

PENGARUH KECEPATAN *FEEDRATE* *FRICION* STIR WELDING (FSW) TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA ALUMINIUM PADUAN AA 2024-T3

Fajar Nugroho¹, Nurfi Ahmadi², Sarif Hidayat³

^{1,2,3}Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Kedirgantaraan, Institut Teknologi Dirgantara
Adisutjipto

Abstract

Friction stir welding (FSW) is a welding technology that is a solid state joining process tused to connect an aluminum material with low weldability. FSW process utilizes the rotation of the rubbing tools of two metal plates to join. Aluminum 2024 T3 with a thickness of 4 mm was joined using the FSW process with feedrate variations of 13mm/minute, 18mm/minute and 25 mm/minute, spindle rotation speed of 910 rpm and pin depth of 3 mm. The tests performed were tensile strength, hardness and microstructure on each variation.

The results showed that the highest tensile strength and strain occurred in the welding with a feedrate of 25 mm/minute for 221,51 MPa and 3,60. The lowest tensile strength and strain then occured during welding with a feedrate of 13 mm/minute for 198,63 MPa and 2,26. The highest hardness value in the nugget area was obtained in welding with a feedrate of 25 mm/minute for 137 VHN and the lowest hardness value was generated in welding with a feedrate of 13 mm/minute for 105 VHN. The results of microstructure photographs in the nugget zone and TMAZ (Thermomecanically Affected Zone)areas were changed according tothe feedrate.

Keywords: *Alumminum 2024-T3, FSW, feedrate, tensile strength, hardness, microstructural*

1. Pendahuluan

Paduan aluminium merupakan salah satu jenis logam digunakan secara luas karena berbagai keunggulan yang dimilikinya seperti ringan, mampu bentuk yang baik, sifat mampu las baik (*weldability*), kekuatan yang tinggi dan tahan korosi. Berbagai kelebihan tersebut menyebabkan aluminium dan paduannya banyak digunakan di berbagai bidang seperti industri transportasi, industri kimia, industi pengolahan pangan dan sebagainya.

Pengelasan merupakan salah metode penyambungan logam yang banyak dipakai pada konstruksi mesin dan struktur. Jenis pengelasan yang umum digunakan untuk aluminium dan paduannya adalah las *Tungsten Inert Gas* (TIG) dan las *Metal Inert Gas* (MIG). Salah satu pertimbangan pemakaian las TIG dan las MIG pada penyambungan paduan aluminium adalah kedalaman penetrasi dapat diatur, sehingga kualitas dan mutu las dapat meningkat baik untuk pelat tipis maupun pelat tebal. Namun demikian las TIG dan las MIG juga mempunyai kekurangan seperti porositas, terbentuknya lapisan oksida pada daerah cair, mudah terjadinya retak panas atau dingin dan bentuk manik las yang kurang sempurna.

Kekurangan pada las TIG dan las MIG tersebut menyebabkan munculnya berbagai inovasi teknik pengelasan logam. Salah satunya adalah pengembangan las *Friction Stir Welding* (FSW). FSW adalah teknik las padat dengan menggunakan bantuan *tools* (*Shoulder and Pin*) yang berputar dengan gerak maju (*Feeding*) tertentu sehingga logam mengalami pelunakan (lumer) pada kedua sisi benda yang dilas sehingga terjadi proses penyambungan. Pada las FSW memiliki kelebihan yang tidak dimiliki jenis las lainnya diantaranya adalah tidak menimbulkan asap, peralatan yang sederhana serta tidak memerlukan operator yang bersertifikat, dapat mengelas beberapa paduan aluminium yang sulit dilas (sifat mampu las rendah) dan dapat digunakan juga untuk menyambung dua jenis aluminium yang berbeda

(*dissimilar joint*). Namun demikian FSW juga memiliki kekurangan seperti terjadinya keropos atau lubang-lubang kecil di sepanjang garis las, akibat penentuan putaran dan gerak maju *tools* yang kurang tepat.

