

Sifat Fisik dan Mekanik Sambungan Las *Friction Stir Welding* (FSW) AA 5083 dengan Variasi Bentuk dan Kecepatan Putar *Probe* Pada Konstruksi Kapal

Physical and Mechanical Properties of Welded Joints Friction Stir Welding (FSW) AA 5083 with a Variation of the Shape and Rotational Speed Probe On Ship Construction

Pompy Pratisna¹, Iyan Anggertyo², Putra Adhiptya N.A³

Laboratorium Induk Kimia dan Material (LABINKIMAT TNI AL, AAL, STTAL)¹

Jl. Stasiun Benteng No. 11, DBAL, Ujung Surabaya, Indonesia

pompypratisna@gmail.com

Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Universitas Hang Tuah^{2,3}

Jl. Arif Rahman Hakim No 150 Surabaya 60111, Indonesia

iyananggertyo.ftik@hangtuah.ac.id

Abstrak

Friction Stir Welding (FSW) adalah proses pengelasan baru yang ramah lingkungan dimana memiliki kualitas sambungan yang baik. FSW juga tidak memerlukan *filler metal* atau logam pengisi. Proses dari FSW cukup sederhana dengan memanfaatkan gesekan antara benda kerja yang diam dengan benda kerja yang bergerak. Gesekan kedua benda kerja dapat menghasilkan panas setempat yang bisa melunakkan bagian tersebut. Hal ini dilakukan dalam keadaan *solid state joining*. Aplikasi penggunaan FSW sering dijumpai pada logam aluminium paduan. Aluminium yang sering digunakan dalam bidang pembuatan kapal yaitu AA 5083. Pada penelitian ini, menganalisa sifat fisik dan mekanik dari hasil sambungan las dengan kecepatan pengelasan (*travel speed*) 36 mm/menit serta variasi kecepatan putar *probe* 1547 Rpm, 1268 Rpm, dan 770 Rpm. Standar pengujian menggunakan AWS B.4 2007. Hasil penelitian didapatkan tidak terjadi adanya indikasi cacat saat diuji *penetrant*, baik *face* ataupun *root*. Namun, pada pegujian makro etsa ditemukan cacat *kissing bound* dan *worm holes* pada variasi kecepatan putar 1268 Rpm serta hanya ditemukan cacat *worm holes* pada variasi kecepatan putar 1547 Rpm dan 770 Rpm. Nilai kekuatan tarik dan kekuatan tekuk yang paling baik adalah pada variasi kecepatan putar 770 Rpm dengan nilai (203,247 MPa atau 20,725 Kg/mm² ; 33%) dan (30,1288 Kg/mm² ; 49%). Bentuk rancangan pin yang paling baik berbentuk persegi yang memiliki tegangan lengkung 30,41 Kg/mm².

Kata Kunci: FSW, AA 5083 *butt joint*, *rotational speed*, variasi pin, *probe*.

Abstract

Friction Stir Welding (FSW) is a welding process in which a new environmentally friendly has a good quality of welded joints. FSW also does not require filler metal. The process of FSW quite simply by utilizing the friction between the stationary workpiece by moving the workpiece. Friction second workpiece can generate local heat can soften the part. This is done in a state of solid state joining. FSW application usage is common in the aluminium alloy. Aluminium is often used in shipbuilding are AA 5083. In this study, analyzing the physical and mechanical properties of welded joints results with welding speed of 36 mm/min and a variety of probes rotational speed 1547 rpm, 1268 rpm, and 770 rpm, Standard testing using AWS B.4 2007. The results showed no indications of defects occur when tested of penetrant, either face or root. However, on a macro-etching test of defects found kissing bound and worm holes at 1268 rpm rotational speed variation and defects are found only worm holes in the variation of rotational speed 1547 rpm and 770 rpm. Values of tensile strength and buckling strength is best at 770 rpm rotational speed variation value (203.247 MPa or 20.725 kgf/mm²; 33%) and (30.1288 Kg / mm²; 49%). The best draft form square-shaped pin that has a bending strenght 30.41 Kg / mm².

Keywords: FSW, AA 5083 *butt joint*, *rotational speed*, variation of pin, probes.

1. Pendahuluan

Aluminium dan paduan aluminium dijadikan bahan pokok atau bahan utama dalam proses produksi manufaktur, hal ini

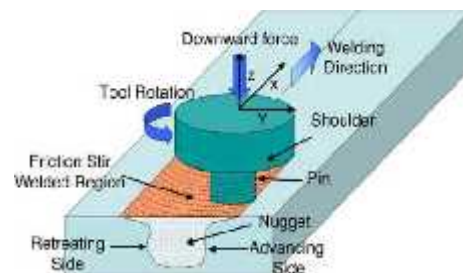
dikarenakan, aluminium dan paduan aluminium termasuk logam ringan yang mempunyai kekuatan tinggi, keuletan yang baik, tahan terhadap karat, penghantar panas yang baik dan

