

## PENGARUH KUAT ARUS LISTRIK DAN LAJU ALIR GAS PELINDUNG TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKUATAN TARIK-GESER SAMBUNGAN LAS TIG LOGAM TAK SEJENIS ALUMINIUM PADUAN 5052-BAJA GALVANIS DENGAN FILER Al-Si 4043

Sanuri Ebru Prasetyo<sup>1</sup>, Triyono<sup>2</sup>, Nurul Muhayat<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Sarjana Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

<sup>2</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

### Keywords :

*Tungsten Inert Gas welding*  
*Dissimilar metal*  
*Welding current*  
*Shielding gas flowrate*  
*microstructure*  
*Intermetallic compound*  
*Tensile-shear strength*

### Abstract :

*Joining dissimilar metals by TIG welding was an increasing trend in automotive assembly. Effect parameter of welding such as welding current and shielding gas flow rate to microstructure and tensile-shear strength of tungsten inert gas weld joint dissimilar metals aluminium 5052 and galvanized steel with Al-Si 4043 was determined. Welding speed was kept constant in this research. The parameter of welding current was used in this experiment were 70; 80; and 90 A and shielding gas flow rate 10; 12; and 14 litre per minute. As a result of the experiment, it was determined that increasing of welding current and shielding gas flowrate cause grain size become smaller in weld area, HAZ of aluminum, and HAZ of galvanized steel. The biggest grain size in weld area, HAZ of aluminum, and HAZ of galvanized steel are 73,34; 117,7; dan 47,7  $\mu\text{m}$  respectively. The increasing of tensile-shear strength caused by increasing of shielding gas flowrate. The highest tensile-shear strength of weld got in welding current 80 A and shielding gas flowrate 14 litre/minute is 95,34 MPa. The lowest tensile-shear strength got in welding current 70 A and shielding gas flowrate 10 litre/minute is 59,67 MPa.*

### 1. PENDAHULUAN

Material yang ringan seperti aluminium paduan sangat sesuai untuk aplikasi pada struktur pesawat ruang angkasa, kapal, kereta api dan mobil (Altenpohl, 1998). Secara khusus, reduksi berat menjadi bagian yang penting dalam upaya meningkatkan efisiensi daya mesin kendaraan, contohnya adalah pemakaian aluminium paduan pada kendaraan bermotor (Miller dkk, 2000). Pemakaian aluminium paduan melibatkan teknik penyambungan aluminium dengan baja. Hal ini merupakan prinsip struktur material pada kendaraan bermotor (Schubert dkk, 2001). Pemilihan material logam tak sejenis (*dissimilar*) bertujuan untuk memadukan sifat dan karakteristik dari logam tersebut, misal konstruksi yang menggunakan baja karbon dengan baja tahan karat akan lebih ekonomis dari suatu konstruksi yang menggunakan baja tahan karat seluruhnya (Morris, 2003). Bagaimanapun, sangat sulit untuk mengelas aluminium dengan baja mengingat komposisi kimia dan perbedaan titik lebur yang jauh di antara kedua material. Lapisan intermetalik rapuh yang seperti  $\text{FeAl}$ ,  $\text{Fe}_2\text{Al}_5$ , dan  $\text{FeAl}_3$  juga mempengaruhi kekuatan sambungan lasan (Liu dkk, 2012).

Las TIG bisa digunakan untuk menyambung aluminium paduan di mana secara umum material ini

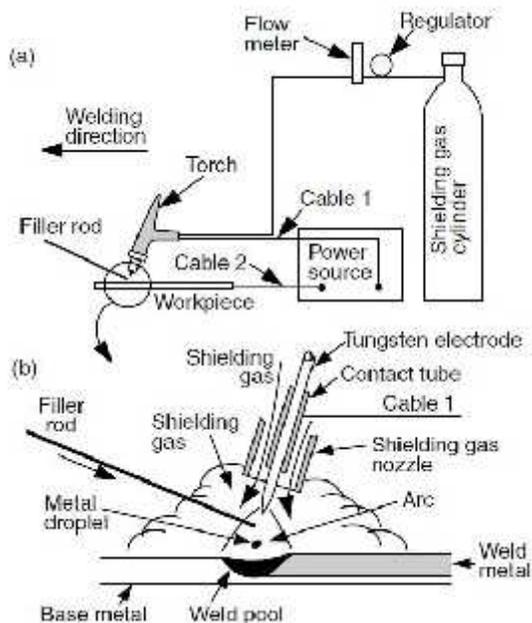
digunakan pada kapal, bodi kendaraan, *pressure vessel*, dan perlengkapan tambang. Aluminium paduan seri 5xxx sebenarnya adalah paduan Al-Mg. Material ini adalah paduan tanpa perlakuan panas berkekuatan tinggi yang dipakai secara komersil. Paduan Al-Mg paling sering digunakan untuk industri pertahanan dan pesawat luar angkasa. Magnesium adalah salah satu dari elemen paduan yang paling efektif dan dipakai secara luas. Aluminium seri 5xxx memperlihatkan karakteristik mampu las yang baik dan ketahanan korosi yang baik terhadap atmosfer (Narayanan dkk, 2013).

Penelitian ini berfokus pada pengaruh kuat arus listrik dan laju alir gas pelindung terhadap struktur makro, struktur mikro dan sifat mekanis sambungan las logam tak sejenis antara aluminium paduan 5052 dengan baja galvanis dengan kawat pengisi yang mengandung unsur silikon (Si) yaitu Al-Si 4043. Perbedaan sifat material antara aluminium dan baja menjadi tantangan dan kesulitan tersendiri dalam proses pengelasan. Kemanfaatan jangka pendek dari penelitian ini adalah untuk mencari metode pengelasan yang bisa digunakan sebagai alternatif dalam penyambungan material beda jenis antara aluminium dan baja, sedangkan kemanfaatan jangka panjang adalah penerapan aplikasi las TIG material beda jenis

pada penyambungan berbagai struktur yang memerlukan dua material yang berbeda khususnya aluminium dan baja. Salah satu struktur yang memerlukan kedua material tersebut adalah lambung kapal.