Penelitian tentang FSW pada berbagai paduan aluminium sudah banyak dilakukan dan dikembangkan. Perkembangan tersebut dapat dilihat dengan banyaknya penelitian-penelitian yang dilakukan, terutama dengan menggunakan material paduan aluminium dengan berbagai parameternya. Penelitian *Friction stir welding* (FSW) telah banyak dilakukan serta mengalami perkembangan yang cukup pesat. Perkembangan tersebut dapat dilihat dengan banyaknya penelitian-penelitian yang dilakukan, terutama dengan menggunakan material aluminium paduan.

Penelitian yang tentang perubahan nilai kekuatan tarik pada hasil pengelasan *friction stir welding* al 2024-t4 dengan menggunakan perlakuan *transient thermal*. Pada aluminium seri 2XXX merupakan paduan Al-Cu dengan sifat mekanis yang cukup tinggi, yaitu tegangan Tarik maksimum 470 MPa dan tegangan luluh 280 MPa. Salah satu perlakuan yang tepat dalam pengelasan FSW pada aluminium adalah memberikan pemanasan lokal didaerah sekitar las, dengan posisi pemanas berada didepan *tool* las atau perlakuan *transient thermal*. Kecepatan pengelasan FSW ditentukan adalah 121 mm/menit dan 1200 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan Tarik tertinggi *ultimate tensile strength (smax)* diperoleh dari spesimen dengan las FSW tanpa perlakuan panas adalah 297,28 MPa. Perlakuan *transient thermal* dengan posisi *heater* didepan alur las menyebabkan penurunan tekanan Tarik. Penurunan nilai tegangan Tarik maksimum terjadi sekitar 32,2%, sedangkan nilai tegangan luluh terjadi penurunan dari spesimen tanpa pemanasan dengan spesimen yang menggunakan pemanasan (*transient thermal*) yaitu sebesar 32,5%. Hasil pengujian Tarik juga menunjukkan bahwa terjadi pada getas dan lokasi patah berada pada daerah las[1].

Penelitian tentang pengelasan *friction stir welding* (FSW) pada AA-7075 dengan variasi *feedrate* 30 mm/menit, 40 mm/menit, dan 50 mm/menit. Dari pengelasan material aluminium 7075 didapatkan hasil pengelasan dengan *feedrate* 40 mm/menit mendapatkan hasil paling baik. Nilai kekerasan rata-rata 190,886 HVN, kekuatan tarik rata-rata 30,88 MPa. Lebih baik dibanding pengelasan dengan *feedrate* 30 mm/menit dan 50 mm/menit. Secara berturut nilai kekerasan rata-rata sebesar 177,678 HVN dan 190,546 HVN. Sedangkan kekuatan tarik rata-rata secara berturut adalah 6,99 MPa dan 17,80 MPa. Hasil struktur mikro menunjukkan *grain growth* pada bagian HAZ. Pada bagian *weld nugget* menunjukkan tampilan struktur mikro kecil dan rapat[2].

Penelitian tentang *friction stir welding* (FSW) pada aluminium Seri 6061 dan 2024. Benda kerja yang digunakan untuk penelitian berupa plat ketebalan 3 mm. Hasil dari penelitian tersebut adalah terjadi penurunan nilai kekerasan pada daerah logam las (*stirred welding*), terhadap material induknya. Nilai kekerasan *raw material* AA 6061 adalah ± 105 VHN dan AA 2024 adalah 316 VHN dan pada pusat las (*stirred welding*) yaitu ± 99 VHN. Diantara variable 50 mm/menit pada putaran 1500 rpm (109,4 kg/mm²). Struktur mikro pada area pengelasan dan material induk pada dasarnya tidak mengalami perubahan, tetapi pada bagian TMAZ butir mengalami *distorsi* sehingga nampak seperti *onion ring* [3].

