

SKRIPSI
ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN MIKROSTRUKTUR HASIL
SAMBUNGAN PENGELASAN GESEK ANTARA ALUMINIUM
PADUAN DAN TEMBAGA PADUAN DENGAN VARIASI
KECEPATAN PUTARAN



JUNO FEBRIANO
03031381720002

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2012

5
621. 977. 07.
Jun
a
2019

507125

SKRIPSI
ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN MIKROSTRUKTUR HASIL
SAMBUNGAN PENGELASAN GESEK ANTARA ALUMINIUM
PADUAN DAN TEMBAGA PADUAN DENGAN VARIASI
KECEPATAN PUTARAN



JUNO FEBRIANO

03051381720002

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2019

SKRIPSI
ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN MIKROSTRUKTUR
HASIL SAMBUNGAN PENGELASAN GESEK ANTARA
ALUMINIUM PADUAN DAN TEMBAGA PADUAN
DENGAN VARIASI KECEPATAN PUTARAN

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya



JUNO FEBRIANO
03051381720002

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2019

HALAMAN PENGESAHAN

Analisis Sifat Mekanik dan Mikrostruktur Hasil Sambungan Pengelasan Gesek Antara Aluminium Paduan dan Tembaga Paduan Dengan Variasi Kecepatan Putaran

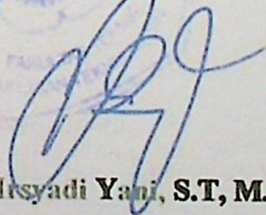
SKRIPSI

**Dibuat Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

**Diusulkan Oleh :
JUNO FEBRIANO
03051381720002**

Mengetahui,

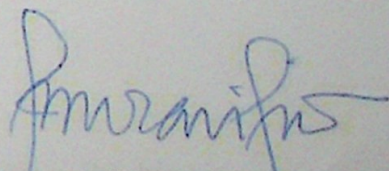
Ketua Jurusan Teknik Mesin



**Irsyadi Yani, S.T, M.Eng, Ph.D
NIP. 197112251997021001**

Palembang, Desember 2018

Dosen Pembimbing



**Amir Arifin, S.T, M.Eng, Ph.D
NIP.197909272003121004**

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan Judul "**Analisis Sifat Mekanik dan Mikrostruktur Hasil Sambungan Pengelasan Gesek Antara Aluminium Paduan dan Tembaga Paduan Dengan Variasi Kecepatan Putaran**" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada Tanggal 29 Desember 2018.

Palembang, Desember 2018

Tim Penguji Karya tulis ilmiah berupa Laporan Skripsi

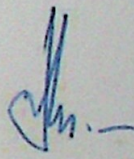
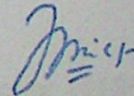
Ketua Penguji :

1. Gunawan, S.T, M.T, Ph.D
NIP. 197705072001121001

()

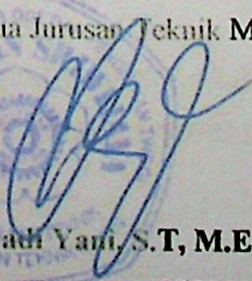
Anggota :

2. Ir. Helmi Alian, M.T
NIP. 195910151987031006
3. Muhammad Yanis, S.T, M.T
NIP. 197002281994121001

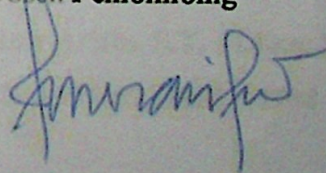
( 17-01-19)
( 18-01-19)

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin


Irsyad Yanti, S.T, M.Eng, Ph.D
NIP. 197112251997021001

Dosen Pembimbing


Amir Arifin, S.T, M.Eng, Ph.D
NIP.197909272003121004

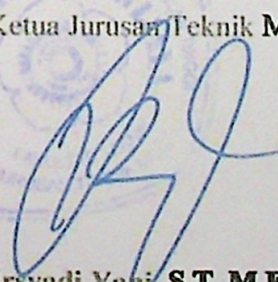
**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**Agenda No. :
Diterima Tanggal :
Paraf :**

SKRIPSI

NAMA : JUNO FEBRIANO
NIM : 03051381720002
JURUSAN : TEKNIK MESIN
**JUDUL : ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN
MIKROSTRUKTUR HASIL SAMBUNGAN
PENGELASAN GESEK ANTARA ALUMINIUM
PADUAN DAN TEMBAGA PADUAN DENGAN
VARIASI KECEPATAN PUTARAN**
DIBERIKAN : AGUSTUS 2018
SELESAI : DESEMBER 2018

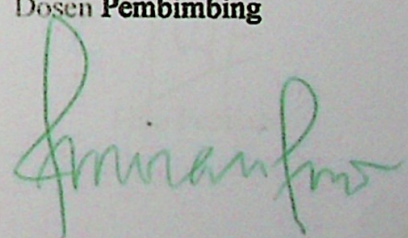
Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin


