

PENGARUH KECEPATAN ROTASI DAN KECEPATAN PENGELASAN PADA PROSES *FRICTION STIR WELDING* (FSW) TERHADAP STRUKTUR MAKRO PENGELASAN MATERIAL AA6061 -T651

Disusun Oleh:

MOHAMMAD AGIL SATRTIO PRAYUGO

NIM. 191020200008

Dosen Pembimbing:

Dr. MULYADI ST., MT

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO
2024

**TOPIK
PEMBAHASAN**

PENDAHULUAN

METODE

HASIL DAN PEMBAHASAN

KESIMPULAN

Pendahuluan

- Saat ini, Bahan yang saat ini sering digunakan dalam pembuatan komponen otomotif dan dalam industri manufaktur adalah paduan aluminium. Aluminium dan campurannya sering menjadi bahan utama dalam proses manufaktur, Terutama material aluminium seri AA6061 - T561
- Penyambungan aluminium sering menggunakan metode Friction Stir Welding (FSW), yang merupakan suatu teknik pengelasan inovatif.
- Proses FSW membutuhkan perhatian yang cermat terhadap sejumlah variabel, termasuk kecepatan rotasi tool (*rotational speed*), kecepatan pengelasan (*welding speed*), kedalaman penetrasi tool (*tool deep plunge*), sudut kemiringan tool terhadap benda kerja, serta bentuk atau profil pin yang digunakan. Dengan memilih parameter FSW yang sesuai, kita dapat meningkatkan kekuatan sambungan dan mengurangi potensi terjadinya cacat pada pengelasan.
- Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pengaruh variasi parameter dalam proses pengelasan FSW, yaitu kecepatan rotasi tool (765, 1208, 1907, 3022 rpm) dan kecepatan pengelasan sebesar (24, 43, 65, 90 mm/menit). Eksperimen variasi FSW dilakukan dengan menggunakan mesin CNC milling.

Penelitian Terdahulu

“D.S. Pamuji “

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pengaruh variasi parameter dalam proses pengelasan FSW, yaitu kecepatan rotasi tool (910, 1500, 2280 rpm) dan kecepatan pemberian bahan (feeding speed) sebesar (120 dan 180 mm/menit). Eksperimen variasi FSW dilakukan dengan menggunakan mesin CNC milling yang menggunakan tool berbentuk silinder dengan diameter shoulder sebesar 16 mm, diameter pin 3 mm, dan tinggi pin 2,7 mm pada pelat aluminium AA6061 dengan dimensi 300x100x3 mm. Hasil pengamatan visual terhadap struktur makro juga mencatat bahwa dalam area logam pengelasan (weld metal) teramati terdapat lebih banyak butir IMC AlMg-Si dan perubahan bentuk batas butir yang menjadi lebih seimbang akibat proses rekristalisasi.

Rumusan Masalah

1

Bagaimana pengaruh variasi parameter dalam proses Friction Stir Welding (FSW) pada material AA6061-T651, termasuk kecepatan rotasi tool, sudut bahu cekung, sudut kemiringan tool, dan kecepatan pengelasan, terhadap karakteristik sambungan las seperti Thermo-Mechanically Affected Zone (TMAZ) dan Heat Affected Zone (HAZ)?

2

Bagaimana kekuatan sambungan pengelasan pada proses Friction Stir Welding (FSW) mempengaruhi karakteristik sambungan aluminium seri AA6061 - T561 ?

3

Bagaimana potensi terjadinya cacat pengelasan pada proses Friction Stir Welding (FSW) mempengaruhi karakteristik sambungan aluminium seri AA6061 - T561?

Tujuan Penelitian

1

Menentukan pengaruh parameter FSW seperti kecepatan rotasi tool, sudut bahu cekung, sudut kemiringan tool, dan kecepatan pengelasan terhadap karakteristik sambungan las pada material AA6061-T651.

2

Menganalisis efek dari variasi parameter terhadap risiko terbentuknya cacat las seperti porositas atau retakan.