Penelitian tentang analisa pengaruh perbedaan *feedrate* terhadap kekuatan tarik dan impak aluminium AA 6061 metode pengelasan *Friction stir welding*. Proses pengelasan menggunakan putaran 1500 rpm, dengan *feedrate* 30 mm/min, 70 mm/min, 100 mm/min, dan 200 mm/min. Pengujian yang dilakukan yaitu uji tarik dengan menggunakan standar ASTM E 8M -00b dan uji impak metode *charpy* dengan standar ASTM E23. Dari hasil penelitian ini menunjukan bahwa *feedrate* 70 mm/min menghasilkan nilai kuat tarik maksimal terbaik yaitu sebesar 150, 06 MPa, dan *feedrate* 30 mm/min menghasilkan nilai kuat impak terbaik sebesar 0,21 J/mm² [4].

Penelitian tentang pengaruh *feedrate* terhadap struktur mikro, kekerasan dan kekuatan bending pada pengelasan *Friction stir welding* aluminium 5052. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa struktur mikro, profil kekerasan dan kekuatan *bending* hasil pengelasan aluminium seri 5052 dengan metode *friction stir welding*. Material spesimen terbuat dari plat aluminium 5052 dengan ukuran 110 mm x 85 mm dan tebal 5 mm disambung dengan pengelasan *friction stir welding* pada kecepatan spindel 3600 rpm dengan variasi *feedrate* 2 cm/menit, 6 cm/menit, 12 cm/menit dan 18 cm/menit. Hasil pengelasan akan diuji dengan pengujian struktur mikro, kekerasan dan kekuatan *bending* pada sisi permukaan dan akar lasan. Pengujian struktur mikro dilakukan pada daerah logam induk, HAZ dan *stir zone*. Pengujian kekerasan menggunakan metode makro *Vickers*. Pengujian *bending* menggunakan metode *three point bending* pada permukaan dan akar lasan dengan standar ASTM E190. Hasil pengujian menunjukkan bahwa struktur mikro pada daerah HAZ terlihat butiran kristal lebih kecil dan panjang serta arahnya yang melingkar daripada logam induk. Pada daerah lasan terlihat butiran kristal membesar dan jarak antar kristal renggang. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan nilai kekerasan tertinggi terdapat pada *feedrate* 12 cm/menit sebesar 65,9 VHN dan nilai kekerasan terendah terdapat pada *feedrate* 2 cm/menit sebesar 61 VHN. Pengujian *bending* menunjukkan nilai kekuatan lentur tertinggi terdapat pada akar lasan *feedrate* 2 cm/menit sebesar 729,06 MPa. Sedangkan nilai kekuatan lentur terendah terdapat pada akar lasan *feedrate* 18 cm/menit sebesar 135,35 MPa. Hasil uji struktur makro dan mikro menunjukkan adanya cacat *wormhole* pada semua hasil pengelasan.

2. Metode Penelitian

Spesimen yang telah dibagi menjadi 6 bagian kemudian tiap – tiap dua bagian disambung dengan metode FSW menggunakan variasi *feedrate* 13 mm/menit, 15 mm/menit, dan 25 mm/menit, pada putaran *spindle* 910 rpm. Plat AA 2024-T3 yang digunakan memiliki ketebalan 4 mm.

