

Studi Eksperimental Friction Stir Welding Aa6061-T651 Dengan Variasi Kecepatan Putaran Pada Sambungan Sudut [Experimental Study Of Friction Stir Welding Aa6061-T651 With Variation Of Rotation Speed At Angle Connections]

Sandifta Iffah Sjaifulah¹⁾, Mulyadi^{*,2)}

1) Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

2) Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: mulyadi@umsida.ac.id

Abstract Friction stir welding is the latest innovation in the field of solid state welding which is suitable for aluminum which has a low melting point. The fsw process uses the taguchi orthogonal array method to study all fsw parameters and minimize the experiments carried out. The O found in specimens 2, 8, and 7 had the best macrostructural results because it had more mg2si phases which changed its mechanical properties to make it harder and neater. The results of the macrostructural test on specimen 3 had the worst microstructural results because it had the lowest hardness value. The macrostructural test results on specimen 1 had the best macrostructural results because it had a good visual appearance value. **Keywords** - Friction Stir Welding, AA6061-T651, Tensile Strength Test and Welding Penetration.

Keyword – Friction Stir Welding; AA6061; T651; Macrostructural Test

Abstrak. friction stir welding merupakan inovasi terbaru dalam bidang pengelasan solid state yang tepat digunakan untuk aluminium yang memiliki titik lebur rendah. Proses fsw menggunakan metode orthogonal array taguchi untuk mempelajari semua parameter fsw dan meminimalisir eksperimen yang dilakukan. O yang terdapat pada spesimen 2, 8, dan 7 memiliki hasil makrostruktur yang terbaik karena memiliki fasa mg2si yang lebih banyak sehingga merubah sifat mekaniknya menjadi lebih keras dan rapi. Hasil uji makrostruktur pada spesimen 3 memiliki hasil mikrostruktur yang paling buruk karena memiliki nilai kekerasan paling rendah. hasil uji makrostruktur pada spesimen 1 memiliki hasil makrostruktur yang paling baik karena memiliki nilai tampak visual yang baik..

Kata Kunci – Friction Stir Welding; AA6061; T651; Uji Makrostruktur

I. PENDAHULUAN

Sebuah teknik pengelasan terbaru yang ramah lingkungan yang menghasilkan kualitas sambungan yang baik disebut friction stir welding (fsw), dengan menggunakan gesekan antara benda kerja yang diam dan benda kerja yang bergerak, porsi dapat menjadi lebih lunak akibat gesekan antara dua benda kerja. Ini selesai dalam kondisi koneksi yang solid[1]. Logam paduan aluminium adalah sumber umum aplikasi fsw. Aluminium aa 5083 adalah jenis aluminium yang umum digunakan dalam pembuatan kapal. Dengan kecepatan travel 36 mm/menit dan perubahan kecepatan putar probe 1547 rpm, 1268 rpm, dan hasil sambungan las, sifat fisik dan mekanik sambungan diperiksa dalam penelitian ini[2]. Paduan aluminium (al), magnesium (mg), dan silikon (si) berkekuatan tinggi dengan penambahan mangan (mn) untuk meningkatkan keuletan dan ketangguhannya dikenal sebagai paduan aa6061-t6[3]. Penyambungan paduan aluminium dengan teknik pengelasan fusi konvensional diketahui bermasalah di mana beberapa masalah ini termasuk pembentukan fase getas sekunder, retak selama pematangan, distorsi tinggi, dan tegangan sisa pada aluminium tersebut. Metode proses penyambungan paduan aluminium digunakan sebagai hasilnya seri aa 6061 t6 dengan cara pengelasan friction stir welding (fsw)[4]. Fsw merupakan metode pengelasan solid state yang dapat menghasilkan lasan dengan kualitas tinggi untuk beberapa material yang memiliki kemampuan las rendah seperti aluminium[5]. Prosedur friction stir welding (fsw) menggunakan panas yang dihasilkan oleh gesekan antara tools (shoulder dan pin) dengan benda kerja. Bahan mengalami proses agitasi dan melunak tanpa mencapai suhu leleh (0,6 sampai 0,8), atau 82,2 sampai 109,6 oc, karena panas ini, serta panas yang dihasilkan oleh proses pencampuran mekanik dan panas adiabatik dalam bahan. Untuk polymer hdpe)[6]. Proses melunakkan ini memungkinkan alat untuk bergerak sepanjang jalur pengelasan. Pada fase ini, bagian depan pin (muka pin) dibantu oleh profil pin (sekrup) tertentu, gaya plastisasi material ke bagian belakang pin sambil memberikan gaya tempa yang besar untuk melelehkan kedua bahan las. Berputar-putar dan proses homogenisasi bahan las terjadi[7].

