

Pengaruh *Shot-peening* Terhadap Struktur Mikro Dan Laju Korosi Sambungan *Friction Stir Welding* Pada Aluminium 6061

Wartono, Hasta Kuntara

Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional, Yogyakarta
Email : wartono_sttnas@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh shot peening terhadap struktur mikro dan laju korosi pada Aluminium paduan 6061 yang telah mengalami proses *friction stir welding* (FSW). Pada umumnya, daerah sambungan las FSW mengalami proses pelunakan dan peningkatan laju korosinya.

FSW dilakukan pada aluminium dengan tebal 3 mm, dengan sambungan las jenis *butt joint*. Proses FSW menggunakan mesin *Milling* pada putaran spindel sebesar 910 rpm dan kecepatan pengelasan sebesar 22,5 mm/menit. Permukaan sambungan FSW dilakukan shot peening dengan menembakkan bola baja, lamanya waktu penembakan bervariasi dari 6 menit (SP6), 9 menit (SP9), dan 12 menit (SP12). Kemudian hasil proses FSW dan shot peening dilakukan pengujian struktur mikro dan laju korosinya.

Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa sambungan FSW setelah di-shot peening, mengalami deformasi plastis terbatas sampai dengan kedalaman 0,7 mm dari permukaan bahan dan pada daerah *weld metal* mempunyai ukuran butiran seragam sebesar 10 μm dibandingkan pada daerah *Heat Affected Zone*. Pada hasil pengujian korosi menunjukkan bahwa FSW tanpa *shot peening* laju korosinya sebesar 0,705 mpy, sedangkan FSW dengan shot peening pada SP6, SP9, dan SP12, laju korosinya mengalami penurunan yaitu sebesar 0,409 mpy, 0,390 mpy, dan 0,426 mpy.

Kata kunci : Aluminium, *friction stir welding*, *shot peening*, struktur mikro, laju korosi.

PENDAHULUAN

Aluminium dan paduannya merupakan salah satu material yang sangat penting di bidang teknik, terutama untuk industri struktur atau pemersinan, seperti struktur kapal laut, komponen otomotif, dan struktur pesawat terbang. Pada saat ini sambungan dengan cara pengelasan telah banyak digunakan pada konstruksi mesin dan struktur, karena dapat menurunkan biaya produksi dan dapat meningkatkan kekuatan strukturnya.

Proses *friction stir welding* (FSW) merupakan salah satu dari metode penyambungan untuk aluminium paduan seri 6061. FSW adalah versi terbaru cara pengelasan gesek yang dikenal dengan teknik penyambungan pada kondisi padat atau logam las tidak mencair (*solid-state process*). Pengelasan gesek konvensional dilakukan dengan gerakan berupa gesekan memutar dan gaya aksial untuk menyambung dua logam. Penyambungan dengan cara pengelasan FSW dilakukan dengan bantuan *tools* (*pin* dan *shoulder*) yang berputar dengan kecepatan (*speed*) dan pemakanan (*feeding*) tertentu, sehingga aluminium mengalami pelunakan dan terjadi proses penyambungan. FSW telah banyak digunakan secara luas dan sangat menguntungkan melebihi teknik penyambungan yang telah ada.

Beberapa keunggulan cara pengelasan FSW dibandingkan las TIG atau MIG antara lain : tidak memerlukan bahan tambah (*filler*) pada saat proses pengelasan, tidak ada percikan maupun asap, rendahnya distorsi sepanjang pengelasan, penyusutan rendah, peralatan yang digunakan lebih sederhana dan biaya operasionalnya rendah serta tidak memerlukan operator bersertifikat. Kelebihan lain proses FSW yaitu dapat mengelas beberapa aluminium paduan yang sulit dilas (sifat mampu las rendah) termasuk menyambung jenis aluminium yang berbeda (*dissimilar joint*).

Meskipun demikian las FSW mempunyai kelemahan antara lain : pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ), *Thermomechanically Affected Zone* (TMAZ), dan daerah las (*nugget*) sepanjang garis sambungan benda kerja, mengalami pelunakan akibat rekristalisasi saat proses *stirring*, sehingga meningkatkan laju korosinya. Untuk menurunkan laju korosi daerah lasan tersebut, sambungan las perlu mendapat perlakuan permukaan dengan cara *shot peening* (Proses *Shot peening*).

