

**PENGARUH KECEPATAN *SPINDLE* DAN *FEED RATE* TERHADAP
KEKUATAN SAMBUNGAN LAS TIPE *FRICTION STIR WELDING* UNTUK
ALUMINIUM SERI 1100 DENGAN TEBAL 2 MM**

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA



PUBLIKASI ILMIAH

**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada Jurusan
Teknik Mesin Fakultas Teknik**

Oleh:

AZHAR FARIS PRABOWO

D 200 100 074

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

2016

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENGARUH KECEPATAN *SPINDLE* DAN *FEED RATE* TERHADAP
KEKUATAN SAMBUNGAN LAS TIPE *FRICTION STIR WELDING* UNTUK
ALUMINIUM SERI 1100 DENGAN TEBAL 2 MM**

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA

PUBLIKASI ILMIAH

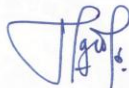
oleh:

AZHAR FARIS PRABOWO

D 200 100 074

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Agus Dwi Anggono, ST, M.Eng, Ph.D.

NIK.993

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH KECEPATAN SPINDLE DAN FEED RATE TERHADAP
KEKUATAN SAMBUNGAN LAS TIPE FRICTION STIR WELDING UNTUK
ALUMINIUM SERI 1100 DENGAN TEBAL 2 MM**

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA

OLEH


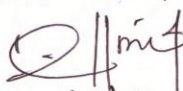

AZHAR FARIS PRABOWO

D 200 100 074

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari 29 Maret 2016
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Agus Dwi Anggono, ST, M.Eng, Ph.D.
(Ketua Dewan Penguji)
2. Muh. Alfatih H, ST, MT.
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Agus Yulianto, ST, MT.
(Anggota II Dewan Penguji)

()
()
()

Dekan,



Ir. Sri Sunarsono, MT, Ph.D.

NIK. 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 30 Maret 2016

Perulis



AZHAR FARIS PRABOWO

D 200 100 074

Pengaruh Kecepatan *Spindle* Dan *Feed Rate* Terhadap Kekuatan Sambungan Las Tipe *Friction Stir Welding* Untuk Aluminium Seri 1100 Dengan Tebal 2 mm

Azhar Faris Prabowo, Agus Dwi Anggono, Muh. Alfatih H
Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartasuro
e-mail: azhar_faris27@yahoo.co.id

ABSTRAKSI

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan sambungan las aluminium dengan metoda friction stir welding, distribusi kekerasan dengan mikro vickers, struktur makro dan mikro, dan mencari kecepatan spindle dan feet yang optimum.

Penelitian ini menggunakan logam induk plat aluminium paduan dengan tebal 2 mm. Proses pengelasan menggunakan metoda friction stir welding (FSW). Proses pengelasan dilakukan dengan variasi kecepatan spindle dan feed rate. Untuk mengetahui kekuatan las, maka dilakukan pengujian tarik spesimen menggunakan standar ASTM E8, standar ASTM E384 untuk uji kekerasan dan ASTM E3/E7 untuk foto mikro dan makro.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi sebesar 75,01 MPa dan 77,57 Mpa. Nilai tersebut diperoleh dari pengujian tarik arah sudut pengelasan 0° dan 45° dengan menggunakan parameter kecepatan spindle 1600 rpm dan feed rate 10 mm/min. Uji mikro vickers pada daerah retreating side mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah advancing side. Investigasi dengan foto makro mendapatkan cacat las di spesimen 1 dan 2, sedangkan spesimen 3 dan 4 hasilnya baik. Foto mikro pada nugget menunjukkan perubahan tampilan struktur mikro dari struktur mikro base metal karena adanya deformasi material akibat adukan tool. Berdasarkan pengujian tersebut maka didapat hasil pengelasan dengan parameter kecepatan spindle 1600 Rpm dan feed rate 10 mm/min menghasilkan pengelasan aluminium yang terbaik.

Kata Kunci : *friction stir welding*, kecepatan *spindle* dan *feed rate*

The influence of Spindle Speed and Feed Rate to The Weld Strength of Friction Stir Welding for 2 mm Thickness of Aluminum 1100 series

Azhar Faris Prabowo, Agus Dwi Anggono, Muh. Alfatih H
Mechanical Engineering University of Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartasuro
e-mail: azhar_faris27@yahoo.co.id

ABSTRACTION

The aims of the research are to determine the strength of aluminum welded joints by using friction stir welding method, the hardness distribution by micro vickers, macro and micro structure, and to determine the optimum spindle speed and feet rate.

