

Laporan Kegiatan Penelitian

Bidang Ilmu
REKAYASA

**Hibah
PENELITIAN KERJASAMA ANTAR PERGURUAN TINGGI
(HIBAH PEKERTI)**

**Angkatan II - 2004
Tahun ke 2**

**PENINGKATAN KUALITAS PROSES PENGELASAN AL PADUAN 2024 – T3
DENGAN METODE PENGELASAN FRICTION STIR**

Tim Peneliti Pengusul :

**Sulardjaka, ST, MT
Gunawan Dwi Haryadi, ST, MT
Ir. Budi Setiyana, MT**

Tim Peneliti Mitra :

**Ir, Jamasri, PhD
Moch. Noer Ilman, ST, MSc, PhD**

**DIBIYAI PROYEK PENELITIAN HIBAH PEKERTI III/2
DENGAN SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN NOMOR ;
031/SPPP/PP/DP3M/IV/2005
DIREKTORAT PEMBINAAN PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL**

**UNIVERSITAS DIPONEGORO
2005**

UPT-PUSTAK-UNDIP

IMPROVEMENT OF QUALITY WELDING PROCESS OF AA 2024 – T3 BY FRICTION STIR WELDING

Sulardjaka, G.D. Haryadi, B. Setiyana¹⁾
Jamasri, M. N. Ilman²⁾

Friction Stir Welding is new method of welding process. The advantage of this methods is FSW can to joint Aluminum Alloy that can't be joined by fussion welding. FSW process is depend on 3 parameters, that are : welding speed, tool rotation and tool's pressure.

This research aim to investigate the effect of welding speed on crack growth rate. Welding process was carried out on turning machnine that be modified on cross slide. Variation of welding speed are : 2, 4, 6 mm/s on tool rotation 1050 rpm. The tests were performed in a room temperature with a constant load amplitude and the load ratio was maintained to be 0,1. The load frequency was adjusted form 1 – 11 Hz. Crack propagation tests were carried out on 1.4 mm thick of plate Al 2024–T3 center crack tension (CCT) specimens transversal butt joint based on ASTM E647 standart.

The result of this research shown on 1050 rpm rotating tool, highest Paris constant (n) is 3,6857 on welding speed 4 mm/s.

Key word : *Friction Stir Welding, crack growth rate*

¹⁾ Diponegoro University

²⁾ Gadjah Mada University

Contract Number : 031/SPPP/ PP/DP3M/IV/2005

Kata Pengantar

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah, SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan penelitian ini. Penelitian dengan judul “Peningkatan Kualitas Pengelasan Al 2024 – T3 dengan Metode Pengelasan Friction Stir” ini merupakan penelitian yang didanai oleh Program Penelitian HIBAH PEKERTI II/2 tahun 2005.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada pihak – pihak yang telah membantu dalam penelitian ini.

1. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi yang telah memberikan dana bagi terlenggaranya penelitian ini.
2. Ketua LEMLIT UNDIP, Dekan Fakultas Teknik, Ketua Jurusan Teknik Mesin atas dukungan dan bantuannya.
3. Ketua Laboratorium Bahan Teknik dan Laboratorium Proses Produksi UNDIP beserta seluruh staf laboratorium atas ijin dan bantuannya dalam pelaksanaan penelitian ini.
4. Ketua Lab. Bahan Teknik UGM dan beserta seluruh staf laboratorium atas ijin dan bantuannya bagi pelaksanaan penelitian di TPM.
5. Bapak Dwi Marta Nurjaya dari laboratorium metalurgi UI atas bantuannya dalam foto SEM.
6. Mas Wisnu, Muhiban, Wawan, Arif dan Yohan atas bantuannya dalam pengambilan data.
7. Pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu

Semoga hasil penelitian ini dapat menambah khasanah keilmuan dan bermanfaat bagi kita semua..

