bebas	61,3Cu-35,5Zn-3,0Pb	34,3	12,6	53	Sekrup, baut
Kuningan Admiralty	71,0Cu-28,0Zn-1,0Sn	32,5	9,4	65	Kondensor, kuningan kapal dengan seng tinggi untuk komponen kapal
Bronz Fosfor	94,8Cu-5,0Sn-0,2P	35,0	14,0	58	Roda gigi, pegas
Bronz Mangsan	58,5Cu-39,2Zn-1,0Sn-1,0Pb-0,3Mn	45,5	21,0	35	Poros balang-balang kapal
Bronz Aluminium	95,0Cu-5,0Al	38,6	15,4	65	Untuk industri kimia, bahan bahan korosi
Perak Mangsan	65,0Cu-17,0Zn-18,0Ni	40,7	17,5	40	Untuk penarikan dalam, perhiasan, pengukur
Cupronickel	70,0Cu-30,0Ni	40,0	17,5	45	Tembaga putih, pipa tahan korosi
Bronz Berilium	98,0Cu-2,0Be	48,5	24,6	35	Paduan pemuasan, pegas

**Gambar 1.** Paduan tembaga dan penggunaannya [4]

Berikut ini merupakan komposisi kimia dari tembaga yang dipakai : Cu : 99.19 % ± 0.09 ; P : 0.20 % ± 0.02 ; Ca : 0.21 % ± 0.02 ; Fe : 0.17 % ± 0.005 ; Ni : 0.11 % ± 0.003 ; Ba : 0.1 % ± 0.01 ; Cr : 0.041 % ± 0.003 ; Ti : 0.01 % ± 0.003

Sifat - sifat	Kemurnian Al (%)			
		99,996	> 99,0	
Masa jenis (20°C)	26,989	2,71		
Titik cair	660,2	653 – 657		
Panas jenis (cal/g.°C) (100°C)	0,2226	0,2297		
Hantaran listrik (%)	64,94	59 (dianil)		
Tahanan listrik koefisien temperatur (°C)	0,00429	0,0115		
Koefisien pemuaian (20-100°C)	$23,86 \times 10^{-6}$	$23,5 \times 10^{-6}$		
Jenis Kristal, konstanta kisi	<i>fcc</i> , $\alpha = 4,013 \text{ kX}$	<i>Fcc</i> , $\alpha = 4,04 \text{ kX}$		
Sifat - sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,996	>99,0		
	Dianil	75% dirol dingin	Dianil	H18
Kekuatan tarik ( $kg/mm^2$ )	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan mulur (0,2%) ( $kg/mm^2$ )	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell	17	27	23	44

**Gambar 2.** Sifat fisik dan sifat mekanik aluminium [4]

Sedangkan, komposisi aluminium yang dipakai sebagai berikut : Al : 99.1 % ; Fe : 0.508 % ; Si : 0.132 % ; Mn : 0.0879 % ; Cu : 0.0852 % ; Mg : 0.0189 % ; Ti : 0.0172 % ; Zn : 0.0072 % ; Cr : 0.0012 % ; Lainnya : 0.0424 %

## PROSEDUR PENELITIAN

Aluminium dan tembaga sebagai bahan yang telah disediakan dalam penelitian ini dipotong dengan ukuran 125x80 mm dengan

tebal 3 mm dan dilakukan proses pengelasan berdasarkan parameter yang telah ditentukan. Setelah proses *welding* maka dilakukan pembentukan spesimen uji tarik, dimensi spesimen disamakan dengan standart spesimen uji tarik AWS B4 menggunakan mesin CNC 3 axis. Selanjutnya spesimen dilakukan pengujian tarik menggunakan mesin uji tarik. Data yang diperoleh dari hasil penelitian dianalisis menggunakan metode *Multiple Regresion Linier*, analisis grafik, dan foto makro. Sehingga dapat di tarik kesimpulan terhadap hasil yang didapatkan dari pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dari pengujian tarik pada spesimen setelah dilakukan proses pengelasan didapatkan hasil sebagai berikut :