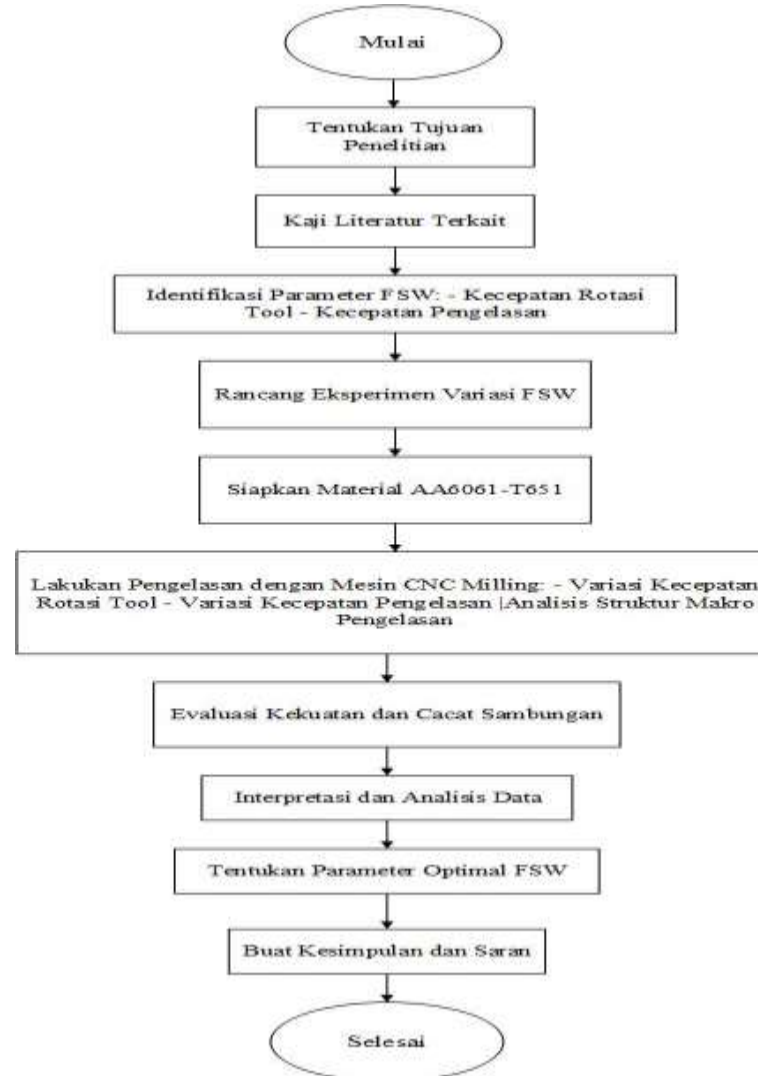
3

Mengembangkan pedoman atau rekomendasi untuk optimalisasi proses FSW pada material AA6061-T651, dengan fokus pada pemilihan parameter untuk meminimalkan cacat las dan mempertahankan karakteristik TMAZ dan HAZ yang diinginkan.

Metode

- Penelitian dimulai dengan menentukan tujuan utama, yaitu mengeksplorasi pengaruh variasi parameter FSW terhadap struktur makro pengelasan material AA6061-T651. Selanjutnya, kajian literatur dilakukan untuk memahami dasar teori dan metodologi terkait. Parameter penting yang diidentifikasi adalah kecepatan rotasi tool dan kecepatan pengelasan. Desain eksperimen kemudian dirancang dengan variasi parameter tersebut. Material AA6061-T651 disiapkan, dan proses pengelasan dilakukan menggunakan mesin CNC milling. Struktur makro hasil pengelasan dianalisis untuk mengamati perubahan akibat variasi parameter FSW. Evaluasi kekuatan sambungan dilakukan melalui uji foto makro, serta identifikasi cacat seperti porositas atau retak. Hasil analisis diinterpretasikan untuk menemukan hubungan antara parameter FSW dan kualitas pengelasan. Parameter FSW optimal ditentukan berdasarkan kombinasi yang memberikan hasil pengelasan terbaik. Kesimpulan disusun, dan saran diberikan untuk penelitian lebih lanjut atau aplikasi industri. Penelitian selesai dengan semua langkah terdokumentasi dan hasil diperoleh.

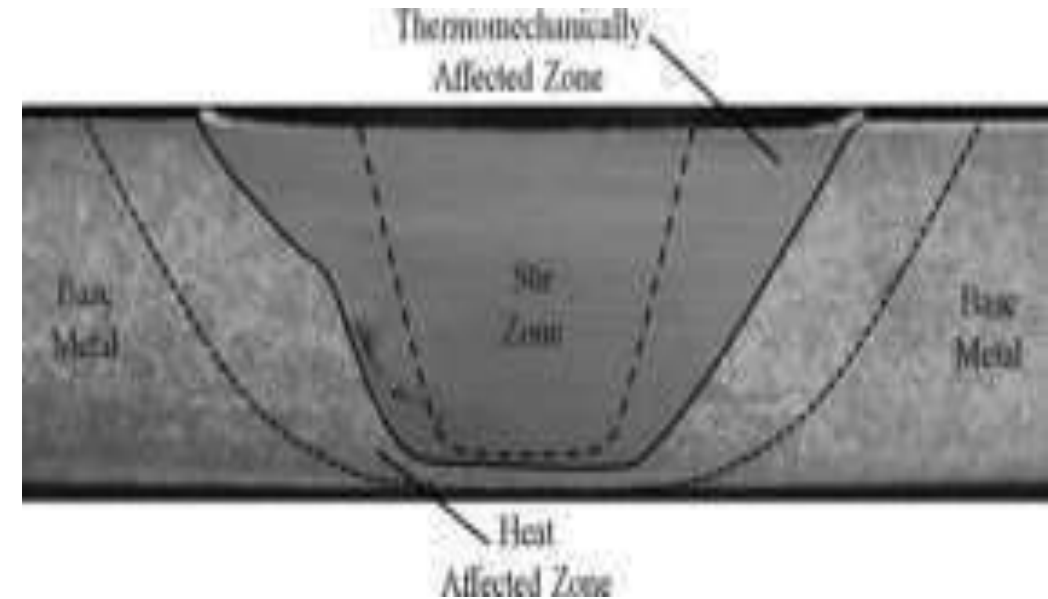
Metode



Metode

- Bagian-bagian zona pengelasan fsw sebagai berikut:

1. *Base Metal* (BM), adalah bagian dari bahan dasar dimana tidak terjadi deformasi plastis dan tidak mengalami siklus termal dari tool sehingga tidak terjadi perubahan struktur mikro dan sifat mekanik selama siklus FSW.
2. *Heat - Affected Zone* (HAZ), posisi ini merupakan bagian yang paling dekat dengan beban las, material pada segmen ini telah mengalami siklus hangat yang menyebabkan perubahan pada mikrostruktur dan sifat mekanik material dasar, namun demikian pada ruang ini tidak ada deformitas plastis karena pengelasan.
3. *Thermomechanically Affected Zone* (TMAZ), dalam posisi ini peralatan secara plastis membentuk material dan jelas panas yang dihasilkan selama interaksi pengelasan juga mempengaruhi material. Pada material aluminium panas ini dimungkinkan untuk membuat regangan plastis tanpa siklus rekristalisasi. Juga, biasanya ada batas yang tidak salah lagi yang mengenali wilayah rekristalisasi (bagian las) dan wilayah TMAZ yang terpelintir.



