ANALISA PENGARUH KECEPATAN PUTAR SPINDEL 800 RPM DAN 1250 RPM TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA SAMBUNGAN BAJA KARBON RENDAH-KUNINGAN DENGAN METODE FSW (*FRICTION STIR WELDING*) *SINGLE TRACK*

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

Oleh :

KAMALUDIN
D200120129

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA

2019

HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISA PENGARUH KECEPATAN PUTAR SPINDEL 800 RPM DAN 1250 RPM TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA SAMBUNGAN BAJA KARBON RENDAH-KUNINGAN DENGAN METODE FSW (*FRICTION STIR WELDING*) *SINGLE TRACK*

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh :

KAMALUDIN
D200120129

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Pembimbing

(Ir. Bibit Sugito, MT)

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH KECEPATAN PUTAR SPINDEL 800 RPM DAN 1250 RPM TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA SAMBUNGAN BAJA KARBON RENDAH-KUNINGAN DENGAN METODE FSW (*FRICTION STIR WELDING*) *SINGLE TRACK*

OLEH

KAMALUDIN
D200120129

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Sabtu, 2 November 2019
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji :

1. **Ir. Bibit Sugito, MT** (Ketua Dewan Penguji)
2. **Ir. Agus Hariyanto, MT** ( ) (Anggota I Dewan Penguji)
3. **Agus Yulianto, ST,MT** ( ) (Anggota II Dewan Penguji)

Dekan

(Ir. H. Sri Sunarjono, MT, Ph.D)

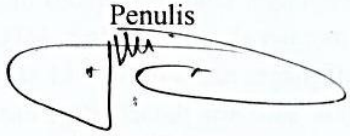
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi 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, 14 November 2019

Penulis



KAMALUDIN

D200120129

ANALISA PENGARUH KECEPATAN PUTAR SPINDEL 800 RPM DAN 1250 RPM TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA SAMBUNGAN BAJA KARBON RENDAH-KUNINGAN DENGAN METODE FSW (*FRICTION STIR WELDING) SINGLE TRACK*

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan tarik maksimal hasil pengelasan *friction stir welding* single track Baja karbon rendah dengan Kuningan pada putaran spindel 800 rpm dan 1250 rpm serta mengetahui nilai kekerasan hasil pengelasan *friction stir welding* antara baja karbon rendah dengan Kuningan pada putaran spindel 800 rpm dan 1250 rpm.Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Plat Baja karbon rendah dan Kuningan, sambungan menggunakan *butt joint*. Parameter yang digunakan adalah kecepatan putar spindel 800 rpm dan 1250 rpm, kecepatan pemakanan 12,5 mm/menit, sudut kemiringan 1^0 dan *Depth plunge* 1,8 mm. Dari hasil pengujian tarik pada putaran 800 rpm didapatkan nilai tegangan tarik rata-rata 167,77 MPa dan regangan rata-rata 0,31%. Sedangkan pada putaran 1250 rpm didapat nilai tegangan Tarik rata-rata sebesar 139,69 MPa dan regangan rata-rata 0,19%. Kemudian pada pengujian kekerasan pada daerah *stir zone* 800 rpm menunjukan nilai 143,26 HVN. sedangkan pengujian kekerasan pada daerah *stir zone* 1250 rpm yang lebih rendah dengan menunjukan nilai 141,16 HVN.

Kata Kunci *: Friction stir welding single track*, baja karbon rendah, kuningan /*brass*, pengujian tarik, pengujian kekerasan.

Abstract

The purpose of this study was to determine the maximum tensile strength of *friction stir welding* of single track Low carbon Steel with Brass at 800 rpm and 1250 rpm spindeles and to know the hardness value of *friction stir welding* result between Low carbon Steel with Brass at 800 rpm and 1250 rpm spindle rotation.
The material used in this study is the Low carbon Steel and Brass Plate, the connection uses butt joint. The parameters used are the spindle rotational speed of 800 rpm and 1250 rpm, the feed speed of 12.5 mm / min, the tilt angle of 10 and the depth of the plunge 1.8 mm. From the tensile test results at 800 rpm rotation obtained an average tensile stress value of 167.77 MPa and an average strain of 0.31%. Whereas at 1250 rpm, the average tensile stress is 139.69 MPa and the average strain is 0.19%. Then on the hardness test in the 800 zone rpm stir zone shows a value of 143.26 HVN. while the hardness testing in the 1250 rpm lower stir zone area by showing a value of 141.16 HVN.