Las TIG (*Tungsten Inert Gas Welding*) adalah jenis las listrik yang menggunakan bahan tungsten sebagai elektroda tidak terkonsumsi. Elektroda ini hanya berfungsi untuk menghantarkan arus listrik dari sumber daya ke logam induk sehingga menghasilkan busur nyala listrik yang mempunyai energi panas yang tinggi. Bahan penambah berupa batang logam pengisi (*filler rod*) yang dicairkan oleh nyala busur mengisi daerah lasan. Gas mulia (seperti argon dan helium) dan CO<sub>2</sub> digunakan sebagai gas pelindung untuk mencegah terjadinya oksidasi udara luar terhadap cairan logam yang dilas.

Las TIG cocok untuk mengelas plat tipis karena memiliki *heat input* yang terbatas. Laju pengumpanan logam pengisi tidak tergantung pada arus pengelasan. Proses las TIG merupakan proses pengelasan yang sangat bersih yang bisa digunakan untuk mengelas logam reaktif seperti titanium, zirconium, aluminium, dan magnesium. Kuat arus listrik yang terlalu besar bisa menyebabkan peleburan elektroda tungsten dan menghasilkan inklusi tungsten yang getas pada lasan. Proses pengelasan menggunakan elektroda wolfram yang bukan merupakan bahan tambah. Busur listrik yang terjadi antara ujung elektroda wolfram dan bahan dasar merupakan sumber panas untuk pengelasan.



Gambar 1.1 Pengelasan *Tungsten Inert Gas*; (a) proses keseluruhan; (b) perbesaran area pengelasan (Sindo Kou, 2002).

Gambar 1.1 Menunjukkan proses las TIG saat meleburkan dan menyambung logam dengan cara memanaskan logam tersebut lewat busur yang terbentuk dari elektroda tungsten yang tak terkonsumsi dengan logam induk. Pegangan *torch* elektroda tungsten dihubungkan dengan tabung gas pelindung seperti pada gambar 1.1(a). Elektroda tungsten biasanya kontak dengan tabung air pendingin dari tembaga, disebut tabung kontak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.1(b), yang dihubungkan dengan kabel las dari terminal. Arus listrik las mengalir dari sumber daya menuju elektroda dan elektroda tersebut didinginkan untuk mencegah panas yang berlebihan. Benda kerja (*Workpiece*) dihubungkan dengan terminal yang lain pada sumber daya melalui kabel yang berbeda (kabel 2). Gas pelindung (*Shielding gas*) masuk melalui bodi *torch* dan diarahkan dengan nozel menuju ke kolam lasan (*Weld pool*) untuk melindungi masuknya udara dari luar. Perlindungan dari udara pada las GTAW lebih baik daripada GMAW karena gas mulia (*Inert gas*) langsung diarahkan ke kolam lasan. Karena alasan inilah las GTAW juga disebut dengan las *Tungsten Inert Gas* (TIG).

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Alat dan Bahan

Mesin las TIG pada Gambar 2.1 (a) yang digunakan mempunyai arus keluaran 5-200 A dan efisiensi 85%. JIG yang digunakan seperti pada Gambar 2.1 (b) didesain sedemikian rupa sehingga mampu menjepit benda kerja dengan sempurna sehingga kerapatan sambungan bisa dijaga.



(a)



(b)

Gambar 2.1 (a) Mesin las TIG; (b) JIG pencekam plat

Bahan yang digunakan sebagai logam induk adalah plat aluminium paduan 5052 berdimensi 200 x 80 x 3 mm dan baja galvanis berdimensi 200 x 80 x 1,2 mm, sedangkan logam pengisi yang digunakan adalah Al-Si 4043 berbentuk kawat dengan diameter 1,6 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2. Elektroda yang digunakan adalah Tungsten murni (*Pure Tungsten*) dengan diameter 2,6 mm yang tak terkonsumsi ketika proses pengelasan berlangsung.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.2 (a) Logam induk aluminium paduan 5052; (b) baja galvanis; (c) filler Al-Si 4043.

Komposisi kimia untuk masing-masing bahan ditunjukkan pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

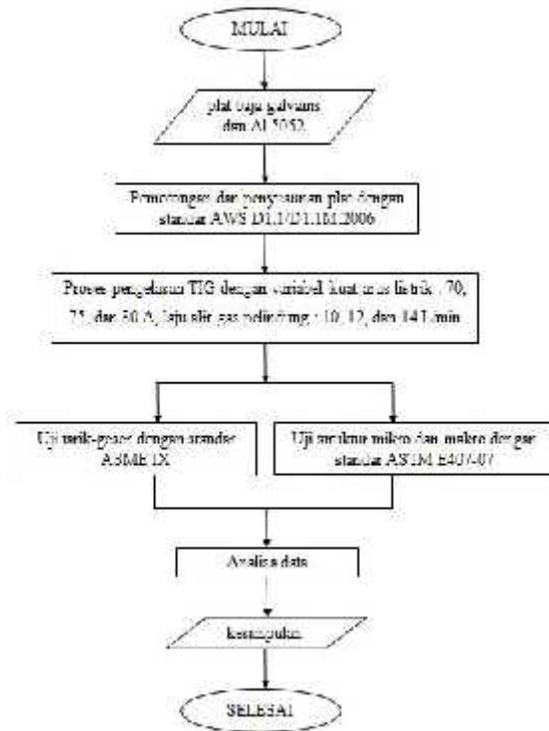
Tabel 2.1 Komposisi kimia logam induk

Elemen	%C	%Mg	%Si	%Al	%Fe	%Cu	%Mn	%Zn
Baja Galvanis	0,03	3,0	-	0,8	-	-	-	98,0
Aluminium A5052	-	2,2-3,3	0,25	95,7	0,25	0,10	0,40	0,10

