

PENGARUH FLUX TERHADAP PROSES PENGELASAN A-TIG PADA STAINLESS STEEL AISI 316L

THE INFLUENCE OF FLUX ON A-TIG WELDING OF STAINLESS STEEL AISI 316L

Restu Sejahtera Sihotang¹⁾, Slameto Wiryolukito²⁾ dan Surasno³⁾

¹⁾ Teknik Material ITB Jln Ganesha 10 Bandung (hotang_r@yahoo.com)

²⁾ Teknik Material dan Teknik Mesin ITB Jln Ganesha 10 Bandung
(swmetallurgis@yahoo.com)

³⁾ Balai Besar Bahan dan Barang Teknik, Jln. Sangkuriang No.14, Bandung
(surasno2005@telkom.net)

ABSTRAK

Penerapan *active flux* pada proses las TIG atau A-TIG bertujuan untuk menaikkan penetrasi las sehingga produktifitasnya meningkat. Pengelasan pada bahan tebal penetrasinya meningkat, lapisan lasan berkurang sehingga mengurangi efek *cost to cast* pada pengelasan *multi layer*. Dalam penelitian ini dilakukan pengelasan pada bahan AISI 316L dengan 3 jenis serbuk oksida *active flux* yaitu: Fe₂O₃, TiO₂, dan Cr₂O₃, dan sebagai pembanding dilakukan proses las SMAW dengan elektroda AWS A5.4 (E308-16) dan proses las TIG konvensional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penetrasi meningkat dibandingkan terhadap proses pengelasan konvensional hingga mencapai 22 s.d 50 % dan terhadap proses pengelasan SMAW (49 s.d 83)%. Distorsi proses las A-TIG cenderung menurun dibandingkan terhadap proses las TIG konvensional dan SMAW. Nilai kekerasan di HAZ dan WM pada semua proses A-TIG terutama proses las A-TIG flux Cr₂O₃ meningkat secara signifikan. Komposisi δ -ferit di WM semua jenis proses las meningkat, terutama pada proses las SMAW, fraksi volume δ -ferit meningkat secara signifikan.

Kata Kunci : TIG, A-TIG, *active flux*, δ -ferit, SMAW

ABSTRACT

In TIG welding, the application of flux aims to increase the penetration, thereby increasing productivity. Deeper penetration will reduce the number of layers on welding thick plate thus reducing the effects of cast to cast on multi layer welding. In this experiment, there were 3 types oxide powder was varied Fe₂O₃, TiO₂ and Cr₂O₃. For comparison, SMAW welding process with the type of electrode AWS A5.4 (E308-16) and conventional TIG and parent metal used was stainless steel type AISI 316L. Results from experiments indicated an increasing penetration of 22 to 50 percent compared with the penetration of conventional-TIG and (49 s.d 83)% SMAW processes. A-TIG welding also showed decrease weld bead and decreased tendency of distortion in the weld joint. A-TIG welding also shows tendency increase in hardness of the weld metal for all fluxes used. A fairly significant increased in the hardness was on A-TIG welding with Cr₂O₃ flux. Besides increase in hardness, the data also show increase in the number of δ -ferrite in weld metal of all weld processes. The most significant increase in the number of δ -ferrite occurred in SMAW welding process.

Keyword : Active flux, TIG, A-TIG, δ -ferit, SMAW

PENDAHULUAN

Teknik pengelasan menggunakan Tungsten Inert Gas (TIG) menghasilkan pengelasan yang baik pada berbagai jenis bahan. Hasil pengelasan yang baik pada pengelasan berbagai logam paduan dengan penetrasi dangkal menjadi masalah pada proses pengelasan TIG. Pengelasan pelat tebal lebih dari 3 mm menjadi tidak efektif. Selain itu

diperlukan persiapan sambungan berupa machining dan filler metal, yang menyebabkan produktivitasnya rendah [1].

Pengelasan Active Flux - Tungsten Inert Gas (A-TIG) untuk las titanium telah dipublikasikan oleh Paton Welding Institute (PWI) Ukraina pertama kali tahun 1960. Baru-baru ini PWI telah mengumumkan bahwa melalui proses A-TIG tanpa bevel dan filler metal dapat dihasilkan pengelasan single pass

dengan *complete joint penetration (CJP)* atau penetrasi penuh pada baja C-Mn pada tebal pelat 12 mm tanpa bevel dan logam pengisi (*filler metal*). Selain itu dinyatakan pula bahwa sifat mekanis *weld metal* tidak signifikan dibandingkan dengan logam induknya [2,3].

Telah diketahui bahwa penambahan sejumlah kecil *flux* pada permukaan sambungan proses pengelasan *TIG* penetrasi dapat meningkat signifikan. Penetrasi meningkat maka produktifitas proses pengelasan *TIG* meningkat karena waktu persiapan sisi sambungan tidak terlalu lama. Selanjutnya proses pengelasan ini sebagai proses pengelasan *A-TIG*. Selain penetrasi yang dalam pada proses pengelasan *A-TIG* juga akan mengurangi jumlah pas (*welding layer*) pada sambungan las pelat tebal [4,5].

Tujuan Penelitian

1. Mempelajari pengaruh *active flux* pada proses pengelasan *TIG*
2. Pengamatan perbedaan proses pengelasan *TIG konvensional, A-TIG, dan (Shielded Metal Arc Welding) SMAW*.
3. Pengamatan nilai kekerasan proses pengelasan *TIG, A-TIG, dan SMAW*. Di *Affective Zone (HAZ)* dan *weld metal (WM)*
4. Pengamatan penetrasi dan distorsi pada sambungan las proses pengelasan *TIG, A-TIG dan SMAW*.
5. Pengamatan mikrostruktur proses pengelasan *TIG, A-TIG dan SMAW* di *HAZ* dan *weld metal*.

BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah baja tahan karat *austenitic stainless steel AISI 316L* tebal 15 mm, panjang 80 mm dan lebar 30 mm, karena pada percobaan ini tidak dilakukan uji tarik. Bahan *AISI 316L* kadar karbon 0,027% C dipilih untuk menghindari sensitisasi yang mungkin terjadi pada *HAZ* dan memiliki sifat mampu las yang lebih baik dibandingkan baja tahan karat *ferritic* atau *martensitic* [6].

Flux yang digunakan pada percobaan ini terdiri dari serbuk TiO_2 , Fe_2O_3 , dan Cr_2O_3 . Sebelum proses pengelasan dilakukan, *flux* dilarutkan dalam aseton hingga menjadi larutan padat berupa pasta kemudian dioleskan ke permukaan sambungan las dengan tebal $\pm 0,5$ mm. Selain proses *A-TIG*, dilakukan juga proses *TIG* dan proses *SMAW filler* elektroda AWS A5.4 E308L-16 setara JIS Z 3221

D308L-16 proses ini digunakan sebagai pembanding [7].