Irsyadi Yani, S.T, M.Eng, Ph.D
NIP. 197112251997021001

Palembang, Desember 2018

Diperiksa dan disetujui oleh

Dosen Pembimbing


Amir Arifin, S.T, M.Eng, Ph.D
NIP.197909272003121004

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Juno Febriano

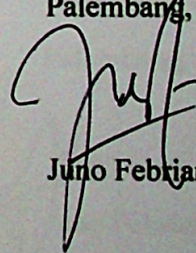
NIM : 03051381720002

Juduk Skripsi : Analisis Sifat Mekanik dan Mikrostruktur Hasil Sambungan Pengelasan Gesek Antara Aluminium Paduan dan Tembaga Paduan Dengan Variasi Kecepatan Putaran

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik, apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*Corresponding Author*).

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Januari 2019



Juno Febriano

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Juno Febriano

NIM : 03051381720002

Juduk Skripsi : Analisis Sifat Mekanik dan Mikrostruktur Hasil Sambungan Pengelasan Gesek Antara Aluminium Paduan dan Tembaga Paduan Dengan Variasi Kecepatan Putaran

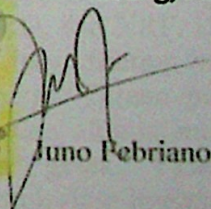
Menyatakan bahwa Skripsi saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan dari siapapun.



Palembang, Januari 2019




Juno Febriano

RINGKASAN

ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN MIKROSTRUKTUR HASIL SAMBUNGAN PENGELASAN GESEK ANTARA ALUMINIUM PADUAN DAN TEMBAGA PADUAN DENGAN VARIASI KECEPATAN PUTARAN

Juno Febriano; Dibimbing oleh Amir Arifin, S.T, M.Eng, Ph.D

MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE ANALYSIS USING FRICTION WELDING BETWEEN ALUMINUM ALLOY AND COPPER ALLOY BY ROTATION SPEED VARIATION

xxvii + 76 halaman, 16 tabel, 49 gambar , 5 lampiran

RINGKASAN

Pengelasan gesek merupakan salah satu solusi dalam memecahkan permasalahan penyambungan logam yang sulit dilakukan dengan pengelasan cair. Pengelasan ini termasuk jenis pengelasan *solid-state* tanpa menggunakan logam pengisi (*filler*) dimana tidak ada listrik atau sumber energi lain yang digunakan tetapi menggunakan metode tekanan, dimana dua benda kerja yang akan disambung ditempatkan dalam kontak dan diatur gerakan relatif dalam tekanan, maka gesekan antara dua benda kerja tersebut akan membangkitkan panas (*heat generated*) pada permukaan kontak (*interface*), ketika sudah mencapai temperatur tempa maka diberikan tekanan tempa secara aksial sehingga mengalami deformasi plastis kemudian kedua material yang disambung menjadi dingin dan membentuk ikatan dalam keadaan padat. Variasi yang digunakan yaitu pada kecepatan putaran (650 rpm, 800 rpm, 1020 rpm dan 1500 rpm). Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium paduan dan tembaga paduan. Aluminium paduan dipilih pada penelitian ini karena memiliki sifat-sifat seperti ringan, kuat, penghantar panas yang baik, konduktor listrik yang baik, tahan korosi dan non-magnetik. Sedangkan tembaga paduan dipilih karena memiliki sifat-sifat seperti konduktor listrik yang baik, tahan korosi, dan mudah dibentuk. Pengujian dilakukan dengan beberapa proses yaitu pengujian bending, pengujian kekerasan, pengujian metalografi, SEM, EDS, XRD, dan XRF. Dari beberapa pengujian ini akan diperoleh data-data tentang hasil friction welding yaitu komposisi, kekuatan, kekerasan dan struktur mikro. Tujuan penulis adalah untuk menginvestigasi proses penyambungan antara aluminium paduan dan tembaga paduan dengan metode pengelasan gesek. Fasa baru dari penyambungan material berbeda jenis akan terbentuk (fasa intermetalik) antara Al dan Cu, selanjutnya menganalisis kekuatan, kekerasan, komposisi dan struktur mikro yang dihasilkan pada daerah sambungan las. Dari hasil penelitian XRF diperoleh pada bahan Cu termasuk tembaga murni (Cu 99.95%) dan pada Al termasuk aluminium murni (seri 1xxx). Terjadi difusi pada interface antara Al dan Cu yang menghasilkan fasa intermetalik atau

senyawa baru yaitu Al_2Cu (khatyrkite). Diperoleh dari hasil uji XRD, muncul *peak-peak* utama pembentuk Al_2Cu . Al_2Cu bersifat rapuh dan getas, dari hasil uji bending kekuatan hasil sambungan Al-Cu cenderung rendah. Kekuatan bending meningkat seiring dengan kenaikan kecepatan putaran (tertinggi rata-rata 2.31 Kgf/mm²). Nilai kekerasan Vickers pada titik sambungan Al-Cu memiliki nilai rata-rata 136.24 HV.