In this research, the base metal was aluminum alloy sheet plate with a thickness of 2 mm. The welding process was conducted by using friction stir welding (FSW) method. That was done in a variety of spindle speed and feed rate. To investigate the weld strengt, a tensile test was performed by using standard ASTM E8, ASTM E384 standard for hardness test and ASTM E3 / E7 for micro and macro photos.

The results shows that the highest tensile strength was 75.01 MPa and 77.57 MPa. That values were obtained from tensile testing of welding angle direction of 0° and 45°, using parameters of 1600 rpm spindle speed and feed rate of 10 mm / min. Micro vickers testing on the retreating side area has a higher hardness than the advancing side. Investigations of the macro image was delivered the welding defects in the specimen 1 and 2 , while specimens 3 and 4 were showed in good results. Photo micro of nugget zone was showed the microstructure changes of base metal due to the material deformation during stirring process. Based on the experiments, the welding process by using the parameters of 1600 rpm spindle speed and feed rate of 10 mm / min were delivered the best welded aluminium.

Keywords : friction stir welding, spindle speed and feed rate

PENDAHULUAN

Pengelasan dalam industri manufaktur memiliki peranan penting pada proses penyambungan logam. Proses pengelasan dikelompokkan menjadi dua, yaitu : *Liquid State Welding* (LSW) dan *Solid State Welding* (SSW). LSW adalah proses pengelasan logam dengan cara mencairkan dua buah logam induk secara bersamaan, sedangkan SSW merupakan proses pengelasan logam yang dilakukan pada kondisi logam induk tidak mencapai titik leburnya pada saat tersambung. Salah satu metode SSW ini adalah *Friction Stir Welding* (FSW), yaitu pengelasan dengan memanfaatkan panas yang timbul akibat putaran dari *tool* yang bergesekan dengan material induk atau benda kerja. FSW banyak diaplikasikan untuk menyambungkan material aluminium dan paduannya yang banyak digunakan pada industri otomotif, kedirgantaraan dan perkapalan.

Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi pengaruh kecepatan *spindle* dan *feed rate* terhadap hasil dari pengujian kekuatan tarik tertinggi pada arah sudut pengelasan 0° dan 45° sesuai standar uji ASTM E8
2. Mengidentifikasi pengaruh kecepatan *spindle* dan *feed rate* terhadap hasil dari pengujian kekerasan.
3. Mengidentifikasi pengaruh kecepatan *spindle* dan *feed rate* terhadap hasil dari struktur makro pada sambungan las dengan menggunakan standar uji ASTM E3.
4. Mengidentifikasi pengaruh kecepatan *spindle* dan *feed rate* terhadap hasil dari struktur mikro pada sambungan las dengan menggunakan standar uji ASTM E7
5. Mengetahui kecepatan *spindle* dan *feed rate* mana yang hasilnya baik.

Batasan Masalah

Agar tidak mengalami perluasan pembahasan, diberikan batasan – batasan penelitian sebagai berikut :

1. Logam induk (*base metal*) yang digunakan yaitu plat aluminium paduan dengan tebal 2 mm.
2. Proses pengelasan menggunakan *friction stir welding* (FSW).
3. Pengelasan dilakukan dengan variasi kecepatan *spindle* dan variasi *feed rate*.
4. *Tool* dibentuk dengan profil pin berbentuk silinder.

Tinjauan Pustaka

Mishra, (2005), *Friction Stir Welding* (FSW) adalah salah satu metode pengelasan *Solid State Welding* (SSW), yaitu pengelasan yang berlangsung di bawah titik lebur benda kerja. Pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) memiliki banyak keunggulan yang antara lain :

- Proses pengelasan sederhana.
- Tidak ada percikan api, asap maupun debu.
- Tidak memerlukan gas pelindung.

Selain mempunyai beberapa keunggulan, proses FSW juga mempunyai beberapa kekurangan, yaitu :

- Pencekaman benda kerja harus kuat supaya tidak bergeser pada saat proses pengelasan berlangsung.
- *Welding tool* harus menyesuaikan ketebalan benda kerja yang akan dilas.
- Pada akhir pengelasan akan menghasilkan *exit hole*.

