



STUDI PENGARUH TiO_2 - SiO_2 SEBAGAI *ACTIVE FLUX* TERHADAP PENETRASI PENGELASAN A-TIG PADA MATERIAL ALUMINIUM SERI 5083-H116

Wisnu Yulianto Nugroho^{a*}

^aTeknologi Manufaktur, Fakultas Vokasi, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

*E-mail koresponden: wisnuyuliantonugroho@untag-sby.ac.id

ABSTRACT

A-TIG welding is one of methods to enhance weld penetration and DWR value in GTAW/TIG welding, flux or active flux is used in this method. Flux types used are oxides, because oxides are able to enhance penetration by changing a surface tension on the weld pool and enhance arc density. This research uses active flux TiO_2 and SiO_2 , where they will be mixed to cast about effective composition to enhance welding penetration A-TIG in aluminium 5083-H116. In this research, the composition of active flux will be mixed in percentages of 30 gram weight: 100% TiO_2 ; 80% TiO_2 - 20% SiO_2 ; 60% TiO_2 - 40% SiO_2 ; 40% TiO_2 - 60% SiO_2 ; 20% TiO_2 - 80% SiO_2 ; and 100% SiO_2 . Thereafter, each composition will be dissolved by 10 ml ethanol to be coated on the surface of aluminium 5083-H116 and the welding technique used is autogenous welding. From the visual results after welding, it can be concluded that the more SiO_2 content, the more welding defects that exist in the weld bead referring to the AWS D1.2 standard and also the more spatter produced and the resulting deeper penetration. The effective composition is 80% TiO_2 -20% SiO_2 because it has a penetration increase of 220% and the resulting weld bead has no defects.

Keywords: A-TIG, Active Flux, DWR, Penetrasi

Abstrak

Pengelasan A-TIG merupakan salah satu metode untuk meningkatkan nilai penetrasi dan DWR pada pengelasan GTAW/TIG, dalam aplikasinya metode ini menggunakan sejumlah flux disebut sebagai *active flux*. Jenis flux yang digunakan merupakan jenis flux oksida, karena oksida dapat meningkatkan penetrasi dengan cara merubah tegangan permukaan pada *weld pool* dan meningkatkan densitas arc. Dalam penelitian ini flux yang digunakan adalah TiO_2 dan SiO_2 yang mana akan dipadukan untuk mencari tingkat paduan efektif dalam meningkatkan penetrasi pengelasan A-TIG material aluminium 5083-H116. Dalam prakteknya *active flux* ini akan di padukan dengan persentase dalam berat 30 gram: 100% TiO_2 ; 80% TiO_2 - 20% SiO_2 ; 60% TiO_2 - 40% SiO_2 ; 40% TiO_2 - 60% SiO_2 ; 20% TiO_2 - 80% SiO_2 ; and 100% SiO_2 . kemudian masing-masing paduan akan dilarutkan kedalam 10 ml methanol yang selanjutnya dilakukan proses pengelasan autogenous pada material aluminium 5083-H116. Dari hasil visual setelah pengelasan diperoleh kesimpulan bahwa semakin banyak kandungan SiO_2 maka semakin banyak cacat pengelasan yang ada pada *weld bead* jika di tinjau dari standar AWS D1.2 dan juga semakin banyak *spatter* yang dihasilkan serta penetrasi yang dihasilkan semakin dalam. Komposisi efektif yang didapat adalah 80% TiO_2 -20% SiO_2 karena memiliki peningkatan penetrasi 220% dan *weld bead* yang dihasilkan tidak ada cacat.

Kata Kunci: A-TIG, Active Flux, DWR, Penetrasi.

1. PENDAHULUAN

Material logam aluminium telah banyak digunakan dalam berbagai sektor industri, terutama pada sektor manufaktur dimana salah satu teknik manufaktur yang sering digunakan adalah proses pengelasan. Proses pengelasan pada material aluminium menjadi salah satu tantangan, karena dalam proses pengelasannya memiliki kesulitan dalam mendapatkan hasil penetrasi yang baik terutama pada proses pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) atau biasa juga disebut TIG (*Tungsten Inert Gas*), dimana proses pengelasan ini memiliki nilai efisiensi panas yang rendah yaitu hanya berkisar 30% [1] yang menyebabkan energi panas yang diberikan untuk mengelas material tidak terlalu tinggi dan penetrasi yang diperoleh juga tidak terlalu dalam.

Salah satu metode yang digunakan untuk meningkatkan penetrasi dan DWR (*Deep to Width Ratio*) adalah dengan menggunakan proses pengelasan A-TIG, yaitu modifikasi metode pengelasan GTAW/TIG dengan memberikan tambahan oksida ke dalam proses pengelasan, diantara oksida yang sering digunakan yaitu TiO₂, SiO₂, Fe₂O₃, Cr₂O₃, Al₂O₃, hanya oksida TiO₂ yang memberikan tingkat kestabilan yang baik sedangkan SiO₂ memberikan penetrasi yang lebih dalam [1]. Untuk pengaplikasiannya, oksida ini terlebih dahulu dibuat menjadi pasta dengan menambahkan methanol sebagai pelarut, dimana tingkat viskositas dari pelarut ini (*solvent*) sangat mempengaruhi nilai kerapatan lapisan yang nantinya juga akan memberikan efek terhadap tingkat penetrasi pengelasan [2]. Dari penggunaan metode pengelasan A-TIG kedalam material Aluminium, diharapkan hasil penetrasi pengelasan akan meningkat sehingga akan menurunkan biaya persiapan sambungan las atau pembuatan kampuh las.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Aluminium 5083-H116

Material aluminium seri 5083-H116 merupakan jenis aluminium paduan Al-Mg yang memiliki unsur penguat utama magnesium, Mg dapat memberikan kenaikan nilai kekuatan dan keuletan aluminium melalui proses *solid solution strengthening* (Mathers, 2002), dimana kode H116 memberikan spesial *strain-hardened*, dan memberikan kombinasi pada *cold work* dan *heat treatment*, khususnya untuk membuat ketahanan terhadap korosi yang disebabkan oleh air dan lingkungan sekitarnya dengan kelembaban tinggi serta untuk memperkecil kemungkinan terhadap pengaruh *stress corrosion sensitization* dari paparan temperatur tinggi (Kaufman, 2000). Untuk komposisi kimia dan sifat mekanik material dapat dilihat pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3.

