

ANALISIS KETANGGUHAN DAN CACAT PENGELASAN TERHADAP VARIASI KUAT ARUS DAN ALUR PENGELASAN TIG PADA PADUAN AL 6061

Mustofa^{1*}, Togik Hidayat^{2*}, Pelangi Eka Yuwita, S.Si., M.Si^{3*}, topa123456@gmail.com^{1*}, togikhidayat@gmail.com^{2*}, pelangi.ardata@gmail.com^{3*} Progran Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nahdlatul Ulama Sunan Giri

ABSTRACT

Welding techniques are the main choice in the construction sector in Bojonegoro district, especially technology in the field of metal processing. One of the TIG welding techniques is applied to the welding process of bicycle frames made from 6061 aluminum material. The aim of this research is to analyze the parameters for using variations in welding current strength and grooves in the TIG (tungsten inert gas) welding process. determine the magnitude of the welding current variation parameters and the ideal welding path to produce good welding results and welding results that are free from welding defects. This research is experimental research on a laboratory scale. The test specimen was a 6061 aluminum plate with dimensions of 100 mm x 50 mm x 5 mm which was welded with variations in the welding current strength parameters of 60 amperes, 80 amperes, 100 amperes and straight, zig-zag, spiral welding groove types. The results of the welding defect test using the dye penetrant test on the weld metal and root parts showed that the welding defect that appeared was the type of gas pore that appeared in the welding specimen using TIG welding parameters with a current strength of 60 amperes and the use of spiral welding grooves and straight grooves. In specimens with variations in TIG welding parameters with a current strength of 60 amperes and the use of spiral welding grooves and straight grooves based on accepted criteria, welding defects are considered rejected. Welding defects in the form of gas pores are caused by the strong welding current used and material contamination during the welding process. Data on the toughness test results (impact charpy) of 6061 aluminum TIG welding with variations in current strength parameters of 60 amperes, 80 amperes and 100 amperes respectively and spiral, straight and zig zag welding groove parameters, overall shows the results where the greatest toughness value is produced in specimens with variations in welding parameters of 100 ampere current strength and zig zag welding grooves with an average impact value of 1,081 Joules/mm² and the energy absorbed is 70,053 Joules. From these results it can be concluded that there was a reject at 60 Ampere and the use of spiral and straight grooves. In the Impact Carpry test, it has the highest toughness value at variations in current strength of 100 amperes and zig-zag welding grooves.

Keywords: Weld groove, Aluminum 6061, Weld flaw, Impact carpy, TIG.

ABSTRAK

Teknik pengelasan menjadi pilihan utama dalam bidang konstruksi di kabupaten bojonegoro.khususnya adaalah tekhnologi di bidang pengolahan logam. Teknik pengelasan TIG salah satunya diaplikasikan pada proses pengelasan rangka sepeda (*frame bike*) yang terbuat dari material jenis aluminium 6061. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa parameter

penggunaan variasi kuat arus pengelasan dan alur pada proses pengelasan TIG (tungsten inert gas) penelitian ini akan dapat ditentukan besarnya parameter variasi arus pengelasan dan alur pengelasan yang ideal untuk menghasilkan hasil pengelasan yang baik dan hasil pengelasan yang bebas dari cacat pengelasan. Penelitian ini merupakan penelitian *experiment* dengan skala laboratorium. Spesimen uji berupa pelat aluminium 6061 dengan dimensi 100 mm x 50 mm x 5 mm yang dilakukan pengelasan dengan variasi pada parameter kuat arus pengelasan 60 ampere, 80 ampere, 100 ampere dan jenis alur pengelasan lurus, zig-zag, spiral. Hasil uji cacat pengelasan dengan menggunakan dye penetrant test pada bagian weld metal dan root menunjukkan cacat pengelasan yang muncul adalah jenis gas pore yang muncul pada spesimen hasil pengelasan dengan menggunakan parameter pengelasan TIG dengan kuat arus 60 ampere dan penggunaan alur pengelasan spiral dan alur lurus. Pada spesimen dengan variasi parameter pengelasan TIG dengan kuat arus 60 ampere dan penggunaan alur pengelasan spiral dan alur lurus berdasarkan accepted criteria cacat pengelasan dinilai rejected. Cacat pengelasan berupa gas pore disebabkan karena kuat arus pengelasan yang digunakan dan adanya kontaminasi material saat proses pengelasan. Data hasil uji ketangguhan (*impact charpy*) pengelasan TIG aluminium 6061 dengan dengan variasi pada parameter kuat arus masing - masing 60 ampere, 80 ampere 100 ampere dan parameter alur pengelasan spiral, lurus dan zig zag, secara keseluruhan menunjukkan hasil dimana nilai ketangguhan terbesar dihasilkan pada spesimen dengan variasi parameter pengelasan kuat arus 100 ampere dan alur pengelasan zig zag yaitu dengan harga impact rata-rata sebesar 1,081 Joule/mm² dan tenaga yang diserap sebesar 70,053 Joule. Hasil ini dapat disimpulkan bahwa terjadi reject pada 60 Ampere dan penggunaan alur spiral dan lurus. Pada uji Impact Charpy memiliki nilai ketangguhan paling tinggi pada variasi kuat arus 100 ampere dan alur pengelasan zig-zag.

