

---

# PENGARUH PUTARAN DAN KECEPATAN TOOL TERHADAP SIFAT MEKANIK SAMBUNGAN TUMPUL LAS FSW TAK SEJENIS ANTARA AL 2024-T3 DENGAN AL 1100

**Hariyanto**

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang  
Jl. Prof.Sudarto,S.H, Tembalang.Kotak Pos 6199/smg,Semarang 50329, Telp.7474417, 7466420  
(Hunting).Fax 7472396

## **Abstrak**

*Aluminium 2024-T3 merupakan jenis aluminium paduan yang banyak digunakan untuk struktur seperti konstruksi pesawat terbang, kapal dan mobil, karena mempunyai banyak keunggulan seperti kekuatan tarik relatif tinggi, sifat mampu bentuk (formability) baik, tahan korosi dan merupakan logam ringan. Namun demikian salah satu kelemahan Al 2024-T3 adalah sifat mampu las (weldability) rendah yang ditandai dengan terjadinya retak panas (solidification cracking ) saat pengelasan menggunakan las busur listrik . Pengelasan tak sejenis antara Al 2024-T3 dan Al 1100 mempunyai tingkat kesulitan yang tinggi akibat perbedaan metalurgi dan sifat fisika logam seperti konduktivitas termal, koefisien muai termal dan masa jenis. Penelitian ini bertujuan mengembangkan teknik penyambungan logam tak sejenis antara Al 2024-T3 dengan Al 1100 dengan menggunakan las FSW.*

*Proses FSW dilakukan pada sambungan tumpul (butt Joint ) tak sejenis antara pelat aluminium paduan Al 2024-T3 dengan Al 1100 dan ukuran pelat 160 x 110 x 4,3 mm dengan arah las sepanjang 110 mm. Parameter las yang digunakan adalah putaran tool 1450, 1850 dan 2250 rpm dengan kecepatan maju 6 mm/min dan 12 mm/min Selanjutnya dilakukan pengujian yang meliputi pengamatan uji tarik dan uji fatik*

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kecepatan maju 6 mm/min, peningkatan putaran tool dari 1450 rpm ke 1850 rpm menyebabkan kenaikan kekerasan dan tegangan tarik dan selanjutnya terjadi penurunan jika putaran dinaikan menjadi 2250 rpm. Kecenderungan yang sama terjadi kecepatan maju 12 mm/min . Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa nilai optimum putaran tool terjadi pada 1850 rpm ditandai dengan kekerasan, tegangan tarik dan ketahanan terhadap laju perambatan retak yang paling baik.*

**Kata kunci :** FSW, aluminium, putaran dan kecepatan.

## **Pendahuluan**

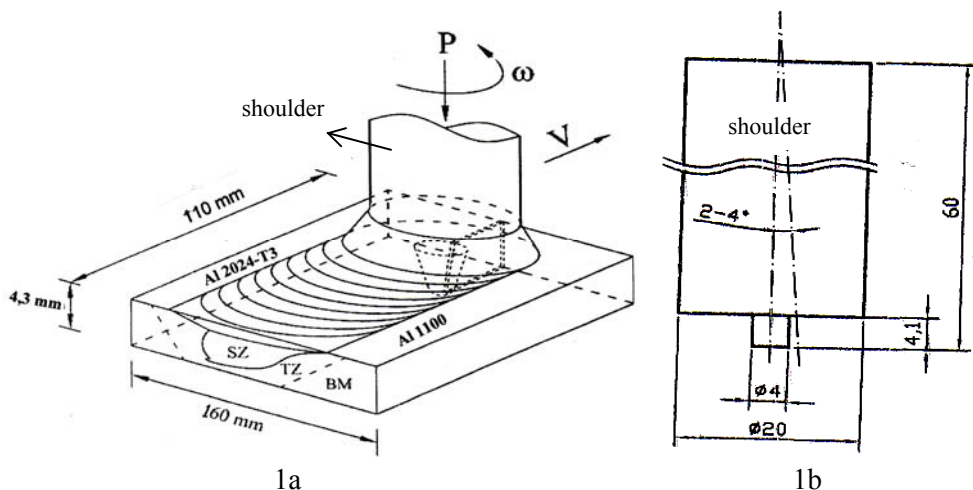
Aluminium merupakan salah satu logam yang sangat penting di bidang teknik terutama untuk bahan struktur atau mesin, sebagai contoh struktur pesawat terbang, kapal, otomotif. Aluminium paduan seperti Al 2024-T3 yang mempunyai kekuatan tinggi setelah mengalami perlakuan panas akan tetapi sifat weldability rendah sehingga sangat sulit untuk disambung dengan cara pengelasan cair atau busur listrik seperti pada las MIG (*Metal inert Gas*) dan las TIG (*tungsten Inert Gas*), Hal ini disebabkan karena saat pengelasan aluminium seri 2xxx terjadi retak panas (*liquation cracking* ) saat proses pembekuan berlangsung akibat adanya segregasi Cu menjadi struktur dendritik aluminium. Upaya untuk memperbaiki telah dikembangkan proses pengelasan keadaan lumer seperti teknik *friction stir welding* dan mampu mengelas berbagai aluminium paduan yang sulit disambung dengan proses pengelasan busur listrik.

