

PENGARUH PENERAPAN WPS (*WELDING PROCEDURE SPECIFICATION*) AL 6005 TIPE BUTT JOINT TERHADAP KEKUATAN SAMBUNGAN LAS AL 6061

The Effect of Application WPS (Welding Procedure Specification) Al 6005 Butt Joint Type Against Strength of Al 6061 Weld Joint

Ahmad Abi Sodik¹, Nely Ana Mufarida², Kosjoko³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
Email : ¹achmadabiesodik2@gmail.com, ²nelyana_munfarida@yahoo.com

ABSTRAK

Dokumen WPS (*welding procedure specification*) merupakan dokumen yang sangat penting dalam pengelasan masal di suatu industri. Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk mencari pengaruh penerapan WPS aluminium 6005 tipe *butt joint* terhadap pengelasan sambungan aluminium 6061 dengan posisi pengelasan 1G (*flat*) dan 3G (*vertikal*) serta pada ketebalan 3 mm, 5 mm, dan 8 mm dan menggunakan *filler metal* ER 5356. Pengelasan aluminium 6061 ini dilakukan oleh *welder* bersertifikat dengan menggunakan las GTAW (*gas tungsten arc welding*) atau TIG (*tungsten inert gas*) dengan detail sambungan pengelasan single V-*butt joint* sudut 60°. pengujian material dilakukan dengan menggunakan pengujian kekuatan tarik, bending dan juga pengujian cacat dengan menggunakan *radiography* dan *dye penetrant*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengelasan aluminium 6061 dengan menggunakan WPS aluminium 6005 dengan posisi 1G menghasilkan las yang lebih baik dibandingkan posisi 3G dari hasil pengujian cacat luar maupun dalam. Cacat porositas terjadi pada posisi pengelasan 1G dengan jumlah dan ukuran yang sangat kecil sedangkan pada posisi pengelasan 3G terjadi cacat porositas dan *incomplete fusion* dengan ukuran dan jumlah di luar syarat penerimaan pengujian berdasarkan ISO. Selain pengujian cacat las, hasil dari pengujian kekuatan material las yang dilakukan dengan menggunakan uji tarik dan uji tekuk juga menunjukkan kekuatan yang signifikan terjadi pada posisi pengelasan 1G baik material tebal 3 mm, 5 mm maupun tebal 8 mm.

Kata Kunci: Aluminium 6061. Aluminium 6005. *Butt Joint*. WPS. Las GTAW.

ABSTRACT

The document of WPS (*welding procedure specification*) is important document in mass welding in an industry. Therefore, this study aims to find the effect of applying aluminium WPS of 6005 type *butt joint* on welding joint aluminium 6061 with 1G and 3G welding positions of 3 mm, 5 mm and 8 mm thickness by using ER 5356 metal filler. Aluminium 6061 welding carried out by certified welder using GTAW welding (*gas tungsten arc welding*) or TIG (*tungsten inert gas*) with welding joint details of a single V-*butt joint* angle of 60°. Material testing was investigated by using tensile, bending strength, and defect testing using *radiography* and *dye penetrant*. The results of this study indicate that welding aluminium 6061 using WPS aluminium 6005 with a 1G (*flat*) position produces a weld that is better than the 3G (*vertical*) position as explained from the results of external and internal defects. Porosity defects occur in the welding position of 1G with a very small number and size while in the welding position 3G occurs porosity and fusion incomplete defects with sizes and quantities outside the ISO acceptance testing requirements. In addition to testing for weld defects, the strength of the weld material carried out by using tensile and bending test. It showed significant strength in the welding position of 1G both 3 mm, 5 mm and 8 mm thickness.

Key Words: Aluminium 6061. Aluminium 6005. *Butt Joint*. WPS. Welding GTAW

PENDAHULUAN

Perindustrian di Indonesia merupakan salah satu komponen yang penting, karena dengan semakin berkembangnya sector industri memungkinkan perekonomian Indonesia ikut berkembang pesat dan semakin baik, sehingga membawa perubahan dalam struktur perekonomian nasional. Tuntutan untuk mengubah perekonomian dari sektor perindustrian membuat tak sedikit industri yang juga menciptakan alternatif – alternatif untuk menciptakan produk yang lebih efisien dibanding yang telah ada. Inovasi penemuan yang berlatar belakang menambah manfaat, mempermudah penggunaan, menambah layanan, mempermudah mendapatkan dan meminimalisir waktu tempuh sangat di idamkan oleh manusia di era 21 ini. Selain itu, saat ini kita hidup di era Revolusi Industri Keempat (Klaus Schwab, *The Fourth Industrial Revolution*, 2017). Era yang diwarnai oleh kecerdasan buatan (*artificial intelligence*), era super komputer, rekayasa genetika, teknologi nano, mobil otomatis, inovasi, dan perubahan yang terjadi dalam kecepatan eksponensial yang akan mengakibatkan dampak terhadap ekonomi, industri, pemerintahan, politik, bahkan membuka perdebatan atas definisi manusia itu sendiri. Era yang menegaskan dunia sebagai kampung global (Marshall McLuhan, *The Gutenberg Galaxy: The Making of Typographic Man*, 1962). Di Indonesia sendiri banyak sekali proyek yang menciptakan inovasi – inovasi baru baik dibidang teknologi komunikasi, informasi maupun transportasi. Salah satu proyek yang sedang berjalan saat ini adalah proyek LRT (Lintas Rel Terpadu) untuk wilayah Jabodebek. Lintas Rel Terpadu atau disingkat LRT adalah salah satu sistem kereta api penumpang yang beroperasi di kawasan perkotaan yang konstruksinya ringan dan bisa berjalan bersama lalu lintas lain atau dalam lintasan khusus (Wikipedia Indonesia). Dalam menghadapi tantangan dunia bisnis ke depan. Beberapa pembaharuan yang dilakukan oleh perusahaan kereta api adalah rangka pada *carbody* (rangka dalam) gerbong kereta api yang dahulu memakai bahan material yang cukup bermasa tinggi (*Mild Steel*) kini perusahaan ini mencoba membuat kereta api yang lebih efisien dalam material *carbody* yaitu dengan menggunakan material aluminium. Spesifikasi aluminium secara umum yaitu sangat kuat dan memiliki ketahanan yang cukup baik terhadap penurunan suhu, tahan terhadap karat, fleksibel, tidak mudah terbakar dan tidak menghasilkan zat buangan ketika terkena panas tinggi. Aluminium sendiri

