

**PENGARUH TEMPERATUR *PREHEATING* DAN
KECEPATAN PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK
DAN STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN PELAT AA5052-H32
PADA PROSES *FRICTION STIR WELDING***

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik**



Oleh :

**YUSTINUS ROSA INDRA WARDANA
NIM. I1410037**

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2016**



**SURAT TUGAS PEMBIMBING DAN PENGUJI TUGAS AKHIR
PROGRAM SARJANA TEKNIK MESIN UNS**

Program Studi : **S1 Teknik Mesin**

Nomor : **0627/TA/S1/06/2015**

Nama : **YUSTINUS ROSA INDRA WARDANA**
NIM : **11410037**
Bidang : **Ilmu Bahan**
Pembimbing 1 : **Dr. TRIYONO, ST., MT./197406251999031002**
Pembimbing 2 : **DR. NURUL MUHAYAT, ST,MT/197003231998021001**
Penguji : **1. TEGUH TRIYONO, ST MEng/ 197104301998021001**
2. DR. JOKO TRIJONO, ST, MT/ 196906251997021001
3. Prof. Dr. Kuncoro Diharjo, S.T., M.T./ 197101031997021001
Mata Kuliah Pendukung
1. TEKNOLOGI PENGELASAN(MS05053-10)
2. PEMILIHAN BAHAN DAN PROSES(MS75012-10)
3. TEKNOLOGI DAN PROSES PEMESINAN(MS05013-10)

Judul Tugas Akhir

**"PENGARUH TEMPERATUR PREHEATING DAN
KECEPATAN PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK
DAN STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN PELAT
AA5052-H32 PADA PROSES FRICTION STIR WELDING"**

Surakarta, **2015-06-22 14:39:06**
Ketua Jurusan Teknik Mesin,

DR ENG. SYAMSUL HADI, ST,MT
NIP. **197106151998021002**

Tembusan :


1. Mahasiswa ybs.
2. Dosen Pembimbing TA ybs.
3. Koordinator TA.
4. Arsip.

**PENGARUH TEMPERATUR PREHEATING DAN KECEPATAN PENGELASAN
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN
PELAT AA5052-H32 PADA PROSES FRICTION STIR WELDING**

Disusun Oleh

YUSTINUS ROSA INDRA WARDANA
NIM : **11410037**

Dosen Pembimbing 1

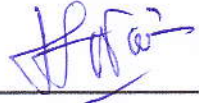

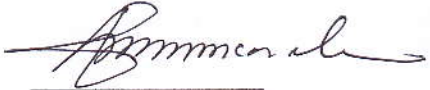

Dr. TRIYONO, ST., MT.
NIP. **197406251999031002**

Dosen Pembimbing 2


DR. NURUL MUHAYAT, ST,MT
NIP. **197003231998021001**

Telah dipertahankan di depan Tim Dosen Penguji pada tanggal **19-04-2016**, pukul **08:00:00**, bertempat di **M.101, Gd.1 FT-UNS.**

1. TEGUH TRIYONO, ST MEng
197104301998021001
2. DR. JOKO TRIYONO, ST, MT
196906251997021001
3. Prof. Dr. Kuncoro Diharjo, S.T., M.T.
197101031997021001


Kepala Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret
Surakarta

DR. ENG. SYAMSUL HADI, ST,MT
NIP. **197106151998021002**

Koordinator Tugas Akhir


DR. NURUL MUHAYAT, ST,MT
NIP. **197003231998021001**

MOTTO & PERSEMBAHAN

Motto

Balas Cinta Bagi Sesama

Persembahan

Karya sederhana ini dipersembahkan kepada :

Bertrand Mahadevan Wardana

Fransiska Hera Gitasari

Yohanes Radiyono & Florentina Murdiyati

Keluarga,

Saudara,

Teman,

Almamater.

