



**SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO ALUMINIUM
AA1100 HASIL PENGELOMAN FRICTION STIR WELDING
DENGAN VARIASI *FEED RATE***

SKRIPSI

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

Oleh

**Moh. Indra Permana
NIM 081910101026**

**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 dan Ayahanda tercinta, Jamila dan (Alm) Sahiruddin, Ibu dan Ayah Angkatku.** Terima kasih atas semua hamparan 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. **Om dan Tante.** 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. **Adek Mila.** Dengan pengorbanan, perhatian, semangat, kasih sayang dan cintamu yang telah menjadi motivasiku dan semangatku.
6. **Almamaterku, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin - Universitas Jember.** Yang telah mengantarkanku kejenjang pendidikan yang lebih tinggi.
7. **Arek-Arek MC' Engine 08.** Roni "Swew", Skrep NHS, Gahan "AnakBapakBudi", Apink "TERlena, Amri, Umar "knalpot", Bang Fandy, Intan, Wahyu, Deni "Cino", Anggun "Persie", Sinung, Khoi "Jekko", Hiding "33", Ragil "Finishing", Ferdi, Deni "Begal", Fuad "G-One", Antok, Husni "Ndu", Jekki, Andre "Las", Andre "Copet", Afief "Kotok", Radit, Rifky, Emen, Bayu

“Lek”, Uda Faisal, Fendi, Amuthi, Omega, Neno, Dani, Eko, Eka, Hanung “Restart”, Dimas, Sabar “Ngolil”, Sareka, Erik “Pasiem, Wildan “Tewel”, Sulis “PakLik”, Kemal, Bagus, Ardhi “Kodok”, Saipi “CinoBangkrut”, Syaifuddin “Asik”, setiap centi perjalanan dengan kalian tak kan pernah terlupakan olehku. ”*Keep Solidarity Forever*”. Dijogo terus bro KUMPULaNe.

8. **Kilau Nilam Wardhani**, Dengan pengorbanan, perhatian, semangat, kasih sayang dan cintamu yang telah menjadi motivasiku dan semangatku. Terimakasih banyak buat semuanya.
9. **Arek-Arek Kosan The Gie Company**: Fendi, Faid “bela”, Bodebo Marmara, Fandi, Adit, Uda Faisal dan maksum, seng penting kosan tetep aman terkendali.
10. **Teman-teman CB Plastic**: komandan (Max GZ), andre las, jecky, ardy, gahan jongos, sareka, kemal, mbah, mama, dan semua keluarga besar CB Plastic yang tdk dapat saya sebutkan satu persatu.

MOTTO

*Setiap kebaikan pasti akan dibalas dengan kebaikan pula.
(Ar Rohman-60)*

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

*Hanya satu motivasi yang ada, yaitu Allah. Adapun motivasi lainnya harus dalam
rangka “karena dan/atau hanya untuk” Allah
(Al Hadist)*

*Jangan bertindak sembrono dan jangan terlalu berhati-hati
(M. Indra Permana)*

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Moh. Indra Permana

NIM : 081910101026

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis yang berjudul: “*Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Aluminium AA1100 Hasil Pengelasan Friction Stir Welding Dengan Variasi Feed Rate*” 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.