Tabel 1 Komposisi kimia aluminium 5083 [3]

Alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Other elemen (D)		Aluminum
									Each	Total (E)	
5083	0.45	0.40	0.10	0.40 - 1.0	4.0 - 4.9	0.05 - 0.25	0.25	0.15	0.05	0.15	Balance

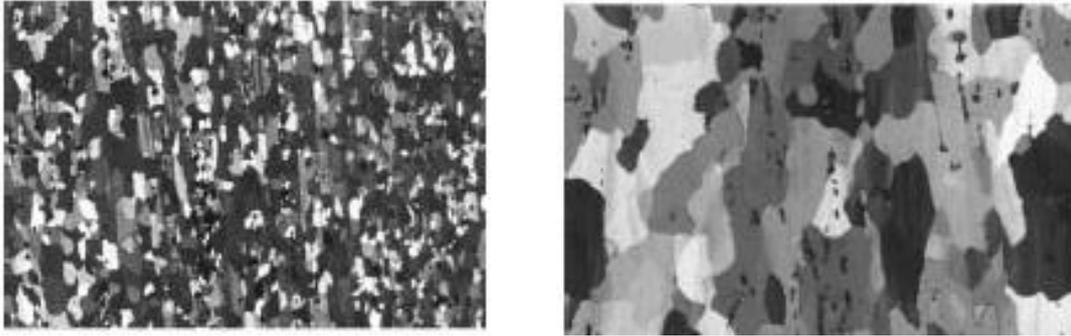
Keterangan:

- D. Tidak ada batasan spesifik ditunjukkan untuk elemen lainnya yang telah terdaftar, serta elemen logam yang tidak terdaftar, tetapi tidak termasuk elemen yang menunjukkan batas komposisi dalam catatan dibawah. Sebuah prosedur dapat menganalisa *sample* elemen yang tidak ditentukan dalam spesifikasi. Akan analisa seperti itu tidak dibutuhkan dan mungkin tidak mencakup elemen logam lainnya, seharusnya ada analisa tertentu oleh produsen dan pembeli bahwa sebuah unsur lainnya melebihi batas pada setiap atau jumlah untuk unsur tertentu yang melebihi batas total, sebuah material harus memperhatikan ketidak sesuaian.
- E. Jumlah elemen lainnya dapat dijumlah dengan elemen logam yang tidak ditentukan berkisar 0.010% atau lebih, dibulatkan ke desimal kedua sebelum menentukan jumlahnya.
- F. 0.05 hingga 0.25 Zr.
- G. 0.20 Zr max

Tabel 2 Batas sifat mekanik *longitudinal* (Satuan Internasional) [3]

Alloy 5083								
Temper	Specified Thickness, mm		Tensile Strength, MPa		Yield Strength (0.2% offset) MPa		Elongation, min, %	
	over	through	min	max	min	max	In 50 mm	In 5xdiameter
H116	1.6	12.5	305	385	215	-	10	-
	12.5	30	305	385	215	-	10	-
	30	40	305	385	215	-	-	10
	40	80	285	385	215	-	-	10

Struktur mikro pada aluminium seri 5xxx dapat dilihat pada Gambar 1 yang merupakan contoh pola struktur mikro pada aluminium 5083

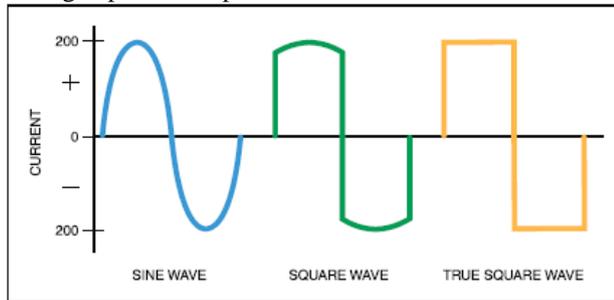


Gambar 1 Struktur mikro aluminium 5083 [4]

2.2. Pengelasan GTAW/TIG

Pengelasan GTAW/TIG merupakan pengelasan elektroda berupa tungsten murni atau paduan yang berada di dalam *torch* dengan menggunakan gas pelindung yang berfungsi untuk melindungi logam lasan dari kontaminasi udara sekitar. Arus pengelasan yang dapat digunakan ada dua jenis yaitu AC dan DC dengan kelebihan masing-masing, pada pengelasan material aluminium, arus yang digunakan bisa AC dan DC dengan polaritas + atau biasa disebut sebagai DCEP.

Arus AC merupakan polaritas yang sering digunakan untuk mengelas material aluminium. Dimana penghilangan lapisan oksida pada permukaan *aluminum alloys* oleh *cleaning action* yang dilakukan bagian gelombang positif pada AC, sedangkan bagian negatif memberikan kedalaman penetrasi dari proses pengelasan. Untuk gas pelindung pada pengelasan AC dapat berupa 100% argon, 100% helium atau campuran antara argon dengan helium. Pada teknologi yang terbaru untuk pengelasan GTAW dengan arus AC memiliki bentuk gelombang yang berbeda yaitu: *sine wave*, *square wave* dan *true square wave*. Bentuk gelombang dari tiap jenis gelombang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Bentuk gelombang *sine wave*, *square wave* dan *true square wave*. [5]

Masing-masing bentuk gelombang pada arus AC memiliki *cleaning action* hanya saja yang membedakan lamanya waktu gelombang berada di daerah positif untuk merusak lapisan pasif (*passive layer*) yang berada di permukaan aluminium.