Keywords*:* Single track friction stir welding, low carbon steel, brass / brass, tensile testing, hardness testing.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dalam bidang konstruksi semakin maju, baik di dalam perakitan maupun perawatan. Seiring kemajuan teknologi dalam bidang konstruksi, membuat kebutuhan pengelasan semakin dibutuhkan. Semakin luas penggunaan las mempengaruhi kebutuhan penggunaan teknologi las. Menurut Wiryosumarto, H. dan Okumora, T (2000), aplikasi penggunaan las antara lain pada bidang perkapalan, otomotif, konstruksi jembatan, kendaraan rel, rangka baja, dan sebagainya. Dimana teknologi pengelasan digunakan karena selain pengoperasianya relative mudah, sambungan lebih rapat dan prosesnya cepat.

Kemudian teknologi pengelasan sendiri terbagi dalam beberapa jenis, salah satunya adalah FSW (*Friction stir welding*). *Friction stir welding* adalah suatu metode pengelasan baru yang dapat menjadi solusi untuk masalah tersebut, karena hasil pengelasan yang menggunakan metode ini memiliki daerah HAZ yang lebih kecil sehingga cacat serta kerusakan dan kerugian dapat dikurangi. Prinsip kerja FSW adalah memanfaatkan gesekan dari benda kerja yang berputar dengan benda kerja lain yang diam sehingga mampu melelehkan benda kerja yang diam tersebut dan akhirnya tersambung menjadi satu. (ASM, 2007)

Beberapa contoh pengelasan jenis ini adalah pembuatan bodi mobil, sayap ataupun bodi pesawat terbang serta peralatan memasak. Penelitian *friction stir welding* masih dikembangkan, seperti variasi desain *tool*, perbaikan teknik pengelasan dan perbaikan material *tool* baru untuk dapat memperpanjang umur pakai *tool*. Kualitas hasil pengelasan *friction stir welding* memiliki permukaan yang lebih halus dan rata dari hasil pengelasan tradisional lain, kuat dan tidak ada pori - pori yang timbul. Proses ini ramah terhadap lingkungan karena tidak ada uap atau percikan dan tidak ada silauan busur nyala pada *fusion*. (Esmaeili dkk, 2011)

Pengelasan dengan menggunakan kombinasi material yang berbeda mulai banyak dilakukan dalam dunia industri manufaktur karena dapat meningkatkan

efektifitas dan manfaat ekonomis. Baja karbon rendah dan Kuningan adalah dua bahan umum yang banyak digunakan dalam dunia perindustrian. Namun karena perbedaan besar dalam sifat fisik dan kimianya, pengelasan dari baja karbon rendah dan kuningan umumnya lebih sulit, studi Liltelatur menunjukan bahwa adanya beberapa teknik pengelasan yang dapat diaplikasikan untuk sambungan dissimilar seperti: solder, brazing, pengelasan gesek (FSW) dan pengelasan ultrasonik. (ASM, 2007)

Purwaningrum, Y. dan Setyanto, K. (2011), meneliti komparasi sifat fisik dan mekanik sambungan las TIG (*Tungsten Inert Gas*) dan las FSW (*Friction Stir Welding*) pada aluminium tipe 1xxx. Hasil pengujian tarik, pengujian foto mikro, pengujian mikro vickers, dan pengujian impact menunjukkan bahwa las *FSW* memiliki ketangguhan yang tinggi dibanding dengan las *TIG* dimana nilai ketangguhan las FSW 0,854 J/mm2, dan las TIG 0,233 J/mm2. Esmaeili 2011, melakukan penelitian pengaruh putaran terhadap *intermetallic compounds* dan sifat mekanik pada *Friction Stir Welding* antara aluminium dan kuningan. Dan kemudian pada tahun yang sama Esmaeili melakukan penelitian lagi tentang mempelajari komposisi logam yang terbentuk pada *Friction Stir Welding* antara aluminium dan kuningan. Namun demikian penelitian yang dilakukan Esmaeili dan kawan-kawannya menggunakan putaran *rpm* yang rendah.