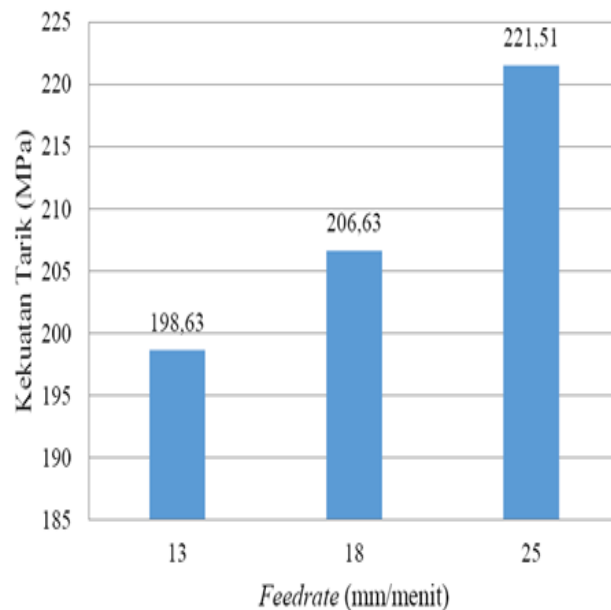
Pengujian sifat mekanis yang dilakukan pada pengelasan FSW pada aluminium AA 2024-T3 ini meliputi pengujian kekuatan tarik dan pengujian kekerasan pada sambungan las. Spesimen plat AA 2024-T3 dilas tegak lurus dengan arah pengerolan plat sehingga pengujian tarik ini dilakukan searah dengan arah pengerolan plat aluminium AA 2024-T3. Pengujian kekerasan dilakukan dengan *microvickers* untuk mengetahui nilai kekerasan di bagian logam induk, *thermomechanically affected zone* (TMAZ) *heat affected zone* (HAZ) dan *weld nugget* yang dihasilkan oleh proses FSW dengan variasi kecepatan putaran *spindle*. Peralatan yang digunakan untuk uji kekerasan Buehler Microhardness Tester dengan metode Vickers.

Kemudian untuk pengujian karakterisasi mikrostruktur dari aluminium AA 2024-T3 akan dilihat dengan melakukan foto struktur mikro pada daerah logam induk, TMAZ, HAZ dan *weld nugget*. Untuk mengetahui bentuk struktur mikro dan makro spesimen, yaitu dengan mengambil foto mikro pada daerah logam induk, TMAZ, HAZ dan *weld nugget* permukaan spesimen untuk dipoles dan dietsa dengan larutan *Hydrofluoric Acid* (HF). Pengamatan struktur mikro dan makro menggunakan mikroskop optik menggunakan pembesaran tertentu pada lensa obyektif mikroskop sampai mendapatkan hasil yang optimal

3. Hasil dan Pembahasan

a. Hasil Uji Tarik

Pengujian tarik pada material AA 2024-T3 yang disambung menggunakan metode pengelasan FSW (*Friction Stir Welding*) dengan ketebalan 4mm. Pengujian dilakukan pada hasil penyambungan dengan variasi *feedrate* 13 mm/menit, 15 mm/menit, dan 25 mm/menit, pada putaran *spindle* 910 rpm serta menggunakan standar uji tarik ASTM E8.