Shot peening merupakan proses penembakan butiran material dengan bola baja atau *steel grit* pada daerah lasan atau garis sambungan las dengan tekanan tinggi, dengan tujuan untuk menurunkan laju korosinya.

Hal-hal yang menentukan hasil *shot peening* adalah faktor manusia, besarnya tekanan udara untuk menembakkan butiran bola baja,

ukuran butiran bola baja, lamanya waktu penembakan, dan jarak penembakan (jarak nozel ke permukaan aluminium).

Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang bagaimana "Pengaruh *Shot Peening* Terhadap Struktur Mikro dan Laju Korosi Sambungan *Friction Stir Welding* Pada Aluminium Seri 6061".

Percobaan

Percobaan *friction stir welding* dan *shot peening* serta pengujian terkait yang dilakukan sesuai urutan/prosedur berikut ini.

1. Bahan

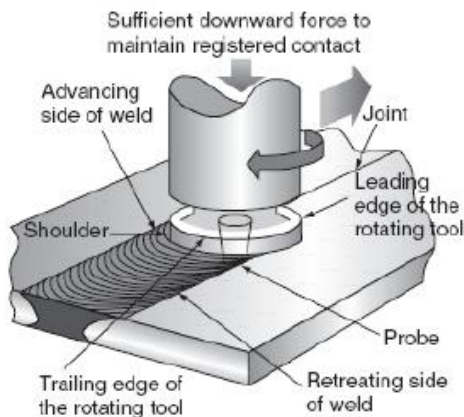
Bahan yang digunakan untuk penelitian ini yaitu aluminium paduan seri 6061 yang berbentuk lembaran (*sheet*), dengan ukuran panjang 300 mm, lebar 200 mm, tebal 3 mm. Sedangkan bahan mempunyai komposisi kimia seperti ditunjukkan dalam tabel 1.

Tabel 1 : Komposisi kimia.

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti	Cr	Zn	Al
0,64	0,2	0,19	0,06	1,0	0,07	0,15	0,05	93,15

2. Proses Pengelasan dan Parameter Las

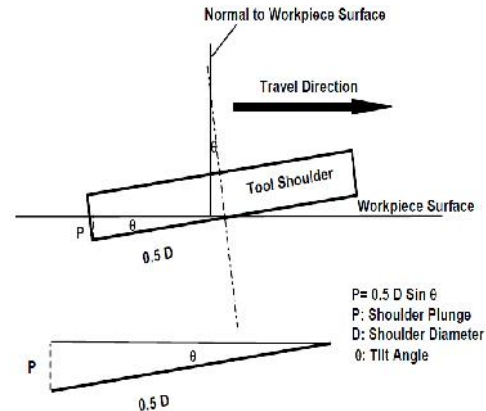
Proses Pengelasan dengan cara *friction stir welding* (*FSW*), menggunakan mesin *milling* Aciera dengan putaran spindel 910 rpm dan kecepatan pemakanan 22,5 mm/menit. Prinsip kerja pengelasan *FSW* ditunjukkan pada gambar 1, sedangkan parameter pengelasan seperti dilihat pada tabel 2.



Gambar 1 : Prinsip Kerja pengelasan *FSW*.

Tabel 2: Parameter Pengelasan

Putaran Spindel (rpm)	Kecepatan feeding (mm/mnt)	Penurunan Tool (mm)	Ukuran Tool (pin & shoulder) (mm)
910	22,5	0,2	Shoulder Ø15 mm Pin Ø 3 mm, Panjang Pin 2,9 mm



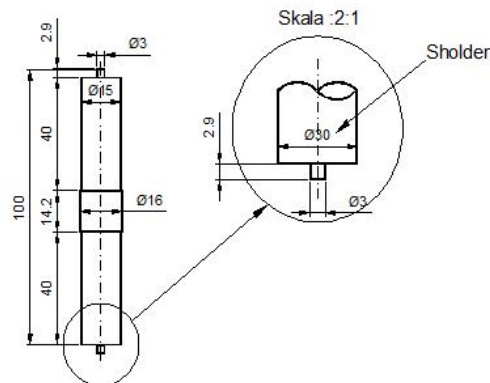
Gambar 2 : Sudut kemiringan *shoulder*.