2.3. Elektroda

Berdasarkan komposisi kimianya, elektroda dibagi menjadi beberapa jenis yaitu *pure tungsten*, *lanthanated*, *zirconiated*, *ceriated*, dan *thoriated* yang dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 3

Tabel 3 Kode Warna dan elemen Paduan pada *tungsten electrode* [17]

AWS Classification	Color	Alloying Element	Alloying Oxide	Alloying Oxide%
EWP	Green	-	-	-
EWCe-2	Orange	Cerium	CeO ₂	2
EWLa-1	Black	Lanthanum	La ₂ O ₃	1
EWLa-1.5	Gold	Lanthanum	La ₂ O ₃	1.5
EWLa-2	Blue	Lanthanum	La ₂ O ₃	2
EWTh-1	Yellow	Thorium	ThO ₂	1
EWTh-2	Red	Thorium	ThO ₂	2
EWZr-1	Brown	Zirconium	ZrO ₂	0.25
EWG	Gray	Not Specified	-	-



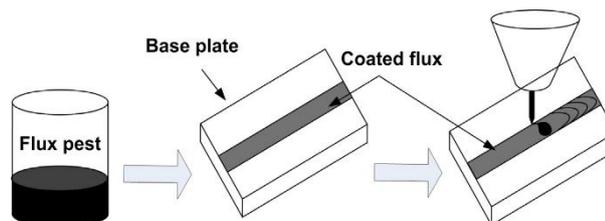
Gambar 3 Kode warna elektroda berdasarkan elemen paduan [5]

Untuk pengelasan *aluminum alloy*, jenis elektroda yang digunakan adalah jenis EWP (*pure tungsten electrode*) dan EWZr (*zirconiated tungsten electrodes*), dimana spesifikasi dari tiap elektroda tersebut dijelaskan sebagai berikut:

- EWP memiliki kandungan 99.5% *tungsten*, tanpa ada unsur tambahan yang dimasukkan sebagai elemen paduan, dimana kapasitas arus pada EWP lebih rendah dari jenis elektroda paduan. EWP memiliki kestabilan busur las yang bagus dengan mesin las AC, pada setiap *balanced-wave* atau *continuous high frequency*. Dimana elektroda EWP memiliki harga yang murah dan umumnya digunakan pada pengelasan aluminium dan paduan magnesium.
- EWZr memiliki kandungan *zirconium oxide* 0.25%, dan memiliki karakteristik pengelasan yang rendah diantara EWP dan EWTh. EWZr memiliki kombinasi kestabilan dan karakteristik yang sama dengan EWP pada proses pengelasan ac, dengan memiliki kapasitas arus dan karakteristik penyalaan busur sama dengan EWTh. EWZr memiliki resistansi terhadap kontaminasi lebih tinggi dari EWP dan hasil radiografi yang bagus minim kontaminasi tungsten.

2.4. A-TIG

Active Tungsten Inert Gas (A-TIG) merupakan teknik pengelasan GTAW/TIG dengan menambahkan *active flux* yang berfungsi untuk meningkatkan penetrasi dengan cara menambahkan lapisan *active flux* yang telah berbentuk pasta kepermukaan material sebelum dilakukan proses pengelasan. Teknik ini memiliki kelebihan diantaranya ekonomis dan lebih produktif dibandingkan dengan proses pengelasan GTAW/TIG konvensional, karena dapat mengurangi pembuatan *groove* pada benda kerja dan dapat mengurangi jumlah *pass* dan *layer* pengelasan. Pengelasan A-TIG memiliki kepadatan energi busur yang lebih tinggi, yang dapat diidentifikasi dengan *heat input* yang lebih tinggi dan *cooling rate* yang lebih cepat jika dibandingkan dengan proses pengelasan TIG konvensional [6] serta proses A-TIG ini dapat memperbaiki sifat mekanik pada daerah pengelasan.



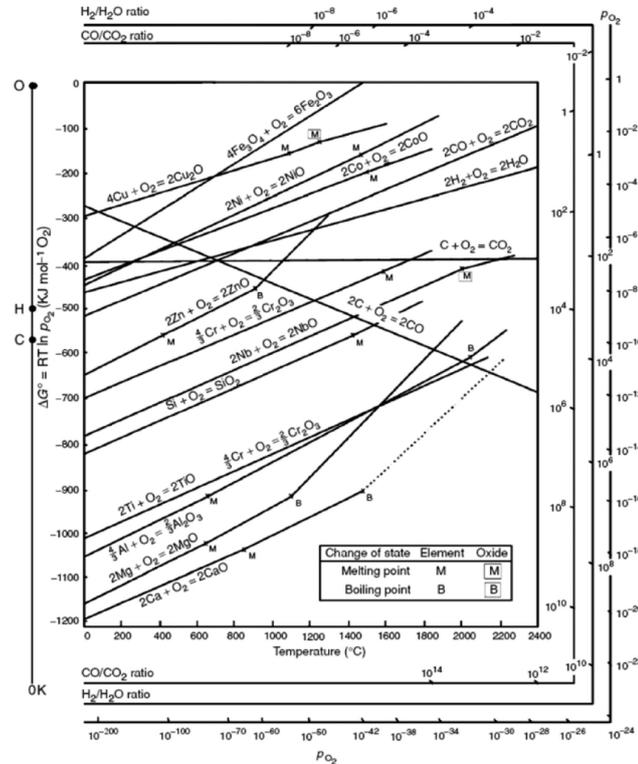
Gambar 4 Skema proses pengelasan A-TIG [6]

2.5. Pengaruh Penambahan *Active Flux* pada Pengelasan TIG

Penambahan *active flux* pada dasarnya adalah untuk meningkatkan penetrasi pengelasan yang dapat membantu dalam mengelas plat tebal, karena efek dari penambahan *flux* dalam pengelasan TIG adalah untuk memunculkan fenomena *arc constriction* dan *reverse merangoni convection*, dimana kedua fenomena ini sangat berpengaruh dalam proses meningkatkan penetrasi busur las, serta juga didapatkannya sifat mekanik yang lebih baik [6].

Efek lain yang berhubungan dari penambahan flux adalah timbulnya dorongan pada tegangan permukaan *weld pool*. Dimana gradien tegangan permukaan menjadi positif dan fluida mengalir secara radial kedalam *weld pool*. Sehingga hasil perubahan didalam busur dan *weld pool* dapat meningkatkan penetrasi dalam pengelasan A-TIG.

Stabilitas relatif dari oksida *active flux* diatur di dalam diagram Ellingham yang ditunjukkan pada Gambar 5, dimana diagram Ellingham merupakan panduan untuk menentukan efek berbagai *flux* oksida dalam meningkatkan penetrasi las.



