



**ANALISIS VARIASI KECEPATAN PENGELASAN  
TERHADAP DISTRIBUSI TEMPERATUR  
PENGELASAN ALUMINIUM AA1100  
METODE FRICTION STIR WELDING**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Sinung Trah Utomo  
NIM 081910101002**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2012**

## PERSEMBAHAN

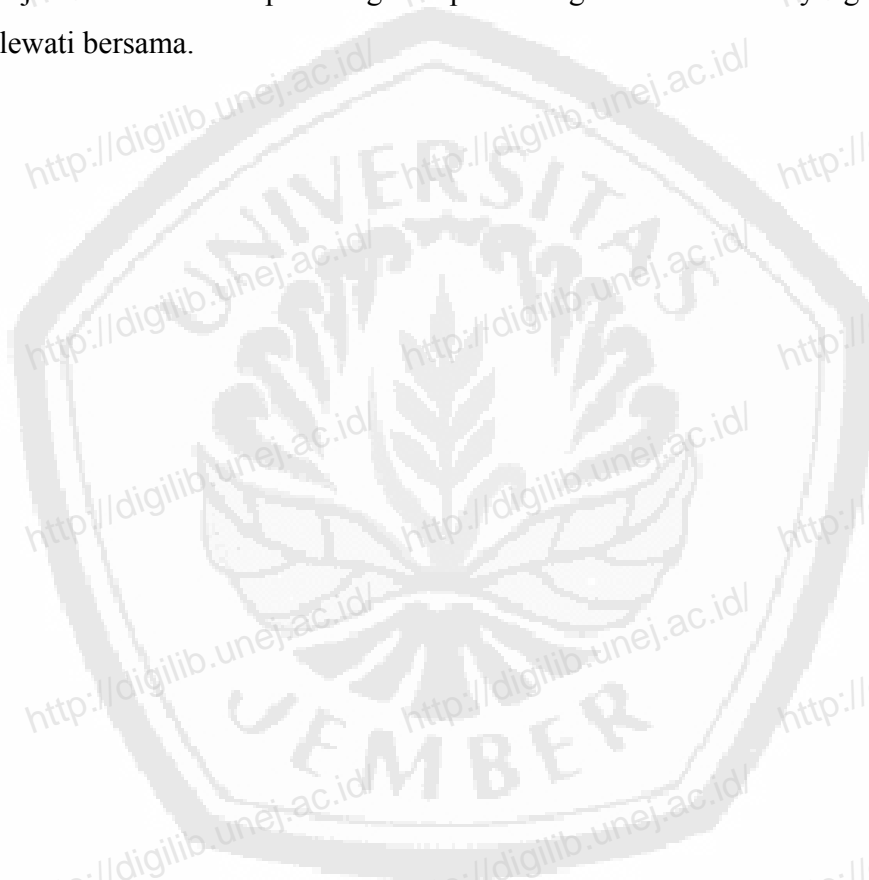
Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT. Syukur alhamdulillah atas segala kemudahan yang telah diberikan, semoga ridho dan ampunan-Mu selalu mengiringi tiap langkah hamba-Mu yang lemah ini.
2. Rasulullah SAW. Terima kasih atas petunjuk dan keteladanan yang telah kau berikan hingga jiwa ini penuh dengan kedamaian dan keikhlasan.
3. Ibunda tercinta, Sri Lestari S.Pd dan Ayahanda tercinta, Drs. Hirdjanto. Terima kasih atas semua hampan cinta-kasih, doa-doa serta pengorbanan yang telah diberikan sehingga aku masih bisa tetap tersenyum sampai saat ini. Atas setiap doa, keringat, rupiah, pengorbanan, setiap hal kecil yang telah tcurahkan dan mendidik anakmu yang bengal ini dengan penuh kesabaran. Yang aku berikan ini tidak akan cukup untuk membalas semua yang telah kalian berikan.
4. Mas - masku, Sigit Trahmawan S.T. dan Atok Pribadi Amd. Kep. serta Mbak - mbakku Rindang Ainany, S.Si dan Shanti Dwi Trahayu Amd. Keb serta ponakan Asy Syifa terima kasih atas semua dukungan semangat, kekuatan, doa-doa, cinta-kasih yang telah diberikan sehingga aku dapat menyelesaikan skripsi dengan baik dan lancar. Terima kasih sekali lagi untuk kepercayaan dan perasan keringatnya yang diberikan sehingga aku bisa mengenyam bangku perkuliahan ini.
5. Umi Ubaidah S.Farm Dengan pengorbanan, perhatian yang telah menjadi motivasiku dan semangatku.
6. Almamaterku, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin - Universitas Jember. Yang telah mengantarkanku kejenjang pendidikan yang lebih tinggi.
7. Anak-anak MC' Engine 08. Setiap perjalanan dengan kalian tak kan pernah terlupakan olehku. *"Keep Solidarity Forever"*.
8. Anak-anak Kontrakan (Emon, David, Kuncoro , Khoirul , dan Aldi) yang selalu menemani di kala terik panasnya matahari, hujan rintik-rintik serta mendung

bersama dalam satu atap rumah selama 2 tahun mulai dari rumah pak Romadi dan pak abah Ghozali.