Kata Kunci : Pengelasan Gesek, Al-Cu, Sifat Mekanik, Mikrostruktur.

SUMMARY

MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE ANALYSIS USING FRICTION WELDING BETWEEN ALUMINUM ALLOY AND COPPER ALLOY BY ROTATION SPEED VARIATION

Juno Febriano; Supervised by Amir Arifin, S.T, M.Eng, Ph.D

ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN MIKROSTRUKTUR HASIL
SAMBUNGAN PENGELASAN GESEK ANTARA ALUMINIUM PADUAN
DAN TEMBAGA PADUAN DENGAN VARIASI KECEPATAN PUTARAN

xxvii + 76 pages, 16 tables, 49 images, 5 attachment

SUMMARY

Friction welding is one of the solutions of dissimilar metal joint which is difficult to joint with liquid welding. It includes a type of solid-state welding without filler metal, no electricity or other energy sources used but uses a pressure method. Two materials are placed in contact condition and relative motion under pressure, then the friction will increase the temperature on the contact surface (interface) until they reach forge temperature. Then the axial pressure is given axially, plastic deformation then they joined cools and forms a bond in a solid state. Variations of rotational speeds (650 rpm, 800 rpm, 1020 rpm and 1500 rpm). The aim of the author is to investigate the connection processes between aluminum alloy and copper alloy with friction welding method. A new phase of joining different material will be formed (the intermetallic phase) between Al and Cu then analyzes the strength, hardness, composition and microstructure in the weld joint area. From the results of XRF research obtained on Cu material was pure copper (Cu 99.95%) and on Al material was pure aluminum (1xxx series). Diffusion occurs on the interface between Al and Cu which produces an intermetallic phase or a new compound, namely Al_2Cu (khatyrkite). Obtained from the results of the XRD test, the main peaks forming Al_2Cu appear. This compound is brittle, from the bending test results the strength of the results of Al-Cu joints tends to be weak. Metallography result, the specimens were etched using a solution of NaOH and water. Observations on the AL-Cu interface show that the new Al_2Cu (khatyrkite) and Al-Cu compound phase parallel to the interface interdiffusion. This compounds color were grey which is different from aluminum and corroded when immersed in NaOH etching. Bending strength increases as the highest rotation speed increases by an average of 2.31 Kgf / mm². Vickers

hardness value at the Al-Cu connection point has an average value of 136.24 HV.

Keywords : Friction Welding, Al-Cu, Mechanical Properties, microstructure.

MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE ANALYSIS
USING FRICTION WELDING BETWEEN ALUMINUM ALLOY AND
COPPER ALLOY BY ROTATION SPEED VARIATION

Juno Febriano, Supriyadi, Amri Andri, S.T, M.Ts, Ph.D

ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN MIKROSTRUKTUR HASIL
SAMBUNGAN GESER ANTARA ALUMINIUM PADUAN
DAN TEMPAH KUNINGAN VARIASI KECEPATAN PUTARAN

xxiii + 76 pages, 10 figures, 2 attachment

SUMMARY

Friction welding is one of the solutions of dissimilar metal joint which is difficult to be welded by conventional welding. It includes a type of solid-state welding without filler metal, no electrode, or other energy sources used but uses a pressure method. Two materials are placed in contact condition and relative motion under pressure, then the friction will increase the temperature on the contact surface (interface) until they reach large temperature. Then the axial pressure is given axially, plastic deformation then they joined cool and forms a bond in a solid state. Variations of rotational speeds (620 rpm, 800 rpm, 1020 rpm and 1200 rpm). The aim of the author is to investigate the connection process between aluminum alloy and copper alloy with friction welding method. A new phase of joining different material will be formed (the intermetallic phase) between Al and Cu then analyze the strength, hardness, composition and microstructure in the weld joint area. From the results of XRF research obtained on Cu material was pure copper (Cu 99.99%) and on Al material was pure aluminum (100% pure). Diffusion occurs on the interface between Al and Cu which produces an intermetallic phase or a new compound, namely Al₂Cu (Aluminum). Obtained from the results of the XRD test, the main peaks forming Al₂Cu appear. This compound is brittle, from the bending test results the strength of the results of Al-Cu joints tends to be weak. Metallography result, the specimen were etched using a solution of NaOH and water. Observations on the Al-Cu interface show that the new Al-Cu (Aluminum) and Al-Cu compound phase parallel to the interface was distributed. This compound color were grey which is different from aluminum and copper when immersed in NaOH solution. Bending strength increases as the highest rotation speed increases by an average of 2.31 Kgf/mm. Vickers