II. METODE

A. Tempat Dan Waktu Penelitian

Dalam penelitian dan pengujian pengelasan dilakukan di laboratorium teknik mesin umsida universitas muhammadiyah sidoarjo dengan memaksimalkan pemahaman tentang pengaruh parameter *friction stir welding* terhadap struktur makroaluminium aa6061-t6 pada hasil pengelasan *friction stir welding*.

B. Desain eksperimen

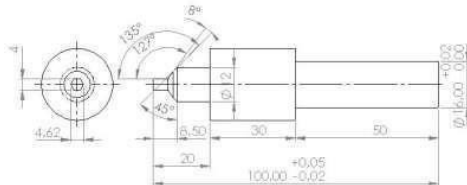
Proses pembuatan alat diperlukan desain untuk konsep benda kerja dengan tujuan perancangan alat dapat membuat alat dengan mudah untuk menjalankan pekerjaan yang dilakukan oleh perancang. Dibawah ini merupakan rancangan desain *tool fsw*.

1. Desain *Tool FSW*



Gambar 1. Desain *tool FSW Geometri Hexagonal*

2. Dimensi *Tool FSW*



Gambar 2. Dimensi *Tool FSW Geometri Hexagonal*

3. Hasil Pembuatan *Tool FSW*



Gambar 3. Hasil Pembuatan *Tool FSW Geometri Hexagonal*

C. Aluminium aa6061-t651

Dalam paduan aluminium, terdapat lebih dari 300 komposisi komponen paduan yang berbeda. Semua jenis paduan aluminium mengandung dua atau lebih komponen kimia yang dapat mengubah karakteristik mekanik paduan tersebut (asm international, 1998). Aluminium aa6061-t6 adalah bahan yang digunakan dalam penyelidikan ini, sedangkan silikon dan magnesium (seri 6000 atau 6xx) merupakan paduannya. Dibandingkan dengan jenis paduan aluminium 6005 lainnya, aluminium aa6061-t6 memiliki kekuatan tertinggi kedua dan keuletan terendah kedua. Aluminium memiliki sejumlah karakteristik utama, antara lain: ringan, karena berat jenis rendah ($2,7 \text{ gr/cm}^3$)

1. Kekuatan dan berat sangat baik
2. Temperatur lebur rendah (660°C),
3. Sehingga peralatan peleburan lebih sederhana Menghasilkan perpaduan yang diinginkan
4. Memiliki sifat mampu cor sangat baik
5. Ketahanan terhadap korosi yang baik
6. Ketahanan terhadap korosi yang baik
7. Konduktor panas dan listrik yang baik
8. Mudah dipadu dengan unsur lain untuk

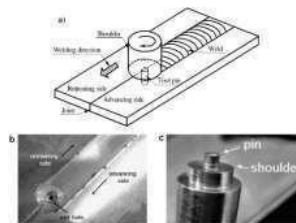
5. Jenis permukaan baik
6. Ketahanan terhadap korosi yang baik
- 7.

Tabel 1. Kandungan Kimia aluminium AA6061-T6

<i>Element</i>	<i>% Present</i>
<i>Silicon (Si)</i>	0.40 - 0.80
<i>Magnesium (Mg)</i>	0.80 - 1.20
<i>Manganese (Mn)</i>	0.0 - 0.15
<i>Iron (Fe)</i>	0.0 - 0.70
<i>Copper (Cu)</i>	0.15 - 0.40
<i>Chromium (Cr)</i>	0.04 - 0.35
<i>Zinc (Zn)</i>	0.0 - 0.25
<i>Others (Total)</i>	0.0 - 0.15
<i>Titanium (Ti)</i>	0.0 - 0.15
<i>Other (Each)</i>	0.0 - 0.05
<i>Aluminium (Al) B</i>	<i>Balance</i>

D. Prinsip kerja friction stir welding (fsw)

Gesekan terus-menerus yang terjadi antara dua benda pada saat proses pengelasan adukan gesek menyebabkan panas yang dihasilkan. Caranya menggunakan alat dengan pin yang berputar terus menerus dan menekan pada material yang perlu disambung. Panas yang dihasilkan oleh alat gesek berbentuk silinder dengan pin dapat melunakkan komponen. Dalam proses pengelasan, suatu alat yang bergerak secara melintang dan terus menerus sepanjang jalur pengelasan suatu material digabungkan menjadi satu.



