

## PENGARUH CLEANING PADA PENGLASAN ALUMINIUM CLAD 6061 DENGAN PROSES GAS TUNGSTEN ARC WELDING (GTAW)

Ahmad Nurdin  
PPPPTK BMTI Bandung  
Email: madnurdin88@gmail.com

### ABSTRAK

Salah satu jenis cacat las yang sering terjadi pada pengelasan paduan aluminium adalah cacat porositas pada deposit las akibat adanya perbedaan kelarutan hidrogen dalam aluminium. Porositas pada aluminium sulit dihilangkan, tetapi diusahakan diminimalkan. Sumber hidrogen dalam pengelasan berasal dari kelembaban tempat las, uap air dari gas pelindung, logam induk, atau melanggar SOP pengelasan, terutama pada pengelasan proses GTAW. Dalam penelitian ini merupakan hal yang menarik untuk mempelajari mekanisme pembentukan porositas pada deposit las sebelum dapat mengendalikan terjadinya porositas. Pengelasan *aluminium clad* seri 6061 hasil dari proses pembersihan (*cleaning*) atau spesimen A, hasil struktur mikro lebih baik, solid, dan diterima (*accepted*) hal tersebut dapat dilihat dari pemeriksaan radiografi dengan hasil porositasnya 1,81%, *internal undercut* 0,76%, retak lasan 0,76%. Sedangkan tanpa proses pembersihan (*cleaning*) atau spesimen B mengalami total kerusakan 3,23% yang mengakibatkan benda kerja dikategorikan rusak (*reject*). Struktur mikro spesimen A struktur butirannya lebih halus dengan interdendritik Al Mg<sub>2</sub> Si<sub>3</sub>, etektiknya lebih solid dibandingkan dengan spesimen B. Pada pengujian destruktif dengan uji tarik, membuktikan bahwa adanya kontaminasi mempengaruhi hasil uji, spesimen A 22,38 kgf/mm<sup>2</sup>, dan spesimen B 20,80 kgf/mm<sup>2</sup>. Agar mendapatkan hasil pengelasan yang baik dan diterima (*accepted*) pada pengelasan *aluminium clad* seri 6061, maka harus dilakukan hal-hal berikut: 1) setiap melakukan pengelasan harus dilakukan proses pembersihan (*cleaning*), agar konstruksi lasan yang dihasilkan dapat diminimalisir terjadinya porositas, *internal undercut*, dan retak lasan, agar sifat mekanisnya lebih baik; 2) Jangan menunda proses pengelasan, setelah dilakukan proses pembersihan (*cleaning*), agar tidak terjadi kontaminasi lagi, karena terbentuknya oksida aluminium.

**Kata kunci:** *aluminium clad* seri 6061, cacat las, porositas, hidrogen, GTAW, *reject*, *accepted*, *internal undercut*, retak lasan, dan *cleaning*.

### ABSTRACT

*One type of welding defect that often occurs in aluminum alloy welding is porosity in the welding deposit due to differences in hydrogen solubility in aluminum. Porosity in aluminum is difficult to remove, but it is minimized. The source of hydrogen in the welding comes from the moisture of the welding site, the water vapor of the protective gas, the parent metal, or the breaking of the welding POS, especially in the welding of the GTAW process. In this case, it is interesting to study the mechanism of porosity formation on the welding deposit before it can control the occurrence of porosity. The welding of aluminum clad series 6061 resulted from cleaning process or specimen A, the result of better microstructure, solid, and accepted it can be seen from radiographic examination with porosity of 1.81%, internal undercut 0.76% , cracked welds 0.76%. While without the process of cleaning or specimen B has a total damage of 3.23% resulting in the work object is categorized as damaged (reject). The microstructure of specimen A is finer grain structure with interdendritic Al Mg<sub>2</sub> Si<sub>3</sub>, its eutectic is more solid compared than specimen B. In destructive test with tensile test, proves that the contamination affects test result, specimen A 22,38 kgf / mm<sup>2</sup>, and specimen B 20 , 80 kgf / mm<sup>2</sup>. In order to obtain a good welding results and accepted in the welding of aluminum clad series 6061, it must be done the following things: 1) every welding must be done cleaning process, so that the construction of welds can be minimized the occurrence of porosity, internal undercut, and cracked welds, for better mechanical properties; 2) Do not delay the welding process, after cleaning process, so that no more contamination, because the formation of aluminum oxide.*

**Keywords:** *aluminum clad series 6061, welding defects, porosity, hydrogen, GTAW, reject, accepted, internal undercut, crack weld, and cleaning*

### I. PENDAHULUAN

Pembelajaran praktik merupakan upaya untuk memberi kesempatan kepada peserta diklat mendapatkan pengalaman langsung. Belajar berdasarkan pengalaman mendorong peserta diklat untuk merefleksi atau melihat kembali

pengalaman-pengalaman yang telah dialami. Pentingnya pengalaman langsung terhadap proses belajar yang diungkapkan oleh Hadi Suwono dalam blognya yang dikutip dari Kolb dan Wallace. Kolb mengatakan bahwa pembelajaran orang dewasa akan lebih efektif

jika pembelajaran lebih banyak terlibat langsung. Kolb dengan teori *experiential learning*nya menjabarkan ide-ide dari pengalaman dan refleksi. Kolb mendefinisikan empat modus belajar yaitu: *Concrete experience* (pengalaman nyata), *reflective observation* (merefleksikan observasi), *abstract conceptualization* (konsep yang abstrak), dan *active experimentation* (eksperimen aktif).

Pengelasan proses *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) adalah proses pengelasan pada material-material khusus salah satunya adalah aluminium dan paduannya. Pengelasan proses GTAW banyak digunakan di industri dan di masyarakat, baik untuk keperluan industri kecil, menengah, maupun besar. Dengan demikian pada saat ini maupun masa mendatang banyak dibutuhkan tenaga-tenaga *welder* yang berkualitas dan berstandar.

Penelitian ini berkaitan dengan pengaruh *cleaning* pada pengelasan *aluminium clad* 6061 dengan proses *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) bertujuan untuk:

1. Mengetahui kualitas hasil pengelasan dengan proses *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW).
2. Mengetahui pengaruh *cleaning* pada pengelasan *aluminium clad* 6061 posisi pengelasan 1G terhadap sifat mekanik lasan.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai masukan bagi pelaksanaan diklat Pengelasan proses GTAW yang akan datang agar dapat meningkatkan kompetensi peserta diklat.

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen (*experimental research*) yang di laksanakan di *workshop*, laboratorium, dan pengamatan hasil pengujian. Penelitian ini berdasarkan pada variabel yang telah ditentukan.<sup>[2]</sup> Spesimen untuk analisis penelitian digunakan lasan GTAW. Data-data *base metal* (BM) dan pengelasan proses GTAW diambil dari studi literatur dan jurnal-jurnal, sedangkan pembahasan penelitian diperoleh dari pengujian struktur mikro dan sifat mekanik.

## II. Kajian Teori

### Aluminium dan paduannya

Aluminium dan paduannya termasuk logam ringan yang aplikasinya sangat luas, baik keperluan rumah tangga hingga keperluan industri, salah satunya produk yang canggih seperti pada pesawat terbang hampir 80% materialnya adalah aluminium paduan. Selain ringan juga dalam menyambungannya mudah, dengan cara pengelasan, *brazing*, penyolderan, *rivetting* atau cara lainnya. Dalam banyak hal aluminium disambung dengan peralatan dan teknik konvensional dengan logam lain, kadang diperlukan peralatan dan teknik khusus.

Paduan konfigurasi sambungan, kekuatan yang dibutuhkan, penampilan dan biaya adalah

beberapa contoh faktor yang menentukan pilihan proses penyambungan. Dalam hal ini akan dibahas beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam pengelasan aluminium paduan, khususnya paduan 6061-T4.