LANDASAN TEORI

Pengertian *Friction Stir Welding*

Pada proses *Friction Stir Welding*, sebuah *tool* berupa *cylindrical shoulder* yang dilengkapi dengan pin berputar dan dibenamkan diantara dua buah plat yang akan dilas. Pin harus lebih pendek daripada tebal plat yang akan dilas supaya tidak mengenai alas benda kerja (*backing plate*).

Tool

Tool adalah salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas hasil pengelasan sehingga pemilihan *tool* harus tepat. Bahan *tool*, diameter dan profil *shoulder*, profil pin, diameter dan panjang pin perlu diperhatikan secara seksama. Bahan *tool* harus mempunyai titik lebur yang lebih tinggi dari benda kerja.

Material Aluminium

Aluminium ialah unsur kimia yang terletak pada golongan 13 periode 3. Lambang aluminium ialah Al, dan nomor atomnya 13. Aluminium terbuat dari 66% bauksit dan 33% tanah liat. Sifat teknik bahan aluminium murni dan aluminium paduan dipengaruhi oleh konsentrasi bahan dan perlakuan yang diberikan terhadap bahan tersebut. Aluminium terkenal sebagai bahan yang tahan terhadap korosi.

Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan jenis pengujian dengan merusak benda uji, yaitu dengan pemberian beban tarik pada hasil pengelasan yang semakin lama semakin besar sehingga benda uji patah. Standar uji tarik untuk penelitian ini adalah ASTM E8.

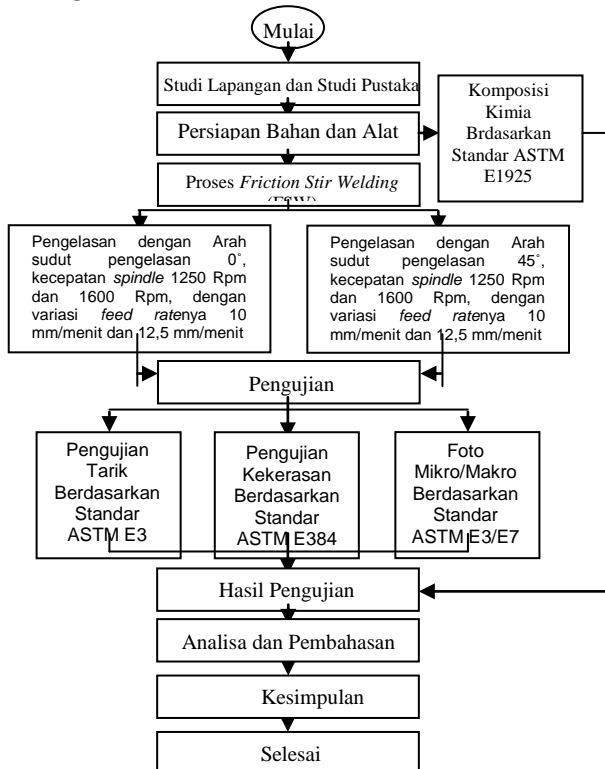
Pengujian Kekerasan Mikro Vickers

Pengujian mikro vickers dilakukan untuk mengetahui kekerasan suatu material berdasarkan standar ASTM E384. Nilai kekerasan yang diperoleh sedemikian itu disebut kekerasan *Vickers* yang biasa disingkat V_k atau HVN (*Hardness Vickers Number*).

Pengujian Struktur Mikro dan Makro

Struktur makro adalah pengamatan terhadap spesimen secara visual atau dengan kamera, sedangkan pengamatan struktur mikro adalah mengamati subyek dengan ukuran mikro dengan menggunakan alat bantu berupa mikroskop optis. Standar uji yang digunakan dalam pengujian struktur makro adalah ASTM E7 dan untuk standar pengujian struktur mikro adalah ASTM E3 (*Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens*).

