

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul 'Model Sumber Panas Volumetrik Dari Proses FSW Dengan Menggunakan Simulasi *Moving Heat Source*'. sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya dan sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST).

Dalam penyusunan skripsi ini, Penulis ingin mengucapkan terima kasih pada:

1. Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M. Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang;
2. Purnami, ST., MT., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang;
3. Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT., selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang;
4. Ir. Djarot B. Darmadi MT., Ph.D., selaku dosen pembimbing skripsi I dan Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M. Eng. Sc., selaku dosen pembimbing skripsi II yang telah sabar, tulus dan ikhlas meluangkan waktu, memberikan bimbingan
5. Dr. Eng. Eko Siswanto ST., MT., selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan nasehat dan saran dalam perkuliahan;
6. Kedua orang tua, serta ketiga saudara penulis yang telah memberikan pengertian, banyak dukungan moril, dan materil, nasehat serta doa
7. Teman-teman dari ADM12AL serta SMAN 1 Sidoarjo yang sudah menjadi keluarga dan penyemangat dalam perjuangan perkuliahan di Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang;
8. Seluruh pihak terkait yang telah membantu dan tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak agar skripsi ini dapat lebih baik lagi.

Malang, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN UB MALANG.....	
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR SIMBOL.....	vii
RINGKASAN.....	viii
SUMMARY.....	ix
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 5
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2 <i>Friction Stir Welding</i> (FSW).....	5
2.2.1 Prinsip Kerja FSW.....	8
2.2.2 Parameter FSW Pada Sambungan <i>Butt</i>	8
2.2.3 Keuntungan dan Kelemahan FSW.....	11
2.3 Material Aluminium.....	11
2.4 Properti Termal Material.....	12
2.5 Teori <i>Moving Heat Source</i>	13
2.5.1 Model Distribusi Rosenthal.....	13
2.5.2 Model Distribusi Gaussian.....	14
2.5.3 Model Distribusi Goldak.....	14
2.5.3.1 Semi Elips.....	14
2.5.3.2 Elips Ganda.....	15
2.5.4 Kelebihan Model Panas Bergerak Volumetrik.....	15
2.6 Teori Perpindahan Panas (<i>Heat Transfer</i>).....	16