Gambar 4. Skematik prinsip friction stir welding (fsw)

Dalam skema pengelasan *friction stir welding*, *tool* dengan atau tanpa profil berputar pada *probe* dan bergerak dengan kecepatan konstan di jalur sambungan antara dua logam yang akan dilas. Karena gaya yang terlibat dalam pengelasan, benda kerja harus dijepit dengan kuat pada penjepit atau cekam untuk menahan posisinya. Panjang *probe* lebih pendek dari ketebalan benda kerja, dan *shoulder* harus bersentuhan dengan permukaan benda kerja. Panas gesekan dihasilkan oleh gesekan antara *probe* dan *shoulder* pada benda kerja. Panas yang dihasilkan oleh proses pencampuran mekanis menyebabkan material benda kerja melunak tanpa melebihi titik lelehnya (*melting point*), yang memungkinkan *tool* pengelasan bergerak di sepanjang jalur pengelasan. Pada saat proses pengelasan pin mendorong material ke arah belakang pin sementara gaya produksi yang solid diterapkan untuk menahan logam las secara bersamaan

D. Teknik Pengumpulan Data

Untuk dapat memperoleh beberapa data penunjang yang diperlukan selama proses penelitian serta beberapa teori dalam menyusun skripsi ini maka diperlukan teknik pengumpulan data antara lain [8]:

1. Studi literatur

Studi literatur ini mengenai beberapa referensi dari jurnal yang berisi materi-materi yang berhubungan dengan *solar collector* sebagai upaya untuk mengumpulkan informasi atau data melalui beberapa sumber informasi sesuai dengan penelitian yang dilakukan.

2. Observasi lingkungan

Ulasan dan observasi terhadap faktor lingkungan yang mempengaruhi proses penelitian dimasukkan dalam observasi lingkungan ini [9]. Pengamatan dari penelitian sebelumnya, jenis dan jenis rangkaian yang digunakan, ketersediaan sumber daya mentah berupa komponen atau benda material yang akan diproduksi, dan faktor lainnya merupakan contoh pengamatan lingkungan untuk proses perancangan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini pembuatan alat solar kolektor tipe plat datar yang terhubung dengan manometer u terbalik ini harus dipersiapkan terlebih dahulu komponennya agar mendapatkan hasil yang efisien dan maksimal[18].

A. Persipan alat dan bahan

Yang perlu dipersiapkan sebelum melakukan eksperimen *friction stir welding* dan pengujian spesimen adalah sebagai berikut :

1. Mesin *milling* / frais

Mesin *milling* digunakan untuk meratakan permukaan sisi pada aluminium dan juga digunakan untuk proses *friction stir welding*. Dengan parameter sebagai berikut :

Jenis mesin : mesin frais universal

Type : x6322c weida

Kecepatan spindle (rpm) : 2.192

Sudut kemiringan : 3,4°

Kecepatan jalan(mm/min) : 36,3



Gambar 5. Mesin frais

2. Mesin *cnc milling*

Mesin *cnc milling* yang dipakai penelitian disini yaitu merk weidamc vmc-640 memiliki 3 axis yang berfungsi untuk membuat bentuk *tool* yang berbentuk *hexagonal* dan membuat *jig* untuk mencekam aluminium pada proses *friction stir welding*, penggunaan mesin *cnc milling* harus memiliki program yang telah diprogram sebelumnya dikomputer, mesin *cnc milling*



Gambar 6. Mesin cnc

3. Mesin bubut

Mesin bubut yang dipakai eksperimen bermerk jiw gh6241x/1000 ini berfungsi untuk membuat *tool* yang berbentuk *hexagonal* yang memiliki bebrapa bagian yang harus dibubut



Gambar 6. Mesin bubut

4. Aluminium aa6061-t651

Pelat aluminium paduan 6061-t6 adalah bahan spesimen yang digunakan dalam penelitian ini. Sesuai dengan banyaknya parameter proses dengan dua kali ulangan maka diperlukan 28 pasang spesimen

Sehingga total menjadi 14 spesimen dengan dimensi 100 mm x 60 mm x 6 mm.



Gambar 6. Plat alumunium aa6061-t651

5. Tool pengelasan

Pada penelitian kali ini material *tool* yang akan digunakan adalah baja h13. Alasan pemilihan bahan tersebut karena baja h13 memiliki pengerasan udara tinggi, kandungan tinggi karbon dan vanadium membuatnya memiliki ketahanan aus yang tinggi terhadap guncangan termal dan retak panas serta kekerasan pada suhu tinggi

6. Kertas gosok

Kertas gosok disini digunakan pada proses poles dan grinding. Pada penelitian ini digunakan kertas gosok ukuran 240, 500, 1000, dan 2000.