Semarang 1 November 2005

Tim Peneliti

DAFTAR ISI

	halaman
Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar isi	iv
Daftar Tabel	vi
Daftar Gambar	viii
Daftar Lampiran	ix
Arti Lambang dan Singkatan	xii
Intisari	x
Abstract	xi
	xii
BAB I PENDAHULUAN	
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Tujuan Penelitian	3
I.3. Pembatasan Masalah	3
BAB II DASAR TEORI	
II.1. Tinjauan Pustaka	4
II.2. Landasan Teori	5
II.2.1. Pengelasan	5
II.2.1.1. Las FSW	7
II.2.1.1.1. Struktur Mikro Hasil Pengelasan FSW	10
II.2.1.1.2. <i>Friction Stir Welding Tool</i>	11
II.2.1.1.3. Kelebihan dan Kekurangan FSW	12
II.3. Mekanika Perpatahan	13
II.3.1. Laju Perambatan Retak	16
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT	
III.1. Tujuan Penelitian	20
III.1. Manfaat Penelitian	20

BAB IV METODE PENELITIAN	
IV.1. Proses Pengelasan FSW	21
IV.2. Pengujian Perambatan Retak	23
IV.2.1. Mesin yang Digunakan	23
IV.2.2. Jalannya Pengujian	24
IV.2.3. Pengambilan Data Pengujian Perambatan Retak	25
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	30
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	
VI.1. Kesimpulan	39
VI.2. Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40

DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2.1. Komposisi Kimia AA 2024 – T3	7
Tabel 2.2. Sifat Mekanis AA 2024 – T3	7
Tabel 5.1. Nilai Konstanta Paris	35

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1. Struktur Mikro AA 2024 – T3	8
Gambar 2.2. Diagram Fasa Al – Cu	7
Gambar 2.3. Proses <i>friction Stir Welding</i>	10
Gambar 2.4. Klasifikasi Struktur Mikro pada Las FSW	10
Gambar 2.5. Lubang yang dihasilkan pada akhir pengelasan oleh <i>Conventional Welding Tool</i>	12
Gambar 2.6. Tiga Pola Pembebanan	14
Gambar 2.7. Tegangan di ujung Retak	15
Gambar 2.8. Karakteristik perambatan retak fatik	18
Gambar 4.1. Sket modifikasi mesin bubut untuk FSW	21
Gambar 4.2. Gambar dimensi pahat	22
Gambar 4.3. Foto pahat FSW	22
Gambar 4.4. Spesimen uji perambatan retak	23
Gambar 4.5. Plot grafik a vs N dari hasil pengujian	26
Gambar 4.6. Regresi nonlinier untuk mentransformasi data	27
Gambar 4.7. Data a_i vs N_i^* yang sudah diolah	28
Gambar 5.1. Grafik a vs V AA 2024 – T3	30
Gambar 5.2. Grafik da/dN vs ΔK AA 2024 – T3	30
Gambar 5.3. Garis perambatan retak yang terjadi	31
Gambar 5.4. Grafik a vs N pengelasan FSW dengan kecepatan pengelasan 2 mm/s .	32
Gambar 5.5. Grafik da/dN vs ΔK pengelasan FSW dengan kecepatan pengelasan 2 mm/s	32
Gambar 5.6. Grafik a vs N pengelasan FSW dengan kecepatan pengelasan 4 mm/s .	33
Gambar 5.7. Grafik da/dN vs ΔK pengelasan FSW dengan kecepatan pengelasan 4 mm/s	33
Gambar 5.8. Grafik a vs N pengelasan FSW dengan kecepatan pengelasan 6 mm/s .	34
Gambar 5.9. Grafik da/dN vs ΔK pengelasan FSW dengan kecepatan pengelasan 6	

mm/s	34
Gambar 5.10. Grafik da/dN vs ΔK pengelasan FSW dan <i>raw material</i>	35
Gambar 5.11. Nilai konstanta Paris n	36
Gambar 5.12. Foto penampang patah pada kecepatan pengelasan 6 mm/s putaran <i>shoulder</i> 1050 rpm	37
Gambar 5.13. Foto penampang patah pada kecepatan pengelasan 6 mm/s putaran <i>shoulder</i> 1050 rpm	38
Gambar 5.14. Foto penampang patah pada kecepatan pengelasan 4 mm/s putaran <i>shoulder</i> 1050 rpm	38