Metode

- Berikut variable parameter yang digunakan pada proses fws
- Parameter KRT 765, 1208, 1907, dan 3022 rpm
- Parameter SBC 2, 5, 8, dan 11°
- Parameter SKT 2, 2,5, 3, dan 3,5°
- Parameter KP 24, 43, 60, dan 90 mm/min

Variabel Terkait

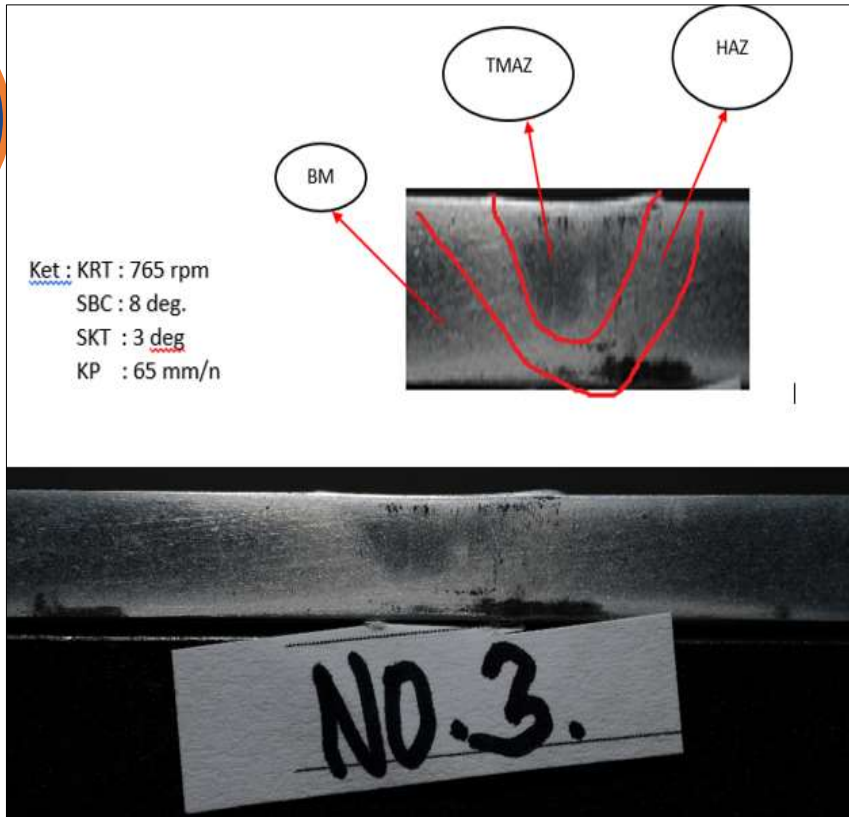
No	Kecepatan Rotasi Tool (rpm)	Sudut Bahu Cekung (deg.)	Sudut Kemiringan Tool (deg.)	Kecepatan Pengelasan (mm/min)
1	765	2	2	24
2	765	5	2,5	43
3	765	8	3	65
4	765	11	3,5	90
5	1208	2	2,5	65
6	1208	5	2	90
7	1208	8	3,5	24
8	1208	11	3	43
9	1907	2	3	90
10	1907	5	3,5	65
11	1907	8	2	43
12	1907	11	2,5	24
13	3022	2	3,5	43
14	3022	5	3	24
15	3022	8	2,5	90
16	3022	11	2	65

Hasil

- Proses analisis struktur makro hasil pengelasan dimulai dengan mengamati perubahan yang terjadi akibat variasi parameter FSW menggunakan teknik mikroskopi optik. Pengamatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi karakteristik makroskopik dari sambungan las, termasuk distribusi butir, homogenitas, dan adanya cacat seperti porositas atau retak. Dengan menggunakan mikroskopi optik, detail visual dari struktur butir dan batas butir dapat dianalisis secara mendalam, memungkinkan peneliti untuk memahami bagaimana setiap variasi parameter mempengaruhi integritas dan kualitas sambungan. Analisis ini merupakan langkah krusial untuk menentukan parameter optimal yang menghasilkan struktur makro terbaik pada material AA6061-T651, sehingga memastikan sambungan yang kuat dan bebas cacat. Analisis untuk masing-masing spesimen yang dipilih adalah sebagai berikut:

Hasil

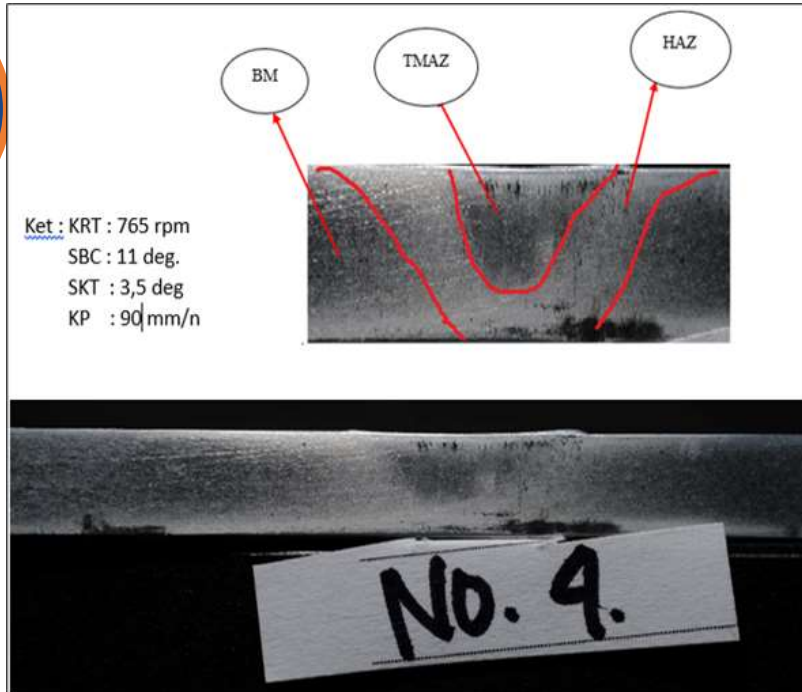
1



Hasil proses FSW material AA6061-T651 pada Gambar eksperimen nomor 3 dengan parameter kecepatan rotasi tool 765 rpm, sudut bahu cekung 8° , sudut kemiringan tool 3° , dan kecepatan pengelasan 65 mm/min, zona Thermo-Mechanically Affected Zone (TMAZ) dan Heat Affected Zone (HAZ) cenderung menyempit karena beberapa faktor. Kecepatan rotasi yang lebih rendah menghasilkan panas yang lebih sedikit, sehingga distribusi panas menjadi lebih terbatas. Sudut bahu cekung yang optimal membantu dalam konsentrasi panas dan material di sekitar pin tanpa menyebarkannya terlalu luas. Kemiringan tool sebesar 3° mempengaruhi aliran material dan distribusi panas secara efisien, dan kecepatan pengelasan yang lebih tinggi mengurangi waktu pemaparan material terhadap panas. Kombinasi parameter-parameter ini menghasilkan distribusi panas yang lebih terkendali dan aliran material yang optimal, sehingga zona TMAZ dan HAZ menjadi lebih sempit.

Hasil

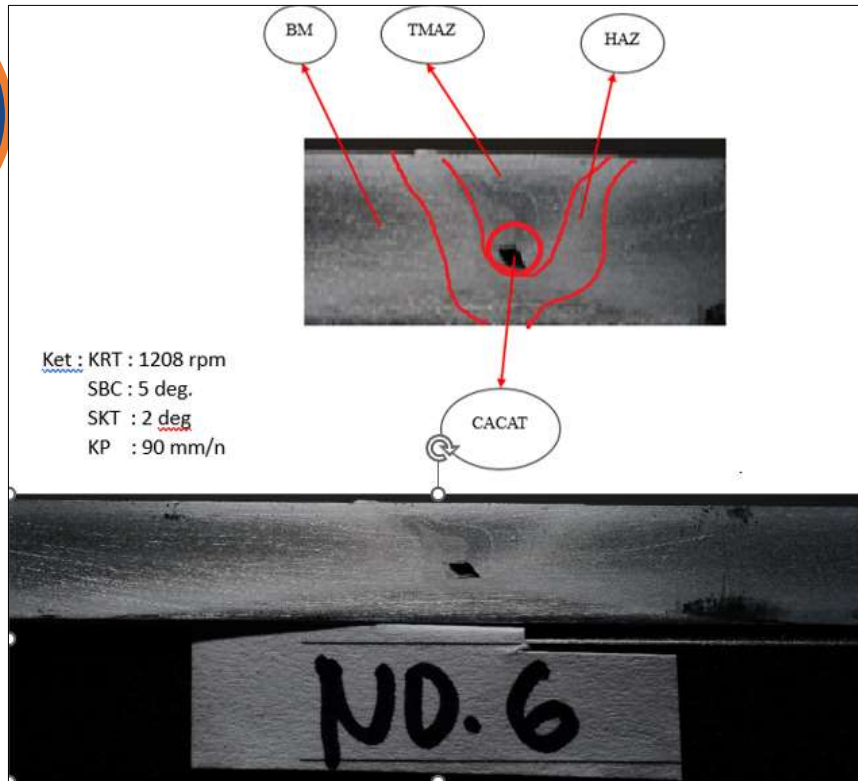
2



- Dalam proses pada Gambar eksperimen nomor 4 dengan parameter seperti kecepatan rotasi tool 765 rpm, sudut bahu cekung 11° , sudut kemiringan tool $3,5^\circ$, dan kecepatan pengelasan 90 mm/menit, terjadi fenomena di mana zona Thermo-Mechanically Affected Zone (TMAZ) cenderung menyempit sementara zona Heat Affected Zone (HAZ) sedikit melebar. Kecepatan rotasi yang moderat membantu dalam mengontrol distribusi panas di sekitar daerah pengelasan, menghasilkan TMAZ yang lebih terkonsentrasi. Sudut bahu cekung yang lebih besar meningkatkan interaksi tool dengan material, sehingga memperluas zona HAZ yang terpengaruh oleh panas. Sudut kemiringan tool yang sedang membantu dalam aliran material yang lebih baik, sementara kecepatan pengelasan yang tinggi menghasilkan waktu pemaparan panas yang lebih singkat, menyebabkan TMAZ lebih sempit tetapi HAZ lebih luas akibat distribusi panas yang lebih besar dalam waktu yang singkat. Kombinasi parameter ini penting untuk menentukan kualitas dan kekuatan sambungan dalam aplikasi FSW pada material AA6061-T651.