3. Pengaturan Sudut *Shoulder*

Pengaturan Sudut kemiringan *shoulder* () antara 2° – 4° terhadap sumbu tegak lurus pada permukaan benda kerja. Sudut kemiringan *shoulder* seperti gambar 2 diatas.

4. Bentuk Tool (*Shoulder dan Pin*)

Proses pengelasan *FSW* menggunakan *tool* dari bahan *HSS*, diameter *shoulder* 15 mm dan diameter pin 3 mm, sudut kemiringan *shoulder* 2°. Tipe sambungan las *Butt Joint*. Bentuk *tool* seperti ditunjukkan pada gambar 3 dibawah.

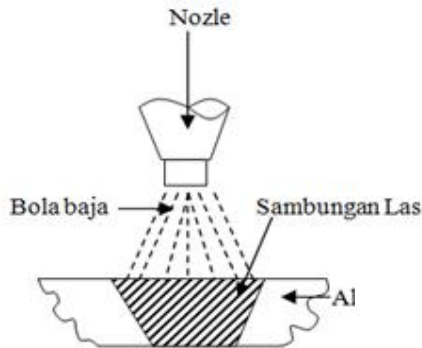


Gambar 3 : Bentuk Tool (*Shoulder dan Pin*)

5. Proses *Shot Peening*

Proses *Shot peening* terhadap sambungan las *FSW*, dengan menembakkan partikel bola baja (*steel grit*) S 230 yang ukuran diameternya () 800 µm, pada permukaan plat secara berulang. *Shot peening* dilakukan dengan tekanan udara 6 bar dan jarak penembakan antara nozel dengan permukaan plat aluminium 100 mm, serta bukaan nozel berdiameter 10 mm. Variasi lamanya waktu *Shot peening* yaitu sebesar 6 menit (SP 6), 9 menit (SP 9), dan 12 menit (SP 12).

Prinsip *shot peening* ditunjukkan seperti pada gambar 4 dibawah.



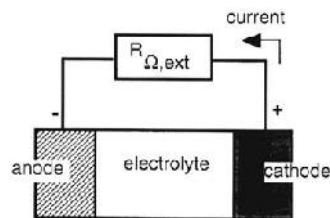
Gambar 4 : Prinsip Shot Peening Pada Sambungan Las FSW.

6. Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan dengan mikroskop optik dan pengamatan dilakukan pada arah transversal hasil pengelasan sebelum *shot peening* dan setelah *shot peening*. Persiapan spesimen untuk pengujian meliputi pemotongan, penampang permukaan lasan dilakukan pengamplasan dan pemolesan (*polishing*), selanjutnya dietsa. Proses etsa dengan diberi cairan HF (*hidro fluorida*), kemudian diamati dengan mikroskop optik.

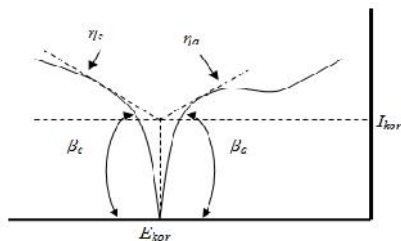
7. Pengujian Korosi

Pengujian korosi dengan proses elektrokimia (*electrochemical proses*) dapat dilihat dalam bentuk sel korosi basah sederhana sebagaimana ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5 : Metode uji korosi dengan elektro kimia

Pengujian laju korosi dilakukan dengan pengamatan intensitas arus korosi (I_{kor}) benda uji di dalam lingkungannya. Perhitungan untuk mengetahui laju korosi dari percobaan ini dapat menggunakan metoda sebagai berikut :



Gambar 6 : Kurva Potensial vs log intensitas arus

Rapat arus korosi (I_{kor}) diperoleh dari hasil kurva potensial lawan logaritma intensitas arus yaitu dengan cara menentukan titik perpotongan garis tafel reaksi reduksi (i_c) dan garis tafel reaksi oksidasi (i_a) pada garis potensial korosi (E_{kor}). Nilai i_a dan i_c ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$i_a = \log \frac{i_a}{i_o}$$

$$i_c = \log \frac{i_c}{i_o}$$

dimana :

- i_a = arus pada reaksi anoda
- i_c = arus pada reaksi katoda
- i_o = arus saat perubahan reaksi-reduksi menuju reaksi oksidasi = $i_a = -i_c = i_{kor}$
- β_a = gradien tafel reaksi anoda
- β_c = gradien tafel reaksi katoda

Akurasi hasil pengukuran nilai rapat arus korosi sangat diperlukan, karena rapat arus korosi sebanding dengan laju korosi suatu logam dalam lingkungannya.

