



**SURAT TUGAS PEMBIMBING DAN PENGUJI TUGAS AKHIR**  
**PROGRAM SARJANA TEKNIK MESIN UNS**  
Program Studi : **S1 Transfer Teknik Mesin**  
Nomor : **0785/TA/S1/01/2017**

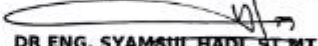
Nama : **FEBRI KURNIAWAN**  
NIM : **114142014**  
Bidang : **Ilmu Bahan**  
Pembimbing 1 : **DR. NURUL MUHAYAT, ST,MT/197003231998021001**  
Pembimbing 2 : **TEGUH TRIYONO, ST MEng/197104301998021001**  
Penguji : **1. HERU SUKANTO, ST,MT/ 197207311997021001**  
**2. Dr. EKO SUROJO., ST,MT/ 196904112000031006**  
**3. PURWADI JOKO WIDODO, ST, M. KOM/**  
**197301261997021001**

Mata Kuliah Pendukung  
**1. TEKNIK PENGELASAN (MS05053-15)**  
**2. TEKNIK PENGECORAN (MS04013-15)**  
**3. TEKNIK PEMBENTUKAN (MS05033-15)**

Judul Tugas Akhir

**"Pengaruh Precipitation Hardening Terhadap Sifat  
Fisis dan Mekanik Proses Pengelasan FSSW AA  
6063-T5"**

Surakarta, 2017-04-25 13:35:06  
Kepala Program Studi S1 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 Precipitation Hardening Terhadap Sifat Fisis dan Mekanik  
Proses Pengelasan FSSW AA 6063-T5**

Disusun Oleh

**FEBRI KURNIAWAN**  
NIM : **114142014**

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

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

**TEGUH TRIYONO, ST MEng**  
NIP. **197104301998021001**

Telah dipertahankan di depan Tim Dosen Penguji pada tanggal **03-08-2017**, pukul **10:00:00**, bertempat di **M.101, Gd.1 FT-UNS**.

1. HERU SUKANTO, ST,MT  
197207311997021001 \_\_\_\_\_
2. Dr. EKO SUROJO., ST,MT  
196904112000031006 \_\_\_\_\_
3. PURWADI JOKO WIDODO, ST, M. KOM  
197301261997021001 \_\_\_\_\_

Kepala Program Studi Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret  
Surakarta

Koordinator Tugas Akhir

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

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

[www.sijamut.net](http://www.sijamut.net)

# PENGARUH PRECIPITATION HARDENING TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIK PROSES PENGELASAN FSSW AA6063-T5

Febri Kurniawan  
Jurusan Teknik Mesin  
Universitas Sebelas Maret Surakarta  
E-mail : [Febrik630@gmail.com](mailto:Febrik630@gmail.com)

## Abstrak

Paduan aluminium merupakan salah satu bahan yang sulit digabungkan dengan pengelasan gesek. FSSW adalah solusi untuk memecahkan masalah teknik dalam bergabung dengan pengelasan gesek. Parameter yang mempengaruhi pengelasan gesekan adalah waktu gesekan, kecepatan putaran, dan kedalaman terjun. Dalam penelitian ini, spesimen adalah gesekan dilas dengan kecepatan putaran 1600 rpm, *dwell time* 5 detik, dan *plunge depth* 4 mm. Kelemahan proses pengelasan gesek adalah penurunan kekuatan, hal ini disebabkan pengelasan gesek dilakukan dalam kondisi padat. Untuk meningkatkan kekuatan pengelasan FSSW, metode *precipitation hardening* dapat digunakan.

Metode *precipitation hardening* dilakukan dalam tiga tahap, *solution heat treatment*, *quenching* dan *aging* dengan proses *artificial aging*. Suhu *artificial aging* bervariasi antara 135°C, 165°C, dan 200°C dengan *holding time* dalam 7 jam, 8 jam, 9 jam, dan 10 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *precipitation hardening* menyebabkan peningkatan kekerasan pada sambungan las. Spesimen dengan suhu *aging* 165°C dan *holding time* 8 jam memiliki tingkat kekerasan 48% dari spesimen yang belum diberi perlakuan panas dan memiliki beban tensile shear maksimum 5759 N.