**PENGARUH TEMPERATUR *PREHEATING* DAN KECEPATAN
PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR
MIKRO SAMBUNGAN PELAT AA5052-H32 PADA PROSES *FRICTION
STIR WELDING***

Yustinus Rosa Indra Wardana

Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36 A Solo 57126
Telp: 0271-646994 Fax: 0271-646655

Abstrak

Friction stir welding (FSW) adalah alternatif pengelasan aluminium yang dapat dilakukan dengan menggunakan mesin milling. Penelitian ini mempelajari pengaruh *temperature preheating* dan kecepatan pengelasan dari *friction stir welding* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro sambungan pelat Aluminium Alloy 5052-H32. Mesin milling dioperasikan dengan kecepatan putar 1125 rpm, dengan variasi kecepatan pengelasan 40mm/min, 60mm/min dan 80mm/min dan kedalaman pembenaman *tool* 3,85mm. *Preheating* dilakukan dengan menggunakan *heatgun* dengan variasi temperatur 150°C, 200°C, 250°C, dan 300°C. *Welding tool* terbuat dari bahan Bohler K100 yang dikeraskan mencapai 59 HRC dengan penampang pin berbentuk *flatten* 3. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah uji tarik, uji *face bending*, uji *root bending*, uji kekerasan, pengamatan foto makro dan struktur mikro. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan tertinggi pada uji tarik, *face bending*, *root bending* dan kekerasan terdapat pada hasil pengelasan dengan suhu *preheat* 250°C dan kecepatan pengelasan 60mm/min. Pada pengujian kekerasan menunjukkan hasil bahwa rata-rata daerah *retreating side* mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibanding *advancing side*. Pada struktur mikro, ukuran butir pada daerah nugget paling kecil terlihat pada hasil pengelasan dengan suhu *preheat* 250°C dan kecepatan pengelasan 60mm/min.

Kata kunci: *Friction Stir Welding*, aluminium 5052, *preheating*, kecepatan pengelasan, , sifat mekanik

**THE EFFECT OF PREHEATING TEMPERATURE AND WELDING
SPEED ON THE MECHANICAL PROPERTIES AND MICRO STRUCTURE
OF 5052-H32 ALUMINIUM ALLOY JOIN
ON FRICTION STIR WELDING PROCESS**

Yustinus Rosa Indra Wardana

*Mechanical Engineering Department
Faculty of Engineering, Sebelas Maret University
Jl. Ir. Sutami 36 A Solo 57126
Telp: 0271-646994 Fax: 0271-646655*

Abstract

Friction stir welding (FSW) is an alternative aluminium welding process in which the process is using the milling machine. The aim of this research is to study the effect of preheating temperature and welding speed in friction stir welding process on the mechanical properties and micro structure of weld joint on 5052-H32 aluminium alloy. The milling machine was operated in 1125 rpm on spindle rotation, with various of welding speed at 40mm/minutes, 60mm/minutes and 80mm/minutes and 3.85mm on tool depth of plunge. Preheating process is using tool heatgun with temperature variation from 150°C, 200°C, 250°C, and 300°C. The welding tool material was Bohler K100 and hardened up to 59 HRC in flatten 3 shape. The tests in this study were tensile test, face bending test, root bending test, hardness test, observation on macro photo and micro structure. The test results showed that the highest tensile strength, face bending, root bending strength and hardness occurred on the welding specimen with 250°C preheating temperature and 60mm/min welding speed. Further, on the hardness test showed that averagely retreating side area had a higher hardness than advancing side. On the micro structure, the smaller grain size of nugget occurred on the welding specimen with 250°C preheating temperature and 60mm/min welding speed.

Keywords: Friction Stir Welding, aluminium 5052, preheating, welding speed, mechanical properties