Tabel 2.2 Komposisi kimia logam pengisi Al-Si 4043

Jenis	Unsur paduan (% massa)								
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
Al-Si 4043	4,5-6,0	0,80	0,30	0,03	0,25	-	0,10	0,20	95-96%

2.2 Skema Metode Penelitian



Gambar 2.3 Diagram alir metode penelitian

Gambar 2.3 Menunjukkan diagram alir metode penelitian. Variabel bebas (*independent*) yang digunakan pada penelitian ini adalah besar kuat arus listrik yaitu 70 A, 80 A, 90 A dan laju alir gas pelindung 10 L/menit, 12 L/menit, 14 L/menit. Variabel terikat (*dependent*) adalah kekuatan tarik-geser sambungan, struktur makro dan struktur mikro yang dihasilkan dari proses pengelasan *Tungsten Inert Gas* (TIG) pada baja galvanis dan aluminium paduan. Variabel terkontrol adalah kecepatan pengelasan.

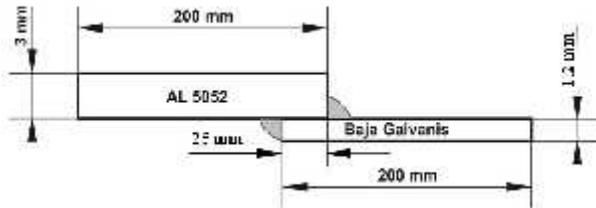
Untuk menentukan arah penelitian yang lebih baik maka ditentukan batasan masalah sebagai berikut :

1. Kecepatan pengelasan dibuat konstan yaitu 60 mm/menit.
2. Pembersihan permukaan plat dilakukan secara seragam menggunakan alkohol.
3. Pendinginan hasil las dilakukan di udara pada temperatur ruangan.

Proses pengelasan dilakukan oleh *Welder* yang berpengalaman dan telah bersertifikat oleh lembaga pelatihan las yang diakui sehingga bisa menjamin bentuk filet yang seragam pada hasil lasan sehingga

tidak akan mempengaruhi hasil pengujian pada penelitian ini.

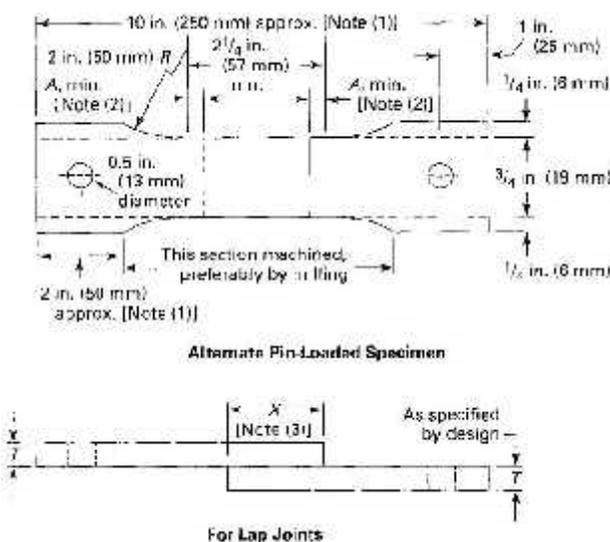
Penyusunan plat menggunakan geometri yang mengacu pada standar AWS D1.1/D1.1M:2006 seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.4. Plat aluminium paduan A5052 dan baja galvanis berdimensi 200 x 80 x 1.2 mm dan panjang *overlap* sambungan las 25 mm.



Gambar 2.4 Susunan plat lap joint sesuai standar AWS D1.1/D1.1M:2006

### 2.3 Pengujian

Pengujian struktur makro dan mikro menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 20x untuk struktur makro, 100X dan 200X untuk struktur mikro. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bentuk, susunan, dan ukuran butir. Prosedur pengetsaan untuk pengamatan mikroskop menggunakan *Modified Poulton Reagent* pada aluminium dengan komposisi campuran 6 gram  $\text{CrO}_3$ , 15 ml HCl, 20 ml  $\text{HNO}_3$  dan 1,25 ml HF dilarutkan dengan 21,25 ml aquades. Cairan etsa untuk baja karbon rendah galvanis menggunakan komposisi campuran 1 ml  $\text{HNO}_3$  dilarutkan dengan 10 ml aquades. Proses pengujian tarik menggunakan mesin uji tarik UTM berkapasitas 2 ton dengan laju pembebanan 8 mm/menit. Dimensi spesimen uji tarik-geser mengacu pada standar ASME IX seperti pada Gambar 2.5.

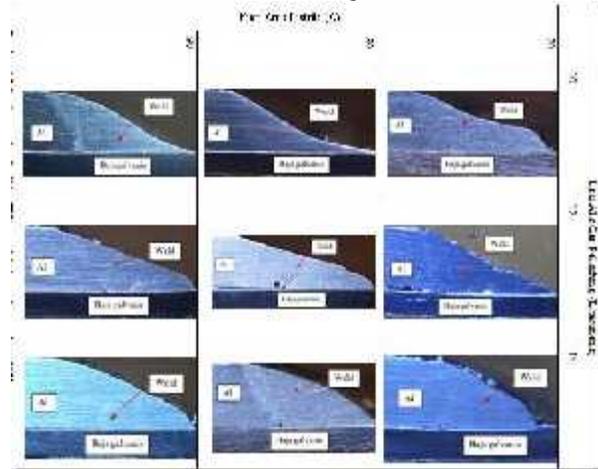


Gambar 2.5 Dimensi spesimen uji tarik-geser yang mengacu pada standar ASME IX

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Analisa struktur makro

Hasil lasan pada semua variasi dapat dilihat pada gambar 3.1. Foto makro diambil pada bagian tengah setelah melalui proses pemotongan dengan cara menggergaji spesimen secara manual. Jika proses pemotongan dilakukan dengan gerinda potong maka akan menimbulkan panas berlebih yang dikhawatirkan akan mempengaruhi struktur mikronya. Kuat arus listrik yang semakin membesar menyebabkan peningkatan *heat input* pada kolam lasan, pelebaran dan kedalaman area lasan (Wang, 2011).