Kata kunci: FSSW, AA6063-T5, *artificial aging*, *precipitation hardening*

***THE EFFECT OF PRECIPITATION HARDENING ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF WELDING FSSW AA6063-T5***

Febri Kurniawan  
Mechanical Engineering  
Sebelas Maret University  
E-mail : [Febrik630@gmail.com](mailto:Febrik630@gmail.com)

***Abstract***

*Aluminum alloy is one of the hard materials coupled with friction welding. FSSW is a solution to solve engineering problems in joining friction welding. Parameters affecting friction welding are time of friction, rotation speed, and depth of plunge. In this study, specimens were friction welded with rotation speed of 1600 rpm, dwell time 5 seconds, and plunge depth 4 mm. The weakness of the friction welding process is the decrease of strength, this is due to the friction welding done in solid condition. To improve the strength of FSSW welding, precipitation hardening method can be used.*

*The precipitation hardening method is done in three stages, solution heat treatment, quenching and aging with artificial aging process. Artificial aging temperature varies between 135oC, 165oC, and 200oC with holding time in 7 hours, 8 hours, 9 hours, and 10 hours. The results showed that precipitation hardening caused increased hardness in welded joints. Specimens with a temperature of 165oC aging and holding time of 8 hours had a 48% hardness level of the specimen that had not been treated with heat and had a maximum tensile shear load of 5759 N.*

*Keywords: FSSW, AA6063-T5, artificial aging, precipitation hardening.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan kenikmatan kepada kita semua sehingga laporan tugas akhir ini dapat penulis selesaikan. Tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk memenuhi sebagian persyaratan guna mencapai gelar sarjana teknik di Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. Tugas akhir ini memaparkan pengaruh *precipitation hardening* terhadap sifat fisis dan mekanik pada pengelasan FSSW material alumunium paduan AA6063-T5.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian dan penulisan laporan tugas akhir ini, khususnya kepada :

1. Ayah, Ibu dan keluarga tercinta atas segala dukungan, doa dan bimbingan sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Nurul Muhayat, ST., MT dan Bapak Teguh Triyono, ST., MEng, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan masukan selama penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Eng. Syamsul Hadi, ST., MT selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNS.
4. Bapak Dr. Eko Surojo, ST., MT, Bapak Heru Sukanto, ST., MT dan Bapak Purwadi Joko Widodo, ST., M.Kom, selaku dosen penguji.
5. Bapak Sukmaji Indro Cahyono, ST., MEng selaku dosen pembimbing akademik.
6. Semua dosen Teknik Mesin FT UNS yang telah membuka wacana keilmuan penulis.
7. Teman-teman S1 Teknik Mesin UNS yang telah memberikan dukungan dan motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, atas bantuan dan dorongan semangat serta doanya. Terima kasih, semoga Allah SWT membalas budi baik anda semuanya.

Penulis menyadari, bahwa dalam skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, bila ada saran, koreksi dan kritik demi kesempurnaan skripsi ini, akan penulis terima dengan ikhlas dan dengan ucapan terima kasih.

Dengan segala keterbatasan yang ada, penulis berharap skripsi ini dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Surakarta, Juli 2017

Penulis

## Daftar Isi

<b>Halaman Judul</b>	<b>i</b>
<b>Surat Tugas</b>	<b>ii</b>
<b>Lembar pengesahan</b>	<b>iii</b>
<b>Abstrak</b>	<b>iv</b>
<b>Abstract</b>	<b>v</b>
<b>Kata Pengantar</b>	<b>vi</b>
<b>Daftar isi</b>	<b>viii</b>
<b>Daftar Gambar</b>	<b>x</b>
<b>Daftar Tabel</b>	<b>xii</b>
<b>Daftar Lampiran</b>	<b>xiii</b>
<b>Daftar Rumus</b>	<b>xvi</b>
<b>Daftar Notasi</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB 1</b>	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
<b>BAB II</b>	<b>4</b>
<b>LANDASAN TEORI</b>	<b>4</b>
2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.2 Dasar teori	6
2.2.1. <i>Friction Stir Spot Welding</i>	6
2.2.2. Prinsip Kerja FSSW	8
2.2.3. Aluminium Alloy	9
2.2.4. Aluminium Alloy Al-Mg-Si	12
2.2.5. Perlakuan Panas	13
2.2.6. Precipitation Hardening	14
2.2.7. Metode Pengujian	18