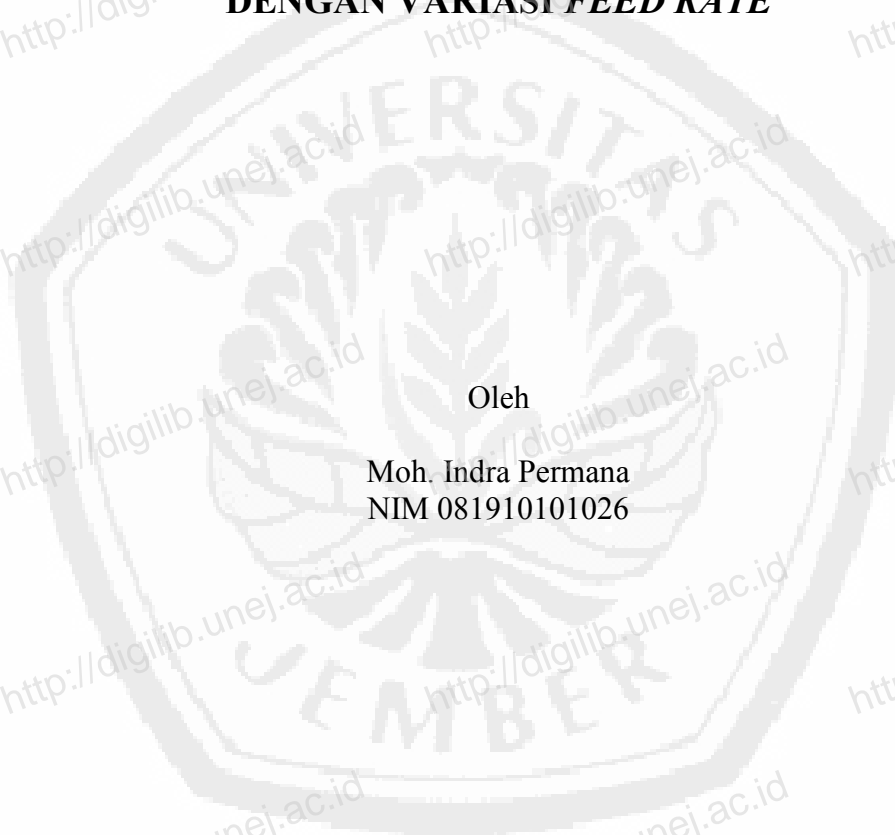
Jember, 21 Juni 2012

Yang menyatakan,

Moh. Indra Permana
NIM 081910101026

SKRIPSI

**SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO ALUMINIUM
AA1100 HASIL PENGELASAN FRICTION STIR WELDING
DENGAN VARIASI *FEED RATE***



Oleh

Moh. Indra Permana
NIM 081910101026

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Mahros Darsin, S.T., M.Sc.

Dosen Pembimbing Anggota : Sumarji, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “*Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Aluminium AA1100 Hasil Pengelasan Friction Stir Welding Dengan Variasi Feed Rate*” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada :

Hari :

Tanggal : 2012

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Mahros Darsin, S.T., M.Sc.
NIP 19700322 199501 1001

Sumarji, S.T., M.T.
NIP 19680202 199702 1001

Anggota I,

Anggota II,

Hary Sutjahjono, S.T., M.T.
NIP 19681205 199702 1 0 02

Hari Arbiantara B., S.T., M.T.
NIP 196709241994121001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

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

RINGKASAN

Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Aluminium AA1100 Hasil Pengelasan Friction Stir Welding Dengan Variasi Feed Rate; Moh. Indra Permana, 081910101026; 2012: 81 halaman; Program Studi Strata Satu Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Saat ini perkembangan dunia industri berkembang pesat baik di Indonesia maupun secara global. Perkembangan di industri tidak dapat dilepaskan dari peran penting pengelasan. Pengelasan adalah penyambungan setempat antara dua buah logam atau lebih dengan memanfaatkan energi panas. Penggunaan pengelasan sangat luas, mulai dari penyambungan pada konstruksi bangunan, perakitan otomotif dan penambangan. Penggunaan pengelasan secara luas bertujuan untuk mendapatkan suatu konstruksi yang lebih ringan dan sederhana sehingga biaya yang dikeluarkan lebih murah.

FSW (*Friction- Stir Welding*) merupakan salah satu solusi yang bisa digunakan sebagai alternatif untuk proses pengelasan aluminium. Prinsip kerja FSW adalah memanfaatkan gesekan dari benda kerja yang berputar dengan benda kerja lain yang diam sehingga timbul panas dan panas tersebut mampu melelehkan benda kerja yang diam dan akhirnya tersambung menjadi satu. Proses pengelasan dengan FSW terjadi pada temperature solvus, sehingga tidak terjadi penurunan kekuatan akibat *over aging* dan larutnya endapan koheren.

Untuk menghasilkan hasil pengelasan yang baik, ada banyak parameter yang harus diperhatikan diantaranya putaran tool, kecepatan lintasan, diameter shoulder dan sudut kemiringan tool. Salah satu parameter proses yang paling penting yaitu kecepatan lintasan. Variasi kecepatan pengelasan akan berpengaruh terhadap hasil pengelasan yang mencakup sifat mekanik dan struktur mikro hasil pengelasan.

Penelitian tentang variasi kecepatan pengelasan terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada proses pengelasan friction stir welding ini dilakukan di-

laboratorium Permesinan Universitas Jember, laboratorium Pengujian Bahan Universitas Brawijaya dan di laboratorium Desain dan Uji Bahan Jurusan Universitas Jember. Material yang digunakan yaitu Aluminium AA1100.