Kata Kunci: Alur pengelasan, Aluminium 6061, Cacat pengelasan, Impact Charpy, TIG.

I. PENDAHULUAN

Pengembangan teknologi saat ini di tuntun untuk menghasilkan struktur yang stabil. oleh karena itu di butuhnya Ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) yang mendukung perkembangan penggunaan material logam di Kabupaten Bojonegoro ini, oleh karena itu Teknik pengelasan menjadi pilihan utama dalam bidang konstruksi di kabupaten bojonegoro.khususnya adalah teknologi di bidang pengolahan logam. Karena jumlah bangunan dan peralatan yang terbuat dari logam yang terus meningkat menurut industri.oleh karena itu di butuhnya Ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) yang mendukung perkembangan penggunaan material logam yang ada.

Teknik pengelasan TIG salah satunya diaplikasikan pada proses pengelasan rangka sepeda (frame bike) yang terbuat dari material jenis aluminium.Dengan karakteristik pendinginan yang baik dan ketahanan yang tinggi terhadap korosi, aluminium banyak digunakan untuk pembuatan rangka sepeda, salah satunya yaitu E-Bike atau biasa dikenal dengan sepeda elektrik. Secara umum bahan aluminium dikelompokkan dalam dua kategori yaitu paduan yang dapat dikerjakan dengan panas dan paduan yang tidak dapat dikerjakan dengan panas. Aluminium 6061 merupakan jenis paduan aluminium yang diklasifikasikan dalam seri 6XXX, seri ini dibuat dengan menggabungkan magnesium (Mg) dan silikon (Si) sebagai bahan paduan utamanya. Paduan ini memiliki karakteristik mekanik dengan kekuatan sedang dan tahan terhadap korosi, akan tetapi rentang sifat mekanik ini juga sangat bervariasi tergantung pada jenis campuran atau paparan panas material. Dalam pengaplikasiannya aluminium 6061digunakan untuk keperluan yang tidak membutuhkan kekuatan besar, paduan aluminium ini biasanya digunakan untuk pembuatan suku cadang mesin, rangka sepeda (frame bike), pembuatan pipa dan digunakan untuk bangunan rumah, seperti pintu, jendela, kusen dan pagar rumah (Kurniawan, 2019).

Pada proses pengelasan frame bike aluminium masalah yang masih sering terjadi salah satunya yaitu welding defect (cacat pengelasan) yang mengakibatkan penurunan sifat mekanis yang berupa ketangguhan, kekerasan maupun keuletan pada frame. Cacat pengelasan pada frame terjadi diantaranya

karena heat input mengalami kenaikan diatas normal (over heat) sehingga menimbulkan terjadinya pemuaiian pada logam dasar / benda kerja yang mengakibatkan penyimpangan bentuk (distorsi) pada frame, yaitu melengkung atau bagian-bagian disekitar frame tertarik dan terjadinya retak las yang disebabkan karena jenis kawat las atau logam pengisi (filler) yang dipakai tidak sesuai dengan logam dasar. Penggunaan sebagai bahan pengisi pengelasan bahan paduan aluminium merupakan parameter penting dalam mencegah adanya retak pada logam las. Retakan ini biasanya terjadi baik pada logam las maupun HAZ karena kekuatan dan keuletan yang rendah, terutama pada temperatur tinggi. Disarankan untuk tidak mengelas logam dasar dengan kandungan magnesium (Mg) tinggi menggunakan logam pengisi dengan kandungan silikon (Si) tinggi. Hal ini dapat menyebabkan pembentukan senyawa eutektik magnesium silisida (MgSi) pada logam las, yang menurunkan keuletan (Sonawan & Suratman, 2003).

