

Redi Bintarto

Asisten Ahli (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
redibintarto@ub.ac.id

Teguh Dwi Widodo

Lektor (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
widodoteguhdwi@ub.ac.id

Rudianto Raharjo

Lektor (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
rudiantoraharjo@ub.ac.id

Moh. Syamsul Ma'arif

Lektor (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
syamsulm@ub.ac.id

**Francisca Gayuh Utami
Dewi**

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
franciscadewi@ub.ac.id

Gesha Denny Pratama

Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
geshapratama@gmail.com

ANALISA STRUKTUR MIKRO DAN KEKUATAN BENDING SAMBUNGAN LAS TIG DENGAN PERBEDAAN KUAT ARUS LISTRIK PADA LOGAM TAK SEJENIS ALUMINIUM PADUAN 5052-BAJA GALVANIS DENGAN FILLER AL-SI 4043

This study aims to determine the various effect of heat input due to varied electric current on microstructure of the weld joints and the bending strength of 2 dissimilar metals (aluminum alloy 5052 and galvanized steel) with Al-Si 4043 as filler. This experimental research was worked out by varying the strength of the current which can then be calculated into a heat input. The current inputs applied were 30.8 J/mm (70A), 35.2 J/mm (80A) and 39.6 J/mm (90A) while the protective gas flow rate used is 14 liters / minute. This study showed that the increase in heat input greatly affects the shape of the weld area microstructure, i.e. the microstructure and bending strength. Greater heat input due to higher current can melt larger area, so that the join process occurred better. The highest bending strength at 9.05 Mpa was achieved for heat input at 39.6 J/mm or strong current of 90 A. The weakest bending strength at 8.88 Mpa was achieved for heat input at 35.2 J/mm or a strong current of 70 A.

Keywords : Heat Input, Electric current, Gas flow rate, Microstructure, Bending strength, Dissimilar Metals.

1. PENDAHULUAN

Pengaturan kuat arus yang berakibat pada perbedaan heat input sangat mempengaruhi tegangan pengelasan, dimana heat input yang lebih rendah yang selanjutnya berpengaruh terhadap pendinginan, serta retak intergranular menjadi faktor yang berkontribusi terhadap kekuatan pada lasan. [1] Sambungan las yang dilakukan menggunakan heat input rendah akan menunjukkan kekuatan tarik ultimit (UTS) lebih tinggi daripada yang dilas dengan input panas sedang dan tinggi. Pengerasan mikrostruktur yang signifikan diamati di zona yang terkena dampak panas (HAZ). Dari semua sambungan dan ditemukan bahwa tingkat pengerasan mikrostruktur di zona Affected Zone meningkat dengan meningkatnya input panas. [2] Hasil las dapat divariasikan dengan memberikan parameter kuat arus dalam pengelasan yang berbeda, sehingga hasilnya akan mempengaruhi hasil dari logam las, baik dari sisi mikrostruktur, maupun kekuatan.

Busur listrik juga akan sulit dinyalakan jika arus terlalu rendah, sehingga busur listrik yang keluar akan sulit menyala. Dari hasil pemilihan parameter yang berdampak pada besarnya busur listrik tersebut, kestabilan busur yang dihasilkan akan bervariasi, dimana jika arusnya terlalu kecil, maka panas yang dihasilkan akan berkurang dan tidak mencukupi untuk meleburkan elektroda yang menyebabkan penetrasi ke logam las tidak optimal dikarenakan energi yang dihasilkan tidak mampu memanasi elektroda dan logam las. Namun disamping itu dampak terlalu besarnya arus akan berdampak pada terlalu besarnya panas yang melelehkan electrode dan logam induk sehingga hasil las lebih dalam penetrasinya serta lebih lebar, sehingga hasil [2].

Pengelasan dengan gas tungsten atau biasa disebut las (TIG) merupakan termasuk jenis las menggunakan elektroda berbahan gas tungsten, sedang dayanya berasal dari listrik. Busur listrik yang kemudian menghasilkan energi panas tinggi didapatkan dari arus listrik yang dihantarkan oleh elektroda menuju logam induk. Sedangkan logam pengisi mengisi daerah yang terpanaskan dan mencair tersebut. Jenis las ini efektif menghasilkan cairan logam yang sedang mencair karena proses pengelasan tidak teroksidasi karena dilindungi oleh pelindung yang berupa gas tungsten tersebut. Gas yang digunakan berupa helium (He)

dan argon (Ar) merupakan jenis gas mulia yang dapat digunakan secara baik untuk pengelasan jenis material plat tipis, karena plat tipis membutuhkan pemanasan atau heat input yang tidak terlalu tinggi. [3]. Perbedaan antara dua material yang mempunyai perbedaan sifat properties dan kekuatan mekanik akan dapat memberikan perbedaan kekuatan sambungan dikarenakan perbedaan titik leleh yang melekat pada kedua material tersebut. Diantara baja galvanis dan aluminium mempunyai titik lebur yang berbeda sehingga struktur mikro yang dihasilkan serta sifat mekanik pada daerah perpaduan (daerah las) berbeda.[4].