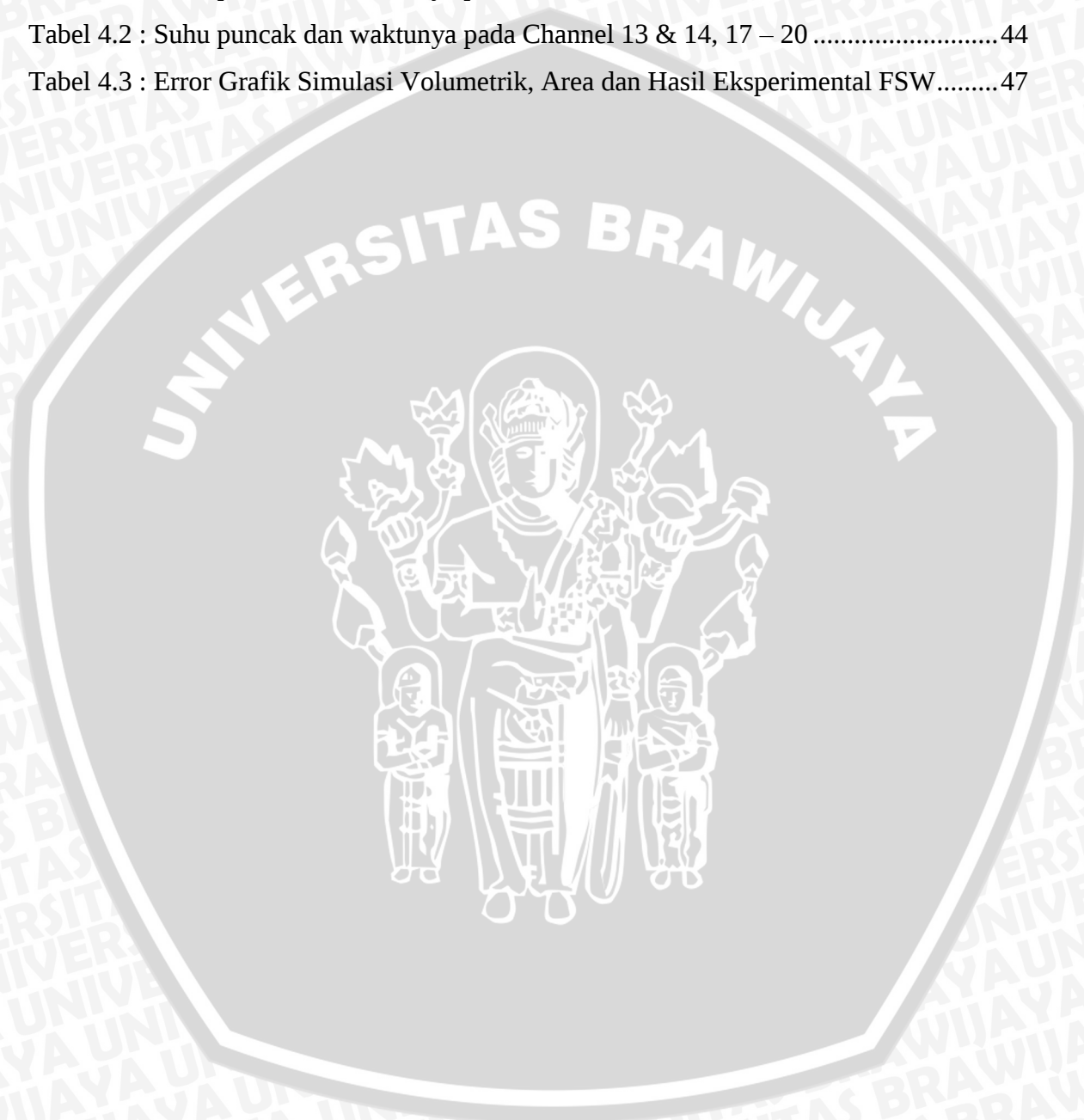
2.6.1 Konduksi	16
2.6.2 Konveksi	17
2.6.3 Radiasi	18
2.6.4 Overall Radiation Heat Transfer Coefficient.....	18
2.7 Metode Elemen Hingga	19
2.8 Software Berbasis Metode Elemen Hingga.....	22
2.8.1 Simulasi <i>Moving Heat Source</i>	23
2.9 Hipotesis	25
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Metode Penelitian	27
3.2 Variabel Penelitian	27
3.3 Langkah Penelitian	28
3.4 Data Material dan Dimensi Spesimen.....	29
3.5 <i>Meshing</i> Pada Software	29
3.5.1 Elemen SOLID70 dan SURF152.....	30
3.6 Pemodelan.....	32
3.6.1 Masukan Beban Panas.....	33
3.6.1.1 Masukan Panas Akibat Gesekan <i>Shoulder</i> Pahat	34
3.6.1.2 Masukan Panas Akibat Pin Pahat.....	35
3.7 Tempat dan Waktu Penelitian	36
3.8 Verifikasi Penelitian.....	36
3.9 Diagram Alir Penelitian	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Data Perhitungan Analitis sebagai Dasar Pemodelan Sumber Panas Volumetrik dari Proses FSW Menggunakan Simulasi <i>Moving Heat Source</i>	39
4.2 Analisa Persebaran Suhu dari Proses FSW dengan Perbandingan Antara Studi Eksperimental dan Simulasi	40
4.3 Kondisi <i>Quasi Steady State</i> FSW.....	45
4.4 Error Hasil Simulasi Terhadap Hasil Eksperimen dan Model Sumber Panas Area	46

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	x



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 : Perusahaan pengguna FSW	2
Tabel 3.1 : <i>Material Properties</i> Plat Lasan.....	29
Tabel 4.1 : Suhu puncak dan waktunya pada Channel 7-12, 15 & 16, 21-26.....	42
Tabel 4.2 : Suhu puncak dan waktunya pada Channel 13 & 14, 17 – 20	44
Tabel 4.3 : Error Grafik Simulasi Volumetrik, Area dan Hasil Eksperimental FSW	47