Persamaan laju korosi dalam mils (0,001 inch) per year (mpy) seperti berikut :

$$r = 0,129 \frac{ai}{nD}$$

dimana :

- r = laju korosi (mpy)
- a = berat atom
- i = rapat arus korosi ($\mu A/cm^2$)
- n = valensi atom
- D = berat jenis sampel (gr/cm^3)

Laju korosi untuk aluminium paduan, terlebih dahulu dihitung berat equivalen (*equivalent weight*) dengan persamaan sebagai berikut :

$$EW = N_{EQ} \frac{a_i}{n_i}$$

$$N_{EQ} = \frac{\omega_i}{a_i/n_i} = \left[\frac{\omega_i n_i}{a_i} \right]$$

dimana:

- EW = berat equivalen
- N_{EQ} = nilai equivalen total
- i = fraksi berat
- a_i = nomor massa atom
- n_i = elektron valensi

Dengan demikian persamaan diatas menjadi :

$$r = 0,129 \frac{L_{kor}(EW)}{D}$$

Laju korosi dari rumus diatas didapat dalam satuan mils per year dapat diartikan sebagai mils per tahun yang berarti hilangnya berat sebagian spesimen karena pengaruh korosi dalam satuan mils per tahun.

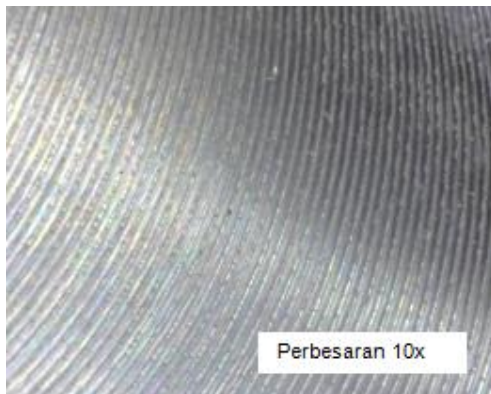
Konversi mils per year ke satuan metrik dapat dilihat dari rumusan dibawah :

$$1 \text{ mpy} = 0.0254 \frac{\text{mm}}{\text{yr}} = \frac{25,4 \mu\text{m}}{\text{yr}}$$

HASIL PERCOBAAN

1. Pengamatan Visual

Hasil proses las *FSW* dan proses *shot peening* pada gambar 7, secara visual nampak perbedaan bentuk manik-manik las (permukaan) dari proses *FSW* tanpa *shot peening* dan *FSW* dengan *shot peening*. Bentuk manik-manik las secara umum, hasil *FSW* tanpa *shot peening* lebih halus dibandingkan hasil *FSW* dengan *shot peening*. Hal ini terjadi akibat efek tempa (*forging*) oleh *shot peening* pada permukaan plat di daerah sambungan las.



a. Visual *FSW* tanpa *shot peening*

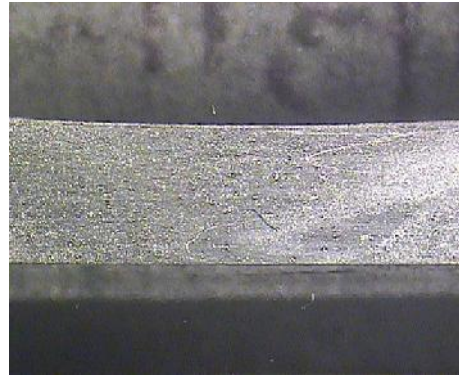


b. Visual *FSW* dengan *shot peening*

Gambar 7: Hasil proses las *FSW* tanpa *shot peening* dan las *FSW* dengan *shot peening*