Aluminium adalah salah satu jenis logam yang mempunyai ketahanan yang baik dalam hal oksidasi. Begitu pula Baja Galvanis. Karena itu keduanya banyak dipakai sebagai bahan baku kebutuhan rumah tangga serta struktur yang membutuhkan kekuatan dan keindahan. Dalam kehidupan sehari-hari pengaplikasian aluminium dapat dilihat kegunaannya mulai dari pembuatan alat perkakas dapur rumah tangga, alat transportasi. Bahkan aluminium juga digunakan sebagai salah satu bahan material dalam pembuatan kapal laut dan beberapa part dari mobil. Dalam dunia konstruksi aluminium memiliki peran yang besar, diantaranya dalam pembuatan pagar, perkakas serta atap.

Aluminium tahan terhadap korosi dan mampu ditempatkan didaerah pantai sekalipun, karena aluminium selain mempunyai kemampuan menghantarkan listrik yang baik juga merupakan logam yang mampu bertahan didaerah korosif. Selain itu aluminium mempunyai sifat-sifat mekanik yang baik lainnya yang menyebabkan material ini banyak digunakan di konstruksi ringan [5]. Sedangkan baja galvanis merupakan suatu material yang biasanya banyak digunakan oleh masyarakat sebagai material dalam bidang konstruksi perumahan, khususnya atap, pagar dan konstruksi lainnya. Hal ini dikarenakan oleh material yang mudah didapatkan, harganya yang murah, dan ringan [6]. Selain material, elektroda juga sangat mempengaruhi keberhasilan proses las, adapun salah satu yang banyak dipergunakan dalam las pada umumnya adalah filler jenis Al-Si 4043. Filler Al-Si 4043 merupakan salah satu jenis filler yang mudah ditemukan di pasaran dan sering digunakan dalam proses pengelasan [7]. Selain itu Logam pengisi 4043 akan meningkatkan kandungan silikon logam las sehingga mampu meningkatkan kemampuan dan kualitas hasil las [8].

Lifang Mei melakukan sebuah penelitian untuk mengetahui pengaruh sudut sinar laser dengan kualitas pengelasan pangkuan laser terhadap baja galvanis. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa dalam sudut kritis sinar laser akan mengalami beberapa perbedaan yang ditemukan dalam kekerasan antara zona lasan dan zona yang terkena dampak panas dari spesimen. Selain itu, variasi sudut juga memiliki sedikit efek pada ukuran butir dan struktur mikro dari lasan dan zona yang terkena panas [9]. Tiago Vieira da Cunha melakukan sebuah penelitian tentang Analisis pengaruh kuat arus terhadap hasil pengelasan dalam pengelasan TIG. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa hasil las sangat dipengaruhi oleh penentuan parameter pengelasan penentuan parameter yang salah akan mempengaruhi tingkat penyalaan busur yang terjadi sehingga arus yang terlalu rendah cenderung menjadikan busur listrik yang sering mati dan sukar menyala. Selain itu arus yang kecil menyebabkan ketidakstabilan busur yang dihasilkan dan elektroda yang tidak meleleh sempurna. Sebaliknya terlalu tinggi penentuan arus maka yang terjadi adalah pertembusan logam las yang terlalu dalam serta area pelelehan logam las yang terlalu luas atau lebar [10]. Perbedaan mikrostruktur dan paduan dari logam yang dilas juga sangat mempengaruhi hasil lasan yang selanjutnya akan berpengaruh terhadap kekuatan hasil lasan. [11]. Beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya perlu diperkuat dengan penelitian tentang tingkat keberhasilan dalam proses penyambungan antara dua logam yang tak sejenis. Seperti contoh kekuatan sambungan dari kombinasi material Al 5052 dengan baja galvanis akan sama atau lebih tinggi dari daerah Heat Affected Zone (HAZ) dari material paduan Al 5052 itu sendiri [12].