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 : Proses Manufaktur Mobil	2
Gambar 2.1 : Prinsip FSW	6
Gambar 2.2 : <i>Heat Zone</i> pada FSW	7
Gambar 2.3 : Macam – macam Sambungan Las.....	7
Gambar 2.4 : Proses FSW pada Sambungan <i>Butt</i>	8
Gambar 2.5 : Variasi Kekerasan Sepanjang Sambungan <i>Butt</i> pada FSW	9
Gambar 2.6 : Aluminium.....	12
Gambar 2.7 : Sumber Panas Distribusi Gaussian	14
Gambar 2.8 : Sumber Panas Semi Elips.....	15
Gambar 2.9 : Sumber Panas Elips Ganda	15
Gambar 2.10:Konduksi Panas Tiga Dimensi pada Elemen Volumetrik.....	17
Gambar 2.11:Pendinginan Fluida akibat Konveksi.....	17
Gambar 2.12:Radiasi pada Ruang Hampa	18
Gambar 2.13:Skema Pendekatan FEM, analisis, dan eksperimental	23
Gambar 2.14:Hubungan Masukan Panas dengan Parameter Lain dalam Pengelasan	24
Gambar 3.1 : Spesifikasi Plat Aluminium	29
Gambar 3.2 : <i>Meshing</i> pada Plat.....	30
Gambar 3.3 : SOLID70	31
Gambar 3.4 : Efek muka tiga dimensi dari SURF152.....	31
Gambar 3.5 : Kondisi Batas	32
Gambar 3.6 : Masukan Panas Lokal dari <i>Shoulder</i> Pahat	34
Gambar 4.1 : Gradien Suhu Pada Proses FSW	45
Gambar 4.2 : Perbandingan Luas Bawah Grafik	46

DAFTAR SIMBOL

Besaran Dasar	Satuan dan Singkatannya	Simbol
Kapasitas panas	Joule/kilogramKelvin	c
Gaya Gesek Permukaan	Newton atau N	F _f
Gaya Translasi	Newton atau N	F _r
Luas Permukaan	Meter Persegi atau m ²	A
Ketebalan Benda Kerja	Meter atau m	h
Koefisien konveksi	W/m ² K	h _c
Entalpi	Joule/kilogram	H
Konduktivitas thermal	Watt/meterKelvin (W/mK)	k _x ,k _y ,k _z
Fluk Panas	Watt/meter ² (W/m ²)	q
Radius pin	Meter atau m	r _p
Radius <i>shoulder</i>	Meter atau m	r _{sh}
Sumber Panas	Watt/meter ³ (W/m ³)	S
Waktu	Sekon	t
Suhu	Kelvin	T
Kecepatan <i>slip</i>	Meter/sekon (m/s)	v _i
Kecepatan pengelasan	Meter/sekon (m/s)	v _w
Koordinat titik	Meter atau m	x,y,z
Regangan geser material	Mega Pascal (MPa)	ȳ
Sudut ulir pin pahat	Derajat atau °	
Koefisien gesek	-	μ

RINGKASAN

Daru Kurnia Jati, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Januari 2017, *Model Sumber Panas Volumetrik Dari Proses FSW Dengan Menggunakan Simulasi Moving Heat Source*, Dosen Pembimbing : Djarot B. Darmadi dan Rudy Soenoko

Untuk membuat produk dengan kualitas yang mendekati keinginan pemakainya, jika tidak bisa dikatakan sempurna, diperlukan pertimbangan dalam berbagai macam proses pembuatan produk tersebut sampai distribusinya ke tangan pemakai. Salah satunya adalah proses produksi dan manufaktur dari produk itu sendiri. Dalam industri logam, pengelasan merupakan satu dari sekian banyak proses manufaktur dimana dua logam atau lebih digabung menjadi satu dengan cara melelehkan salah satu logam di atas logam yang lain dan membekukan kembali logam yang leleh tersebut.

Penelitian ini bertujuan meneliti salah satu jenis proses pengelasan, yaitu *Friction Stir Welding* (FSW); berapa suhu puncak titik tertentu pada waktu tertentu dan juga bagaimana persebaran suhu dari proses FSW. Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental semu atau simulasi. Dalam pemodelan kali ini, dua plat aluminium AL 6061 dengan dimensi p x l x t 180 x 60 x 10 (cm) dilas dengan proses FSW.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu sepanjang lintasan lasan akan meningkat seiring pergerakan translasi pahat yang berputar sebagai sumber panas, sampai titik puncak dimana setelahnya akan terjadi penurunan suhu diakibatkan pendinginan pasca pengelasan. Juga, dikarenakan kecenderungan grafik heating & cooling yang hampir sama, hasil yang didapat dari simulasi komputer dapat dipergunakan sebagai perbandingan untuk hasil eksperimental.