termasuk material logam yang sangat ringan sehingga efektif untuk membuat komponen kereta api, dengan begitu bobot kereta juga akan relatif ringan sehingga menghasilkan kecepatan yang lebih tinggi. Tetapi dibalik semua itu, logam aluminium juga mempunyai kelemahan dalam hal penyambungan. Di dalam jurnal penelitian karya Andrea Tri Wibowo dkk, dari Teknik Mesin Universitas Diponegoro yang berjudul ‘Pengaruh *Heat Treatment* pada Aluminium *alloy* 6061-T6 dan Pengelasan *Transversal Tungsten Inert Gas* Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro’ mengatakan bahwa kelemahan aluminium adalah sifat mampu las (*weldability*) relatif rendah dan sambungan las rentan terhadap kegagalan (*failure*) karena logam aluminium sangat rentan terhadap oksidasi, sehingga dalam pengelasan aluminium dibutuhkan identifikasi sambungan las dan parameter-parameter yang tepat untuk menghasilkan hasil pengelasan yang sesuai dengan yang diharapkan. Semua aspek – aspek tersebut disatukan dalam *Welding Procedure Specification* (WPS) sebagai panduan untuk *Welder* (tukang las) dalam melakukan proses pengelasan agar hasil pengelasan sesuai dengan yang telah direncanakan. WPS hanya berlaku untuk satu spesifikasi material, akan tetapi WPS dari material lain dapat di adopsi untuk pengelasan tertentu dengan tetap melalui tahap pengujian WPS. Dalam penelitian ini akan dilakukan adopsi WPS aluminium 6005 yang telah terakreditasi dengan baik yang akan digunakan untuk pengelasan material aluminium 6061, karena kedua material tersebut masih tergolong dalam keluarga yang sama yaitu aluminium tipe 60xx. Selain itu, kedua material aluminium ini juga memiliki karakteristik dan juga paduan yang sama.

Didalam pengerjaan proyek pembuatan *carbody* gerbong kereta LRT (Lintas Rel Terpadu) Jabodebek, salah satu perusahaan kereta api mempunyai masalah pada hasil kekuatan dan struktur mikro sambungan las aluminium untuk *carbody* gerbong kereta. Jika WPS itu dipakai untuk pedoman pengelasan di *carbody* kereta, maka akan mengakibatkan ketidak kuatannya pada bagian-bagian *carbody* dan pada jangka panjang bisa merusak *carbody* itu sendiri, terlebih lagi akan ada resiko yang ditimbulkan karena kereta ini dirancang untuk kereta penumpang. Oleh karena itu penulis membuat rumusan masalah untuk membantu dalam menyelesaikan masalah sambungan las aluminium diantaranya :

(1) Bagaimana prosedur penentuan parameter WPS (*Welding Procedure Specification*) sesuai standar untuk

pedoman pengelasan aluminium *carbony* gerbong kereta?

(2) Bagaimana perbedaan cacat dalam dan cacat luar pada ketebalan berbeda dan posisi pengelasan berbeda?

(3) Bagaimana perbedaan kekuatan material las pada ketebalan berbeda dan posisi pengelasan berbeda? (4)

Bagaimana pengaruh penggunaan WPS Al 6005 terhadap pengelasan material Al 6061?

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

(1) Melakukan identifikasi standar pengelasan untuk prosedur penentuan parameter WPS pengelasan sambungan aluminium Al 6061 *carbony* kereta.

(2) Mengetahui kecacatan dalam dan luar spesimen pengelasan.

(3) Mengetahui hasil kekuatan las dengan WPS yang telah dibuat.

(4) Mengetahui pengaruh WPS Al 6005 tipe *butt joint* terhadap kekuatan dan struktur mikro sambungan las Al 6061.

TINJAUAN PUSTAKA

Aluminium merupakan jenis logam yang sangat spesial dikarenakan pada lapisan aluminium terdapat lapisan oksidasi yang bisa melindungi dari korosi, selain itu aluminium juga banyak digunakan dalam pabrikasi logam untuk beberapa transportasi termasuk kereta api karena sifatnya yang ringan dan juga memiliki kekuatan yang sangat tinggi, hal ini juga disebutkan oleh beberapa ahli logam sebagai berikut:

Menurut Daryanto (2009: 3), "aluminium adalah sejenis logam yang begitu keras dan begitu kuat, aluminium mempunyai berat jenis yang rendah, yakni 2,6 dan warnanya putih kebiru-biruan."

Menurut Sumanto (2005: 46), "aluminium adalah logam yang sangat ringan (berat jenis aluminium 2,56 atau 1/3 berat jenis tembaga). Tahanan jenis $2,8 \times 10^{-8}$ atau $1,25 \times$ tahanan jenis tembaga."

Didalam buku *Aluminium Association, Inc* tahun 1990, tertulis bahwa aluminium merupakan unsur kimia golongan IIIA dalam sistem periodik unsur, dengan nomor atom 13 dan berat atom 26,98 gram per mol. Di dalam udara bebas aluminium mudah teroksidasi membentuk lapisan tipis oksida (Al_2O_3) yang tahan terhadap korosi. Aluminium juga bersifat amfoter yang mampu bereaksi dengan larutan asam maupun basa (Anton J. Hartono, 1992).

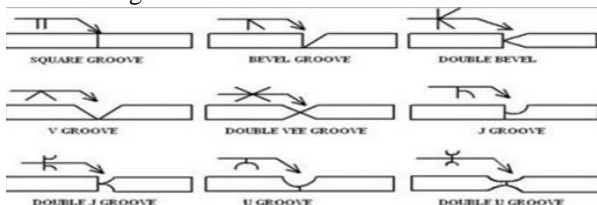
Aluminium pertama kali ditemukan oleh Sir Humphrey Davy dalam tahun 1809 sebagai unsur dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H. C.