lebih ringan daripada besi atau baja. Penggunaan aluminium seri 5XXX dan seri 6XXX sering digunakan untuk konstruksi kapal. Namun, aluminium dan paduan aluminium mempunyai sifat yang kurang baik bila dibandingkan dengan baja, diantaranya adalah mempunyai panas jenis dan daya hantar yang tinggi, mudah teroksidasi sehingga mengakibatkan peleburan antara logam induk dan logam las menjadi terhalang, sehingga bila mengalami proses pembekuan yang terlalu cepat akan terbentuk rongga halus bekas kantong hidrogen. Akan tetapi, perbedaan yang paling mendasar adalah nilai keuletan pada logam las, dimana nilai keuletan logam las baja selalu tinggi bila dibandingkan dengan logam induk, sedangkan, pada aluminium nilai keuletan pada logam las cenderung lebih kecil daripada nilai keuletan pada logam induk. Untuk itu digunakan metode proses penyambungan aluminium paduan dengan cara pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW). FSW merupakan sebuah metode pengelasan yang telah ditemukan dan dikembangkan oleh Wayne Thomas untuk benda kerja aluminium dan aluminium *alloy* pada tahun 1991 di TWI (*The Welding Institute*) Amerika Serikat. 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. Proses putaran pada *tool* akan menimbulkan panas yang diakibatkan gesekan material terhadap *tool* yang berputar dengan kecepatan putar tertentu dimana panas yang ditimbulkan berkisar 70% - 85% dari titik cair logam pada kondisi padat (*solid state joining*). Karena *temperature* pengelasan tidak terlalu tinggi, maka tegangan sisa yang terbentuk dan distorsi akibat panas juga rendah. Karakteristik mekanis sambungan pada FSW ditentukan oleh parameter kecepatan pengelasan, putaran *tool*, bentuk *pin tool* dan tekanan *tool*. Penelitian FSW masih dikembangkan secara *continuous* atau berkelanjutan, seperti penentuan parameter kecepatan pengelasan dan rotasi *tool* yang efektif, variasi desain *tool*, perbaikan teknik pengelasan dan perbaikan material *tool* baru untuk dapat memperpanjang umur pakai *tool*.

Pengelasan ini berhasil menekan biaya proses pengelasan menjadi lebih murah karena pengelasan hanya membutuhkan *input* energi yang rendah dan tidak menggunakan *filler metal*. Kualitas hasil pengelasan *friction stir welding* memiliki permukaan yang lebih halus dan rata dari hasil pengelasan busur lain, kuat dan tidak ada pori - pori yang timbul. FSW merupakan solusi untuk metode pengelasan. Metode ini ramah lingkungan dikarenakan tidak adanya percikan busur api, serta tidak menimbulkan asap yang mengganggu pernapasan. Masalah-masalah yang sering timbul dalam proses FSW ialah

sering terjadi cacat atau *defect* pada *weld metal*. Cacat-cacat tersebut antara lain, yaitu *tunnel defect*, *kissing bond*, *weld flash*, and *lack of penetration*. Hal tersebut sering terjadi karena penentuan parameter pengelasan yang kurang tepat baik dari *travel speed* maupun *rotational speed*. Pada penelitian ini, membahas karakteristik fisik dan mekanik sambungan las FSW dengan variasi kecepatan putar *probe*.

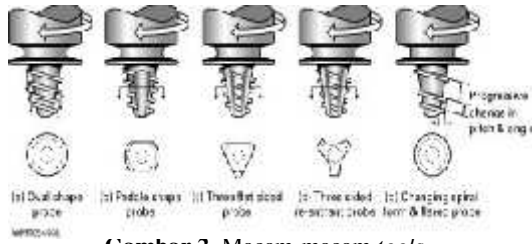
Proses pengelasan FSW tidak sama dengan pengelasan *fusion welding*. Pengelasan FSW terjadi dalam fasa padat atau solid. Dengan temperatur yang lebih rendah akan menghasilkan daerah HAZ yang minim, sehingga minim terjadi distorsi pada material. (Haver, 2007).



Gambar 1. Skematik prinsip kerja FSW
(www.twi.co.uk/content/spjgpmar07.html)

Gambar 1 ditunjukkan parameter kecepatan putar (*advancing side and retreating side*) serta kecepatan pengelasan. Kedua parameter ini harus ditentukan secara cermat, untuk memastikan proses pengelasan yang efisien dan hasil yang memuaskan (Wijayanto, 2012). Hubungan antara kecepatan pengelasan dan input panas selama proses pengelasan sangat kompleks, tetapi umumnya dapat dikatakan bahwa meningkatnya kecepatan rotasi dan berkurangnya kecepatan melintas akan mengakibatkan titik las lebih panas. Jika material tidak cukup panas maka arus pelunakan tidak akan optimal sehingga dimungkinkan akan terjadi cacat rongga atau cacat lain pada *stir zone*, dan kemungkinan *tools* akan rusak. Tetapi input panas yang terlalu tinggi akan merugikan sifat akhir lasan karena perubahan karakteristik logam dasar material.