Parameter las arus (*I*), tegangan (*E*), *welding speed* (*v*), digunakan untuk semua jenis *flux* sehingga hasil yang diperoleh hanya didasarkan pada satu variabel yaitu jenis bahan *flux* yang digunakan. Prosedur pengelasan mengacu pada *Welding Procedure Specification (WPS)* disusun menurut *The American Society of Mechanical Engineers (ASME) section IX* [8]. Selama proses pengelasan, bilamana terjadi perubahan parameter yang telah ditetapkan di dalam *WPS* maka perubahan parameter ini dirangkum dalam harga *Heat Input (HI)* yang direkam pada (*Procedure Qualification Record*) *PQR*, *HI* dihitung berdasarkan rumus:

$$HI = 60 EI/v \dots\dots\dots(1)$$

dimana :

E = Voltage

I = Amp

v = *welding speed*

Identifikasi bahan logam induk dilakukan dengan *spectrophotometry analysis*. Hasil komposisi unsur ditunjukkan pada Tabel 1 dan struktur mikro berbutir halus dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Mikrostruktur Spesimen

Tabel 1. Komposisi kimia

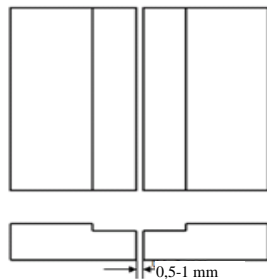
Unsur	Hasil uji, %	Standar <i>AISI 316L</i> , %
C	0,027	0,03 max
Cr	17,85	16 – 18
Ni	10,56	10 – 14
Mo	2,87	2,0 – 3,0
Si	0,54	1,0 max
Mn	1,74	2,0 max
Cu	0,24	--
S	0,027	0,03 max
P	0,022	0,045 max

Pengamatan sebelum, selama dan setelah pengelasan di daerah logam induk, *WM* dan

HAZ menggunakan cara visual, uji kekerasan, ukuran dalam penetrasi, ukuran perubahan distorsi, camera dan mikroskop optik metalografi struktur makro dan mikro.

Spesimen Lasan

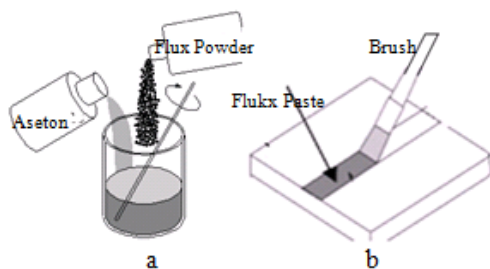
Spesimen dipotong menggunakan gergaji mesin. Sisi-sisinya diratakan oleh mesin gerinda. Dengan mesin fris dibuat alur sebagai tempat flux saat dilakukan pengelasan, panjang alur sama dengan panjang spesimen 80 mm, lebar 10 mm dan dalam 0,5 mm. Bentuk alur sebagaimana pada Gambar 2. Sambungan las dibentuk menjadi sambungan las tumpul (*butt joint*) alur persegi tanpa pelat penahan (*backing strip*) dan lebar celah 0,5 sampai dengan 1,0 mm, seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Bentuk sambungan las

Bahan Flux

Untuk pengelasan A-TIG masing-masing disiapkan untuk 3 jenis oksida fluxes Fe_2O_3 , TiO_2 , Cr_2O_3 , sedangkan pengelasan TIG 1 spesimen, dan SMAW menggunakan *filler metal* yang mengandung TiO_2 , $CaCO_3$, 20,19% Cr, 11,88% Ni, dan 1,14% Si, dengan intensitas $error \leq 5$.



a. Pelarutan flux b. Pelapisan flux

Gambar 3. a) Proses pencampuran aseton dengan flux powder.

b) Pelapisan flux ke permukaan bahan induk yang akan dilas [13].

Pada penelitian ini, flux dilarutkan dalam aseton seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Tujuan pelarutan flux dengan aseton, proses

penerapan ke permukaan spesimen lebih mudah, lapisannya tipis, relatif terdistribusi homogen, dan lebih cepat kering [10]. Flux dapat diterapkan ke permukaan spesimen dengan cara menuangkan dan dibentuk lapisan permukaan.

Persiapan Pengelasan dan Penyusunan *Welding Procedure Specification (WPS)*

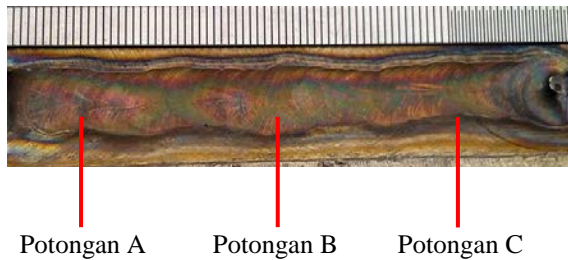
Specimen dibersihkan dengan aseton untuk menghilangkan pengotor (debu, karat, lemak, garam) yang mungkin menempel pada permukaan dan untuk menghindari timbulnya cacat-cacat las. Semua spesimen dilas dengan *single pass*. Pemakaian variasi flux dimaksudkan untuk membandingkan penetrasi dari masing-masing penggunaan jenis flux pada proses pengelasan A-TIG. Proses TIG konvensional tanpa flux dan proses SMAW dengan *filler metal* keduanya dilakukan sebagai pembanding. Parameter pengelasan (arus, tegangan, *welding speed*, dan jenis sambungan) dikondisikan konstan.

Tabel 2. *Welding Procedure Specification*

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Base metal	AISI 316 L
2	Thickness	15 mm
3	Processes	A TIG TIG SMAW, E308L-16
4	Welding design	Square Butt Joint
5	Welding position	Plat 1G
6	Electrical characteristic	DCEN
7	Tungsten electrode	EWT 2% 2,4 mm
8	Cleanness	Wire brush
9	Welding parameter	Amp 130 – 150 A Voltage 15 – 20 V Ws 10 cm/min
10	Technique	Stringer single pass
11	Shielding gas	Argon UHP

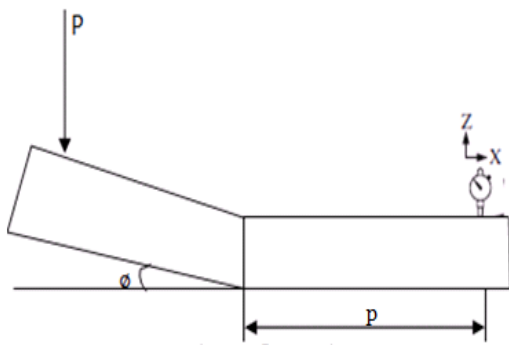
Pengamatan visual, penetrasi dan distorsi

Pengamatan visual untuk melihat keseragaman manik las, bentuk las, dan ukuran manik las, serta cacat-cacat pengelasan. Pengukuran lebar manik sepanjang las, jarak 1 cm kiri dan kanan las diabaikan. Pengamatan penetrasi pada potongan dilakukan di tiga titik daerah pengelasan, daerah terbaik dan terburuk berdasarkan dari pengamatan gambar makro penampang (lihat Gambar 4).



Gambar 4. Lokasi Pengamatan Penetrasi

Skema pengukuran distorsi ditunjukkan pada Gambar 5. Metode pengukuran distorsi menggunakan deflektometer ditempatkan di ujung pelat 1. Ukur jarak ujung deflektometer pada sambungan las p. Lakukan tekanan pelat 2 hingga menyentuh bidang datar. Deflektometer akan berputar hingga z. p dan z dimasukkan ke persamaan $\arctan \phi = z/p$. Maka diperoleh nilai ϕ . Data representatif diperoleh dari pengukuran pada tiga lokasi tempat berbeda.