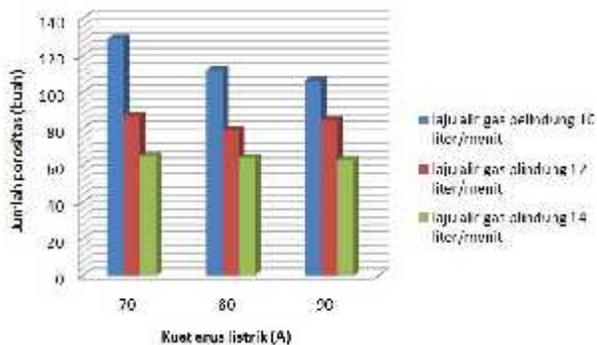
Gambar 3.1 Struktur makro hasil las TIG material aluminium paduan 5052 dengan baja galvanis dengan logam pengisi Al-Si 4043

Gambar 3.1 menunjukkan bentuk lasan pada parameter kuat arus listrik 70 A, 80 A, dan 90 A. Ketika kuat arus listrik terlalu besar sehingga masukan panas menjadi semakin tinggi menyebabkan penetrasi logam pengisi meningkat. Sedangkan semakin tinggi laju alir gas pelindung maka hasil lasan semakin halus dan cenderung memiliki kontur oval. Lasan pada laju alir gas pelindung 10 liter/menit memiliki kontur lebih landai dan lebih tipis, sedangkan lasan pada laju alir gas pelindung 14 liter/menit memiliki kontur yang cenderung oval dan lebih tebal. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi laju alir gas pelindung maka busur listrik yang dihasilkan antara elektroda dan logam induk akan semakin halus dan stabil sehingga hasil lasan semakin halus.

Pada pengamatan struktur makro, hal yang difokuskan untuk diamati adalah munculnya porositas yang terjadi pada lasan. Porositas adalah cacat lasan yang berupa lubang pori-pori dan harus diminimalisir untuk menjaga kualitas lasan. Pada penelitian ini, porositas yang muncul pada area lasan terjadi karena udara luar yang mengkontaminasi saat pengelasan berlangsung. Selain di daerah lasan, pada daerah antar muka baja galvanis dengan filer juga terjadi porositas. Cacat yang berupa lubang pori-pori ini juga dapat

terjadi karena penguapan seng (Zn) di mana hal ini terjadi pada daerah lapisan antar muka (Honggang dkk, 2012). Laju alir gas pelindung sangat mempengaruhi banyak sedikitnya porositas yang terjadi (Song dkk, 2013).

Semakin tinggi laju alir gas pelindung maka akan bisa meminimalkan jumlah porositas pada lasan karena semakin banyak volume gas pelindung yang disemburkan ke area lasan dapat menekan gas hidrogen untuk keluar dari lasan. Gas hidrogen berasal dari atmosfer yang paling berperan terhadap munculnya porositas pada area lasan. Tanda warna merah adalah porositas yang berhasil diamati dengan menggunakan mikroskop makro. Parameter laju alir gas pelindung yang berupa argon dengan kemurnian 99,97% adalah yang paling berpengaruh terhadap munculnya porositas ini. Pengamatan visual menunjukkan spesimen dengan variasi laju alir gas pelindung yang paling rendah sebesar 10 liter/menit terdapat lubang pori-pori yang jumlahnya paling banyak dibandingkan pada spesimen dengan variasi laju alir gas pelindung 12 dan 14 liter/menit. Jika dilihat pada parameter kuat arus listrik, porositas yang paling banyak terjadi pada variasi kuat arus listrik 70 A. Lubang porositas menyebar di area lasan dalam bentuk lubang pori-pori yang relatif berukuran kecil. Banyaknya lubang pori-pori yang muncul secara kuantitatif bisa dihitung dan dapat dibandingkan dalam sebuah grafik seperti pada Gambar 3.2.

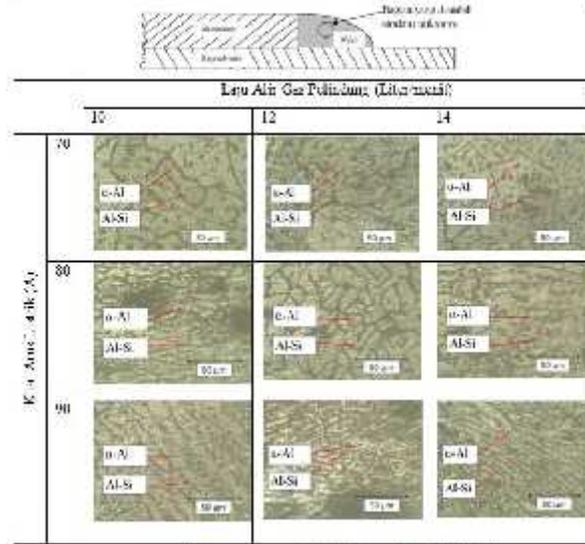


Gambar 3.2 Grafik hubungan antara kuat arus listrik terhadap jumlah porositas pada lasan.