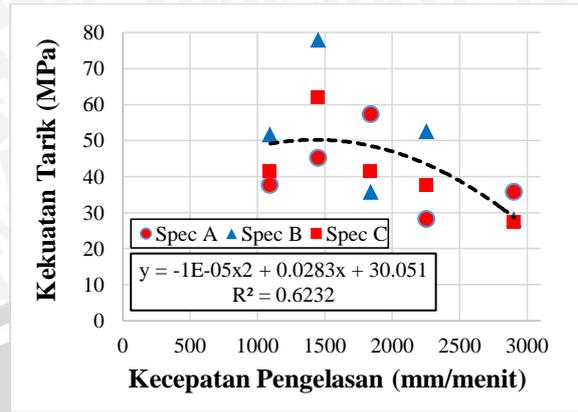
**Tabel 1.** Data Hasil Uji Tarik Spesimen Las

Kecepatan Putaran Spindle (rev/min)	Kekuatan Tarik (MPa)		
	A	B	C
1096	37.59	51.69	41.35
1452	45.11	78.01	62.03
1842	57.33	35.71	41.35
2257	28.20	52.63	37.59
2906	35.71	28.20	27.26
Logam Induk	67.67		

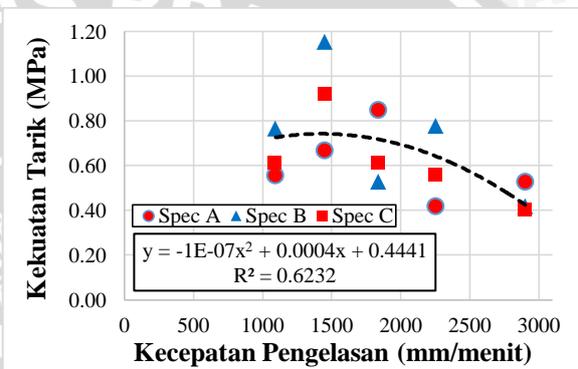
**Tabel 2.** Tabel Prosentase Normalisasi Kekuatan Tarik terhadap Kekuatan Tarik Logam Induk Aluminium Murni

Kecepatan Putaran Spindle (rev/min)	Kekuatan Tarik (MPa)		
	A	B	C
1096	0.56	0.76	0.61
1452	0.67	1.15	0.92
1842	0.85	0.53	0.61
2257	0.42	0.78	0.56
2906	0.53	0.42	0.40

Dan dibawah ini merupakan hasil dari analisa grafik dari data pada tabel 1. Dan tabel 2.



**Gambar 3.** Hubungan Kecepatan Putaran Spindle Terhadap Kekutan tarik Sambungan Las pada Aluminium dengan Tembaga Murni



**Gambar 4.** Kekuatan Tarik yang Dinormalisasi terhadap Logam Induk Aluminium Murni

Pada gambar 3. dan gambar 4. sumbu X menyebutkan nilai kecepatan putaran spindle (rpm). Apabila semakin ke kanan titiknya maka nilai putaran spindle semakin besar atau lebih cepat. Sedangkan, untuk sumbu “Y” menjelaskan seberapa besarnya kekuatan tarik pada spesimen (Mpa). Maka dapat dikatakan semakin keatas suatu titik pada variabel maka nilai kekuatan tarik material tersebut semakin besar.

Dari gambar 3. dapat diurutkan parameter yang menghasilkan nilai kekuatan tarik paling tinggi sampai dengan paling rendah pada kecepatan putar 1452 rpm, 1842 rpm, 1096 rpm, 2257 rpm, 2906 rpm. Dapat diuraikan lagi bahwa terjadi kecenderungan peningkatan nilai kekuatan tarik pada kecepatan putaran spindle antara 1096 rpm sampai dengan 1452 rpm hal ini dikarenakan naiknya *heat input*, namun kekuatan tarik turun pada kecepatan putar 1842 rpm sampai 2906 rpm dikarenakan *heat input* yang terlalu besar mengakibatkan fluiditas material meningkat lalu material tidak teraduk padat pada daerah las tapi terlempar keluar.

Dalam gambar 3. pada titik 1096 rpm mempunyai nilai kekuatan tarik rata – rata 43.55 MPa lalu pada titik 1452 rpm mengalami kenaikan nilai kekuatan tarik rata – rata sebesar 61.72 MPa. Pada kecepatan putar 1842 rpm



dengan nilai kekuatan tarik rata – rata 44.80 MPa mulai mengalami penurunan pada kecepatan putar 2257 rpm dengan kekuatan tarik rata – rata 39.47 MPa dan pada 2906 rpm dengan nilai kekuatan tarik sebesar 30.39 MPa.