Adanya cacat hasil pengelasan dan penurunan sifat mekanis berupa ketangguhan haruslah dihindari atau diminimalisir dengan berbagai teknik atau cara dalam proses pengelasan. Ketepatan parameter kuat arus pengelasan dan sambungan pengelasan menunjukkan nilai yang berlawanan dengan nilai kekerasan logam induk. Sambungan hasil pengelasan dengan nilai kekerasan paling besar memiliki ketangguhan yang kecil. Padabahan/material dengan kekerasan tinggi memiliki sifat bahan yang getas sehingga nilai ketangguhan bahan menjadi rendah (Purwaningrum, 2012). Paksi dkk. meneliti, berdasarkan uji komposisi kimia menggunakan Scanning Electron Microscopy alur pengelasan. merupakan metode atau cara yang dapat digunakan untuk meminimalisir terjadinya cacat hasil pengelasan dan penurunan sifat mekanis yang berupa ketangguhan. Nilai kekerasan dari hasil (SEM) yang dilakukan, diketahui aluminium 6061 memiliki komposisi kimia berupa aluminium (Al) 94,279%, Magnesium (Mg) 2,254%, Silikon (Si) 2,087%, Besi (Fe) 0,664%

dan Mangan (Mn) 0,478% dan unsur-unsur pendukung lainnya seperti kromium (Kr), nikel (Ni), tembaga (Cu), titanium (Ti) yang kadarnya mencapai 0,1%. Peningkatan atau penurunan nilai tegangan tarik pada sebuah bahan atau material berhubungan dengan terbentuknya butiran endapan Mg₂Si pada proses perlakuan panas. Semakin halus butir endapan Mg₂Si, biasanya semakin banyak batas butirnya. Endapan Mg₂Si yang

melimpah dan tersebar secara merata pada batas butir dapat membatasi kecepatan gerak dislokasi dan lebih meningkatkan sifat mekanik. Hasil perlakuan panas proses pengerasan presipitasi yang dilakukan pada aluminium 6061 (Al-Mg- Si) menunjukkan bahwa aluminium 6061 mampu dan layak digunakan sebagai bahan/material untuk rangka sepeda (Paksi et al., 2021)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh setiawan (2019) tentang pengaruh penggunaan variasi parameter kuat arus pengelasan 70 ampere, 90 ampere dan 110 ampere terhadap cacat pengelasan hasil sambungan pengelasan baja ST37 denganketebalan 10 mm posisi 1G menunjukkan hasil bahwa pada hasil pengelasan dengan variasi parameter kuat arus sebesar 70 ampere terdapat indikasi adanya cacat pengelasan yang lebih banyak jika dibandingkan dengan hasil sambungan menggunakan variasi parameter kuat arus pengelasan 90 ampere dan 110 ampere. Dari indikasi adanya cacat pengelasan yang timbul maka dapat disimpulkan penggunaan variasi parameter 90 ampere dan 110 ampere merupakan parameter yang tepat untuk pengelasan baja ST37 posisi 1G.

Menurut (Afan and Yunus, 2018) tentang pengaruh posisi pengelasan dan alur ayunan elektroda. Teknik atau cara mengayunkan elektroda ada beberapa yang dapat diterapkan, alur atau ayunan elektroda ini memiliki tujuan untuk memperoleh deposit logam las/weld metal dengan permukaan halus dan rata serta alur atau ayunan elektroda dilakukan sebagai teknik atau metode untuk mengurangi adanya takikan dan terak yang tercampur pada logam las. Dalam penelitian yang dilakukan (Afan and Yunus, 2018) terdapat hal yang perlu dilakukan untuk mendapatkan hasilpenelitian yang valid yaitu perlu dilakukan percobaan dengan menggunakan 3 bentuk alur atau ayunan elektroda yaitu melingkar atau bentuk spiral, alur zig-zig dan alur lurus untuk mengetahui sifat mekanik dan visualisasi pengaruh penggunaan alur atau ayunan elektroda. Visualisasi dari hasil sambungan pengelasan dapat diketahui dengan melakukan uji struktur mikro. Selain visual dengan struktur mikro hasil pengelasan juga perlu dilakukan uji sifat mekanis, sifat mekanis yang dimaksud adalah berupa kekerasan, ketangguhan dan kekuatan tarik.