Dari pengamatan makro diketahui pada semua variasi pengelasan terdapat cacat *wormholes*. Hal ini terjadi karena kurangnya penetrasi pada saat pengelasan. Cacat *wormholes* terbesar terdapat pada hasil pengelasan dengan *feed rate* 24mm/menit. Hasil pengujian tarik diperoleh bahwa rata-rata Ultimate Tensile Strength (UTS) untuk pengelasan dengan menggunakan *feed rate* 7,3mm/menit adalah 49,44 MPa, untuk *feed rate* 13mm/menit adalah 53,06 MPa, dan untuk *feed rate* 24mm/menit sebesar 61,53 MPa. Dari hasil ini dapat diketahui bahwa kekuatan tarik tertinggi (UTS) terbesar terdapat pada proses pengelasan menggunakan *feed rate* 24mm/menit. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa logam las kekerasannya lebih rendah daripada logam induk. Rata-rata nilai kekerasan paling besar- terjadi pada pengelasan dengan *feed rate* 24mm/menit sedangkan kekerasan paling rendah terjadi pada variasi *feed rate* 7,3mm/menit.

Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa logam las kekerasannya lebih rendah daripada logam induk. Rata-rata nilai kekerasan paling besar- terjadi pada pengelasan dengan *feed rate* 24mm/menit yaitu sebesar 37,79 VHN di daerah HAZ, 38,40 di daerah TMAZ, 42,59 di daerah Stir Zone, sedangkan kekerasan paling rendah terjadi pada variasi *feed rate* 7,3mm/menit. Hal ini terjadi karena pada pengelasan dengan *feed rate* 24mm/menit menghasilkan butiran $FeAl_3$ yang halus. Butiran yang halus strukturnya lebih rapat-sehingga ikatan antar atomnya lebih kuat. Rata-rata nilai kekerasan terendah terjadi pada daerah HAZ yaitu daerah terpengaruh panas karena pada daerah HAZ ini grain yang terbentuk kasar dan besar. Hal inilah yang menyebabkan patahan pada hasil uji tarik terjadi di daerah HAZ, mengingat besar kekuatan tarik suatu bahan selalu berbanding lurus dengan harga kekerasannya.

SUMMARY

Mechanical Properties and Microstructure of Aluminum AA1100 in Friction Stir Welding as Effect of Feed Rate Variation; Moh. Indra Permana; 081910101026; 2012; 81 pages; Mechanical Engineering; Engineering Faculty of Jember University

At present the development of the rapidly growing industry in Indonesia and globally. Developments in the industry can not be separated from the important role of welding. Welding is a local connection between two or more pieces of metal by using heat energy. The use of welding is very broad, ranging from tacking on building construction, mining and automotive assembly. Widespread use of welding aiming to obtain a construction that is lighter and simpler so that the costs were cheaper.

FSW (Friction Stir Welding-) is one solution that can be used as an alternative to aluminum welding process. FSW is the working principle of utilizing the friction of the rotating workpiece with a stationary workpiece another so that the resulting heat and the heat can melt the workpiece is stationary and connected to one end. FSW welding process to occur at the solvus temperature, so there is no reduction in strength due to aging and dissolution of the precipitate over coherent.

To produce a good welding results, there are many parameters that must be considered include rotation tool, feed rate, diameter and angle of the tool shoulder. One of the most important process parameters, namely the speed of the track. Welding speed variation will affect the outcome of welding which includes the mechanical properties and the microstructure of the weld.

Research on the variation of welding speed on the mechanical properties and microstructure in friction stir welding process of welding is performed in the laboratory machinery University of Jember, Materials Research Laboratory

Brawijaya University of Malang and in the Design and Materials Research Laboratory of the University of Jember. The material used is aluminum AA1100.

From observations of the macro is known to all variations of welding defects are wormholes. This happens because of lack of penetration during welding. Wormholes are the biggest flaw in the welding of the feed rate 24mm/menit. Tensile test results obtained that the average of Ultimate Tensile Strength (UTS) for welding by using a feed rate 7.3 mm / min is 49.44 MPa, for the feed rate is 53.06 MPa 13mm/menit, and for the feed rate 24mm/menit of 61.53 MPa. From these results it can be seen that the highest tensile strength (UTS), the largest found in the welding process using a feed rate 24mm/menit. Hasil hardness testing showed that the weld metal hardness is lower than the parent metal. The average value of the most violent-occur in welding with a feed rate of violence 24mm/menit while the lowest occurred in the variation of feed rate 7.3 mm / min.