<b>BAB III</b>	<b>22</b>
<b>METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>22</b>
3.1. Tempat Penelitian	22
3.2. Alat dan Bahan	22
3.2.1. Alat	22
3.2.2. Bahan	22
3.3. Prosedur Penelitian	23
3.3.1. Persiapan dan Pemotongan spesimen	23
3.3.2. Proses Pengelasan	24
3.3.3. Variabel Penelitian	24
3.3.4. Proses <i>Precipitation Hardening</i>	25
3.3.5. Tahapan Pengujian Spesimen	25
3.4. Tahap Analisa	27
3.5. Diagram Penelitian	27
<b>BAB IV</b>	<b>28</b>
<b>DATA DAN ANALISIS</b>	<b>28</b>
4.1. Observasi Makroskopik	28
4.2. Observasi Mikroskopik	29
4.3. Analisa Data Pengujian Kekerasan	34
4.4. Pengujian Tarik Geser	37
<b>BAB V</b>	<b>41</b>
<b>PENUTUP</b>	<b>41</b>
5.1. Kesimpulan	41
5.2. Saran	41
<b>LAMPIRAN</b>	<b>44</b>



## Daftar Gambar

Gambar 2.1 Kecenderungan kekuatan tarik spesimen	4
Gambar 2.2 Grafik <i>kekerasan</i> pada beberapa kondisi perlakuan aluminium 6063	5
Gambar 2.3 Tahapan Proses FSSW. <i>Plunging, stirring, drawing out</i>	7
Gambar 2.4 Zona Pengelasan FSSW	8
Gambar 2.5 Mikrostruktur aluminium <i>alloy</i>	13
Gambar 2.6 Diagram fasa biner semu dari paduan Al-Mg <sub>2</sub> -Si	13
Gambar 2.7 Proses <i>Precipitation Hardening</i>	15
Gambar 2.8 Diagram fasa pemanasan logam paduan	15
Gambar 2.9 Pengujian <i>vickers</i>	19
Gambar 2.10 Contoh kurva uji tarik	19
Gambar 3.1 Tool HSS dengan diameter shoulder 12 mm dan diameter pin 7 mm	23
Gambar 3.2 Spesimen FSSW	23
Gambar 3.3 Kurva hubungan temperatur dan waktu pada proses precipitation hardening	25
Gambar 3.4 Mesin uji kekerasan <i>vickers</i>	26
Gambar 3.5 Mikroskop Optik	26
Gambar 3.6 Mesin UTM	27
Gambar 3.7 Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 4.1 Foto makrostruktur pengelasan FSSW	28
Gambar 4.2 Adanya hook pada pengelasan FSSW sesudah dilakukan precipitation hardening	29
Gambar 4.3 Pemetaan Daerah Observasi Mikroskopik	29
Gambar 4.4 Struktur Mikro Daerah BM yang di <i>precipitation hardening</i>	30
Gambar 4.5 Perbedaan Fasa Gelap dan Terang Daerah HAZ yang di precipitation hardening.	30
Gambar 4.6 Observasi Mikroskopik Daerah HAZ	32
Gambar 4.7 Observasi Mikroskopik Daerah TMAZ	33
Gambar 4.8 Observasi Mikroskopik Daerah SZ	34
Gambar 4.9 Pemetaan daerah pengambilan data <i>vickers</i>	35