### 3.2 Analisa struktur mikro

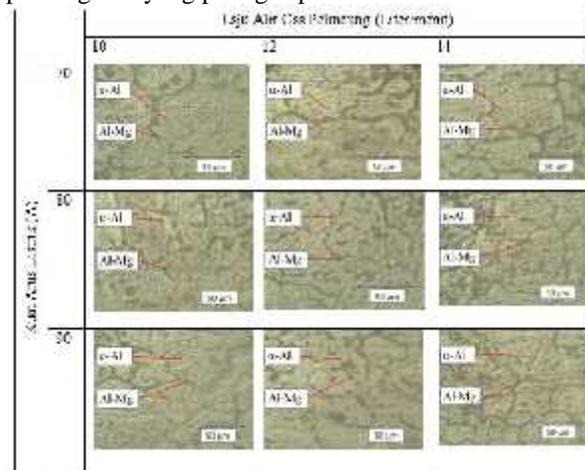
Gambar 3.3 menunjukkan bahwa struktur mikro lasan terdiri dari  $\alpha$ -Al (berwarna terang) dan Al-Si (berwarna gelap). Adanya unsur Si pada daerah fusi lasan bisa membentuk butiran yang halus (Shujun dkk, 2013). Al-Si eutektik membentuk batas butir. Pengelasan dengan menggunakan gas argon menghasilkan proses pendinginan yang lebih cepat dari pada pengelasan dengan menggunakan udara terbuka sehingga mempengaruhi ukuran butir. Besar ukuran butir dapat dihitung dengan menggunakan Metode

Heyn (*Lineal Intercept Procedure*) dengan mengacu pada standar ASTM E 112.



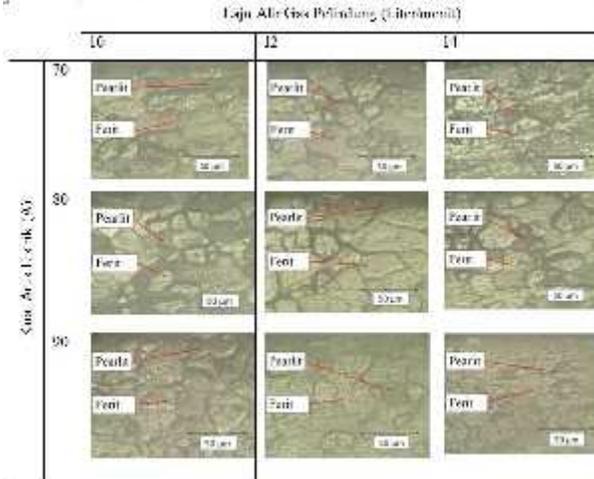
Gambar 3.3 Struktur mikro pada area lasan

HAZ (*Heat Affected Zone*) merupakan daerah terkena panas dan mengalami perubahan struktur mikro tetapi tidak sampai terjadi peleburan. Pada kasus penelitian ini HAZ aluminium terletak di dekat filer seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4. Luasan area HAZ dipengaruhi oleh resistivitas listrik logam induk. Resistivitas listrik baja karbon rendah lebih tinggi ( $14,2 \times 10^{-6}$  ohm.cm) dibandingkan aluminium A5052 sebesar  $4,99 \times 10^{-6}$  ohm.cm), maka panas yang dihasilkan di daerah baja karbon rendah lebih tinggi. Gambar 3.4 menunjukkan struktur butir HAZ aluminium 5052 variasi kuat arus listrik 90 A dengan laju alir gas pelindung 14 liter/menit memiliki butir yang paling kecil dibandingkan variasi kuat arus listrik 70 dan 80 A karena pada kuat arus listrik 90 A timbul masukan panas yang paling maksimum dengan pendinginan yang paling cepat.

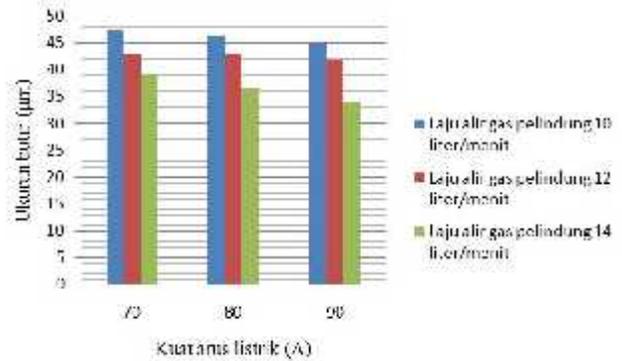


Gambar 3.4 Struktur mikro pada HAZ aluminium

Pada HAZ baja galvanis ukuran butirnya juga semakin mengecil seiring dengan bertambahnya laju alir gas pelindung dan kuat arus listrik seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5. Ukuran rata-rata butir terbesar terjadi pada kuat arus listrik 70 A dan laju alir gas pelindung 10 liter per menit sebesar 47,47  $\mu\text{m}$ .



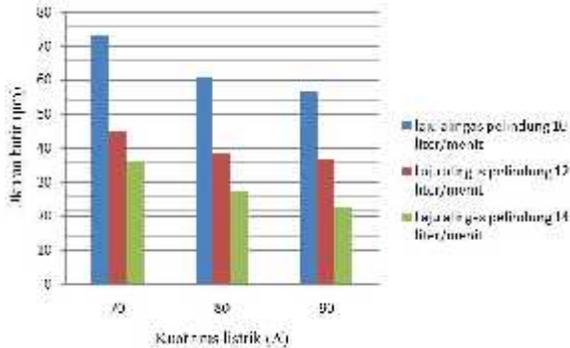
Gambar 3.5 Struktur mikro pada HAZ baja Ukuran butir pada area lasan, HAZ aluminium, dan HAZ baja galvanis secara kuantitatif bisa dihitung dan dibandingkan seperti pada Gambar 3.6.



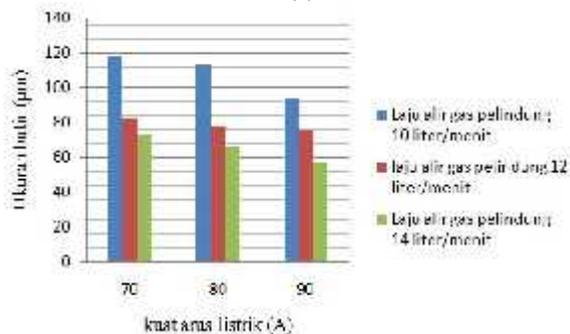
(c) Gambar 3.6 Grafik ukuran butir pada; (a) lasan; (b) HAZ aluminium; (c) HAZ baja galvanis.