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis panjatkan kepada Alah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan anugerah-Nya kepada penulis. Sholawat teriring penulis hanturkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah membimbing kita pada jalan yang penuh berkah, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan Judul **“Analisis Sifat Mekanik dan Mikrostruktur Hasil Sambungan Pengelasan Gesek Antara Aluminium Paduan dan Tembaga Paduan Dengan Variasi Kecepatan Putaran”** ini disusun untuk memenuhi syarat mengikuti sidang akhir pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Amir Arifin, S.T, M.Eng, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu dan memberi bimbingan selama penyusunan laporan skripsi ini. Tak lupa juga penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung, yaitu kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
2. Bapak Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
3. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah memberikan wawasan dan ilmu kepada penulis selama ini.
4. Istri dan kedua anakku yang telah memberikan bantuan baik moril maupun materiil yang tidak ternilai harganya.
5. Kedua Orang tua, Mertua dan adik – adikku yang telah memberikan doa dan semangat untuk menyelesaikan pendidikan di Universitas Sriwijaya

6. Teman-teman seperjuangan di jurusan teknik mesin khususnya angkatan 2017 Alih Program D3 ke S1 yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan studi ini.
7. Para Karyawan dan Staf Jurusan Teknik Mesin yang sangat membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhirnya penulis mengharapkan semoga laporan skripsi ini bermanfaat bagi penulis sendiri khususnya, serta pembaca umumnya. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam menyusun laporan ini akibat keterbatasan yang penulis miliki, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun dari semua pihak demi kebaikan dan kesempurnaan laporan skripsi ini.

Terima kasih,

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Palembang,
Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

**UPT PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

NO. DAFTAR : 192567

TANGGAL : 12 FEB 2019

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	v
HALAMAN PENGESAHAN AGENDA	vii
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	ix
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	xi
RINGKASAN	xiii
SUMMARY	xv
KATA PENGANTAR	xvii
DAFTAR ISI	xix
DAFTAR GAMBAR	xxiii
DAFTAR TABEL	xxv
DAFTAR LAMPIRAN	xxvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Definisi Umum Pengelasan.....	7
2.2 Pengelasan Tekan (<i>Solid-State Welding</i>).....	8
2.3 Pengelasan Gesek (<i>Friction Welding</i>)	10
2.4 Pengelasan Gesek Rotasi (<i>Rotary Friction Welding</i>).....	11
2.5 Teknologi <i>Friction Welding</i>	13
2.5.1 Proses <i>Direct Drive Welding</i>	14
2.5.2 Proses <i>Inertia Drive Welding</i>	16
2.6 Kelebihan dan Kekurangan <i>Friction Welding</i>	17
2.6.1 Kelebihan	17

2.6.2	Kekurangan	18
2.7	Daerah <i>Heat Affected Zone</i> dan <i>Fusion Zone</i>	18
2.8	<i>Friction Welding</i> Untuk Material Sejenis (<i>Similar Metals</i>)	21
2.9	<i>Friction Welding</i> Untuk Material Non- Sejenis (<i>Dissimilar Metals</i>).23	
2.10	Aplikasi <i>Friction Welding</i>	27
2.11	Kombinasi Material Pada <i>Friction Welding</i>	28
2.12	Alumunium dan Paduannya.....	29
2.12.1	Definisi Umum Aluminium	29
2.12.2	Sifat Aluminium dan Paduannya	31
2.12.3	Aluminium Paduan	33
2.13	Tembaga dan Paduannya.....	40
2.14	Pengelasan Antara Al dan Cu.....	43
BAB 3	METODELOGI PENULISAN	45
3.1	Diagram Alur Penelitian	45
3.2	Studi Literatur.....	46
3.3	Persiapan Alat dan Bahan	46
3.3.1	Persiapan Alat.....	46
3.3.2	Persiapan Bahan	47
3.4	Proses <i>Friction Welding</i>	48
3.4.1	Parameter <i>Friction Welding</i>	49
3.5	Pengujian.....	50
3.5.1	Pengujian Bending.....	51
3.5.2	Pengujian Kekerasan Vickers.....	51
3.5.3	Pengujian Metalografi.....	52
3.5.4	Pengujuan SEM	54
3.5.5	Pengujian XRD.....	55
3.6	Analisa dan Pembahasan.....	55
3.7	Jadwal dan Tempat Penelitian.....	55
3.8	Hasil Yang Diharapkan.....	56
BAB 4	ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	57
4.1	Spesimen <i>Friction Welding</i> Al-Cu	57
4.2	Pengujian XRF	58
4.3	Pengujian <i>Bending</i>	59
4.4	Pengujian Kekerasan Vickers.....	61