Gambar 4.10 Grafik hasil uji <i>micro vickers</i> dengan suhu <i>artificial aging</i> 135, 165, 200°C dengan <i>holding time</i> 7 jam dan BHT ( <i>before heat treatmen</i> )	35
Gambar 4.11 Grafik hasil uji <i>micro vickers</i> dengan suhu <i>artificial aging</i> 135, 165, 200°C dengan <i>holding time</i> 8 jam dan BHT ( <i>before heat treatmen</i> )	36
Gambar 4.12 Grafik hasil uji <i>micro vickers</i> dengan suhu <i>artificial aging</i> 135, 165, 200°C dengan <i>holding time</i> 9 jam dan BHT ( <i>before heat treatmen</i> )	36
Gambar 4.13 Grafik hasil uji <i>micro vickers</i> dengan suhu <i>artificial aging</i> 135, 165, 200°C dengan <i>holding time</i> 10 jam dan BHT ( <i>before heat treatmen</i> )	36
Gambar 4.14 Grafik hasil uji tarik geser dengan suhu <i>artificial aging</i> 135, 165, 200°C dengan <i>holding time</i> 7,8,9,10 jam	38
Gambar 4.15 Mode patahan tampak samping hasil uji tarik	40

## **Daftar Tabel**

Tabel 2.1. Macam-macam aluminium dan paduannya	9
Tabel 2.2. Jenis paduan angka ke-2	10
Tabel 2.3. Macam perlakuan panas angka ke-7	11
Tabel 2.4. Komposisi aluminium seri 6063-T5	12
Tabel 3.1. Komposisi kimia aluminium <i>alloy</i> 6061	22
Tabel 3.2. Variasi dalam proses <i>Artificial Aging</i> pengelasan FSSW	24

## **Daftar Lampiran**

Lampiran 1. Mesin milling untuk mengelas FSSW	45
Lampiran 2. Spesimen hasil las FSSW	46
Lampiran 3. Mesin furnace	47
Lampiran 4. Memanaskan spesimen las FSSW dengan furnace	48
Lampiran 5. Oven pemanas	49
Lampiran 6. Alat uji struktur mikro	50
Lampiran 7. Alat uji keras micro vikers	51
Lampiran 8. Alat uji tarik UTM	52
Lampiran 9. Data uji tarik geser	53
Lampiran 10. Data hasil uji keras micro vickers	55
Lampiran 11. Grafik hasil uji tarik geser spesimen BHT-1(Before Heat Treatmen)	56
Lampiran 12. Grafik hasil uji tarik geser spesimen BHT-2(Before Heat Treatmen)	57
Lampiran 13. Grafik hasil uji tarik geser spesimen BHT-3(Before Heat Treatmen)	58
Lampiran 14. Grafik hasil uji tarik geser spesimen BHT-4(Before Heat Treatmen)	59
Lampiran 15. Grafik hasil uji tarik geser spesimen A1-1(Temperatur 135°C; holding time 7 jam)	60
Lampiran 16. Grafik hasil uji tarik geser spesimen A1-2(Temperatur 135°C; holding time 7 jam)	61
Lampiran 17. Grafik hasil uji tarik geser spesimen A1-3(Temperatur 135°C; holding time 7 jam)	62
Lampiran 18. Grafik hasil uji tarik geser spesimen A2-1(Temperatur 135°C; holding time 8 jam)	63
Lampiran 19. Grafik hasil uji tarik geser spesimen A2-2(Temperatur 135°C; holding time 8 jam)	64
Lampiran 20. Grafik hasil uji tarik geser spesimen A2-3(Temperatur 135°C; holding time 8 jam)	65
Lampiran 21. Grafik hasil uji tarik geser spesimen A3-1(Temperatur 135°C; holding time 9 jam)	66
Lampiran 22. Grafik hasil uji tarik geser spesimen A3-2(Temperatur 135°C; holding time 9 jam)	67
Lampiran 23. Grafik hasil uji tarik geser spesimen A3-3(Temperatur 135°C; holding time 9 jam)	68
Lampiran 24. Grafik hasil uji tarik geser spesimen A4-1(Temperatur 135°C; holding time 10 jam)	69