### Karakteristik Aluminium dan paduannya

Beberapa aluminium dan paduannya mempunyai ketangguhan yang sebanding dengan baja karbon rendah (*mild steel*). mempunyai keuletan, ketahanan korosi, konduktivitas listrik dan panas yang baik, tidak beracun, dan tidak magnetis.

Aluminium sangat mudah dibentuk dalam berbagai variasi seperti bentuk, sifat mekanik, elektrokimia dan kimia. Aluminium murni mempunyai titik lebur 660°C. Aluminium paduan titik leburnya antara 480°C - 660°C, tergantung paduannya, karakteristik lainnya tidak terjadi perubahan warna ketika mendekati titik lebur, akibatnya pada saat pengelasan cukup sulit untuk menentukan logam tersebut sudah dekat dengan titik lebur atau belum. Tetapi hal ini bisa diatasi jika mengelas dengan proses GTAW, karena titik lebur pada saat pengelasan dapat diamati saat mulai terjadi peleburan. Aluminium tidak magnetis, sehingga dalam pengelasan direkomendasikan menggunakan arus AC.

Aluminium dan paduannya dengan cepat akan menghasilkan lapisan oksida yang kuat dan sukar dihilangkan begitu bereaksi dengan udara. Sebelum proses pengelasan, lapisan tipis oksida yang terjadi harus dihilangkan, karena lapisan oksida tersebut akan mengisolasi dan menghalangi *grounding* pada sirkuit las listrik. Selama pengelasan lapisan tersebut juga harus dihilangkan atau dipecahkan agar penggabungan (fusi) antara logam induk dan *filler* dapat terjadi. Lapisan oksida ini dapat dikurangi dengan *flux*, busur listrik didalam selubung gas mulia, atau dengan cara mekanik maupun kimia.

Dalam pengelasan antara paduan aluminium tempa (*wrought aluminium alloy*) dalam bentuk *sheet* dan pelat, maupun paduan aluminium cor (*cast aluminium alloy*) memiliki karakteristik pengelasan yang sama tanpa memperhatikan bentuknya.

Dalam meningkatkan ketahanan korosi akibat reaksi *redoks* antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki, beberapa paduan sering dilapisi dengan aluminium super murni atau paduan aluminium khusus, lapisan (*cladding*) ini mempunyai ketebalan 2.5 s/d 15 % ketebalan total, disalah satu sisi atau kedua sisi material, mekanisme ketahanan korosi terjadi secara kimiawi dan secara galvanis.

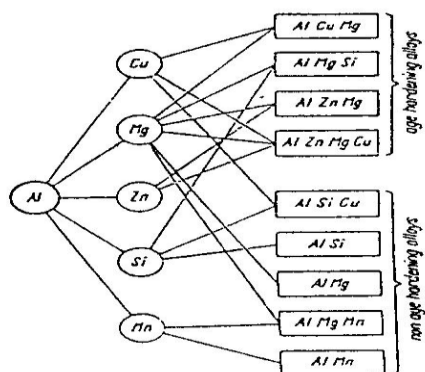
### Klasifikasi Aluminium dan paduannya

Berdasarkan cara pembuatannya, secara garis besar aluminium diklasifikasikan dalam dua jenis, yaitu paduan aluminium tempa (*wrought alloys*) dan paduan aluminium coran (*casting alloys*).

Berdasarkan kemurniannya, aluminium tempa (*wrought alloys*) dalam penggunaan yang sering adalah aluminium paduan.

Berdasarkan unsur-unsur paduannya, secara skematis, aluminium diklasifikasikan seperti terlihat pada gambar 1. Unsur penting yang biasa dipadu dengan aluminium adalah Bismuth (Bi), Boron (B), Chromium (Cr), Besi (Fe), Timbal (Pb), Magnesium (Mg), Mangan (Mn), Nikel (Ni), Silikon (Si), Titanium (Ti), Seng (Zn), dan Zirconium (Zr). Magnesium adalah yang paling sering dipadukan. Dalam banyak paduan, Mg ditambahkan bersama-sama dengan Cu, Zn, Si dan/atau Mn.

Menurut *Aluminium Association (AA)* di AS, atausstem ini dinamakan *International Alloys Designation System (IADS)*, memiliki empat digit angka yang digunakan untuk mengidentifikasi aluminium tempa (*wrought aluminium*), dan aluminium cor (*cast alloy*), seperti yang ditunjukkan pada tabel 1 berikut ini:



**Gambar 1.** Klasifikasi aluminium berdasarkan unsur paduan pembentukan

**Tabel 1.** Penamaan paduan menurut AAA

Wrought alloys	Alloys number	Casting alloys	Alloy number
Aluminium, 99.00% minimum and greater	1xxx	Aluminium, 99.00% minimum and greater	1xxx
Alloys grouped by major alloying elements:		Alloys grouped by major alloying elements:	
Copper	2xxx	Copper	2xxx
Manganese	3xxx	Silicon, with copper and/or	3xxx
Silicon	4xxx	Magnesium	4xxx
Magnesium	5xxx	Silicon	5xxx
Magnesium	6xxx		

<i>Zinc</i>	7xxx	<i>Magnesium</i>	7xxx
<i>Other element</i>	8xxx	<i>Zinc</i>	8xxx
<i>Unused series</i>	9xxx	<i>Tin</i>	9xxx
		<i>Other element</i>	6xxx
		<i>Unused series</i>	

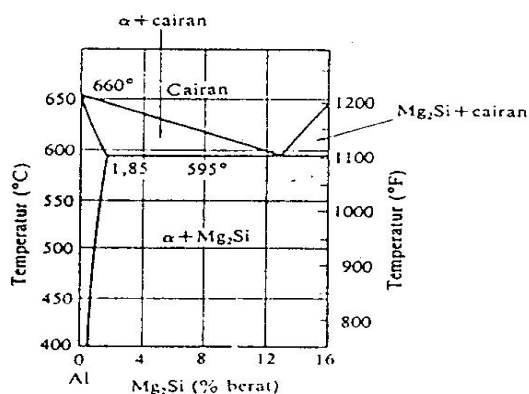
Angka pertama merupakan seri paduan, menunjukkan jenis unsur paduan utama. Angka ketiga dan keempat mempunyai arti kemurnian minimal aluminium, contoh: 1145, kemurnian minimumnya 99,45 % ;1200, kemurnian aluminiumnya 99 %. Pada seri-seri yang lain, angka ketiga dan keempat digunakan untuk identifikasi lebih mendalam, seperti untuk nomor seri. Angka menunjukkan modifikasi dari paduan asal, seperti misalnya 7075 dan 7475, berbeda sedikit komposisinya.

Paduan aluminium dibagi dalam dua kelompok besar berdasarkan dalam meningkatkan sifat mekanisnya, yaitu perlakuan panas (*heat treatable/age hardening alloys*) dan pengerjaan mekanik (*non heat treatable/non age hardening alloys*). Gambar 2.1 menunjukkan kelompok-kelompok tersebut.

### Paduan Aluminium-Magnesium-Silikon (Al-Mg-Si seri 6xxx)

Bila Mg ditambahkan pada Al, pengerasan penuaan tidak terjadi, tetapi apabila secara simultan mengandung Si dalam jumlah yang seimbang untuk membentuk paduan quasi biner Al-Mg<sub>2</sub>-Si (Mg : Si = 1,73 : 1) atau dengan kadar Si yang lebih tinggi dari yang diperlukan untuk membentuk Mg<sub>2</sub>Si, maka dapat dikeraskan dengan penuaan (*ageing*) setelah diperlakukan pelarutan dan mempunyai sifat yang baik dalam daya tahan korosi, dan sifat mampu lasnya. Kekurangan paduan ini adalah terjadinya pelunakan pada daerah las akibat dari panas pengelasan yang timbul. Hal ini disebabkan karena senyawa Mg<sub>2</sub>Si berkelakuan sebagai komponen murni dan membuat keseimbangan dari sistem biner semu dengan aluminium. Gambar 2.2 dalam Tata Surdia, 1992;139) menunjukkan diagram fasa paduan Al- Mg<sub>2</sub>Si.