Gambar 5. Skema Pengukuran Distorsi lateral

Uji Kekerasan

Pengukuran nilai kekerasan di daerah logam induk, HAZ, dan weld metal dilakukan dengan uji keras *Micro Hardness Vickers Hv* 0,2 kg

Pengamatan Metalografi

Spesimen metalografi diamati pada lokasi potongan B Gambar 4, permukaan logam induk dihaluskan dengan kertas ampelas yang berukuran 100, 120, 400, 600 hingga 1000 mesh secara bertahap, dipoles alumina dan dietsa menggunakan *general purpose etching*, yaitu 3 bagian HCl, 2 bagian gliserol dan 1 bagian HNO₃. Proses etsa dilakukan pada suhu ruang. Pengambilan gambar makro dan struktur mikro dengan menggunakan kamera dan mikroskop optik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Visualisasi Pengelasan

Rekaman parameter las amper dan tegangan dikendalikan melalui tombol mesin las sedangkan *welding speed* oleh welder. *Human error* mungkin dapat terjadi pada *welding speed* dan ketepatan turun naiknya elektroda las selama mengelas walaupun welder bersertifikat. Keterampilan welder dapat diamati pada nyala busur yang cukup stabil, yang berpengaruh pada perbedaan penetrasi dan distorsi. Hasil rekaman *Procedure Qualification Record (PQR)* menunjukkan parameter pengelasan berlangsung dengan baik sebagaimana dituangkan pada Tabel 3.


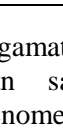
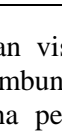
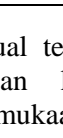
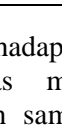
Tabel 3. Rangkuman Rekaman PQR

No.		A	V	v cm/min	HI kJ/cm
1	TIG	145	12-15	8	16,3
2	A-TIG Fe ₂ O ₃	145	12-15	8	16,3
3	A-TIG TiO ₂	145	12-15	8	16,3
4	A-TIG Cr ₂ O ₃	145	12-15	8	16,3
5	SMAW	145	32-35	16	19

Pengamatan selama pengelasan menggunakan kamera yang dipasang *filter* cahaya, nyala busur dapat diamati cukup jelas. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa proses pengelasan A-TIG Fe₂O₃ mempunyai lingkaran nyala busur dan pancaran cahaya paling besar. Pada proses pengelasan A-TIG TiO₂, A-TIG Cr₂O₃, dan TIG konvensional diameter nyala busur merata dan seragam, pancaran cahaya cukup. Sedangkan pada proses pengelasan SMAW pancaran nyala busur dan cahaya paling rendah, serta asap pekat (lihat Tabel 4).

Pengamatan lebar manik las sepanjang sambungan las 80 mm, dari semua proses pengelasan berfluktuasi antara 6-12 mm. Proses pengelasan A-TIG TiO₂ dan A-TIG Cr₂O₃ berfluktuasi antara 6-8 mm. Proses pengelasan A-TIG Fe₂O₃, berfluktuasi antara 7 - 12 mm. Hal ini menunjukkan perbedaan bahwa nyala busur dan lebar manik las dipengaruhi oleh jenis *flux* yang diterapkan pada permukaan logam induk.

Tabel 4. Pengamatan Manik Las

No	Proses	Lebar manik las	Nyala busur listrik
1	TIG	Seragam selang 8-10 mm	
2	A-TIG Fe ₂ O ₃	Fluktuatif selang 7-12mm	
3	A-TIG TiO ₂	Sempit dan rata selang 6-8 mm	
4	A-TIG Cr ₂ O ₃	Sempit dan rata selang 7-8 mm	
5	SMAW	Fluktuatif selang 8-11 mm	

Pengamatan visual terhadap kemulusan permukaan sambungan las menunjukkan bahwa fenomena permukaan sambungan las cukup rata, cacat yang muncul *undercut*, dan selama proses pengelasan SMAW nyala busur terhalang oleh asap. Sambungan manik las pada proses pengelasan TIG konvensional maupun A-TIG, cukup rata, tetapi kurang rata pada proses pengelasan SMAW. Busur nyala ujung tungsten *electrode* pada proses pengelasan TIG konvensional dan A-TIG terkendali dengan baik dan selama proses pengelasan berlangsung tidak ada gangguan asap. Proses pengelasan A-TIG Fe₂O₃ hampir tidak menghasilkan asap. Proses SMAW menghasilkan asap cukup pekat dan mengganggu pandangan *welder* ke nyala busur. Tabel 5 menunjukkan hasil pengamatan visualisasi proses pengelasan TIG konvensional, A-TIG dan SMAW (Tabel 5).

Ketidakrataan manik las atau rigi-rigi las pada sambungan las kemungkinan disebabkan oleh ketidakstabilan nyala busur selama proses pengelasan. Faktor-faktor yang berpengaruh: 1) penerapan *flux* cara konvensional menyebabkan tebal lapisan *flux* tidak rata sehingga fraksi volume *flux* berbeda pada setiap titik, 2) *welding speed* las tidak konstan sehingga *heat input* di berbagai titik tidak seragam. 3) jarak ujung *electrode* las dengan logam induk tidak konstan. 4) pada saat pengelasan, *electrode* tidak bergerak pada satu garis lurus. 5) terbentuknya asap proses

pengelasan SMAW mengganggu pandangan *welder* ke arah *weld pool*.

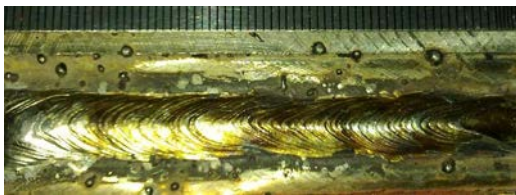
Tabel 5. Pengamatan visualisasi proses pengelasan

No. Spesimen	Proses	Pengamatan visual
1	TIG	<ul style="list-style-type: none"> • Permukaan hasil lasan rata • Terjadi <i>undercut</i> hampir di seluruh bagian las • Proses pengelasan mudah karena tidak menghasilkan asap yang mengganggu juru las • Ukuran manik las relatif sempit
2	A-TIG Fe ₂ O ₃	<ul style="list-style-type: none"> • Permukaan hasil lasan tidak rata • Terjadi <i>undercut</i> di beberapa bagian luar dan dalam • Saat pengelasan hampir tidak menghasilkan asap • Ukuran manik las fluktuatif dan cukup lebar
3	A-TIG TiO ₂	<ul style="list-style-type: none"> • Permukaan hasil lasan rata • Hampir tidak terjadi <i>undercut</i> • Saat proses pengelasan tidak menghasilkan asap • Ukuran manik las relatif sempit
4	A-TIG Cr ₂ O ₃	<ul style="list-style-type: none"> • Permukaan hasil lasan rata • Hampir tidak terjadi <i>undercut</i> • Saat proses pengelasan tidak menghasilkan asap • Ukuran manik las relatif sempit
5	SMAW	<ul style="list-style-type: none"> • Permukaan manik las menonjol melebihi permukaan logam induk • Saat proses pengelasan menghasilkan asap sangat pekat • Ukuran manik las cenderung lebar • Terdapat <i>spatter</i>

Pengamatan Pengaruh Oksida Flux

Masing-masing oksida *flux* Fe₂O₃, TiO₂, dan Cr₂O₃ memberikan karakter yang berbeda terhadap bentuk manik las dan cacat las. Proses pengelasan A-TIG *flux* Fe₂O₃ sangat

berpengaruh terhadap busur listrik, tampak manik las paling lebar dan cacat *undercut* hampir sepanjang sambungan las. Pada proses pengelasan *A-TIG flux TiO₂*, manik las hampir rata dan cacat *undercut* hanya di beberapa tempat. Pada proses pengelasan *A-TIG flux Cr₂O₃*, manik las hampir rata dan cacat *undercut* hanya di beberapa tempat. Proses pengelasan *TIG* konvensional, manik las hampir rata dan tidak terjadi cacat *undercut*. Pada proses pengelasan *SMAW* terbentuk asap pekat dan mengganggu pandangan *welder* terutama di daerah las, juga tumbuh cacat *spatter las* pada permukaan las maupun bahan induk (lihat Gambar 6).