Kata Kunci: Friction Stir Welding, simulasi, suhu puncak, persebaran suhu.

SUMMARY

Daru Kurnia Jati, *Department of Mechanical Engineering, Faculty of Egnineering, University of Brawijaya, January 2017, Moving Body Heat load Model for FSW Simulation, Academic Supervisor : Djarot B. Darmadi and Rudy Soenoko*

In efforts of making products with the quality close enough to the demands of the users, if it cannot be said perfect, it is a necessity to consider various process in the product making until it's distribution to the consuments. One of them is the production process and manufacturing process of the product. In the metal industry, welding is one of the manufacturing process in which two metals or more are to be joined into one part by melting one metal on the other and then freeze it back.

This research aims to examine one of a kind of welding, that is Friction Stir Welding (FSW); how much the peak temperatur of certain place in a certain time and how does the temperature spreads along the process of FSW. This research using pseudo – experiment method or simulation. In this model, two plates of Aluminium AL 6061 with the dimension of $l \times w \times t$ 180 x 60 x 10 (cm) is welded by FSW process.

The results of this simulation states that the temperature along the weld line is increasing following the translation movement of the rotating tool acts as the heat source, until it reaches the peak point where the temperature will slowly go down due to the cooling phase of welding. Also, because of the heating – cooling graphic trend is nearly corresponds the experiments results, the simulation results is an ok to be used as a comparison for the experimental Friction Stir Welding results.

Keywords : Friction Stir Welding, simulation, peak temperature, temperature spreads

DAFTAR PUSTAKA

- Malde Thesis. (2006). *Thermomechanical Modeling Optimazation Of Friction Stir Welding*. Lousiana: Lousianan State University Press.
- Bai-Qiao Chen.(2011).*Prediction of Heating Induced Temperature Fields and Distortions in Steel Plates*.Lisboa : University of Lisboa Press.
- Fauza I. (2015). Pengaruh *Additional Crash Box* dengan Variasi Diameter dan Panjang terhadap Kemampuan Penyerapan Energi Impak dan Perilaku Deformasinya. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya
- Chao, Qi, dan Tang . (2003). *Heat Transfer In Friction Stir Welding*. Journal Of Manufacturing Science and Engineering Vol 125 : 138-145
- Song dan Kovecevic. (2003). *Numerical and Experimental Study of Heat Transfer Process in FSW*. Proc. Instn Mech. Engrs Part B: J. Engineering Manufacture. Vol. 217 : 73-86
- Suardi, Samsi. (2008). *Pengembangan Sistem FSW pada Material AC4CH*. Jakarta Universitas Indonesia Press.
- Rahayu, Deden. 2011. *Analisa Proses FSW pada Plat Tipis Aluminium*. Jakarta : Universitas Indonesia Press.
- Khaled, Terry. (2005). *An Outsider Looks at FSW*. ANM-112N-05-06-Juli 2005
- Chung, Yat. (1988). *Modeling Non – Linear Curve on FEA*. Elsevier Science Journal of Fracture Analysis Vol. 2 : 95
- Blunt M. & Coldwell B. (2002). *Two-Dimensional Heat Analysis Finite Element Method*. 20 November 2002
- P. Bastian. (2005). *Finite Element Solution Of Heat Conduction Problem In Complicated 3D Geometries Using the Multigrid Method*.Munchen: Universitates du Munchen, Germany
- Amini A. & Asadi P. (2014). *Friction Stir Welding Applications in Industries*. Teheran : Payame Noor University, Iran
- Hattel J.H. & Schimdt H.B. (2007).*Thermal Modelling of Friction Stir Welding*. Journal Of Material Vol 58 : 332-33
- Colegrove P.A.(2003). *Modelling of Friction Stir Welding*. Cambridge : University of Cambridge Press.