Lampiran 25. Grafik hasil uji tarik geser spesimen A4-2(Temperatur 135°C; holding time 10 jam)	70
Lampiran 26. Grafik hasil uji tarik geser spesimen A4-2(Temperatur 135°C; holding time 10 jam)	71
Lampiran 27. Grafik hasil uji tarik geser spesimen B1-1(Temperatur 165°C; holding time 7 jam)	72
Lampiran 28. Grafik hasil uji tarik geser spesimen B1-2(Temperatur 165°C; holding time 7 jam)	73
Lampiran 29. Grafik hasil uji tarik geser spesimen B1-3(Temperatur 165°C; holding time 7 jam)	74
Lampiran 30. Grafik hasil uji tarik geser spesimen B2-1(Temperatur 165°C; holding time 8 jam)	75
Lampiran 31. Grafik hasil uji tarik geser spesimen B2-2(Temperatur 165°C; holding time 8 jam)	76
Lampiran 32. Grafik hasil uji tarik geser spesimen B2-3(Temperatur 165°C; holding time 8 jam)	77
Lampiran 33. Grafik hasil uji tarik geser spesimen B3-1(Temperatur 165°C; holding time 9 jam)	78
Lampiran 34. Grafik hasil uji tarik geser spesimen B3-2(Temperatur 165°C; holding time 9 jam)	79
Lampiran 35. Grafik hasil uji tarik geser spesimen B3-3(Temperatur 165°C; holding time 9 jam)	80
Lampiran 36. Grafik hasil uji tarik geser spesimen B4-1(Temperatur 165°C; holding time 10 jam)	81
Lampiran 37. Grafik hasil uji tarik geser spesimen B4-2(Temperatur 165°C; holding time 10 jam)	82
Lampiran 38. Grafik hasil uji tarik geser spesimen B4-3(Temperatur 165°C; holding time 10 jam)	83
Lampiran 39. Grafik hasil uji tarik geser spesimen C1-1(Temperatur 200°C; holding time 7 jam)	84
Lampiran 40. Grafik hasil uji tarik geser spesimen C1-2(Temperatur 200°C; holding time 7 jam)	85
Lampiran 41. Grafik hasil uji tarik geser spesimen C1-3(Temperatur 200°C; holding time 7 jam)	86
Lampiran 42. Grafik hasil uji tarik geser spesimen C2-1(Temperatur 200°C; holding time 8 jam)	87
Lampiran 43. Grafik hasil uji tarik geser spesimen C2-2(Temperatur 200°C; holding time 8 jam)	88
Lampiran 44. Grafik hasil uji tarik geser spesimen C2-3(Temperatur 200°C; holding time 8 jam)	89
Lampiran 45. Grafik hasil uji tarik geser spesimen C3-1(Temperatur 200°C; holding time 9 jam)	90
Lampiran 46. Grafik hasil uji tarik geser spesimen C3-2(Temperatur 200°C; holding time 9 jam)	91
Lampiran 47. Grafik hasil uji tarik geser spesimen C3-3(Temperatur 200°C; holding time 9 jam)	92
Lampiran 48. Grafik hasil uji tarik geser spesimen C4-1(Temperatur 200°C; holding time 10 jam)	93

Lampiran 49. Grafik hasil uji tarik geser spesimen C1-1(Temperatur 200°C; holding time 7 jam)	94
Lampiran 50. Grafik hasil uji tarik geser spesimen C1-1(Temperatur 200°C; holding time 7 jam)	95

## **Daftar Rumus**

Persamaan 2.1 Vickers Hardness Number	18
Persamaan 2.2 Tegangan	20
Persamaan 2.3 Regangan	20
Persamaan 2.4 Elastisitas	20

## Daftar Notasi

P	= Beban yang digunakan (kg)
d <sub>2</sub>	= Panjang diagonal rata- rata (mm)
θ	= Sudut antara permukaan intan yang berhadapan = 136°
σ	= Besarnya tegangan (kg/mm <sup>2</sup> )
P	= Beban yang diberikan (kg)
A <sub>0</sub>	= Luas penampang awal benda uji (mm <sup>2</sup> )
e	= Besar regangan
L	= Panjang benda uji setelah pengujian (mm)
L <sub>0</sub>	= Panjang awal benda uji (mm)
E	= Besar modulus elastisitas (kg/mm <sup>2</sup> )