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

a	: Panjang retak (mm)
B	: Tebal spesimen perambatan retak (mm)
b_0, b_1, b_2	: Konstanta regresi dalam perhitungan da/dN
BM	: <i>Base Metal</i>
C	: Konstanta Paris
CGR	: <i>Crack Growth Rate</i>
da/dN	: Laju Perambatan Retak
e	: Perpanjangan
Hv	: Kekerasan vickers (kg/mm^2)
L	: Panjang akhir (mm)
L_0	: Panjang awal (mm)
N	: Siklus
n	: Konstanta Paris
R	: Rasio tegangan
S_{max}	: Tegangan maksimum (Mpa)
S_{min}	: Tegangan minimum (Mpa)
S_a	: Tegangan rata-rata (Mpa)
t	: Tebal spesimen uji tarik (mm)
W	: Lebar spesimen (mm)
WM	: <i>Weld Metal</i>

Y	: Fungsi bentuk
ΔP	: Tegangan rata-rata (Mpa)
ΔK	: Kisaran faktor intensitas tegangan (Mpa m ^{1/2})
ΔN^*	: inkremen siklus laju perambatan retak
θ	: Sudut
σ_u	: Kekuatan tarik
σ_x	: Tegangan arah sumbu x
σ_y	: Tegangan arah sumbu y
σ_y	: Tegangan luluh
σ_z	: Tegangan arah sumbu z
τ_{xy}	: Tegangan geser

BAB I PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Teknik pengelasan banyak digunakan dalam penyambungan karena dengan menggunakan teknik ini penyambungan menjadi lebih ringan dan proses pembuatannya lebih sederhana, sehingga biaya yang diperlukan menjadi lebih murah. Sulardjaka (2002) melakukan penelitian tentang pengaruh jenis *filler* terhadap kekuatan tarik dan distribusi kekerasan pada pengelasan TIG aluminium paduan 6061 – T4. Penelitian ini dilanjutkan dengan meneliti pengaruh jenis *filler* pada proses pengelasan TIG aluminium paduan 6061 – T4 terhadap sifat fisis, mekanis dan perilaku perambatan retak fatik (Sulardjaka dan Jamasri, 2003). Penelitian untuk meningkatkan sifat mekanis dan ketahanan retak fatik terhadap hasil pengelasan aluminium paduan 6061 – T4 dengan metode *postweld shot peening* telah dilakukan oleh Nafrizal dan Jamasri (2002). Haryadi dan Jamasri (2003) telah meneliti pengaruh *postweld heat treatment* terhadap sifat mekanis dan perilaku perambatan retak fatik pada aluminium paduan 6013 – T6. Kesimpulan yang didapat dari penelitian – penelitian tersebut adalah proses pengelasan dengan metode las cair (*fusion welding*) sangat menurunkan sifat mekanis dan ketahanan fatik material aluminium, sedangkan peningkatan sifat mekanis dan ketahanan retak dengan *postweld treatment* tidak memberikan peningkatan terhadap sifat mekanis dan ketahanan terhadap perambatan retak fatik yang signifikan.

Metode *Friction Stir Welding* (FSW) adalah metode pengelasan yang relatif baru (Dawes dan Thomas, 1996). Proses pengelasan dengan FSW terjadi pada kondisi padat (*solid state joining*). Proses pengelasan dengan FSW terjadi dibawah temperatur *solvus*, sehingga tidak terjadi penurunan kekuatan akibat *over aging* dan larutnya endapan koheren. Karena temperatur pengelasan tidak terlalu tinggi, maka tegangan sisa yang terbentuk dan distorsi akibat panas juga rendah. Metode ini juga dapat digunakan untuk menyambung aluminium paduan yang tidak dapat disambung dengan las cair, seperti aluminium paduan 2024.