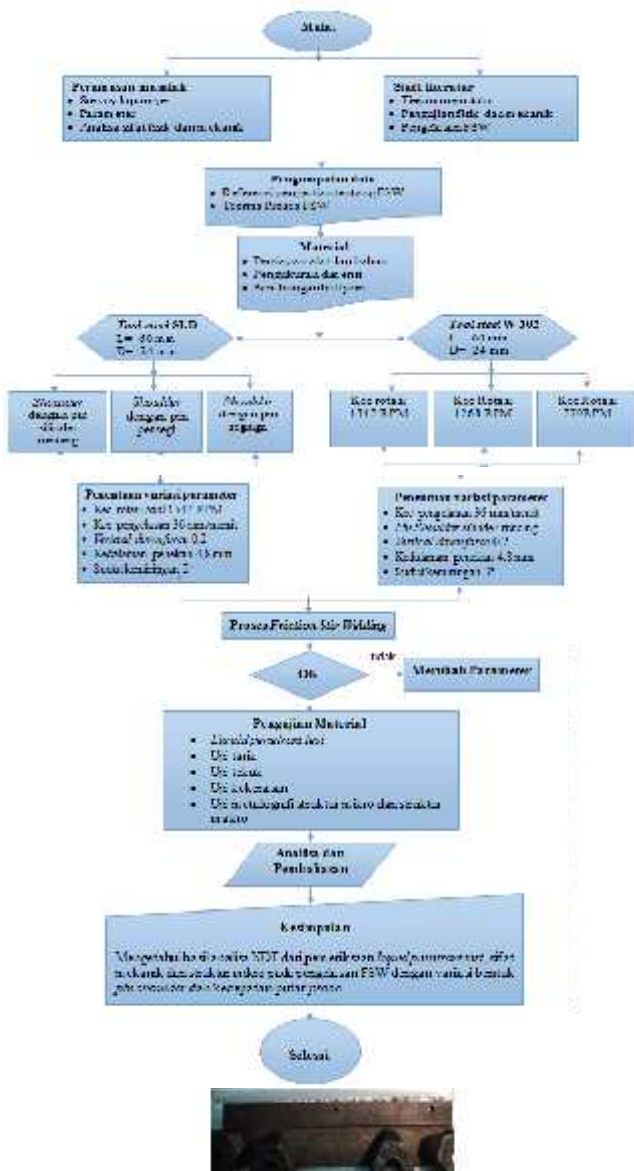
Desain *tool* terdiri dari *shoulder* dan *pin*. *Pin* berfungsi untuk menghasilkan panas dan menggerakkan material yang sedang dilas. Sedangkan *shoulder* berfungsi sebagai pelindung masuknya suatu material yang berbeda, untuk diameter yang lebih besar berperan untuk menjaga dan mempertahankan agar material *plasticised* tidak keluar dari daerah lasan, memberi tekanan kebawah yang memberi efek tempa pada lasan, menyediakan input panas tambahan, karena luas permukaan yang bergesekan dengan material las lebih besar, maka panas yang dihasilkan juga lebih besar.



Gambar 2. Macam-macam tools
 (Y.N. Zhang, dkk 2012)

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan bagaimana karakteristik mekanik dan struktur mikro aluminium 5083 pada hasil las *Friction Stir Welding* (FSW) dengan variasi rancangan bentuk dan kecepatan putar *probe*. Berikut langkah-langkah proses penelitian yang dilakukan dalam metodologi ini dapat dilihat pada Gambar 3.

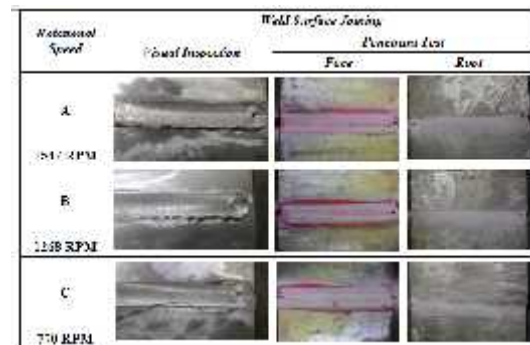


Gambar 4. Proses FSW

3. Hasil dan Analisa

3.1 Penetrant Test

Pengujian *penetrant* atau sering disebut *spot check* dilakukan untuk melihat cacat atau defect pada permukaan pengelasan (*weld surface*). Cacat pengelasan pada FSW berupa *groove defect*, *diskontinuitas*, *weld flash*. *Groove defect* disebabkan karena proses pengelasan yang terlalu dingin sehingga panas pengelasan tidak cukup untuk melunakkan material. Diskontinuitas biasanya muncul bila pengelasan menggunakan mesin las dengan kendali posisi. Hal ini disebabkan tidak rata tebal plat sepanjang pengelasan yang mengakibatkan intensitas penekanan akan berbeda dan suhu tidak merata. *Weld flash* adalah material yang terkelupas sisi *advancing* dan sisi *retreating* akibat penekanan serta pergerakan maju serta gerak memutar tools terhadap *joint line*.



Gambar 5. Hasil permukaan las dan Penetrant test

Dari Gambar 8. semua variasi pengelasan FSW baik *visual inspection* maupun sudah dilakukan *PT face dan root*, tidak ditemukan adanya cacat permukaan dan terlihat sempurna. Pada variasi pengelasan sampel A dan B tidak ditemukan cacat pada lubang keluaran (*Exit Hole*). Pada sampel C yaitu dengan parameter kecepatan putar 770 Rpm ditemukan adanya cacat pada lubang keluaran tools (*Exit Hole*) dan kemungkinan didalam material las pada sampel C terdapat cacat *worm holes* sepanjang *joint line*.

Semakin bertambahnya kecepatan putar (*rotational speed*) menyebabkan *weld flash* menjadi lebih lebar. dan sebaliknya, semakin rendah kecepatan putar menyebabkan *weld flash* relatif kecil. Panampakan pada akar las menunjukkan penampakan relatif tidak ada perbedaan tanpa cacat.

Pada pengujian ini tidak didapatkan adanya cacat pada permukaan *joint line*, akan tetapi pada daerah *root* atau bawah pengelasan didapatkan cacat pada *joint line*, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 6. Root atau bagian bawah pengelasan

Table 1. Hasil uji liquid penetrant test

Bentuk Pin Shoulder	Permukaan Joint line	Root joint line
Silinder Runcing	Tidak ada cacat	Tidak ada cacat
Persegi	Tidak ada cacat	Cacat 3 titik
Segitiga	Tidak ada cacat	Cacat 1 titik

Pada Gambar 6 dan Tabel 1, pin persegi lebih banyak mengalami cacat pada root pengelasannya, dan ini disebabkan terjadinya patah pin ketika proses penyambungan.