2. Pengujian Struktur Makro

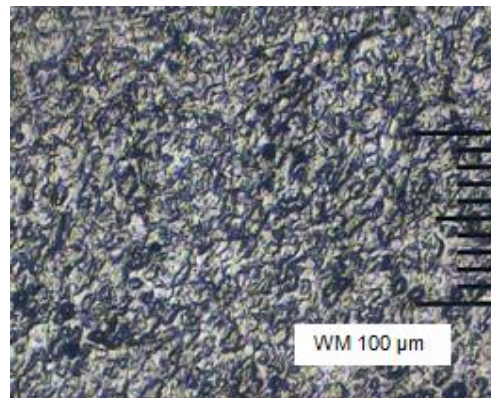
Pada gambar 8 dibawah, menunjukkan Struktur makro pada daerah logam las (*weld metal*) sambungan *FSW*.



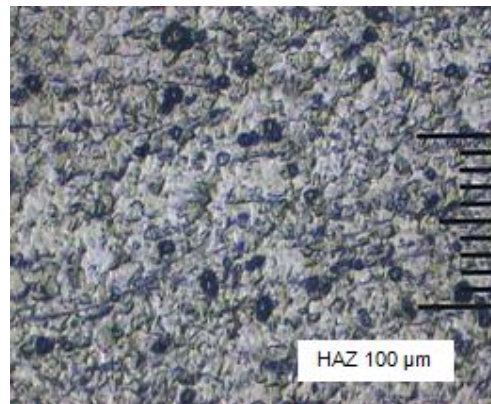
Gambar 8: Struktur makro perbesaran 10x.

Struktur mikro logam las proses *FSW* dari semua parameter masih terlihat adanya garis batas. Hal ini merupakan indikasi bahwa ikatan sambungan proses *FSW* yang dihasilkan masih kurang baik (*leak of bonding*) sehingga akan mempengaruhi sifat mekanik.

3. Pengujian Struktur Mikro



(a)



(b)

Gambar 9: Struktur mikro *weld metal* dan HAZ

Pada gambar 9 menunjukkan daerah logam las (*weld metal*), daerah logam las terjadi penghalusan butir akibat rekristalisasi. Fase yang terbentuk $-Al + Al-Si$. Daerah yang berwarna terang merupakan fasa (aluminium), sedangkan yang berwarna gelap merupakan fasa $Al + Si$ dengan senyawa aluminium-silikon ($Al-Si$) yang berbentuk presipitat (Vander, 2004). Ukuran butir rata-rata 10 μm . Kristal berbentuk *equiaxed*.

Daerah HAZ mempunyai bentuk butiran yang mengalami perubahan cenderung menjadi besar. Disamping HAZ merupakan daerah TMAZ (*thermomechanically affected zone*) dan terlihat garis batas dengan *weld metal*.

Daerah TMAZ merupakan daerah transisi antara material dasar dan daerah logam las (*weld metal*), dimana daerah ini terjadi deformasi plastis akibat dari putaran *tool* dan dari pengaruh panas pada waktu proses pengelasan FSW.

3. Pengujian Korosi

Pengujian korosi dilakukan dengan sel potensial tiga elektroda, dan pengujian menggunakan media korosi berupa air laut. Hasil uji korosi ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3 : Hasil uji korosi.

Bahan Al	Jenis Perlakuan	E (mV)	i_{cor} ($\mu A/cm^2$)	r (mpy)
6061	FSW(NP)	-1436,2	292,69	0,705
	SP 6	-1101,3	235,41	0,409
	SP 9	-1087,5	227,20	0,390
	SP 12	-1103,8	245,47	0,426

PEMBAHASAN HASIL

Didaerah pengelasan logam mengalami siklus thermal berupa pemanasan sampai temperatur maksimum dengan diikuti proses pendinginan yang menyebabkan terjadinya perubahan metalurgi dan deformasi pada daerah las.