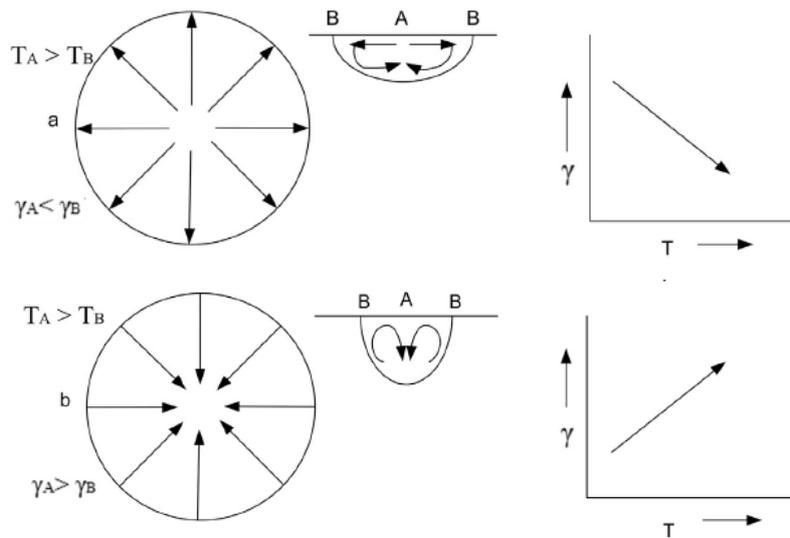
Gambar 5 Diagram Ellingham [7]

Dimana posisi dari masing-masing oksida logam di dalam diagram ellingham memberikan indikasi mengenai nilai stabilitas relatif oksida logam, dan seberapa mudah senyawa tersebut dapat mengalami proses dekomposisi, karena dalam mekanisme untuk meningkatkan penetrasi pada pengelasan A-TIG dipengaruhi oleh tingkat konsentrasi oksigen atau penguapan dari *Surface Active Elements* (SAE) yang ada pada *weld pool*, dimana setiap oksida logam yang terdekomposisi atau terurai cenderung berperan penting dalam menentukan hasil geometri lasan jika dibandingkan dengan oksida logam yang sangat stabil. Kecenderungan *flux* untuk melakukan proses dekomposisi senyawa dapat meningkat dengan pengurangan ukuran partikel *flux* tersebut serta sebagai pengurangan dari stabilitas *active flux* [8].

Oksida yang menempati posisi tertinggi pada diagram Ellingham memiliki sifat relatif kurang stabil dibandingkan dengan senyawa oksida yang berada pada posisi bawah. Maka dari hal tersebut semakin tinggi kedudukan oksida dalam diagram Ellingham akan memiliki energi terendah untuk melakukan proses disosiasi dengan kata lain akan lebih mempermudah untuk terjadi proses disosiasi saat dilakukan teknik A-TIG [1].

2.5.1 Pembalikan Konveksi Marangoni (*Reverse Marangoni Convection*)

Marangoni convection juga didefinisikan sebagai fenomena aliran fluida yang terjadi sepanjang daerah *interface* antara dua fluida yang disebabkan karena nilai gradien tegangan permukaan, sedangkan dalam fenomena yang berhubungan dengan temperatur, fenomena ini juga disebut sebagai *thermo-capillary convection* [9]. Disebut sebagai konveksi pada gerakan tegangan permukaan atau *thermo-capillary convection* karena dapat memberikan efek dramatis pada kedalaman penetrasi pengelasan. Dalam teori ini, arah aliran fluida bergantung pada tinggi rendahnya gradien tegangan permukaan, dimana aliran fluida mengalir dari tegangan permukaan yang rendah menuju tegangan permukaan yang tinggi.



Gambar 2.6 Aliran fluida pada permukaan dan dibawah permukaan *weld pool*: a) tegangan permukaan negatif; b) tegangan permukaan positif. [6].

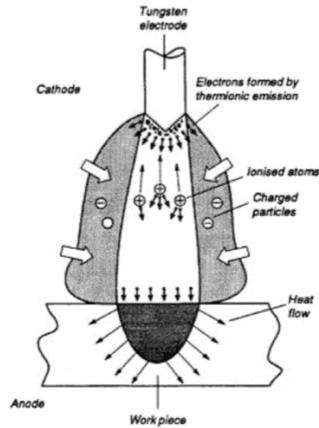
Hubungan antara tegangan permukaan dan arah aliran logam cair pada permukaan di dalam *weld pool* dan indikasi semua sistem tersebut menunjukkan kenaikan tegangan positif permukaan (dy/dT) maksimum terjadi pada temperatur tertentu. Kenaikan temperatur selanjutnya menghasilkan tegangan permukaan turun secara bertahap, kombinasi ini menghasilkan aliran kompleks yang mirip dan dapat dilihat pada Gambar 2.9A.

Dari hasil di atas dapat disimpulkan bahwa persentase kecil pengotor dari elemen paduan di dalam *weld pool* dapat membalikan kenaikan tegangan permukaan di dalam *weld pool*, efek ini disebut sebagai *reversal marangoni convection*. Dimana logam cair mengalir dari batas fusi menuju ke tengah *weld pool* dan tekanan pada busur dapat mengubah arah busur yang dapat dilihat pada Gambar 2.9B [6].

2.5.2 Penyempitan Busur (*Arc Constriction*)

Selama proses pengelasan TIG, *torch* bergerak dari permukaan yang tidak terdapat lapisan flux menuju lapisan permukaan yang terdapat flux yang mana diameter kolom dari busur las menyempit. Oleh karena itu fenomena ini disebut sebagai *arc constriction* (penyempitan busur). Pengurangan area pada busur atau *anode root* meningkatkan densitas arus dan kemudian densitas panas juga meningkat, yang menghasilkan busur sempit dan lebih dalam dari proses pengelasan TIG konvensional [6].