4.5	Pengujian XRD.....	63
4.6	Pengujian SEM.....	67
4.7	Pengujian EDS.....	69
4.8	Pengujian Metalografi.....	72
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	75
5.1	Kesimpulan.....	75
5.2	Saran	76
DAFTAR RUJUKAN		xxix
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Beberapa jenis <i>Solid-State Welding</i>	10
Gambar 2. Beberapa jenis <i>Friction Welding</i>	11
Gambar 3. Proses <i>Rotary Friction Welding</i>	11
Gambar 4. Skema proses <i>direct drive welding</i>	14
Gambar 5. Grafik tahapan proses <i>direct-drive welding</i>	15
Gambar 6. Skema proses <i>inertia drive welding</i>	16
Gambar 7. Grafik tahapan proses <i>inertia-drive welding</i>	17
Gambar 8. Bagian – bagian material hasil <i>friction welding</i>	19
Gambar 9. Skematik pengaruh parameter pengelasan material sejenis	20
Gambar 10. <i>Friction welding</i> antara aluminium dengan baja	23
Gambar 11. Aplikasi <i>friction welding</i> di dunia industri	28
Gambar 12. Kombinasi material pada <i>friction welding</i>	29
Gambar 13. Struktur mikro pada aluminium murni (100 μm)	34
Gambar 14. Diagram fasa Al-Cu	35
Gambar 15. Diagram fasa Al-Mn	36
Gambar 16. Diagram fasa Al-Mg	37
Gambar 17. Diagram fasa Al-Si	38
Gambar 18. Diagram fasa Al-Zn	39
Gambar 19. Struktur mikro pada tembaga murni (200 μm).....	41
Gambar 20. Diagram fasa Cu-Zn.....	42
Gambar 21. Diagram fasa Cu-Sn.....	43
Gambar 22. Fasa intermetalik pada <i>Explosive Welding</i> Al-Cu (100 μm).....	44
Gambar 23. Diagram alur penelitian.....	45
Gambar 24. Ukuran benda kerja dan mesin <i>Friction Welding</i>	49
Gambar 25. Sketsa spesimen uji kekerasan	51
Gambar 26. Alat pengujian kekerasan Vickers	52
Gambar 27. Mikroskop metalurgi.....	53
Gambar 28. Alat pengujian SEM.....	54
Gambar 29. Spesimen hasil pengelasan gesek Al-Cu.....	57

Gambar 30. Spesimen setelah dibelah (a). Al-Cu dibingkai, (b). Al dibingkai, (c). Al-Cu tanpa dibingkai, (d) Cu dibingkai	58
Gambar 31. Data hasil uji XRF pada material (a) Tembaga dan (b) Aluminium.....	59
Gambar 32. Grafik hasil pengujian bending	60
Gambar 33. Spesimen uji kekerasan Vickers (a). Al, (b). Al-Cu, (c) Cu	61
Gambar 34. Grafik persebaran nilai kekerasan Vickers	62
Gambar 35. Spesimen pengujian XRD (a). Cu, (b). Al-Cu, (c). Al	64
Gambar 36. Hasil uji XRD spesimen Al, Cu, dan AL-CU	64
Gambar 37. Hasil uji XRD spesimen sambungan lasan Al-Cu.....	65
Gambar 38. <i>Peak</i> pada grafik fasa intermetalik Al_2Cu	66
Gambar 39. Pengamatan SEM keseluruhan.....	67
Gambar 40. Pengamatan SEM pada perbesaran 100X.....	68
Gambar 41. Pengamatan SEM pada perbesaran 500X.....	68
Gambar 42. Pengamatan SEM pada perbesaran 1000X.....	69
Gambar 43. Titik yang diambil pada sampel Al-Cu.....	70
Gambar 44. Hasil EDS pada Titik #1 Al-Cu.....	70
Gambar 45. Hasil EDS pada Titik #2 Al-Cu.....	71
Gambar 46. Hasil EDS pada Titik #3 Al-Cu.....	72
Gambar 47. Pengamatan Mikro pada sambungan Al-Cu (perbesaran 10X)....	73
Gambar 48. Pengamatan Mikro pada sambungan Al-Cu (perbesaran 100X)..	73
Gambar 49. Mikrostruktur Al pada a). logam induk dan b). HAZ (400X).....	74