Dari hasil gambar grafik 3. Dan 4. dapat dilihat pengaruh dari kecepatan putaran *spindle* terhadap nilai kekuatan tarik sambungan las antara aluminium dengan tembaga. Pada dasarnya kecepatan putaran *spindle* mempengaruhi *heat input* pada proses pengelasan *friction stir welding*. Sesuai dengan rumus *heat input* yang dikemukakan oleh D. Lohwasser dan Z. Chen :

$$Q = \frac{2}{3} \pi \omega \tau_{contact} (R_{shoulder}^3 + 3R_{probe}^2 H_{probe}) [3](1)$$

$$\tau_{contact} = \mu \times p \quad (2)$$

$$p = \frac{F_z}{A_{tool}} \quad (3)$$

$$\omega = rpm \times \frac{2\pi}{60} \quad (4)$$

$$Q_{total} = Q t \quad (5)$$

dengan:

$Q_{total}$  = Total kalor yang masuk selama proses pengelasan (J)

$Q$  = Kalor yang dihasilkan setiap detiknya (J/s)

$t$  = waktu pengelasan (s)

$\omega$  = Kecepatan Sudut (rad/s)

$R_{shoulder}$  = Jari-jari *shoulder* (m)

$R_{probe}$  = Jari-jari *probe* (m)

$H_{probe}$  = Tinggi *probe* (m)

$\tau_{contact}$  = Tegangan geser antara *tool* dengan material ( $N/m^2$ )

$\mu$  = Koefisien gesek material

$F_z$  = Gaya aksial *tool* terhadap benda kerja (N)

$A_{tool}$  = Luas permukaan *tool* ( $m^2$ )

Dari uraian rumus *heat input* kecepatan putaran *spindle* sangat mempengaruhi *heat input* yang dihasilkan. Dengan kata lain semakin tinggi kecepatan putaran *spindle* maka semakin tinggi pula *heat input* pada proses pengelasan dan apabila kecepatan putaran *spindle* semakin kecil maka *heat input* yang dihasilkan semakin kecil. Pada pengelasan *friction stir welding* yang memanfaatkan transformasi material padat-cair, *heat input* yang digunakan harus sesuai agar menghasilkan kekuatan tarik yang optimal.

Pada tabel 2. dan gambar 4. merupakan grafik yang menunjukkan hasil normalisasi kekuatan tarik sambungan las dengan kekuatan tarik logam induk yang kekuatannya terendah dalam hal ini yang dimaksudkan adalah aluminium dengan kekuatan tarik sebesar 67.67 MPa. Tabel dan gambar ini juga untuk melihat seberapa efisien proses pengelasan dengan parameter tersebut.

Analisis foto makro didalam pembahasan ini digunakan untuk melihat lebih detail material las telah berikatan secara mekanik atau tidak. Berikut ini merupakan hasil foto makro patahan setelah spesimen diuji tarik.

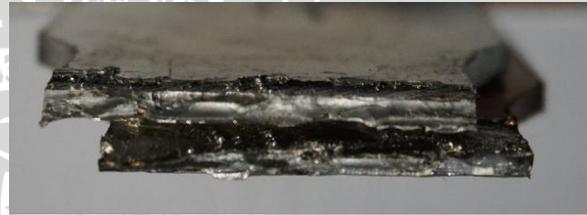
a. Putaran *Spindle* 1096 (rpm)



**Gambar 5.** Foto Makro Spesimen Setelah Uji Tarik Putaran *Spindle* 1096 rpm

Pada gambar 5. menunjukkan bahwa pada putaran *spindle* 1096 rpm terjadi ikatan mekanik pada sambungan las namun terlihat kurang baik karena permukaan patahan yang rata menunjukkan tidak terjadinya perubahan pada permukaan sisi temu las an dan tidak terjadinya kemuluran pada sambungan las sehingga dengan kata lain kekuatan tariknya kurang optimal dikarenakan ikatan mekanik telah terjadi namun kurang maksimal.

b. Putaran *Spindle* 1452 (rpm)



**Gambar 6.** Foto Makro Spesimen Setelah Uji Tarik Putaran *Spindle* 1452 rpm

Gambar 6. memperlihatkan permukaan spesimen setelah patah pada putaran *spindle* 1452 rpm. Permukaan spesimen yang tidak rata pada gambar diatas menunjukkan terjadi kemuluran pada sambungan las saat proses uji tarik sehingga hasil kekuatan tariknya meningkat. Pada permukaan juga terlihat pengecilan dimensi pada permukaan yang dapat mengindikasikan kemuluran pada material saat diuji tarik. Hal ini juga dilihat bahwa patahan terjadi sedikit kearah aluminium namun tetap pada daerah *heat affected zone* dari pengelasan ini.