7. Cairan pengetsaan

Cairan kimia untuk etsa digunakan untuk mengikis permukaan supaya struktur mikro dapat dilihat. Komposisi cairan yang digunakan disebut komposisi Keller's yaitu 2 ml hf, 3 ml hcl, 5 ml hno₃, dan 190 ml h₂o

B. Proses pengerjaan

Pada penelitian ini proses *friction stir welding* dilakukan sebanyak 16 kali dengan perbedaan parameter yang telah ditentukan. Berikut adalah langkah –langkah proses *friction stir welding* :

1. Pengaturan putaran *spindle* yang sudah ditentukan oleh parameter. Yaitu dengancara memindah belt pada *pulley motor* dan *pulley spindle* freis sesuai dengan parameter kecepatan putaran *spindle* 765, 1208, 1907, 3020 (rpm).



Gambar 7. Setting kecepatan putaran *spindle*

2. Pengaturan kemiringan *tool* yang sudah ditentukan oleh parameter. Untuk melonggari baut pada ram mesin freis dengan kunci pas 17, geser kemiringan ram sampai *milling head* miring sesuai parameter yaitu sebesar 2.04, 2.80, 3.4, 3, (°).



Gambar 8. *Setting* kecepatan putaran *spindle*

3. Pengaturan kecepatan pemakanan (*feedrate*) yang sudah ditentukan oleh parameter. Ubah kode pada tabel kecepatan pemakanan sesuai parameter sebesar 24, 43, 65, 90 (mm/min).



Gambar 9. *Setting* kecepatan pemakanan (*feedrate*)

4. Memasang *jig* pada meja mesin freis dan melakukan dial untuk meluruskan posisi *jig*.



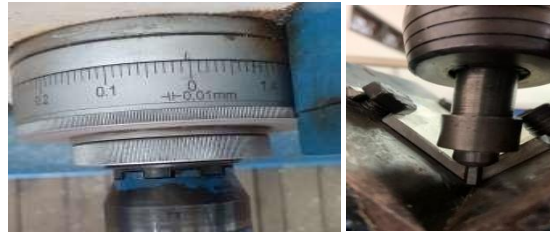
Gambar 10. *Dial* permukaan *spesimen*

5. Memilih *tool* sesuai dengan parameter yang akan digunakan.
6. Memasang *tool* dengan *collet* pada *spindle* dan merapatkan pengunci *spindle* agar *tool* rapat dan tidak goyang.
7. Memasang spesimen plat aluminium aa6061 t651 pada *jig* dan menguncibaut yang ada di *jig* supaya saat proses *friction stir welding* tidak terjadi deformasi yang signifikan.



Gambar 11. Posisi spesimen pada *jig*

8. Menyalakan mesin freis dengan putaran *spindle* searah jarum jam.
9. Mengarahkan *tool* mendekati titik nol pengelasan (*datum*) pada spesimen dan menjalankan meja mesin freis untuk memastikan jalur pengelasan sudah tepat.



Gambar 12. Tuas datum titik nol

10. Pin masuk diantara dua plat hingga *shoulder* menyentuh permukaan spesimen dengan menggerakkan *tool* kearah vertikal menggunakan tuas manual pemakanan sumbu y sampai *pin shoulder* menyentuh spesimen. Kemudian putar tuas manual pemakanan sumbu y untuk penetrasi.



Gambar 13. Posisi *tool shoulder* pada titik awal pengelasan

11. Menghentikan tuas otomatis sumbu x ketika pengelasan sampai ujung spesimen. Setelah itu menggerakkan tombol otomatis sumbu y kearah menjauhi spesimen yang sudah dilakukan *friction stir welding*.
12. Menekan tombol *off* untuk menghentikan putaran *spindle* dan melepas *tool* menggunakan kunci khusus *spindle*.
13. Melepas spesimen pada *jig* dan melakukan pembersihan di area pengelasan memberikan *marking number* spesimen sesuai dengan nomer parameter.



Gambar 14. Proses *friction stir welding*

14. melakukan langkah-langkah di atas sebanyak 16 kali dengan menyesuaikan parameter yang sudah ditentukan.



Gambar 15. Akhir proses fsw

15. Menekan tombol *off* untuk menghentikan putaran *spindle* dan melepas *tool* menggunakan kunci khusus *spindle*
16. Melepas spesimen pada *jig* dan melakukan pembersihan di area pengelasan dan memberikan *marking number* spesimen sesuai dengan nomer parameter.