2. METODE

Peralatan yang digunakan untuk penelitian ini mencakup peralatan untuk pembuatan spesimen, proses pengelasan dan alat uji spesimen. Pembuatan spesimen di kerjakan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta (UMS). Proses pengelasan FSW dilakukan di Laboratorium Solo Technopark (STP), sedangkan untuk pengujian specimen dilakukan di Laboratorium Balai Besar Kerja Industri Surakarta (BBLKI) dan Laboratorium Akademik Teknologi Warga (ATW).

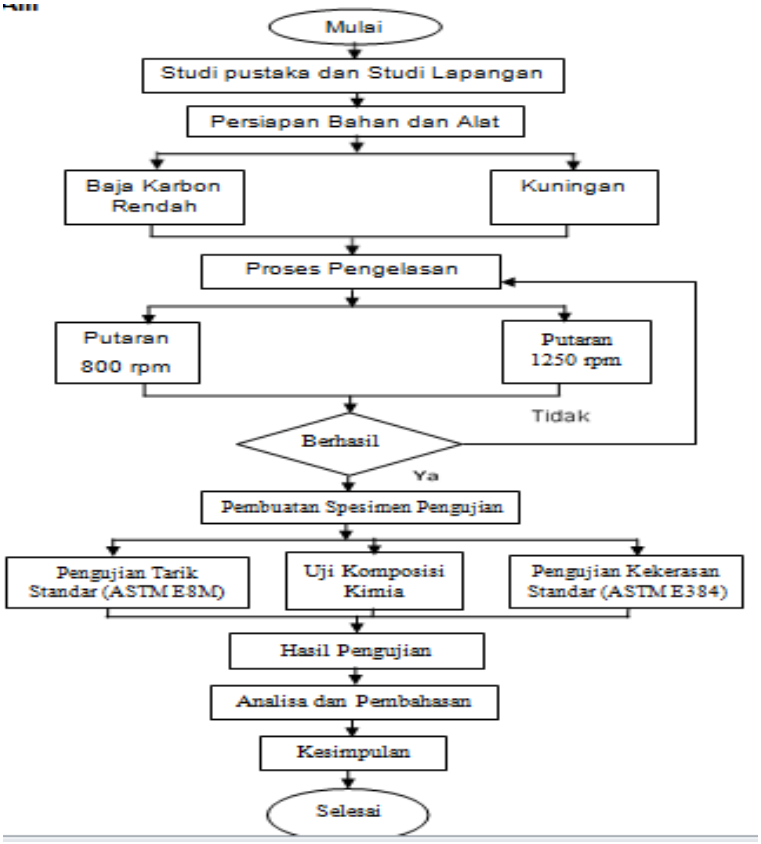
Bahan yang digunakan dalam peneltian ini adalah Spesimen uji. Material specimen uji yang digunakan dalam penelitian ini ada 2 jenis material yaitu : plat Baja karbon rendah dan plat Kuningan dengan ketebalan 2 mm.

2.1. Alat Penelitian

Alat Pengujian :Mesin Milling Vertical, Alat Uji Tarik (ASTM E8M), Alat Uji Kekerasan (ASTM E384), Alat Uji Komposisi Kimia (POLMAN, Ceper, Klaten.)

Alat Bantu : *Tool Joint*, Jangka sorong, Cekam Thermometer, Kikir, Mistar dan spidol, Ragum / Cekam, Gergaji besi, Amplas, Cetakan kaca, Resin dan katalis, Autosol dan kain bludru.