Friction stir welding (FSW) telah dipatenkan oleh *The Welding Institute* (TWI) pada tahun 1991 (Sutton 2004). Proses FSW dapat diharapkan karena rendahnya distorsi sepanjang garis las dan sifat mekanik yang baik seperti pada daerah pengaruh panas (HAZ), tidak ada asap atau percikan, penyusutan rendah, hemat energi serta biaya operasional rendah. FSW tidak membutuhkan bahan pengisi dan relatif mudah untuk dibentuk namun masih mempunyai batasan yaitu benda harus kaku dan kondisi harus terjepit saat proses pengelasan.

Kecepatan putaran *tool* dalam proses FSW akan menentukan kualitas lasan, karena berpengaruh terhadap besarnya masukan panas saat proses pengelasan dan dapat memberikan perubahan terhadap sifat-sifat mekanik dan mikrostruktur daerah sambungan. (Cavaliere dkk, 2006).

**Metodologi**

Material dipilih lembaran pelat aluminium ukuran 160 x 110 x 4,3 mm dengan arah las memanjang 110 mm serta komposisi kimia Al 2024-T3 dan Al 1100 ditunjukkan pada tabel I. Peralatan pengelasan menggunakan mesin milling /fris dan *shoulder* dari bahan *high speed steel* (HSS) diameter Ø20 mm, diameter pin Ø 4 mm panjang 4,1 mm. Untuk melakukan proses pengelasan FSW dua pelat tak sejenis antara Al 2024-T3 dan Al 1100 ditempatkan berimpit diatas landasan bahan dari baja lunak yang terletak dimeja mesin fris dan dijepit cukup kuat agar tidak terpisah atau terbang. *Shoulder* dipasang pada spindle mesin fris dengan menggunakan pemegang kolet pada posisi 2<sup>o</sup> terhadap sumbu utama mesin seperti pada gambar 1 .



Gambar 1a proses pengelasan dan 1b posisi shoulder (Khaled 2005).

Proses pengelasan dilakuan bervariasi putaran dan kecepatan *tool* 1450, 1850 dan 2250 rpm sedang gerak meja mesin (kecepatan maju) 6 mm/min dan 12 mm/min. Hasil proses pengelasan kemudian diuji mekanik yaitu uji tarik dan fatik.

Tabel I Komposisi kimia Al 2024-T3 dan Al 1100

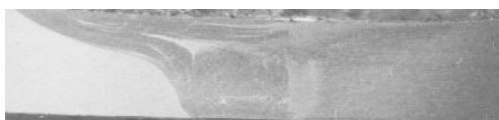
Material	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni
2024-T3	0,097	0,344	3,86	0,862	1,14	0,037	0,015
1100	0,097	1,22	0,00	0,096	0,008	0,004	0,015

Zn	Sn	Ti	Pb	Be	Ca	Sr	V	Zr
0,176	0,002	0,039	0,000	0,002	0,001	0,00	0,0081	0,0124
0,000	0,002	0,006	0,000	0,000	0,001	0,000	0,007	0,0163