3.2 Makro Etsa

Pengujian struktur makro digunakan untuk melihat cacat atau defect yang terjadi di dalam material. Klasifikasi zona untuk foto makro antara lain, *advancing side*, *Heat Affected Zone (HAZ)*, *Thermo Mechanically Affected Zone (TMAZ)*, *weld nugget*, dan *retreating side*. Hasil foto makro diambil dari masing-masing sampel. Berikut Gambar 7 dan 8. penampakan hasil foto makro.

Sampel	Foto Makro	Keterangan
A 1547 RPM		Tunnel Defect atau Worm Holes
B 1268 RPM		Tunnel Defect and Kissing Bond
C 770 RPM		Tunnel Defect

Gambar 7. Hasil foto makro FSW

Sampel	Foto	Keterangan
A Silinder runcing		Tunnel Defect atau Worm Holes
B Persegi		No Defect
C Segitiga		Tunnel Defect

Gambar 8. Hasil foto makro FSW

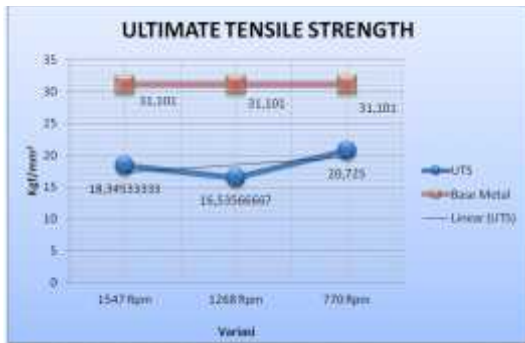
Dari hasil foto makro Gambar 7 dan 8, pada semua sampel terdapat cacat / defect pengelasan, kecuali bentuk pin persegi tidak terdapat cacat. Cacat yang terjadi adalah *tunnel defect* atau *worm holes* dan *kissing bond*. Cacat-cacat tersebut terjadi karena suhu tidak mencapai titik ideal saat proses pengelasan berlangsung dan daerah adukan yang tidak merata sehingga timbul adanya rongga. Sisi *advance* suhunya selalu lebih tinggi daripada sisi *retreat*. Sehingga penyerapan panas tidak sempurna.

Terjadinya cacat sangat bergantung dari hubungan kecepatan putar dengan kecepatan meja pengelasan serta bentuk rancangan pin. Semakin rendah kecepatan putar dan diiringi dengan kecepatan meja ideal, maka cacat yang terjadi relatif kecil atau bahkan tidak ada cacat. Karena, proses pengadukannya merata. Jika kecepatan putar tinggi dan diiringi kecepatan meja yang rendah maka akan terjadi *over heating* didalam *Nugget Zone (NZ)*, maka akan timbul defect. Seperti pada Gambar 7 dan 8 Adanya cacat/defect pada pengelasan tentunya dapat menyebabkan terjadinya penurunan kekuatan tarik dan sifat mekanik lainnya.

3.3 Tensile Test

Pengujian tarik dilakukan pada material AA 5083. Dimensi spesimen uji tarik untuk material pengelasan menggunakan standar AWS B.4 2007. Hasil yang diperoleh dari pengujian tarik berupa nilai tegangan, tegangan luluh, tegangan patah dan regangan.

Perbedaan *heat input* tersebut dapat mempengaruhi nilai kuat tarik secara signifikan. Sehingga daerah yang mengalami patahan yaitu daerah yang *heat inputnya* rendah.



Gambar 9. Grafik UTS

Gambar 9, ditunjukkan hasil uji tarik dari berbagai variasi kecepatan putar *probe*, dimana spesimen A dengan kecepatan putar 1547 Rpm mendapatkan sebesar nilai UTS 18,345 Kgf/mm² (penurunan kekuatan tarik 41% dari logam induk), spesimen B dengan kecepatan putar 1268 Rpm mendapatkan nilai UTS sebesar 16,535 Kgf/mm² (penurunan kekuatan tarik 47% dari logam induk), dan Spesimen C dengan kecepatan putar 770 Rpm mendapatkan nilai UTS sebesar 20,725 Kgf/mm² (penurunan kekuatan tarik 33% dari logam induk)

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa nilai kuat tarik hasil pengelasan FSW terletak dibawah nilai kuat tarik logam induk, sebesar 305 MPa atau 31,101 Kgf/mm² dan dibawah nilai kuat tarik yang disyaratkan ABS dan BKI sebesar 273 MPa atau 27,838 Kgf/mm². Akan tetapi, memenuhi syarat nilai *proof load* sebesar ±125 MPa atau 12,746 Kgf/mm². Berikut Gambar 11.

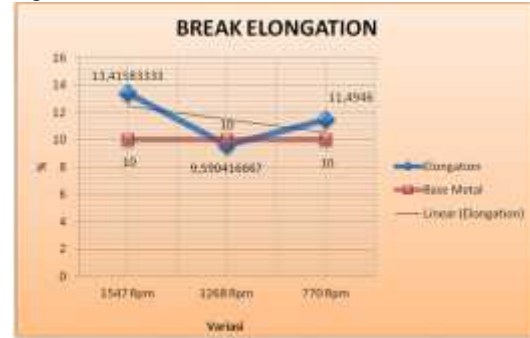


Gambar 10. Grafik yield stress

Gambar 10, ditunjukkan hasil uji tarik dari berbagai variasi kecepatan putar *probe* dilihat dari nilai kekuatan luluh (*yield strenght*) dimana spesimen A dengan kecepatan putar 1547 Rpm mendapatkan nilai kekuatan luluh sebesar 6,644 Kgf/mm² (penurunan kekuatan luluh 70% dari logam induk), spesimen B dengan kecepatan putar 1268 Rpm mendapatkan nilai kekuatan luluh sebesar 14,476 Kgf/mm² (penurunan kekuatan luluh 34% dari logam induk), dan Spesimen C dengan kecepatan putar 770 Rpm mendapatkan nilai kekuatan luluh sebesar 5,978

Kgf/mm² (penurunan kekuatan luluh 73% dari logam induk).