2.2. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penlitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Komposisi Kimia

a. Komposisi Kimia Kuningan

Tabel 1. Hasil Uji Komposisi Kimia Kuningan Bahan

UNSUR	SAMPEL UJI	
	%	Deviasi
Cu	62,3	0,428
Zn	36,4	0,400
Pb	0,0814	0,0095
Sn	0,252	0,0200
Mn	0,0156	0,0018
Fe	0,123	0,0038
Ni	0,0438	0,0059
Si	0,0473	0,0036
Mg	<0,0050	0,0000
Cr	0,0136	0,0014
Al	0,364	0,0048
As	0,0386	0,0055
Be	<0,0020	0,0000
Ag	0,0073	0,0016
Co	0,0293	0,0042
Bi	0,0431	0,0024
Cd	0,0741	0,0017
Zr	0,0036	0,0006

Dari data asil uji komposisi kimia diatas unsur yang mendominasi adalah Cu yaitu sebesar 62,3%, Zn sebesar 36,4% dan Al sebesar 0,364%. Berdasarkan "MatWeb Material Property Data", material tersebut termasuk kuningaan/brass (CuZn).

b. Komposisi Kimia Baja Karbon Rendah

Tabel 2. Hasil Uji Komposisi Kimia Baja karbon rendah Bahan

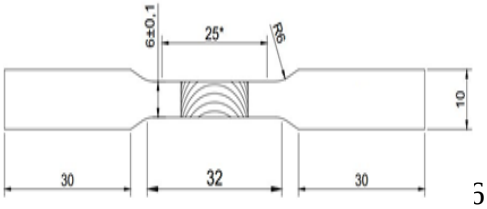
UNSUR	SAMPEL UJI

	%	Deviasi
Fe	99,6	0,100
C	<0,0050	0,0000
Si	0,0377	0,0355
Mn	0,0981	0,0164
P	0,0239	0,0058
S	0,0123	0,0042
Cr	<0,0050	0,0020
Mo	<0,0050	0,0000
Ni	<0,0050	0,0000
Al	<0,0252	0,0036
Co	0,0132	0,0087
Cu	0,0061	0,0023
Nb	0,0116	0,0086
Ti	0,0085	0,0045
V	0,0075	0,0065
W	<0,0250	0,0098
Pb	0,0433	0,0047
Ca	>0,0015	0,0000
Zr	0,0208	0,0093

Hasil uji komposisi kimia diatas menunjukkan bahwa material yang digunakan dalam penelitian ini termasuk baja karbon rendah dengan kandungan karbon <0,08%.

3.2. Pengujian Tarik

Tujuan dari pengujian tarik ini untuk mengetahui kekuatan sambungan hasil pengelasan saat menahan beban yang diberikan. Pengujian tarik menggunakan alat uji *Universal Testing Machine*. Pengujian dilakukan di Laboratorium Uji Tarik Balai Besar Latihan Kerja Industri Surakarta (BBLKI). Spesimen pengujian tarik menggunakan standar ASTM E8M. Hasil yang diperoleh dari proses pengujian tarik berupa nilai tegangan dan regangan.