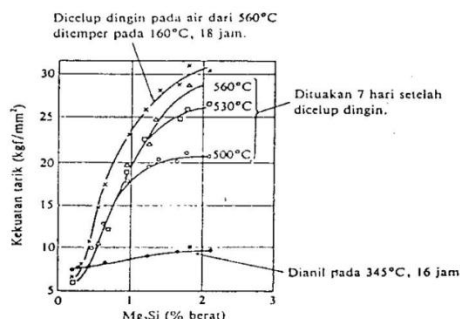
*Prepissitat Mg<sub>2</sub>Si* (pengendapan dalam larutan) terhadap larutan padat aluminium dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Gambar 2 menunjukkan hubungan antara kekuatan setelah penuaan dan kadar Mg<sub>2</sub>Si. Pada temperatur biasa, cukup untuk dapat dikeraskan dengan penuaan, akan tetapi pengerasan maksimum dapat dicapai dengan jalan perlakuan pelarutan pada 160°C selama 18 jam.



**Gambar 2.** Diagram fasa AlMg<sub>2</sub>Si

Berdasarkan pada kadar paduan utamanya (Mg dan Si) seri 6xxx ini dapat dibagi dalam tiga kelompok. Kelompok pertama dengan kadar Mg dan Si yang seimbang antara 0,8 % s/d 1,2 % mempunyai keuntungan karena tidak memerlukan proses *solution treatment* yang terpisah sehingga langsung dapat disemprot dengan air (*quenching*) begitu keluar dari cetakan ekstrusi. Kekuatan yang memadai dihasilkan dengan pengerasan presipitasi. Kekuatan yang memadai dihasilkan dengan pengerasan presipitasi. Pada kondisi T6 kekuatan luluhnya berkisar antara 215 Mpa s/d 245 Mpa.

Paduan ini banyak digunakan sebagai material struktur yang umum. Kelompok ketiga mempunyai kadar silikon yang lebih besar dari yang dibutuhkan untuk membentuk Mg<sub>2</sub>Si. Adanya kelebihan Si ini mendorong terjadinya peningkatan kekuatan karena terjadi penghalusan ukuran partikel Mg<sub>2</sub>Si dan *presipitasi silikon*. Namun presipitasi silikon ini mengakibatkan terjadinya penggetasan batas butir, karena silikon cenderung mengendap pada batas butir. Cr dan Mn dapat membantu mengatasi pengaruh tersebut dengan mendorong terbentuknya butir halus dan menghambat rekristalisasi pada saat *solution treatment*. Paduan ini digunakan untuk material ekstrusi dan tempa.



Sumber : Tata Surdia, Shinroku Saito, 1992;140

**Gambar 3.** Pengaruh kadar Mg<sub>2</sub>Si pada kekuatan tarik paduan Al-Mg<sub>2</sub>-Si

### Aluminium dan Pengelasan

Sebagian besar paduan aluminium dapat dilas baik dengan proses GMAW maupun GTAW, dan mampu lasnya pada dasarnya sama untuk kedua proses tersebut.

Aluminium paduan tempa yang mudah dilas dengan proses las busur listrik dengan pelindung gas adalah seri 1xxx, 3xxx, 5xxx, dan 6xxx. Seri 2xxx dan 4xxx, dengan teknik las khusus, juga dapat dilas dengan proses las tersebut, tetapi menghasilkan kekuatan yang sedikit lebih rendah.

Pengelasan akan mengubah sebagian atau seluruh efek *strain hardening*, akibat batas luluh (*Yield*) di HAZ pada paduan yang tidak dapat dilaku panaskan, tetapi dapat lebih tinggi dari batas luluh paduan tersebut yang telah dianil. Besarnya daerah dengan kekuatan rendah tersebut sangat tergantung pada kecepatan pengelasan dan besarnya strain hardening. Hal ini terjadi akibat rekristalisasi selama pemanasan saat pengelasan.

Ketika aluminium yang telah ada dilakupanaskan (dalam kondisi T4 maupun T6) dilas, kekuatan di HAZnya akan menjadi sedikit lebih rendah dibanding kekuatan paduan tersebut dalam kondisi T4 yang belum dilas, ini berarti jika logam induk dalam kondisi T6, maka di HAZ akan terbentuk T4, sehingga kekuatan paling lunak terjadi di HAZ. Untuk mengatasi hal ini biasanya dilakukan *solution heat treatment* dan *aging* setelah pengelasan.

Pada paduan yang mampu dilakupanaskan (*heat treatable alloys*), didaerah HAZ akan terdapat zona-zona, yaitu *partial fusion zone*, *solution treated zone*, dan *over age zone*.

*Partial fusion zone* adalah daerah yang temperatur puncaknya antara *temperature liquidus* dan *temperature solidus*. Fasa adalah  $\alpha + \theta$  setelah pendinginan.

*Solution treated zone* adalah daerah yang temperatur puncaknya antara *temperature solidus* dan *temperature solvus*. Fasanya adalah  $\alpha$  selama temperatur puncaknya, dan  $\alpha + \theta$  setelah pendinginan pada daerah cair (*fusion zone*), setelah pendinginan butir-butir kristalnya membentuk struktur pilar. Fasanya adalah  $\theta$  dengan matriks  $\alpha$ .

Pada daerah logam induk (*unaffected zone*), fasanya adalah fasa awal, logam induk biasanya adalah  $\theta$  atau GP-2 dalam matriks  $\alpha$ . Dalam paduan aluminium yang dapat dilakupanaskan didapatkan fasa-fasa kedua seperti Cu Al<sub>2</sub>, Mg<sub>2</sub>Si, Cu Mg Al<sub>2</sub>, Cu Fe Al<sub>2</sub>, dan lain-lain tergantung paduannya, yang dikenal sebagai *intermetallic compound* yang berperan dalam menaikkan kekerasan paduan aluminium tersebut sebagai presipitat.

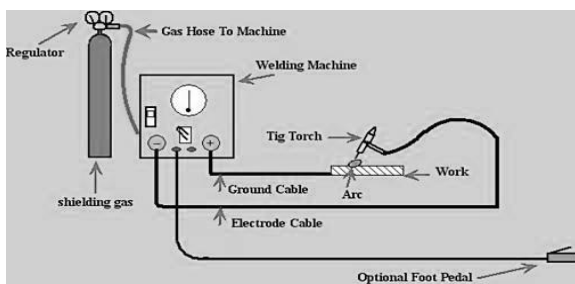
Dalam hal mampu las, dikelompok *non heat treatable alloys*, paduan Al-Si (seri 4xxx) adalah yang paling mudah dilas, bahkan lebih mudah



*Straight Polarity* dan polaritas balik DCRP (*Direct Current Reverse Polarity*).

Pada rangkaian DCSP, elektron bergerak menumbuk logam induk, sehingga panas yang ditimbulkan akan mengakibatkan penetrasi yang dalam pada logam induk. Pada pengelasan ini, diperkirakan 70% panas busur berada di daerah anoda, yakni logam induk. Hal ini menguntungkan, sehingga dengan DCSP dapat digunakan arus yang besar. Rangkaian ini pemakaiannya sangat luas dalam pengelasan GTAW.

Dalam rangkaian DCRP, karena elektroda sebagai anoda, maka elektroda akan menjadi sangat panas. Untuk ukuran elektroda yang sama dengan rangkaian DCSP, kira-kira hanya sepersepuluh arus pada rangkaian DCRP yang dapat dialirkan. Bila arus terlalu besar, maka ujung elektroda akan turut mencair dan mengubah komposisi logam cair yang dihasilkan dan karena hal ini, maka rangkaian ini kurang dianjurkan dalam pengelasan GTAW. Rangkaian proses GTAW dapat dilihat pada gambar 6.