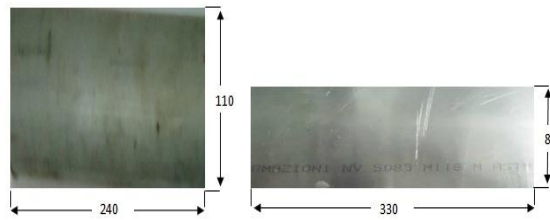
METODE PENELITIAN



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan antara lain :



Gambar 2 Material aluminium plat 1100



Gambar 3 Bentuk *tool*

Alat Yang Digunakan



Gambar 4 Mesin Milling (Solo Techno Park)

Alat Pengujian



Gambar 5 alat uji tarik (Balai Besar Latihan Kerja Industri Surakarta)



(a)



(b)



(c)

Gambar 6 a) Alat Uji Struktur Makro, b) Alat Uji Kekerasan, c) Alat Uji Struktur Mikro (Laboratorium Material Teknik Mesin UNS)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Komposisi Kimia

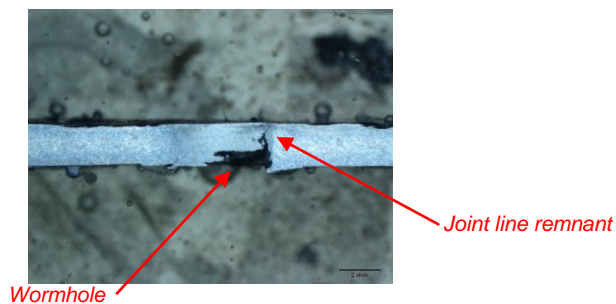
Tabel 1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia Aluminium

No.	Unsur	Prosentase (%)
1	Aluminium (Al)	99,28
2	Zinc (Zn)	0,036
3	Ferit (Fe)	0,289
4	Copper (Cu)	0,170
5	Silicon (Si)	0,134
6	Manganese (Mn)	<0,0200
7	Magnesium (Mg)	<0,0500
8	Chrom (Cr)	<0,0150
9	Nikel (Ni)	0,0249
10	Tin (Sn)	<0,0500
11	Titanium (Ti)	0,0194
12	Lead (Pb)	<0,0300
13	Beryllium (Be)	0,0001
14	Calsium (Ca)	0,0027
15	Strontium (Sr)	<0,0005
16	Vanadium (V)	0,012
17	Zirconium (Zr)	0,0163

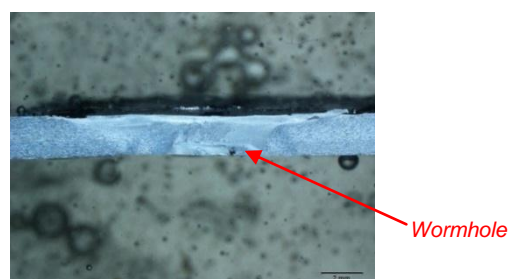
Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia dapat diketahui terhadap 17 unsur yang terkandung dalam plat logam aluminium. Unsur yang paling dominan adalah Aluminium (Al) = 99,28 % kemudian diikuti oleh unsur ferrit (Fe) = 0,289 %, menurut data yang diperoleh dari “*MatWeb Material property Data*” disebut Aluminium jika unsur Al = 99 – 100 % sedangkan disebut aluminium paduan Al-Fe (seri 1100) jika unsur Al = 90-99 % dengan rata – rata 94,5 %, unsur Fe = 0,08-0,95 % dengan rata – rata 0,276 %. Dari hasil pengujian komposisi kimia menyatakan bahwa kandungan unsur paduan yang tertinggi unsur ferrit (Fe). Dapat disimpulkan bahwa aluminium ini termasuk mendekati paduan Al-Fe (seri 1100).

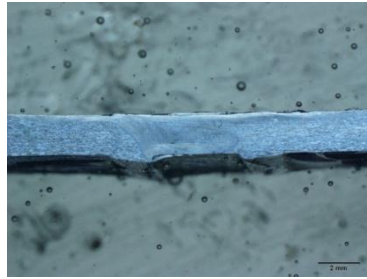
Hasil Foto Makro



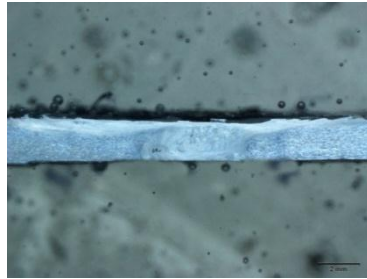
Gambar 7 Foto makro spesimen 1 (kecepatan *spindle* 1250 Rpm dan *feed rate* 12,5 mm/min)



Gambar 8 Foto makro spesimen 2 (kecepatan *spindle* 1250 Rpm dan *feed rate* 10 mm/min)