Gambar 6. *Spatter* Las pada Permukaan Proses Pengelasan *SMAW*

Cacat *undercut* terjadi karena penyusutan pada *WM* dan bahan induk secara bersamaan, akibat gerakan cepat pada teknik pengelasan *stringer* (tarikan). Pada proses *SMAW* timbul *spatter* di permukaan sekitar logam las yang terbentuk oleh arus pengelasan tinggi (lihat Gambar 6). Pada proses pengelasan *A-TIG TiO₂*, dan *A-TIG Cr₂O₃*, pengaruh cacat *undercut* tidak signifikan.

Pengamatan penetrasi

Pengamatan penetrasi diranking untuk mengukur tingkat kemampuan proses las berpenetrasi dari masing-masing *flux*: 1) proses pengelasan *TIG* konvensional penetrasi 10,0-10,7 mm ; harga rata-rata 10,5 mm, urutan IV. 2) proses pengelasan *A-TIG Fe₂O₃* penetrasi 12,2 - 15,0 mm harga rata-rata 13,4 mm, pada urutan II. 3) proses pengelasan *A-TIG TiO₂* penetrasi 12,8 - 14,0 harga rata-rata 13,3 mm, urutan III. Proses pengelasan *A-TIG Cr₂O₃* penetrasi 13,2-14,1 harga rata-rata 13,5 mm, urutan I. 4) proses pengelasan *SMAW* penetrasi 8,2 - 8,4 mm ; harga rata-rata 8,3 mm, urutan V dan selama pengelasan gangguan asap juga HI tinggi 19 kJ/cm. Hasil proses pengelasan menunjukkan bahwa pada proses pengelasan *A-TIG* penetrasinya lebih tinggi dibandingkan dengan proses pengelasan *TIG* konvensional (22 sd 50%), demikian pula dengan proses pengelasan *SMAW* penetrasinya lebih tinggi

(49-83%). Hasil pengamatan ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Rangkuman Pengamatan Penetrasi

No	Proses	Lokasi	Penetrasi, mm
1	<i>TIG</i>	A	10,7
		B	10,7
		C	10,0
2	<i>A-TIG Fe₂O₃</i>	A	12,2
		B	15,0
		C	12,9
3	<i>A-TIG TiO₂</i>	C	13,0
		B	14,0
		A	12,8
4	<i>A-TIG Cr₂O₃</i>	A	13,2
		B	14,1
		C	13,3
5	<i>SMAW</i>	A	8,2
		B	8,4
		C	8,4

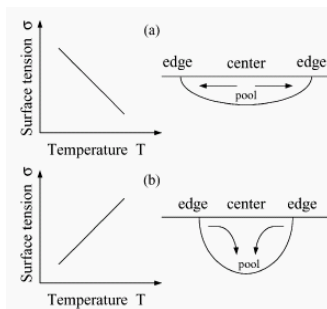
Dengan perkataan lain, umumnya proses pengelasan *A-TIG* memiliki penetrasi lebih dalam dibandingkan dengan proses pengelasan *TIG* dan *SMAW* (lihat Tabel 6).

Penetrasi yang lebih dalam pada proses pengelasan akan meningkatkan produktifitas, antara lain mereduksi jumlah pass, dan meniadakan persiapan sisi sambungan. Fenomena yang terjadi pada mekanisme peningkatan penetrasi adalah *Reverse Marangoni - effect (RME)*. Aliran Marangoni berhubungan dengan tegangan permukaan yang disebut dengan *Thermal Coefficient of Surface Tension (TCST)* seperti pada Gambar 7.

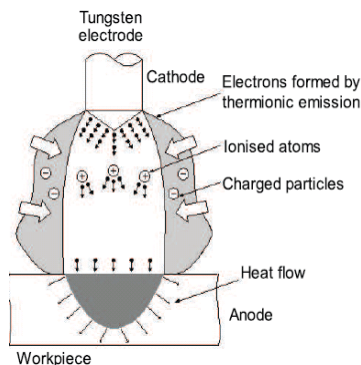
Beberapa logam murni dan logam paduan mempunyai karakter tegangan permukaannya menurun jika temperturnya dinaikkan ($\delta\sigma/\delta T < 0$). Karena pada *weld pool* mempunyai temperatur yang lebih tinggi dibandingkan pada pinggir logam cair, maka daerah di pinggir logam cair akan mempunyai tegangan permukaan yang lebih tinggi dibandingkan pada *weld pool*. Akibatnya, logam akan mengalir dari tengah menuju pinggir, sehingga menghasilkan penetrasi yang dangkal. Akan tetapi Heiple dan Roper menjelaskan sebaliknya. Ketika ada sejumlah kecil elemen (unsur atau senyawa) pada permukaan logam cair, maka karakter aliran ini malah bekerja berlawanan dengan *RME*. Unsur oksigen menyebabkan *TCST* bersifat positif ($\delta\sigma/\delta T > 0$). Tegangan permukaan di *weld pool* akan lebih tinggi dibandingkan di pinggir

logam cair. Akibatnya, aliran logam terjadi dari pinggir menuju *weld pool* sehingga membentuk penetrasi yang dalam [9,10].

Pada teori yang lain, Simonik (Gambar 8) menjelaskan bahwa mekanisme peningkatan penetrasi diakibatkan oleh penyempitan busur akibat pengaruh *flux*. Dia membagi busur menjadi 4 daerah. Daerah pertama adalah daerah *electron emisi termionic* (Katoda). Daerah yang kedua adalah *weld pool* (daerah ionisasi atom). Pada bagian *weld pool* merupakan daerah yang mengalami temperatur paling tinggi sehingga pada daerah ini terjadi ionisasi atom paling dominan. Daerah yang ketiga adalah daerah pinggir (daerah energi elektron rendah) serta yang keempat adalah daerah tumbukan elektron (anoda). Katoda menghasilkan elektron melalui *emission termionic* dan bergerak ke segala arah. Elektron pada *weld pool* adalah elektron berenergi tinggi karena berada pada daerah temperatur paling tinggi. *Flux* akan menangkap elektron dari daerah pinggir (daerah berenergi rendah). Proses penangkapan elektron oleh *flux* akan mempersempit busur dan meningkatkan densitas arus pada *weld pool* sehingga daerah pengecilan busur ini tidak hanya menghasilkan penetrasi yang dalam juga lebar, karena temperatur pada anoda (logam induk) akan lebih tinggi dan akan mempengaruhi busur [4].



Gambar 7. (a) Aliran Marangoni TCST Negatif, (b) TCST Positif [7].