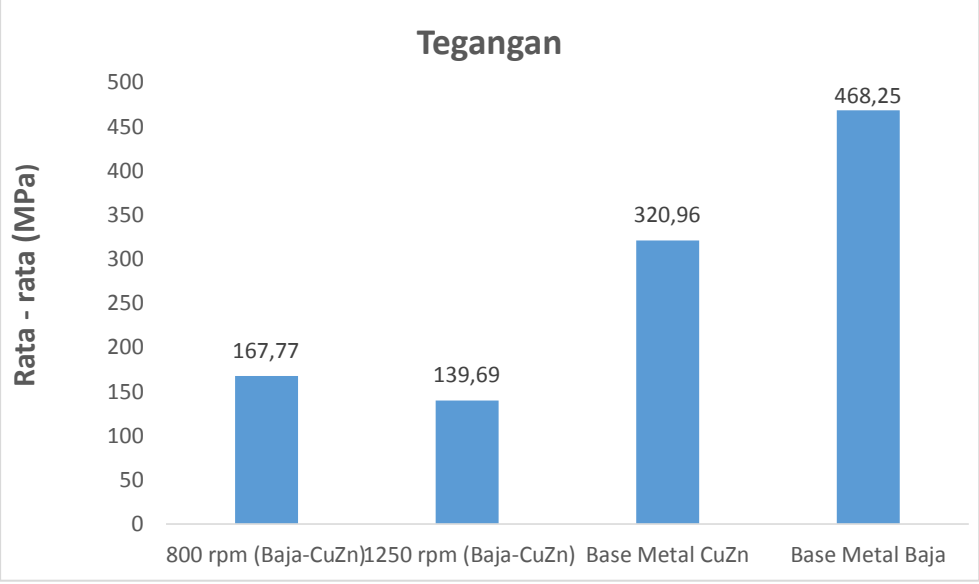


Gambar 2. Desain dan Hasil Pembuatan Spesimen Pengujian Tarik

a. Hasil Pengujian Tarik Baja - CuZn Single Track

Tabel 3. Tabel Tegangan Hasil Pengujian Tarik Baja - CuZn 800 rpm dan 1250 rpm

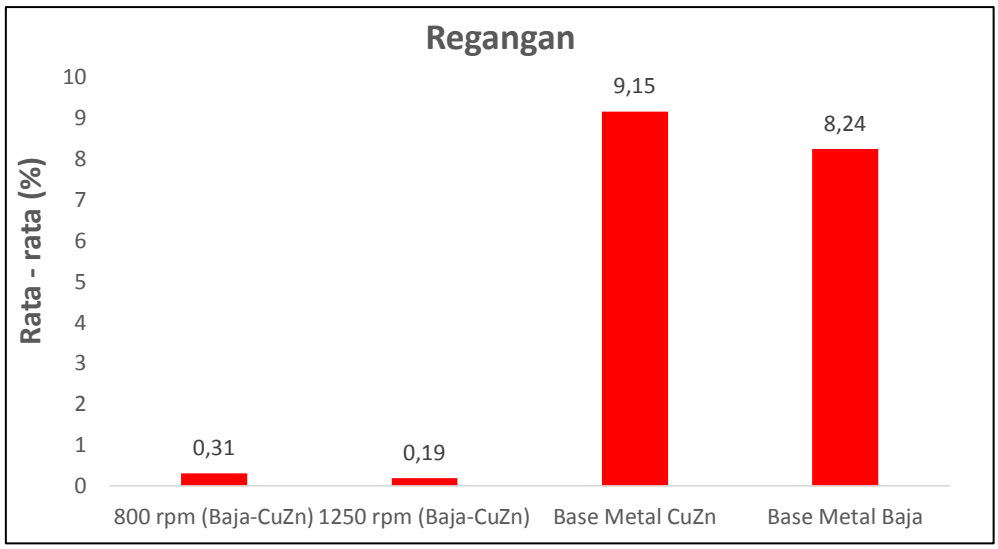
Material	Rotation speed (rpm)	A_0 (mm^2)	Tegangan (MPa)			Rata-rata σ (MPa)
			σ1	σ2	σ3	
Baja-CuZn	800	12	157,26	157,75	188,30	167,77
Baja-CuZn	1250	12	114,63	125,53	178,92	139,69
BM CuZn	-	12	348,21	344,19	270,49	320,96
BM Baja	-	12	456,26	471,66	476,84	468,25



Gambar 3. Histogram tegangan hasil pengujian tarik Baja-CuZn 800 rpm dan 1250 rpm

Tabel 4. Tabel Regangan Hasil Pengujian Tarik Baja - CuZn 800 rpm dan 1250 rpm

Material	Rotation speed (rpm)	L_0 (mm)	Regangan (MPa)			Rata-rata ε (%)
			ε1	ε2	ε3	
Baja-CuZn	800	32	0,20	0,41	0,34	0,31
Baja-CuZn	1250	32	0,13	0,17	0,27	0,19
BM CuZn	-	32	11,73	10,01	5,72	9,15
BM Baja	-	32	7,91	5,59	11,23	8,24