Gas-gas yang menguap ini mencakup busur plasma dan penyempitan dari bagian pinggir dan dapat dilihat pada Gambar 7 [10]. Penelitian lainnya dilakukan untuk membandingkan penyempitan busur yang disebabkan oleh flux SiO_2 dan TiO_2 pada pengelasan material stainless steel SA 316L. Dimana busur las menjadi lebih sempit pada flux SiO_2 jika dibandingkan dengan TiO_2 dan penyempitan busur juga di pengaruhi oleh tingkat elektronegatifan dari flux [11]. Dari hasil penelitian diatas disimpulkan bahwa SiO_2 lebih elektronegatif dari pada TiO_2 dimana SiO_2 Silikon memiliki ke elektronegatifitas dengan skala Pauling 1,90 menjadi lebih elektronegatif daripada Titanium dengan skala Pauling: 1,54 maka dapat menarik lebih banyak elektron pada katoda atau busur las sehingga dapat membentuk kolom busur yang memiliki densitas tinggi [12].

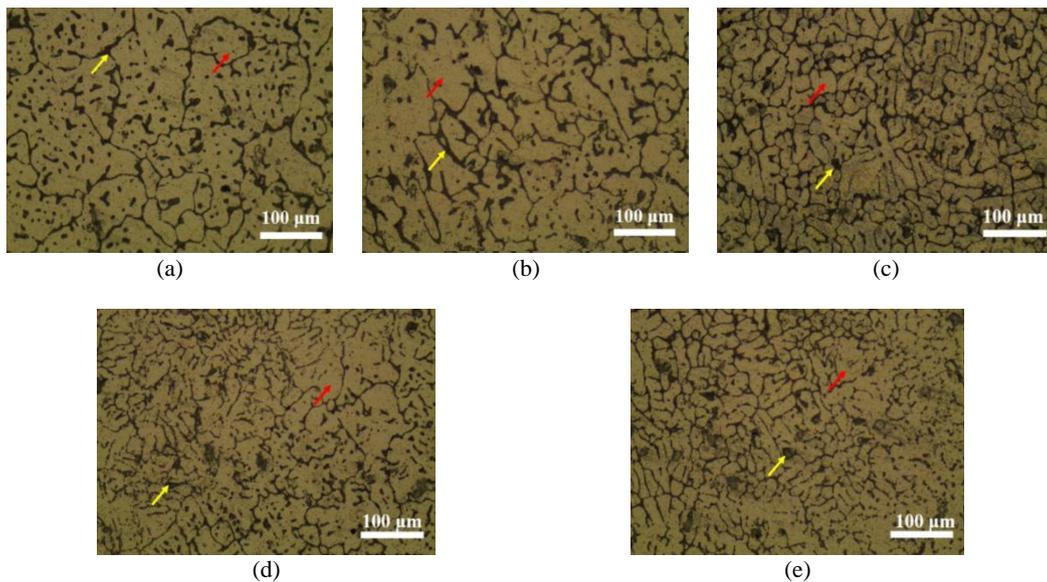


Gambar 7 Skema Penyempitan Busur Las [13]

Sehingga mekanisme dari proses penyempitan busur ini dapat disimpulkan sebagai proses penangkapan ion negatif pada *cloud flux* yang relatif lebih lemah dan merupakan hasil dari disosiasi pembakaran *active flux* oleh busur las yang memiliki ion positif. Sehingga ion negatif pada *cloud flux* tertarik ke dalam busur las dan membuat diameter busur las menjadi lebih sempit serta memiliki tingkat kerapatan energi yang tinggi. Ion pada *cloud flux* memiliki nilai negatif karena muatan oksigen (O_2^-) sedangkan unsur logam memiliki nilai positif (Ti^+ , Si^+ , dll). Sedangkan busur las bermuatan positif walaupun polaritas yang digunakan adalah DCEN, DCEP ataupun AC, karena elektron listrik yang bermuatan negatif dari selalu menumbuk daerah yang bermuatan positif sehingga ion positif akan memancar yang mengakibatkan busur las selalu bermuatan positif.

2.6. Active Flux TiO_2

Unsur TiO_2 memiliki sifat mekanik dan termal yang sangat bagus seperti kekuatan, koefisien ekspansi panas, ketahanan terhadap *thermal shock*, ketahanan aus, dan ketahanan terhadap korosi [14]. Penelitian sebelumnya dilakukan pada pengelasan TIG Aluminium paduan seri 3003 dengan membandingkan antara hasil lasan tanpa penambahan TiO_2 dengan penambahan TiO_2 dalam persentase 0.00, 0.75, 1.5, 2.25 dan 3 wt% Gambar 8.



Gambar 8 Hasil struktur mikro pengelasan Aluminium paduan 3003: (a) 0% TiO_2 , (b) 0.75% TiO_2 , (c) 1.5% TiO_2 , (d) 2.25% TiO_2 dan (e) 3% TiO_2 . (Panah merah struktur butir Al dan panah kuning fase eutektik Al-Mn dalam masing-masing batas butir) [15]

Hasil yang diperoleh sangat signifikan dimana struktur mikro yang terbentuk tanpa penambahan TiO₂ memiliki bentuk *coarse dendritic crystallite* dengan fase eutektik yang terdapat pada *crystallite grain boundary* sedangkan pada pengelasan yang ditambahkan TiO₂ memiliki fragmentasi dendrit dan bentuk butir yang halus, oleh karena itu *equiaxed crystallite* terbentuk [15]. Selanjutnya pengamatan pada struktur mikro mendapatkan hasil perubahan dari struktur dendritik menjadi *non-dendritic equiaxed crystallites* [16]. Hasil ini menghubungkan terhadap peningkatan pada nukleasi dan pertumbuhan *crystallite* yang sesuai. Sebagai tambahan, *crystallite* yang sangat halus dapat diamati ketika persentase penggabungan nanopartikel TiO₂ pada matrix Al yang dapat dilihat pada Gambar 8 (e).



Gambar 9 Hasil FESEM micrograph pengelasan Aluminium paduan 3003 (a) 3% TiO₂, (b) perbesaran gambar (a). [15]

Kemudian dari hasil pengujian FESEM didapatkan hasil, bahwa partikel TiO₂ teraglomerasi secara bebas dan terdistribusi secara merata didalam matriks lasan Al. Distribusi partikel sangat penting untuk mencapai sifat mekanis yang sangat baik dari pengelasan komposit matrix Al. Oleh karena itu, hasil gambar FESEM menunjukkan bahwa akibat pengelasan, pada umumnya fase Al memiliki bentuk butir yang sangat halus. Pada penambahan Titania terhadap matriks menyebabkan pembatasan terhadap pertumbuhan butir dalam tingkat dimensi yang proporsional dan membuat keseragaman di dalam matriks butir. Diamati bahwa aglomerasi bebas nanopartikel TiO₂ sangat terikat terhadap butir dan berkumpul didekat batas butir [16] dapat dilihat pada Gambar 9.