Hardness testing results show that the weld metal hardness is lower than the parent metal. The average value of the most violent-occur in welding with a feed rate that is equal to 37.79 24mm/menit VHN in the HAZ, TMAZ area 38.40, 42.59 Stir in the Zone, while the lowest hardness variation occurs in the feed rate 7.3 mm / min. This occurs because the feed rate in welding with 24mm/menit produce a fine grain FeAl₃. A fine granular structure is more dense, so the stronger the bonds between atoms. Average of the lowest hardness value occurs in the HAZ is heat affected areas because of the HAZ region is formed by coarse grains and large. This is what causes the fracture in a tensile test results occurred in the HAZ region, given the greater tensile strength of a material is always directly proportional to the price of hardness.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Aluminium AA1100 Hasil Pengelasan Friction Stir Welding Dengan Variasi Feed Rate*” 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 :

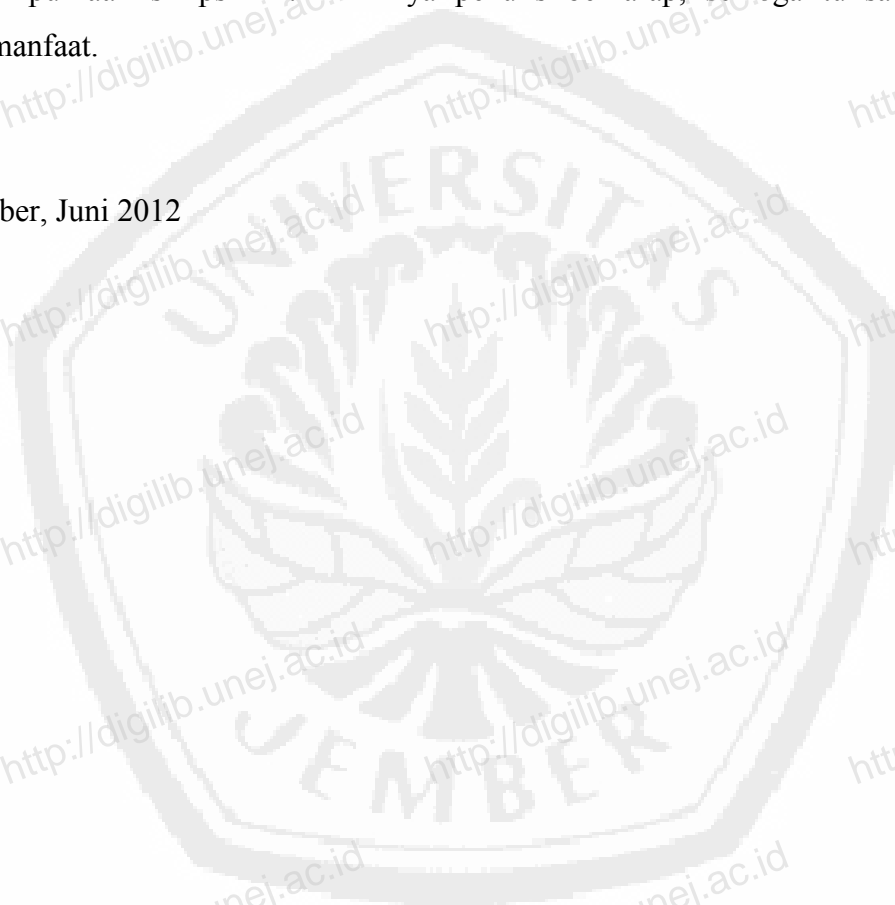
1. Ir. Widyono Hadi, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Mahros Darsin S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Sumarji, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya skripsi ini;
3. Hary Sutjahjono, S.T., M.T. dan Hari Arbiantara B., S.T., M.T., selaku dosen penguji;
4. 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. Ir Fx Kristianta, selaku kepala Laboratorium Pemesinan dan CNC Universitas Jember;
6. Pak Hastomo selaku teknisi Laboratorium Pengujian Bahan Universitas Brawijaya yang telah membantu pengujian kekerasan dan pengamatan makro;
7. Bapak, Ibu, Om, Tante dan adek milla tercinta terimakasih untuk semuanya;
8. Teman-teman Mc' Engine 08 dan teman diskusi Skrip, Gahan, Alvin, Amri, Nata, dan semua yang tak bisa saya sebut satu persatu terima kasih banyak dukungannya selama ini semoga keluarga ini tak bisa dipisahkan jarak dan waktu. Mc' Engine bersatu tak bisa dikalahkan;

9. Mas-mas angkatan tua Mas Angger “suwun mas bimbingane”, Teman-teman ngolil dan keluarga CB Plastic;
10. Teman sepanjang jalanku, thanks for everything;
11. 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, Juni 2012