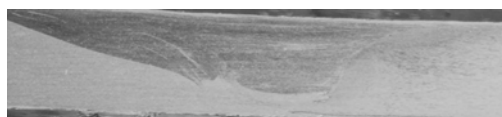
**Hasil dan Pembahasan**

**Mikrostruktur**

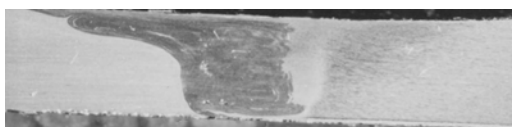
Gambar 2 memperlihatkan struktur makro sambungan las FSW dengan variasi putaran tool yaitu 1450, 1850 dan 2250 rpm dengan kecepatan 6mm/min dan 12 mm/min.



Kec. put 2250 put/min dan kec 6 mm/min 9X



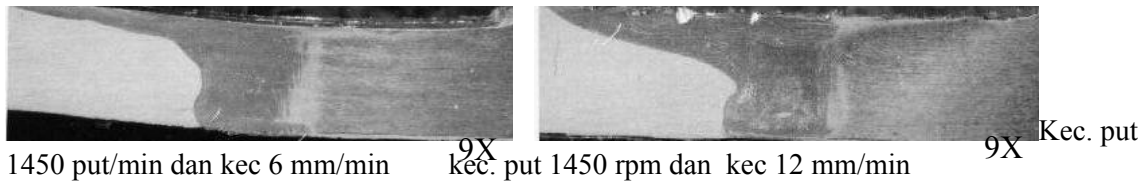
kec. put 2250 rpmdan kec 12 mm/min 9X



Kec. put 1850 put/min dan kec 6 mm/min 9X



kec. put 1850 rpmdan kec 12 mm/min 9X

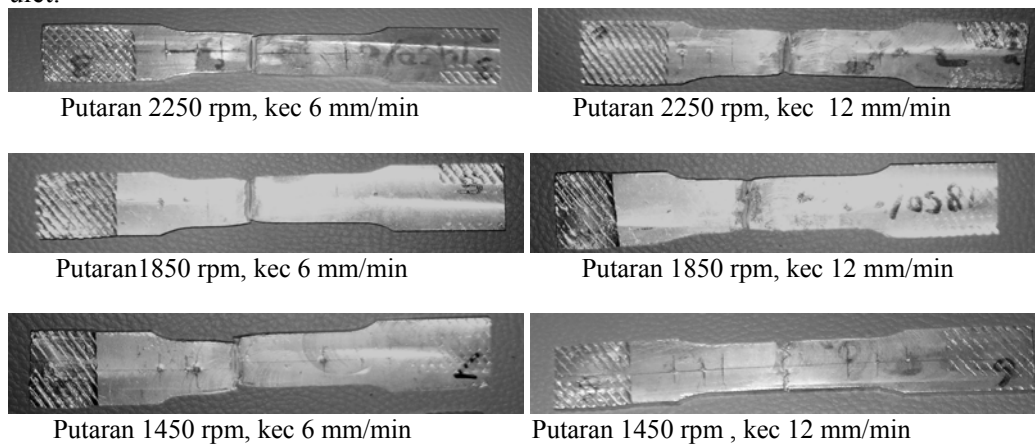


Gambar 2 Makro FSW dengan putaran dan kecepatan *tool* berbeda

Pengamatan makro bertujuan untuk melihat apakah terjadi penyatuan antar Al 2024-T3 dengan Al 1100. Gambar 2 memperlihatkan bahwa proses FSW menghasilkan kedua material menyatu dengan baik tidak terjadi cacat las.

#### Uji Tarik

Setelah proses pengelasan selesai bagian las diuji tarik menurut standar JIS Z2201 dan hasil dari patah uji tarik seperti pada Gambar 3 yang memperlihatkan bentuk patah didaerah pengaruh panas HAZ aluminium seri 1100. Kekuatan uji tarik yang berupa beban dalam satuan kilogram kemudian dibagi dalam satuan luas kemudian dikonversikan dalam satuan MPa dan hasilnya ditabelkan berbentuk tegangan seperti pada tabel 2. Hasil patah benda uji mengalami perpanjangan dan pengecilan didaerah patah, ini menunjukkan bahwa benda uji mempunyai sifat ulet.