Oersted, tahun 1825 (ASM, 2007). Secara industri tahun 1886, Paul Heroult di Perancis dan C. M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisa dari garamnya yang terfusi. Ketika dilakukan reduksi elektrolitik alumina (Al_2O_3) yang dilarutkan dalam *cryolite* cair dikembangkan secara independen oleh Charles Hall di Ohio Amerika Serikat dan Paul Heroult di Perancis pada tahun 1886, kendaraan internal dan mesin bertenaga pertama bermunculan, dari tahun inilah aluminium mulai memainkan peran sebagai bahan otomotif meningkatkan nilai rekayasa (ASM, 2001). Penelitian 'pengaruh besarnya arus listrik pengelasan' telah dilakukan oleh Wardoyo dan Sumiyarso (2010), mereka menyatakan bahwa peningkatan arus listrik pada pengelasan TIG paduan aluminium 6061 T6 mengakibatkan penurunan kekuatan luluh dan kekuatan tarik maksimum. Hal ini menyatakan bahwa banyak resiko yang akan dihadapi ketika proses pengelasan material Al 6061 T6 ini.

Aluminium 6061 T6 adalah aluminium paduan yang dapat diolah dengan kekuatan sedang hingga tinggi dengan kekuatan lebih tinggi dari aluminium tipe 6005. Aluminium ini memiliki ketahanan korosi yang sangat baik dan kemampuan las yang sangat baik meskipun memiliki kelemahan kekuatan di zona las (HAZ). Aluminium ini memiliki kekuatan kelelahan sedang dan memiliki sifat dingin yang baik dalam temper T4, tetapi *formability* terbatas dalam temper T6. Kebanyakan dari material Al 6061-T6 di las menggunakan proses las GTAW dan GMAW dengan menggunakan *filler* dengan kode ER4043 dan ER5356. Aluminium murni dan aluminium paduan yang paling umum digunakan sebagai metode pengelasannya adalah menggunakan busur listrik dengan elektroda kawat yang terus menerus (dengan arus DC) atau elektroda *tungsten* permanen ditambah kawat pengisi (dengan arus AC). Busur dilindungi oleh gas argon (atau campuran gas argon-helium) untuk melindungi kolam las dan elektroda dari atmosfer sekitarnya ketika pengerjaan pengelasan dilakukan (Dewanto, Anggoro P. 2016).

Welding Procedure Specification atau spesifikasi prosedur las merupakan prosedur tertulis tentang pengelasan yang sudah terakreditasi dengan baik untuk memberikan arahan untuk juru las dalam membuat pengelasan produksi (*production weld*) sesuai persyaratan standar yang dipakai. Prosedur ini biasanya digunakan untuk pengelasan produksi massal, sehingga dalam pengelasannya hanya menggunakan

satu prosedur pengelasan yang sudah terqualifikasi dengan baik. WPS dapat digunakan untuk memberikan arahan kepada juru las untuk menjamin kesesuaian dengan persyaratan dari standar yang dipakai. Dalam produksi masal tidak ada pengelasan yang diizinkan tanpa kualifikasi WPS oleh Pihak Ketiga atau Badan yang dilegalkan. Kualifikasi prosedur pengelasan harus memenuhi persyaratan ASME Bagian IX dan kode yang berlaku. Heterogenisasi pengelasan heterogen juga harus memenuhi syarat sesuai dengan persyaratan ASME. Hasil penyambungan logam dengan logam *ferrous* maupun *nonferrous* melalui pengelasan sangat diharapkan akan menghasilkan sambungan yang berkualitas dari segi kekuatan dan lapisan las dari bahan atau logam yang dilas, di mana untuk menghasilkan sambungan las yang berkualitas hendaknya kedua ujung/bidang atau bagian logam yang akan dilas perlu di berikan suatu bentuk kampuh las tertentu. Untuk memperoleh kekuatan hasil pengelasan yang dapat di jamin kualitasnya, pengelasan sebaiknya menggunakan berbagai bentuk kampuh yang sudah dikembangkan dan telah distandarkan. Sambungan *butt joint* adalah jenis sambungan tumpul, dalam aplikasinya jenis sambungan ini terdapat berbagai macam jenis kampuh atau *groove* diantaranya *V groove* (kampuh V), *single bevel*, *J groove*, *U Groove*, *Square Groove* untuk melihat *macam macam kampuh las* lebih detail lihat gambar berikut ini:



Gambar 1. Macam-macam kampuh butt joint

Untuk memastikan bahwa WPS yang telah distandarkan memiliki kekuatan sesuai dengan yang diinginkan, maka WPS harus diuji terlebih dahulu untuk memastikan kekuatan sambungan dengan yang telah di syaratkan dalam buku standar. Pengujian-pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa standar dari parameter pengelasan telah benar dan menghasilkan hasil uji sesuai dengan yang telah distandarkan. Secara garis besar metode pengujian las terbagi menjadi dua yaitu *Destruktif Test* (DT) dan *Non Destruktif Test* (NDT).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratoria Teknik Produksi Institut Teknologi Bandung (ITB) bersama

tim WPS dari Pusat Pengembangan Teknologi dan Industri Perkeretaapian yaitu kerjasama antara Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara Institut Teknologi Bandung dan Kementerian Perindustrian selama 4 bulan, mulai dari 4 September 2018 sampai selesai.

Pengumpulan data diperoleh dari buku-buku *welding*, jurnal internasional *welding* dan aluminium, modul, artikel, dan melalui internet. Sehingga dapat mempelajari karakteristik material aluminium 6061 secara detail, tipe pengelasan dan sambungan, serta mempelajari pengujian-pengujian las. Objek yang menjadi fokus penelitian adalah Aluminium tipe 6061 T6, aluminium jenis ini merupakan yang banyak digunakan pada fabrikasi kendaraan transportasi seperti kereta api. Aluminium 6061-T6 adalah aluminium 6061 dalam temper T6. Bahan pengisi yang digunakan adalah AWS ER 5356 yang memberikan kecocokan warna yang lebih baik di mana perakitan yang dilas harus dianodisasi. Pada penelitian ini akan dilakukan analisa pengaruh penggunaan WPS Aluminium 6005 terhadap hasil pengelasan sambungan Aluminium 6061 *carboby* gerbong kereta. Penyesuaian standar parameter-parameter pengelasan dilakukan dengan menggunakan standar pengelasan internasional ISO (*International Standard Organization*).