Gambar 8. Bentuk busur menurut Simonik [4,5]

Tumbukan elektron pada anoda (logam induk) menghasilkan penetrasi yang lebih dalam [4,5]. Besar perubahan bentuk busur sangat dipengaruhi oleh keefektifan *flux* menguap dan bersatu dengan elektron. Oksigen dan halogen adalah elemen dengan afinitas terhadap elektron tinggi. Saat *flux* terbakar dan menguap, elemen ini akan bergabung dengan elektron yang berasal dari daerah pinggir (*peripheral zone*) yang mempunyai temperatur lebih kecil dari *weld pool* sehingga busur akan mengecil dan densitas arus pada pusat akan meningkat dan menghasilkan penetrasi yang dalam.

Pengamatan Distorsi

Pada pengelasan A-TIG *flux* Cr₂O₃ dan TiO₂ (2,29 – 2,85) derajat distorsi relatif kecil karena kedua jenis *flux* ini menunjukkan manik las sempit dan relatif rata (lihat Tabel 7). Berbeda dengan pengelasan A-TIG *flux* Fe₂O₃ yang derajat distorsinya lebih tinggi (3,13). Jika ditinjau dari lebar manik las A-TIG Fe₂O₃ paling tinggi dan fluktuatif penetrasinya paling dalam. Hal ini membuktikan bahwa perbedaan pengelasan konvensional dengan flux oksida berpengaruh terhadap distorsi, karena volume logam induk yang mencair antar pelat yang disambung tidak sama. Selama proses pengelasan, logam las mengalami ekspansi thermal secara lokal dan distribusi suhu tidak homogen sepanjang logam yang dilas. Selama siklus suhu ini, muncul tegangan di sepanjang logam las dan HAZ. Tegangan ini yang menjadi *internal stress* yang menyebabkan distorsi.

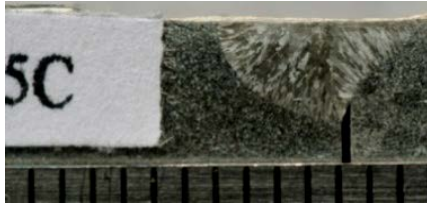
Perbedaan distorsi tidak hanya disebabkan oleh lebar manik las tetapi juga oleh dalamnya penetrasi. Biasanya pada saat proses pendinginan volume logam cair di permukaan atas lebih besar daripada volume logam cair di permukaan bawah pelat (lihat Gambar 9 dan 10).

Tabel 7. Perbedaan distorsi

No	Proses pengelasan	Distorsi, derajat
1	TIG	3,9
2	A-TIG Fe ₂ O ₃	3,13
3	A-TIG TiO ₂	2,29
4	A-TIG Cr ₂ O ₃	2,85
5	SMAW	4,26

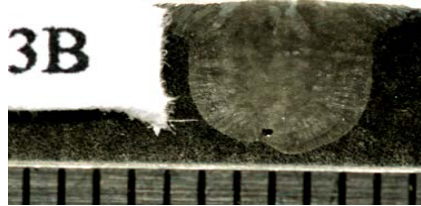


Gambar 9. Pengamatan makro proses las SMAW



Gambar 10. Pengamatan makro proses las TIG konvensional

Pada pengelasan *A-Tig*, distorsinya rendah yang ditunjukkan oleh volume logam cair yang relatif sama di permukaan atas dan bawah (lihat gambar 10). Sudut distorsi paling besar terjadi pada proses las SMAW kemudian diikuti proses pengelasan TIG dan A-TIG.



Gambar 10. Pengamatan makro proses pengelasan A-TIG TiO₂

Pengamatan Kekerasan

Perbedaan nilai kekerasan di logam induk dan HAZ semua proses pengelasan tidak signifikan. Nilai kekerasan HAZ dan WM sedikit berbeda. Hal ini mendukung bahwa bahan baja AISI 316L mengalami sedikit perubahan *grain size* di HAZ oleh suhu tinggi pengelasan. Pada proses pengelasan *flux A-TIG* Fe₂O₃ dan TiO₂ nilai kekerasan di HAZ dan *Weld Metal* relatif sama, kenaikan kekerasan yang relatif kecil di HAZ dapat disebabkan oleh tumbuhnya butir austenite akibat peningkatan suhu, sedangkan proses pengelasan A-TIG *flux* Cr₂O₃ kekerasan sedikit lebih tinggi. Suhu tinggi dapat dikonfirmasi positif oleh dalamnya penetrasi pada pengelasan A-TIG Cr₂O₃ akan tetapi mengubah nilai kekerasan logam.

Tabel 8. Hasil uji kekerasan

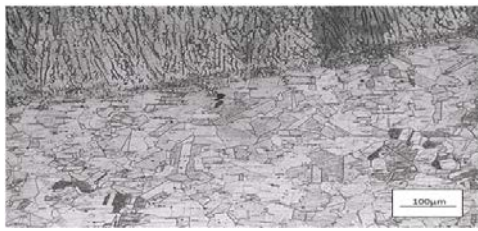
No	Proses	lokasi	Nilai keras, Hv 0,2
1	<i>TIG konvensional</i>	Bahan	145 - 150
		induk	160 - 170
		HAZ	170 - 175
		WM	
2	A-TIG Fe ₂ O ₃	Bahan	145 - 150
		induk	180 - 185
		HAZ	180 - 185
		WM	
3	A-TIG TiO ₂	Bahan	145 - 150
		induk	175 - 175
		HAZ	160 - 160
		WM	
4	A-TIG Cr ₂ O ₃	Bahan	145 - 150
		induk	175 - 180
		HAZ	175 - 190
		WM	
5	SMAW	Bahan	145 - 150
		induk	200 - 200
		HAZ	175 - 190
		WM	

Pada proses pengelasan SMAW nilai kekerasan pada HAZ paling tinggi (200 Hv), *grain size* mengecil menjadi *fine grains* sedangkan pada WM nilai kekerasan bervariasi (175 - 190 Hv). Kecenderungan peningkatan nilai kekerasan di HAZ dan WM pada semua proses pengelasan (*TIG konvensional*, A-TIG dan SMAW) dapat disebabkan oleh adanya unsur penambah dari *flux A-TIG* dan *filler metal* pada SMAW dan terbentuknya struktur baru *fine grains*. Tetapi pada proses pengelasan A-TIG hampir tidak terjadi perubahan, perbedaan sifat mekanik pada proses pengelasan A-TIG tidak signifikan.

Pengamatan Struktur Mikro

Proses pengelasan TIG konvensional di HAZ terjadi sedikit perubahan *grain size* menjadi lebih halus terhadap logam induk menunjukkan bahwa proses TIG sedikit berpengaruh di *grain size* HAZ, dapat dikatakan ketangguhan lasan AISI 316L hampir menyamai ketangguhan logam induk. Proses pengelasan A-TIG, perubahan *grain size* tidak signifikan, bahkan di beberapa tempat tidak terlihat adanya pertumbuhan butir. Pada Gambar 11 proses pengelasan A-TIG Fe₂O₃ struktur mikro pada HAZ dan logam induk hampir tidak berbeda *fine grains* sedangkan pada proses pengelasan SMAW tampak *grain size* HAZ lebih halus lihat gambar 12 dapat diindikasikan nilai kekerasan meningkat. Perubahan *grain size* di HAZ

dikonfirmasi dengan naiknya nilai kekerasan pada HAZ.