Nilai kekuatan luluh terbesar terjadi pada spesimen B dengan kecepatan putar 1268 Rpm mendapatkan nilai kekuatan luluh sebesar 14,476 Kgf/mm². Dari hasil tersebut dapat diketahui juga, bahwa nilai kekuatan luluh hasil pengelasan FSW terletak dibawah nilai kekuatan luluh logam induk, sebesar 215 MPa atau 21,923 Kgf/mm². Berikut Gambar 12.



Gambar 11. Grafik regangan

Gambar 11 ditunjukkan adanya peningkatan elongasi dibanding *base metal* yang nilai elongasinya 10%, dimana spesimen A mendapatkan rata-rata 13,4%, dan spesimen C mendapatkan rata-rata 11,49%. Akan tetapi, pada spesimen B nilai *elongation* turun pada titik 9,59%.

Nilai *elongaton* terbesar terjadi pada spesimen A dengan kecepatan putar 1547 Rpm mendapatkan nilai *elongation* sebesar 13,4%, yang berarti bahwa Jika nilai *elongation*nya besar material tersebut bersifat ulet apabila nilai *elongation*nya kecil maka material tersebut dikatakan getas.

Dalam proses pengujian tarik yang dilakukan pada penelitian ini mengacu pada Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) *sec 12*, dan *American Bureau of Shipping (ABS) rules for building and classing aluminium vessel* mensyaratkan kekuatan tarik minimum *butt joint*, jika patah atau didekat logam las maka kekuatan tarik tidak boleh lebih kecil dari 28,1Kg/mm² atau setara 273 Mpa dan *proof load* senilai 125 MPa untuk material Al 5083.

Tabel 2. Data hasil pengujian tarik

Bentuk pin	Yield stress	UTS	Elongation
shoulder	92.74	154.34	11.69
Silinder	60.31	113.88	12.20
runcing	95.99	136.03	11.35
persegi			
segitiga			

3.4 Bending Test

Pengujian tekuk dilakukan untuk menentukan mampu deformasi dengan ukuran yang telah ditentukan, untuk radius bengkok dan sudut bengkok tertentu dengan cara membuat deformasi tertentu, serta menentukan mampu bentuk dari bahan atau kekuatan sambungan las. Berikut ini hasil pengujian dan perhitungan data uji tekuk.

Tabel 3. Hasil perhitungan tegangan lengkung

SPESIMEN	KODE	P (Kg)	TEGANGAN LINGKUNG (Kg/mm ²)
A 1547 Rpm	BA1	125	21,11837882
	BA2	125	21,11837882
	BA3	140	22,55258427
	Jumlah	390	65,8834191
	Kata rata	130	21,96311397
	BB1	132	22,30103803
B 1268 Rpm	BB2	133	22,80784912
	BB3	195	32,94467095
	Jumlah	462	78,0535261
	Kata rata	154	26,0178427
	BC1	115	18,1288081
	C 770 Rpm	BC2	115
BC3		265	44,77953399
Jumlah		535	90,1288711
Kata-rata		178,3333	30,1288711



Gambar 12. Grafik tegangan lengkung

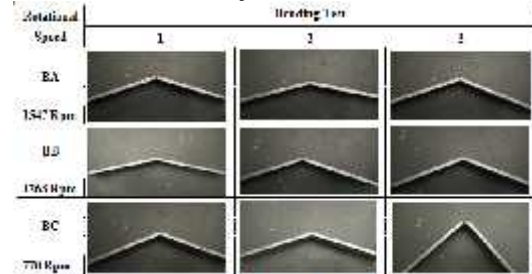
Dari Tabel 3. ditunjukkan hasil rata-rata uji tekuk, sampel A dengan parameter kecepatan putar 1547 Rpm mempunyai rata-rata tegangan

Bentuk pin shoulder	Tegangan lengkung Kg/mm ²
Silinder runcing	23,93
Persegi	30,41
Segitiga	18,58

lengkung 21,9631 Kg/mm², sampel B dengan parameter kecepatan putar 1268 Rpm mempunyai tegangan lengkung 26,017 Kg/mm², dan sampel C dengan parameter kecepatan putar 770 Rpm mempunyai tegangan lengkung 30,1288 Kg/mm².

Dari Gambar 12. gerak garis trendline cenderung naik secara linear. Titik tertinggi tegangan lengkung terdapat pada sampel C, dimana mempunyai nilai sebesar 30,1288

Kg/mm². Titik terendah tegangan lengkung terdapat pada sampel A dengan nilai sebesar 21,96311 Kg/mm². Hasil pengujian tekuk memperlihatkan bagian yang mempunyai kekuatan tinggi maupun bagian yang terdapat cacat karena cacat tersebut akan menjadi awal mula dari *open defect* saat material diuji tekuk. Berikut hasil visual uji tekuk.



Gambar 13. Hasil visual uji tekuk

Hasil uji tekuk dengan variasi kecepatan putar *probe* 1547 Rpm, 1268 Rpm, dan 770 Rpm, dapat dilihat pada Gambar 14, sedangkan hasil analisisnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 4. Analisa hasil uji tekuk

Rotational Speed	Jenis Cacat		
	1	2	3
BA	Retak terbuka sebelah spesimen	Retak terbuka sebelah spesimen	Retak terbuka sebelah spesimen
BB	Retak terbuka sebelah spesimen	Retak terbuka sebelah spesimen	Retak terbuka sebelah spesimen
BC	Retak terbuka sebelah spesimen	Retak terbuka sebelah spesimen	Retak terbuka dari leher spesimen

Hasil visual uji tekuk diketahui bahwa hal ini berkaitan dengan hasil foto makro yang didapatkan cacat *worm holes*, sehingga ketika spesimen ditebuk bagian *root* akan tertarik maka *defect* ini yang akan terbuka dan menyebabkan nilai uji tekuk nya rendah. Untuk mengatasi hal ini sesuai dengan hasil uji tekuk, didapatkan hipotesis bahwa perlu adanya mengurangi kecepatan putar *tool* (Rpm) agar didapatkan hasil lasan tanpa cacat.