1. Identifikasi Sambungan Las

Dalam hal ini, perlu diperhatikan aspek-aspek standar pada pengelasan aluminium, di bawah ini merupakan aspek yang harus diperhatikan yang bersumber dari badan standarisasi yaitu ISO dan AWS:

- a) WPS (*Welder Procedure Specification*)
 - a. Jenis *Welding Process* dan *Thickness*
 - b. Jenis Elektroda dan *Filler/ Bahan Tambah*
 - c. Posisi Pengelasan
- b) WPQR (*Welder Procedure Qualification Record*)

2. Identifikasi sambungan las pada *Carbody*

Identifikasi material, tipe *welding* dan letak material sambungan pada *Carbody* LRT PT. INKA berdasarkan standarisasi *international welding* untuk material aluminium Al 6061 T6 tipe plat dan tipe profil.

3. Penentuan parameter sambungan las *carboby*

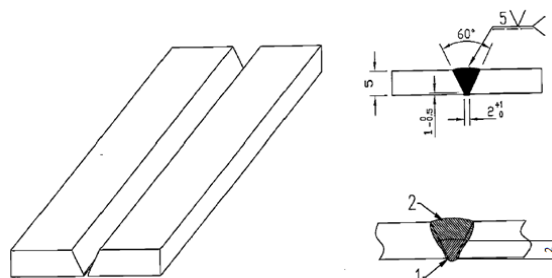
Dalam sambungan las ada beberapa parameter diantaranya *Thickness*, *Welding Process*, *Position* dan *Filler* yang penting untuk diketahui dan harus sesuai dengan standar yang telah ditentukan, karena parameter ini merupakan petunjuk bagi *welder* dalam pelaksanaan pengelasan di *workshop*.

4. Proses Pengelasan Material Uji

Pada pengujian WPS ini pengelasan yang digunakan adalah las GTAW (*Gas Tungsten Arc*

Welding) atau Pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*) dengan menggunakan Gas Argon 100% dan *Filler Metal* AWS ER 5356 (3 mm) serta posisi pengelasan *Flat* (1G) / PA. Pengelasan TIG pada material aluminium ini didasarkan pada standar AWS D.1.2/ D

Length of reduced section (A) : 57 mm
Thickness (T) : 3, 5, 8 mm
Overall length : 200 mm



1.2M : 2003 yakni bentuk sambungan V tunggal (*single-V-groove weld*):

Gambar 2. Bentuk Sambungan Pengelasan

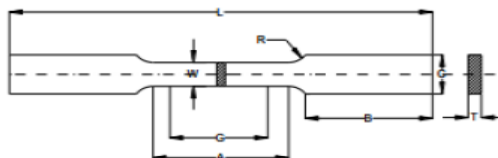
Keterangan:

- a) Bentuk Alur: Alur V Tunggal
- b) Panjang Spesimen: 200 mm
- c) Tebal Material: 3,5,8 mm
- d) Root Opening: 2 mm
- e) Size Of Weld: 3,5,8 mm
- f) Root Face: 1 mm
- g) Layer: 2 mm
- h) Groove Angle: 60°

Parameter Pengelasan :

- a) Tipe Arus : AC
- b) Arus : 125-135 Amp
- c) Gas Tipe : Argon 100% Aliran : 10-15 L/menit
- d) Logam Pengisi (*Filler*) : AWS ER 5356
- e) Posisi Pengelasan : 1G (*Flat up*) dan 3G (*Vertical up*)

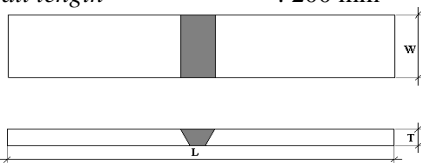
Dimensi ukuran spesimen



Gambar 3. Bentuk spesimen pengujian tarik(ASME)

Keterangan :

- Gage length (G)* : 40-50 mm
- Width (W)* : 10-12 mm
- Length of reduced section (A)* : 57 mm
- Thickness (T)* : 3, 5, 8 mm
- Radius of fillet (R)* : 10-12
- Overall length* : 200 mm

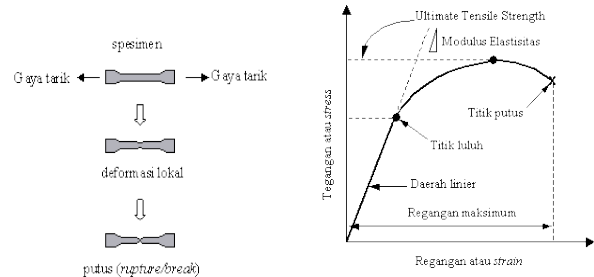


Gambar 4. Bentuk spesimen pengujian tekuk (ASME)

Keterangan :

- Width (W)* : 40-50 mm

Diagram Tegangan Rengangan



Gambar 5. Diagram Tegangan Rengangan

Variabel Pengujian

a) Pengujian *Visual Examination*

Tabel 1. Variabel Pengujian Visual

Material	Posisi	Tebal	Uji Face	Uji Root
Aluminium	1G	3 mm	P, Crk	IP, P, Crk
Aluminium	3G	3 mm	P, Crk	IP, P, Crk
Aluminium	1G	5 mm	P, Crk	IP, P, Crk
Aluminium	3G	5 mm	P, Crk	IP, P, Crk
Aluminium	1G	8 mm	P, Crk	IP, P, Crk
Aluminium	3G	8 mm	P, Crk	IP, P, Crk

Ket: IP (*Incomplete Penetration*), P (*Porosity*), Crk (*Crack*)

b) Pengujian *Radiography Test*

Tabel 2. Variabel Pengujian Radiography

Material	Posisi Pengelasan	Tebal	Uji Las
Aluminium	1G	3 mm	IF, P IF, P
Aluminium	3G	3 mm	
Aluminium	1G	5 mm	
Aluminium	3G	5 mm	
Aluminium	1G	8 mm	
Aluminium	3G	8 mm	