**Gambar 15.** Hasil spesimen *friction stir welding*

17. Melakukan langkah-langkah di atas sebanyak 16 kali dengan menyesuaikan parameter yang sudah ditentukan.

C. Proses uji makrostruktur *friction stir welding*

1. Poles dan grinding

Proses poles dan grinding adalah proses untuk menghaluskan permukaan spesimen. Mesin bubut digunakan untuk proses poles.



(a)

(b)

Gambar 16. Alat poles (a) tampak samping, (b) tampak depan

Pada proses pemolesan menggunakan kertas gosok ukuran 1000 dan 2000. Saat pemolesan menggunakan cairan *coolant* (dromus) untuk menghindari panas akibat gesekan yang terjadi saat pemolesan. Setelah dilakukan pemolesan sampai dengan permukaan spesimen menjadi rata kemudian dilakukan penggosokan menggunakan autosol sampai spesimen terlihat seperti *mirroring* (manurung, 2020). Berikut gambar dibawah hasil dari pemolesan dan penggrindingan yang telah dilakukan



(a)

(b)

(c)

Gambar 17. Hasil perlakuan spesimen a. Spesimen setelah dipotong, b. Hasil pemolesan 1000cc, c. Hasil pemolesan 2000cc

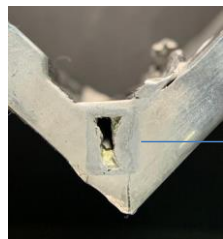
2. Etching

Proses etsa (*etching*) merupakan proses untuk memperlihatkan atau mengikis permukaan spesimen yang diuji agar fasa pada spesimen terlihat struktur mikro dan makro, fasa dan kandungan kimianya. Pada penelitian ini menggunakan *keller's reagent* sesuai standart *astm-e407-07*. Cairan yang digunakan yaitu 2 ml hf, 3 ml hcl, 5 ml hno₃, dan 190 ml h₂o dan menggunakan alkohol 70% untuk membersihkan spesimen dari cairan etsa.



Gambar 18. Proses etsa

Proses pencampuran cairan etsa dan proses pengetsaan sesuai standart. Sebanyak 16 spesimen yang dilakukan proses etsa



Hasil
Etsa

Gambar 19. Hasil proses etsa

D. Analisa dan pembahasan hasil uji makrostruktur dari *friction stir welding*

Pada proses *friction stir welding* terjadi proses mekanis sehingga bisa merubah komposisi kimia dan struktur pada spesimen yang dilas yaitu aluminium aa6061-t651. Berikut adalah komposisi kimia aluminium aa6061-t651 yang dilakukan *friction stir welding*

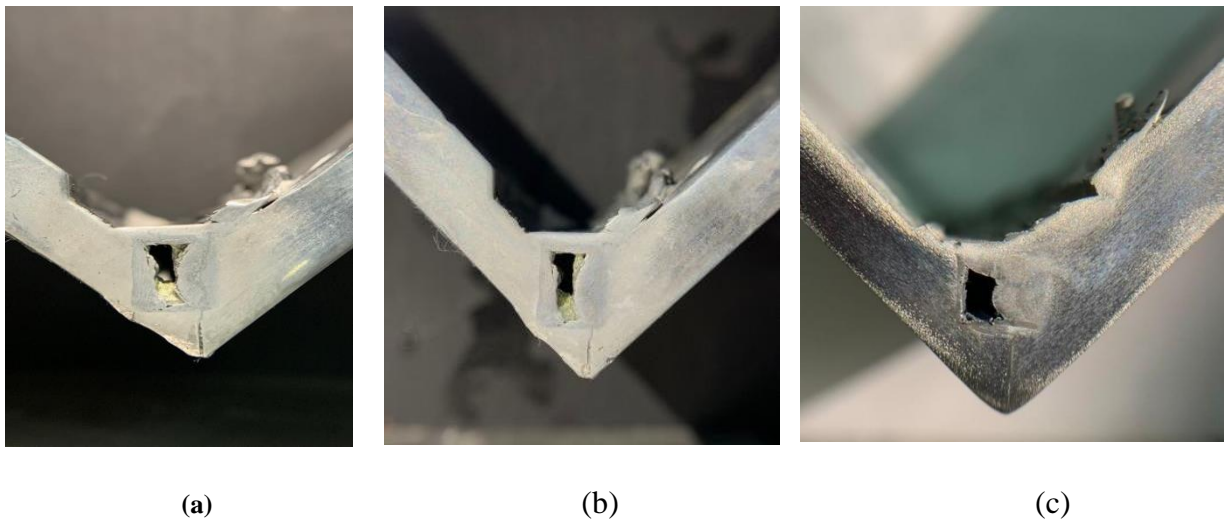
Tabel 2. komposisi kimia aa6061-t651

Material	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Al
Aa6061-T651	0,76	0,33	0,07	0,08	1,11	0,01	0,02	0,27	Bal