9. Kelompok 61 (Desa Gelang) KKT Sumberbaru yang menjadi keluarga bahagia selama 45 hari. Semoga kekeluargaan kita tetap terjaga.

10. Tim FSW terimakasih atas curahan pikirannya sehingga tema FSW ini bisa dijadikan bahan skripsi. Jangan lupakan kegalauan bersama yang pernah kita lewati bersama.

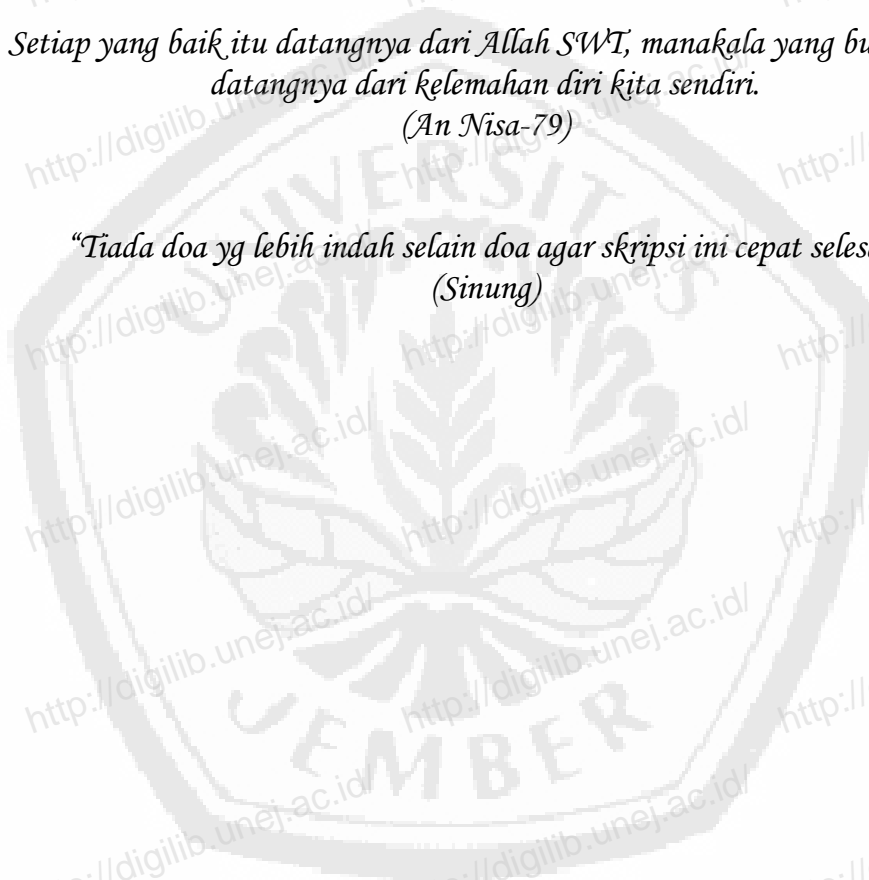


## MOTTO

*Jadikanlah sabar dan shalatmu sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah SWT  
berserta orang-orang yang sabar  
(Al-Baqarah-153)*

*Setiap yang baik itu datangnya dari Allah SWT, manakala yang buruk itu  
datangnya dari kelemahan diri kita sendiri.  
(An Nisa-79)*

*“Tiada doa yg lebih indah selain doa agar skripsi ini cepat selesai”  
(Sinung)*



## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Sinung Trah Utomo

NIM : 081910101002

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis yang berjudul: “Analisis Variasi Kecepatan Pengelasan terhadap Distribusi Temperatur Pengelasan Aluminium AA1100 Metode Friction Stir Welding” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 23 Oktober 2012

Yang menyatakan,

Sinung Trah Utomo  
NIM 081910101002

**SKRIPSI**

**ANALISIS VARIASI KECEPATAN PENGELASAN  
TERHADAP DISTRIBUSI TEMPERATUR  
PENGELASAN ALUMINIUM AA1100  
METODE FRICTION STIR WELDING**

Oleh

Sinung Trah Utomo  
NIM 081910101002

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Hary Sutjahjono, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.

## PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Variasi Kecepatan Pengelasan terhadap Distribusi Temperatur Pengelasan Aluminium AA1100 Metode Friction Stir Welding” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada :

hari, tanggal : Selasa, 23 Oktober 2012

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

### Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Hary Sutjahjono, S.T., M.T.  
NIP 19681205 199702 1 002

Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.  
NIP 19681207 199512 1 002

Anggota I,

Anggota II,

Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc.  
NIP 19680617 199501 1 001

Andi Sanata S.T., M.T.  
NIP. 19750502 200112 1 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Ir. Widyono Hadi, MT.  
NIP 19610414 198902 1 001

*Analisis Variasi Kecepatan Pengelasan terhadap Distribusi Temperatur Pengelasan Aluminium AA1100 Metode Friction Stir Welding (The Analysis of the Welding Speed on the Welding Temperature Distribution of Aluminium AA1100 using Friction Stir Welding Method)\*)*

**Sinung Trah Utomo**

*Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember*

**ABSTRAK**

*Friction stir welding (FSW)* adalah suatu metode pengelasan baru yang mempunyai prinsip kerja memanfaatkan gesekan dari pahat yang berputar dengan benda kerja lain yang diam sehingga mampu melelehkan benda kerja yang diam tersebut. Pada pengelasan *Friction Stir Welding* efisiensi aliran perpindahan panas berpengaruh terhadap hasil pengelasan. Metode yang digunakan analisa teoritis proses perpindahan panas konduksi dua dimensi pada aluminium paduan AA1100 dengan sumber panas pahat mesin milling adapun faktor yang mempengaruhi perbandingan nilai analisa teoritis dan eksperimental yaitu nilai tetapan bahan diantaranya nilai konduktivitas termal bahan ( $k$ ), kalor spesifik ( $c$ ), dan koefisien perpindahan kalor ( $h$ ). Hal ini didapat perbandingan nilai suhu eksperimental dan teoritis (S1;S2;S teoritis) pada *feed rate* 7,3 mm/menit, *feed rate* 13 mm/menit, *feed rate* 24 mm/menit didapat nilai tertinggi pada masing-masing parameter berurutan yaitu (384°C; 204°C; 192,02°C); (328°C; 172°C; 164,09°C); (280°C; 145°C; 140,07°C). Pada sensor 1 dengan *feed rate* 13 mm/menit detik ke-4 suhu 328 °C merupakan temperatur optimal dikarenakan mendekati  $\pm 80\%$  dari titik cair AA1100.

Kata kunci: *Friction stir welding, distribusi panas, kecepatan pengelasan*



*Analisis Variasi Kecepatan Pengelasan terhadap Distribusi Temperatur Pengelasan Aluminium AA1100 Metode Friction Stir Welding (The Analysis of the Welding Speed on the Welding Temperature Distribution of Aluminium AA1100 using Friction Stir Welding Method)\*)*

**Sinung Trah Utomo**

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, the University of  
Jember

**ABSTRACT**

*Friction stir welding (FSW) is a new welding method has the principle of utilizing the friction of a rotating cutting tool with a stationary workpiece another so as to melt the stationary workpiece. In Friction Stir Welding heat transfer efficiency of the flow effect on the welding results. The method used the theoretical analysis of two-dimensional conduction heat transfer to the aluminum alloy AA1100 with a heat source as for milling machine cutting tool factors that affect the comparison of theoretical and experimental analysis of the value of the material constant of the material of which the value of thermal conductivity ( $k$ ), specific heat ( $c$ ), and heat transfer coefficient ( $h$ ). It obtained the comparison of experimental and theoretical values of temperature ( $S1$ ;  $S2$ ;  $S$  theoretically) the feed rate of 7.3 mm / min, feed rate 13mm/menit, feed rate of 24 mm/min obtained the highest score in each of the successive parameter (384 ° C; 204 ° C; 192.02 ° C), (328 ° C; 172 ° C; 164.09 ° C), (280 ° C; 145 ° C; 140.07 ° C). In sensor 1 with a feed rate 13mm/menit seconds-4 temperature 328 ° C is the optimum temperature due to approaching  $\pm 80\%$  of the melting point of AA1100.*