Hasil

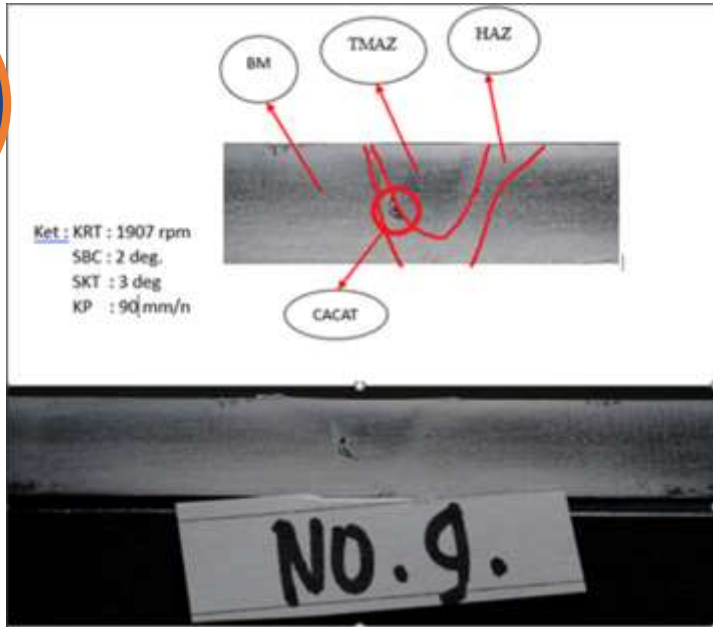
3



- Hasil proses FSW pada Gambar eksperimen nomor 6 dengan parameter kecepatan rotasi tool 1208 rpm, sudut bahu cekung 5° , sudut kemiringan tool 2° , dan kecepatan pengelasan 90 mm/menit, fenomena terjadi di mana zona Thermo-Mechanically Affected Zone (TMAZ) dan Heat Affected Zone (HAZ) menyempit, tetapi terdapat juga keberadaan cacat las. Kecepatan rotasi tool yang tinggi seperti 1208 rpm menghasilkan panas yang lebih besar di daerah pengelasan, memungkinkan untuk TMAZ dan HAZ yang lebih sempit karena distribusi panas yang efisien. Sudut bahu cekung yang rendah (5°) mengurangi interaksi tool dengan material, yang bisa mengurangi zona HAZ yang terpengaruh. Sudut kemiringan tool yang moderat (2°) membantu aliran material yang baik di sekitar pin. Namun, cacat las dapat terjadi karena kecepatan pengelasan yang tinggi (90 mm/menit) mungkin tidak memberikan waktu yang cukup untuk pengadukan material secara optimal atau pengendapan gas yang terperangkap selama proses. Cacat tersebut bisa berupa porositas atau retakan akibat kurangnya waktu untuk mengeluarkan gas selama solidifikasi logam cair.

Hasil

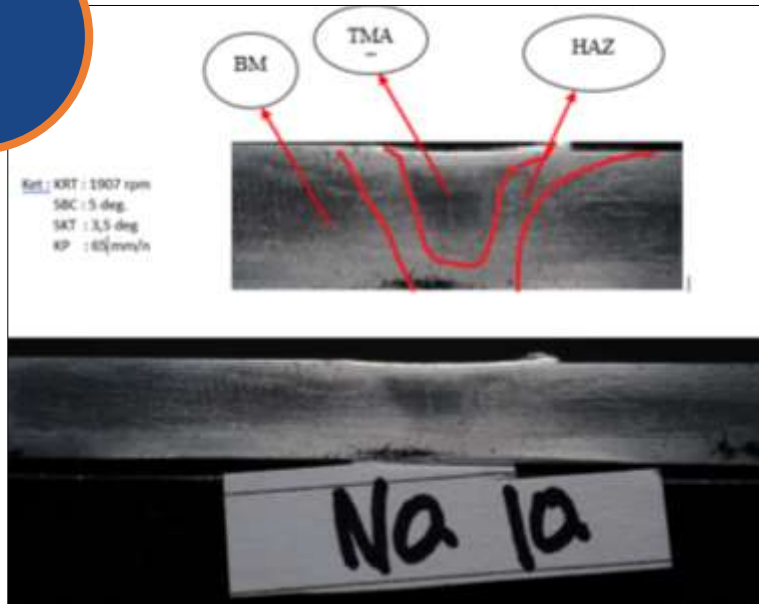
4



- Pada Gambar eksperimen nomor 9 dengan parameter kecepatan rotasi tool 1907 rpm, sudut bahu cekung 2° , sudut kemiringan tool 3° , dan kecepatan pengelasan 90 mm/menit, terjadi sejumlah fenomena yang mempengaruhi zona-zona terbentuk dan adanya cacat las. Kecepatan rotasi tool yang tinggi seperti 1907 rpm meningkatkan energi kinetik pada tool, yang berkontribusi pada peningkatan panas di zona pengelasan. Hal ini dapat menyebabkan zona Thermo-Mechanically Affected Zone (TMAZ) yang lebih sempit karena panas yang terlokalisasi dengan baik. Sudut bahu cekung yang rendah (2°) mengurangi distribusi panas yang terlalu luas, yang mungkin menghasilkan Heat Affected Zone (HAZ) yang sangat sempit. Sudut kemiringan tool yang moderat (3°) membantu dalam aliran material di sekitar pin, tetapi kecepatan pengelasan yang tinggi (90 mm/menit) mungkin menyebabkan cacat las seperti porositas atau retakan. Penggunaan kecepatan pengelasan yang tinggi dapat menghasilkan pendinginan material yang lebih cepat, meningkatkan kemungkinan terbentuknya cacat seperti porositas karena gas yang terperangkap atau tegangan yang tidak merata selama proses pengelasan.