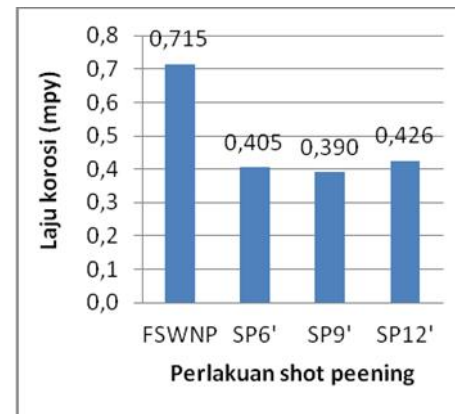
Pada umumnya, daerah sambungan las FSW mengalami proses pelunakan dan penurunan sifat mekanis dibanding logam induknya. Oleh karena itu, proses *shot peening* dengan pemberian lama waktu penembakan yang bervariasi dari 6 menit, 9 menit, dan 12 menit diharapkan akan terjadi peningkatan kerapatan dislokasi terutama pada batas butirnya. Ketika deformasi berjalan terus seiring peningkatan waktu penembakan yang digunakan, maka akan terjadi slip silang dan proses penggandaan dislokasi, yang akan membentuk daerah kerapatan dislokasi yang

tinggi selama proses *shot peening* berlangsung.

Pemberian *shot peening* yang berlebihan dapat menyebabkan bahan menjadi getas.

Hal ini disebabkan dengan bertambahnya waktu *shot peening* yang diberikan maka deformasi plastis pada permukaan bahan semakin besar. Bagian yang mengalami deformasi plastis akan menyebabkan dislokasi pada sisi kristalnya dan meningkatkan kerapatan dislokasi. Kerapatan deformasi yang besar akan menumpuk pada bidang lurus di penghalang, seperti batas butir. Dislokasi yang tertumpuk pada suatu penghalang akan berinteraksi. Interaksi ini akan menyebabkan kerapatan dislokasi yang tinggi terutama pada batas butir sehingga gerakan dislokasi akan saling menghambat. Dengan kata lain bahan menjadi kuat.

Dari hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa material setelah dikorosikan pada air laut, pada RM mengalami korosi intergranular, korosi yang terjadi pada batas butir. Pada FSWNP, material mengalami korosi celah (*crevice corrosion*) dibagian permukaan material.



Gambar 10 : Grafik Laju Korosi vs. Jenis Perlakuan

Hasil pengujian korosi dapat dilihat pada Gambar 10 diatas.

Dari hasil pengujian korosi menunjukkan bahwa material FSW NP mengalami laju korosi sebesar 0,705 mpy. Tetapi material setelah mendapat SP mengalami penurunan laju korosi, seiring naiknya waktu SP. Pada SP 12 material sudah mengalami kejenuhan pada bagian lapisan tipis permukaan material. Material dengan laju korosi semakin kecil, menunjukkan material ketahanan korosinya lebih baik (bahan lebih tahan terhadap korosi).

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Proses *FSW* menurunkan kekuatan tarik dan kekerasan.
2. Dengan proses *shot peening*, kekuatan tarik dan kekerasan Al 5083 meningkat seiring dengan peningkatan waktunya *shot peening*.
3. Proses *shot peening* meningkatkan kekerasan secara terbatas dan menyebabkan deformasi plastis pada kedalaman tertentu dari permukaan bahan.
4. *FSW* dengan *shot peening* akan mengalami penurunan laju korosi, hal ini berarti ketahanan korosinya lebih baik.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi yang memberikan dukungan dana melalui program Penelitian Dosen Pemula tahun 2014.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamowski, J. and Szkodo, M. (2007), *Friction stir welds (FSW) of aluminium alloy AW6082-T6* 2007, Jurnal of achievements in materials and manufacturing engineering, Vol. 20,.
- Caballero, (2011), *Overall mechanical behavior of friction stir welded joints superficially treated by laser shot peening*, Jurnal Anales de Mecanica de la fractura, vol. 2.
- Cavaliere P., (2006), *Effect of welding parameters on mechanical and microstructural properties of AA6056 joints produced by Friction Stir Welding*, Journal of Materials Processing Technology 180, hal. 263-270.
- Engineering Division Handbook, 1999, *Technical Data Aluminium*, Aluminium City (Pty) Limited.
- Kazuhiro Nakata, dkk., (2000), *Weldability of high strength aluminium alloys by friction stir welding*, ISIJ International, vol. 40, pp. S15-S19.
- Kumar, K. and Kailas, S.V., (2008), *The role of friction stir welding tool on material flow and weld formation*, Jurnal Materials Science & Engineering A 485 p. 367-374.
- Thomas, W., (1991), *Friction Stir Welding*, The Welding Institute.
- William, R., (1997), *Welding Handbook*, 8th ed, Vol.3, Miami.



