

Laporan Penelitian

Bidang Ilmu  
**REKAYASA**

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

Angkatan II - 2004  
Tahun ke 1

**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/1  
DENGAN SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN NOMOR ;  
321/P4T/DPPM/HPTP/IV/2004  
DIREKTORAT PEMBINAAN PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT  
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI  
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL**

**UNIVERSITAS DIPONEGORO  
2004**

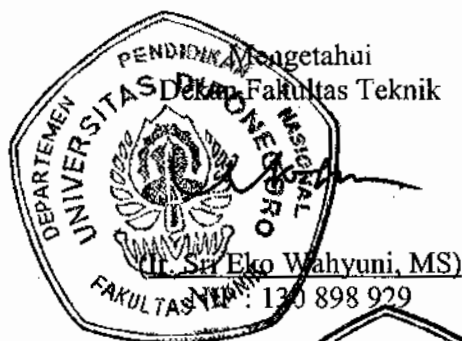
**UPT-PUSTAK-UNDIP**

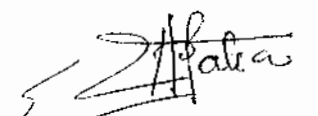
Nr. Daft: 429/K1/lemlit/01  
Tgl. 22/3/05

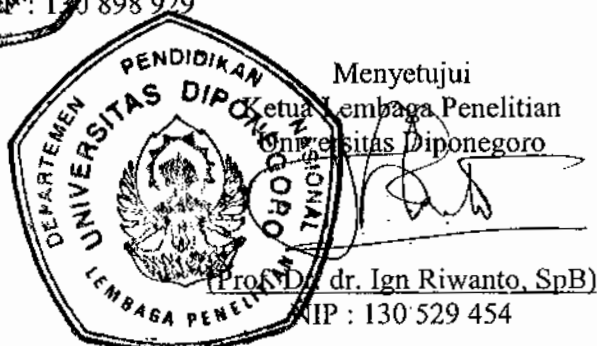
**LEMBAR PENGESAHAN**  
**LAPORAN PENELITIAN HIBAH PEKERTI 2004 (II/1)**

1. Judul Penelitian : Peningkatan Kualitas Proses Pengelasan Al Paduan 2024 – T3 dengan Metode Pengelasan *Friction Stir*
2. Ketua TPP
  - a. Nama Ketua Peneliti : Sulardjaka, ST, MT
  - b. Jabatan Fungsional/NIP : Asisten Ahli / 132 205 840
  - c. Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Mesin
  - d. Universitas : Universitas Diponegoro
  - e. Anggota Tim Peneliti : 2 Orang
3. Anggota TPP
  - a. Nama Anggota 1 : Gunawan Dwi Haryadi, ST, MT
4. Anggota TPP
  - a. Nama Anggota 2 : Ir. Budi Setiyana, MT
5. Ketua TPM
  - a. Nama Ketua Peneliti : Ir. Jamasri, PhD
  - b. Jabatan Fungsional /NIP : Lektor Kepala / 131 789 756
  - c. Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Mesin
  - d. Universitas : Universitas Gadjah Mada
  - e. Anggota : 1 Orang
6. Anggota TPM
  - a. Nama Anggota : Muchammad Noer Ilman, ST, MSc, PhD
  - b. Jabatan Fungsional /NIP : Lektor / 132 133 374
4. Jangka Waktu Penelitian : 2 tahun
5. Biaya Penelitian
  - a. Tahun 1 : Rp.65.000.000,-
  - b. Tahun 2 : Rp.74.130.000,-

Semarang, 1 November 2004  
Ketua Tim Peneliti Pengusul



  
(Sulardjaka, ST, MT)  
NIP : 132 205 840



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

Sulardjaka, G.D. Haryadi, B. Setiyana<sup>1)</sup>  
Jammasri, M. N. Ilman<sup>2)</sup>  
(2004, 50 halaman)

Friction Stir Welding adalah teknik pengelasan yang relatif masih baru. Kelebihan dari proses ini adalah mampu mengelas bahan Al paduan yang tidak dapat dilas dengan metode las cair. Pengelasan dengan metode FSW dipengaruhi oleh 3 parameter pengelasan, yaitu : putaran pahat, kecepatan pengelasan dan tekanan pengelasan.