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Parameter untuk <i>inertia drive friction welding</i> untuk material sejenis pada diameter benda kerja 1 inch (ASM Handbook)	22
Tabel 2.	Parameter untuk <i>inertia drive friction welding</i> untuk material tidak sejenis pada diameter benda kerja 1 inch (ASM Handbook)	24
Tabel 3.	Karakteristik aluminium	30
Tabel 4.	Klasifikasi aluminium	34
Tabel 5.	Karakteristik Tembaga	40
Tabel 6.	Perbandingan karakteristik antara aluminium dan tembaga.....	48
Tabel 7.	Parameter <i>friction welding</i>	50
Tabel 8.	Uraian kegiatan selama pelaksanaan pengumpulan data	56
Tabel 9.	Hasil pengujian bending	60
Tabel 10.	Hasil uji kekerasan Vickers	61
Tabel 11.	<i>Peak</i> utama hasil pengujian Al, Cu, dan Al-Cu.....	65
Tabel 12.	<i>Peak</i> utama pembentuk Al ₂ Cu (<i>khatyrkite</i>)	66
Tabel 13.	Hasil EDS pada Titik #1 Al-Cu	70
Tabel 14.	Hasil EDS pada Titik #2 Al-Cu	71
Tabel 15.	Hasil EDS pada Titik #3 Al-Cu	72
Tabel 16.	Uraian kegiatan selama pelaksanaan pengumpulan data	56

DAFTAR LAMPIRAN

Gambar 1. Mesin Bubut SS-1000

Gambar 2. Alat Uji SEM

Gambar 3. Alat Uji XRD

Gambar 4. Alat uji XRF

Gambar 5. Alat Uji Bending

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dunia industri manufaktur saat ini, sering kita jumpai pembuatan produk atau komponen yang membutuhkan penyambungan material baik dibidang otomotif, perkapalan, penerbangan dan lain-lain. Salah satu cabang ilmu yang dipelajari pada teknik mesin adalah teknik pengelasan logam. Pengelasan merupakan salah satu metode penyambungan yang saat ini sering digunakan untuk penyambungan material. Seiring dengan perkembangan jaman, teknologi pengelasan telah mengalami perkembangan dengan pesat. Saat ini proses pengelasan logam diklarifikasikan menjadi dua kelompok yaitu *liquid state welding* (LSW) dan *solid state welding* (SSW). LSW adalah proses pengelasan logam yang di lakukan dalam keadaan cair, sedangkan SSW merupakan proses las dimana pada saat pengelasan logam dalam keadaan padat.

Berbagai metode untuk mengatasi permasalahan dalam proses penyambungan material merupakan perkembangan dalam teknologi pengelasan. Salah satunya adalah pengelasan gesek (*friction welding*) yang merupakan salah satu solusi dalam memecahkan permasalahan penyambungan logam yang sulit dilakukan dengan *fusion welding* (pengelasan cair). Pengelasan ini termasuk jenis pengelasan *solid-state* tanpa menggunakan logam pengisi (*filler*) dimana tidak ada listrik atau sumber energi lain yang digunakan tetapi menggunakan metode tekanan, dimana dua benda kerja yang akan disambung ditempatkan dalam kontak dan diatur gerakan relatif dalam tekanan, maka gesekan antara dua benda kerja tersebut akan membangkitkan panas (*heat generated*) pada permukaan kontak (*interface*), ketika sudah mencapai temperatur tempa maka diberikan tekanan tempa secara aksial sehingga mengalami deformasi plastis kemudian kedua material yang disambung menjadi dingin dan membentuk ikatan dalam keadaan padat. Pada

dasarnya terdapat beberapa parameter penting dalam proses pengelasan gesek (*friction welding*) meliputi durasi gesekan (*friction time*), kecepatan putaran (*rotational speed*), dan tekanan aksial (*friction axial pressure*).

Beberapa kekurangan dan kendala yang ditemukan dalam pengelasan cair atau busur listrik. Ketebalan material yang akan di las relatif kecil dan penyambungan silinder yang besar mengalami kesulitan karena harus dilakukan secara bertahap agar lapisan logam mengisi sempurna. Oleh karena itu, terdapat beberapa kelebihan *friction welding* antara lain tidak memerlukan fluks atau pelindung lasan, tanpa bahan pengisi (*filler*), tidak ada percikan api ataupun asap yang dihasilkan, daerah pengaruh panas (HAZ) pada material yang disambung relatif sempit karena panas yang terjadi tidak mencapai temperatur cair logam dan adanya tekanan tanpa memungkinkan efek negatif pemanasan logam akan tereliminasi (misalnya porositas, pembesaran butiran, segregasi atau inklusi terak). Selain itu metode *friction welding* juga dapat digunakan untuk material tidak sejenis (*dissimilar metals*) karena tidak ada metode pengelasan alternatif lainnya yang dapat digunakan. Contoh dari jenis sambungan ini yaitu kombinasi material yang memiliki titik leleh yang sangat berbeda dan kombinasi *dissimilar metals* yang memiliki fase yang tidak cocok ketika pengelasan fusi.