Penelitian yang lain menyebutkan bahwa sambungan las dari aluminium paduan dan baja galvanis akan menghasilkan bentuk permukaan logam las yang baik serta menghasilkan senyawa intermetalik di wilayah heat affected zone yang berupa $Al_4.5FeSi$ [13]. Uji bending perlu dilakukan untuk mengetahui tingkat kekuatan dan keamanan penggunaan pada material baja dengan lapisan Al-Si yang mendapatkan perlakuan panas, karena pemanasan akan mempengaruhi metallurgi campurannya [14]. Untuk itu perlu juga diteliti hasil lasan dari dua logam berbeda tersebut struktur mikro serta kekuatan bendingnya. Sehingga dari penelitian ini diharapkan akan dapat dianalisa kekuatan bending sambungan las antara baja galvanis yang dileburkan Bersama dengan cara las TIG dengan logam aluminium paduan 5052 yang untuk elektroda pengisi digunakan filler jenis Al-Si 4043.

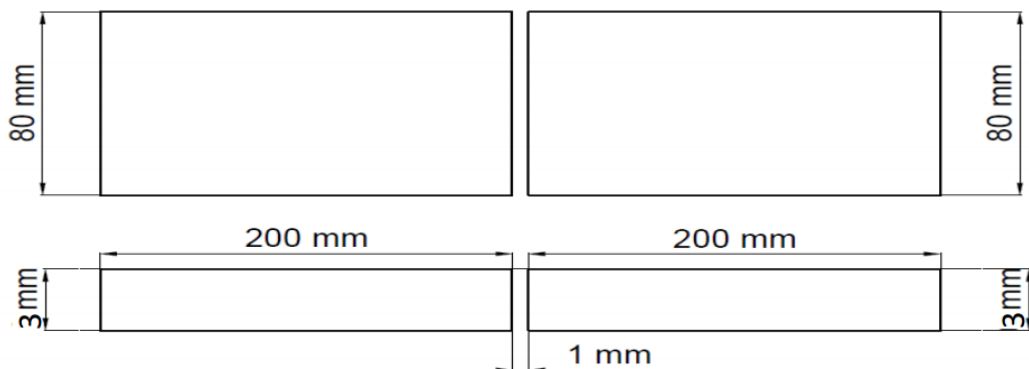
2. METODE DAN BAHAN PENELITIAN

Dalam penelitian ini digunakan penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang bertujuan untuk mendapatkan data kuat arus listrik dan struktur mikro dari hasil lasan yang kemudian dilakukan juga uji kekuatan bending tepat pada sambungan las dari dua logam tak sejenis, yaitu aluminium paduan 5052 dan baja galvanis dengan filler Al-Si 4043 melalui proses las TIG logam tak sejenis. Pada proses pengelasan TIG akan dilakukan beberapa langkah-langkah prosesnya sebagai berikut.

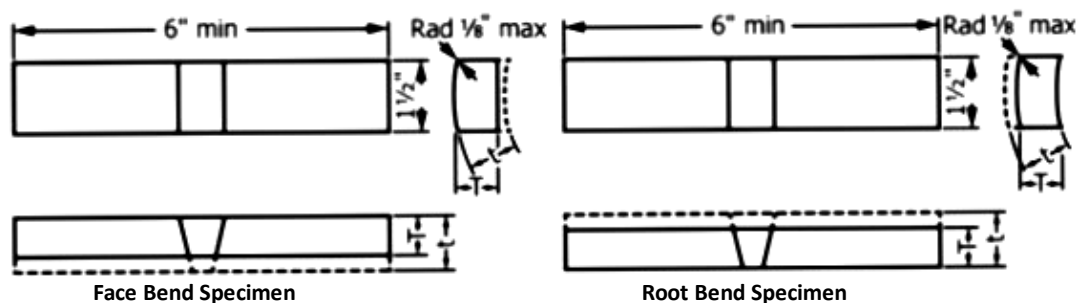
1. Menyiapkan alat dan bahan, yaitu: Aluminium *alloy* 5052, Baja Galvanis, *Filler* Al-Si 4043, Mesin las TIG, gergaji besi, ragum.