Penulis

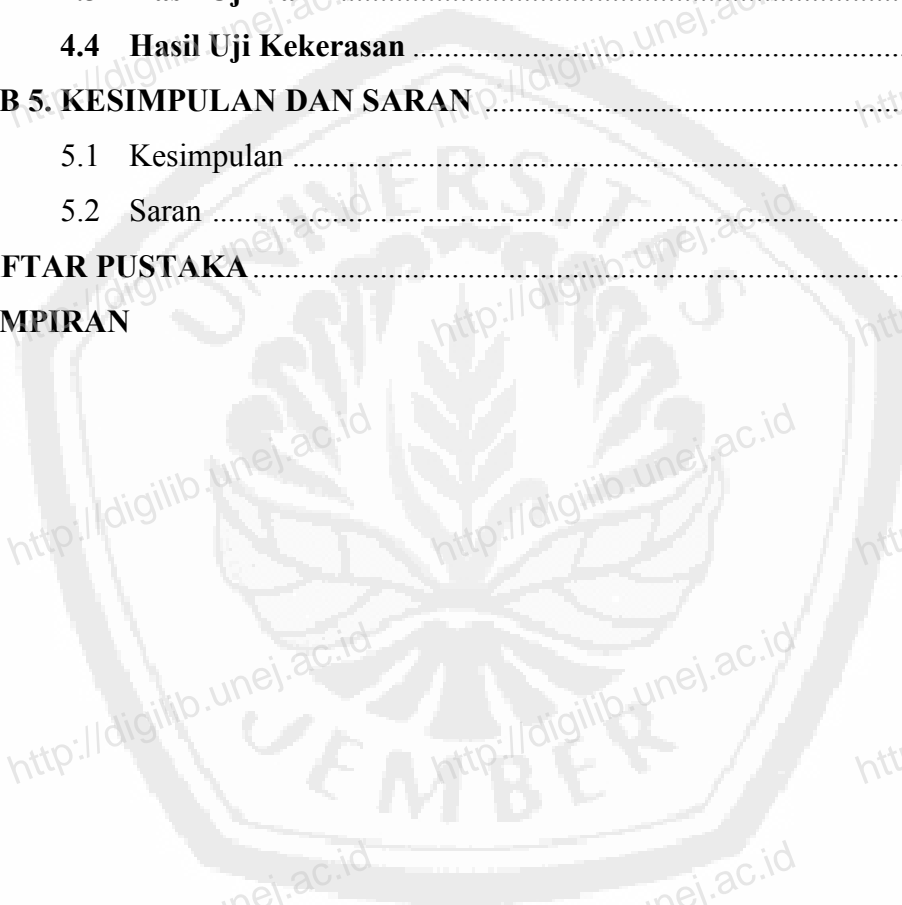


DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan	5
1.5 Manfaat	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pengelasan	6
2.2 Las Gesek	8
2.2.1 Linier Friction Welding	8
2.2.2 Friction Stir Welding (FSW)	9
2.3 Variabel-variabel yang Berpengaruh pada FSW	10
2.4 Kelebihan dan Kekurangan FSW	15

2.5 Struktur Mikro Hasil Pengelasan	16
2.6 Jenis-jenis Sambungan pada FSW	17
2.7 Klasifikasi Aluminium dan Paduannya	18
2.7.1 Pengertian dasar Aluminium	18
2.7.2 Sifat-sifat Aluminium	18
2.7.3 Unsur-unsur paduan logam Aluminium	20
2.7.4 Standarisasi Aluminium	20
2.8 Metode Pengujian Tarik	22
2.8.1 Prinsip pengujian	22
2.8.2 Perilaku mekanik material	23
2.9 Pengujian Kekerasan	24
BAB 3. METODE PENELITIAN	27
3.1 Metode Penelitian	27
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	27
3.3 Bahan dan Alat Penelitian	27
3.3.1 Bahan	27
3.3.2 Alat	28
3.4 Variabel Penelitian	28
3.4.1 Variabel Bebas	28
3.4.2 Variabel Terikat	28
3.4.3 Variabel Kontrol	29
3.5 Proses Pengelasan	29
3.6 Proses Pengujian	29
3.6.1 Pengujian Tarik	30
3.6.2 Pengujian Kekerasan	31
3.6.3 Pengamatan Struktur Mikro	33
3.7 Teknik Penyajian Data	34
3.8 Teknik Analisis Data	35
3.9 Diagram Alir Penelitian	36