*Key words: Friction stir welding, heat transfer, feed rate.*

## RINGKASAN

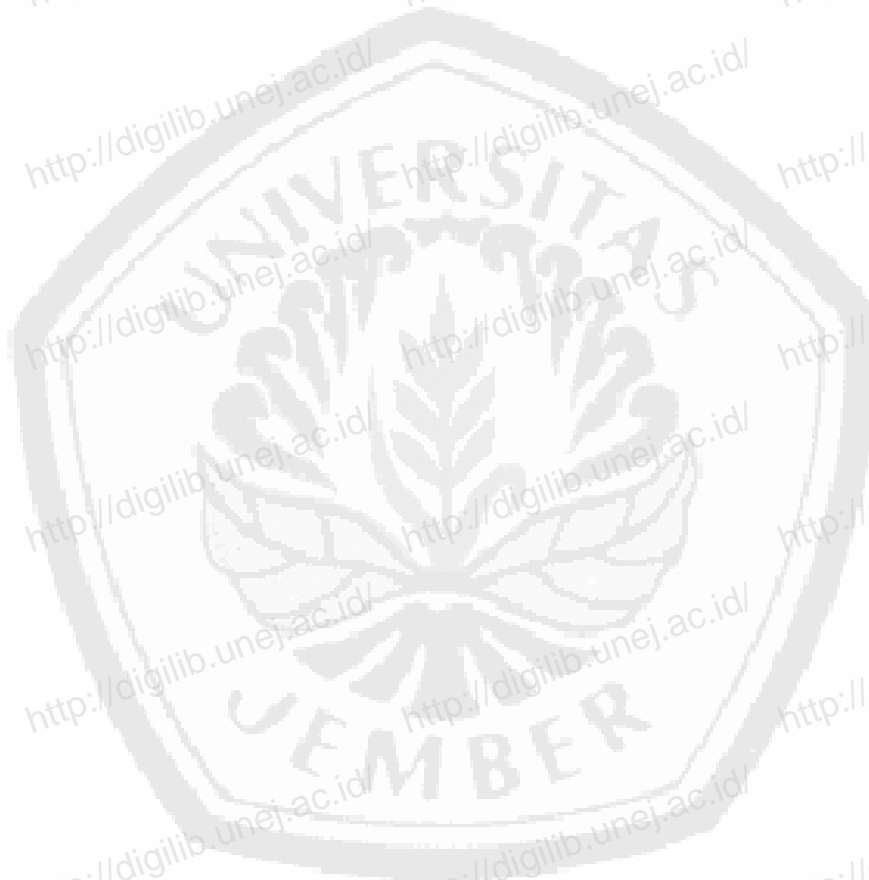
**Analisis Variasi Kecepatan Pengelasan terhadap Distribusi Temperatur Pengelasan Aluminium AA1100 Metode Friction Stir Welding;** Sinung Trah Utomo, 081910101002; 2012: 57 halaman; Program Studi Strata Satu Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

*Friction stir welding* adalah suatu metode pengelasan baru yang dapat menjadi solusi untuk masalah tersebut, karena hasil pengelasan yang menggunakan metode *Friction Stir Welding* memiliki daerah TMAZ (*thermomechanically affected zone*) yang lebih kecil sehingga cacat serta kerusakan dan kerugian dapat dikurangi. Pada pengelasan *Friction Stir Welding* efisiensi aliran perpindahan panas berpengaruh terhadap hasil pengelasan. Sehingga diperlukan beberapa bentuk model perpindahan panas dengan peletakan node sensor untuk menggambarkan bentuk perpindahan panas yang terjadi dari proses pengelasan tersebut.

Tujuan penggambaran tersebut adalah mengetahui nilai suhu di titik-titik perambatan panas yang terjadi pada proses pengelasan *Friction stir welding* pada paduan Aluminium AA1100, mengetahui perbandingan perambatan panas secara analisis teori dan eksperimental, mengetahui sifat panas Aluminium paduan AA1100 bila dilakukan pengerjaan pengelasan *Friction Stir Welding* dengan variasi *feed rate* 7,3  $\text{mm}/\text{menit}$ , *feed rate* 13  $\text{mm}/\text{menit}$ , *feed rate* 24  $\text{mm}/\text{menit}$  serta waktu pengkampuhan.

Untuk penelitian ini, perpindahan panas konduksi menjadi pembahasan utama dengan faktor yang menjadi pembentuk sebuah penyelesaian persamaan konduksi. Dengan metode analisa teoritis proses perpindahan panas konduksi dua dimensi pada aluminium paduan AA1100 dengan sumber panas pahat mesin milling didapatkan beberapa faktor mekanis bahan yaitu Konduktivitas Termal Bahan ( $k$ ), kalor spesifik, densitas bahan dan Koefisien perpindahan kalor ( $h$ ). dari faktor diatas nilai perambatan panas yang terjadi akan memiliki perbedaan sesuai dengan kenaikan suhu yang dibaca oleh data logger suhu.

Hasil penelitian menunjukkan Perbandingan nilai suhu eksperimental dan teoritis (S1;S2;S teoritis) pada *feed rate* 7,3 <sup>mm</sup>/menit, *feed rate* 13<sup>mm</sup>/menit, *feed rate* 24 <sup>mm</sup>/menit didapat nilai tertinggi pada masing-masing parameter berurutan yaitu (384°C; 204°C; 192,02°C); (328°C; 172°C; 164,09°C); (280°C; 145°C; 140,07°C). Pada sensor 1 dengan *feed rate* 13<sup>mm</sup>/menit detik ke-4 suhu 328 °C merupakan temperatur optimal dikarenakan mendekati ± 80% dari titik cair AA1100.