Pada penelitian ini, kombinasi *dissimilar metals* yang akan diteliti yaitu aluminium paduan dan tembaga paduan. Pada aluminium paduan dan tembaga paduan secara umum mempunyai sifat mampu lasnya rendah karena pada tembaga paduan memiliki kandungan tembaga (Cu) cukup tinggi yang menyebabkan mudah terjadi retak panas dan porositas, sedangkan pada aluminium paduan memiliki titik cair yang rendah dengan daya hantar panas yang tinggi membuat kesulitan menggunakan pengelasan cair. Kondisi ini membuat kedua material ini sulit disambung dengan proses pengelasan cair, maka metode pengelasan gesek (*friction welding*) digunakan untuk penelitian dan pengembangannya. Untuk itu, bagian yang akan diteliti adalah hasil penyambungan pada aluminium paduan dan tembaga paduan yaitu kekuatan sambungan las akibat pengaruh variasi kecepatan putaran pada pengelasan gesek, sehingga dapat diketahui bagaimana perubahan yang terjadi pada

kekuatan sambungan hasil lasan. Akibat variasi tersebut mengakibatkan panas (*heat generated*) yang terjadi berbeda dan ini sangat mempengaruhi kualitas sambungan. Sampel yang dihasilkan akan diuji dengan beberapa pengujian. Pengujian sifat mekanik meliputi uji tarik dan uji kekerasan Vickers, analisa mengenai perubahan struktur mikro menggunakan pengujian metalografi dan SEM, dan analisa komposisi kimia menggunakan pengujian XRD.

1.2 Rumusan Masalah

Untuk memperjelas arah penelitian, maka dapat dirumuskan permasalahannya yang dihadapi pada proses penyambungan antara aluminium paduan dan tembaga paduan dengan metode pengelasan gesek (*friction welding*). Permasalahan yang dihadapi pada pengelasan logam tidak sejenis (*dissimilar metal*) adalah perbedaan temperatur titik lelehnya. Pengaruh variasi parameter proses pengelasan pada kecepatan putaran terhadap sifat mekanis dan mikrostruktur hasil sambungan las.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini dapat penulis uraikan sebagai berikut :

1. Persiapan sampel hasil pengelasan gesek antara aluminium paduan dan tembaga paduan, proses pengelasan dilakukan secara eksperimen dengan variasi parameter kecepatan putaran, sedangkan durasi gesekan, tekanan gesek dan tekanan tempa sama atau stabil pada satu tekanan. Jumlah sampel yang akan dibuat sebanyak 16 sampel, setiap bahan berukuran diameter 12 mm dan panjang 70 mm.

2. Persiapan metalografi untuk melihat struktur mikro dan makro pada sampel hasil sambungan dengan pengamatan menggunakan mikroskop metalurgi. Sebelum pengamatan, sampel yang telah dipotong kemudian dilanjutkan beberapa proses yaitu *mounting*, pengamplasan, pemolesan, pengetsaan, pembersihan dan pengeringan.
3. Pengujian XRD (*X-ray Diffraction*) untuk meneliti struktur mikro seperti fasa kristal, butir-butir, ukuran butir, komposisi material, dan unsur yang ada pada sampel tersebut.
4. Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk meneliti tekstur permukaan sampel (topografi), bentuk dan ukuran dari partikel penyusun (morfologi), data kuantitatif unsur dan senyawa (komposisi) dan susunan atom penyusun sampel (kristalografi).
5. Pengujian kekerasan menggunakan metode vickers dimana indenter intan bebedentuk piramida dengan alas segi empat dan besar sudut dari permukaan-permukaan yang berhadapan 136° . Penekanan oleh indenter dilakukan di beberapa titik pada permukaan sampel.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk menginvestigasi proses penyambungan antara aluminium paduan dan tembaga paduan dengan metode pengelasan gesek (*friction welding*). Fasa baru dari penyambungan material berbeda jenis akan terbentuk (*fasa intermetalik*) antara Al dan Cu.
2. Untuk menganalisis kekuatan, kekerasan, komposisi dan struktur mikro yang dihasilkan pada daerah sambungan las. Sehingga diperoleh parameter yang menghasilkan sambungan terbaik setelah dilakukan pengujian dan analisa.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Untuk menambah wawasan kita tentang pengelasan dengan metode *friction welding*.
2. Mengetahui karakteristik fisik dan mekanik dari sampel hasil sambungan setelah melakukan analisa dan pengujian.
3. Memberikan kontribusi atau pengetahuan kepada mahasiswa teknik mesin khususnya dan civitas akademika tentang hasil sambungan *friction welding* dengan variasi kecepatan putaran.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari penelitian ini adalah :

BAB 1 : Pendahuluan

Bab ini membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan dari proposal skripsi ini.

BAB 2 : Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas tentang landasan teori yang menjadi acuan untuk penelitian ini.

BAB 3 : Metodologi Penelitian

Bab ini membahas tentang metodologi penelitian.