2. Memotong plat yang akan dilas sesuai ukuran yang dibutuhkan.
3. Membersihkan permukaan plat dari kotoran menggunakan alkohol.
4. Menghidupkan mesin las TIG.
5. Mengatur kuat arus listrik pengelasan sesuai dengan variabel pengelasan yang sudah ditentukan sebelumnya.
6. Menjepit plat pada clamp/penjepit dan menempatkan plat yang akan dilas pada dudukan yang sudah disediakan.
7. Selanjutnya melakukan proses pengelasan dengan menggunakan logam pengisi berupa Al-Si 4043.
8. Mendinginkan hasil lasan selama (+-) 15 detik setelah proses pengelasan selesai dengan pendinginan udara pada suhu kamar.
9. Melakukan proses pengulangan dari 1-8 untuk variasi kuat arus listrik yang sudah ditentukan.

Setelah itu dilakukan uji Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan uji bending untuk mengetahui tekstur permukaan hasil lasan dan nilai kekuatan bending. Dimensi Spesimen pengelasan American Society for testing and materials (ASTM) A370 (Gambar 1) [15]. Dimensi uji bending dibentuk sesuai standart *American Society of Mechanical Engineers IX* (Gambar 2) [16].



Gambar 1. Dimensi benda kerja [11]

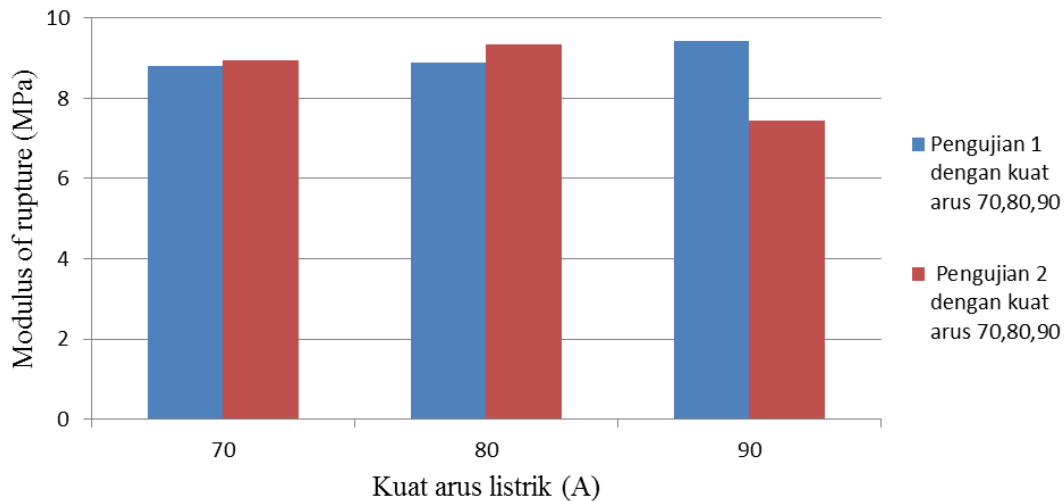


Gambar 2. Dimensi benda kerja uji bending [12]

3. HASIL DAN DISKUSI

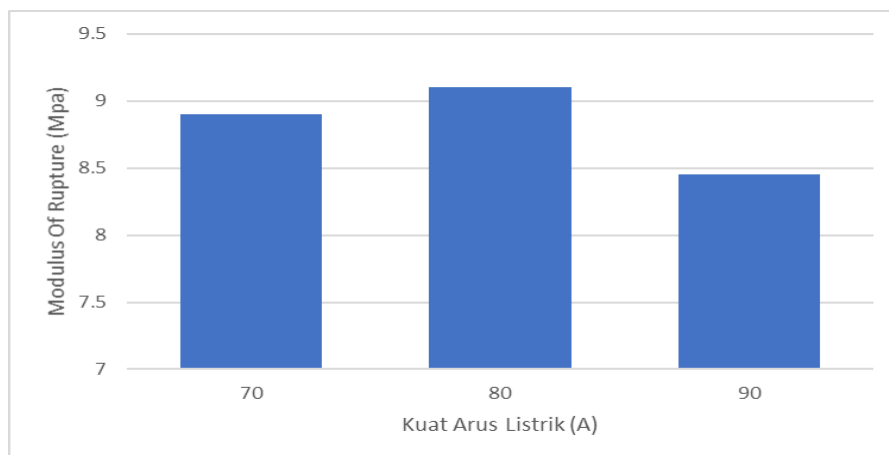
3.1 Grafik Pengaruh Kuat arus Listrik Terhadap Kekuatan Bending Sambungan Las Aluminium Paduan 5052-Baja Galvanis Dengan Filler AL-SI 4043

Gambar 3.1 menunjukkan pengaruh dari variasi kuat arus listrik yang berakibat terjadinya perbedaan kekuatan bending sambungan las logam yang tak sejenis dari Aluminium Paduan 5052 dan Baja Galvanis Dengan Filler AL-SI 4043. Sumbu x memperlihatkan kuat arus sedangkan sumbu y menunjukkan nilai kekuatan bending pada kuat arus yang berbeda. Dapat dilihat perbandingan kekuatan bending sambungan las terhadap variasi kuat arus yang berbeda.