2.7. Active Flux SiO₂

Pengecoran Aluminium dengan silicon sebagai elemen paduan utama merupakan elemen paduan pengecoran umum yang penting karena karakteristik pengecoran yang superior. Peningkatan sifat mekanik seperti nilai UTS (Ultimate Tensile Strength), dan kekerasan akan meningkat dengan bertambahnya jumlah kandungan Silicon, sedangkan laju ketahanan aus akan berkurang dan koefisien gesek meningkat [18].

2.8. Solvent/Pelarut

Solvent/pelarut merupakan salah satu faktor penentu untuk *active flux*, dimana kegunaan *solvent* ini dapat menentukan hasil untuk distribusi lapisan yang homogen akibat dari sifat kimia yang dimiliki oleh *solvent* tersebut. Seperti tingkat viskositas *solvent* akan menentukan tingkat kekuatan kohesif campuran dimana hal ini akan berdampak pada distribusi lapisan yang homogen. Tekanan uap *solvent* akan menentukan pada daya volatil dimana daya volatil ini untuk mempercepat pengeringan saat dilakukannya pelapisan *flux* pada logam induk pada temperatur lingkungan [2] untuk spesifikasi dari *solvent* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Karakteristik *Solvent*

<i>Chemical Properties</i>	<i>Methanol</i>
<i>Vapor Pressure</i> (25°C, kPa)	128
<i>Viscosity</i> (mPa s)	0.544
<i>Density</i> (g/mL)	0.791
<i>Molecular Weight</i> (g/mol)	32,042
<i>Dielectric Constant</i>	33

Konstanta dielektrik *solvent* atau permitivitas listrik relatif merupakan sebuah konstanta yang melambangkan rapatnya *flux* elektrostatis dalam suatu material bila diberi potensial listrik, konstanta dielektrik merupakan perbandingan energi listrik yang tersimpan pada material bila diberi sebuah potensial. Dimana konstanta dielektrik dapat dijadikan sebuah pengukuran relatif dari kepolaran suatu *solvent*. Dalam pelapisan, *active flux* harus dicampur dengan *solvent* dengan tujuan dapat membentuk pasta, sehingga mudah untuk

diaplikasikan dengan kuas ke daerah yang akan dilakukan pengelasan. Penggunaan *active flux* cenderung akan membuat terak sisa yang berlebihan dan *spatters* pada permukaan las [19].

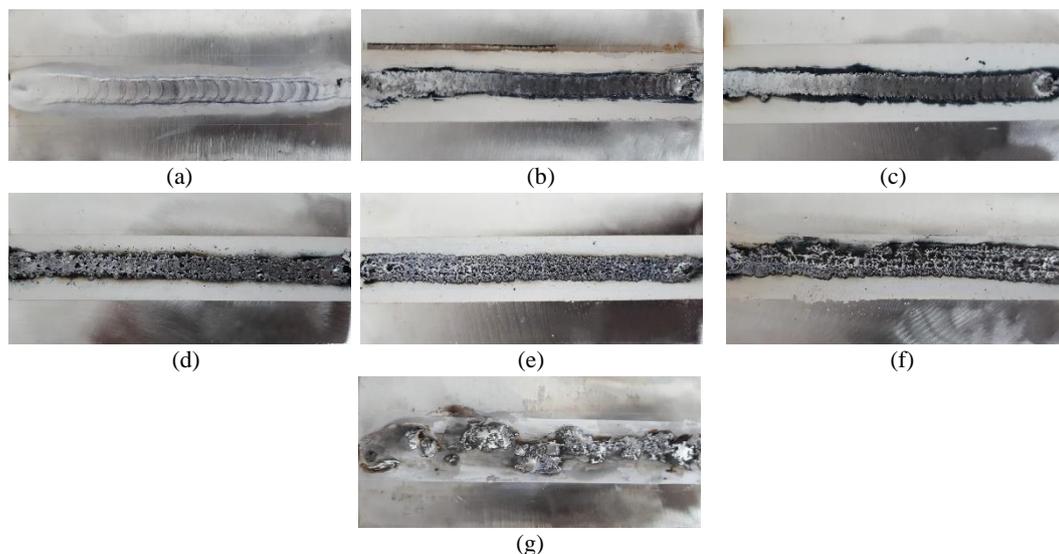
3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan bahan sebagai berikut: material Aluminium 5083-H116, tungsten EWP, *Shielding gas* argon UHP, TiO_2 powder, SiO_2 powder, Methanol, isolasi. Alat alat yang digunakan diantaranya timbangan digital Fujitsu FSR-B1200, kuas, gerinda, mesin las GTAW AC, mesin poles, kamera macro. Proses pembuatan pasta *active flux* dilakukan dengan membuat komposisi paduan TiO_2 dengan SiO_2 dalam persentase 0% SiO_2 , 20% SiO_2 , 40% SiO_2 , 60% SiO_2 , 80% SiO_2 , 100% SiO_2 yang kemudian dilarutkan menggunakan methanol sebanyak 10 ml.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Visual Pengelasan