Ket: IF (*Incomplete Fusion*), P (*Porosity*)

c) Pengujian *Dye Penetrant Test*

Tabel 3. Variabel Pengujian Dye Penetrant Test

Material	Posisi Pengelasan	Tebal	Uji Face	Uji Root
Aluminium	1G	3 mm	IF, P, Crk	IP, P, Crk
Aluminium	3G	3 mm	IF, P, Crk	IP, P, Crk
Aluminium	1G	5 mm	IF, P, Crk	IP, P, Crk
Aluminium	3G	5 mm	IF, P, Crk	IP, P, Crk

Aluminium	1G	8 mm	IF, P, Crk	IP, P, Crk
Aluminium	3G	8 mm	IF, P, Crk	IP, P, Crk

Ket: IF (*Incomplete Fusion*), IP (*Incomplete Penetration*), P (*Porosity*), Crk (*Crack*)

d) Pengujian Tarik


Tabel 4. Variabel Pengujian Tarik



Material	Posisi Pengelasan	Tebal	Uji Las
Aluminium	1G	3 mm	Tegangan Maksimum, Renggangan Maksimum dan Area Patah
Aluminium	3G	3 mm	
Aluminium	1G	5 mm	
Aluminium	3G	5 mm	
Aluminium	1G	8 mm	
Aluminium	3G	8 mm	

e) Pengujian Tekuk

Tabel 5. Variabel Pengujian Tekuk

Material	Posisi Pengelasan	Tebal	Uji Face	Uji Root
Aluminium	1G	3 mm	Tegangan Maksimum dan Area Patah	Tegangan Maksimum dan Area Patah
Aluminium	3G	3 mm		
Aluminium	1G	5 mm		
Aluminium	3G	5 mm		
Aluminium	1G	8 mm		
Aluminium	3G	8 mm		

	Cacat las terjadi pada bagian ujung bagian bawah lasan. Bagian selain ujung bawah tidak terjadi cacat.	Diterima
3G		

8 mm		Cacat las terjadi pada bagian kedua ujung lasan, dikarenakan ketidaksesuaian panas yang terjadi. Bagian selain kedua ujung tidak terjadi cacat.	Diterima
	1G		
8 mm		Cacat las terjadi pada bagian kedua ujung lasan, dikarenakan ketidaksesuaian panas yang terjadi. Bagian selain kedua ujung tidak terjadi cacat.	Diterima
	3G		


Dari keseluruhan pengujian visual menunjukkan bahwa cacat rata-rata terjadi pada awal dan akhir proses pengelasan. Cacat yang terjadi merupakan cacat *corner melt* dan juga *end melt* dengan intensitas yang sangat kecil yaitu kurang dari 0,6 mm. Dijelaskan dalam *Welder Visual Inspection Handbook* Tahun 2013 bahwa *coner* dan *end melt* terjadi karena ketidaksesuaian panas yang terjadi pada material dan juga elektroda las, pada awal pengelasan keadaan material logam aluminium dalam keadaan dingin kemudian elektroda panas dari tungsten TIG diberikan untuk mencairkan logam pengisi, sedangkan pada akhir pengelasan keadaan material logam aluminium cukup panas sehingga ketika diberikan panas dari elektroda tungsten TIG mengakibatkan cacat terbentuk. Sesuai kode penerimaan pengujian visual EN ISO 6520-1 bahwa pada *visual examination* tidak terjadi *Incomplete Penetration* (IP) dan *Incomplete Fusion* (IF) maka material dinyatakan DITERIMA pada pengujian visual.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 6. Pengujian visual


Tebal	Posisi pengelasan	Cacat Las	Status
3 mm		Cacat las terjadi pada bagian kedua ujung lasan, dikarenakan ketidaksesuaian panas yang terjadi. Bagian selain kedua ujung tidak terjadi cacat.	Diterima
	1G		
3 mm		Cacat las terjadi pada bagian kedua ujung lasan, dikarenakan ketidaksesuaian panas yang terjadi. Bagian selain kedua ujung tidak terjadi cacat.	Diterima
	3G		
5 mm		Cacat las terjadi pada bagian kedua ujung lasan, dikarenakan ketidaksesuaian panas yang terjadi. Bagian selain kedua ujung tidak terjadi cacat.	Diterima
	1G		

Tabel 7. Hasil Pengujian RT Butt Joint 3 mm 1G

Part	Lokasi	Densitas		Cacat				
		Min	Max	IF	IP	P	Inc	Crk
Butt Joint	A-B	2,58	2,79	-	-	✓	-	-
3 mm								
1G								

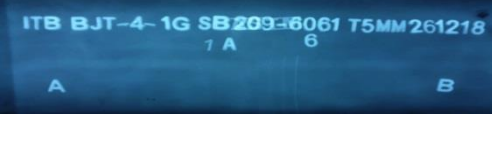
Tabel 8. Hasil Pengujian RT Butt Joint 3 mm 3G

Part	Lokasi	Densitas		Cacat				
		Min	Max	IF	IP	P	Inc	Crk
Butt Joint 3 mm 3G	A-B	2,41	2,74	✓	-	-	-	-



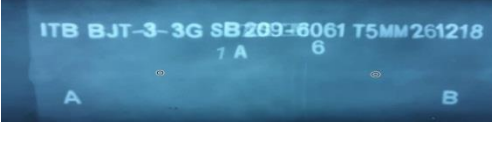
Tabel 9. Hasil Pengujian RT Butt Joint 5 mm 1G

Part	Lokasi	Densitas		Cacat				
		Min	Max	IF	IP	P	Inc	Crk
Butt Joint 5 mm 1G	A-B	2,51	2,86	-	-	-	-	-




Tabel 10. Hasil Pengujian RT Butt Joint 5 mm 3G

Part	Lokasi	Densitas		Cacat				
		Min	Max	IF	IP	P	Inc	Crk
Butt Joint 5 mm 3G	A-B	2,47	2,79	✓	-	✓	-	-