c. Putaran *Spindle* 1842 (rpm)



**Gambar 7.** Foto Makro Spesimen Setelah Uji Tarik Putaran *Spindle* 1842

Dapat dilihat pada gambar 7. bahwa pada putaran *spindle* 1842 rpm mulai terjadi persebaran masa aluminium dengan tembaga hal ini dapat dilihat pada permukaan patahan mulai tercipta banyak warna tembaga dan aluminium pada kedua sisinya. serta mulai terjadinya *void* disela – sela aluminium dan tembaga seperti yang ditunjukkan oleh lingkaran merah, hal ini terjadi akibat banyaknya volume aluminium yang terbuang akibat panas yang diterima aluminium terlalu tinggi sehingga aluminium terlalu cair. Hal ini mengakibatkan menurunnya nilai kekuatan tarik dari sambungan las.

d. Putaran *Spindle* 2257 (rpm)



**Gambar 8.** Foto Makro Spesimen Setelah Uji Tarik Putaran *Spindle* 2257

Pada gambar 8. memperlihatkan bahwa pada putaran *spindle* 2257 rpm mulai terjadi persebaran massa tembaga dan aluminium pada kedua sisi dikarenakan terlalu besarnya *heat input* saat proses pengelasan yang mengakibatkan kedua logam terlalu cair. Serta dalam gambar juga terlihat banyaknya *void* atau rongga didalam sambungan las yang mengakibatkan awal dari patahan yang dapat menurunkan nilai kekuatan tarik sambungan las.

e. Putaran *Spindle* 2906 (rpm)



**Gambar 9.** Foto Makro Spesimen Setelah Uji Tarik Putaran *Spindle* 2906

Gambar 9. menunjukkan permukaan patahan pada putaran *spindle* 2906 rpm bahwa terjadinya persebaran aluminium dan tembaga dalam jumlah yang besar dimana hal ini dapat

dilihat dari kedua sisi spesimen, aluminium banyak terisi oleh tembaga dan pada sisi tembaga banyak terisi oleh aluminium hal ini juga dibarengi dengan makin banyaknya *void* yang terjadi seperti yang ditunjukkan lingkaran merah. Hal ini dikarenakan kedua material ini tidak berikatan secara metalurgi namun hanya berikatan secara mekanik. Banyaknya *void* dapat mengakibatkan semakin rendahnya hasil kekuatan tarik sambungan las pada variasi putaran *spindle* 2906 rpm.

## KESIMPULAN

Dari penelitian diatas yang terlebih telah didiskusikan pada bagian hasil dan pembahasan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari penelitian ini dapat dilihat bahwa putaran *spindle* mempengaruhi nilai kekuatan tarik sambungan las antara aluminium dengan tembaga.
2. Dengan menggunakan kecepatan putaran *spindle* 1452 rpm merupakan putaran yang menghasilkan *heat input* ideal karena menghasilkan kekuatan tarik yang tinggi.
3. Kecepatan putar dibawah 1096 rpm dan diatas 1842 rpm tidak direkomendasikan dikarenakan panas yang dihasilkan kurang ideal sehingga nilai kekuatan tariknya rendah.
4. Pada putaran 2257 rpm sampai dengan 2906 rpm kekuatan tarik menurun disebabkan pada foto makro patahan terjadi *void* didalam sambungan las, hal ini menyebabkan turunnya nilai kekuatan tarik. Dikarenakan *void* dapat menyebabkan initial crack ketika pengujian tarik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chao, Qi dan Tang, *Heat Transfer in Friction Stir Welding-Experimental and Numerical Studies*, Columbia, University of South Carolina.
- [2] *Introduction to Welding Technology, Welding Science and Technology*, Chapter 1, p. 1-28.
- [3] Lohwasser, D. dan Chen, Z., 2009, *Friction Stir Welding from basic to applications*, Germany, AIRBUS.
- [4] Surdia, Tata dan Saito, Shinroku, 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*, Jakarta, Pradnya Paramita.
- [5] Wiryosumarto, Harsono dan Okumura, Toshie, 1994, *Teknologi Pengelasan Logam*, Jakarta, Pradnya Paramita.