## SUMMARY

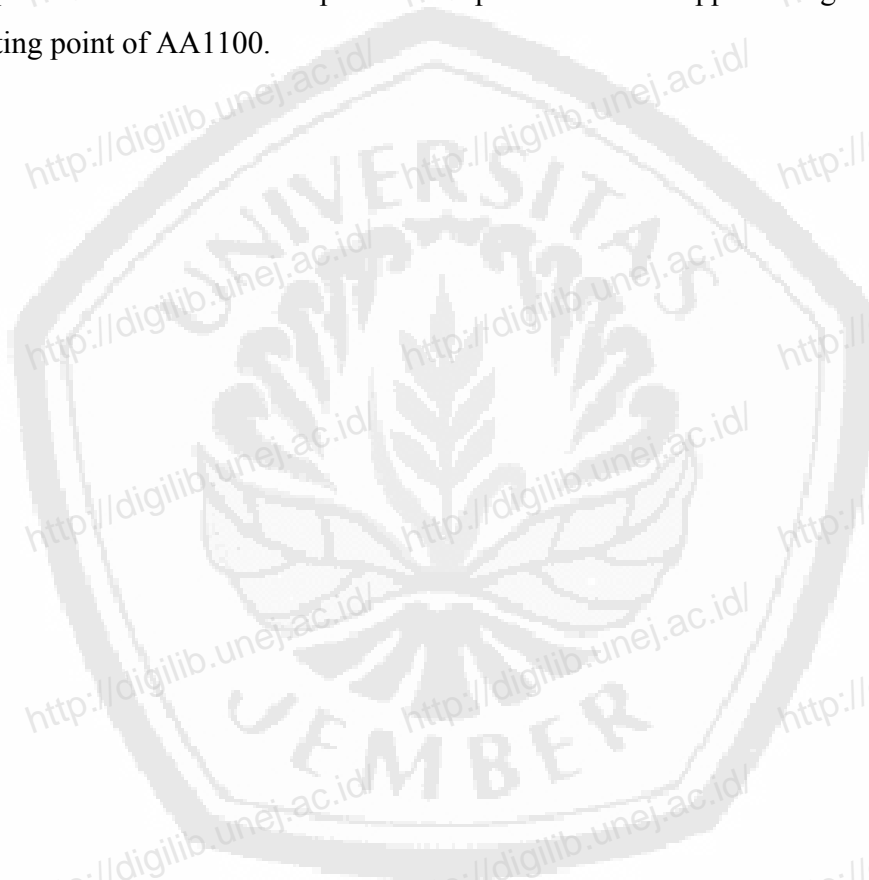
**The Analysis of the Welding Speed on the Welding Temperature Distribution of Aluminium AA1100 using Friction Stir Welding Method;** Sinung Trah Utomo, 081910101002; 2012; 57 pages; Mechanical Engineering; Engineering Faculty of Jember University

Friction stir welding is a new welding method can be a solution to the problem, because the welding Friction Stir Welding method has TMAZ region (thermomechanically affected zone) smaller so that defects and damage and loss can be reduced. In Friction Stir Welding welding heat transfer efficiency of the flow effect on the welding results. So that required some form of heat transfer models with the laying of sensor nodes to describe the form of heat transfer that occurs from the welding process.

The objective was to determine the value of drawing temperature on propagation of hot spots that occur in the process of welding Friction stir welding on aluminum alloy AA1100, knowing the ratio of heat propagation theoretical and experimental analysis, knowing the nature of aluminum alloy AA1100 heat when done welding Friction Stir Welding work with variations in feed rate of 7.3 mm / min, feed rate of 13 mm / min, feed rate of 24 mm / min and the melting time. form of heat transfer that occurs from the welding process.

For this research, the heat transfer by conduction into the main discussion of the factors to be forming a settlement conduction equation. With the method of theoretical analysis of two-dimensional conduction heat transfer to the aluminum alloy AA1100 heat sources chisel milling machines found several mechanical factors ie material Material Thermal Conductivity (k), specific heat, density of the material and heat transfer coefficient (h). of the above factors resulting heat propagation values will differ according to the temperature rise that is read by the data logger temperature.

The results showed Comparison of experimental and theoretical values of temperature (S1; S2;S theoretically) on the feed rate of 7.3 mm / min, feed rate 13mm/menit, feed rate of 24 mm / min obtained the highest score in each of the successive parameter (384 ° C; 204 ° C; 192.02 ° C), (328 ° C; 172 ° C; 164.09 ° C), (280 ° C; 145 ° C; 140.07 ° C). In sensor 1 with a feed rate 13mm/menit seconds-4 temperature 328 ° C is the optimum temperature due to approaching  $\pm$  80% of the melting point of AA1100.



## PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Variasi Kecepatan Pengelasan terhadap Distribusi Temperatur Pengelasan Aluminium AA1100 Metode Friction Stir Welding”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

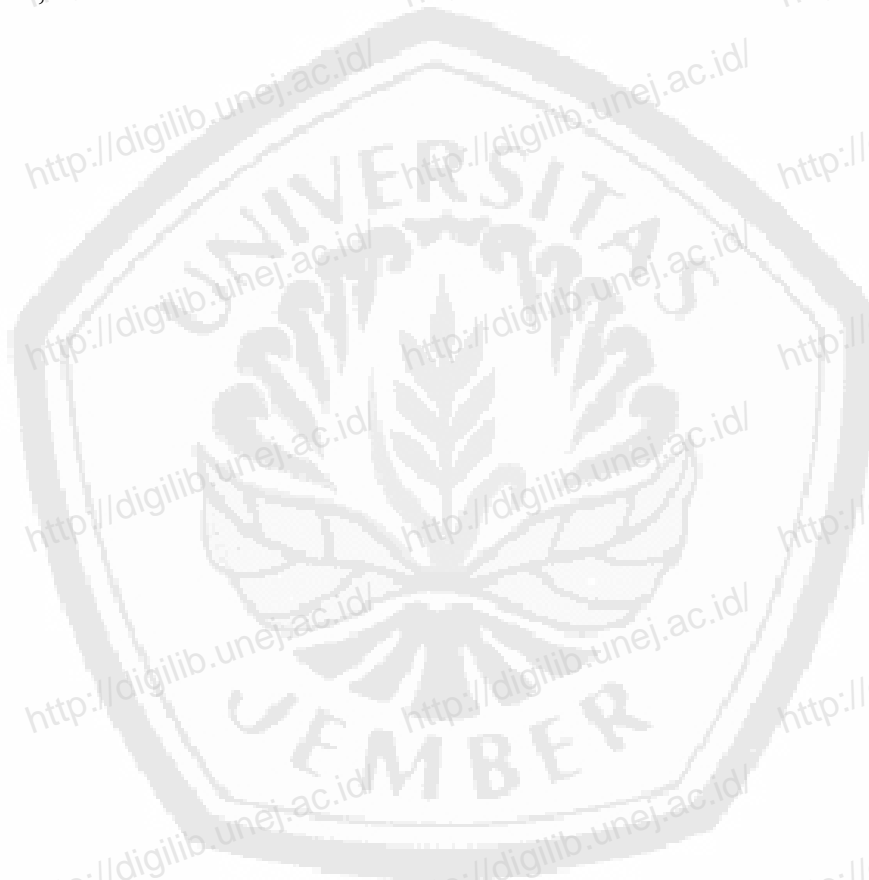
Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan banyak-banyak ucapan terima kasih kepada :

1. Ir. Widyono Hadi, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Hary Sutjahjono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya skripsi ini;
3. Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc. dan Andi Sanata S.T., M.T., selaku dosen penguji;
4. Hari Arbiantara B., S.T., M.T., sebagai Dosen Pembimbing Akademik serta semua Dosen Teknik Mesin yang tidak bisa disebutkan satu-persatu, terima kasih atas semua bimbingan, semangat, dan waktu yang telah bapak berikan dan ajarkan;
5. Mas Taufik, terima kasih atas waktu dan pembelajaran, serta sharing ilmu yang diberikan;
6. Teman-teman Mc' Engine 08;
7. Kelompok 61 KKT Gelang Sumberbaru, dari kalian dunia saya menjadi lebih luas;
8. Teman sepanjang jalanku, thanks for everything;
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga tulisan ini dapat bermanfaat.