Gambar 3. Pengaruh Kuat arus Listrik Terhadap Kekuatan Bending pada Sambungan Las

Dapat dilihat bahwa penambahan kuat arus listrik selalu berbanding lurus dengan tegangan listrik (Gambar 3). Hal ini sesuai dengan Hukum Joule yaitu meningkatnya arus listrik juga akan meningkatkan *heat input* dan akan menyebabkan laju pendinginan (*cooling rate*) menjadi lambat. Dari grafik juga terlihat bahwa semakin besar *heat input* yang dimasukkan dari kuat arus yang besar, maka akan meningkatkan ukuran dan jarak antar *dendrite*, yang mengakibatkan menurunkan nilai kekerasan.



Gambar 4. Nilai rata-rata Kekuatan Bending Sambungan Las

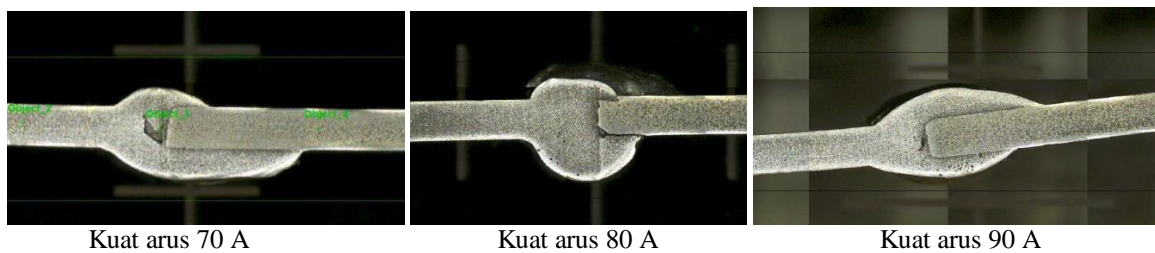
Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan arus listrik dengan laju alir gas yang sama (Gambar 4) dengan laju alir gas 14 liter/menit maka nilai kekuatan bending meningkat. Data yang didapat menyebutkan bahwa terdapat perbedaan kekuatan bending pada variasi kuat arus 70 A sampai 80 A, dimana peningkatan 10A dari arus 70A menjadi 80A telah menaikkan modulus of rupture (kekuatan bending), namun peningkatan 10 A dari aru 80 A menjadi arus 90 A ternyata menurunkan kekuatan bending dari sambungan las tersebut. Hal ini terjadi karena pada kuat arus 70 A penetrasi filler dan Al tidak melebur secara sempurna. Heat input yang terlalu kecil akan menyebabkan peleburan yang terjadi tidak dapat optimal. Pada kuat arus 80 A kekuatan bending mengalami kenaikan yang diakibatkan heat input yang terjadi telah optimal sehingga menyebabkan filler dan logam Al bisa melebur dengan baik. Namun pada kuat arus 90 A mengalami penurunan kekuatan bending, dikarenakan kuat arus terlalu besar mengakibatkan heat input terlalu panas sehingga menjadikan struktur mikro dari sambungan logam dan filler mengalami perubahan yang mengakibatkan penurunan kekuatan.

Faktor lain yang mempengaruhi nilai kekuatan bending pada sambungan lasan dua logam tak sejenis adalah beberapa cacat yang terjadi. Salah satunya adalah cacat porositas yang biasa terjadi pada daerah antar muka lasan yang terjadi pada muka sambungan peleburan baja galvanis. Hasil percobaan yang kemudian dilakukan pengambilan gambar telah menghasilkan penampakan visual yang cukup memberikan bukti bahwa telah terjadi cacat porositas pada area sambungan las tersebut. Porositas pada sambungan las ini banyak disebabkan oleh lapisan seng yang menguap akibat panas yang masuk ke logam terlalu besar ketika pengelasan berlangsung. Dari data dapat dianalisa bahwa kuat arus listrik yang semakin besar akan mengakibatkan