Gambar 9 Foto makro spesimen 3 (kecepatan *spindle* 1600 Rpm dan *feed rate* 12,5 mm/min)



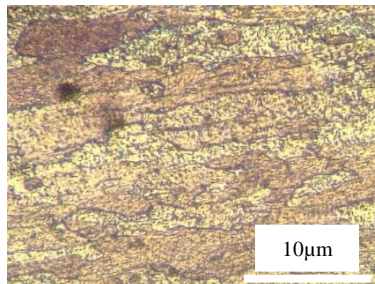
Gambar 10 Foto makro spesimen 4 (kecepatan *spindle* 1600 Rpm dan *feed rate* 10 mm/min)

Pembahasan.

Pada saat proses FSW, temperatur yang mencapai sekitar 40°C - 60°C oleh karena itu muncul keropos pada spesimen 1 dan 2. Untuk spesimen 3 dan 4 temperatur mencapai 70°C - 85°C, hal ini disebabkan adanya sisa panas di *tool* pada saat proses FSW spesimen sebelumnya. Oleh karena itu hasil pada spesimen 3 dan 4 lebih baik daripada spesimen 1 dan 2.

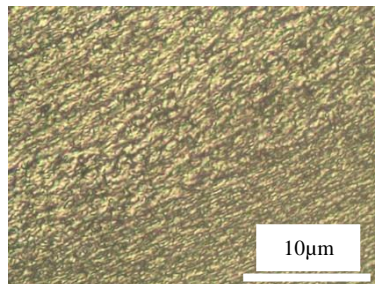
Hasil Struktur Mikro

a. Base Metal

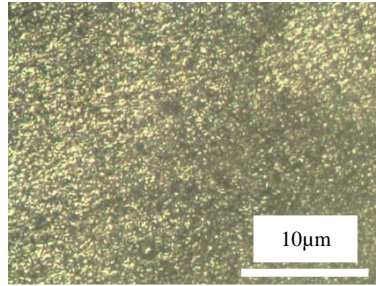


Gambar 11 *Base metal* aluminium paduan 1100

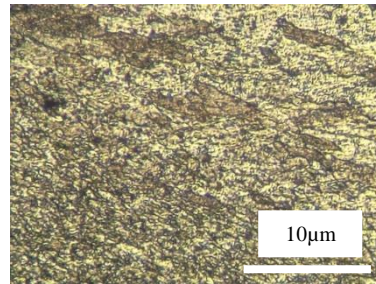
b. HAZ



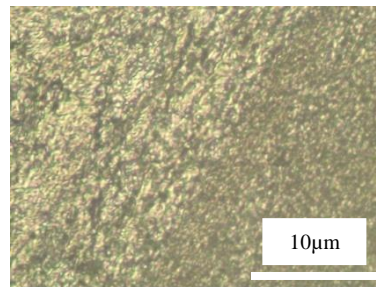
Gambar 12 HAZ spesimen 1 (kecepatan *spindle* 1250 Rpm dan *feed rate* 12,5 mm/min)



Gambar 13 HAZ spesimen 2 (kecepatan *spindle* 1250 Rpm dan *feed rate* 10 mm/min)

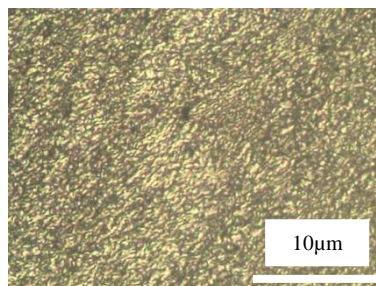


Gambar 14 HAZ spesimen 3 (kecepatan *spindle* 1600 Rpm dan *feed rate* 12,5 mm/min)

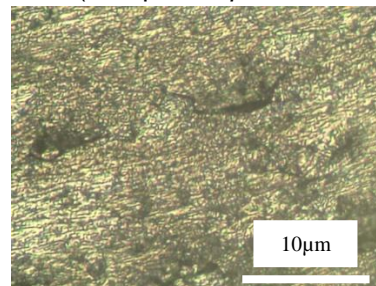


Gambar 15 HAZ spesimen 4 (kecepatan *spindle* 1600 Rpm dan *feed rate* 10 mm/min)