**Gambar 6.** Rangkaian proses GTAW

Disamping itu rangkaian DCRP menghasilkan penetrasi yang dangkal dan lebar, hal ini cukup baik untuk pengelasan pelat-pelat yang tipis. Dalam proses DCRP, terjadi proses ionisasi pada gas argon yang menyelubungi dan terbentuk ion-ion Ar yang positif, yang menumbuk permukaan benda kerja sehingga dapat melepaskan lapisan oksida pada permukaan benda kerja. Peristiwa ini disebut aksi pembersihan (*cleaning action*).

Pada umumnya busur listrik arus DC kurang begitu mantap, sehingga disarankan menggunakan arus AC, untuk pengelasan logam khusus tertentu. Bila menggunakan arus AC, maka proses yang terjadi akan sama dengan menggunakan rangkaian DCSP dan DCRP yang digunakan secara bergantian. Dan hasil pengelasan akan terletak antara hasil pengelasan dengan rangkaian DCSP dan DCRP.

Dalam penggunaan arus AC, dapat terjadi ketidak seimbangan antara besar arus listrik yang mengalir saat polaritas lurus dan saat polaritas balik, yang disebabkan karena adanya kotoran dan lapisan oksida pada permukaan benda kerja (gambar 7).

Current type	DC	DC	AC (balanced)
Electrode polarity	Negative	Positive	
Electron and ion flow			
Penetration characteristics			
Oxide cleaning action	No	Yes	Yes—once every half cycle
Heat balance in the arc (approx.)	70% at work end 30% at electrode end	30% at work end 70% at electrode end	50% at work end 50% at electrode end
Penetration	Deep, narrow	Shallow, wide	Medium
Electrode capacity	Excellent e.g. 3.18 mm (1/8 in.)—400 A	Poor e.g. 6.35 mm (1/4 in.)—120 A	Good e.g. 3.18 mm (1/8 in.)—225 A

**Gambar 7.** Karakteristik tipe arus untuk las GTAW

b. Elektroda

Pengelasan proses GTAW, elektroda yang digunakan tidak terumpan (*non consumable electrode*). Bahan logam yang digunakan sebagai elektroda proses GTAW adalah tungsten (*wolfram*), karena tungsten mempunyai titik leleh yang sangat tinggi.

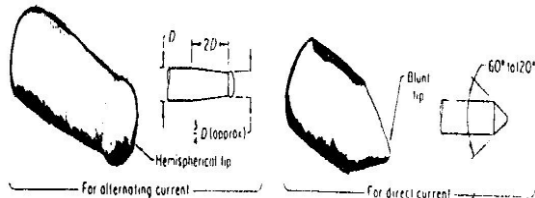
Elektroda untuk las GTAW secara garis besar dapat diklasifikasikan sebagai tungsten pure, tungsten thorium, dan tungsten zirconium. Tabel 2 berikut menunjukkan klasifikasi dan batasan komposisi kimia elektroda las GTAW dari AWS.

**Tabel 4.** Klasifikasi dan batasan komposisi kimia elektroda proses GTAW dari AWS

AWS Classification	Tungsten (%)	Thorium (%)	Zirconium (%)	Total other elements, max, (%)
EWP	99.5	-	-	0.5
EWTh-1	98.5	0.8 to 1.2	-	0.5
EWTh-2	97.5	1.7 to 2.2	-	0.5
EWTh-3	98.95	0.35 to 0.55	-	0.5
EWZr	99.2	-	0.15 to 0.40	0.5

Pada proses las GTAW paduan aluminium dengan arus AC, dianjurkan menggunakan elektroda EWP dan EWZr. Elektroda EWTh-1 terkadang juga digunakan dalam proses ini, hanya saja elektroda ini mempunyai kecenderungan untuk menetas dan mengotori logam lasan sebagai inklusi. Dengan pengalaman welder dan peralatan yang baik, inklusi dapat diperhalus dan terdispersi lebih merata. Elektroda EWTh-2 tidak umum digunakan dalam proses GTAW dengan arus AC. Dimensi dan bentuk ujung elektroda juga sangat berpengaruh terhadap hasil lasan. Bentuk bulatan terbelah (*hemispherical*) pada ujung konis akan

memberikan hasil terbaik dalam pengelasan dengan arus AC. Sedangkan pengelasan dengan arus DC, ujung elektroda sebaiknya berbentuk konis tumpul (*blunt tip*). Dimensi dan bentuk dari ujung-ujung elektroda tersebut dapat dilihat pada gambar 8 berikut ini:



**Gambar 8.** Ujung elektroda yang digunakan dalam pengelasan GTAW pada aluminium

#### c. Gas pelindung

Syarat dan fungsi utama dari gas pelindung adalah melindungi cairan lasan, elektroda, dan ujung batang *filler* yang sudah terpanaskan (jika digunakan *filler*) dari udara, juga untuk mencegah terjadinya kontaminasi dan oksidasi pada logam lasan. Gas yang biasa dipakai pada pengelasan proses GTAW adalah dari kelompok gas mulia, yakni Argon (Ar), helium (He), dan campuran Ar-He. Dari gas-gas reaktif, hanya hidrogen (H<sub>2</sub>) dan nitrogen (N<sub>2</sub>) yang dapat ditemukan dalam jumlah yang sangat terbatas.

Hidrogen ditambahkan pada Argon atau Helium dalam jumlah kecil untuk mekanisme pengelasan *stainless-steel*. Nitrogen kadang-kadang ditambahkan pada argon untuk penyambungan tembaga dan paduannya.

Pemilihan gas pelindung tergantung pada dimensi benda kerja dan tipe arus yang digunakan. Pemilihan ini dapat sangat mempengaruhi kualitas hasil lasan. Argon sebagai gas pelindung lebih sering digunakan daripada helium, karena mempunyai keuntungan-keuntungan sebagai berikut:

- 1) Lebih mudah didapatkan dan lebih murah.
- 2) *Start* pengelasan lebih mudah, busur lebih tenang, lebih lancar dan aksi pembersihan yang lebih baik.
- 3) Lebih sedikit gas yang diperlukan untuk aplikasi spesifik, atau *flow rate* gas pelindung lebih rendah untuk hasil pelindungan yang baik.
- 4) *Cross-draft resistance* yang lebih baik.
- 5) Lebih tidak berkabut, sehingga *welder* lebih mudah mengamati cairan lasan.
- 6) Tegangan busur lebih rendah untuk setiap harga arus dan busur listrik yang diberikan. (gambar 11)

Karakteristik tegangan busur yang sangat rendah inilah yang menjadikan argon sangat menguntungkan dalam pengelasan manual pelat-

pelat tipis, karena hal ini akan mengurangi kemungkinan penembusan (*burn-through*) akibat penetrasi yang terlalu dalam.

#### Pengaruh beberapa parameter pengelasan terhadap pembentukan cacat

##### a. Logam pengisi

Kriteria umum yang biasa dipakai dalam pemilihan logam pengisi adalah kemudahan untuk pengelasan, kekuatan, keuletan, ketahanan korosi, kombinasi logam induk-logam pengisi, dan kesesuaian warna hasil *anodisasi*.

##### b. Kontruksi Sambungan Lasan Paduan Aluminium

Pada dasarnya, konstruksi sambungan lasan aluminium mirip dengan baja. Tetapi, lebih besarnya fluiditas cairan aluminium selama pengelasan dibandingkan baja, membuatnya sedikit berbeda. Misalnya pada sambungan pelat tipis, celah akar lebih sempit dibanding baja. Bila digunakan proses GTAW dengan DCSP, permukaan akar lebih tebal, dan kampuh lebih sempit.