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas semua rahmat dan segala kemudahan sehingga pengerjaan tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar. Selama pengerjaan hingga terselesaikannya tugas akhir ini, penulis mendapatkan bantuan serta masukan dari berbagai pihak. Maka pada kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Triyono, ST., M.T. dan Bapak Dr. Nurul Muhyat, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing atas bimbingan, ilmu dan kesabaran dalam mengarahkan penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Direktur PT ATMI Solo, Bapak St Hermawan BP., ST., M.BA., atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk mengikuti pendidikan lanjut serta segala fasilitas dan dukungan yang diberikan kepada penulis selama mengikuti perkuliahan hingga penyelesaian tugas akhir ini.
3. Rekan – rekan Marketing PT ATMI Solo yang sudah banyak membantu dalam pekerjaan selama penulis absen untuk penyelesaian tugas akhir ini.
4. Rekan - rekan satu tim FSW atas kerja sama, kekompakan, semangat, dan keceriaan selama penyelesaian tugas akhir ini.
5. Istri dan anak tercinta atas dukungan dan kesetiaan dalam mendampingi penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, atas segala bantuan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Surakarta, 23 Maret 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
Abstrak.....	iv
Kata Pengantar.....	vi
Daftar Isi.....	vii
Daftar Tabel.....	ix
Daftar Gambar.....	ix
Daftar Lampiran.....	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan dan Manfaat.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II. LANDASAN TEORI	
2.1 Tinjauan Pustaka.....	4
2.2 Prinsip Kerja <i>Friction Stir Welding</i> (FSW).....	5
2.3 Parameter <i>Friction Stir Welding</i>	6
2.3.1 Tool.....	6
2.3.2 Kecepatan Putar <i>Tool</i> dan Kecepatan Pengelasan....	7
2.3.3 <i>Depth of Plunge</i>	8
2.3.4 <i>Preheating</i>	9
2.4 Aluminium Paduan.....	10
2.5.1 Klasifikasi Aluminium Paduan.....	10
2.5.2 Aluminium Paduan 5052 (AA5052).....	12
2.5 Pengujian Spesimen.....	12
2.5.1 Pengujian Tarik.....	13
2.5.2 Pengujian Tekuk.....	14
2.5.3 Pengujian Kekerasan.....	15
2.5.4 Pengujian Struktur Mikro dan Foto Makro.....	16

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	17
3.2 Bahan Penelitian.....	18
3.3 Peralatan Penelitian.....	20
3.3.1 Peralatan Untuk Pembuatan Spesimen dan Proses Pengelasan	20
3.3.2 Peralatan Untuk Pengujian Spesimen.....	25
3.4 Pelaksanaan Pengelasan.....	27
3.4.1 Parameter Pengelasan.....	27
3.4.2 Proses Pengelasan.....	28
3.5 Pengujian Spesimen Hasil Pengelasan.....	32
3.5.1 Uji Kekerasan (<i>Hardness Test</i>).....	33
3.5.2 Uji Tekuk.....	33
3.5.3 Uji Tarik.....	34
3.5.4 Pengamatan Struktur Mikro dan Foto Makro.....	35

BAB IV. DATA DAN ANALISA

4.1 Data Pengelasan.....	37
4.1.1 Data Properties Base Metal.....	37
4.1.2 Data Percobaan dengan Kecepatan Pengelasan 30mm/min dan tanpa preheat.....	38
4.1.3 Data Percobaan dengan Kecepatan Pengelasan 40mm/min dan tanpa preheat.....	40
4.1.4 Data Percobaan dengan Kecepatan Pengelasan 60mm/min dan tanpa preheat.....	44
4.1.5 Data Percobaan dengan Kecepatan Pengelasan 80mm/min dan tanpa preheat.....	49
4.2 Analisa	53
4.2.1 Analisa Foto Makro dan Mikro.....	53
4.2.2 Analisa Temperatur Pengelasan.....	63
4.2.3 Analisa Kekuatan Tarik.....	66
4.2.4 Analisa Pengujian <i>Face Bending</i>	70
4.2.5 Analisa Pengujian <i>Root Bending</i>	72

4.2.6 Analisa Kekerasan Material.....	73
BAB V. PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	79
5.2 Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA.....	80
LAMPIRAN.....	82

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Tabel data pengujian Base metal AA 5052 – H32.....	37
Tabel 4.2 Tabel data pengujian FSW tanpa preheat.....	40
Tabel 4.3 Tabel data foto mikro FSW dengan kecepatan pengelasan 40mm/min.....	43
Tabel 4.4 Tabel data pengujian FSW dengan kecepatan pengelasan 40mm/min.....	44
Tabel 4.5 Tabel data foto mikro FSW dengan kecepatan pengelasan 60mm/min.....	47
Tabel 4.6 Tabel data pengujian FSW dengan kecepatan pengelasan 60mm/min.....	48
Tabel 4.7 Tabel data foto mikro FSW dengan kecepatan pengelasan 80mm/min.....	51
Tabel 4.8 Tabel data pengujian FSW dengan kecepatan pengelasan 80mm/min.....	52
Tabel 4.9 Tabel temperatur pengelasan.....	63
Tabel 4.10 Tabel perbandingan FSW tanpa preheat dengan FSW dengan preheat 250°C.....	78