Gambar 4. Histogram regangan hasil pengujian tarik Baja - CuZn 800 rpm dan 1250 rpm

b. Pembahasan Pengujian Tarik

Dilihat dari tabel dan histogram hasil pengelasan *single sided friction stir welding* 800 rpm dari hasil pengelasan material Baja-CuZn mempunyai tegangan tarik rata-rata 167,77 MPa dan regangan rata-rata 0,31%. Sedangkan dari tabel dan histogram hasil pengelasan *friction stir welding single sided* 1250 rpm Baja-CuZn mempunyai tegangan tarik rata-rata 139,69 MPa dan regangan rata-rata 0,19%. Kemudian Pada *base metal* Baja mempunyai tegangan tarik rata-rata 468,25 MPa dan regangan rata-rata 8,24%. pada *base metal* CuZn mempunyai tegangan tarik rendah dengan rata-rata 320,96 MPa dan regangan rata-

rata 9,15%. Karena jenis material Baja yang digunakan yaitu Baja karbon rendah dengan kandungan karbon kurang dari 0,08%.

Dari hasil pengujian tarik menunjukan perbedaan tegangan tarik diantara spesimen. Pada pengelasan 800 rpm material Fe-CuZn mempunyai tegangan tarik rata-rata paling tinggi yaitu 167,77 MPa, dan tegangan tarik rata-rata paling rendah terjadi pada pengelasan 1250 rpm yaitu 139,69 MPa. Dikarenakan hal ini terjadi karena sifat mekanik material yang dipengaruhi oleh perbedaan temperatur saat proses pengelasan berlangsung sehingga terjadi perubahan sifat mekanik pada hasil sambungan material.

Dari keseluruhan pengujian yang dilakukan, antara Baja-CuZn 800 rpm dan 1250 rpm keseluruhan terjadi patah pada bagian sambungan las atau daerah pengelasan (*stir zone) metal.* Terjadinya patah pada sambungan las tersebut dikarenakan efek panas yang ditimbulkan putaran spindel serta proses pendingan juga sangat mempengaruhi struktur material pada sambungan las berubah menjadi lebih keras namun getas. Faktor getas tersebutlah yang menjadi faktor utama terjadinya patah pada sambungan las.

3.3. Pengujian Kekerasan (*Vickers Microhardness*)

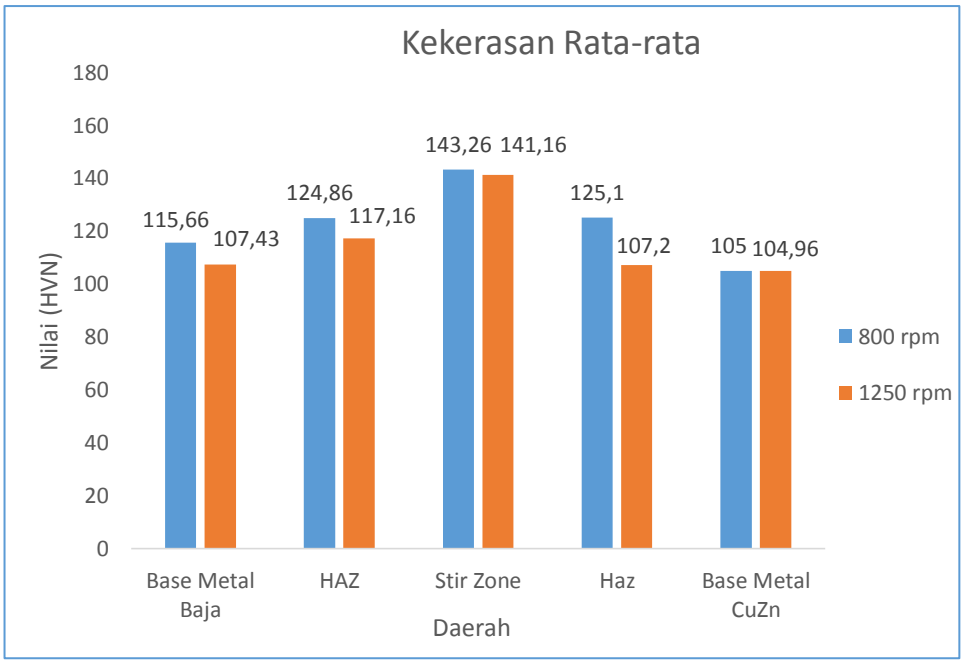
a. Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan ini menggunakan alat uji kekerasan *micro vickers* milik laboratorium ATW. Standar pengujian yang digunakan adalah ASTM E384. Pada penelitian ini digunakan pengujian kekerasan *Vickers* menggunakan indentor intan berbentuk piramida dengan menggunakan parameter pengujian sebagai berikut