SEMINAR NASIONAL
**REKAYASA TEKNOLOGI INDUSTRI DAN INFORMASI
SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI NASIONAL YOGYAKARTA**

Jl. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman 55281 Telp. (0274) 485390, 486986 Fax. (0274) 487294
Email : seminar@sttnas.ac.id website : www.retii.sttnas.ac.id



CERTIFICATE NO. ID10/01471

**BERITA ACARA
KEGIATAN SEMINAR NASIONAL RETII Ke - 11 TAHUN 2016**

Pada hari ini Sabtu, tanggal 10 bulan Desember, tahun 2016 telah dilaksanakan Seminar Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi (ReTII) Ke -11, atas:

Nama Pemakalah : Wartono¹, Hasta Kuntara²
Judul Makalah : *Pengaruh Shot-Peening terhadap Struktur Mikro dan Laju Korosi Sambungan Friction Stir Welding pada Aluminium 6061*
Pukul : 11.45 – 12.00 WIB
Bertempat di : Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta
Dengan alamat : Jln. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, D.I. Yogyakarta 55281
Ruang : D.12
Moderator : Dr. Daru sugati, ST. MT.
Notulen : Hasta Kuntara, ST. MT.

Susunan Acara Seminar ini dibuka oleh moderator, diikuti oleh Pemaparan Singkat Hasil Penelitian Oleh Pemakalah, Tanggapan (Pertanyaan/Kritik/Saran) dari Peserta Seminar dan Tanggapan Pemakalah, dan ditutup kembali oleh moderator.

Jumlah Peserta yang Hadir : 25 Orang (Daftar Hadir Terlampir)

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

Yogyakarta, 10 Desember 2016

Ketua Panitia,

Moderator,

Pemakalah,

Dr. Ir. Sugiarto, MT.

Dr. Daru sugati, ST. MT.

Wartono¹,
Hasta Kuntara²



SEMINAR NASIONAL
REKAYASA TEKNOLOGI INDUSTRI DAN INFORMASI
SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI NASIONAL YOGYAKARTA

Jl. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman 55281 Telp. (0274) 485390, 486986 Fax. (0274) 487294
Email : seminar@sttnas.ac.id website : www.retii.sttnas.ac.id



CERTIFICATE NO. ID10/01471

NOTULEN JALANNYA
KEGIATAN SEMINAR NASIONAL RETII Ke - 11 TAHUN 2016

Nama Pemakalah : Wartono¹, Hasta Kuntara²
Judul Makalah : *Pengaruh Shot-Peening terhadap Struktur Mikro dan Laju Korosi Sambungan Friction Stir Welding pada Aluminium 6061*
Pukul : 11.45 – 12.00 WIB
Bertempat di : Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta
Dengan alamat : Jln. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, D.I. Yogyakarta 55281
Ruang : D.12

Jalannya Acara Seminar:

1. Pembukaan oleh Moderator.
2. Paparan Singkat Hasil Penelitian oleh Pemakalah.
3. Tanggapan (Pertanyaan/Kritik/Saran) dari Peserta Seminar dan Tanggapan dari Pemakalah.

Adapun pertanyaan/kritik/saran dari Peserta Seminar terhadap Pemakalah serta tanggapan Pemakalah adalah sebagai berikut:

Pertanyaan / Kritik / Saran	Tanggapan Pemakalah
<p>1. Proses shot peening dilakukan dimana ? 2. Ukuran partikel berapa ?</p>	<p>1. shot peening di lakukan PT. Horiguchi Engineering Ind. Karawang, Jawa Barat . 2. Ukuran partikel 800µm .</p>

4. Penutup: Oleh Moderator.

Yogyakarta, 10 Desember 2016

Ketua Panitia,

Moderator,

Pemakalah,

Dr. Ir. Sugiarto, MT.

Dr. Daru sugati, ST. MT.

Wartono¹,
Hasta Kuntara²