Hasil

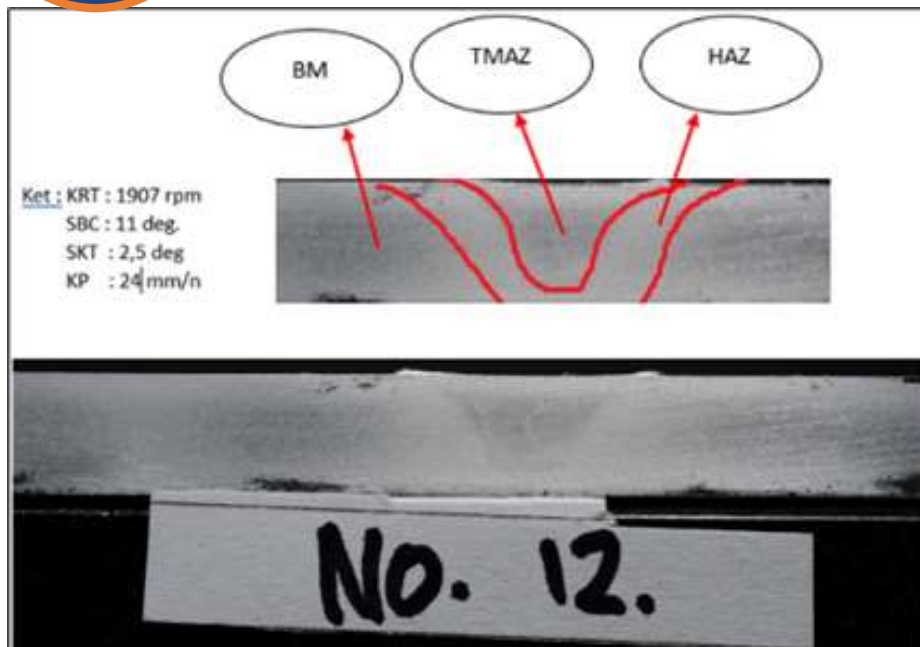
5



- Pada Gambar eksperimen nomor 10 dengan parameter kecepatan rotasi tool 1907 rpm, sudut bahu cekung 5° , sudut kemiringan tool $3,5^\circ$, dan kecepatan pengelasan 65 mm/menit, terjadi sejumlah perubahan dalam pembentukan zona-zona termal dan cacat las. Kecepatan rotasi tool yang tinggi seperti 1907 rpm menghasilkan energi kinetik yang cukup untuk menghasilkan panas yang lebih baik di sekitar zona pengelasan. Hal ini berkontribusi pada pembentukan Thermo-Mechanically Affected Zone (TMAZ) yang lebih sempit karena panas yang terlokalisasi dengan baik. Sudut bahu cekung yang sedang (5°) membantu dalam mengendalikan distribusi panas, yang dapat menghasilkan Heat Affected Zone (HAZ) bagian atas yang sangat menyempit. Sudut kemiringan tool yang moderat ($3,5^\circ$) mendukung aliran material yang baik di sekitar pin. Kecepatan pengelasan yang lebih rendah (65 mm/menit) memungkinkan waktu yang lebih optimal untuk pengadukan material tanpa terlalu cepat atau lambat, yang dapat mengurangi kemungkinan terbentuknya cacat las seperti porositas atau retakan. Kombinasi parameter ini menghasilkan hasil pengelasan yang lebih baik secara keseluruhan, dengan zona TMAZ dan HAZ yang diinginkan serta minimnya cacat las dibandingkan dengan parameter sebelumnya, menunjukkan bahwa pengaturan yang lebih tepat dari parameter FSW dapat menghasilkan sambungan yang lebih berkualitas.

Hasil

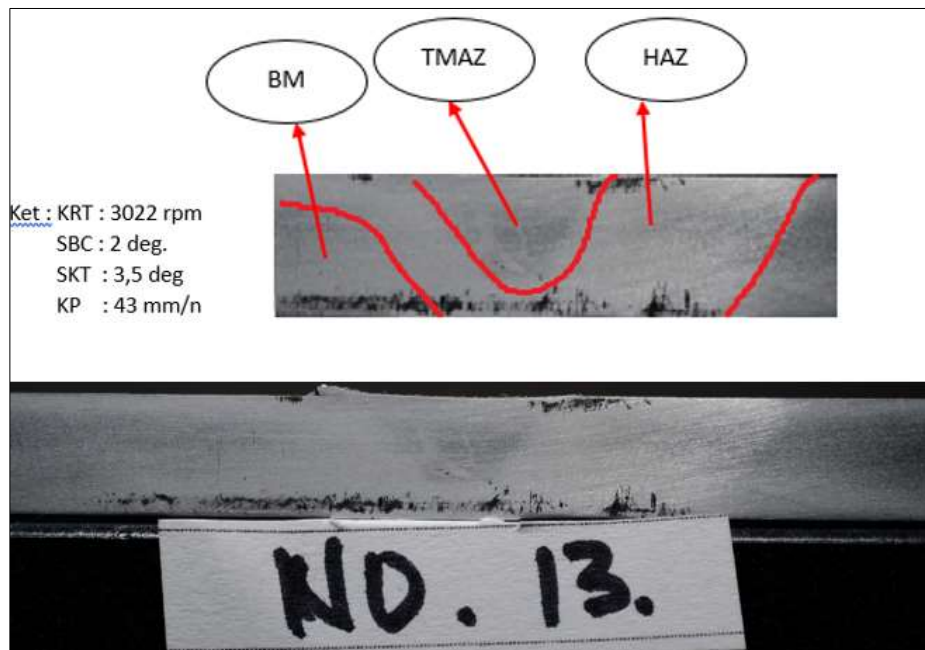
6



- Sedangkan pada Gambar eksperimen nomor 12 dengan parameter kecepatan rotasi tool 1907 rpm, sudut bahu cekung 11° , sudut kemiringan tool $2,5^\circ$, dan kecepatan pengelasan 24 mm/menit, terjadi perubahan yang dapat dijelaskan melalui pengaruh masing-masing parameter terhadap zona-zona termal dalam proses pengelasan. Kecepatan rotasi tool yang tinggi seperti 1907 rpm memberikan energi kinetik yang cukup untuk menghasilkan panas yang intens di daerah pengelasan. Hal ini menyebabkan zona Thermo-Mechanically Affected Zone (TMAZ) yang sedikit menyempit karena panas yang terlokalisasi dengan baik. Sudut bahu cekung yang besar (11°) dapat menghasilkan interaksi yang lebih intens antara tool dan material, yang mempengaruhi distribusi panas. Hal ini mungkin menyebabkan Heat Affected Zone (HAZ) bagian atas yang sedikit melebar karena pemaparan material yang lebih luas terhadap panas. Sudut kemiringan tool yang moderat ($2,5^\circ$) membantu dalam mengarahkan aliran material di sekitar pin. Kecepatan pengelasan yang rendah (24 mm/menit) memberikan lebih banyak waktu untuk pengadukan material, mengurangi potensi terbentuknya cacat las seperti porositas atau retakan. Kombinasi parameter ini mempengaruhi secara langsung karakteristik termal dan mekanis dari hasil pengelasan, dan penyesuaian yang tepat dari parameter FSW dapat menghasilkan sambungan dengan kualitas yang optimal sesuai dengan kebutuhan aplikasi.