BAB 4 : Analisis dan Pembahasan

Bab ini membahas tentang analisis dan pembahasan hasil pengujian spesimen dan pengolahan data

BAB 5 : Kesimpulan dan Saran

Bab ini membahas tentang kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.

DAFTAR RUJUKAN

- ASM Handbook. (1993). *Welding, Brazing and Soldering* (Vol. 6). United States Of America: ASM International.
- ASM Handbook. (1990). *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials* (Vol. 2). United States Of America: ASM International Handbook Committee.
- ASM International. (1998). *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials* (Vol. 2). Metals Handbook.
- AY, İ., Çelik, S., & Çelik, İ. (1999). Comparison Of Properties Of Friction and Diffusion Welded Joints Made Between The Pure Aluminium and Copper Bars. *VOL. 2*.
- Haidemenopoulos, G. N., Zervaki, A. D., H. Kamoutsil, Hontzopoulos, E., & Mangana, F. (2013). Fracture behavior of bimetallic Al-Cu LBW joints. *3rd International Conference of Engineering Against Failure (ICEAF III)*.
- Hu, Y., Tsujino, R., Higashi, T., Ueda, Y., & Iguchi, M. (2014). Development of Al/Cu Dissimilar Joint by New Friction Welding Method. *The 3rd International Conference on Design Engineering and Science*.
- Irawan, Y. S., Wirohardjo, M., Ma'arif, M.S. (2012). Tensile Strength of Weld Joint Produced by Spinning Friction Welding of Round Aluminum A6061 with Various Chamfer Angles. *Advanced Materials Research* Vol. 576, 761-765.
- Jeslin, B., Kumar, M. D., & Venkatakrishnan, P. G. (2015). Parameter Optimization on Friction Welding of Aluminium Alloy 6082T6 & Copper. *International Journal Of Innovative Reseach In Technology, Volume 1(Issue 12)*.
- Mila, V. D., Radovanovi, R. V., Mila, M. D., & Gligorijevi, B. R. (2016). Effect Of Friction Welding Parameters On The Morphological Properties Of An Al/Cu Bimetalic Joint. *Materials and technology*.
- Moarrefzadeh, A. (2012). Study of Heat Affected Zone (HAZ) in Friction Welding Process. *Journal of Mechanical Engineering, Vol. 1*.
- Pah, J. C. A., Irawan, Y. S., & Suprpto, W. (2018). Pengaruh Waktu dan Tekanan Gesek Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Paduan Aluminium dan Baja Karbon Pada Pengelasan Gesek Continuous Drive. *Jurnal Rekayasa Mesin, Vol.9*.
- Purnomo, A., Bayuseno, A., Nugroho, S., & Haryanto, P. (2012). Pengaruh Kecepatan Putar dan Tekanan Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan

Sambungan Friction Welding Antara Bahan Paduan Tembaga dan Paduan Aluminium. *Polines National Engineering Seminar*.

Rombaut, P. (2011). Joining of dissimilar materials through rotary friction welding. *Mechanical Construction and Production*.

Sahin, M., & Misirli, C. (2013). Mechanical and Metalurgical Properties of Friction Welded Aluminium Joints. *Aluminium Alloys - New Trends in Fabrication and Applications, Chapter 11*.

Setyawan, P. E., Irawan, Y. S., & Suprpto, W. (2014). Kekuatan Tarik dan Porositas Hasil Sambungan Las Gesek Aluminium 6061 dengan Berbagai Suhu Aging. *Jurnal Rekayasa Mesin, Vol.5*, 141-148.

Sahin M, Akata HE (2003) Joining with friction welding of plastically deformed steel. *J Mater Process Technol* 142(1):239–246

Santoso, Eko B., Irawan, Y.S., Sutikno, E. (2012). Pengaruh Sudut Chamfer dan Gaya Tekan Akhir Terhadap Kekuatan Tarik dan Porositas Sambungan Las Gesek Al-Mg-Si. *Jurnal Rekayasa Mesin. Vol.3, No. 1*, 293-298.

Surdia, T. & Saito, S. (1999). *Pengetahuan Bahan Teknik*.

Taban, E., Gould, J. E., & Lippold, J. C. (2010). Dissimilar Friction Welding of 6061-T6 Aluminum and AISI 1018 Steel. *Materials and Design. ELSAVIER, Vol. 31*, 2305-2311.

Trykov, Y., Gurevich, L., Pronichef, D., & Trunov, M. (2014). Influence of Strain-Hardened Zones and Intermetallic Layers of Explosion Welded and Heat Treated Al/Cu Laminated Metal Composites on the Evolution of Thermal Conductivity Coefficient. *Material Science, Vol. 20*.

Wei, Y., Li, J., Xiong, J., & Zhang, F. (2016). Investigation of interdiffusion and intermetallic compounds in Al–Cu joint produced by continuous drive friction welding. *Engineering Science and Technology an International Journal*, 90–95.