

PENGARUH PUTARAN *TOOL* TERHADAP SIFAT-SIFAT MEKANIS SAMBUNGAN PADA ALUMINIUM 5051 DENGAN METODE *FRICTION STIR WELDING*

Aji Merdiyanto

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jalan Lingkar Selatan Taman Tirta, Kasihan Bantul, DI yogyakarta, Indonesia, 55183
ajimerd@gmail.com

ABSTRAK

Friction stir welding (FSW) adalah proses pengelasan yang memanfaatkan putaran dari *tool* yang bergesek terhadap dua buah lempengan logam yang akan disambung. Aluminium paduan jenis Al-Mg (seri 5051), jenis paduan aluminium magnesium ini termasuk jenis yang tidak dapat diperlaku-panaskan, tetapi mempunyai sifat yang baik dalam daya tahan korosi, terutama korosi oleh air laut, dan dalam sifat mampu lasnya. Paduan Al-Mg banyak digunakan tidak hanya dalam konstruksi umum, tetapi juga untuk tangki-tangki penyimpanan gas alam cair, dan oksigen cair, peralatan rumah tangga, struktur rangka kendaraan dan kapal laut. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh perbedaan putaran *tool* terhadap sifat mekanis pada FSW Aluminium 5051.

Plat aluminium 5051 dengan ketebalan 5 mm dipotong dengan ukuran lebar 100 mm, panjang 75 mm sebanyak 6 buah. Spesimen tersebut kemudian disambung dengan metode FSW menggunakan mesin modifikasi milling sebagai alat pemutar *tool* dan alat pencekam statik sebagai pencekam aluminiumnya. Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah kecepatan pengelasan putaran *tool* yang bervariasi dari 1300, 2200, dan 3300 rpm dengan *feed rate* 20 mm/menit. pengujian kekerasan dengan metode *Mikrovicker*, struktur mikro dan makro di Universitas Gajah Mada dengan menggunakan Mikroskop Optik, dan kekuatan tarik di uji dengan *Ultimate Tensile Machine* di Universitas Negeri Solo.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan tarik tertinggi ke terendah terjadi pada putaran *tool* 2200 rpm kemudian 3300 rpm sebesar 90,13 MPa dan 72,33 MPa. Pada penelitian ini kekuatan tarik mencapai 74 % dari kekuatan *raw material* sebesar 120,3 MPa. Regangan tertinggi ke terendah terjadi pada putaran *tool* 2200 rpm kemudian 3300 rpm sebesar 7,76 % dan 4,56 %. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada pada putaran *tool* 1300 rpm dengan nilai kekerasan 31,9 VHN dan nilai kekerasan terendah terdapat pada pada putaran *tool* 3300 rpm dengan nilai kekerasan 28,4 VHN. Hasil foto struktur makro menunjukkan cacat *wormholes* pada setiap variasi putaran *tool*. Cacat *wormholes* yang terbentuk berupa lubang kecil yang terjadi pada daerah las.

Keyword: Aluminium 5051, FSW, Putaran Tool

1. Latar Belakang

Aluminium merupakan salah satu logam yang banyak digunakan di bidang teknik, sebagai contoh struktur pesawat terbang, kapal, otomotif. proses penyambungan aluminium paduan umumnya menggunakan, *tungsten inert gas* (TIG), las *metal inert gas* (MIG) serta *friction stir welding* (FSW). Namun dari pengelasan TIG dan MIG masih terdapat beberapa kekurangan seperti terjadi retak panas pada hasil las, memerlukan logam pengisi (*filler*) dan adanya reaksi gas yang kurang ramah lingkungan. Untuk memecahkan permasalahan

tersebut, metode las FSW dapat menjadi salah satu solusi. Keunggulannya adalah kekuatan tarik, ketangguhan dan ketahanan dari sambungan las FSW lebih mudah ditingkatkan dari pada pengelasan dengan metode MIG Kulekci M, K., dkk, (2009).