Jember, 23 Oktober 2012

Penulis,



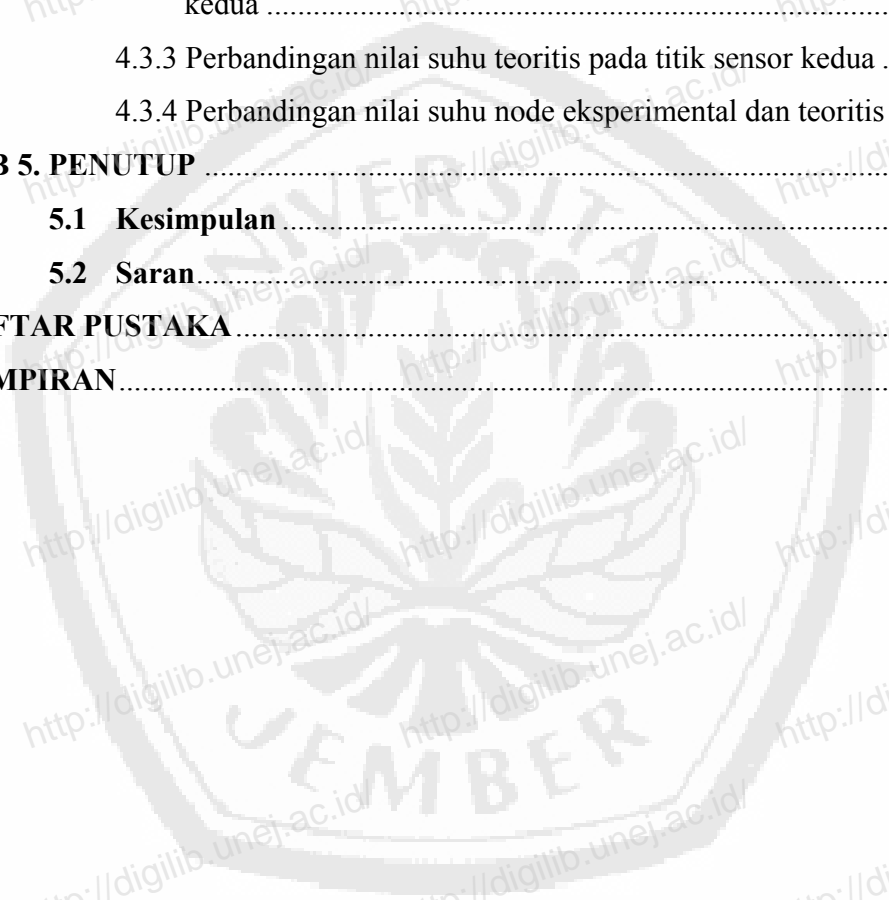
## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....	vi
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>ABSTRAK</b> .....	viii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>RINGKASAN</b> .....	x
<b>SUMMARY</b> .....	xii
<b>PRAKATA</b> .....	xiv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xvi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xx
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xxi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	4
<b>1.3 Tujuan dan Manfaat</b> .....	5
1.3.1 Tujuan .....	5
1.3.2 Manfaat .....	5
<b>1.4 Batasan Masalah</b> .....	6
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
<b>2.1 Friction Stir Welding</b> .....	7
<b>2.2 Klasifikasi Aluminium dan Paduannya</b> .....	12
2.2.1 Pengertian Dasar Aluminium .....	12



2.2.2 Sifat-sifat Aluminium (Al).....	12
<b>2.3 Distribusi Temperatur.....</b>	<b>14</b>
2.3.1 Cara-cara perpindahan panas.....	15
2.3.2 Konduktivitas termal bahan.....	20
2.3.3 Konduksi Keadaan Tak-Tunak (Unsteady-State Heat transfer).....	22
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1 Metode Penelitian.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....</b>	<b>30</b>
<b>3.3 Alat dan Bahan Percobaan.....</b>	<b>30</b>
3.3.1 Alat.....	30
3.3.2 Bahan Penelitian.....	31
<b>3.4 Variabel Penelitian.....</b>	<b>31</b>
3.4.1 Variabel Bebas.....	31
3.4.2 Variabel terikat.....	32
3.4.3 Variabel kontrol.....	32
<b>3.5 Dimensi Pahat dan Benda Kerja.....</b>	<b>32</b>
3.5.1 Dimensi Pahat.....	32
3.5.2 Dimensi Benda Kerja.....	32
<b>3.6 Prosedur Penelitian.....</b>	<b>33</b>
<b>3.7 Diagram Alir Penelitian.....</b>	<b>35</b>
<b>3.8 Jadwal Kegiatan Penelitian.....</b>	<b>36</b>
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>37</b>
<b>4.1 Data Hasil Penelitian.....</b>	<b>37</b>
4.1.1 Data Eksperimental Awal.....	37
4.1.2 Nilai Tetapan Bahan.....	38
<b>4.2 Pengolahan Data.....</b>	<b>43</b>
4.2.1 Nilai suhu teoritis pada node dengan penambahan waktu ( $\Delta\tau$ ) dan penambahan jarak ( $\Delta x$ ).....	43

4.2.2 Laju perpindahan panas ( $q$ ) .....	45
<b>4.3 Analisa Grafik</b> .....	47
4.3.1 Perbandingan nilai suhu eksperimental pada sensor per tama .....	47
4.3.2 Perbandingan nilai suhu node eksperimental pada sensor kedua .....	48
4.3.3 Perbandingan nilai suhu teoritis pada titik sensor kedua .	49
4.3.4 Perbandingan nilai suhu node eksperimental dan teoritis	50
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	55
5.1 Kesimpulan .....	55
5.2 Saran .....	56
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	57
<b>LAMPIRAN</b> .....	58