Berdasarkan pembahasan latar belakang

dan kajian pustaka yang telah maka perlu dilakukan adanya penelitian terkait penggunaan parameter kuat arus pengelasan dan jenis alur atau ayunan pada proses pengelasan aluminium 6061 dengan tungsten inert gas (TIG). Sehingga berdasarkan hasil penelitian ini akan dapat ditentukan parameter kuat arus pengelasan dan bentuk alur yang tepat untuk meminimalisir cacat pengelasan dan sifat mekanis berupa ketangguhan yang baik.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Berdasarkan penelitian yang dilakkan oleh (Zainal Fakri, Bukhari, 2019) dalam penelitiannya tentang Analisis pengaruh penggunaan variasi kuat arus pengelasan 100 Ampere, 120 Ampere, 140 Ampere pada terhadap ketangguhan pada pelat baja AISI 1050 menggunakan pengelasan GMAW dengan hasil penelitian menunjukkan berdasarkan uji impact charphy diketahui harga impact terbesar adalah pada spesimen dengan penggunaan variasi parameter arus pengelasan sebesar 100 Ampere dengan harga impact sebesar 2.36 joule/mm². berdasarkan uji impact charphy diketahui harga impact terkecil adalah pada spesimen dengan penggunaan variasi parameter arus pengelasan sebesar 100 Ampere dengan harga impact sebesar 2.02 joule/mm². Bentuk patahan spesimen uji ketangguhan impact charpy setelah proses pengujian menunjukkan spesimen dengan pengerjaan menggunakan kuat arus pengelasan 100 Ampere mengalami patah yang ulet, bentuk patahan pada spesimen dengan pengerjaan menggunakan kuat arus pengelasan 120 ampere dan 140 Ampere mengalami patah campuran. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (I Wayan Pradnya Prastita, 2014) tentang pengaruh penggunaan variasi kuat arus pengelasan dan elektroda terhadap cacat las hasil pengelasan baja SS 400 dengan pengelasan SMAW menunjukkan hasil pada penggunaan kuat arus 80 ampere dan 100 ampere penggunaan elektroda E7016 dan E7018 muncul indikasi cacat pengelasan berupa *slag inclusion* dan *lack of fusion*. Sedangkan pada spesimen dengan penggunaan kuat arus pengelasan 120 ampere dan penggunaan elektroda E7016 dan E7018 tidak menunjukkan adanya cacat pada bagian logam las. Pada bagian root untuk semua spesimen penggunaan variasi kuat arus dan jenis elektroda dalam penelitian terindikasi atau muncul cacat pengelasan berupa *incomplete penetration* dan *continous undercut*.