Hasil

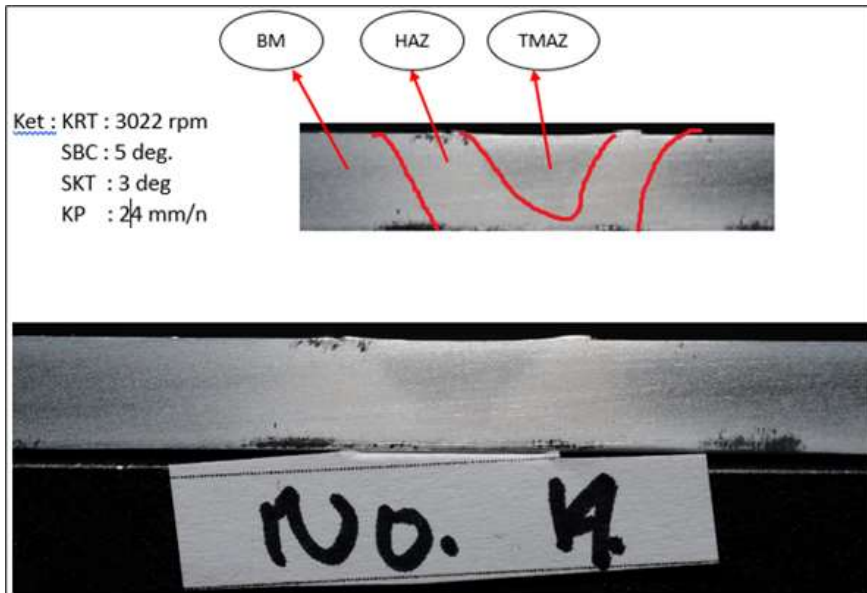
7



Pada Gambar eksperimen nomor 13 dengan parameter kecepatan rotasi tool 3022 rpm, sudut bahu cekung 2° , sudut kemiringan tool $3,5^\circ$, dan kecepatan pengelasan 43 mm/menit, terjadi fenomena di mana zona Thermo-Mechanically Affected Zone (TMAZ) dan Heat Affected Zone (HAZ) menyempit. Kecepatan rotasi tool yang tinggi seperti 3022 rpm memberikan energi kinetik yang besar pada tool, menghasilkan panas yang tinggi di sekitar zona pengelasan. Hal ini menyebabkan TMAZ yang menyempit karena panas yang terlokalisasi dengan baik di sekitar pin pengelasan. Sudut bahu cekung yang rendah (2°) membantu dalam mengontrol distribusi panas yang terlalu luas, yang dapat menghasilkan HAZ yang ikut menyempit. Sudut kemiringan tool yang moderat ($3,5^\circ$) mendukung aliran material yang baik di sekitar pin. Kecepatan pengelasan yang sedang (43 mm/menit) memberikan waktu yang memadai untuk proses pengadukan material tanpa terlalu cepat atau lambat, mengurangi kemungkinan terbentuknya cacat las seperti porositas atau retakan. Kombinasi parameter ini secara efektif menghasilkan hasil pengelasan dengan karakteristik TMAZ dan HAZ yang diinginkan, serta meminimalkan kemungkinan terjadinya cacat las, menjadikannya sebagai pilihan yang baik untuk aplikasi di mana kualitas sambungan sangat penting.