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Prinsip <i>friction stir welding</i> .....	8
2.2 Gerakan <i>Tool</i> .....	9
2.3 Visualisasi kedalaman ceburan dan Tekanan <i>Tool</i> .....	10
2.4 Macam-macam desain tool pada FSW.....	11
2.5 Aliran perpindahan panas konduksi .....	15
2.6 Aliran perpindahan panas konveksi.....	17
2.7 Perpindahan panas radiasi.....	20
2.8 Asumsi titik pengambilan data.....	23
2.9 Numenklatur penyelesaian numerik pada kasus konduksi keadaan tak tunak dengan kondisi batas konveksi .....	25
2.10 Numenklatur untuk persamaan node dengan batas konveksi.....	26
3.1 Dimensi Pahat.....	32
3.2 Dimensi Benda Kerja.....	32
4.1 Peletakkan sensor pada pengambilan data.....	37
4.2 Grafik linier konduktivitas termal aluminium AA1100.....	39
4.3 Asumsi peletakan dan penambahan jarak sensor.....	43
4.4 Grafik perbandingan nilai suhu eksperimental sensor pertama.....	47
4.5 Grafik perbandingan nilai suhu eksperimental sensor kedua.....	48
4.6 Grafik perbandingan nilai suhu teoritis sensor kedua.....	49
4.7 Grafik perbandingan nilai eksperimental dan teoritis <i>feed rate</i> 7,3 mm/menit.....	50
4.8 Grafik perbandingan nilai eksperimental dan teoritis <i>feed rate</i> 13 mm/menit.....	52
4.9 Grafik perbandingan nilai eksperimental dan teoritis <i>feed rate</i> 24 mm/menit.....	53

## DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Nilai kira-kira koefisien perpindahan panas konveksi .....	18
2.2 Konduktifitas termal berbagai bahan pada 0°C .....	21
2.3 Persamaan node eksplisit perpindahan panas konduksi .....	28
3.1 Sifat-sifat fisik Aluminium AA1100 .....	31
3.2 Komposisi kimia logam dasar Aluminium AA1100 .....	31
3.3 Contoh penyajian data eksperimental .....	34
3.4 Rencana Jadwal Kegiatan Penelitian .....	36
4.1 Data eksperimental .....	38
4.2 Nilai konduktivitas termal bahan data eksperimental .....	40
4.3 Kapasitas kalor spesifik dari beberapa benda .....	41
4.4 Persamaan-Persamaan konveksi bebas dari berbagai permukaan .....	42
4.5 Nilai suhu teoritis .....	45
4.6 Nilai laju perpindahan panas konduksi eksperimental .....	46
4.7 Nilai laju perpindahan panas konduksi teoritis .....	46

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>A. Data digital suhu eksperimental data logger suhu</b> .....	58
A.1 Hasil Percobaan 1.....	58
A.2 Hasil Percobaan 2.....	60
A.3 Hasil Percobaan 3.....	63
<b>B. Nilai suhu kalibrasi masing masing sensor data logger suhu yang digunakan</b> .....	65
B.1 Data kalibrasi sensor .....	65
B.2 Nilai pengali sensor.....	66
<b>C. Grafik perbandingan</b> .....	66
C.1 Grafik perbandingan nilai suhu eksperimental sensor pertama.....	66
C.2 Grafik perbandingan nilai suhu eksperimental sensor kedua.....	67
C.3 Grafik perbandingan nilai suhu teoritis sensor kedua .....	67
C.4 Grafik perbandingan nilai suhu eksperimental dan teoritis pada <i>feed rate</i> 7,3 <sup>mm</sup> /menit .....	68
C.5 Grafik perbandingan nilai suhu eksperimental dan teoritis pada <i>feed rate</i> 13 <sup>mm</sup> /menit .....	68
C.6 Grafik perbandingan nilai suhu eksperimental dan teoritis pada <i>feed rate</i> 24 <sup>mm</sup> /menit .....	69
C.7 Perbandingan laju perpindahan panas data eksperimental .....	69
C.8 Grafik perbandingan laju perpindahan panas data teoritis.....	70
<b>D. Sifat-sifat bahan logam untuk perpindahan panas</b> .....	71
<b>E. Dokumentasi penelitian</b> .....	73
E.1 Mesin Milling Universal.....	73
E.2 <i>Tool Friction Stir Welding</i> .....	73
E.3 Pemasangan landasan dan penjepit pelat pengelasan <i>Friction Stir welding</i> .....	74

E.4 Peletakan sensor panas tampak bawah benda kerja.....	74
E.5 Peletakan sensor panas .....	75
E.6 Skema proses pengambilan data.....	75
<b>F. Lembar Sertifikat Bahan</b> .....	<b>76</b>