Gambar 3 Hasil uji tarik material

Tabel 2 Tegangan maksimum dan yield rata-rata

Bahan	Putaran (rpm)	Kecepatan (mm/min)	$\sigma_{mak}$ (MPa)	$\sigma_y$ (MPa)	(Li-Lo)/Lo (%)
AL 1100	-	-	126,04	83,32	16
-	1450	6	108,45	68,23	13,429
-	1450	12	106,22	73,14	12,286
-	1850	6	120,68	66,44	8,824
-	1850	12	120,31	75,42	11,05
-	2250	6	105,85	54,48	14.054
-	2250	12	105,1	68,9	14.286
AL 2024-T3	-	-	133,1	96,97	7,895

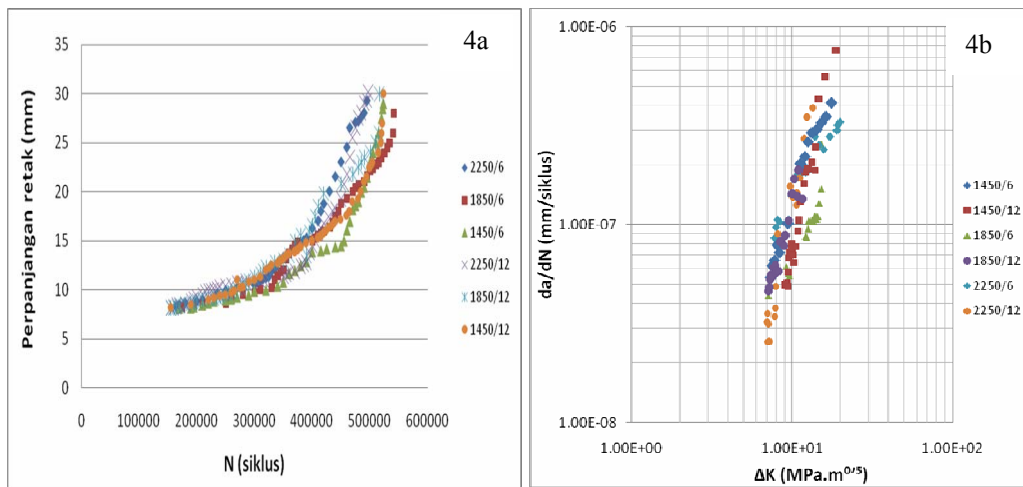
#### Laju Perambatan Retak Fatik

Pengujian fatik dilakukan dengan menggunakan mesin *Shimadzu Hydraulic Servo Pulser*, tipe EHF-EB20-40L. Pengujian ditentukan berdasarkan hasil uji tarik dan stress level dibuat sekitar 30% dari tegangan luluh dan penempatan awal retak di daerah pengaruh panas HAZ karena didaerah ini tegangan tarik paling rendah. Gambar 4a memperlihatkan grafik hubungan antara pertambahan panjang retak (a) sebagai fungsi dari siklus (N) sedang Gambar 4b hubungan

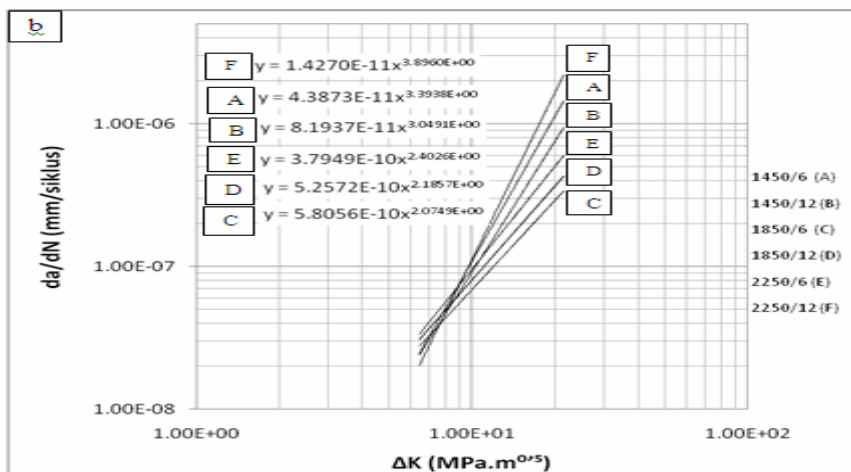
antara faktor intensitas tegangan dan laju perambatan retak dalam skala log pada variasi putaran dan kecepatan