Penelitian ini bertujuan untuk meneliti pengaruh kecepatan pengelasan dan putaran pahat terhadap sifat mekanis, struktur mikro dan cacat pada pengelasan. Pengelasan dilakukan dengan modifikasi bagian cross slide mesin bubut. Pengelasan dilakukan dengan variasi kecepatan : 2, 3, 4, 5 dan 6 mm/s dengan variasi putaran : 440, 720 dan 1050 rpm. Data yang diukur adalah distribusi termal, kekuatan tarik transversal dan logitudinal dan kekerasan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran, termal yang dihasilkan semakin tinggi dan semakin tinggi kecepatan pengelasan penyebaran panas semakin kecil. Kekuatan tarik sambungan yang tertinggi didapat pada putaran pahat 1050 rpm dengan kecepatan pengelasan 2 mm/s.

<sup>1)</sup> Universitas Diponegoro

<sup>2)</sup> Universitas Gadjah Mada

No Kontrak : 321/P4T/DPPM/HPTP/IV/2004

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

Sulardjaka, G.D. Haryadi, B. Setiyana<sup>1)</sup>  
Jamasri, M. N. Ilman<sup>2)</sup>  
(2004, 50 pages)

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 and tool rotation on mechanical properties, microstructure and deffect on weld. Welding process was carried out on turning machine that be modified on cross slide. Variation of welding speed are : 2, 3, 4, 5 and 6 mm/s and tool rotation : 440, 720 and 1050 rpm.

The result of this research shown that increasing of tool rotation will increae thermal and incresing of welding speed thermal that be transfer will decrease. Highest of tensile strength is on 1050 rpm tool rotaion and 2 mm/s welding speed.

<sup>1)</sup> Diponegoro University

<sup>2)</sup> Gadjah Mada University

Contract Number : 321/P4T/DPPM/HPTP/IV/2004

## Kata Pengantar

Puji syukur kami panjatkan kehadirat 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/I tahun 2004.

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. 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 2004

Tim Peneliti

## DAFTAR ISI

	halaman
Halaman Judul	i
Lembar Identitas	ii
Ringkasan	iii
Summary	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vi
Daftar Tabel	vii
Daftar Gambar	viii
Daftar Lampiran	x
BAB I. PENDAHULUAN	1
BAB II. DASAR TEORI	4
BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	31
BAB IV. METODE PENELITIAN	32
BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN	38
BAB VI. KESIMPULAN	50
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

## DAFTAR TABEL

		halaman
Tabel 2.1	Komposisi Kimia AA 2024-T3	13
Tabel 2.2	Sifat Mekanis Al 2024 – T3	13
Tabel 2.3	Pengujian Kekerasan	28
Tabel 2.4	Larutan Etsa untuk Pengamatan Mikroskop	29