Gambar 11. Proses Las A-TIG Fe_2O_3 di HAZ, fusion line dan WM



Gambar 12. Proses pengelasan SMAW di HAZ, fusion line dan WM

Hasil proses pengelasan di *weld metal* ditandai dengan struktur columner yang ditumbuhi sejumlah δ -ferrite (lihat Gambar 11). Tumbuhnya δ -ferrite akan menurunkan terbentuknya senyawa bertitik cair rendah dengan melarutkan unsur pembentuknya ke dalam fasa ferrite. Difusi unsur ini pada δ -ferrite akan lebih tinggi dibandingkan di austenit karena struktur δ -ferrite adalah BCC sedangkan austenit adalah FCC. Peningkatan δ -ferrite pada WM oleh temperatur tinggi. Selain itu, sangat mungkin dipengaruhi oleh flux yang mengandung chrom (A-TIG Cr_2O_3) chrom adalah pembentuk δ -ferrite [14]. Demikian pula proses pengelasan SMAW yang mengandung δ -ferrite cukup tinggi karena dipengaruhi oleh filler metal yang mengandung 20,19% Cr, dan 11,88% Ni.



Gambar 13. Proses las A-TIG Cr_2O_3 lokasi WM

KESIMPULAN

Proses pengelasan A-TIG memberikan peningkatan penetrasi A-TIG Fe_2O_3 : 7,2 mm, A-TIG TiO_2 : 5,18 mm, dan A-TIG Cr_2O_3 : 5,72 mm dibandingkan dengan TIG konvensional :

3,35 mm (22-50%) dan SMAW penetrasi 3,32 mm (49-83%). Peningkatan penetrasi dipengaruhi oleh dua mekanisme yaitu perubahan tegangan permukaan logam cair dan perubahan bentuk busur proses pengelasan.

Distorsi proses pengelasan A-TIG lebih kecil daripada pengelasan TIG konvensional dan SMAW ($Fe_2O_3 = 3,13^\circ$; $TiO_2 = 2,29^\circ$; dan $Cr_2O_3 = 2,85^\circ$), sedangkan proses pengelasan TIG konvensional = $3,9^\circ$ dan SMAW = $4,26^\circ$). Distorsi disebabkan volume peleburan WM dan dalamnya penetrasi. Perbedaan volume logam cair di permukaan atas lebih besar dari volume bagian bawah.

Umumnya kekerasan di HAZ dan WM lebih tinggi daripada di logam induk, terjadi penghalusan ukuran butir (*refined grain size*) dan pada logam las terdapat sejumlah δ -ferrite (BCC) yang cukup signifikan. Sifat mekanik kekerasan proses pengelasan A-TIG cenderung seragam

DAFTAR PUSTAKA

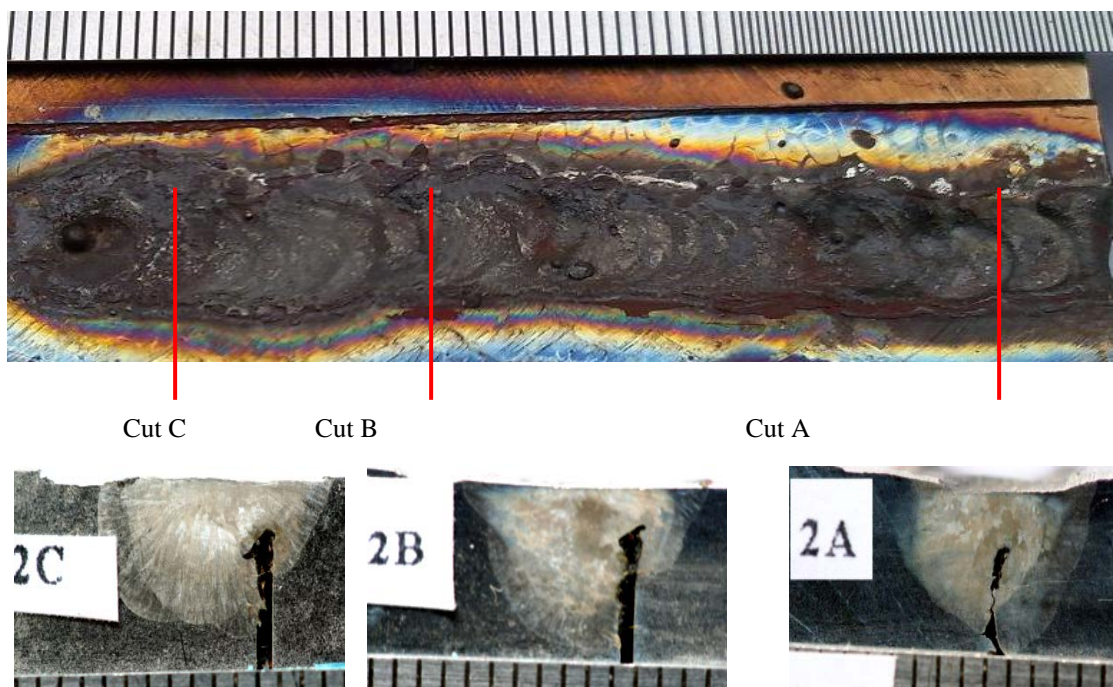
1. Huang H. Shyu S. Tseng K. Chou C., 2006, *Effects of the Process Parameters on Austenitic Stainless Steel by TIG-Flux Welding*, National Chiao Tung University, Taiwan, China.
http://www.gxcme.edu.cn/jpkc1/hj060522/weld12.6/lesson/lesson6/6_1_6.pdf.
Diakses tanggal 10 Mei 2010
2. Lucas W. Howse D, 1996, *Activating flux increasing the performance and productivity of the TIG and plasma processes*. Welding and Metal Fabrication.
3. Lucas W. Howse D, 1996, *Activating flux increasing the performance and productivity of the TIG and plasma processes*. Welding and Metal Fabrication.
4. Chunli Y. Sanbao L. Fenyao L. Lin W. Qingtao ZHANG, 2003, *Research on the Mechanism of Penetration Increase*. Harbin Institut of Technology. Harbin.
5. Wiryosumarto H and Okumura T, 2004, *Teknologi Pengelasan Logam*, cetakan ketujuh, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.Ch.2.pp. 16-19.
6. The ASM Handbook Committee, 1995, *Welding, Brazing and Soldering*, ASM vol 6. Material Park Ohio US.
7. The American Society of Mechanical Engineers(ASME), 2008, *Welding and Brazing Qualification, section IX* , Three Park Anenue, New York, NY 10016-5990.

8. Heiple C.R, Burgardt P. 2002, *Fluid Flow Phenomena During Welding*, Welding Handbook. EG&G Rocky Flats.
9. Sándor.T, Dobránszky. J. *The experiences of activated tungsten inert gas A-TIG, welding applied on 1.4301 type stainless steel plates*, Welding Journal. 2007
10. <http://www.mtakpa.hu/kpa/download/1155699.pdf>. Diakses tanggal 3 Maret 2010
11. Lucas B., 1996, *Activating Flux Improving the Performa TIG process*, ALS Department of TWI.
12. Shyu S.W ,Huang H.Y , Tseng K.H ,Chou C.P, 2007, *Study of the Performance of Stainless Steel A-TIG Welds*. Journal of Material Engineering and Performance.
13. Huang H, Shyu S, Tseng K, Chou C, 2005, *Effect of the Process Parameters of Austenitic Stainless steel by TIG-Flux Welding*. Departement of Mechanical Engineering, National Chiao Tung University. China Taiwan.