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Struktur makro hasil pengelasan FSW	4
Gambar 2.2 Prinsip kerja FSW.....	5
Gambar 2.3 Pencekaman benda kerja.....	5
Gambar 2.4 Variasi sambungan las FSW.....	6
Gambar 2.5 Beberapa profil permukaan <i>shoulder</i>	7
Gambar 2.6 Beberapa bentuk profil pin.....	7
Gambar 2.7 Gerakan <i>tool</i>	8
Gambar 2.8 Posisi <i>tool</i> terhadap benda kerja.....	9
Gambar 2.9 Gambar <i>setting</i> pencekaman friction stir welding dengan Preheat laser.....	9
Gambar 2.10 Diagram Fasa Al-Mg.....	12
Gambar 2.11 Pengujian tarik.....	13
Gambar 2.12 Mekanisme pengujian <i>three point bending</i>	15
Gambar 2.13 Pengujian Vickers secara skematis.....	16
Gambar 2.14 Pengamatan struktur mikro.....	16
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	17
Gambar 3.2 Dimensi <i>Base metal</i>	18
Gambar 3.3 <i>Base Metal AA5052</i>	18
Gambar 3.4 Geometri <i>tool</i>	19
Gambar 3.5 Ukuran <i>backing plate</i> dan posisi lubang termokopel.....	20
Gambar 3.6 Mesin <i>Cutting</i>	21
Gambar 3.7 Mesin <i>Milling</i>	22
Gambar 3.8 Posisi Termokopel.....	23
Gambar 3.9 <i>Tool setter</i>	23
Gambar 3.10 <i>Heat gun</i>	24
Gambar 3.11 <i>Infrared Pyrometer</i>	24
Gambar 3.12 <i>Universal Testing Machine</i>	25
Gambar 3.13 <i>Mikro Vickers Machine</i>	26
Gambar 3.14 Alat uji foto struktur mikro.....	27

Gambar 3.15	Pemasangan termokopel dan alat pengukur temperatur.....	28
Gambar 3.16	Pemasangan <i>backing plate</i>	28
Gambar 3.17	Pencekaman <i>base metal</i> dengan <i>clamping</i>	29
Gambar 3.18	Setting <i>attachment heat gun</i>	29
Gambar 3.19	Parameter proses pengelasan.....	30
Gambar 3.20	Proses masuknya <i>tool</i> ke dalam aluminium.....	30
Gambar 3.21	Proses <i>Friction Stir Welding</i>	31
Gambar 3.22	<i>Exit hole</i>	31
Gambar 3.23	Layout pemotongan spesimen uji.....	31
Gambar 3.24	Posisi titik pengujian kekerasan.....	32
Gambar 3.25	Spesimen uji tekuk.....	33
Gambar 3.26	Spesimen uji tarik.....	34
Gambar 3.27	Spesimen uji struktur mikro.....	35
Gambar 4.1	Foto Mikro <i>Base Metal</i>	37
Gambar 4.2	Hasil pengelasan dengan kecepatan pengelasan 30mm/min Dan tanpa pemanasan awal.....	38
Gambar 4.3	Foto makro <i>FSW</i> tanpa <i>preheat</i>	38
Gambar 4.4	Foto mikro <i>FSW</i> tanpa <i>preheat</i>	39
Gambar 4.5	Hasil pengelasan dengan kecepatan pengelasan 40mm/min dan pemanasan awal 150°C	41
Gambar 4.6	Hasil pengelasan dengan kecepatan pengelasan 40mm/min dan pemanasan awal 200°C	41
Gambar 4.7	Hasil pengelasan dengan kecepatan pengelasan 40mm/min dan pemanasan awal 250°C	41
Gambar 4.8	Hasil pengelasan dengan kecepatan pengelasan 40mm/min dan pemanasan awal 300°C	41
Gambar 4.9	Foto Makro Hasil pengelasan dengan kecepatan penge- lasan 40mm/min dan variasi <i>temperatur preheat</i>	42
Gambar 4.10	Hasil pengelasan dengan kecepatan pengelasan 60mm/min dan pemanasan awal 150°C	45
Gambar 4.11	Hasil pengelasan dengan kecepatan pengelasan 60mm/min dan pemanasan awal 200°C	45