- Beban yang digunakan sebesar 9,8 N
- Waktu tahan selama 15 detik
- Jarak tiap titik uji 1 mm

Tabel 5. Data Rata-rata Hasil pengujian vikers (HVN) Baja - CuZn 800 rpm dan 1250 rpm

Rotation speed (rpm)	Base Metal Baja	HAZ	*Stir Zone*	HAZ	Base Metal CuZn
800	115,66	124,86	143,26	125,1	105
1250	107,43	117,16	141,16	107,2	104,96



Gambar 5. Histogram Rata-rata Hasil Uji Kekerasan (HVN)

b. Pembahasan pengujian kekerasan

Hasil dari pengujian kekerasan vickers pada material hasil pengelasan Baja - CuZn dengan metode *Friction Stir Welding Single Track* menggunakan variasi kecepatan putar spindel 800 rpm dan 1250 rpm. Pengujian kekerasan dilakukan pada daerah base metal, HAZ, dan *Stir zone*. Dari rata-rata hasil uji kekerasan menunjukkan daerah yang memiliki kekerasan tertinggi adalah pada daerah *stir zone* yaitu untuk material pengelasan Baja - CuZn dengan variasi 800 rpm nilai kekerasan rata-rata adalah 143,26 HVN dan untuk variasi 1250 rpm 141,16 HVN. Perbedaan nilai kekerasan rata-rata pada daerah *stir zone* ini Dikarenakan pengaruh panas yang ditimbulkan akibat putaran

spindel terhadap material berbeda. Selain itu dimungkinkan senyawa antara Baja - CuZn yang terbentuk akibat dari pengelasan FSW pada daerah *stir zone* berbeda jika dilihat dari nilai kekerasan yang terjadi.

Sedangkan pada daerah HAZ kekerasan mengalami penurunan yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan daerah *stir zone* baik itu untuk variasi 800 rpm maupun 1250 rpm. Yaitu untuk variasi 800 rpm daerah HAZ bagian Baja memeliki 124,86 HVN dan 125,1 HVN daerah HAZ bagian CuZn. Kemudian nilai kekerasan untuk variasi 1250 rpm daerah HAZ bagian Baja memiliki nilai kekerasan 117,16 HVN dan 107,2 HVN daerah HAZ bagian CuZn. Penurunan nilai kekerasan pada daerah HAZ ini jika dibandingkan dengan daerah *stir zone*. diakibatkan karena panas yang terbentuk pada daerah HAZ tersebut lebih rendah jika dibandingkan daerah *stir zone* sedangkan proses pendinginanya yang dilakukan sama (menggunakan suhu ruangan/udara bebas). Sehingga struktur material yang terbentuk memiliki sifat kekerasan yang lebih rendah pada bagian daerah HAZ

4. PENUTUP

Dari hasil penelitian proses pengelasan *Friction Stir Welding single Track* yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan yaitu 1) Hasil pengujian tarik diperoleh bahwa tegangan tarik maksimal untuk *Friction Stir Welding single Track* pada sambungan antara baja dengan kuningan 800 rpm adalah 188.30 MPa dengan regangan rata – rata 0,31% ,sedangkan pada 1250 rpm tegangan tarik maksimal adalah 178.92 MPa dengan regangan rata-rata 0,19% dan 2) Hasil pengujian kekerasan pada daerah *Stir Zone* 800 rpm menunjukan nilai 143,26 HVN lebih keras dari pada daerah HAZ dengan nilai 124,86 HVN sedangkan pengujian pada daerah *Stir Zone* 1250 rpm menunjukan nilai 141,16 HVN lebih keras dari HAZ 107,2 HVN. Perbedaan nilai kekerasan rata-rata pada daerah *stir zone* dan HAZ ini Dikarenakan pengaruh panas yang ditimbulkan akibat putaran spindel terhadap material berbeda. Selain itu dimungkinkan senyawa antara Baja-