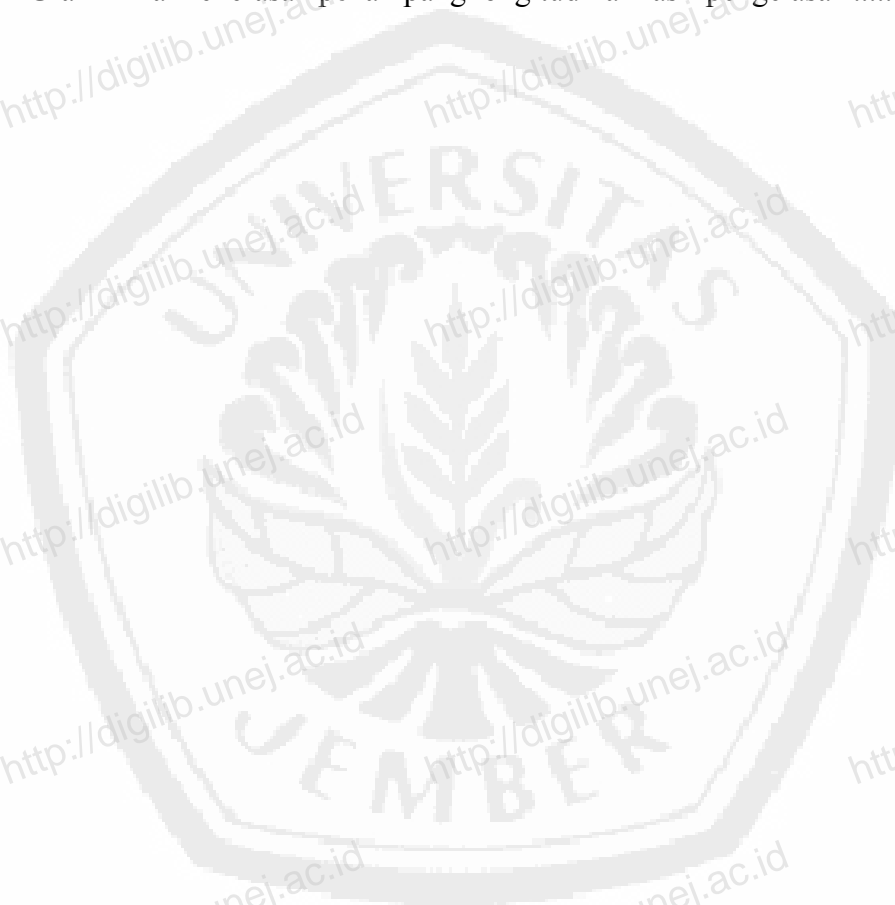
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Hasil Pengelasan Friction Stir Welding	37
4.2 Hasil Uji Foto Makro dan Mikro	37
4.2.1 Hasil Uji Foto Makro	37
4.2.2 Hasil Uji Foto Mikro	38
4.3 Hasil Uji Tarik	47
4.4 Hasil Uji Kekerasan	51
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