Gambar 4.12	Hasil pengelasan dengan kecepatan pengelasan 60mm/min dan pemanasan awal 250°C	45
Gambar 4.13	Hasil pengelasan dengan kecepatan pengelasan 60mm/min dan pemanasan awal 300°C	46
Gambar 4.14	Foto Makro Hasil pengelasan dengan kecepatan pengelasan 60mm/min dan variasi <i>temperatur preheat</i>	46
Gambar 4.15	Hasil pengelasan dengan kecepatan pengelasan 80mm/min dan pemanasan awal 150°C	49
Gambar 4.16	Hasil pengelasan dengan kecepatan pengelasan 80mm/min dan pemanasan awal 200°C	49
Gambar 4.17	Hasil pengelasan dengan kecepatan pengelasan 80mm/min dan pemanasan awal 250°C	50
Gambar 4.18	Hasil pengelasan dengan kecepatan pengelasan 80mm/min dan pemanasan awal 300°C	50
Gambar 4.19	Foto Makro Hasil pengelasan dengan kecepatan pengelasan 80mm/min dan variasi <i>temperatur preheat</i>	50
Gambar 4.20	Gambar analisa foto makro dan struktur mikro spesimen FSW perlakuan A dengan kecepatan pengelasan 40mm/min dan suhu preheat 150°C.....	53
Gambar 4.21	Gambar analisa foto makro dan struktur mikro spesimen FSW perlakuan B dengan kecepatan pengelasan 40mm/min dan suhu preheat 200°C.....	53
Gambar 4.22	Gambar analisa foto makro dan struktur mikro spesimen FSW perlakuan C dengan kecepatan pengelasan 40mm/min dan suhu preheat 250°C.....	54
Gambar 4.23	Gambar analisa foto makro dan struktur mikro spesimen FSW perlakuan D dengan kecepatan pengelasan 40mm/min dan suhu preheat 300°C.....	54
Gambar 4.24	Gambar analisa foto makro dan struktur mikro spesimen FSW perlakuan E dengan kecepatan pengelasan 60mm/min dan suhu preheat 150°C.....	54
Gambar 4.25	Gambar analisa foto makro dan struktur mikro spesimen	

	FSW perlakuan F dengan kecepatan pengelasan 60mm/min dan suhu preheat 200°C.....	55
Gambar 4.26	Gambar analisa foto makro dan struktur mikro spesimen FSW perlakuan G dengan kecepatan pengelasan 60mm/min dan suhu preheat 250°C.....	55
Gambar 4.27	Gambar analisa foto makro dan struktur mikro spesimen FSW perlakuan H dengan kecepatan pengelasan 60mm/min dan suhu preheat 300°C.....	55
Gambar 4.28	Gambar analisa foto makro dan struktur mikro spesimen FSW perlakuan I dengan kecepatan pengelasan 80mm/min dan suhu preheat 150°C.....	56
Gambar 4.29	Gambar analisa foto makro dan struktur mikro spesimen FSW perlakuan J dengan kecepatan pengelasan 80mm/min dan suhu preheat 200°C.....	56
Gambar 4.30	Gambar analisa foto makro dan struktur mikro spesimen FSW perlakuan K dengan kecepatan pengelasan 80mm/min dan suhu preheat 250°C.....	56
Gambar 4.31	Gambar analisa foto makro dan struktur mikro spesimen FSW perlakuan L dengan kecepatan pengelasan 80mm/min dan suhu preheat 300°C.....	57
Gambar 4.32	Gambar analisa foto mikro, pengaruh kecepatan pengelasan dan temperatur preheat pada bagian HAZ RS	58
Gambar 4.33	Gambar analisa foto mikro, pengaruh kecepatan pengelasan dan temperatur preheat pada bagian HAZ AS	59
Gambar 4.34	Gambar analisa foto mikro, pengaruh kecepatan pengelasan dan temperatur preheat pada bagian TMAZ RS.....	60
Gambar 4.35	Gambar analisa foto mikro, pengaruh kecepatan pengelasan dan temperatur preheat pada bagian TMAZ AS.....	61
Gambar 4.36	Gambar analisa foto mikro, pengaruh kecepatan pengelasan dan temperatur preheat pada bagian nugget.....	62
Gambar 4.37	Gambar grafik distribusi temperatur pada termokopel di posisi <i>advancing side</i> awal.....	64