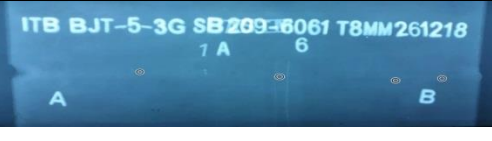
Tabel 11. Hasil Pengujian RT Butt Joint 8 mm 1G

Part	Location	Densitas		Cacat				
		Min	Max	IF	IP	P	Inc	Crk
Butt Joint 8 mm 1G	A-B	2,49	2,81	-	-	✓	-	-



Tabel 12. Hasil Pengujian RT Butt Joint 8 mm 3G

Part	Location	Densitas		Cacat				
		Min	Max	IF	IP	P	Inc	Crk
Butt Joint 8 mm 3G	A-B	2,47	2,79	✓	-	✓	-	-



Dari tabel diatas menunjukkan densitas terkecil terjadi pada material 3 mm dengan posisi 3G dengan intensitas sinar yang di terima oleh film hanya 2,41 (satuan sinar) hal ini menyatakan bahwa kepadatan weld metal pada material 3 mm tergolong rendah

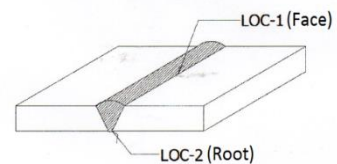
dibandingkan dengan material yang lain. Sedangkan densitas terbesar terjadi pada material 5 mm dengan posisi 1G yang menunjukkan angka densitas cahaya sebesar 2,86 yang menunjukkan bahwa kepadatan weld metal jauh lebih padat dibandingkan material lainnya.

Hasil pengujian *Radiography* menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap posisi pengelasan. Pada posisi pengelasan 1G (*Flat*) menunjukkan densitas minimal dan maksimal di atas persyaratan penerimaan *radiography test* yaitu densitas di antara 2,00 – 4,00 dan pada posisi 1G cacat *weld metal area internal lasan* sangat kecil dan masih memenuhi persyaratan penerimaan *radiography test* menurut EN ISO 6520-1. Namun, cacat *weld metal area internal lasan* pada posisi 3G ini menunjukkan cacat yang cukup banyak meliputi *Incomplete Fusion (IF)* dan *Porosity (P)* yang dalam persyaratan penerimaan tidak diperkenankan untuk diterima karena cacat yang terjadi diatas ukuran dan jumlah syarat cacat yang telah ditentukan.

Tabel 13. Hasil pengujian dye penetrant

Part	Lokasi Cacat	Cacat	Ukuran Cacat
3 mm 1G	Face	P	1,3 mm
	Root	P	1,2 mm
3 mm 3G	Face	P	1,2 mm
	Root	IF	-
5 mm 1G	Face	P	1 mm
	Root	P+IF	0,8 mm
5 mm 3G	Face	-	-
	Root	P+IF	-
8 mm 1G	Face	-	-
	Root	P	0,4 mm
8 mm 3G	Face	-	-
	Root	IF	-

Sketch :