Aluminium dengan seri 5xxx dengan unsur paduan utamanya magnesium, jenis paduan aluminium magnesium ini termasuk jenis yang tidak dapat diperlaku-panaskan, tetapi mempunyai sifat yang baik dalam daya tahan korosi dan mampu las yang baik. oleh karena itu paduan

aluminium-magnesium banyak digunakan tidak dalam konstruksi umum, tetapi juga untuk bagian-bagian kapal, pesawat terbang, mobil, dan tangki-tangki penyimpanan gas alam cair Rasyid, I.N., (2014)..

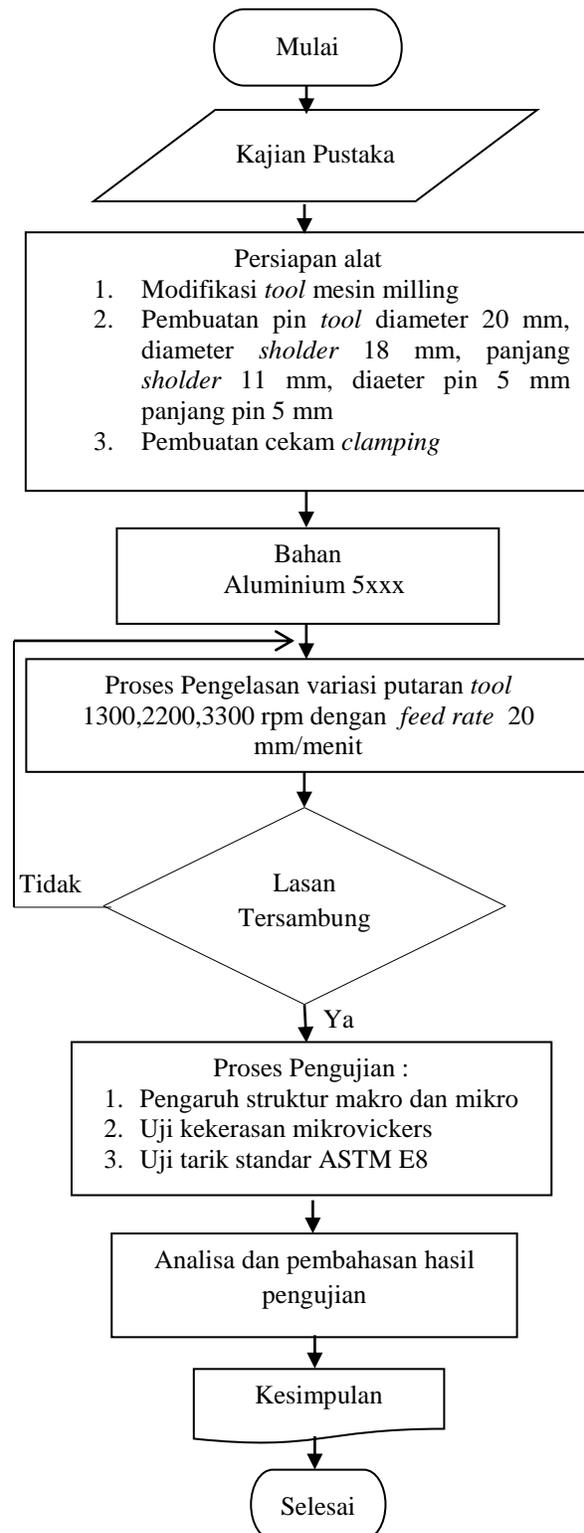
Pada penelitian sebelumnya Erwanto, R., (2015), menggunakan AL 5052 dengan standar ASM aluminium 5052-H34 tahun 2015 memiliki propertis *Hardness Vickers* sebesar 78 VHN. Kemudian dilakukan pengelasan dengan variasi kecepatan putar *tool* 950, 1500, 2500 dan 3600 rpm. Dimana hasil uji kekerasan dan uji tarik yang paling tertinggi pada kecepatan putar *tool* 3600 rpm 207 MPa dan 69,6 VHN, sedangkan yang hasil uji mekanik yang terendah pada putaran *tool* 1500 rpm yaitu 112 MPa dan 56,5 VHN.