## DAFTAR GAMBAR

		halaman
Gambar 2.1.	Struktur Mikro AA 2024-T3	13
Gambar 2.2.	Diagram Fasa Al-Cu	14
Gambar 2.3	Terjadinya Lubang Halus Dalam Pengelasan Aluminium	17
Gambar 2.4.	Stuktur Mikro Daerah Las dari Paduan Aluminium yang Dapat Diperlaku-panaskan	18
Gambar 2.5	Diagram Proses Las Busur Wolfram Gas Mulia	19
Gambar 2.6	Diagram Proses Las Busur Logam Gas (Elektroda Terumpan)	20
Gambar 2.7	Proses <i>Friction Stir Welding</i>	21
Gambar 2.8	Klasifikasi Struktur Mikro pada Las FSW	21
Gambar 2.9	Lubang yang Dihasilkan pada Akhir Pengelasan oleh <i>Conventional Welding Tool</i>	23
Gambar 2.10	Kurva Tegangan-Regangan	27
Gambar 4.1.	Sket modifikasi mesin bubut untuk FSW	32
Gambar 4.2.	Gambar dimensi pahat	33
Gambar 4.3.	Foto pahat FSW	33
Gambar 4.4.	Pengukuran distribusi temperatur	34
Gambar 4.5.	Spesimen mikrografi dan uji kekerasan	35
Gambar 4.6.	Titik – titik pengukuran kekerasan	36
Gambar 4.7.	Dimensi spesimen uji tarik menurut standar ASTM B557M	36
Gambar 4.8.	Pengambilan spesimen uji tarik transversal	37
Gambar 4.9.	Pengambilan spesimen uji tarik longitudinal	37
Gambar 5.1.	Foto hasil pengamatan cacat dengan cairan pewarna pada kecepatan pengelasan 2 mm/s putaran 440 rpm	38
Gambar 5.2.	Foto hasil pengamatan cacat dengan cairan pewarna pada kecepatan pengelasan 5 mm/s putaran 440 rpm	38
Gambar 5.3.	Foto hasil pengamatan cacat dengan cairan pewarna pada kecepatan pengelasan 2 mm/s putaran 720 rpm	39
Gambar 5.4.	Foto hasil pengamatan cacat dengan cairan pewarna pada kecepatan pengelasan 6 mm/s putaran 1050 rpm	39
Gambar 5.5.	Distribusi termal pada kecepatan putaran 440 rpm	40
Gambar 5.6.	Distribusi termal pada kecepatan putaran 720 rpm	40
Gambar 5.7.	Distribusi termal pada kecepatan putaran 1050 rpm	41
Gambar 5.8.	Grafik pengaruh temperatur terhadap sifat bahan	41
Gambar 5.9.	Grafik kekuatan tarik dan kekuatan luluh sambungan transversal pada putaran 440 rpm	42
Gambar 5.10	Grafik kekuatan tarik dan kekuatan luluh sambungan transversal pada putaran 720 rpm	42
Gambar 5.11	Grafik kekuatan tarik dan kekuatan luluh sambungan transversal pada putaran 1050 rpm	43
Gambar 5.12	Grafik kekuatan tarik dan kekuatan luluh sambungan longitudinal pada putaran 440 rpm	44
Gambar 5.13	Grafik kekuatan tarik dan kekuatan luluh sambungan	45

	longitunal pada putaran 720 rpm	
Gambar 5.14	Grafik kekuatan tarik dan kekuatan luluh sambungan longitudinal pada putaran 1050 rpm	45
Gambar 5.15	Grafik kekuatan tarik dan kekuatan luluh sambungan longitudinal pada variasi kecepatan pengelasan dan putaran pahat	45
Gambar 5.16	Grafik hasil uji kekerasan	47
Gambar 5.17	Daerah Perpatahan pada Spesimen Uji Tarik	47
Gambar 5.18	Foto makro pada pengelasan dengan putaran 440 rpm kecepatan 2 mm/s (20 X)	48
Gambar 5.19	Foto makro pada pengelasan dengan putaran 720 rpm kecepatan 2 mm/s (20 X)	48
Gambar 5.20	Foto makro pada pengelasan dengan putaran 1050 rpm kecepatan 2 mm/s (20 X)	48
Gambar 5.21	Foto Mikro AA2024 T3 FSW 720 Rpm (200 x)	49

## DAFTAR LAMPIRAN

	halaman
Gambar A1. Foto Hasil Pengelasan	1
Gambar A2. Foto Hasil Pengujian Tarik	1
Gambar A3. Foto Proses pengelasan dengan mesin bubut	2
Gambar A4. Foto Struktur mikro pada putaran 440 rpm kecepatan Pengelasan 2 mm/s	2
Gambar A5. Foto Struktur mikro pada putaran 440 rpm kecepatan Pengelasan 6 mm/s	3
Gambar A6. Foto Struktur mikro pada putaran 720 rpm kecepatan Pengelasan 2 mm/s	3
Gambar A7. Foto Struktur mikro pada putaran 720 rpm kecepatan Pengelasan 6 mm/s	4
Gambar A8. Foto Struktur mikro pada putaran 1050 rpm kecepatan Pengelasan 2 mm/s	4
Gambar A6. Foto Struktur mikro pada putaran 1050 rpm kecepatan Pengelasan 6 mm/s	5

## BAB I PENDAHULUAN

### 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 karakteristik 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.