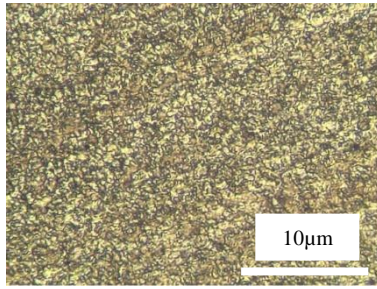
c. Weld Nugget



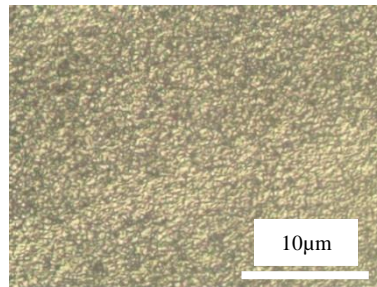
Gambar 16 *Weld nugget* spesimen 1 (kecepatan *spindle* 1250 Rpm dan *feed rate* 12,5 mm/min)



Gambar 17 *Weld nugget* spesimen 2 (kecepatan *spindle* 1250 Rpm dan *feed rate* 10 mm/min)



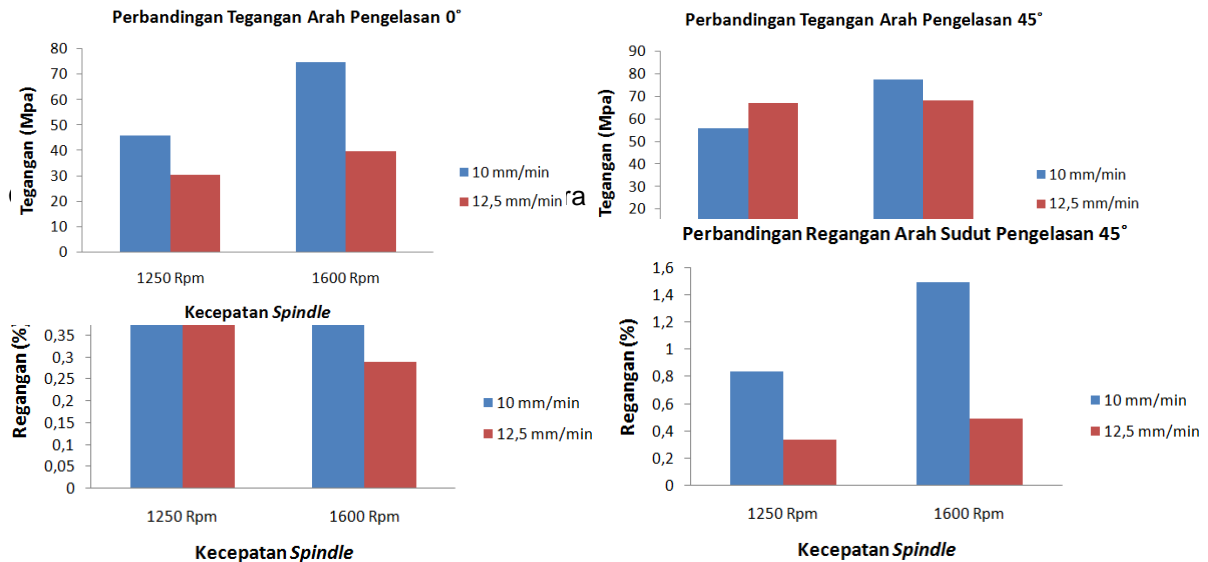
Gambar 18 *Weld nugget* spesimen 3 (kecepatan *spindle* 1600 Rpm dan *feed rate* 12,5 mm/min)



Gambar 19 *Weld nugget* spesimen 4 (kecepatan *spindle* 1600 Rpm dan *feed rate* 10 mm/min)

Pengamatan pada daerah *base metal*, HAZ, dan *weld nugget* untuk kesemua spesimen menunjukkan bahwa, pada daerah yang jauh dari pengaruh temperatur tinggi dan deformasi adukan; yaitu pada daerah *base metal*, struktur mikro memiliki butir pipih. Pada daerah yang telah terpengaruh oleh panas; yaitu pada HAZ, butir sedikit mengecil dan banyak. Pada daerah yang terdampak langsung oleh adukan *tool* dan terdeformasi; yaitu pada daerah *weld nugget*, struktur mikro berbentuk butir halus. Hal ini membuktikan bahwa perubahan ukuran butir struktur mikro pada proses pengelasan tidak terlepas dari perilaku panas dari deformasi plastis yang ditimbulkan selama proses pengelasan.