Gambar 4.38	Gambar grafik distribusi temperatur pada termokopel di posisi <i>retreating side</i> awal.....	64
Gambar 4.39	Gambar grafik distribusi temperatur pada termokopel di posisi <i>advancing side</i> tengah.....	65
Gambar 4.40	Gambar grafik distribusi temperatur pada termokopel di posisi <i>retreating side</i> tengah.....	65
Gambar 4.41	Foto Spesimen Uji Tarik.....	67
Gambar 4.42	Grafik perbandingan kekuatan tarik berdasarkan <i>temperature preheat</i>	67
Gambar 4.43	Grafik perbandingan kekuatan tarik berdasarkan <i>welding Speed</i>	68
Gambar 4.44	Hubungan ukuran butir dengan <i>strength, ductility, dan toughness</i> Mathers, 2002.....	69
Gambar 4.45	Grafik perbandingan regangan.....	70
Gambar 4.46	Grafik kekuatan <i>face bending based on temperature preheat</i>	71
Gambar 4.47	Grafik kekuatan <i>face bending based on welding speed</i>	71
Gambar 4.48	Grafik perbandingan kekuatan tekuk <i>root bending based on temperature preheat</i>	72
Gambar 4.49	Grafik perbandingan kekuatan tekuk <i>root bending based on welding speed</i>	72
Gambar 4.50	Grafik pengujian kekerasan spesimen tanpa <i>preheat</i>	73
Gambar 4.51	Grafik pengujian kekerasan spesimen dengan <i>welding speed</i> 40mm/min dan variasi <i>preheat</i> 150°C, 200°C, 250°C, dan 300°C	74
Gambar 4.52	Grafik pengujian kekerasan spesimen dengan <i>welding speed</i> 60mm/min dan variasi <i>preheat</i> 150°C, 200°C, 250°C, dan 300°C	74
Gambar 4.53	Grafik pengujian kekerasan spesimen dengan <i>welding speed</i> 80mm/min dan variasi <i>preheat</i> 150°C, 200°C, 250°C, dan 300°C	75

Gambar 4.54	Grafik pengujian kekerasan spesimen dengan <i>temperatur preheat</i> 150°C dan <i>welding speed</i> 40mm/min, 60mm/min, 80mm/min.....	76
Gambar 4.55	Grafik pengujian kekerasan spesimen dengan <i>temperatur preheat</i> 200°C dan <i>welding speed</i> 40mm/min, 60mm/min, 80mm/min.....	76
Gambar 4.56	Grafik pengujian kekerasan spesimen dengan <i>temperatur preheat</i> 250°C dan <i>welding speed</i> 40mm/min, 60mm/min, 80mm/min.....	77
Gambar 4.57	Grafik pengujian kekerasan spesimen dengan <i>temperatur preheat</i> 300°C dan <i>welding speed</i> 40mm/min, 60mm/min, 80mm/min.....	77

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Contoh Hasil <i>print out</i> uji tarik, dalam hal ini pengujian FSW tanpa <i>preheat</i> I.....	82
Lampiran 2 : Tabel Data Hasil Pengujian Tarik.....	83
Lampiran 3 : Contoh Hasil <i>print out</i> uji <i>face bending</i> , dalam hal ini pengujian FSW tanpa <i>preheat</i> I.....	84
Lampiran 4 : Tabel Data Hasil Pengujian Tekuk <i>face bending</i>	85
Lampiran 5 : Contoh Hasil <i>print out</i> uji <i>root bending</i> , dalam hal ini pengujian FSW tanpa <i>preheat</i> I.....	86
Lampiran 6 : Tabel Data Hasil Pengujian Tekuk <i>root bending</i>	87
Lampiran 7 : Tabel Data Hasil Pengujian Kekerasan spesimen FSW tanpa <i>preheat</i>	88
Lampiran 8 : Tabel Data Hasil Pengujian Kekerasan spesimen FSW welding speed 40mm/min, dengan <i>preheat</i> 150°C, 200°C, 250°C & 300°C.	89
Lampiran 9 : Tabel Data Hasil Pengujian Kekerasan spesimen FSW welding speed 60mm/min, dengan <i>preheat</i> 150°C, 200°C, 250°C & 300°C.	90
Lampiran 10 : Tabel Data Hasil Pengujian Kekerasan spesimen FSW welding speed 80mm/min, dengan <i>preheat</i> 150°C, 200°C, 250°C & 300°C.	91