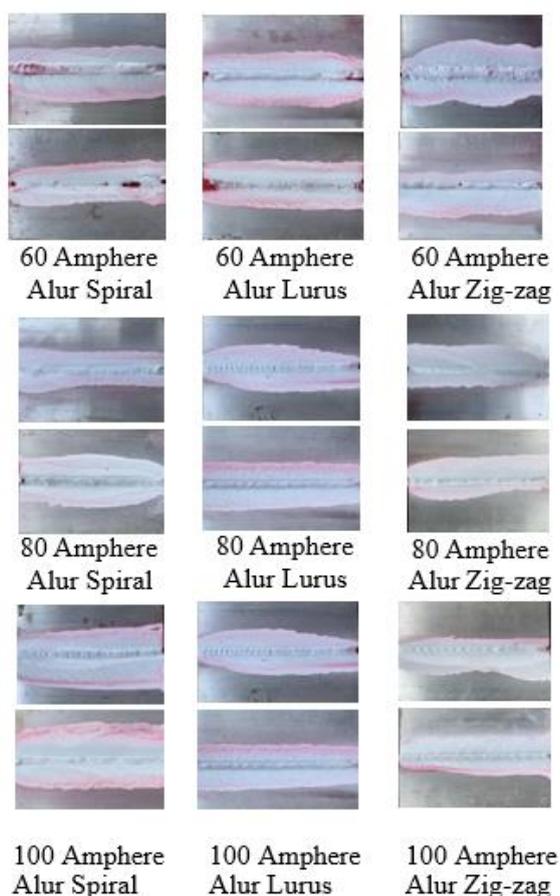
III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan ini adalah jenis penelitian *experiment* laboratorium dengan tujuan penelitian untuk mengetahui pengaruh cacat dan ketangguhan hasil penelasan pada hasil pengelasan TIG pada aluminium 6061 dengan variasi arus pengelasan 60 ampere, 80 ampere dan 100 ampere dengan gerakan elektroda alur spiral, lurus dan zig-zag.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Cacat Pengelasan (Dye Penetrant)

Hasil uji cacat pengelasan dengan NDT *Dye Penetrant Test* hasil pengelasan TIG pada aluminium 6061 dengan variasi arus pengelasan 60 ampere, 80 ampere dan 100 ampere dengan gerakan elektroda alur spiral, lurus dan zig-zag pada bagian *weld metal* dan *root* menunjukkan hasil uji cacat pengelasan sebagai berikut.



Hasil uji cacat pengelasan pada bagian *weld metal* dan *root* hasil pengelasan TIG dengan variasi parameter kuat arus pengelasan 60 ampere dengan penggunaan alur pengelasan spiral menunjukkan Indikasi cacat

pengelasan terjadi atau adanya *discontinuity* berupa *gas pore* dengan ukuran R1 sebesar 0,2

mm. R2 sebesar 4 mm R3 sebesar 0.2 mm Berdasarkan *standart ISO 5817 Limits for imperfections pada* sambungan tumpul adalah sebesar 0,5 sampai dengan 3 mm, sehingga cacat yang muncul pada hasil pengelasan pelat aluminium 6061 dengan parameter kuat arus pengelasan 60 ampere dengan penggunaan alur pengelasan spiral dikategorikan *Rejected*.

Analisis penyebab terjadinya gas pore adalah dikarenakan beberapa faktor penyebab antara lain : *gas pore* disebabkan karena kuat arus pengelasan yang digunakan dan *gas pore* disebabkan oleh adanya kontaminasi material saat proses pengelasan terjadi (Aljufri & Putra, 2018). Selain kuat arus dan kontaminasi dari material saat proses pengelasan terjadi *gas pore* juga dapat terjadi karena penggunaan gas lindung dalam pengelasan TIG. Penggunaan nozzle juga berpengaruh dalam hal ini nozzle menunjukkan ukuran gas pore yang lebih sedikit, penggunaan filler juga menyesuaikan dari penggunaan parameter kuat arus yang digunakan.

Hasil Uji Ketangguhan

Hasil dari pengujian impact berupa tenaga yang diserap (W) dalam satuan Joule dan nilai pukul takik (K) dalam satuan Joule/mm². Hasil pengujian impact pada setiap spesimen TIG pada aluminium 6061 dengan variasi arus pengelasan 60 ampere, 80 ampere dan 100 ampere dengan gerakan elektroda alur spiral, lurus dan zig-zag dalam penelitian yang diperoleh adalah sebagai berikut.

| Variasi | Spesimen No. | Sudut Awal | Sudut Jatuh | A (mm) | E (Joule) | HI (Joule /mm ²) |
|-----------------|--------------|------------|-------------|--------|-----------|------------------------------|
| 60 A dan Spiral | 1 | 130 | 144 | 64.00 | 53.142 | 0.830 |
| | 2 | 130 | 156 | 64.00 | 44.298 | 0.692 |
| | 3 | 130 | 156 | 62.00 | 44.298 | 0.714 |
| Rata - | | | | | 47.246 | 0.746 |