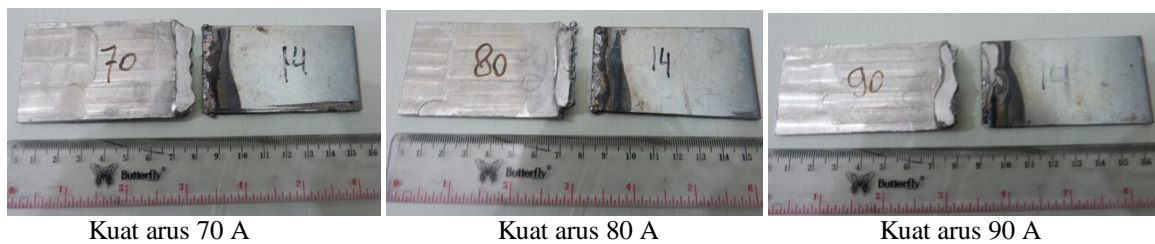
semakin besar pula panas yang meresap ke logam lasan, sehingga lapisan seng yang menguap juga semakin besar. Data pengujian kekuatan bending yang didapat telah menunjukkan bahwa masukan panas yang terlalu besar pada penambahan arus dari 80A ke 90A, sehingga porositas yang besar akan menurunkan kekuatan bending pada daerah lasan.

3.2 Analisa uji XRF dan Patahan

Hasil *scanning electron microscope* (SEM) menunjukkan proses sambungan dengan variasi kuat arus 70A, 80A dan 90A (Gambar 5). Dapat terlihat bahwa pada kuat arus 80A dan 90 A terlihat lelehan logam filler semakin banyak dan menutup permukaan logam galvanis. Hal ini yang menyebabkan kekuatan bending yang dihasilkan menjadi lebih tinggi dari kuat arus 70A. Letak patahan yang terlihat di gambar 6 pada benda kerja setelah uji bending juga menunjukkan bagaimana pada arus 80A dan 90A mempunyai tingkat leleh yang tinggi, dimana pada sambungan antara aluminium dengan baja galvanis terlihat filler Al-Si lebih menyatu dengan logam induk aluminium paduan sedangkan pada baja galvanis hanya tersisa sedikit sisa filler yang menempel setelah mengalami uji bending. Bentuk dari penampang patahan dari benda uji bisa dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Tampak samping hasil lasan

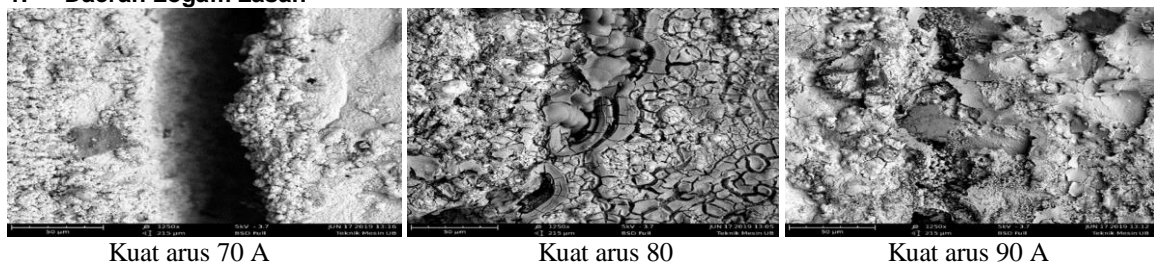


Gambar 6. Tampak atas bentuk patahan hasil uji bending

3.3 Analisa Scanning Electron Microscope

Struktur bentuk butir Aluminium Paduan 5052-Baja Galvanis dilihat dan diamati menggunakan alat uji foto SEM dengan perbesaran 1250x (Gambar 7). Pengamatan ini bertujuan untuk mengetahui struktur pada sambungan lasan. Ada beberapa variasi kuat arus untuk mengamatinya.