Menunjukkan komposisi kimia aluminium aa6061-t651 yang dilakukan proses *friction stir welding*. Komposisi tersebut dapat berubah karena adanya efek perubahan panas akibat adanya putaran *tool*, gesekan dan penetrasi antara *tool* dan material, tumbukan akibat gaya aksial yang ditimbulkan saat fsw

1. Hasil uji makrostruktur terbaik

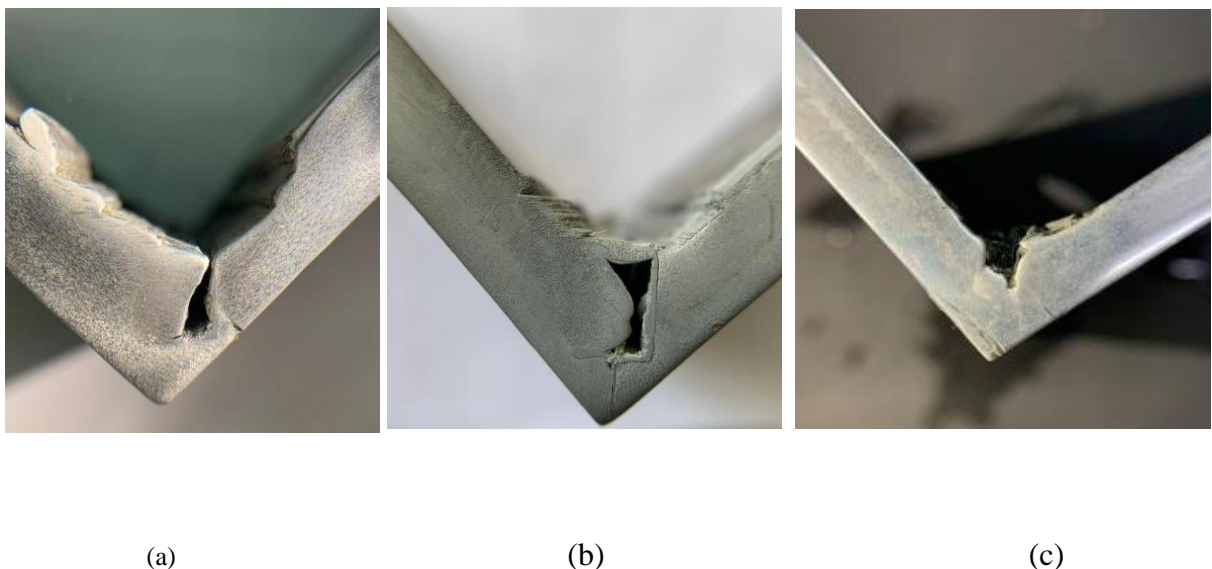
Hasil pengujian makrostruktur memiliki hubungan yang saling berkaitan dengan hasil uji kekerasan karena struktur dan fasa hasil pengelasan saling mempengaruhi hasilnya. Data analisa ini mengacu pada hasil uji kekerasan yang dilakukan oleh (rizki, 2022). Dari hasil uji kekerasan dengan anovamendapatkan hasil persen kontribusi yang tertinggi yaitu pada sudut kemiringan *tool* dengan sudut 2° . Berikut gambar dibawah merupakan hasil uji makrostruktur dengan spesimen yang memiliki sudut kemiringan *tool* sebesar 2° dengan kecepatan putaran *tool* sebesar 765, 1208, 1907, 3022 (rpm).



Gambar 20. Spesimen hasil makrostruktur terbaik berdasarkan kamera lensa makro

Pada gambar diatas merupakan gambar dengan perbesaran 12.5x yang menunjukkan daerah perbatasan antara daerah tmaz dan wm. Daerah tmaz menunjukkan pola struktur yang memiliki bentuk *dendrit equiaxed* (afifuddin & ilman, 2021) dan memiliki warna gelap dan terjadinya *grain growth* karena pengaruh panas yang terjadi saat fsw (prabandono et al., 2018). Namun daerah tmaz tidak terjadi deformasi plastis hanya terpengaruh oleh panas dan regangan induksi yang dihasilkan oleh adukan pada daerah wm (jacob et al., 2021). Pada daerah tmaz tidak ada proses rekristalisasi seperti pada bagian *weld metal*, sehingga berdampak pada perubahan struktur yang mengakibatkan kekerasan daerah tmaz lebih keras dibandingkan daerah *weld metal*. Pada daerah wm memiliki warna yang lebih terang karena terjadi adukan dan gaya tekan serta terjadideformasi plastis saat fsw pada daerah tersebut.