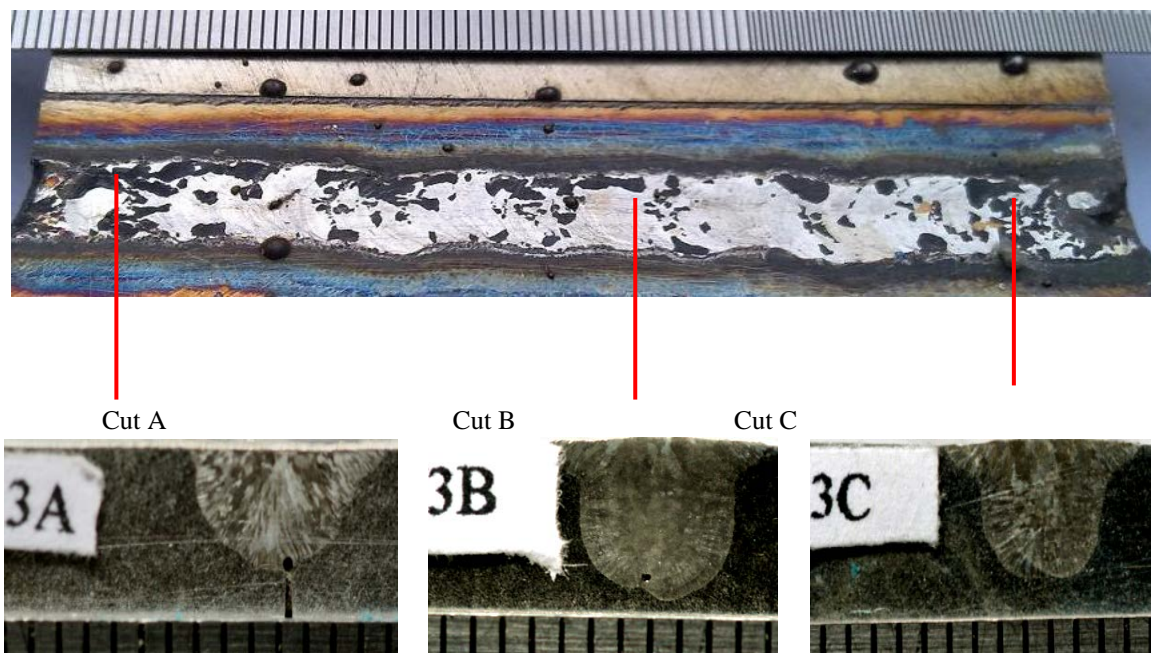
LAMPIRAN A (Pengamatan Makro)



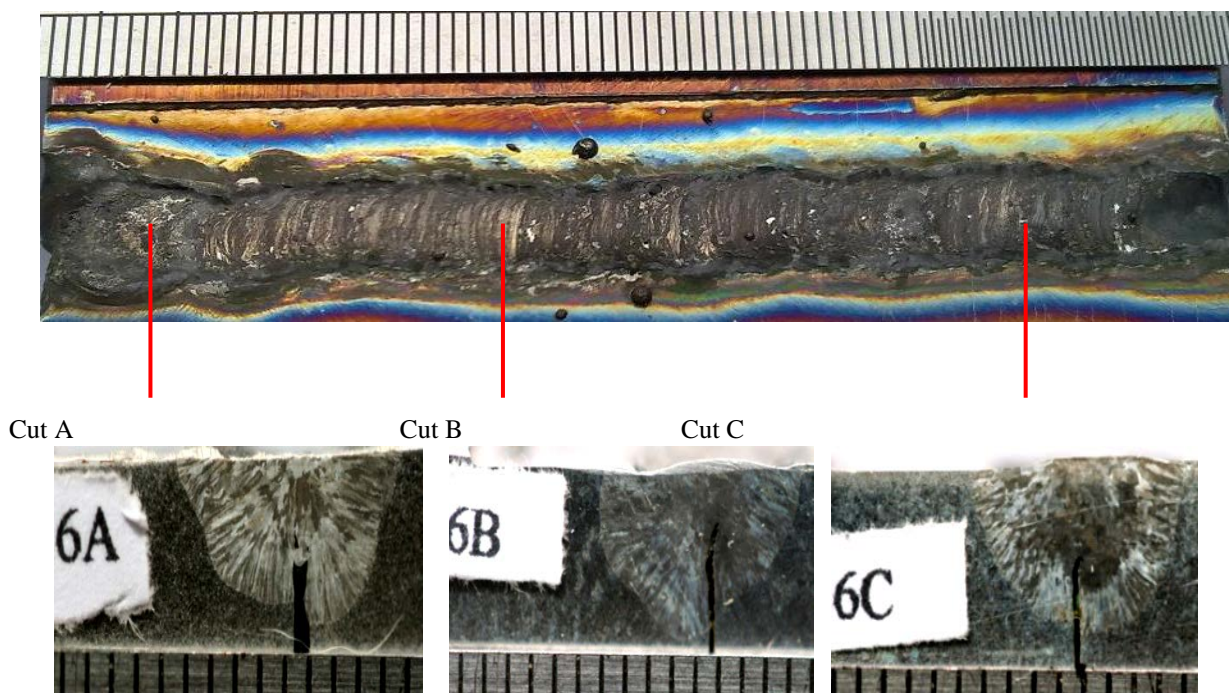
Gambar A.1. Pengamatan Makro Konv. TIG



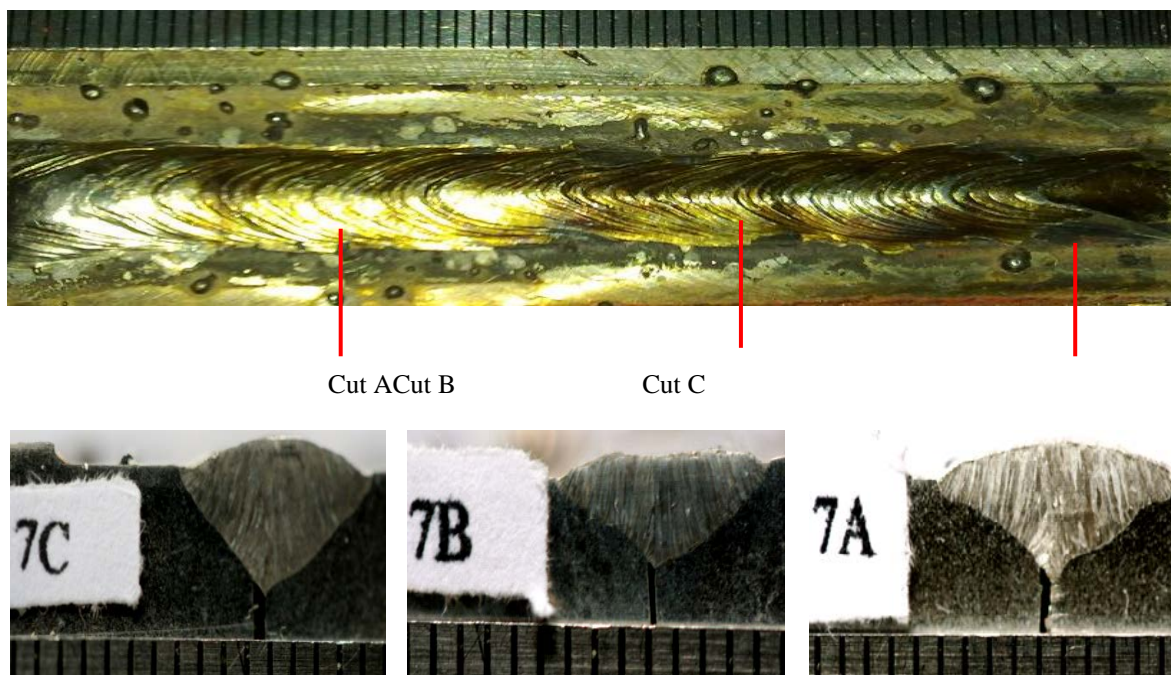
Gambar A.2. Pengamatan Makro A-TIG (Fe_2O_3)