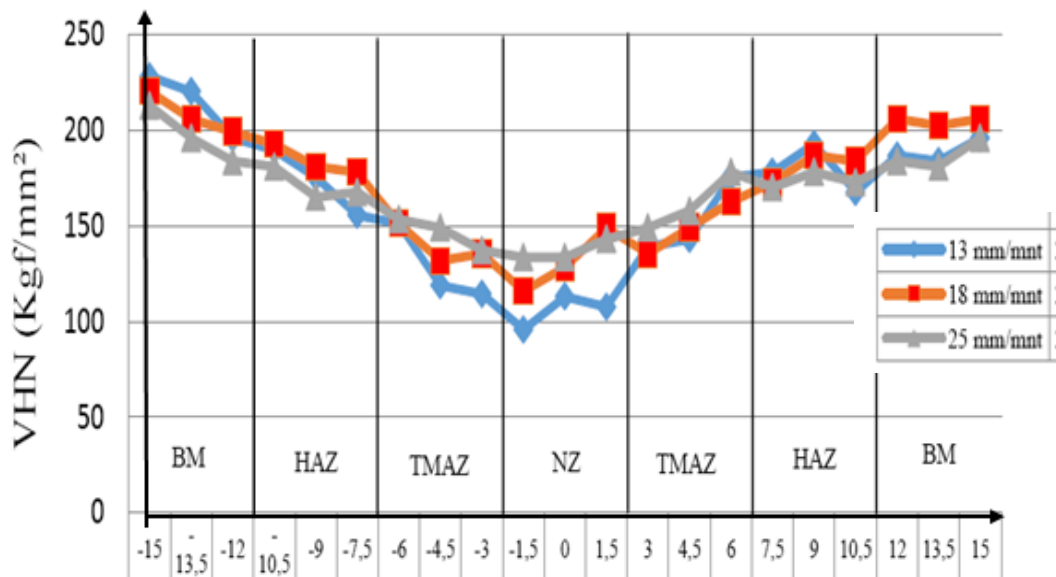
Gambar 1. Grafik Kekuatan tarik

Dari grafik kekuatan tarik pada Gambar 1 terlihat bahwa kekuatan tarik tertinggi terdapat pada proses pengelasan menggunakan *feedrate* 25 mm/menit, kemudian berturut turut yaitu *feedrate* 18 mm/menit, *feedrate* 13 mm/menit. Hal ini disebabkan pengelasan dengan variasi *feedrate* 25 mm/menit cenderung memiliki butiran-butiran yang halus dan tidak ada cacat dislokasi yang parah dibandingkan dengan variasi *feedrate* yang lain.

Kekuatan tarik terendah terdapat pada variasi *feedrate* 13 mm/menit, hal ini disebabkan input panas terlalu tinggi. Input panas yang tinggi ini akan mengakibatkan pendinginannya lebih lambat sehingga butiran-butirannya lebih besar yang pada akhirnya menyebabkan penurunan kekuatan pada hasil lasan, sehingga dapat di simpulkan pada penelitian kali ini nilai regangan berbanding lurus dengan kekuatan tarik dikarenakan *feedrate* mempengaruhi kualitas las. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya dengan variasi *feedrate* 7,3 mm/menit, 13 mm/menit, dan 24 mm/menit [6].

b. Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan di sepanjang garis pengelasan dengan jarak antar titik $\pm 1,5$ mm sebanyak 21 titik pengujian. Standar yang digunakan dalam pengujian kekerasan ini adalah ASTM E384-69. Tujuan dari pengujian kekerasan ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pengelasan terhadap nilai kekerasan di daerah *weld nugget*, TMAZ, HAZ, dan *base metal*. Pengujian kekerasan ini dilakukan pada tiap spesimen hasil pengelasan dengan variasi *feedrate*. Pada Gambar 2 menunjukkan grafik perbandingan kekerasan pada setiap variasi pengelasan.