2. Hasil Uji Makrostruktur Terburuk



Gambar 21. Spesimen Hasil Makrostruktur Terburuk Berdasarkan Kamera Lensa Makro

Pada gambar diatas merupakan gambar dengan perbesaran x yang menunjukkan daerah perbatasan antara daerah tmaz dan wm. Daerah tmaz menunjukkan pola struktur yang memiliki bentuk *dendrit equiaxed* (afifuddin & ilman, 2021) dan memiliki warna gelap dan terjadinya *grain growth* karena pengaruh panas yang terjadi saat fsw (prabandono et al., 2018). Namun daerah tmaz tidak terjadi deformasi plastis hanya terpengaruh oleh panas dan regangan induksi yang dihasilkan oleh adukan pada daerah wm (jacob et al., 2021). Pada daerah tmaz tidak ada proses rekristalisasi

seperti pada bagian *weld metal*, sehingga berdampak pada perubahan struktur yang mengakibatkan kekerasan daerah tmaz lebih keras dibandingkan daerah *weld metal*. Pada daerah wm memiliki warna yang lebih terang karena terjadi adukan dan gaya tekan serta terjadideformasi plastis saat fsw pada daerah tersebut (wiryolukito & wijaya, 2020). Padawm terdapat cacat *tunnel defect* (td) yang terjadi akibat temperatur yang dihasilkan saat pengelasan terlalu tinggi adapun bisa terjadi karena gaya tempa yang dihasilkan terlalu kecil dan pengaruh sudut kemiringan *tool* yang terlalu kecil yang akan berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan elongasi yang besar dan terdapat cacat pada jalur pengelasan dimana kecepatan feed meja terlalu cepat dan tools yang panas mengakibatkan pin tools hexagonal patah pada saat berjalannya pengelasan fsw.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan tentang analisa pengaruh variasi parameter proses *friction stir welding* menggunakan sambungan *fillet joint* pada aluminium aa6061-t651 dengan pengujian makrostruktur memiliki kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil eksperimen dengan parameter kontribusi terbaik yaitu pada sudut kemiringan *tool* sebesar 3.4° yang terdapat pada spesimen 1, spesimen 2, spesimen yang memiliki hasil makrostruktur yang diharapkan karena memiliki hasil pengelasan yang lebih banyak dan merata sehingga dapat merubahsifat mekaniknya menjadi lebih keras dari hasil pengelasan.
2. Hasil uji makrostruktur pada spesimen 8 yang memiliki parameter dengan kecepatan putaran *tool* 3022 rpm, kecepatan pengelasan 36 mm/min, kedalaman pemakanan dan sudut kemiringan *tool* sebesar 0° memiliki hasil makrostruktur yang kurang baik karena sudut kemiringan 0° dikarenakan kurang terjadinya penekanan dari atas yang mengakibatkan hasil las kurang sempurna.
3. Hasil uji makrostruktur pada spesimen 7 yang memiliki parameter dengan kecepatan putaran *tool* 3022 rpm, kecepatan pengelasan 15 mm/min, kedalaman pemakanan dan sudut kemiringan *tool* sebesar 0° memiliki hasil makrostruktur yang kurang baik karena sudut kemiringan 0° dikarenakan kurang terjadinya penekanan dari atas yang mengakibatkan hasil las kurang sempurna.
4. Hasil uji makrostruktur pada spesimen 3 yang memiliki parameter dengan kecepatan putaran *tool* 1907 rpm, kecepatan pengelasan 36 mm/min, kedalaman pemakanan 5.5mm dan sudut kemiringan *tool* sebesar 3.4° memiliki hasil makrostruktur yang kurang baik karena sudut kemiringan 0° dikarenakan kurang terjadinya penekanan dari atas yang mengakibatkan pin tools hexagonal putus pada saat berjalannya fsw.