##### c. Pemanasan Mula

Pemanasan mula (*pre-heating*) pada pengelasan paduan aluminium dengan proses GTAW, bisa dilakukan bila temperatur benda kerja dibawah -10°C dan massa pendingin terlalu besar.

Pemanasan mula akan menguntungkan pada pengelasan GTAW dengan ACHF, dengan ketebalan pelat sekitar 4,5 mm. untuk pengelasan GTAW dan DCRP, karena pemakaiannya terbatas untuk pelat tipis, pemanasan mula tidak diperlukan. Begitu juga pengelasan GTAW dengan DCSP, walaupun benda kerja tebal, pemanasan mula tidak diperlukan karena panas pengelasan sebagian besar ada di benda kerja.

Pemanasan mula pada aluminium paduan tempa, biasanya dilakukan pada temperatur sedikit diatas 150 s/d 200°C akan mengurangi ketahanan retak akibat tegangan korosi (*stress sorrosion cracking*).

Selain itu, laju pendinginan menjadi lebih lambat, ini berarti mengurangi resiko terjadinya retak dan porositas.

Pemanasan mula juga memberikan keuntungan lain, seperti misalnya menghilangkan uap air di permukaan benda kerja, dan memperdalam penetrasi pengelasan, sehingga akan mengurangi kemungkinan terjadinya ketidaksempurnaan penetrasi dan fusi.

##### d. Parameter-Parameter Pengelasan Proses GTAW

Dalam pengelasan proses GTAW, parameter-parameter yang mempengaruhi hasil lasan dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- 1) Parameter benda kerja (*base metal*)
  - a) Komposisi kimia
  - b) Sifat fisik:
    - (1) konduktivitas thermal
    - (2) konduktivitas listrik
    - (3) titik leleh
    - (4) potensial reduksi
    - (5) sifat magnet bahan
  - c) Dimensi
  - d) Konstruksi sambungan
  - e) Kondisi fisik:
    - (1) kehalusan permukaan
    - (2) tebal lapisan oksida
    - (3) kebersihan
    - (4) dan lain-lain.
  - f) Posisi : *flat, horizontal, vertikal* dan *overhead*
    - (1) Temper awal
    - (2) Kondisi temper
- 2) Parameter Alat
  - a) Energi Input:
    - (1) tegangan (*Volt*)
    - (2) arus (*Ampere*)
    - (3) kecepatan pengelasan
  - b) *Type* arus pengelasan (AC, DCSP, atau DCRP)
  - c) Gas pelindung : (Ar, He, Ar+He, dan *Flow rate*)
  - d) Elektroda
  - e) *Torch*
- 3) Parameter *Welder*
  - a) Pengalaman
  - b) Keterampilan
  - c) Pengetahuan
  - d) Karakter individual
- 4) Parameter Luas
  - a) Kelembaban
  - b) Temperatur ruangan
  - c) Kecepatan pendinginan
  - d) Bahan pengisi (*filler*)
- e. Ketidaksempurnaan Lasan dalam Pengelasan proses GTAW pada Aluminium
 

Kegagalan dalam pengelasan aluminium dapat terjadi karena banyak sebab, dan seringkali kegagalan pengelasan dihubungkan dengan metode persiapan dan prosedur atau teknik pengelasan. Ketidaksempurnaan atau cacat lasan berupa porositas dan retak adalah yang paling sering terjadi. Oleh karena pada penelitian ini menitik beratkan pada porositas, maka dibahas secara terpisah dalam uraian berikut ini.

### Porositas

Porositas terjadi karena adanya gas yang terjebak didalam logam lasan yang sedang

membeku. Gas tersebut tidak sempat keluar karena kecepatan pendinginan yang lebih tinggi. Pada pengelasan aluminium seri 6061, penggunaan alat bantu (*fixture/jig*) dari bahan baja karbon akan menyebabkan penyimpangan-penyimpangan pada busur listrik (*arc blow*) yang disebabkan karena terganggunya medan magnet disekitar busur.

Cara terbaik dan termudah untuk menghindari porositas adalah mencuci bersih benda kerja dan menjaga semua peralatan dalam keadaan kering dan bersih.

Pencegahan timbulnya porositas selama pengelasan, dapat dilakukan dengan cara mempertahankan kecepatan pendinginan yang lambat dan konstan. Beberapa porositas yang sering terjadi antara lain:

- a. Porositas pada deposit las
 

Ahli-ahli metalurgi las telah sependapat bahwa problem porositas yang terjadi pada pengelasan aluminium melibatkan gas hidrogen sebagai penyebab utama. Hal ini didukung oleh hasil penelitian mereka seperti terlihat pada gambar 2.9 memperlihatkan meningkatnya porositas dengan mengikutnya kontaminasi hidrogen.



**Gambar 9.** Penampang melintang deposit las diatas plate 1100 dengan *filler metal* 4340, pembesaran X5, etsa HF

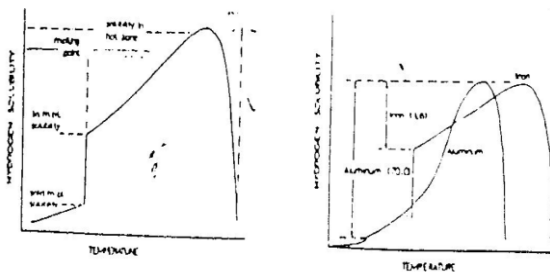
Porositas pada pembekuan logam dapat disebabkan oleh dua hal, pertama, pelepasan gas pada *interface solid/liquid*. Kedua, kejenuhan gas yang menyebabkan timbulnya gelembung gas. Tingkat porositas pada deposit las dapat dikontrol oleh empat faktor:

- a) Kandungan hidrogen yang berasal dari material
  - b) Kecepatan absorpsi hidrogen dalam material
  - c) Kemampuan menampung gas hidrogen dalam larutan padat material padat
  - d) Kecepatan dimana gas dapat terlepas dari material.
- b. Pembentukan porositas di deposit las
 

Disosiasi uap air didalam busur las dapat menghasilkan baik atomik maupun molekuler hidrogen, sesuai dengan Hukum Sievert, bahwa: kelarutan hidrogen proporsional dengan tekanan parsial hidrogen, jumlah hidrogen terdisosiasi.

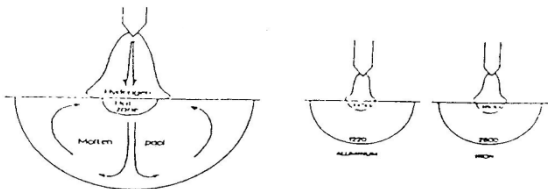
Temperatur ditunjukkan pada gambar 2.13 Gas-gas yang larut pada temperatur tinggi

digerakkan dengan cepat keseluruh bagian dalam cawan las dengan gaya elektro magnetik pada temperatur tinggi dibawah busur listrik las. Ilustrasi ini diperlihatkan oleh gambar 10(a) dan 10(b). Dibawah busur listrik ini kandungan hidrogen lebih besar dibandingkan kandungan hidrogen pada titik lebur. Untuk logam dengan titik lebur rendah seperti aluminium, temperatur dibawah busur listrik menjadi sangat tinggi (*superheated*), sehingga logam cair dekat zona ini (cawan las) menjadi jenuh dengan kandungan hidrogen. Sehingga gelembung gas akan tumbuh tanpa adanya bantuan selama pembekuan. Aluminium cair dapat menampung 70x kandungan hidrogen pada *melting point*.



Sumber : *Welding journal*. March 1994

**Gambar 10 (a).** Hubungan hidrogen terlarut dengan temperatur. ( )



Sumber : *Welding journal*. March 1994

**Gambar 10 (b).** Tipe distribusi temperatur dibusur las

Gas-gas yang sudah larut pada temperatur tinggi di deposit las, kemudian ditransfer ke bagian temperatur yang lebih rendah akan membentuk larutan padat super jenuh. Keadaan normal ini akan menyebabkan gas berevolusi. Evolusi akan terjadi apabila terdapat derajat kejenuhan dan inti yang sesuai.