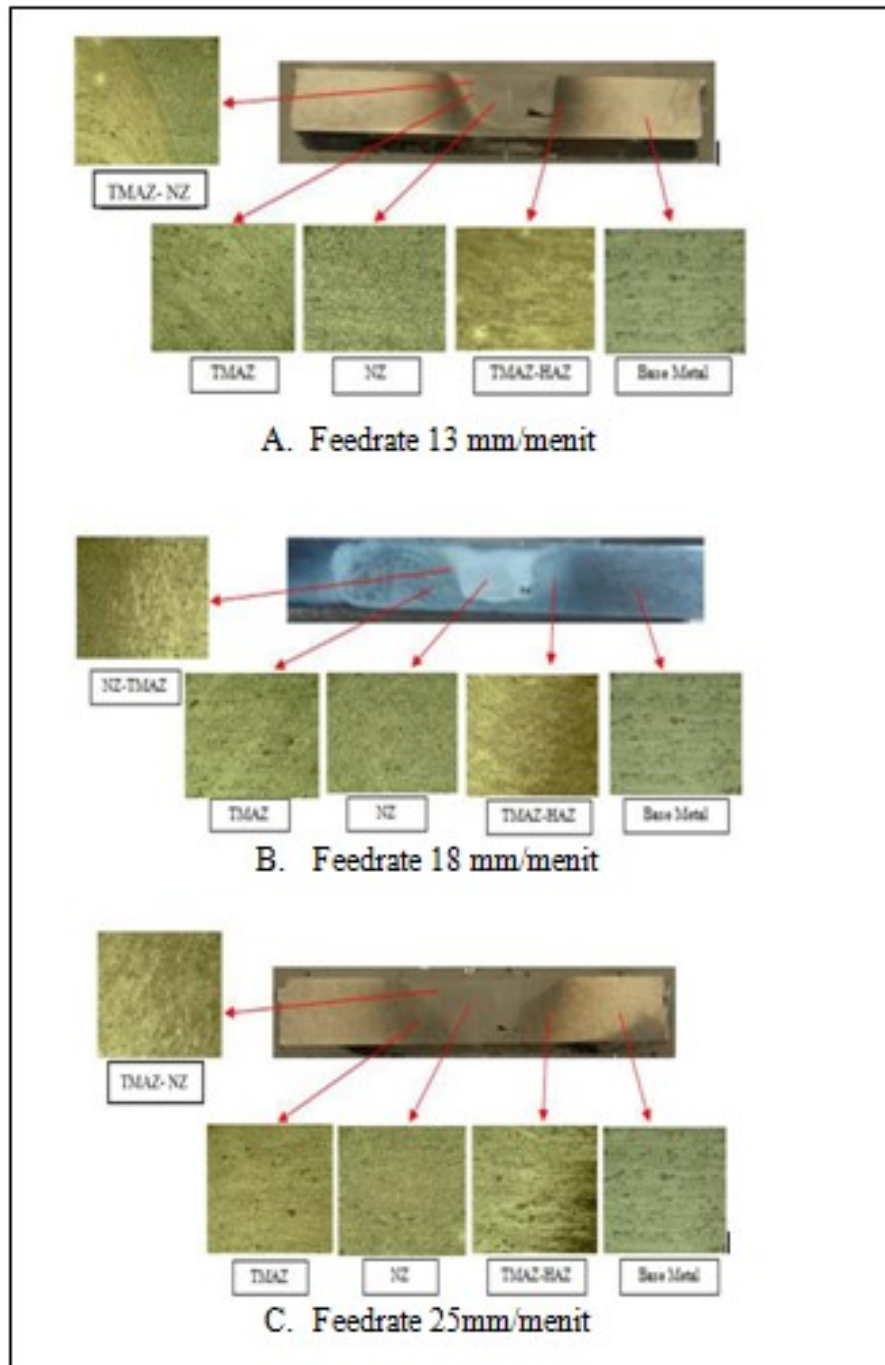
Gambar 2. Grafik nilai kekerasan

Dari Gambar 2 dapat diketahui bahwa di daerah HAZ, TMAZ dan *Nugget* terjadi penurunan kekerasan yang signifikan dibandingkan material induk logam las. Hal ini disebabkan pada pengelasan ini tidak dimasukkannya logam baru (*electrode*) maupun *filler* pada saat pengelasan, dan juga dipengaruhi oleh *raw material* AA 2024-T3 merupakan material yang telah diperlakukan tempering atau *heat treatment* dan *natural aging* untuk meningkatkan nilai kekerasan yang kemudian dipengaruhi panas dari proses pengelasan yang menyebabkan nilai kekerasannya yang tidak stabil.

Harga kekerasan paling tinggi terjadi pada pengelasan FSW dengan *feedrate* 25 mm/menit sedangkan kekerasan paling rendah terjadi pada pengelasan FSW dengan *feedrate* 13 mm/menit. Hal ini terjadi karena pada pengelasan dengan *feedrate* 25 mm/menit menghasilkan butiran-butiran yang lebih halus. Butiran yang lebih halus strukturnya lebih rapat sehingga ikatan antar atomnya lebih kuat.