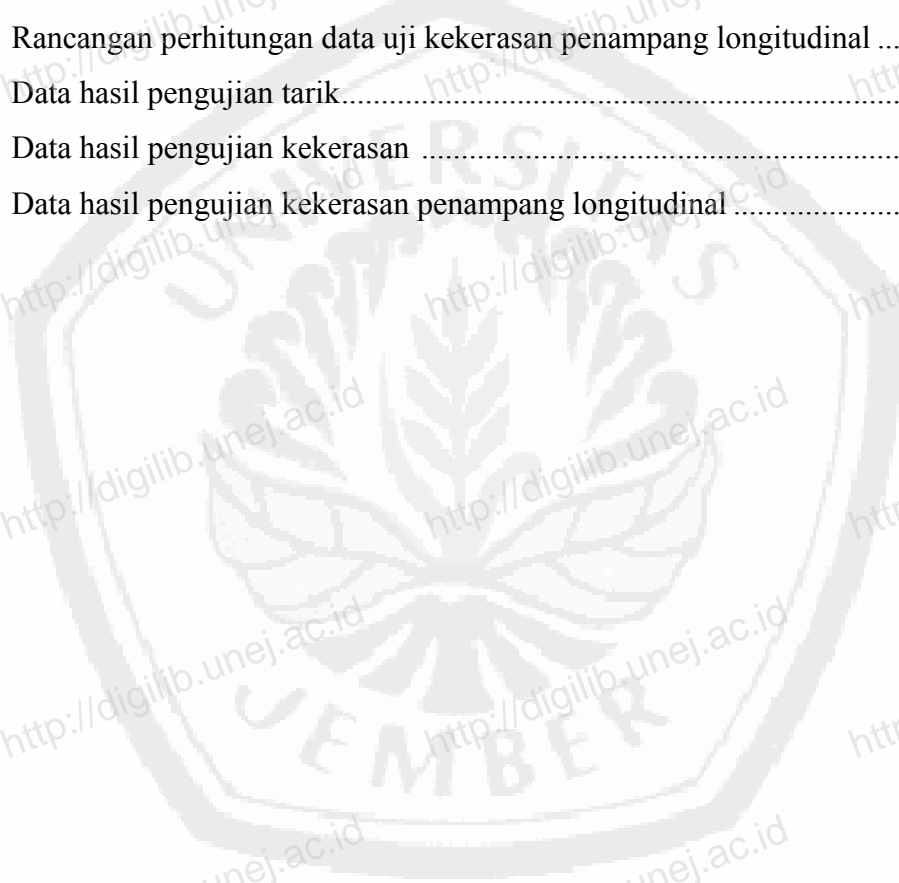
	Halaman
1.1 Tool Friction Stir Welding	5
2.1 Klasifikasi Pengelasan	7
2.2 <i>Linier Friction Welding</i>	8
2.3 Prinsip Friction Stir Welding	10
2.4 Gerakan Tool.....	10
2.5 Visualisasi kedalaman ceburan dan Tekanan Tool	13
2.6 Macam-macam desain tool pada FSW	14
2.7 Struktur mikro hasil pengelasan dengan metode <i>friction stir welding</i> ..	16
2.8 Joint configurations for friction stir welding	18
2.9 Kurva tegangan regangan dari sebuah benda uji terbuat baja ulet.....	23
2.10 Skematis prinsip indentasi dengan metode Brinell	25
2.11 Hasil Indentasi Brinell.....	26
2.12 Skematis prinsip indentasi dengan metode Vickers.....	26
3.1 Spesimen uji tarik standar ASTM B557M-02 a.....	30
3.2 Lokasi pengujian kekerasan	32
3.3 Lokasi pengujian kekerasan penampang longitudinal	31
3.4 Lokasi pengamatan struktur mikro penampang longitudinal	34
4.1 Hasil pengelasan friction stir welding.....	37
4.2 Foto makro hasil pengelasan dengan variasi <i>feed rate</i>	38
4.3 Struktur mikro base metal Aluminium AA1100.....	39
4.4 Struktur mikro daerah <i>stir zone</i> dengan variasi <i>feed rate</i>	40
4.5 Striktur mikro daerah transisi antara TMAZ dan HAZ.....	41
4.6 Struktur mikro daerah HAZ dengan variasi <i>feed rate</i>	42
4.7 Struktur mikro penampang longitudinal <i>feed rate</i> 7,3mm/mnt.....	45
4.8 Struktur mikro penampang longitudinal <i>feed rate</i> 13mm/mnt.....	46
4.9 Struktur mikro penampang longitudinal <i>feed rate</i> 24mm/mnt.....	47

4.10	Grafik variasi <i>feed rate</i> terhadap kekuatan tarik	49
4.11	Grafik variasi <i>feed rate</i> terhadap regangan	49
4.12	Bentuk perpatahan hasil pengujian tarik	51
4.13	Grafik nilai kekerasan hasil pengelasan friction stir welding	52
4.14	Lokasi pengujian kekerasan penampang longitudinal	53
4.15	Grafik nilai kekerasan penampang longitudinal hasil pengelasan	53