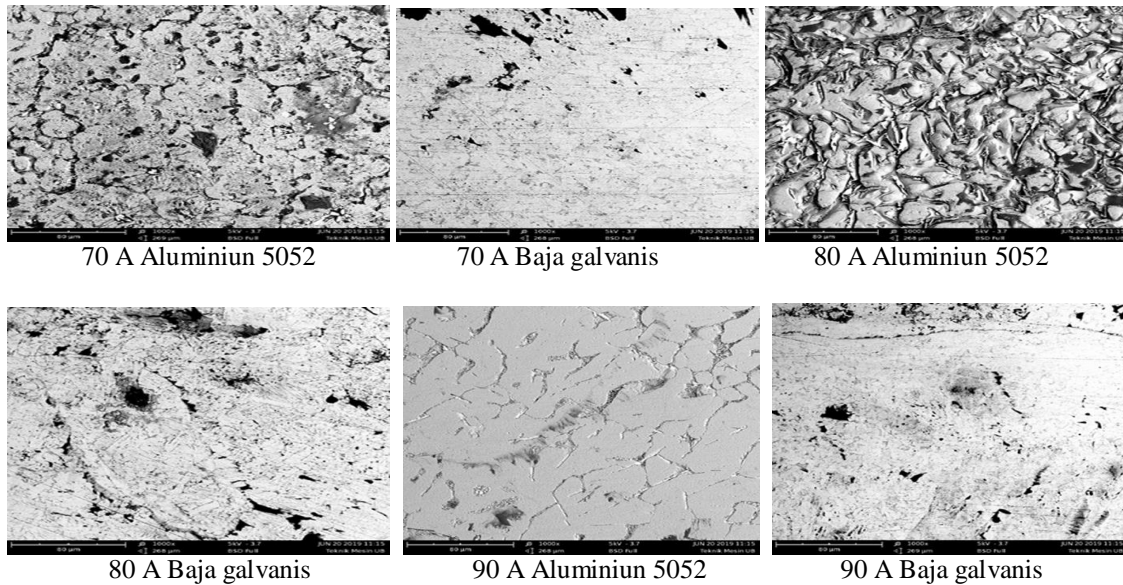
1. Daerah Logam Lasan



Gambar 7. Foto SEM Morfologi Aluminium Paduan 5052-Baja Galvanis dengan perbesaran 1250x.

Seperti telah didiskusikan di Gambar 4, saat kuat arus 70 A maka dapat dilihat munculnya rongga yang membatasi diantara kedua logam. Rongga ini terjadi karena kuat arus yang terlalu kecil menyebabkan heat input rendah sehingga penetrasi filler dengan logam tidak optimal. Namun untuk kuat arus 80 dan 90 A sambungan lasan antara aluminium dan baja galvanis terlihat menyatu dan tidak terlihat adanya rongga kosong diantara kedua sambungan material tersebut. Hal ini disebabkan karena kuat arus yang bertambah tinggi menyebabkan heat input yang terjadi juga tinggi sehingga filler dan logam AL mampu melakukan penetrasi dengan optimal. Dengan demikian filler mampu mengisi celah antara logam Al dan baja galvanis.

2. Daerah HAZ



Gambar 8. Mikrostruktur daerah HAZ

Dari Gambar 8 dapat dilihat munculnya perbedaan bentuk butir Aluminium dan baja galvanis dari setiap variasi pemilihan kuat arus listrik dari mulai yang terkecil, yaitu 70, 80 dan 90 A. Saat kuat arus listrik 70 A, butir terlihat kecil dan jarak antar butiran terlihat rapat. Saat arus listrik 80 A struktur butiran menjadi lebih besar dibandingkan saat arus listrik 70 A. Hal ini terjadi karena semakin besar heat input maka panas yang diterima pada butiran juga semakin tinggi sehingga struktur butir pada kuat arus 80 A mengembang lebih besar dan jarak antar butir semakin renggang. Pada grafik kekuatan bending juga dapat terbaca bahwa dari kuat arus listrik 70 A yang kemudian ditingkatkan menjadi 80 A telah terjadi peningkatan kekuatannya. Analisa lain pada data yang didapat adalah bahwa struktur butir yang lebih kecil dan rapat akan menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi dari struktur butir yang besar dan renggang. Hal ini terjadi karena pada kuat arus 80 A ini, filler dan Al melebur sempurna dan mampu mengisi kekosongan antara aluminium dan baja galvanis. Namun pada kuat arus 90 A ukuran butir yang terbentuk terlalu besar dan renggang apabila dibandingkan dengan kuat arus 70 dan 80 A, hal ini dikarenakan pada kuat arus 90 A memiliki heat input yang paling tinggi sehingga terjadi pendinginan yang paling lambat. Kondisi menyebabkan gaya tarik antar butiran yang dihasilkan menjadi lebih lemah bila dibandingkan dengan kuat arus 80 A.