Kelompok atom hidrogen (*cluster*) dapat atau mempunyai kesempatan keluar dari larutan padat dan mengendap selama proses pembekuan. Karena kelarutan hidrogen dalam aluminium cair adalah 7cc/100 g dan dalam keadaan padat 0.2 cc/100 g, maksimum aluminium dapat menampung hidrogen 20 ml/100 g pada suhu 2050°C, maka gas hidrogen akan membentuk inti pori

yang mungkin stabil atau tidak sesuai persamaan *Sievert*.

Apabila inti terjadi jauh dari perbatasan logam induk dan deposit las (batas las), maka kemungkinan gelembung gas dapat dilepaskan. Sedangkan apabila pengintian terjadi di atas batas las, maka kemungkinan besar gas akan terperangkap.

Pengintian dibatas las adalah hasil interaksi antara logam las cair yang tercampur dengan logam induk yang ikut mencair. Gelembung gas yang terperangkap tersebut dapat membentuk cacat gas terlokalisir.

Selanjutnya pori yang stabil akan tumbuh pada faktor tersebut di bawah ini:

- a) Kecepatan pembekuan logam las
- b) Kecepatan difusi hidrogen
- c) Konsentrasi hidrogen dideposit las
- d) Konsentrasi pori yang stabil
- e) Hal yang khusus dalam pembekuan logam gas

c. Meminimumkan Porositas Gas

Dalam logam cair biasanya gelembung hidrogen dapat terjadi dengan stabil, jika tekanan dalam gelembung tersebut sama ke semua arah atau lebih besar dari tekanan luarnya.

$$P_{dal} > P_{atm} + P_{met} + 2 \frac{\gamma}{r} \dots\dots\dots ( 1 )$$

Dimana :

$P_{dal}$  = Tekanan dalam gelembung gas

$P_{atm}$  = Tekanan atmosfer

$P_{met}$  = Tekanan metalostatik

$2 \gamma/r$  = Tegangan permukaan gelembung

Keseimbangan tekanan hidrogen didalam gelembung gas didapat dari, Hukum Sievert,

$$P_{dal} = (CH/So)^2 \dots\dots\dots ( 2 )$$

Dimana :

CH = Konsentrasi gas hidrogen

So = Kelarutan gas

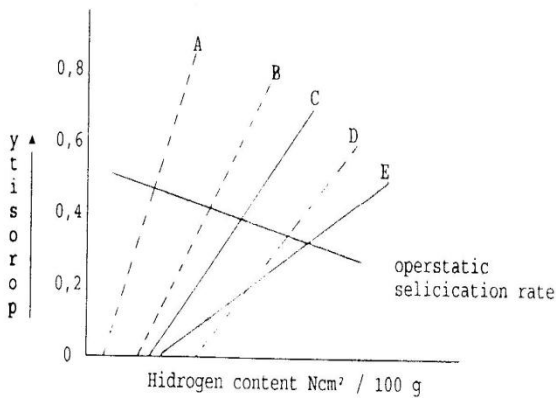
Untuk pengintian gelembung gas,

$$(CH/So)^2 > P_{atm} + P_{met} + 2 \frac{\gamma}{r} \dots\dots\dots ( 3 )$$

Artinya bahwa tekanan dalam gelembung yang dapat membentuk pori dengan diameter ± 0,1 mm adalah 1,4 atm dan sebanding kandungan hydrogen terlarut 0,8 Ncm<sup>3</sup>/100 g pada 660°C dan 1,4 Ncm<sup>3</sup> pada 750°C. Sedangkan selisih normal kandungan hydrogen terlarut (0,11 – 0,5 Ncm<sup>3</sup>/100 g) terletak dibawah nilai tersebut.

Apabila kandungan hydrogen terlarut didalam logam cair berada dalam keseimbangan dengan tekanan parsial hidrogen yaitu 1,2 – 1,5 atm, 0,75 – 0,82 Ncm<sup>3</sup> / 100 g pada 660°C. kandungan kritis ini akan menurun dengan adanya pengintian di dalam larutan, dimana merupakan kondisi yang baik untuk pengintian gelembung.

Menurunnya kecepatan pembekuan, naiknya waktu yang tersedia untuk hidrogen membentuk inti gelembung dan tumbuh menjadi gelembung dan juga memperlebar daerah pembekuan, cenderung membentuk porositas, lihat gambar 11 grafik berikut ini:



**Gambar 11.** Naiknya pembekuan untuk melepaskan hidrogen terlarut

Kehilangan hidrogen akibat evaporasi dari aluminium cair sangat kecil, kecuali kecepatan pembekuan yang rendah dan kandungan hidrogen terlarut imbang untuk membentuk pori tergantung pada komposisi larutan, kebersihan logam dan kecepatan dari mode pembekuan.

Dikarenakan kelarutan gas dalam padat lebih rendah dari pada logam cair, maka gas-gas tersebut dilepaskan selama proses pembekuan dari larutan dan terperangkap di dalam struktur padat. Pelepasan gas dapat terjadi baik selama proses pembekuan maupun beberapa saat setelah pembekuan terjadi sehingga menghasilkan dua jenis porositas yang berbeda yaitu interdendritik porositas dan interdendritikporositas sekunder

- d. Pembersihan sebelum pengelasan  
Kondisi yang disyaratkan untuk daerah yang akan dilas antara lain adalah bersih dari bram atau partikel-partikel logam, bersih dari air dan zat organik, dan pemasangan sambungannya betul-betul fit dan seragam. Pembersihan (*cleaning*) sebelum pengelasan akan mengoptimalkan kualitas lasan. Proses ini sangat diperlukan terutama untuk pengelasan dengan DCSP, meskipun persyaratan tinggi kualitas lasan tidak selalu dibutuhkan.

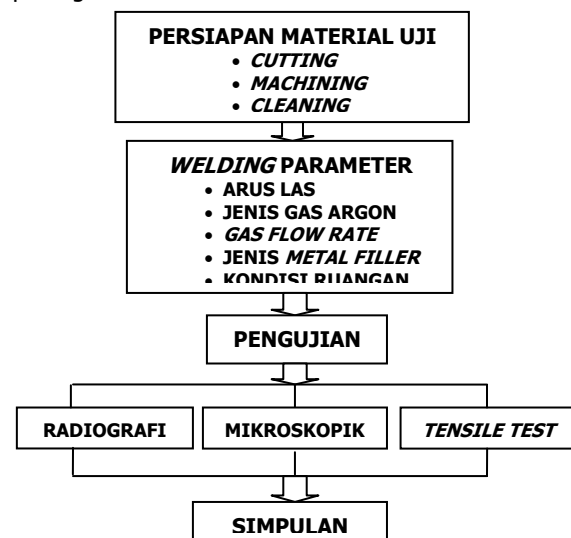
Pengotor permukaan yang harus dibersihkan meliputi kotoran-kotoran, partikel-parikel metal, uap air, dan lapisan tebal oksida. Sumber pengotor lain adalah lapisan pada filler. Logam induk dari paduan seri 5xxx dan

6xxx memiliki lapisan oksida yang lebih tebal dibandingkan dengan seri 1100 dan 3003. Kotoran di permukaan bisa dicuci dengan air sabun, kemudian dikeringkan. Sedangkan lemak dan minyak di permukaan dapat dibersihkan dengan *butyl alcohol*, *nafta*, *asetone*, *carbon*, *tetrachloride*, dan *trichlorethylene*.

Lapisan oksida yang tebal, dapat dihilangkan dengan cara pembersihan secara mekanik seperti dengan sikat kawat, *steel wool* dan lain-lain. Untuk menghilangkan lapisan oksida dengan cara kimia, dapat dilakukan dengan pencelupan pada *butyl alkohol-asam fosfat* ( $H_2SO_4$ ) atau larutan sejenis, kemudian dicuci dengan air dan dikeringkan dengan udara panas.