Pada hasil pengujian tekuk secara visual, secara keseluruhan spesimen uji mengalami retak atau *open defect* sebelah *weld metal*. Dan adapun data-data hasil pengujian tekuk sebagai berikut:

Tabel 5. Data hasil pengujian tekuk

Gambar 14. Grafik nilai rata-rata hasil pengujian tekuk

Analisa dari hasil penelitian uji tekuk yang dilakukan, nilai rata-rata tertinggi adalah kelompok B yaitu pin shoulder berbentuk persegi yang mencapai nilai 30,41 Kg/mm², akan tetapi nilai tertinggi tegangan lengkung dari hasil



penyambungan FSW lebih rendah 48,58 % dibandingkan dengan nilai tegangang lengkung *base metal* itu sendiri yang mencapai nilai 59,13 Kg/mm². Dipandang dari besarnya nilai pengujian tekuk pada bentuk pin persegi, maka dapat disimpulkan bahwa pin persegi cocok untuk proses pengelasan FSW.

3.5 Hardness test

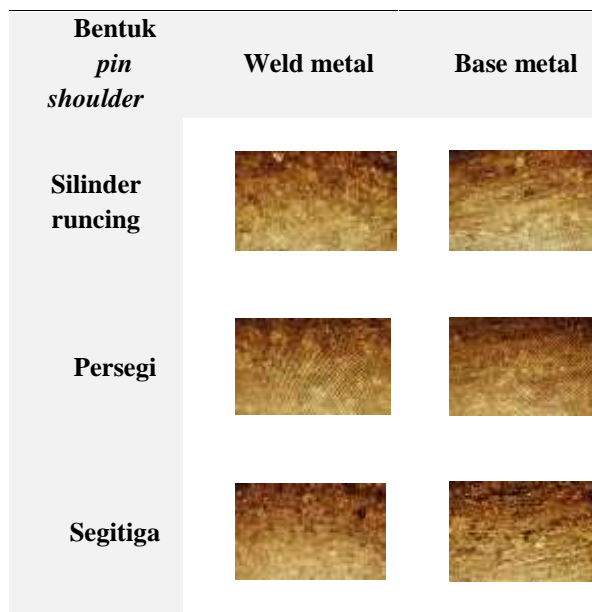
Data hasil pengujian kekerasan diambil dari Alat EQUOTIP 2 Metode *Vickers* dan metode pengujiannya yaitu setiap zone diambil 3 titik, guna untuk keakuratan dalam penelitian. Adapun data hasil pengujiannya sebagai berikut:

Tabel 6. Data hasil pengujian kekerasan *Vickers*

Kode Sampel Uji	Weld Metal	TMAZ	HAZ	Base Metal
Silinder Runcing	76.3	77.6	79.7	88.3
Persegi	74.3	77	87	89
Segitiga	77.3	85	85.7	89

3.6 Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dari hasil *friction stir welding* diambil pada zona *weld nugget*. Adapun data dan pembahasan dari variasi perbedaan bentuk *pin shoulder* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 15. Struktur mikro pada daerah *weld metal* dan *base metal*

Analisa keseluruhan yang terlihat pada bagian *weld metal* bentuk ukuran butir cenderung membesar dan lebih berbentuk bulat dan inilah yang menyebabkan nilai kekerasan dan nilai uji mekanik lebih rendah dari *base metal*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian yang dilakukan pada *proses Friction Stir Welding* (FSW) konfigurasi *butt-joint* dengan parameter kecepatan putar *probe*, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Hasil pengujian *penetrant/spot check* yang dilakukan pada semua variasi kecepatan putar *probe*, dari kecepatan putar 1547 Rpm, 1268 Rpm, dan 770 Rpm, tidak ditemukannya *defect* baik *face* maupun *root*. Pengaruh perbedaan bentuk pin shoulder terhadap analisa NDT dari pemeriksaan *liquid penetrant test* ini tidak didapatkan cacat pada permukaan *joint line* dari hasil penyambungan FSW dengan seluruh bentuk *pin shoulder*, akan tetapi, pada *root joint line* terdapat cacat dari hasil penyambungan FSW dengan bentuk pin persegi dan segitiga.
- Pengamatan struktur makro ditemukan adanya cacat *kissing bound* dan *Tunnel defect* pada variasi kecepatan putar 1268 Rpm, serta hanya ditemukan cacat *worm holes* pada variasi kecepatan putar 1547 Rpm dan 770 Rpm. Cacat terbesar terdapat pada variasi kecepatan putar 1547 Rpm.
- Nilai UTS yang paling baik untuk pengujian tarik adalah pada variasi kecepatan putar 770 Rpm dengan kecepatan pengelasan 36 mm/menit mempunyai nilai rata-rata 203,247 MPa atau 20,725 Kg/mm². Namun, jika dibandingkan dengan *Base Metal* yang memiliki nilai UTS sebesar (305 MPa atau 31,101 Kg/mm²; 33%) masih sangat jauh perbedaannya. Hal ini dikarenakan masih terdapat cacat *wormholes* sepanjang daerah lasan (*joint line*). Nilai yang paling baik untuk pengujian tekuk pada variasi kecepatan putar 770 Rpm dengan kecepatan pengelasan 36 mm/menit, mempunyai nilai rata-rata tegangan tekuk 30,1288 Kg/mm², akan tetapi nilai tersebut masih di bawah logam induk sebesar (59,131 Kg/mm²; 49%) serta pada semua variasi terjadi *open defect*. Dari hasil analisa data menggunakan statistik ANOVA, untuk pengujian tarik dan tekuk didapatkan hasil bahwa variasi kecepatan putar *probe* mempengaruhi nilai kuat tarik dan kuat tekuk spesimen uji.
- Pengaruh perbedaan bentuk pin shoulder terhadap pengujian tarik (*tensile test*), didapatkan nilai paling tinggi pada *yield stress* yaitu dengan *pin* berbentuk segitiga