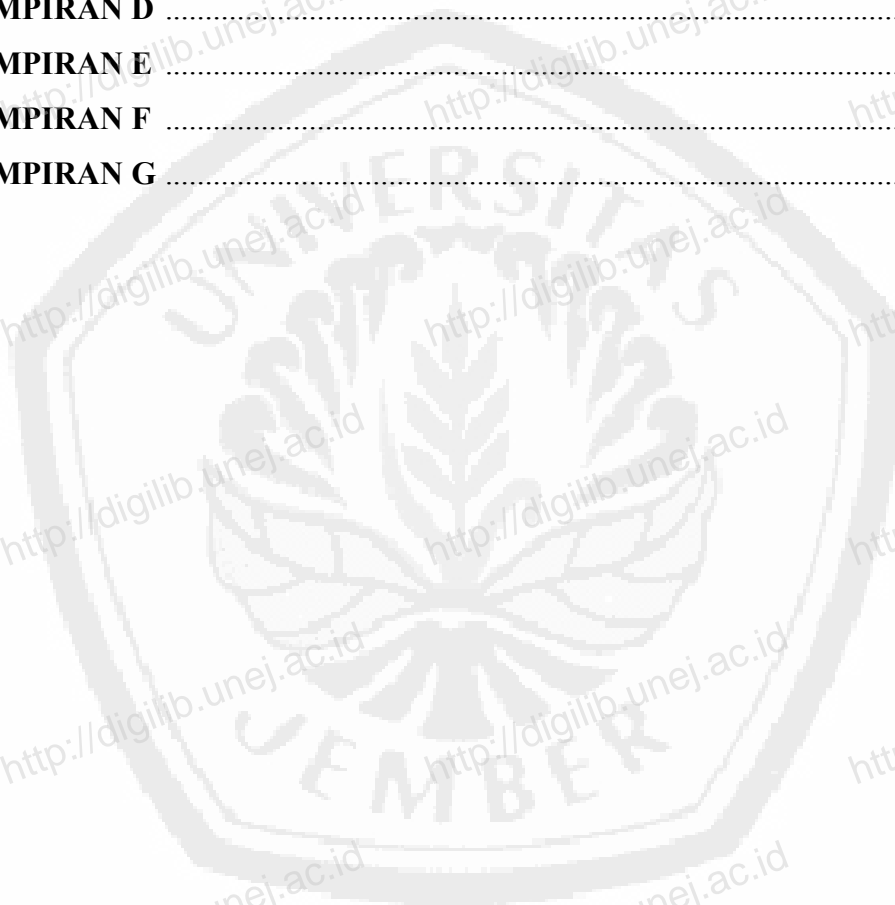
DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Komposisi Aluminium AA1100	22
3.1 Jumlah spesimen pengujian.....	30
3.2 Rancangan perhitungan data uji tarik.....	31
3.3 Rancangan perhitungan data uji kekerasan	32
3.4 Rancangan perhitungan data uji kekerasan penampang longitudinal	33
4.1 Data hasil pengujian tarik.....	48
4.2 Data hasil pengujian kekerasan	52
4.3 Data hasil pengujian kekerasan penampang longitudinal	53



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
LAMPIRAN A	59
LAMPIRAN B	62
LAMPIRAN C	63
LAMPIRAN D	75
LAMPIRAN E	78
LAMPIRAN F	80
LAMPIRAN G	81



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini perkembangan dunia industri berkembang pesat baik di Indonesia maupun secara global. Perkembangan di industri tidak dapat dilepaskan dari peran penting pengelasan. Pengelasan adalah penyambungan setempat antara dua buah logam atau lebih dengan memanfaatkan energi panas. Penggunaan pengelasan sangat luas, mulai dari penyambungan pada konstruksi bangunan, perakitan otomotif dan penambangan. Penggunaan pengelasan secara luas bertujuan untuk mendapatkan suatu konstruksi yang lebih ringan dan sederhana sehingga biaya yang dikeluarkan lebih murah.

Namun pada kenyataannya tidak semua logam yang dipergunakan di industri dapat dengan mudah dilas, salah satu contohnya aluminium. Aluminium saat ini mulai banyak diaplikasikan di dunia industri. Ini dikarenakan aluminium termasuk logam ringan yang memiliki kekuatan tinggi, ketahanan korosi dan daya hantar listrik yang baik. Selain itu aluminium juga mempunyai sifat mampu bentuk (*formability*) yaitu dapat dikerjakan atau diproses baik dalam pengerjaan dingin maupun pengerjaan panas. Namun aluminium termasuk salah satu jenis logam yang sukar untuk disambung dengan pengelasan karena aluminium mempunyai panas jenis dan daya hantar yang tinggi, mudah teroksidasi dan membentuk oksida aluminium Al_2O_3 yang mempunyai titik cair yang tinggi sehingga mengakibatkan peleburan antara logam dasar dan logam las menjadi terhalang dan bila mengalami proses pembekuan yang terlalu cepat akan terbentuk rongga halus bekas kantong hydrogen. Selain itu juga nilai keuletan pada logam las cenderung lebih kecil daripada nilai keuletan pada logam (Wiryo Sumarto, 2000). Cara yang dipakai untuk menyambung logam yang sukar untuk dilas adalah dengan menggunakan keling ataupun dibaut, namun cara ini jelas berpengaruh terhadap kekuatan sambungan yang terbentuk.

Berbagai cara dan pengembangan telah dilakukan untuk mendapatkan metode yang dapat menjadi alternatif penyambungan logam yang sukar dilas. FSW (*Friction-*