CuZn yang terbentuk akibat dari pengelasan FSW pada daerah *stir zone* berbeda jika dilihat dari nilai kekerasan yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

American Society for Testing and Materials, 2003, *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Material*, ASTM, E8M-04

American Society for Testing and Materials, 2002, *Standard Test Methods for Microindentation Hardness of Material*, ASTM, E384-99.

Fisher, Alec. 2009. Berpikir Kritis, Kata Pengantar, Jakarta; Erlangga.

ASM, 2007. *Friction Stir welding And Processing.*

Amini ,A., Asadi,P.,Zolghadr,P., and Noor,P.,2014, *Friction Stir Welding in Industry*, University of Tehran,Iran.

Esmaeili, A., Givi, M.K. Besharati., Rajani, H.R. Zareie., 2011, *A Metallurgical and Mechanical Study on Dissimilar Friction Stir welding of Aluminum 1050 to Brass (CuZn30).*

ESAB, 2012 *Friciton Stir Welding Technical Handbook*, www.esab.com

Kalpakjian, S. dan Schmid, S.R. 2009. *Manufacturing Engineering and Technology*. Sixth Edition, Pentice Hall, New York

Purwaningrum, Y. Dan Setyanto, K. 2011. Komparasi sifat fisik dan mekanik sambungan las Tig (Tungsten Inert Gas) dan Las FSW (Friction Stir Welding) pada Aluminium Tipe 1xxx

Reza, Muhammad., 2011, "pengaruh parameter mesin terhadap sifat mekanik material AC4CH dengan metode *friction stir welding",* Tugas Akhir S-1, Universitas Indonesia, lib.ui.ac.id

Joaquin., 2015, "Tool Geometry Optimizzation In Friction Stir Spot Welding of Al-Steel Joints", www.scienedirect.com

Tanigawa,. Hiroyasu,. 2016, Friction Stir Welding of F82H steel for fusion applications.

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

Wiryosumarto, H., Okumura, T., 2000,*Teknologi Pengelasan Logam*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.

Ando, Masami., 2016, "*Friction Stir Welding Of F82H Steel For Fusion Applications", www.scienedirect.com* .

Poural. Masaomeh., 2017, "*Journal of Alloys Compounds*", www.scienedirect.com.

Joaquin., 2015, "Tool Geometry Optimizzation In Friction Stir Spot Welding of Al-Steel Joints", www.scienedirect.com

Thomas WM, Nicholas ED, Needham JC, Murch MG, Temple-Smith P, Dawes CJ. 1991. *Friction Stir Butt Welding*. International Patent Application, No. PCT/GB92/02203.

Rowe, C E D; Thomas, Wayne, 2006, Advance in tooling materials for friction stir welding, TWI & Cedar Metal, Cambride.

Mishra RS, Ma ZY. 2005. *Friction Stir Welding and Processing*. Material Science and Engineering, 50 : 1 – 78

Mishra, R.S., Kumar, N., dan De, P.S., 2014, *Friction Stir Welding* and Processing: Science and Engineering, Springer International, Swiss.

Khaled, Terry, 2005, An Outsider Looks At *Friction Stir Welding*, *Report :* ANM-112N-05-06, Federal Aviation Administration.

Dieter, G.E (1983). Engineering design: A material and processing approach. Tokyo: McGraw-Hill International Book Company.

I.J. Polmear, 1995, Light Alloys, Arnold

Zainuri, M.A. 2007, Kekuatan Bahan (Strength of Materials). CV Andi Offset. Yogyakarta.

http://www.alatuji.com/m/article/detail/656/metode-pengujian-kekerasan

Elangovan K., Balasubramania V., Babu b S. , Predicting tensile strenght of Friction stir welding AA6061 Aluminium Alloy Joints by a mathematical model, Materials and Design 30 (2009). 188-193.