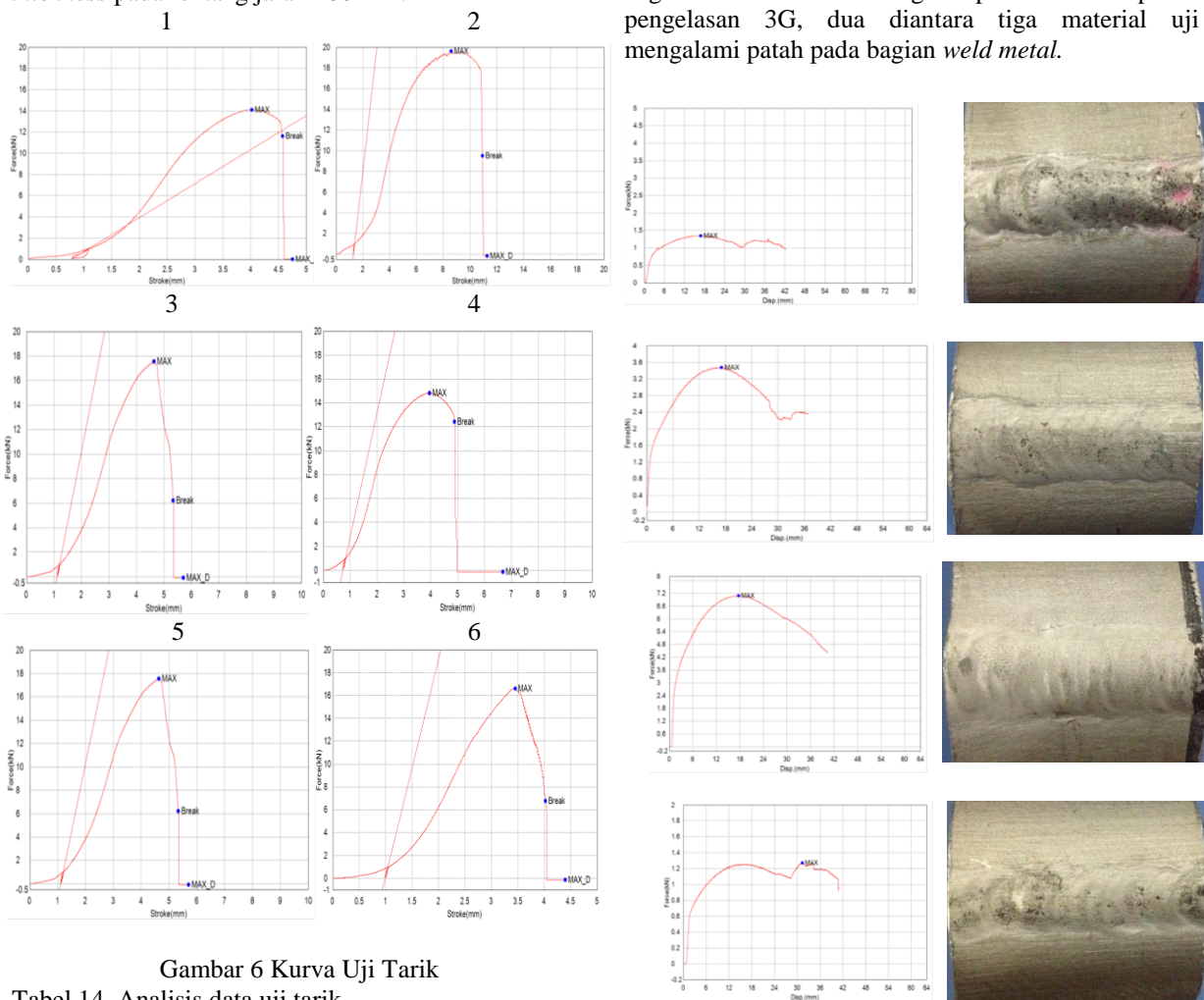


Dari hasil pengujian cairan penetrant menunjukkan rata-rata material mengalami cacat permukaan baik posisi pengelasan 1G maupun posisi pengelasan 3G, *discontinuity* atau cacat yang terjadi pada material berupa porositas pada wajah dan juga akar las dan juga *incomplete fusion* yang hanya terletak pada akar las. Porositas terbesar terjadi pada wajah las material 3 mm posisi pengelasan 1G dengan ukuran diameter porositas mencapai 1,3 mm sedangkan pada wajah las material lain terjadi porositas dengan ukuran diameter 1,2 mm bahkan pada material 5 mm posisi 3G dan juga material 8 mm dengan kedua posisi pengelasannya tidak terjadi

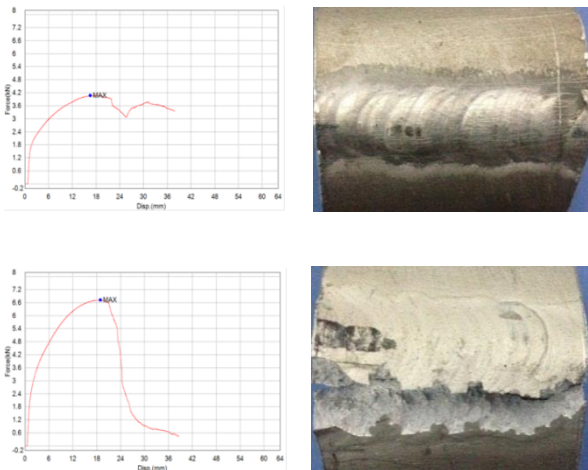
porositas. *Incomplete Fusion* terjadi hanya pada akar lasan dan cenderung terjadi pada posisi pengelasan 3G dengan ukuran yang sangat kecil, cacat *incomplete fusion* terjadi pada material 5 mm posisi 3G dan juga 8 mm posisi 3G. Standar penerimaan pengujian cairan penetrasi yang tertera dalam buku 'Guide to Weld Inspection for Struktural Steelwork' karya The British Constructional Steelwork Association Limited ISBN 10: 1-85073-064-4 menunjukkan bahwa kapasitas porositas yang terjadi pada semua tipe sambungan akan diterima jika diameter tidak lebih dari 2 mm dengan jumlah kurang dari 5 lubang dari rentang panjang material 100 mm dengan arah *transversal* dan kurang dari 10 lubang untuk rentang panjang material 100 mm dengan arah *longitudinal*. Sedangkan *Incomplete Fusion* yang terjadi pada wajah lasan tidak ada toleransi penerimaan pada tipe sambungan apapun, sedangkan *Incomplete Fusion* yang terjadi pada akar lasan tipe sambungan *butt joint* akan diterima ketika cacat yang terjadi kurang dari 3 mm dan ukuran cacat keseluruhan tidak lebih dari 1,5 *thickness* pada rentang jarak 100 mm untuk arah *transversal*, dan cacat kurang dari 3 mm dengan jumlah keseluruhan cacat tak lebih dari 3 *thickness* pada rentang jarak 100 mm.

No	Part	Posisi	Tegangan Maksimum	Renggangan Maksimum	Patah
1	3 mm	1G	14,1100 kN	4,7 mm	Base
2	5 mm	1G	19,6214 kN	10,45 mm	Base
3	8 mm	1G	28,7149 kN	14,7 mm	Base
4	3 mm	3G	14,8143 kN	4,86 mm	Base
5	5 mm	3G	17,5447 kN	5,4 mm	Weld
6	8 mm	3G	16,6155 kN	4,1 mm	Weld

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa kekuatan tarik menunjukkan hasil yang baik pada material 8 mm posisi pengelasan 1G dengan tegangan maksimum berada pada angka 28,7 kN dan renggangan mencapai angka 14,7 mm serta material patah pada *base metal*. Sedangkan kekuatan tarik menunjukkan hasil yang buruk pada material 8 mm posisi pengelasan 3G dengan tegangan maksimum hanya mencapai angka 16,6 kN dan renggangan maksimum hanya menunjukkan angka 4,1 mm serta material patah pada bagian *weld metal*. Selain itu, pada material uji yang lain material uji dengan posisi pengelasan 1G rata-rata menunjukkan hasil yang baik dengan keadaan material patah pada bagian *base metal*. Sedangkan pada material posisi pengelasan 3G, dua diantara tiga material uji mengalami patah pada bagian *weld metal*.



Gambar 6 Kurva Uji Tarik
Tabel 14. Analisis data uji tarik



Gambar 7. Grafik dan Keadaan Uji Tekuk

Tabel 15. Analisis data uji tekuk

Part	Posisi	Tegangan Maksimum	Patah
3 mm	1G	1,34640 kN	-
5 mm	1G	3,47548 kN	-
8 mm	1G	7,09047 kN	-
3 mm	3G	1,27149 kN	-
5 mm	3G	4,06923 kN	-
8 mm	3G	6,71902 kN	Weld Metal

Dari data di atas menunjukkan bahwa tegangan tertinggi yang dapat dicapai ketika uji tekuk terjadi pada material tebal 8 mm posisi 1G dengan tegangan maksimum mencapai 7,09047 kN dan material tidak mengalami patah ketika berada pada tegangan maksimum. Sedangkan tegangan maksimum terendah yang dapat dicapai ketika uji tekuk terjadi pada material 3 mm posisi 3G dengan angka 1,27149 kN namun material tidak mengalami patah ketika berada pada titik tegangan maksimum. Selain itu, material 8 mm posisi 3G mencapai titik tegangan maksimum 6,71902 kN tetapi keadaan material patah pada *weld metal* ketika berada pada titik tegangan maksimum. Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan las pada material 8 mm posisi 3G sangat rendah, data yang sama juga terdapat pada pengujian tarik material 8 mm posisi 3G yang mencapai titik tegangan hanya pada angka 16,6 kN dan renggangan maksimum hanya menunjukkan angka 4,1 mm serta material patah pada bagian *weld metal*.