mencapai 95,99 Mpa, akan tetapi nilai *yield stress* jauh lebih rendah 55,76 % dari nilai *yield stress* base metal yaitu 217 Mpa. Dan nilai tertinggi pada UTS adalah pin silinder runcing mencapai 154,34 Mpa, dimana nilai UTSnya juga masih lebih rendah 49,4 % dibandingkan nilai UTS *base metal* yang mencapai nilai 305 Mpa. Adapun nilai tertinggi pada *elongation* adalah pin persegi mencapai 12,20 %, dimana nilai *elongation*nya lebih tinggi 18,03 % dibandingkan dengan nilai *elongation base metal* itu sendiri yang mencapai nilai 10%.

5. Pengaruh perbedaan bentuk pin shoulder terhadap pengujian tekuk (*bending test*), secara visual material uji secara keseluruhan mengalami *open defect* pada *weld metal* selebar lasan, dan nilai rata-rata paling tinggi pada tegangan lengkung yaitu dengan pin persegi mencapai 30,41 Kg/mm², akan tetapi nilai tegangan lengkung pin persegi lebih rendah 48,58 % dibandingkan dengan nilai tegangan lengkung *base metal* itu sendiri yang mencapai nilai 59,13 Kg/mm²
6. Pengaruh perbedaan bentuk pin shoulder terhadap pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* yang dilakukan mendapatkan nilai kekerasan tertinggi dari masing masing daerah *weld metal* adalah dengan menggunakan bentuk *pin shoulder* segitiga.
7. Pengaruh variasi perbedaan bentuk *pin shoulder* dalam pengujian metalografi tidak memberikan pengaruh *heat input* yang besar terhadap material Al 5083 pada proses *friction stir welding*. Hasil pengamatan pada hasil foto makro ditemukan *tunnel defect* pada hasil penyambungan FSW dengan *pin shoulder* berbentuk silinder runcing dan segitiga, adapun pada hasil penyambungan FSW dengan *pin shoulder* berbentuk persegi tidak didapatkan cacat pada daerah pengelasan. Dan pengamatan pada hasil struktur mikro menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan di daerah *weld metal* dan *base metal* dari masing masing parameter variasi bentuk bentuk *pin shoulder*. Akan tetapi pada pin berbentuk silinder runcing ukuran butir cenderung lebih besar dari *pin shoulder* persegi maupun segitiga.
8. Pada analisa varian (ANAVA) perbedaan bentuk *pin shoulder* mempunyai pengaruh pada hasil pengujian tarik, pengujian tekuk, dan pengujian kekerasan.

Dalam penerapannya pada kapal, pengelasan *Friction Stir Welding* masih belum dapat diterapkan untuk lambung kapal, karena tidak memenuhi kriteria *max stress* ± 273 MPa

yang ditetapkan ABS dan BKI. Akan tetapi, pengelasan *Friction Stir Welding* dapat diterapkan atau diaplikasikan untuk pembuatan *stiffened panel* pada perumahan geladak kapal. Karena, tidak membutuhkan beban yang terlalu besar (*proof load* ± 125 MPa).

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis tujukan pertama kepada TNI AL, DISLITBANGAL, LABINKIMAT, STTAL, AAL dan UHT yang telah memberi dukungan dan doa, kedua kepada Tim Peneliti atas fasilitas penelitian, segala ilmu, waktu, dan bimbingannya, serta segenap rekan-rekan dan pihak-pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Daftar Pustaka

- American Bureau of Shipping (ABS). 1975. *Rules for Building and Classing Aluminium Vessel*.
- American Welding Society (AWS) B.4. 2007. *Standard Methods for Mechanical Testing of Welds*. Approved by the American National Standards Institute.(1-10).
- Colligan, Kevin J. 2007. *Friction Stir Welding for Ship Constructuion: Enable PreFabricated, Stiffened Panels with Low Distortion*. Navy Networking Center.
- Gabor, Ramona., Dos Santos, Jorge F., 2013. *Friction Stir Welding Development of Aluminium Alloys*. Proceedings of The Romanian Academy (2013).
- Gagnon, F., 2006. International Symposium on FSW (2006).
- Ghozali, Imam. 2005. *Aplikasi Analisis Multivariate dengan program SPSS*, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang.
- Haver, Van, W., 2007. *Friction Stir Welding*. BWI. Belgia.
- Id, wikipedia 2016. DIN (*Deutsche Industrie Nomen*). Diakses februari 2016, from wikipedia: <http://www.wikipedia.com/Las>
- Muhayat, Nurul. 2015. *Pengembangan Friction Stir Welding pada Paduan Aluminium 5083 Untuk Struktur Kapal*. Surabaya:Institute Teknologi Sepuluh November.
- Okamura, T. & Wiryosumarto, Harsono. 1996. *Teknologi Pengelasan Logam*. Pradya Paramita. Jakarta.
- Paik, JK., 2009. *Buckling Collapse Testing of Friction Stir Welded aluminium Stiffened Plate Structure*, SSC 456 Ship Structure Commite.
- Pratisna, pompy. 2015. *Analisa Sifat Fisik dan Mekanik Aluminium 5083 T-Joint Friction Stir Welding (FSW) Pada Konstruksi*