Gambar A.3. Pengamatan Makro A-TIG (TiO_2)

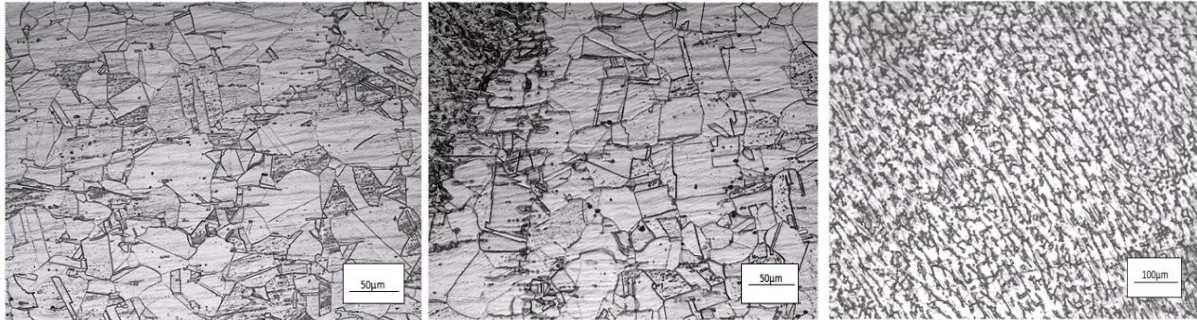


Gambar A.4. Pengelasan Makro A-TIG (Cr_2O_3)

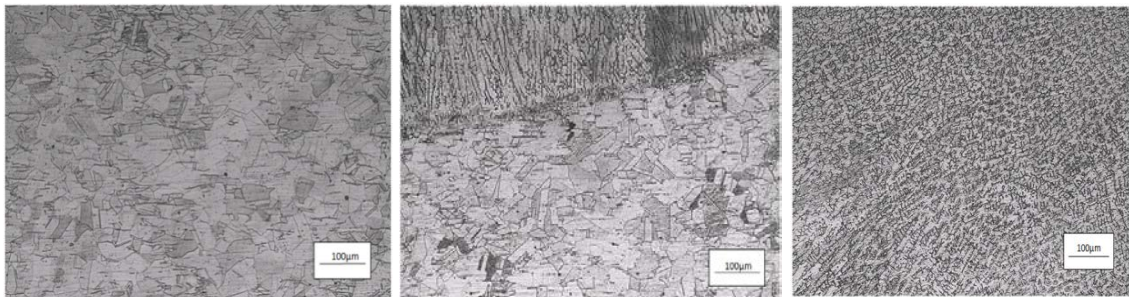


Gambar A.5. Pengelasan SMAW

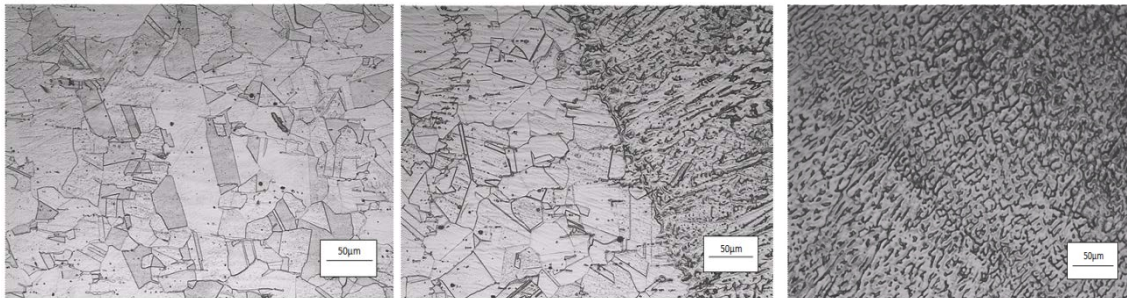
LAMPIRAN B (Pengamatan Struktur Mikro)



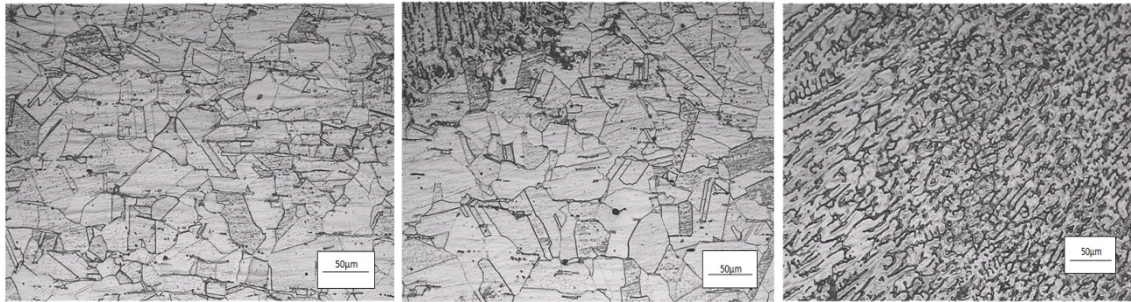
Gambar B.1. Pengelasan konv.TIG; (1) Logam Induk (2) HAZ (3) Logam las



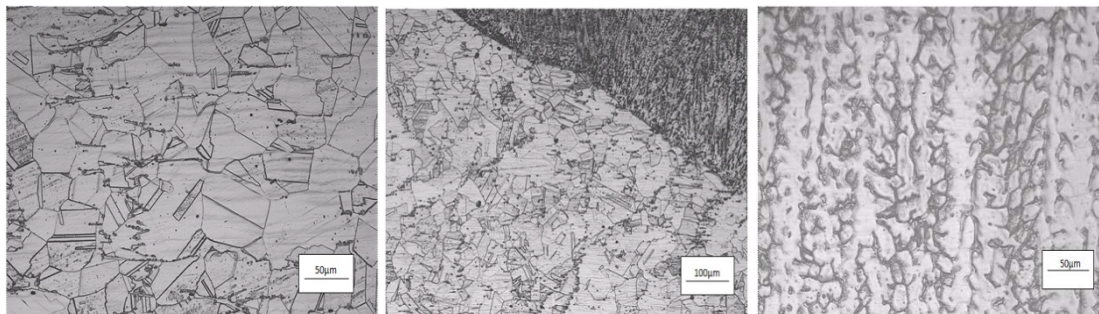
Gambar B.2. Pengelasan A-TIG; (Fe_2O_3) (1) Logam Induk (2) HAZ (3) Logam las



Gambar B.3. Pengelasan A-TIG; (TiO_2) (1) Logam Induk (2) HAZ (3) Logam las



Gambar B.4. Pengelasan A-TIG (Cr_2O_3); (1) Logam Induk (2) HAZ (3) Logam las



Gambar B.5. Pengelasan SMAW; (1) Logam Induk (2) HAZ (3) Logam las