Pada penelitian HIBAH PEKERTI 2004 tahun pertama ini akan diteliti pengaruh kecepatan pengelasan dan putaran pahat terhadap : profil temperatur pada daerah las, cacat pada sambungan las, kekuatan tarik dan distribusi kekerasan pada penyambungan aluminium paduan 2024 – T3 dengan metode FSW.

### Tujuan Penelitian

1. Meneliti pengaruh kecepatan pengelasan dan putaran pahat pada proses FSW terhadap distribusi temperatur pada daerah penyambungan.
2. Meneliti pengaruh kecepatan pengelasan dan putaran pahat pada proses FSW terhadap cacat pada proses pengelasan.
3. Meneliti pengaruh kecepatan pengelasan dan putaran pahat pada proses FSW terhadap perubahan struktur mikro aluminium paduan 2024 – T3.
4. Meneliti pengaruh kecepatan pengelasan dan putaran pahat pada proses FSW terhadap distribusi kekerasan pada daerah logam las, TMAZ, dan HAZ pada material aluminium paduan 2024 – T3.
5. Meneliti pengaruh kecepatan pengelasan dan putaran pahat pada proses FSW terhadap kekuatan tarik aluminium paduan 2024 – T3 pada arah transversal dan longitudinal.

### 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* 450 rpm, 720 Rpm, dan 1050 rpm dengan kecepatan pengelasan : 2 mm/s, 3 mm/s, 4 mm/s, 5 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.

putaran 1100 rpm sebesar 265 Mpa. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa pada putaran pahat yang terlalu rendah, menyebabkan terjadinya retak pada sambungan las, putaran yang terlalu tinggi mengakibatkan terjadinya pelunakan pada daerah sambungan las. Kesimpulan dari penelitian tersebut serupa dengan hasil penelitian Liu dkk, bahwa perbedaan kecepatan putaran pahat berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan distribusi kekerasan pada sambungan las dengan metode FSW. Karakteristik mekanis terhadap beban fatik sambungan aluminium paduan seri 6000 telah dilakukan oleh Haagensen dkk (1996). Jata dkk (2000) dan Pao dkk (2001) telah melakukan penelitian tentang karakteristik sambungan FSW terhadap struktur mikro dan ketahanan retak fatik pada aluminium paduan 7050 – T7451. Pada penelitian yang dilakukan oleh Jata dkk karakteristik perambatan retak pada logam las dan daerah HAZ dengan variasi rasio tegangan (R), sedangkan Pao dkk meneliti karakteristik perambatan retak hasil pengelasan FSW Al 7050 – T7451 pada lingkungan yang korosif.

## **2.2. Dasar Teori**

### **2.2.1. Aluminium dan Paduan Aluminium**

Aluminium dan paduan aluminium termasuk logam ringan yang mempunyai kekuatan tinggi, tahan terhadap korosi dan merupakan konduktor listrik yang cukup baik. Logam ini dipakai secara luas dalam bidang kimia, listrik, bangunan, transportasi dan alat-alat penyimpanan. Kemajuan akhir-akhir ini dalam teknik pengelasan aluminium, menyebabkan pengelasan aluminium dan paduannya menjadi lebih sederhana dan dapat dipercaya. Karena hal ini maka penggunaan aluminium dan paduannya di dalam banyak bidang telah berkembang.

Aluminium paduan dapat diklasifikasikan berdasarkan 3 dasar pengklasifikasian (Cary, 1989), yaitu:

- a) Berdasarkan pembuatan, dengan klasifikasi paduan cor dan paduan tempa.
- b) Berdasarkan perlakuan panas, dengan klasifikasi dapat dan tidak dapat diperlaku-panaskan.
- c) Berdasarkan unsur-unsur paduan, berdasarkan klasifikasi ketiga ini aluminium dibagi dalam delapan jenis yaitu; jenis Al murni, jenis Al-Cu,