4. KESIMPULAN

Penelitian tentang pengaruh kuat arus listrik yang selanjutnya berpengaruh terhadap besarnya heat input, serta penggunaan parameter tetap laju alir gas pelindung terhadap sifat mekanik dari hasil las TIG pada dua material yang tidak sejenis dan mempunyai titik leleh yang berbeda, yaitu antara aluminium paduan 5052 dengan material yang berupa baja galvanis, serta material pengisi (filler) Al-Si 4043 telah dilakukan dan menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin meningkatnya kuat arus listrik maka heat input akan meningkat pula dan penetrasi filler semakin optimal, dimana hal ini mengakibatkan proses pelelehan antara dua logam tak sejenis akan semakin baik.
2. Ketiga variasi parameter kuat arus menghasilkan struktur mikro yang berbeda. Dimana setiap lasan yang mendapatkan heat input terbesar akan terlihat ukuran butir pada area lasan semakin membesar, disamping itu luas daerah HAZ aluminium dan HAZ baja galvanis juga semakin membesar.
3. Kekuatan bending meningkat dari variasi kuat arus 70 A sampai 80 A dimana faktor yang dominan adalah heat input yang optimal. Namun kemudian turun pada variasi kuat arus listrik 90 A dikarenakan terlalu besar heat input sehingga kandungan seng yang menguap dan menimbulkan korosi. Sehingga didapatkan bahwa percobaan penelitian kekuatan bending pada kuat arus pengelasan 80 A adalah yang paling optimal.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] IDOWU O.A, OJO M.C.CHATURVEDI., “Effect of heat input on heat affected zone cracking in laser welded ATI Allvac 718 Plus superalloy”, *Materials Science and Engineering*, v. 454–455, pp. 389–397. 2007.
- [2] KUMAR S, A.S.SHAHL., “Effect of heat input on the microstructure and mechanical properties of gas tungsten arc welded AISI 304 stainless steel joints”, *Materials & Design*, v. 32, n. 6, pp. 3617-3623. 2011.
- [3] WANG C. et all., “The influence of heat input on microstructure and mechanical properties for dissimilar welding of galvanized steel to 6061 aluminum alloy in a zero-gap lap joint configuration” . *Journal of Alloys and Compounds*, v. 726, pp. 556-566. 2017.
- [4] ALAMSYAH F. A. et all., “Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Ketebalan Lapisan Hasil Hot Dipped Galvanizing (HDG)”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 3, n. 2, pp. 327-336. 2012.
- [5] SALAHUDDIN J., “Pengaruh Besar Aliran Gas Terhadap Cacat Porositas dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan MIG pada Paduan Aluminium 5083”, *Jurnal ROTOR*, v. 4, n. 1, pp. 22-31. 2011.
- [6] MOHAMMADPOUR M., “Effect of filler wire composition on performance of Al/Galvanized steel joints by twin spot laser welding-brazing method”, *Journal of Manufacturing Processes*, v. 31, pp. 20–34. 2017.
- [7] KOLARIK L., “Influence of Shielding Gas on Gma Welding of Al Alloys”. *MM Science*, v. 4, pp. 452-453. 2013.
- [8] CONIGLIOA. N et all; "Phase formation in 6060/4043 aluminum weld solidification", *Materials Science and Engineering: A* v. 517, pp. 321-327. 2009.
- [9] MEI L, ET ALL., “Influence Of Laser Beam Incidence angle on Laser Lap Welding Quality of Galvanized Steels”, *Optics Communications*, v. 402, pp. 147-148. 2017.
- [10] ZHENG YE., “Microstructure and mechanical properties of 5052 aluminum alloy/mild steel butt joint achieved by MIG-TIG double-sided arc welding-brazing”, *Materials and Design*, v. 123, pp. 69–79. 2017.
- [11] ZHANG M. J., “Research on microstructure and mechanical properties of laser keyhole welding–brazing of automotive galvanized steel to aluminum alloy”, *Materials and Design*, v. 45, pp. 24–30. 2012.
- [12] KANG. M, KIM. C.L., “Joining Al 5052 alloy to aluminized steel sheet using cold metal transfer process”, *Materials & Design* v. 81, pp. 95-103. 2015.
- [13] ZHANG. H, LIU. J., "Microstructure characteristics and mechanical property of aluminum alloy/stainless steel lap joints fabricated by MIG welding–brazing process", *Materials Science and Engineering*", v. 528, pp. 6179-6185. 2011.
- [14] GEORGES. C ET ALL., "Absorption/Desorption of Diffusible Hydrogen in Aluminized Boron Steel", *ISIJ International* v. 53, pp. 1295-1304. 2013.
- [15] AWS D1.1/D1.1M., “Structural Welding Code—Steel”, American National Standards Institute, pp. 16. 2006.
- [16] ASTM A370., “Standart Test Method and Definition for Mechanical Testing Steel Product”, *ASTM International*, 2018.