Karakteristik mekanis sambungan pada FSW ditentukan oleh parameter : kecepatan pengelasan, putaran pahat, dan tekanan pahat. Penelitian – penelitian yang telah dilakukan adalah penelitian tentang aliran material dan karakteristik struktur mikro pada proses FSW (Colligan, 1999; Li dkk , dan Frigaard dan Midling, 2001). Penelitian - penelitian tentang sifat mekanis (Mahoney dkk, 1998 dan Liu dkk 2003) dan kerakteristik terhadap perambatan retak pada pengelasan FSW (Haagensen dkk, 1996; Jata dkk, 2000 dan Pao dkk, 2001). Penelitian -- penelitian tersebut belum meneliti pengaruh parameter pengelasan terhadap sifat mekanis dan ketahanan terhadap perambatan retak fatik.

Penelitian karakteristik kekuatan tarik hasil sambungan las TIG dengan FSW pada aluminium paduan 6061 – T4 telah dilakukan oleh Sulardjaka dkk (2003). Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa kekuatan tarik sambungan FSW lebih tinggi sekitar 15 % jika dibandingkan dengan kekuatan tarik sambungan las cair (las TIG). Dengan membuat modifikasi pada mesin freis manual untuk proses FSW, pada tahun 2003 Sulardjaka dkk telah berhasil melakukan penyambungan aluminium paduan 2024 – T3 dan menghasilkan kekuatan tarik sambungan sebesar 265 Mpa. Dari penelitian tersebut didapat kesimpulan bahwa penyambungan aluminium paduan 2024 – T3 dengan metode FSW memberikan hasil kekuatan tarik yang cukup tinggi.

Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut sangat menjanjikan dalam usaha untuk mengembangkan teknik pengelasan Al 2024 – T3. Meskipun demikian masih perlu dilakukan penelitian untuk mencari parameter kecepatan pengelasan dan putaran pahat untuk mendapatkan kualitas sambungan las yang terbaik. Hal ini didasarkan dari penelitian yang telah dilakukan, bahwa parameter kecepatan pengelasan dan putaran pahat yang tidak tepat akan menyebabkan terjadinya retak pada sambungan atau pelunakan pada logam las (Sulardjaka dkk,2003 dan Liu dkk,2003). Penelitian yang perlu dilakukan sebagai kelanjutan dari penelitian tersebut adalah pengaruh parameter pada pengelasan dengan metode FSW terhadap kualitas sambungan las yang meliputi : adanya cacat atau retak pada sambungan, sifat mekanis tegangan sisa yang terbentuk dan ketahanan terhadap perambatan retak fatik.

Dari penelitian tahun ke 1 didapat kesimpulan bahwa putaran pahat yang memberikan kekuatan tarik paling tinggi adalah pada putaran 1050 rpm. Pada penelitian HIBAH PEKERTI 2005 ini akan diteliti pengaruh kecepatan pengelasan terhadap laju perambatan retak pada pengelasan FSW AA 2024 – T3.

II.2. Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian :

1. Meneliti pengaruh kecepatan pengelasan dan putaran pahat pada sambungan transversal hasil pengelasan FSW Al 2024 – T3, terhadap karakteristik perambatan retak fatik.
2. Meneliti pengaruh kecepatan pengelasan dan putaran pahat pada proses FSW terhadap karakteristik patahan akibat beban dinamis.

II.3. Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Metode pengelasan *Friction Stir Welding* dengan menggunakan mesin bubut yang dimodifikasi pada bagian *tool holder*, sehingga dapat digunakan untuk proses FSW. Parameter pengelasan adalah kecepatan putaran *welding tool* 1050 rpm dengan kecepatan pengelasan : 2 mm/s, 4 mm/s, dan 6 mm/s.
2. Tipe sambungan las *butt joint* dengan bentuk kampuh persegi.
3. Material yang dilas adalah plat aluminium 2024 - T3 dengan ketebalan 1,4 mm.
4. Material pahat yang digunakan baja perkakas (H13) *heat treated*, dengan diameter *shoulder* 12 mm dan diameter pin 2 mm, dengan panjang pin 1,3 mm.