Hasil

8

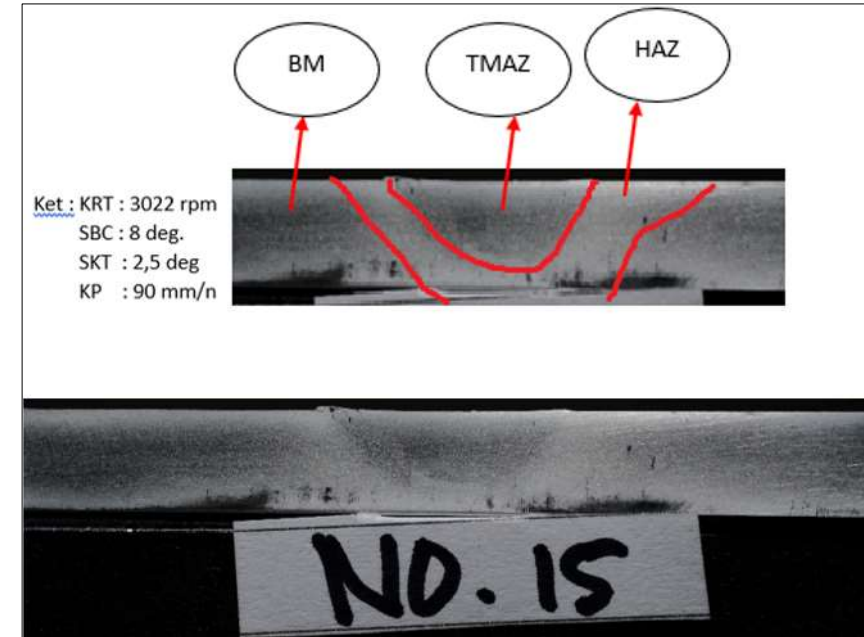


- Sedangkan pada Gambar eksperimen nomor 14 dengan parameter kecepatan rotasi tool 3022 rpm, sudut bahu cekung 5° , sudut kemiringan tool 3° , dan kecepatan pengelasan 24 mm/menit, terdapat perubahan yang dapat dijelaskan melalui pengaruh masing-masing parameter terhadap zona-zona termal dalam pengelasan. Kecepatan rotasi tool yang tinggi seperti 3022 rpm memberikan energi kinetik yang tinggi pada tool, menghasilkan panas yang intens di sekitar zona pengelasan. Hal ini dapat menyebabkan Thermo-Mechanically Affected Zone (TMAZ) yang sedikit menyempit karena panas yang terlokalisasi dengan baik di sekitar pin pengelasan. Namun, sudut bahu cekung yang lebih besar (5°) dapat memperluas interaksi antara tool dan material, yang meningkatkan zona Heat Affected Zone (HAZ) yang melebar di bagian atas pengelasan karena distribusi panas yang lebih luas. Sudut kemiringan tool yang moderat (3°) membantu dalam mengarahkan aliran material di sekitar pin, tetapi kecepatan pengelasan yang rendah (24 mm/menit) memberikan lebih banyak waktu untuk pengadukan material tanpa menghasilkan energi panas yang berlebihan. Kombinasi parameter ini menghasilkan karakteristik termal yang menciptakan TMAZ yang sempit dan HAZ yang melebar, yang dapat menjadi pertimbangan dalam memilih parameter untuk memenuhi persyaratan kekuatan dan integritas sambungan las sesuai dengan aplikasi yang diinginkan.

Hasil

9

- Pada Gambar eksperimen nomor 15 dengan parameter kecepatan rotasi tool 3022 rpm, sudut bahu cekung 8° , sudut kemiringan tool $2,5^\circ$, dan kecepatan pengelasan 90 mm/menit, terjadi fenomena di mana zona Thermo-Mechanically Affected Zone (TMAZ) dan Heat Affected Zone (HAZ) mengalami perluasan tanpa adanya cacat las. Kecepatan rotasi tool yang tinggi seperti 3022 rpm memberikan energi kinetik yang besar pada tool, menghasilkan panas yang tinggi di sekitar zona pengelasan. Hal ini dapat menyebabkan TMAZ dan HAZ yang melebar karena distribusi panas yang lebih luas di sekitar daerah pengelasan. Sudut bahu cekung yang cukup besar (8°) memperluas interaksi antara tool dan material, yang juga berkontribusi pada zona HAZ yang lebih luas. Sudut kemiringan tool yang moderat ($2,5^\circ$) membantu dalam mengarahkan aliran material di sekitar pin dengan baik. Kecepatan pengelasan yang moderat (90 mm/menit) memberikan waktu yang cukup untuk proses pengadukan material tanpa terlalu cepat atau lambat, sehingga tidak ada cacat las yang terbentuk. Kombinasi parameter ini secara keseluruhan menciptakan kondisi yang menghasilkan TMAZ dan HAZ yang melebar tanpa cacat las, yang mungkin sesuai dengan kebutuhan aplikasi yang memerlukan sambungan yang kuat dan integritas yang baik secara mekanis.



KESIMPULAN

- Berdasarkan hasil analisis struktur makro dari proses Friction Stir Welding (FSW) pada material AA6061-T651 dengan variasi parameter yang berbeda, dapat disimpulkan bahwa parameter seperti kecepatan rotasi tool, sudut bahu cekung, sudut kemiringan tool, dan kecepatan pengelasan mempengaruhi secara signifikan karakteristik sambungan las. Pada umumnya, kecepatan rotasi tool yang tinggi cenderung menghasilkan TMAZ yang lebih sempit dan HAZ yang lebih luas, karena energi kinetik yang tinggi pada tool menghasilkan panas yang intens di sekitar daerah pengelasan. Sudut bahu cekung dan sudut kemiringan tool juga berperan dalam mengontrol distribusi panas dan aliran material di sekitar pin pengelasan, yang secara langsung mempengaruhi ukuran dan karakter zona TMAZ serta HAZ. Kecepatan pengelasan yang tinggi cenderung mempercepat proses pengelasan, tetapi dapat meningkatkan risiko terbentuknya cacat las seperti porositas atau retakan, terutama saat kombinasi dengan kecepatan rotasi tool yang tinggi.
- Secara spesifik, parameter-parameter seperti kecepatan rotasi tool 3022 rpm dengan sudut bahu cekung 8° , sudut kemiringan tool $2,5^\circ$, dan kecepatan pengelasan 90 mm/menit menghasilkan TMAZ dan HAZ yang melebar tanpa adanya cacat las yang signifikan. Kondisi ini mungkin cocok untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan mekanis dan integritas sambungan yang tinggi. Di sisi lain, penggunaan kecepatan rotasi tool yang lebih rendah seperti 765 rpm dengan sudut bahu cekung 11° , sudut kemiringan tool $3,5^\circ$, dan kecepatan pengelasan 90 mm/menit menghasilkan TMAZ yang lebih sempit dan HAZ yang sedikit melebar. Meskipun demikian, perlu diperhatikan bahwa terdapat risiko terbentuknya cacat las tertentu akibat kombinasi parameter yang kurang optimal, seperti yang terlihat pada kasus dengan kecepatan rotasi tool 1208 rpm.
- Berdasarkan temuan ini, beberapa saran dapat diberikan untuk optimalisasi proses FSW pada material AA6061-T651. Pertama, pengaturan parameter seperti kecepatan rotasi tool dan kecepatan pengelasan harus dipilih dengan cermat untuk meminimalkan risiko terbentuknya cacat las, sambil mempertahankan karakteristik TMAZ dan HAZ yang diinginkan. Kedua, penggunaan sudut bahu cekung yang optimal dapat membantu dalam mengendalikan distribusi panas dan aliran material, sehingga mempengaruhi ukuran zona pengaruh termal dengan lebih efektif. Langkah-langkah ini penting untuk memastikan bahwa sambungan las yang dihasilkan memenuhi standar kekuatan dan kualitas yang dibutuhkan untuk aplikasi otomotif dan manufaktur yang kritis terhadap integritas struktural.