| Variasi | Spesimen | Sudut | Sudut | A | E | HI |
|-------------------------|------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 60 A dan Lurus | 1 | 130 | 134 | 62.00 | 59.569 | 0.961 |
| | 2 | 130 | 137 | 67.32 | 57.745 | 0.858 |
| | 3 | 130 | 152 | 64.00 | 47.362 | 0.740 |
| | Rata - Rata | | | | 54.892 | 0.853 |
| 60 A dan Zig Zag | 1 | 130 | 135 | 62.00 | 58.972 | 0.951 |
| | 2 | 130 | 130 | 62.00 | 61.851 | 0.998 |
| | 3 | 130 | 134 | 64.00 | 59.569 | 0.931 |
| | Rata - Rata | | | | 60.131 | 0.960 |
| 80 A dan Spiral | 1 | 130 | 123 | 62.00 | 65.399 | 1.055 |
| | 2 | 130 | 123 | 62.00 | 65.399 | 1.055 |
| | 3 | 130 | 119 | 65.28 | 67.155 | 1.029 |
| | Rata - Rata | | | | 65.985 | 1.046 |
| 80 A dan Lurus | 1 | 130 | 121 | 64.00 | 66.303 | 1.036 |
| | 2 | 130 | 120 | 62.00 | 66.736 | 1.076 |
| | 3 | 130 | 120 | 64.00 | 66.736 | 1.043 |
| | Rata - Rata | | | | 66.591 | 1.052 |
| 80 A dan Zig Zag | 1 | 130 | 118 | 62.00 | 67.562 | 1.090 |
| | 2 | 130 | 118 | 65.28 | 67.562 | 1.035 |
| | 3 | 130 | 118 | 64.00 | 67.562 | 1.056 |
| | Rata - Rata | | | | 67.562 | 1.060 |
| 100 A dan Spiral | 1 | 130 | 120 | 62.00 | 66.736 | 1.076 |
| | 2 | 130 | 120 | 62.00 | 66.736 | 1.076 |
| | 3 | 130 | 120 | 65.28 | 66.736 | 1.022 |
| | Rata - Rata | | | | 66.736 | 1.058 |
| 100 A dan Lurus | 1 | 130 | 114 | 65.28 | 69.057 | 1.058 |
| | 2 | 130 | 118 | 62.00 | 67.562 | 1.090 |
| | 3 | 130 | 112 | 65.28 | 69.723 | 1.068 |
| | Rata - Rata | | | | 68.781 | 1.072 |
| 100 A dan Zig Zag | 1 | 130 | 98 | 64.00 | 72.805 | 1.138 |
| | 2 | 130 | 120 | 65.28 | 66.736 | 1.022 |
| | 3 | 130 | 109 | 65.28 | 70.619 | 1.082 |
| | Rata - Rata | | | | 70.053 | 1.081 |

Data hasil uji ketangguhan (*impact charpy*) pengelasan TIG aluminium 6061 dengan dengan variasi pada parameter kuat arus masing - masing 60 ampere, 80 ampere, 100 ampere dan alur pengelasan spiral, lurus, zig zag secara keseluruhan menunjukkan hasil dimana nilai ketangguhan terbesar dihasilkan pada spesimen dengan variasi parameter pengelasan kuat arus 100 ampere dan alur pengelasan zig zag yaitu dengan harga impact rata – rata sebesar 1,081 Joule/mm² dantenaga yang diserap sebesar 70,053 Joule

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dalam penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut.

1. Hasil uji cacat pengelasan dengan menggunakan dye penetrant test pada bagian weld metal dan root menunjukkan cacat pengelasan yang muncul adalah jenis gas pore yang muncul pada spesimen hasil pengelasan dengan menggunakan parameter pengelasan TIG dengan kuat arus 60 ampere dan penggunaan alur pengelasan spiral dan alur lurus. Pada spesimen dengan variasi parameter pengelasan TIG dengan kuat arus 60 ampere dan penggunaan alur pengelasan spiral dan alur lurus berdasarkan accepted criteria cacat pengelasan dinilai rejected. Cacat pengelasan berupa gas pore disebabkan karena kuat arus pengelasan yang digunakan dan adanya kontaminasi material saat proses pengelasan.