### 3.3 Analisa tegangan tarik-geser

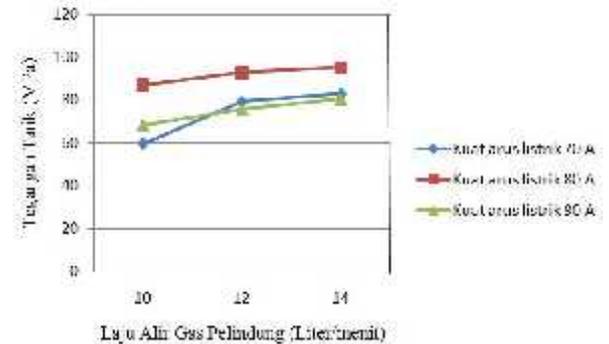
Pengujian tarik geser dilakukan untuk mengetahui kemampuan sambungan las TIG menahan beban. Beban yang diberikan pada sambungan las merupakan beban statik. Pengujian dilakukan dengan menggunakan standar ASME IX (*American Society of Mechanical Engineers*). Hasil penelitian menunjukkan kuat arus listrik dan laju alir gas pelindung berpengaruh terhadap kekuatan tarik sambungan las. Ketika kuat arus listrik meningkat dari 70 A sampai 80 A kekuatan tarik meningkat kemudian pada kuat arus 90 A kekuatan tarik mengalami penurunan. Sedangkan dilihat dari parameter laju alir gas pelindung semakin besar laju alir gas pelindung maka kekuatan tarik semakin meningkat dan tidak mengalami penurunan. Hubungan antara parameter kuat arus listrik dan laju alir gas pelindung terhadap kekuatan tarik-geser lasan bisa dilihat pada gambar 3.7.



(a)



(b)



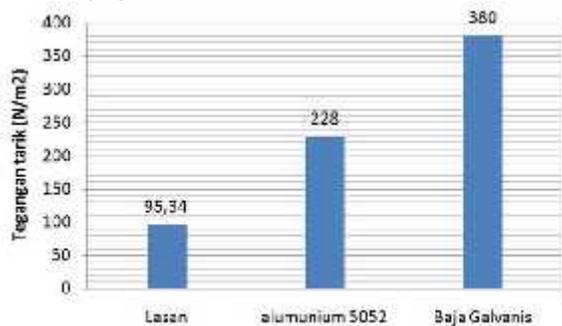
Gambar 3.7 Grafik pengaruh kuat arus listrik dan laju alir gas pelindung terhadap kekuatan tarik-geser sambungan las.

Rentang nilai tegangan tarik-geser lasan pada penelitian ini berkisar pada rentang antara 60 sampai 100 MPa. Pada kuat arus listrik 70 A tegangan tarik-

geser sebesar 59,67 MPa untuk laju alir gas pelindung 10 liter/menit, kemudian meningkat sebesar 32,98 % dan 39,09 % dari nilai semula seiring dengan meningkatnya laju alir gas pelindung. Hal yang sama juga terjadi pada kuat arus 80 A yang semula 87,17 MPa meningkat sebesar 6,64 % dan 9,37 % dari nilai semula. Tegangan tarik-geser pada kuat arus listrik 90 A semula 68,36 MPa meningkat sebesar 10,86 % dan 17,84 % dari nilai semula.

Nilai tegangan tarik yang paling rendah adalah spesimen las dengan kuat arus 90 A dan laju alir gas pelindung 10 liter/menit sebesar 68.36 MPa. Sedangkan nilai tegangan tarik yang paling tinggi terdapat pada spesimen las dengan kuat arus 80 A dan laju alir gas pelindung 14 liter/menit sebesar 95.34 MPa. Setelah mengalami pengujian tarik, semua spesimen mengalami kegagalan tarik pada bagian antarmuka filer dengan galvanis. Penampakan secara visual patahan spesimen las bisa dilihat pada Gambar 3.8 dan 3.9. Penambahan unsur Zn bisa meningkatkan kekuatan tarik sambungan (Penner dkk, 2014). Selama pengujian tarik, spesimen las mengalami kegagalan pada lapisan antarmuka antara filer dengan baja galvanis. Hal ini mengindikasikan bahwa sambungan antara aluminium paduan dengan filer lebih kuat daripada sambungan antara baja galvanis dengan filer.

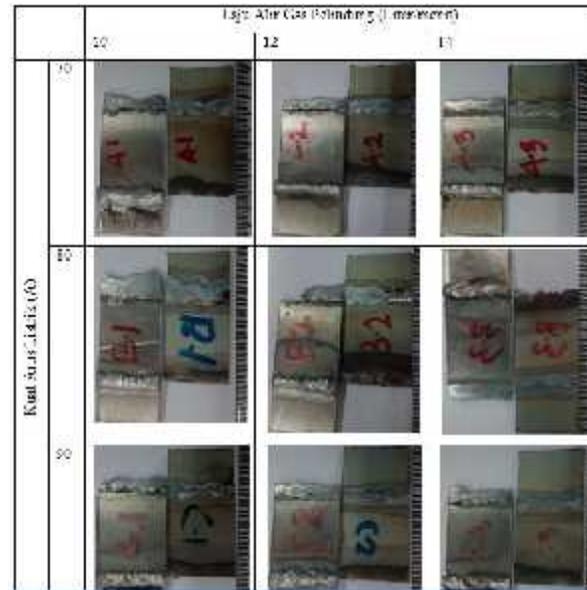
Nilai tegangan tarik maksimal dari sambungan las masih di bawah nilai tegangan tarik dari masing-masing logam induk. Tegangan tarik aluminium paduan 5052 sebesar 228 MPa, sedangkan baja galvanis sebesar 380 Mpa. Nilai tegangan tarik-geser sambungan las tertinggi mencapai 41,81% dari nilai tegangan tarik logam induk aluminium paduan dan 25,08% dari nilai tegangan tarik logam induk baja galvanis. Gambar 3.8 menunjukkan perbandingan antar nilai kekuatan tarik geser-tertinggi lasan terhadap nilai tegangan tarik logam induk aluminium dan logam induk baja galvanis.