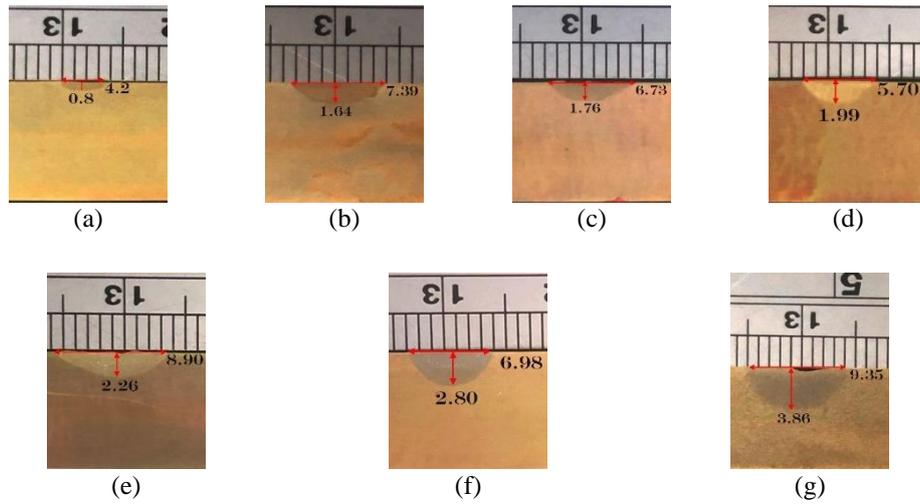
Dari hasil pengelasan material Aluminium seri 5083-H116 diperoleh hasil yang dapat dilihat pada Gambar 10, dimana pada hasil pengelasan memiliki slag berwarna hitam dan terdapat sejumlah *spatter* yang berada disamping *weld bead*. Serta dari kualitas hasil pengelasan A-TIG dengan *active flux* TiO_2 - SiO_2 dapat disimpulkan bahwa semakin banyak persentase SiO_2 didalam *active flux* akan membuat *weld bead* semakin banyak memiliki cacat pengelasan, hal ini disebabkan karena busur las yang tidak stabil selama proses pengelasan berlangsung, fenomena ini terjadi akibat *flux* SiO_2 cenderung lebih tidak stabil jika dibandingkan dengan *flux* TiO_2 [9]. Karena semakin tinggi kedudukan oksida pada diagram ellingham menunjukkan bahwa oksida tersebut semakin memiliki ikatan yang lemah sehingga oksida tersebut lebih tidak stabil dan mudah untuk terdisosiasi dengan tingkat energi thermal yang rendah, sehingga hasil penetrasi yang dihasilkan dari pelapisan *active flux* SiO_2 lebih dalam. Sedangkan unsur Oksigen yang terkandung didalam *weld pool* berfungsi untuk merubah *marrangoni convection*, karena unsur Oksigen di dalam *weld pool* harus memenuhi agar dapat membalikan koefisien temperatur tegangan permukaan dari negatif menjadi positif [9].



Gambar 10 Hasil visual pengelasan A-TIG Aluminium 5083-H116 dengan variasi komposisi dalam berat *active flux* 30 gram, a) Tanpa *Active Flux*; b) 100% TiO_2 ; c) 80% TiO_2 - 20% SiO_2 ; d) 60% TiO_2 - 40% SiO_2 ; e) 40% TiO_2 - 60% SiO_2 ; f) 20% TiO_2 - 80% SiO_2 ; dan g) 100% SiO_2 .

Sementara itu jenis cacat seperti *fine porosity* untuk lebar *weld bead* 6 mm tidak diijinkan melebihi ukuran 0.5 mm dengan jumlah maksimal 54 buah seperti pada gambar 10 (d) (e) dan (f) sedangkan untuk jenis cacat *underfill* yaitu permukaan *weld bead* berada dibawah permukaan base metal tidak diijinkan seperti yang terdapat pada Gambar 10 (g), dimana *acceptance criteria* ini telah diatur di dalam AWS D1.2. Sedangkan hasil dari *weld bead* yang tidak homogen (banyak terdapat *underfill*) seperti pada Gambar 10 (g) disebabkan karena nilai *electrical resistivity* Silikon $6.40 \times 10^2 \rho$ ($\Omega.m$) yang mana lebih tinggi dari Aluminium $2.82 \times 10^{-8} \rho$ ($\Omega.m$), hal ini menyebabkan laju arus listrik menjadi terhambat sehingga nyala busur las saat proses pengelasan menjadi tidak stabil.

4.2 Photo Makro



Gambar 4.2 Hasil pengukuran dimensi penetrasi pada variasi komposisi dalam berat 30 gram *active flux* dengan photo makro a) Tanpa *Active Flux*; b) 100% TiO₂; c) 80% TiO₂ - 20% SiO₂; d) 60% TiO₂ - 40% SiO₂; e) 40% TiO₂ - 60% SiO₂; f) 20% TiO₂ - 80% SiO₂; dan g) 100% SiO₂.

Berdasarkan pada hasil uji makro yang telah dilakukan, hasil pengelasan tanpa active flux pada spesimen yang dilas dengan proses pengelasan TIG konvensional memiliki geometri pengelasan yang terkecil karena tidak adanya fenomena *reversal marangoni convection* dan *arc constriction*, dimana kedua fenomena tersebut hanya dapat terjadi jika ada elemen minor pada permukaan seperti unsur oksida dari *active flux*. Karena untuk merubah *marangoni convection*, *weld metal* harus memiliki cukup kandungan Oksigen agar koefisien temperatur tegangan permukaan dapat berubah dari negatif menjadi positif.

Sementara itu hasil pengelasan A-TIG dari *active flux* SiO₂ 100% memiliki tingkat penetrasi tertinggi, dimana hal ini berbanding lurus terhadap teori yang menyatakan bahwa semakin tinggi kedudukan oksida pada diagram ellingham menunjukkan bahwa oksida tersebut semakin memiliki ikatan yang lemah, sehingga oksida tersebut lebih tidak stabil dan mudah untuk terdisosiasi dengan tingkat energi thermal yang rendah, sehingga hasil penetrasi yang dihasilkan dari pelapisan *active flux* SiO₂ menjadi lebih dalam.

Disamping itu nilai DWR diperoleh dari perhitungan kedalaman penetrasi (D) dibagi dengan lebar penetrasi (W) yang dapat ditulis dengan persamaan $DWR=D/W$, setelah itu hasil perhitungan nilai DWR tertinggi yang diperoleh dari komposisi *active flux* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Nilai DWR tiap spesimen dengan variasi komposisi *active flux*.