Pada penelitian sebelumnya Rasyid, I.N., (2015), menggunakan material ASM AA6061 T6 base metal 107 VHN dan ASM AA 5083 base metal 95 VHN, dengan variasi putaran *tool* 900, 1500, dan 2280 rpm, hasil nilai kekerasan paling tinggi dihasilkan oleh pengelasan 2280 rpm dengan nilai kekerasan daerah las sebesar 81,14 VHN, sedangkan untuk kekuatan tarik paling tinggi dihasilkan oleh pengelasan 1500 rpm yang relatif sama dengan 2280 rpm dengan kekuatan tarik sekitar 211,3 MPa.

Dari hasil beberapa penelitian di atas dapat disimpulkan bahwa semakin besar putaran *tool* maka akan menghasilkan nilai kekerasan semakin tinggi. Erwanto, R., (2015), Pada kecepatan putar *tool* 3600 rpm pada AL5052 nilai kekerasan daerah las 69,6 VHN. Rasyid, I.N (2015), AA6061 T6 dan ASM AA 5083 dengan putaran *tool* 2280 rpm nilai kekerasan 81,14 VHN. Kecepatan putaran *tool* dalam proses FSW akan menentukan kualitas lasan, karena berpengaruh terhadap besarnya masukan panas saat proses pengelasan dan dapat memberikan perubahan terhadap sifat-sifat mekanik dan mikrostruktur daerah sambungan. Dengan begitu pentingnya faktor besaran putaran *tool* terhadap proses pengelasan, maka pada penelitian ini dilakukan proses FSW pada sambungan sejenis aluminium paduan seri 5xxx, dengan besaran putaran *tool* sebagai variabel yang akan berperan penting.

2. Metode Penelitian

2.1. Diagram Alir penelitian



Gambar 1 Diagram Alir Percobaan FSW Pada Plat Aluminium

2.2. Prosedur penelitian

Bahan yang digunakan untuk pengelasan FSW adalah aluminium 5051 yang memiliki kekuatan mekanik logam aluminium 5051 dari ASM yang tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1 Sifat mekanik aluminium 5051 (ASM aluminium 5051A-H112 tahun 2016)

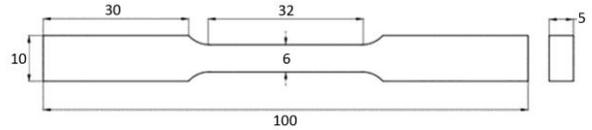
Uji	Satuan
Massa jenis	2.7 g/cm ³ (170 lb/ft ³)
Modulus elastisitas	71 Gpa (10 x 10 ⁶ psi)
Perpanjangan putus	18 - 21%
Kapasitas panas	900 j/kg-k
Kekuatan rasio berat	63 KN-m/kg
Kekuatan tarik	170 MPa (25000 Psi)
Tegangan luluh	58 Mpa (8400 psi)
Ekspansi termal	22 µm/m-K

Proses FSW yang dilakukan dengan menggunakan mesin milling dengan variasi kecepatan putar tool 1300, 2200, dan 3300 rpm, dengan *feed rate* 20 mm/menit. Tool yang digunakan adalah besi pejal seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Desain tool

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk melihat zona-zona yang terbentuk dan batasan zona akibat pengelasan FSW dan karakteristik metalurgi dengan menggunakan mikroskop optic. Zona tersebut ialah logam induk, HAZ, TMAZ, dan NZ. Pengamatan juga dilakukan terhadap sifat mekanik hasil lasan meliputi kekerasan dan kekuatan tarik. Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *Vicker* di zona lasan dengan 11 titik dan bentuk spesimen uji tarik yang digunakan mengikuti standart ASTM E8, seperti pada gambar 3.