Daerah wm yang memiliki fasa mg₂si lebih banyak menjadikan material bertambah keras dan kuat dan semakin kecil bentuk struktur hasil *friction stir welding* akan mempengaruhi kekuatan mekanik pada spesimen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih saya ucapkan kepada program studi teknik mesin universitas muhammadiyah sidoarjo yang telah memberikan ilmu dan wawasan yang bermanfaat serta para rekan aslab dan juga teman-teman yang telah membantu untuk menyelesaikan penelitian ini

REFERENSI

- [1] Aji Nurhafid, Sarjito Jokosisworo, U. B. (2017). Analisa Pengaruh Perbedaan Feed Rate Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impak
- [2] ASM International. (1998). ASM Handbook Volume 3 : Alloy Phase Diagrams. In *ASM Handbook*.
- [3] ASM International. (2001). ASM Handbook Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials. *Technology*, 2, 3470. [https://doi.org/10.1016/S0026-0576\(03\)90166-8](https://doi.org/10.1016/S0026-0576(03)90166-8)
- [4] Bahemmat, P., Haghpanahi, M., Besharati, M. K., Ahsanizadeh, S., & Rezaei, H. (2010). Study on mechanical, micro-, and macrostructural characteristics of dissimilar friction stir welding of AA6061-T6 and AA7075-T6. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 224(12), 1854–1865. <https://doi.org/10.1243/09544054JEM1959>

- [5] Fahrizal Fandi, A. (2018). *Pengaruh arah putaran tool terhadap sifat mekanik hasil sambungan, Aluminium Friction, Side Mesin, Teknik Teknik, Konsentrasi Brawijaya, Universitas Teknik, Fakultas aluminium double sidefriction stir welding.*
- [6] Helmi, I., & Tarmizi, T. (2017). Pengaruh Bentuk Pin terhadap Sifat Mekanik Aluminium 5083 – H112 Hasil Proses Friction Stir Welding. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 11(1), 43. <https://doi.org/10.26578/jrti.v11i1.2163>
- [7] J. R. Davis. (2001). Aluminium and Aluminium Alloys. *ASM International*, 42(11), 746–749. <https://doi.org/10.1136/oem.42.11.746>
- [8] Kuntar, I. A. (2016). *Studi Eksperimental Friction Stir Welding Aluminium 5083 Dengan Variasi Kecepatan Putaran Dan Kemiringan.*
- [9] Lee, W. B., Yeon, Y. M., & Jung, S. B. (2004). Mechanical properties related tomicrostructural variation of 6061 Al alloy joints by friction stir welding. *Materials Transactions*, 45(5), 1700–1705. <https://doi.org/10.2320/matertrans.45.1700>
- [10] Li, D., Yang, X., Cui, L., He, F., & Shen, H. (2014). Effect of welding parameter on microstructure and mechanical properties of AA6061-T6 butt welded joints by stationary shoulder friction stir welding. *Materials and Design*, 64, 251–260. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.07.046>
- [11] Manurung, V. Y. T. S. Y. (2020). *Panduan metalografi. Science and Engineering R: Reports*, 50(1–2), 1–78. <https://doi.org/10.1016/j.msar.2005.07.001>
- [12] Mishra, R. S., & Ma, Z. Y. (2005). Friction stir welding and processing. *Materials Science and Engineering R: Reports*, 50(1–2), 1–78. <https://doi.org/10.1016/j.msar.2005.07.001>
- [13] Mulyadi; Iswanto. (2019). *Buku Ajar Teknologi Pengelasan.* UMSIDA Press. https://scholar.google.co.id/scholar?hl=id&as_sdt=0%2C5&q=jurnal+artikel+ilmiah&btnG=
- [14] Pratisna, P., Anggertyo, I., A, P. A. N., Induk, L., Labinkimat, M., & Al, T. N. I. (2016). *Sifat Fisik dan Mekanik Sambungan Las Friction Stir Welding (FSW) AA 5083 dengan Variasi Bentuk dan Kecepatan Putar Probe Pada Konstruksi Kapal Physical and Mechanical Properties of Welded Joints Friction Stir Welding (FSW) AA 5083 with a Variation of.*
- [15] Rodriguez, R. I., Jordon, J. B., Allison, P. G., Rushing, T., & Garcia, L. (2015). Microstructure and mechanical properties of dissimilar friction stir welding of 6061-to-7050 aluminum alloys. *Materials and Design*, 83, 60–65
- [16] Satyadianto, D. (2015). *Pengaruh variasi tekanan gesek, tekanan tempa dan durasi gesek terhadap kekuatan impact pada sambungan Las Gesek (Friction Welding) dengan menggunakan baja paduan Aisi 4140.* 97.
- [17] Siswanto, R. (2018). *Buku Ajar Teknologi Pengelasan (HMKB791). Teknik Mesin Univeristas Lambung Mangkurat*, 1–20.
- [18] Sudrajat, A., & Rotor, J. (2012). *ANALISIS SIFAT MEKANIK HASIL PENGELASAN ALUMINIUM AA 1100 DENGAN METODE FRICTION STIR WELDING (FSW) Angger Sudrajat F.P. 1, Sumarji 2, Mahros Darsin 3.* 5, 8–17.

Conflict of Interest Statement:

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.