Hasil Pengujian Tarik

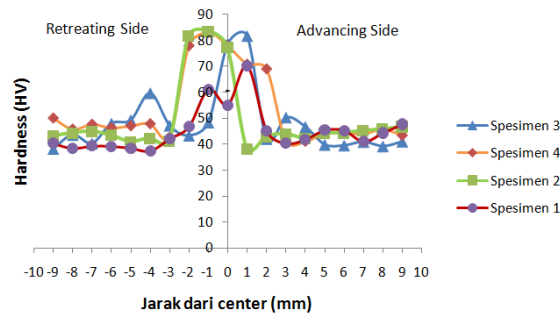


Gambar 21 Diagram perbandingan nilai rata – rata regangan pada arah pengelasan 0° dan 45°

Dari data di atas pengujian tarik menunjukkan bahwa kekuatan tertinggi dicapai pada kedua arah pengelasan 0° dan 45° dengan parameter kecepatan *spindle* 1600 Rpm dan *feed rate* 10 mm/min yaitu 75,01 Mpa dan 77,57 Mpa. Sedangkan kekuatan terendah juga pada kedua arah pengelasan 0° dan 45° dengan parameter kecepatan *spindle* 1250 Rpm dan *feed rate* 10 mm/min yaitu 30,56 Mpa dan 55,93 Mpa.

Hal ini dipengaruhi oleh faktor struktur mikro yang dimiliki material tersebut maupun cacat las yang terdapat pada sambungan las. Pada parameter kecepatan *spindle* 1250 Rpm dan *feed rate* 12,5 mm/min terdapat cacat las berupa rongga sehingga menyebabkan kekuatan tariknya rendah, sedangkan untuk pengelasan dengan parameter kecepatan *spindle* 1600 Rpm dan *feed rate* 10 mm/min menghasilkan kekuatan tarik yang tinggi dikarenakan minim adanya cacat las.

Hasil Kekerasan Mikro Vickers



Gambar 22 Grafik hubungan nilai kekerasan

Grafik ini memperlihatkan bahwa nilai kekerasan pada setiap titik uji mempunyai nilai yang hampir sama, tetapi pada bagian *retreating side* cenderung lebih tinggi bila dibandingkan dengan bagian *advancing side*.

Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan, sebagai berikut :

1. Kekuatan tarik tertinggi pada pengujian tarik arah sudut pengelasan 0° dan 45° dengan parameter kecepatan *spindle* 1600 Rpm dan *feed rate* 10 mm/min yaitu 75,01 Mpa dan 77,57 Mpa.
2. Untuk uji mikro vickers, daerah *retreating side* mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah *advancing side*.
3. Hasil foto makro menunjukkan bahwa pada spesimen 1 dan 2 terdapat cacat las berupa *wormhole* dan *joint line remnant* akibat adanya oksidasi pada saat proses pengadukan. Sedangkan spesimen 3 dan 4 tidak terdapat cacat las.
4. Struktur mikro pada daerah HAZ mengalami *grain growth* akibat temperatur pengelasan yang diterima, sedangkan pada *nugget* menunjukkan tampilan struktur mikro butiran yang lebih kecil dan rapat.
5. Pengelasan dengan parameter kecepatan *spindle* 1600 Rpm dan *feed rate* 10 mm/min menghasilkan pengelasan dengan hasil yang baik dan memiliki sedikit cacat.

Saran

Berikut adalah beberapa saran berdasarkan hasil penelitian pada pengelasan FSW yang telah dilakukan menggunakan alat pengelasan dan mesin khusus untuk proses FSW.

1. Menggunakan *tool* dari jenis bahan *tool steel* untuk meminimalkan keausan saat pengelasan.
2. Menggunakan sistem pengekaman yang baik agar benda kerja tidak bergeser saat pengelasan.
3. Memperhitungkan temperatur supaya pada saat proses pengelasan, temperatur yang timbul bisa maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

Angger, 2012, *Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Aluminium dengan Metode Friction Stir Welding*.

ASTM, 1990, *Standards Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*, Philadelphia, PA, American Society for Testing and.

Mishra, R.S., Ma, Y.Z, 2005, *Friction Stir Welding and Processing Materials Science and Engineering*, R 50: 1 – 78.