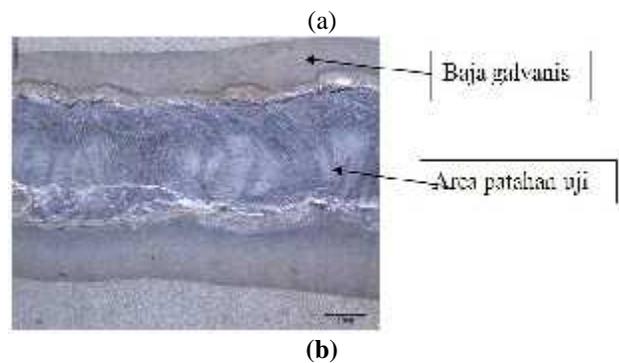
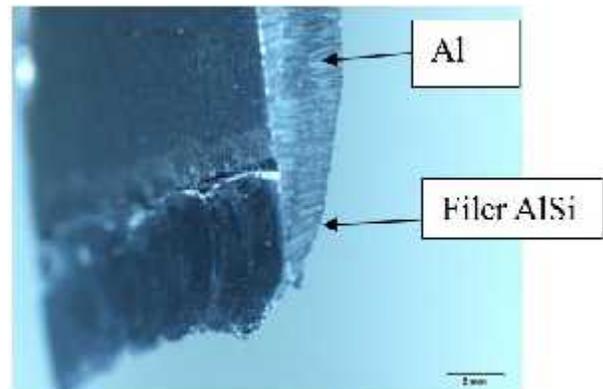
Gambar 3.8 Perbandingan nilai kekuatan tarik geser-tertinggi lasan terhadap nilai tegangan tarik logam induk aluminium dan logam induk baja galvanis

Letak patahan pada hasil uji tarik terjadi pada sambungan antara filer dengan baja galvanis. Filer Al-Si masih menyatu dengan logam induk aluminium

paduan sedangkan pada baja galvanis tidak ada sisa filer yang menempel setelah mengalami uji tarik. Bentuk penampang patahan bisa dilihat pada Gambar 3.9 dan 3.10.



Gambar 3.9 Tampak atas bentuk patahan hasil uji tarik-geser hasil lasan



Gambar 3.10 Bentuk patahan yang terjadi setelah pengujian tarik lasan pada; (a) aluminium; (b) pada baja galvanis.

Adanya lapisan seng (Zn) bisa meningkatkan fusi logam filer ke baja galvanis (Zhang dkk, 2007). Lapisan intermetalik bersifat getas yang menyebabkan kekuatan sambungan menurun (Song dkk, 2009). Daerah pada baja galvanis yang muncul lapisan intermetaliknya adalah bagian yang paling lemah. Dari hasil foto makro, dapat dilihat bahwa daerah bekas patahan di plat baja galvanis pada variasi kuat arus 80 A memiliki luasan yang paling besar. Hal ini menandakan bahwa penetrasi filer ke plat baja galvanis paling optimal pada kuat arus 80 A. Kuat arus 90 A membentuk lapisan intermetalik yang lapisan antar muka lebih rapuh dibandingkan dengan kuat arus 80 A.

Faktor yang mempengaruhi nilai kekuatan tarik-geser sambungan lasan selain lapisan intermetalik adalah cacat porositas pada daerah antar muka lasan dengan baja galvanis. Pada penampakan visual, terdapat cacat porositas yang terjadi pada area tersebut. Porositas ini terjadi terutama karena menguapnya lapisan seng akibat masukan panas pada saat proses pengelasan berlangsung. Semakin tinggi kuat arus listrik maka masukan panas semakin besar sehingga akan menyebabkan lapisan seng akan semakin mudah menguap. Hasil pengujian tarik-geser menunjukkan terjadi penurunan nilai tarik-geser sambungan dari kuat arus listrik 80 A ke kuat arus listrik 90 A, hal ini karena masukan panas semakin besar sehingga kemungkinan terjadi porositas pada daerah antarmuka semakin banyak sehingga memperlemah kekuatan tarik-geser lasan. Kekuatan tarik geser pada kuat arus listrik 70 A lebih rendah daripada kuat arus listrik 80 A, hal ini karena pada kuat arus 70 A masukan panas kemungkinan masih kurang sehingga terjadi cacat retak pada akar lasan.

#### 4. KESIMPULAN

Dari analisa data dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin meningkatnya kuat arus listrik maka penetrasi filer semakin bertambah. Semakin meningkatnya laju alir gas pelindung maka bisa memperhalus hasil lasan dan memperkecil jumlah porositas.
2. Semua variasi memiliki struktur mikro yang terdiri dari Al-Si dan -Al pada bagian lasan. Semakin tinggi kuat arus listrik dan laju alir gas pelindung maka ukuran butir pada area lasan, HAZ alumunium, dan HAZ baja galvanis semakin mengecil. Ukuran butir terbesar untuk area lasan, HAZ alumunium, dan baja galvanis berturut-turut adalah 73,34; 117,7; dan 47,7  $\mu\text{m}$ .
3. Kekuatan tarik-geser meningkat dari variasi kuat arus 70 A sampai 80 A kemudian turun pada variasi kuat arus listrik 90 A. Meningkatnya kekuatan tarik-geser sebanding dengan bertambahnya laju alir gas pelindung. Kekuatan tarik-geser sambungan

las tertinggi terjadi pada kuat arus listrik 80 A dan laju alir gas pelindung 14 liter/menit sebesar 95,3 MPa. Kekuatan tarik-geser terendah terjadi kuat arus listrik 70 A dan laju alir gas pelindung 10 liter/menit sebesar 59,67 MPa. Ikatan paling kuat terjadi pada daerah fusi alumunium paduan dengan filer.