Tabel 3 Umur fatik las pada variasi putaran dan kecepatan maju

PARAMETER		JUMLAH SIKLUS (SIKLUS)
1450 rpm	6 mm/min	524216
	12 mm/min	524100
1850 rpm	6 mm/min	542057
	12 mm/min	517126
2250 rpm	6 mm/min	510067
	12 mm/min	498670



Gambar 4a Hubungan antara pertambahan panjang retak (a) sebagai fungsi dari (N) siklus sedang 4b Grafik titik hubungan antara faktor intensitas tegangan dan laju perambatan retak dalam skala log pada variasi putaran dan kecepatan maju



Gambar 5 Grafik garis hubungan antara faktor intensitas tegangan dan laju perambatan retak dalam skala log pada variasi putaran dan kecepatan maju

Tabel 4 Konstanta persamaan Paris

PARAMETER LAS		A	B
1450 rpm	6 mm/min	4.3873E-11	3.39420
	12 mm/min	8.1937E-11	3.0491
1850 rpm	6 mm/min	5.8056E-10	2.0749
	12 mm/min	5.2572E-10	2.1857
2250 rpm	6 mm/min	3.7949E-10	2.4026
	12 mm/min	1.427E-11	3.896

Garis kecenderungan (*trendline*) pada Gambar 5 merupakan hubungan antara beda factor intensitas tegangan  $\Delta K$  dengan laju perambatan retak ( $da/dN$ ) yang menghasilkan konstanta persamaan Paris dalam skala *log* (*logarithmic*) dan ditabelkan seperti pada tabel 4. Pada kecepatan maju 6 mm/min menunjukkan bahwa umur laju perambatan retak fatik terendah pada putaran 1850 rpm dan kecenderungan naik pada putaran 1450 rpm dan 2250 rpm. Pada kecepatan maju 12 mm/min laju perambatan fatik rendah putaran 1850 rpm dan kecenderungan naik pada putaran 1450 rpm dan 2250 rpm. Dari kedua kecepatan maju yaitu 6 mm/min dan 12 mm/min menunjukkan bahwa pada putaran 1850 rpm laju perambatan retak rendah.

### Kesimpulan

Pada putaran 1850 rpm dan kecepatan maju 6 mm/min laju perambatan retak fatik yang dihasilkan terendah jika harga  $\Delta K > 1 \text{ MPa.m}^{0.5}$ . Siklus fatik yang dicapai sebesar 5420576 siklus dengan laju rambat retak  $\frac{da}{dN} = 5,8056E - 10(\Delta K)^{2,0749}$  dan akan mengalami peningkatan pada putaran 1450 rpm dan 2250 rpm. Pada putaran 2250 rpm dan kecepatan maju 12 mm/min laju perambatan retak fatik terendah jika harga  $\Delta K < 1 \text{ MPa.m}^{0.5}$

### Daftar Pustaka

- ASM Handbook 2003, *Physical metallurgy and processes*, Vol 1, hal 501
- Cavaliere.P, Nobile.R, Panella.F.W, A.Squillace, 2006. *Mechanical and microstructural behavior of 2024 – 7075 Aluminium Alloy Sheets Joined by FSW*. International Journal of Machine Tools and Manufacture.
- Khaled, T., 1995, *An Out sider looks at FSW*, ANM-112N-05-06
- Kou S. (1986) *Welding metallurgy*, hal 216
- Sutton. M.A. Bangcheng Yang, Anthony.P, Reynolds, Junhui Tan,2004. *Banded Microstructure in 2024-T351 and 2524\_T351 Aluminium FSW part II Michanical Characterization*. Material Science and Engineering.
- of aluminium*, University Of Missouri – Columbia In Partial Fulfillment.
- Zehnder.J (1996) *Aluminium: Technology, application, and environment, a profile of a modern metal* (ed), Dietrich.G.Altempohl (Pennsylvania TMS Warrendale)