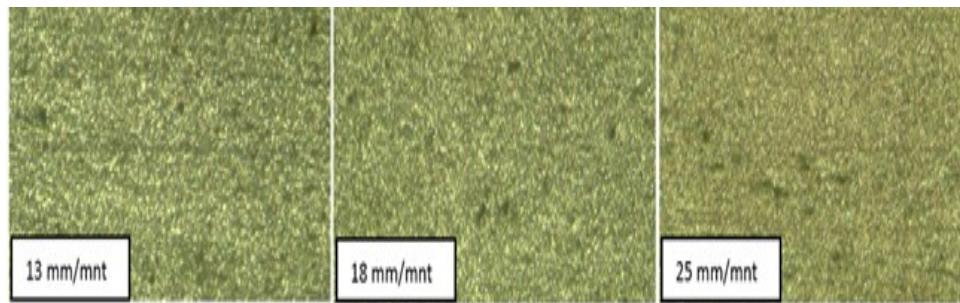
c. Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan pada masing-masing variasi pengelasan FSW yaitu pada *feedrate* 13 mm/menit, 18 mm/menit, dan 25 mm/menit, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi akibat adanya proses pengelasan dengan metode FSW, yaitu di daerah *Nugget*, TMAZ, HAZ, dan base metal. Pada pengelasan FSW paduan Aluminium AA 2024-T3 hanya terjadi penghalusan partikel-partikel pada daerah *nugget* dan tidak terjadi perubahan fase karena pada pengelasan ini tidak menggunakan logam pengisi.



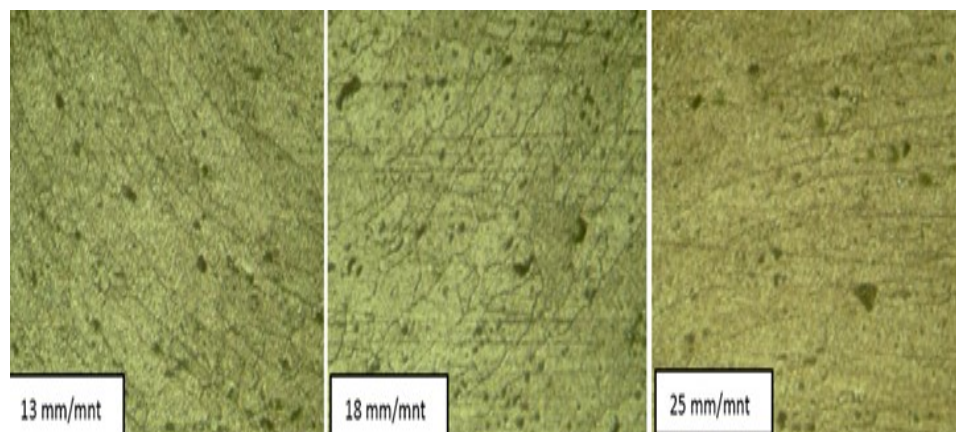
Gambar 3. Struktur mikro FSW dengan berbagai variasi *feedrate*

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa pada area *nugget zone* memiliki struktur mikro yang cenderung berbentuk butiran-butiran kecil yang sangat berbeda dengan area *base metal* yang memiliki struktur mikro pipih memanjang. Hal ini disebabkan di area *nugget zone* terjadi pengadukan partikel oleh *probe* serta adanya panas yang dihasilkan sehingga terbentuklah struktur butiran kecil, kemudian jika diamati dari ketiga variasi di atas semakin besar *feedrate* butiran yang dihasilkan semakin halus, menurut Sumarji (2011).