Dari pengujian-pengujian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa pengaruh penerapan WPS (*Welding Procedure Specification*) al 6005 tipe *butt joint* terhadap pengelasan sambungan al 6061 terjadi pada posisi pengelasan yang berbeda, hal itu ditunjukkan pada ke-4 pengujian yang telah dilakukan dan data pengujian menunjukkan hasil yang kurang baik pada posisi pengelasan 3G.

PENUTUP

Kesimpulan

Setelah dilakukan uji pada aluminium 6061 hasil pengelasan MIG dengan menggunakan WPS (*Welding Procedure Specification*) Aluminium 6005 yang dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Malang dan PT. Bromo Steel Pasuruan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

WPS (*Welding Procedure Specification*) Al 6005 standar ISO dapat digunakan untuk pengelasan material Al 6061 dengan menggunakan parameter yang sama dan juga menggunakan *welder*.

Hasil pengujian cacat dalam menggunakan *radiography test* aluminium 6061 dengan variasi posisi pengelasan 1G (*Flat*) dan 3G (*Vertikal*) serta pada ketebalan 3 mm, 5 mm dan 8 mm menunjukkan hasil berbeda. Densitas tertinggi dihasilkan oleh pengelasan posisi 1G pada tebal material 5 mm dengan densitas cahaya mencapai 2,86. Sedangkan, Densitas terendah dimiliki oleh pengelasan posisi 3G pada material 3 mm dengan densitas cahaya 2,41. Cacat berupa porositas terjadi hampir pada semua material pengelasan baik posisi 1G maupun 3G namun cacat berupa *Incomplete Fusion* hanya terjadi pada semua pengelasan dengan posisi 3G. Sedangkan hasil pengujian cacat luar dengan menggunakan cairan *penetrant* menunjukkan porositas terjadi hampir pada semua posisi pengelasan namun cacat *incomplete fusion* terjadi hanya pada posisi pengelasan 3G dengan letak lokasi cacat berada pada bagian akar lasan.

Kekuatan material las dengan uji tarik dan tekuk menunjukkan rata-rata kekuatan tertinggi berada pada posisi pengelasan 1G untuk semua ketebalan, dan kekuatan terendah terjadi pada material las dengan posisi 3G pada tebal 8 mm.

WPS al 6005 yang diterapkan dalam pengelasan al 6061 menunjukkan hasil yang cukup baik dan pada standar penerimaan pengujian material menunjukkan angka diatas penerimaan untuk posisi pengelasan 1G.

Saran

Selanjutnya dari pembahasan penelitian ini, dapat dirangkum beberapa saran yang berkaitan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut:

Pada proses pengelasan material oleh *welder* harus diperhatikan sertifikasi posisi pengelasan yang dimiliki oleh *welder* untuk hasil yang lebih baik.

Pada penelitian berikutnya diharapkan bisa membandingkan variasi arus pada material yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- Aluminium Federation of Southern Africa. 2004. *The Welding Of Aluminium MIG & TIG Fusion*. Second Edition AFSA.
- Artanto, Indra Dkk. 2015. *Analisa Kekuatan Tarik Dan Komposisi Bahan Paduan Aluminium Limbah Ac Mobil Dengan Metode Metal Casting Untuk Bahan Jendela Kapal*. Program Studi S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Jurnal Teknik Perkapalan - Vol. 3, No.2.
- ASM Metals Handbook, 2001. Desk Edition Volume 2, Volume 6, Volume 7, Volume 8, Volume 10.
- Dewanto, Anggoro P. 2016. *Analisa Kekuatan Mekanik Sambungan Las Metode MIG(Metal Inert Gas) Dan Metode FSW(Friction Stir Welding) 800 Rpm Pada Alumunium Tipe 5083*. Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Jurnal Teknik Perkapalan - Vol. 4, No.3.
- Engineer Division Handbook. 1999. *Aluminium Alloy 6061*. Aluminium City (Pty) Limited. Technical Data Page T9.
- Hiyazi, Dr. Ala. *Radiographic Testing*. Introduction To Non-Destructive Testing Technique.
- Krishna Muku, Made. 2009. *Kekuatan Sambungan Las Aluminium Seri 1100 dengan Variasi Kuat Arus Listrik Pada Proses Las Metal Inert Gas (MIG)*. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Badung – Vol. 3, No.1.
- Moore, Albert J. 2010. *Think of a welding procedure specification as the recipe for successful welds*. What Are Welding Procedure Specifications, SPRING 15.
- Qazi, Hafiz Abdul A. 2017. *Study of Verification and Validation of Standard Welding Procedure Specifications Guidelines for API 5L X-70 Grade Line Pipe Welding*. Quality Control Health and Safety Environment, Pakistan. Oil and Gas Research ISSN: 2472-0618
- Sarwar, Muhammad Dkk. 2016. *Proposed Guidelines For Welding Procedures To Ensure Quality Welding Of Creep Strength Enhanced Ferritic (CSEF) Materials*. Mechanical Engineering Department, Universiti Teknologi Petronas, Bandar Seri Iskandar, Tronoh, Perak, Malaysia. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, ISSN 1819-6608.
- Steel Industry Guidance Notes. 2010. *Welding Procedure Specifications (WPSs)*.
- Tata Steel Handbook. *Guide To Weld Inspection For Structural Steelwork*. The British Constructional Steelwork Association, Number 54/12, ISBN 10: 1-85073-064-4.
- Welding Handbook. *Welding Science And Technology*. American Welding Society Ninth Edition Volume 1, 550 N.W. LeJeune Road Miami, FL 33126.
- Welder's Visual Inspection Handbook. 2013. *Visual Inspection Responsibilities and Technique*.