- Kapal. Surabaya:Institute Teknologi
Sepuluh November.
- 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;*
- Schneider, J.A., 2007. *Temperature Distribution
and Resulting Metal Flow.* 2007 ASM
International.
- Sri Widharto. 2007. *Petunjuk Kerja Las,*
Cetakan-5. Jakarta. Pradnya Paramita.
- Sudhir, Samridh., Basheer, Shihaz., 2012.
*Fabrication Of Friction Stir Welding Tool
And Analysis Of Strength Of Weld.*
S.R.M. Nagar, Kattankulathur,
Kancheepuram District.
- Sudrajat, Angger. 2012. *Analisis Sifat Mekanik
Hasil Pengelasan Aluminium AA 1100
dengan Metode Friction Stir Welding
(FSW), Jurnal Rotor Vol. 5, No.1, Januari
2012.*
- Suratman, Maman. 2001. *Teknik Mengelas
Asetilen, Brazing dan Busur Listrik.*
Pustaka Grafika, Bandung.
- Surya Irawan, Yudy. 2010. *Material Teknik.*
Page 8-1
- Uk, twi 2016. *Schematic Friction Stir Welding.*
Diakses february 2016, from twi:
<http://www.twi.co.uk/fsw/>.
- Wijayanto, Jarot & Anelis, Agdha. 2010.
*Pengaruh Feed Rate terhadap Sifat
Mekanik pada Pengelasan Friction Stir
Welding Alumunium 6110, Jurnal
Kompetensi Teknik Vol. 2, No.1,
November 2010.*
- Wijayanto, Jarot., 2012. *Pengaruh Feed Rate
Terhadap Sifat Mekanik Pada Friction
Stir Welding Aluminium.* Politeknik
Negeri Banjarmasin.
- Wiryosumarto, Harsono, 1991. *Teknik
pengelasan logam.* Pradnya Paramita.
Jakarta.
- Y. N. Zhang, X. Cao, S. Larose and P. Wanjara.
2012. *Review of tools for friction stir
welding and processing.* Vol. 51, no. 3.
Canada.



BERITA ACARA
KEGIATAN SEMINAR NASIONAL RETII Ke - 11 TAHUN 2016

Pada hari ini Sabtu, tanggal 10 bulan Desember, tahun 2016 telah dilaksanakan Seminar Nasional Sekolah Teknologi Industri dan Informasi (Retii) Ke - 11, sbb.

- Nama Pembicara : M. Abdi Kadir, Hamzah
 Jafid Mubtobih : Program Studi Manajemen Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
 pada Ma'arif Muhammadiyah dengan Akademi Kebhikmatan dan
 Rekayasa sebagai Program Studi Komparasi
 Waktu : 13.30 - 13.45 WIB
 Berlangsung di : Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta
 Gedung 30001 : Jl. Biharaui, Karanggayu, Depok, Sleman, D.I. Yogyakarta
 55281
 Tempat : A.24
 Moderator : Dr. Dura Supat, ST, MT.
 Notulen : Huda Kuslita, ST, MT.

Sesuai dengan Surat ini di mana akan diadakan diskusi oleh Pembicara sebagai Hasil Penelitian Oleh Pembicara, Tenggapan (Tanggapan? Kritik? Saran) dan Tawaran Saran dan Tenggapan Pembicara, dan diuraikan kembali oleh moderator.

Jumlah Peserta yang hadir : 6 Orang (Daftar hadir terlampir)

Dengan Berita Acara ini dibuat dengan sebenarnya, untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 10 Desember 2016

Notula Peserta,

Notulan,

Pembicara,

Dr. D. Sugilar, MT.

Dr. Dura Supat, ST, MT.

M. Abdi Kadir,
Hamzah



NOTULEN JALANNYA
KEGIATAN SEMINAR NASIONAL RETIH Ke - II TAHUN 2016

- Nama Pemakalah : M. Abdi Kadir, Hirsano
 Judul Makalah : Pergerakan Sains Manajemen terhadap Revolusi Pendidikan pada Abad ke-21 dengan AI sebagai Instrumen dan E-MAK sebagai Programnya ke depan
 PAAI : 1.1.10 - 1.1.10.10
 Esai/tepat di : Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta
 Tanggal/alamat : 11. Desember, Karanggegi, Depok, Sleman, D.I. Yogyakarta 55281
 Ruang : A.24

Jika ada, nama Seminar:

1. Pendidikan oleh Masyarakat
2. Peserta Seminar Hari Pendidikan oleh Masyarakat
3. Tanggapan (Partisipasi/Suatu/Serani) dan Peserta Seminar dan Tanggapan di Pendidikan

Adapun pertanyaan kritiknya dan Peserta Seminar terhadap Pendidikan serta tanggapan Masyarakat adalah sebagai berikut:

Pertanyaan / Kritik / Saran	Tanggapan Pemakalah
Kyanda. Bagaimana tanggapan kita? (sangat penting soal)	

4. Anggota Ombudsman:

Ketua Panitia,

Dr. K. Supriyo, MT

Moderator,

Dr. Daru Sugito, S1. MT

Yogyakarta, 10 Desember 2016

Penyakit,

M. Abdi Kadir,
Hirsano