#### 5. SARAN

Penulis merekomendasikan kepada peneliti selanjutnya untuk melakukan penelitian tentang analisa pengaruh jenis gas pelindung dan variasi logam pengisi terhadap sifat mekanik sambungan las TIG alumunium dan baja.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- American Welding Society D1.1/D1.1M:2006  
 American Standard of Testing material E407-07  
 American Society of Mechanical Engineers IX  
 Anonim. 2001. *Modul Pelatihan Pengelasan Batam Institutional Development Project*. Indonesia Australia Partnership for Skills Development.  
 Altenpohl Dietrich G. 1998. *Aluminum technology applications and environment: a profile of a modern metal*. Washington, DC: Aluminum Association, Inc.  
 Borrisutthekul R., Mitsomwang P, Rattanachan S, Mutoh Y., 2010. *Feasibility of Using TIG Welding in Dissimilar Metals between Steel/Aluminum Alloy*. Energy research Journal 1 (2):82-86  
 Callister, W.D., 2003. *Materials Science and Engineering an Introduction*, Departement of Metallurgical Engineering, Canada.  
 Cary H B and Helzer S.C., 2005. *Modern Welding Technology*, Upper Saddle River, Pearson Education, New Jersey.  
 Guo liang, Yuhu Su, Shujun Wang, 2014. *Microstructure and Properties of Welded Joint of Aluminum Alloy to Galvanized Steel by Nd:YAG Laser+MIG Arc Hybrid Brazing\_Fusion Welding*. Trans. Nonferrous Met. Soc. China 24(2014) 989-995  
 Honggang DONG, Wenjin HU, Xu-choo ZHANG, 2012. *Detachment of Interfacial Layer During Arc-Brazing of Allumunium Alloy to Carbon Steel With Filler Wire*. Journal of Trans. Nonferrous Met. Soc. China 23(2013) 1583-1588  
 Honggang DONG, Wenjin HU, Yuping DUAN, Xudong WANG, Chuang DONG, 2011. *Dissimilar Joining of Allumunium Alloy to Galvanised Steel With Al-Si, Al-Cu, Al-Si-Cu and Zn-Al Filler Wire*. Journal of Materials Processing Technology 212 (2012) 458- 464

- Junjie, Harooni M., Carlson B., Kovacevic R., 2014. *Dissimilar Joining of Galvanized high-strength steel to aluminum alloy in a zero-gap lap joint configuration by two-pass laser welding*. Journal of Materials and Design 58 (2014) 390-401
- Khurmi, R.S. 2005. *A Text Book of Machine Design*. Eurasia Publishing House, New Delhi
- Liu J., Shichun Jiang, Yan Shi, Yulin Kuang, Genzhe Huang, Hong Zhang, 2014. *Laser Fusion-Brazing of Alluminium Alloy to Galvanised Steel With Pure Al Filler Powder*. Journal of Optics & Laser Technology 66(2015)1-8
- Kouadri-David, PSM Team, 2013. *Study of Metallurgic and Mechanical Properties of Laser Welded Heterogeneous Joints Between DP600 Galvanized Steel and Aluminium 6082*. Journal of Materials and Design 54 (2014) 184-195
- Mayur S, Pavan K.M, Sachin L.S, Chandrashekar A, and B.S. Ajay Kumar, 2013. *Effect of Welding Current on Mechanical and Structural Properties of TIG Welded Aluminium Alloy AA-5083*. International Journal of Mechanical Engineering and Research
- Miller WS , ZhuangL ,BottemaJ,Wittebrood AJ,DeSmetP,HaszlerA,etal. *Recent development in aluminium alloys for the automotive industry*. Mater Sci EngA2000;280:37-49.
- Morris, 2003. *Characterization of Weld*. ASM Handbook Vol. 6.
- Narayanan A., Mathew C., Baby V.Y., Joseph J., 2013. *Influence of Gas Tungsten Arc Welding Parameters in Aluminium 5083 Alloy*. International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)
- Prakash J., Tewari S.P., Srivastava B.K., 2011. *Shielding Gas for Welding Alluminium Alloys by TIG/MIG Welding-A Review*. International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)
- Penner, P., L. Liu, A. Gerlich, Y. Zhou, 2014. *Dissimilar Resistance Spot Welding of Aluminum to Magnesium with Zn Coated Steel Interlayers*.
- Sin-bao Lin, Jian-ling Song,, Guang-chao MA, CHU-li Yang, 2009. *Dissimilar Metals TIG Welding-Brazing of Aluminum Alloy to Galvanized Steel*. Front. Mater. Sci. China
- Schubert E, Klassen M, Zerner I,Walz C, Sepold G.Ligh, 2001. *Weight structures produced by laser beam joining for future applications in automobile and aerospace industry*. JMater Process Technol 2001 ; 115:2-8.
- Sierra G, Peyre ,P,Deschaux-Beaume F,Stuart D, Fras G. *Steel to aluminum key-hole laser welding*. Mater Sci Eng A 2007;447:197-208.
- Sindo Kou, 2002. *Welding Metallurgy; Second Editon*. John Wiley and Son, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Singer, L. Ferdinand., 1995, *Kekuatan Bahan*, Erlangga, Jakarta.
- Song, J.L , S.B. Lin , C.L. Yang, C.L. Fan, 2009. *Effect of Si Additons on Intermetallic Compound Layer of Aluminum-Steel TIG Welding-Brazing Joint*. Journal of Alloy and Compound 488 (2009) 217-222
- Wiryosumarto, H., and T. Okumura., 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*, Pradnya Paramitha, Jakarta.
- Yangchao Su, Xueming Hua, Yixiong Wu, 2013. *Quantitative Characterization of Porosity in Fe-Al Dissimilar Materials Lap Joint Made by Gas Metal Arc Welding with Different Current Modes*. Journal of Materials Processing Technology 214 (2014) 81-86.
- Zhang H.T, J.C Feng, P. He, B.B Zhang, J.M Chen, L. Wang, 2007. *The Arc Characteristics and Metal Transfer Behaviour of Cold Metal Transfer and Its Use in Joining Aluminium to Zinc-Coated Steel*. Material Science and Engineering A 499 (2009) 111-113