2. Data hasil uji ketangguhan (*impact charpy*) pengelasan TIG aluminium 6061 dengan dengan variasi pada parameter kuat arus masing - masing 60 ampere, 80 ampere 100 ampere dan parameter alur pengelasan spiral, lurus dan zig zag, secara keseluruhan menunjukkan hasil dimana nilai ketangguhan terbesar dihasilkan pada spesimen dengan variasi parameter pengelasan kuat arus 100 ampere dan alur pengelasan zig zag yaitu dengan harga impact rata – rata sebesar 1,081 Joule/mm² dantenaga yang diserap sebesar 70,053 Joule.

Saran yang dapat penulis sampaikan setelah terselesaikannya penelitian ini, adalah sebagai berikut:

1. Sebelum dilakukan uji DT impact dapat dilakukan Uji Cacat Pengelasan dengan dye penetrant, ultrasonic untuk memastikan hasil uji kekerasan dan uji impact tidak dipengaruhi

oleh cacat pengelasan yang mungkin muncul.

2. Pengujian Impact perlu dipastikan pembuatan spesimen uji pada sudut takik dan bentuk takik.

3. Peralatan uji impact perlu dipastikan sertifikat kalibrasinya untuk mendapatkan hasil uji yang akurat.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Afan, Y. F. And Yunus (2018) 'Pengaruh Teknik Pengelasan Alur Spiral , Alur Zig-Zag Dan Alur Lurus Pada Arus 85 A Terhadap Hasil Struktur Micro Dan Kekuatan Tarik Baja St 42
- Aminudidin. 2017. "Analisa Pengaruh Variasi Tegangan Terhadap Kualitas Sambungan Hasil Pengelasan GTAW Pada Material SA 266 GR2N with Clad Incoel 625(Tube Sheet) Dengan SA 213 TP 304 (Tube)." Tugas Akhir
- Arifin, Saiful. 2007. "Las Listrik Dan Ototen." Ghalia Indonesia.
- AWS D1.1. 2015. "Structural Welding Code-Steel." American Welding Society 23 (Miami).
- Ginting, Alfujri dan. 2007. "Pengaruh Variasi Sudut V Kampuh Tunggal Dan Kuat Arus Pada Sambungan Logam Aluminium-Mg-5083 Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan TIG." SAINTEK 5 (3): 1–3.
- Ilham, Riswadi dan. 2012. "Studi Komparasi Sambungan Lasa Dissimiliar AA5083-AA6061-T6 Antara TIG Dan FSW." ISBN 978-979-3541-25-9,75–79.
- Khudadad, M. A. R. (2014). Corrosion Resistance of TIG Welding Joint for Aluminium Alloy 6061- T6 in Sea Water at Different Velocities. Journal of Engineering and Development, Vol. 18, No.6, November 2014, ISSN 1813- 7822.
- Nasrul, Yogi, and Dkk. 2016. "Pengaruh Variasi Arus Las SMAW Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tarik Sambungan Dissimilar SS304 Dan ST37." Jurnal Teknik Mesin. 24 (1).
- Sholichudin, M. (2015). Perbedaan Sifat Mekanik Hasil Penyambungan Las GTAW pada Aluminium 6061 dengan Filler ER 4043 dan ER 5356.
- Sonawan, and Suratman. 2004. "Pengantar Untk Memahami Pengelasan Logam." Alfa Beta 6 (2): 107–17.
- Surdia, and Tata. 2015. "Pengetahuan Bahan Teknik." Pt. Pradnya Paramitaa 2.
- Syahrani, Ahmad, and Chairulnass. 2013. "Variasi Arus Terhadap Kekuatan Tarik Dan Bending Pada Hasil Pengelasan." Mekanikal 4 (2): 393–402.
- Widharto, Sri. 2001. "Petunjuk Kerja Las." Pradnya Paramita.
- Wiryosumarno dan Okumara. 2000. "Teknologi Pengelasan Logam" 17.
- Yahya Fadkur Afan Yunus Abstrak', Jurnal Pendidikan Teknik Mesin, 7(3), Pp. 65–71.
- Zainal Fakri, Bukhari, N. J. (2019) 'Analisa Pengaruh Kuat Arus Pengelasan Gmaw Terhadap Ketangguhan Sambungan Baja Aisi 1050', Journal Of Welding Technology, 1(1).