Spesimen	Kedalaman Penetrasi (D) mm	Lebar Penetrasi (W) mm	DWR
Tanpa <i>Active Flux</i>	0.80	4.20	0.19
100% TiO ₂	1.64	7.39	0.22
20% SiO ₂	1.76	6.73	0.26
40% SiO ₂	1.99	5.70	0.35
60% SiO ₂	2.26	8.90	0.25
80% SiO ₂	2.80	6.98	0.401
100% SiO ₂	3.86	9.35	0.413

Dari hasil tabel diatas dapat disimpulkan bahwa kecenderungan penambahan SiO₂ terhadap proses A-TIG pada material Aluminum 5083-H116 cenderung memperlihatkan kenaikan penetrasi pengelasan, karena pada dasarnya unsur SiO₂ memiliki mudah terdisosiasi, sehingga dalam proses pengelasan A-TIG pada material Aluminum seri 5083-H116 penetrasi pengelasan yang dihasilkan oleh *flux* SiO₂ lebih dalam, namun menyebabkan nyala busur pada proses pengelasan A-TIG tidak stabil yang disebabkan oleh pengaruh dari nilai *electrical resistivity* pada SiO₂ sehingga menimbulkan beberapa *defect* pada *weld bead* seperti *underfill*.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan dari hasil pengujian yang telah dilaksanakan dalam penelitian dengan metode pengelasan A-TIG menggunakan paduan *active flux* TiO₂-SiO₂ terhadap material aluminium seri 5083-H116 diperoleh hasil visual yang menunjukkan semakin banyak kandungan SiO₂ dalam *active flux* maka akan menyebabkan penurunan kualitas dari *weld bead* dengan semakin banyak terdapat cacat pengelasan ditinjau dari standard AWS D1.2. Sedangkan pada perhitungan DWR, komposisi 100% SiO₂ memiliki hasil terbaik karena nilai DWR lebih tinggi yang mana mendekati angka 1. Jika di tinjau dari hasil visual terhadap nilai DWR maka *active flux* dengan komposisi 20% SiO₂ merupakan hasil yang paling optimal, karena pada hasil visual *weld bead* tidak terdapat cacat seperti yang ditunjukkan pada AWS D1.2 dan nilai DWR masih tergolong besar di angka 0.26 dan peningkatan penetrasi sebesar 220% dari TIG konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jayakrishnan, S., Chakravarthy, P. and Rijas, A.M., “*Effect of Flux Gap and Particle Size on the Depth of Penetration in FBTIG Welding of Aluminium*”, The Indian Institute of Metal, 2016.
- [2] Tseng, K.H., “*Development and Application of Oxide-Based Flux Powder for Tungsten Inert Gas Welding of Austenitic Stainless Steels*”, Powder Technology, 2013, No.233, page 72-79.
- [3] ASME, *ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section II Part B*, The American Society for Testing and Materials, New York, 2019.
- [4] Kaufman Gilbert, J., “*Introduction to Aluminum Alloys and Tempers*”, first edition, ASM International, Ohio, 2000.
- [5] O’Brien, Annette, “*Material and Applications Part 2, Volume 5, Ninth Edition*”, American Welding Society, Miami, 2015.
- [6] Vidyarthi, R.S dan Dwivedi, D.K., “*Activating flux tungsten inert gas welding for enhanced weld penetration*”, Journal of Manufacturing Processes, 2016, No. 22, page 211-228.
- [7] Mitchell, S.B, (2004), *An Introduction To Materials Engineering And Science For Chemical And Materials Engineers*, a John Wiley & Sons, Inc., 2004, New Jersey.
- [8] Lu, S., Fujii, H. and Nogi, K., “*Marangoni Convection in Weld Pool in CO₂-Ar-Shielded Gas Thermal Arc Welding*”, Metallurgical and Materials Transactions A, vol. 35A, 2004, page 2861-2867.
- [9] Jayakrishnan, S., Chakravarthy P., “*Flux bounded tungsten inert gaswelding for enhanced weld performance*”, Journal of Manufacturing Processes, 2017, page 116-130.
- [10] Dong, W., Lu, S., Li, D. and Li, Y., “*GTAW liquid pool convections and the weld shape variations under helium gas shielding*”, International Journal of Heat and Mass Transfer, 2011, No.54, page 1420-1431.
- [11] Tseng, H-K. and Hsu, C-Y., “*Performance of activated TIG process in austenitic stainless steel welds*”, Journal of Materials Processing Technology, 2011, No.211, page 503-512.
- [12] Tseng, H-K. and Chen, K-L., “*Comparisons Between TiO₂- and SiO₂-Flux Assisted TIG Welding Processes*”, Journal of Nanoscience and Nanotechnology, vol.12, NO.8, 2012, page 6359-6367.
- [13] Howse, D.S. and Lucas, W., “*Investigation into arc constriction by active fluxes for tungsten inert gas welding*”, Science and Technology of Welding and Joining, vol.5, 2015, No.3, page 189-193.
- [14] Sivasankaran, S. and Alaboodi, A.S., “*Structural characterization and mechanical behavior of Al 6061 nanostructured matrix reinforced with TiO₂ anoparticles for automotive applications*”, Functionalized Nanomaterials, 2016, page 3-35.
- [15] Ramkumar, K.R. and Natarajan, S., “*Investigations on microstructure and mechanical properties of TiO₂ Nanoparticles addition in Al 3003 alloy joints by gas tungsten arc welding*”, Materials Science & Engineering, Vol.A, 2018, No.727, page 51-60.
- [16] Fattahi, M., Mohammady, M., Sajjadi,N., Honarmand, M., Fattahi, Y. and Akhavan, S., “*Effect of TiC nanoparticles on the microstructure and mechanical properties of gas tungsten arc welded aluminum joints*”, Journal of Materials Processing Technology, 2014, page 1-30.
- [17] O’Brien, Annette. (2004), *Welding Processes Part 1*, AWS Welding Handbook Vol. 2, Edition 9, American Welding Society, 2004, Miami
- [18] Abdel-Jaber, G.T., Omran, A.M., Khalil, K.A.I., Fuji, M., Seki, M. and Yoshida, A., “*An investigation into solidification and mechanical properties behavior of al-si casting alloys*”, International journal of mechanical & mechatronics engineering ijmm-e-ijens, vol.10, 2010, No.04, page 30-35.
- [19] Chern, T. S., Tseng, K. H. and Tsai, H. L., “*Study of The Characteristics of Duplex Stainless Steel Activated Tungsten Inert Gas Welds. Materials and Design*”, Volume 22, 2011, pp. 255-263