**III. METODE PENELITIAN**

Metode penelitian dalam menganalisis porositas pada aluminium dengan proses pengelasan proses GTAW diawali dengan pengamatan lapangan (*survey*) dalam rangka mencari data awal kesulitan *welder* dalam proses pengelasan aluminium yang mengalami porositas. Setelah diperoleh data awal, langkah selanjutnya adalah melakukan studi literatur, tentang karakteristik aluminium dalam pengelasan, klasifikasi aluminium dan aluminium paduan seri 6061 atau aluminium paduan Mg-Si. Metalografi, dan pengujian mekanik. Sehingga diharapkan dapat memperoleh mekanisme terjadinya cacat porositas dan cara mengatasinya. Diagram alir metodologi penelitian dapat dilihat pada gambar 12.



**Gambar 12.** Diagram alir metodologi penelitian

Dalam penelitian ini pengelasan yang dilakukan adalah:

1. Menggunakan mesin las *GTAW – AC* dan sebagai gas pelindungnya adalah gas *Argon (Ar)*.
2. Penelitian dititik beratkan pada pengaruh proses *cleaning* terhadap hasil pengelasan *Aluminium Clad 6061*.
3. Membandingkan proses *cleaning* dengan proses tanpa *cleaning* pada *base metal* sehingga dapat diketahui hasil yang baik dari kedua proses tersebut untuk dapat diaplikasikan.
4. Mempelajari mekanisme pembentukan porositas dan tanpa mengabaikan ketentuan-ketentuan setiap pengelasan aluminium paduan, khususnya *Al-Clad 6061* yang dapat mempengaruhi terhadap pembentukan porositas.
5. Melakukan pemeriksaan terhadap deposit las yang dihasilkan dengan metode pemeriksaan radiografi, pemeriksaan mikroskopik, dan pengujian takik.

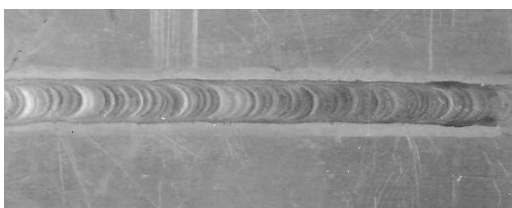
#### IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pemeriksaan yang dilakukan dengan cara *radiography*, mikroskopik, dan uji tarik, maka hasil pengelasan dapat dilihat dan dianalisa sesuai pengaruh yang terjadi akibat dilakukannya proses pembersihan (*cleaning*) sebelum pengelasan.

##### 1. Pemeriksaan dengan Radiography (X-Ray)

- a. *Specimen A* (dengan proses *cleaning*)
  - 1) Tidak ditemukan adanya porositas
  - 2) Tidak ditemukan adanya retak
  - 3) Tidak mengalami kesalahan endapan pengelasan dengan penetrasi 100 %

Simpulan hasil foto *radiography* untuk spesimen A adalah baik dan dapat diterima (gambar 13).

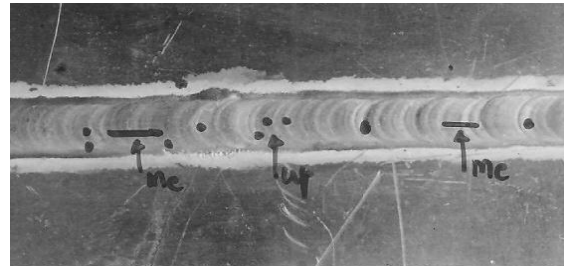


**Gambar 13.** Detil lasan tanpa cacat pada specimen A

- b. Spesimen B (*tanpa proses cleaning*)
  - 1) Ditemukan adanya retak seluas 8 mm<sup>2</sup> (0,76 %) dari luas pengelasan hasil percobaan.
  - 2) Ditemukan adanya *internal undercut* seluas 8 mm<sup>2</sup> (0,76 %) dari luas pengelasan hasil percobaan.

- 3) Ditemukan adanya porositas dengan ukuran 1/16 inc sebanyak 8 buah, 1/8 inc sebanyak 2 buah atau luas porositas yang terjadi 19,05 mm<sup>2</sup> (1,81 %).

Simpulan hasil foto radiografi untuk spesimen B ini ditemukan cacat sebesar 3,23 % dari luas 1050 mm<sup>2</sup>, dan hasil tersebut adalah jelek dan tidak dapat diterima (gambar 14).



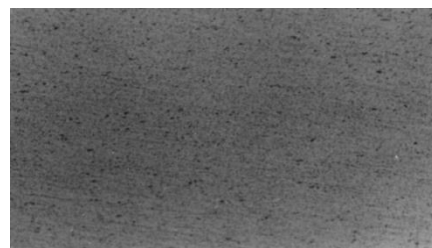
**Gambar 14.** Detil Cacat lasan pada spesimen B

##### 2. Pemeriksaan Dengan Mikroskopik

Dengan pembesaran 250 X, pemeriksaan dilakukan pada 3 daerah, yaitu :

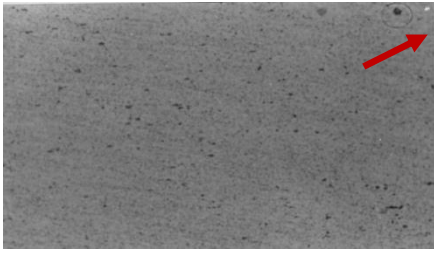
###### a. Daerah Logam Induk (Base Metal)

- 1) Spesimen A (dengan proses *cleaning*)  
Butir-butir Aluminium yang berisi partikel-partikel Mg<sub>2</sub>Si lebih halus dan merata (bintik-bintik hitam, lihat foto hasil mikroskopik gambar 15 berikut ini:



**Gambar 15.** Specimen A, daerah logam induk, pembesaran 250 X, Etsa *Keller Reagent*

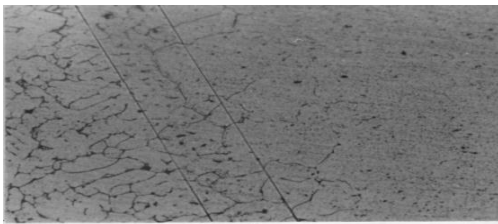
- 2) Spesimen B (*tanpa proses cleaning*)
  - a) Butir-butir Aluminium yang berisi partikel-partikel Mg<sub>2</sub>Si lebih kasar dan tidak merata (bintik-bintik hitam)
  - b) Terdapat *cluster porosity* (bintik hitam dalam lingkaran), lihat hasil foto mikroskopik gambar 16 berikut ini:



**Gambar 16.** Spesimen B, daerah logam induk, pembesaran 250 X, Etsa *Keller Reagent*

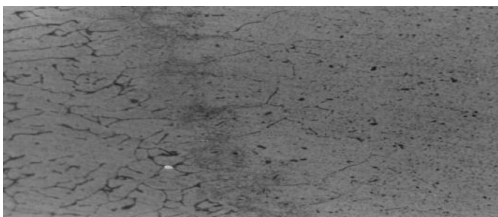
**b. Daerah Pengaruh Panas (*Heat Affective Zone*)**

- 1) Spesimen A (dengan *proses cleaning*)
  - a) Pada daerah ini terlihat bahwa butir-butir Aluminium lebih besar
  - b) Pada batas antara logam induk dengan HAZ tidak ada kontaminasi dengan unsur lain (**garis potongan A-B**)
  - c) Jaringan interdendritik Al-Mg<sub>2</sub>Si eutektik lebih rapat, lihat hasil foto mikroskopik gambar 17. berikut ini:



**Gambar 17.** Spesimen A, daerah HAZ, pembesaran 250X, Etsa *Keller Reagent*

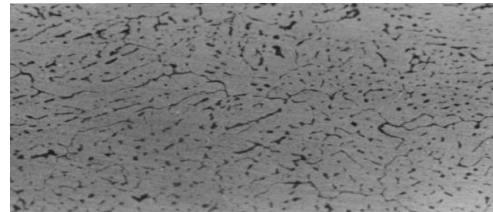
- 2) Spesimen B (*tanpa proses cleaning*)
  - a) Adanya kontaminasi dengan unsur lain pada daerah HAZ, antara daerah HAZ dengan logam induk (**lihat garis potongan A-B**)
  - b) Jaringan interdendritik Al-Mg<sub>2</sub>Si eutektik lebih renggang dibandingkan pada spesimen A, lihat hasil foto mikroskopik gambar 18 berikut ini:



**Gambar 18.** Spesimen B, daerah HAZ, pembesaran 250X, Etsa *Keller Reagent*

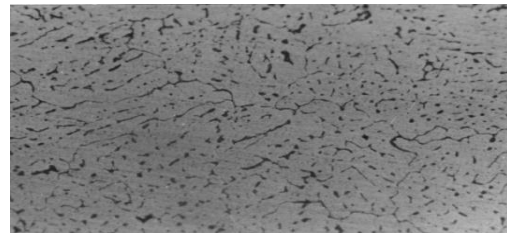
**c. Daerah Logam Lasan**

- 1) Spesimen A (dengan *proses cleaning*)
  - a) Butir-butir aluminium lebih rapat
  - b) Jaringan interdendritik Al-Mg<sub>2</sub> Al<sub>3</sub> eutektik tersusun lebih solid, lihat hasil foto mikroskopik gambar 19 berikut ini:



**Gambar 19.** Spesimen A, daerah HAZ, pembesaran 250X, Etsa *Keller Reagent*

- 2) Spesimen B (*tanpa proses cleaning*)
  - a) Butir-butir aluminium lebih besar
  - b) Jaringan interdendritik Al-Mg<sub>2</sub> Al<sub>3</sub> eutektik tersusun tidak solid, lihat hasil foto mikroskopik gambar 20 berikut ini:



**Gambar 20.** Spesimen B, daerah HAZ, pembesaran 250X, Etsa *Keller Reagent*

**3. Pemeriksaan Uji Tarik**

Mengetahui salah satu sifat mekanis dari logam uji, maka dilakukan pengujian tarik dengan mesin uji tarik merk *MAEKAWA TYPE MR-10-CT, NO.PROD 6553 MFG CO. TOKYO JAPAN* seperti pada gambar 21 berikut ini:

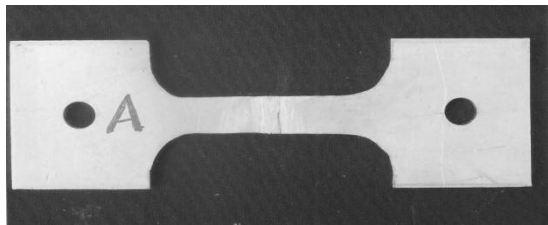


**Gambar 21.** Mesin uji tarik/*tensile test*

Setelah dilakukan pengujian menghasilkan data sebagai berikut:

a. *Spesimen A*

*Tensile test* maksimum (putus) dengan kekuatan 22,30 Kgf/mm<sup>2</sup>, mendekati daerah HAZ, lihat gambar 22 berikut ini:



**Gambar 22.** Material Uji Tarik Spesimen A

b. *Spesimen B*

*Tensile test* maksimum (putus) dengan kekuatan 20,80 Kgf/mm<sup>2</sup>, di tengah-tengah daerah lasan (gambar 23).



**Gambar 23.** Material Uji Tarik Spesimen B

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari hasil analisa dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Pengaruh dari proses pembersihan (*cleaning*) pada pengelasan *Aluminium Clad* seri 6061 adalah: material mengalami perubahan struktur mikro yang lebih baik dan solid. Hal tersebut dapat dilihat dari hasil pemeriksaan dengan cara radiografi yaitu: adanya porositas sebesar 1,81%, *internal undercut* 0,76%, retak lasan 0,76%, atau material percobaan tanpa proses pembersihan (*cleaning*) mengalami kerusakan sebesar 3,23% dari luas pengelasan hasil percobaan yang mengakibatkan benda kerja menjadi dikategorikan rusak atau *reject* untuk spesimen B, dengan demikian spesimen A dapat diterima atau *accepted* karena cacat yang terjadi masih masuk dalam kriteria. Pada spesimen B membuktikan adanya gas hidrogen yang terperangkap di dalam logam lasan, sehingga membentuk pori-pori.
2. Pada pemeriksaan mikro struktur terlihat ada perubahan struktur yang sangat berbeda sekali antara spesimen A dan B. pada spesimen A butiran Al-Mg<sub>2</sub> Si<sub>3</sub> eutetik lebih halus dan lebih solid dibandingkan dengan

spesimen B. ini membuktikan bahwa pada spesimen B telah terjadi kontaminasi dengan zat-zat lain.

3. Hasil pengujian detruktif dengan cara uji tarik, membuktikan bahwa kekuatan spesimen A yaitu sebesar 22,30 Kgf/ mm<sup>2</sup> lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan spesimen B sebesar 20,80 Kgf/ mm<sup>2</sup>, ini membuktikan bahwa pada spesimen B terjadi kontaminasi dan pengaruh unsur-unsur lain menjadikan spesimen B lemah.
4. Dari hasil percobaan yang dilakukan ternyata dengan proses pembersihan (*cleaning*), porositas pada deposit las dapat dihilangkan.

### Saran

Dari hasil pengujian yang dilakukan dapat diberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Setiap melakukan pengelasan *Aluminium Clad* 6061 seharusnya dilakukan proses pembersihan (*cleaning*) terlebih dahulu, agar konstruksi lasan yang dihasilkan dapat meminimumkan terjadinya porositas, *cluster* maupun *internal undercut*, hingga kekuatan tarik yang dihasilkan akan lebih besar.
2. Tidak menunda proses pengelasan, setelah dilakukan proses pembersihan (*cleaning*), agar tidak terkontaminasi lagi dengan kotoran dan reksi kimia lainnya.
3. Sebaiknya dilakukan lagi pengujian lebih lanjut dengan data percobaan yang lebih bervariasi. Untuk menghasilkan yang lebih sempurna lagi, serta penggunaan parameter-parameter lainnya pada proses pengelasan Aluminium.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Aluminium Standard and Data* 1988, *The Aluminium Association*, Amerika Serikat
- Atenpol, 1982. *"Aluminium Viewed From Within"*, 1<sup>st</sup>, Edistion Dusseldorf
- Giachino, JW. Weeks, W. John GS, 1977 *"Welding Technology"* 2<sup>nd</sup>, Ed, American Technical Society, Chicago
- Hermann Schumann, 1989 *"Metallographie"* VEB Deutscherverly Fur Grundshoff industrie, Leipzy
- Harsono Wiryonosumarto, Toshi Okumura, 1979. *"Teknologi Pengelasan Logam"*, PT.Pradnya Paramita Jakarta
- Tata Surdia, Shinroku Saito. 1993 *"Pengetahuan Bahan Teknik"*, PT. Pradnya Paramita Jakarta
- \_\_\_\_\_, *Undang-undang Sisdiknas No.20 Tahun 2003*
- \_\_\_\_\_, 1992 *"Gas Shielded Tungsten Arc Welding"* Royal Melbourne Institute of Technology, Technical Collage, Departement of Welding Technology.
- \_\_\_\_\_, 1988 *"Aluminium Standard and Data"*, The Aluminium Standard, Amerika
- Welding Journal, 1994, Porosity and Hydrogen Absorbsion in Aluminium Welds*
- W.J.S. Poerwadarminta, 1984, *"Kamus Besar Bahasa Indonesia"* Pusat Perbukuna Depdikbud Jakarta