Gambar 4. Struktur mikro FSW 18 mm/menit

Struktur butir juga memiliki batas-batas butir dan batas butir merupakan rintangan bagi pergerakan dislokasi. Butir semakin halus cenderung akan semakin memperbanyak batas butir. Batas butir yang banyak akan mengakibatkan gerakan dislokasi semakin sulit yang nantinya juga akan meningkatkan sifat mekanik material tersebut, oleh sebab itu pada *feedrate* 13 mm/menit butir yang terbentuk tidak halus sehingga menyebabkan dislokasi di area *nugget zone* dan TMAZ yang membuat kekuatan tariknya lemah



Gambar 5. TMAZ

Pada Gambar 5 terlihat bahwa area TMAZ adalah area yang paling terpengaruh oleh putaran *probe* selain area *nugget zone*, pada area ini terjadi deformasi akibat putaran *probe* dan panas yang dihasilkan dari proses pengelasan sehingga bentuk struktur sangat tergantung oleh putaran dan suhu pengelasan, pada pengelasan dengan variasi *feedrate* 13 mm/menit memiliki struktur mikro yang disebut cacat dislokasi akibat putaran *probe*, semakin rendah *feedrate* maka suhu yang dihasilkan juga meningkat, struktur beralur melengkung berlawanan dengan area HAZ dan base metal. Sedangkan bentuk struktur mikro terbaik terdapat pada variasi *feedrate* 25 mm/menit yaitu memiliki alur horizontal seara dengan alur HAZ dan base metal, hal ini membuktikan bahwa bentuk dan alur struktur mikro di pengaruhi oleh suhu.

4. Kesimpulan

1) *Feedrate* pada FSW berpengaruh terhadap kekuatan tarik dimana untuk kecepatan *feedrate* 13mm/menit dihasilkan kekuatan tarik 198,63 MPa, untuk *feedrate* 18 mm/menit dihasilkan kekuatan tarik 206,63 MPa dan untuk *feedrate* 25 mm/menit dihasilkan kekuatan tarik 221,51 Mpa; 2) *Feedrate* pada FSW berpengaruh terhadap nilai kekerasan di daerah lasan untuk 13mm/menit dihasilkan kekerasan sebesar 105 VHN, *feedrate* 18 mm/menit dihasilkan kekerasan 128VHN dan *feedrate* 25 mm/menit dihasilkan kekerasan 137 VHN; 3) *Feedrate* pada FSW berpengaruh terhadap ukuran dan bentuk butiran.

5. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami ucapkan kepada LP2M Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto yang telah mendanai penelitian ini melalui skema dana penelitian internal, juga pada mahasiswa Prodi Teknik Mesin serta semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pujono, (2014). *“Perubahan Nilai Kekuatan Tarik Pada Hasil Pengelasan Friction Stir Welding Alumunium 2024-T4 yang Menunggukanan Perlakuan Transient Termal”*, Jurnal Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang
- [2] Waratama, (2018). *“Studi Pengelasan Friction Stir Welding (FSW) pada AA 7075 dengan Fe Menggunakan Variasi Feedrate 30mm/menit, 40mm/menit dan 50 mm/menit”*, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta,.
- [3] Wijayanto, (2014), *“Friction Stir Welding/FSW Pada Paduan Aluminium Seri 6061 dan 2024”*, Jurnal Jurusan Teknik Mesin, IST Akprind Yogyakarta
- [4] Nurhafid dan Jokosisworo, (2017). *“Analisa Pengaruh Perbedaan Feedrate Terhadap Kekuatan tarik dan Impak Aluminium 6061 MetodePengelasan Friction Stir Welding”*, Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [5] Wicaksono, (2017), *“Pengaruh Feedrate Terhadap Struktur mikro, kekerasan dan Kekuatan Bending Pada Pengelasan Friction Stir Welding Aluminium 5052”*, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [6] Indra, Darsin dan Sumarji, (____), *“Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Aluminium AA 1100 Hasil Pengelasan Friction Stir Welding dengan Variasi Feedrate”*, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Jember.