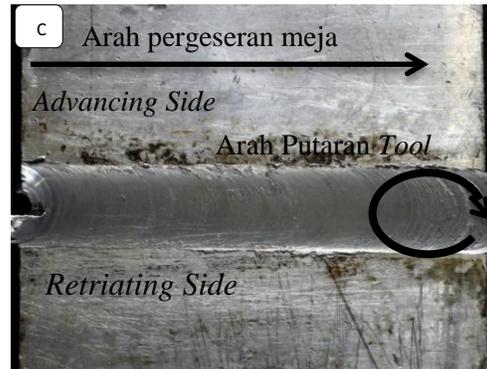
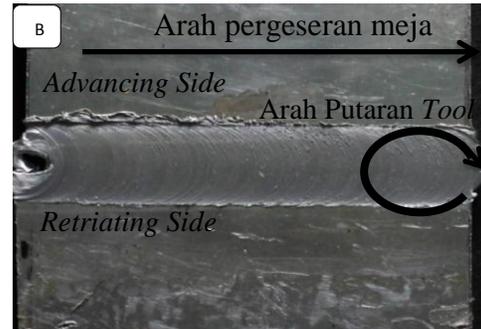
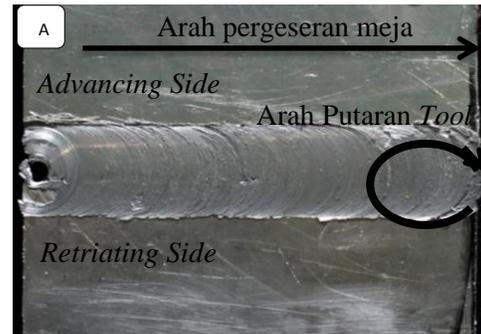


Gambar 3 Spesimen uji tarik berdasarkan ASTM E8

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisa visual permukaan lasan

Profil permukaan atas dan bawah yang dihasilkan dari proses pengelasan dengan variasi putaran *tool* ditunjukkan pada Gambar 4. pada permukaan lasan masih terlihat adanya *ripples*. Akhir lasan terdapat lubang pin dari *tool* yang digunakan, ini merupakan kekurangan pengelasan FSW.

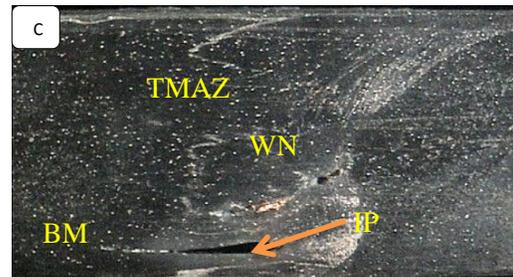
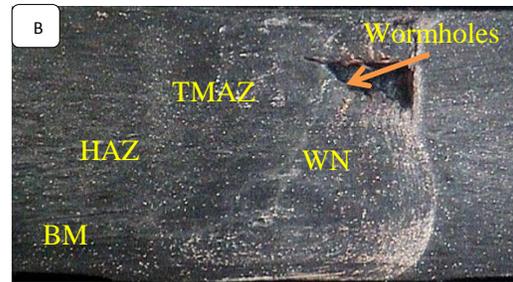




Gambar 4 hasil pengelasan dengan metode FSW variasi kecepatan putar *tool* dengan *feed rate* 20 mm/menit (a) 1300 rpm, (b) 2200 rpm, (c) 3300 rpm dan (d) tampak bagian bawah lasan

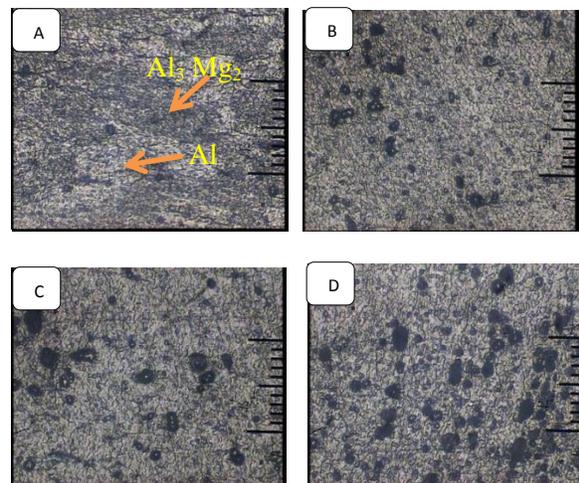
3.2. Struktur Makro dan Mikro

Gambar 5 menunjukkan hasil pengelasan FSW adanya cacat *wormholes* dan *incomplete penetration* (IP). Cacat *wormholes* yang memiliki panjang 2,3 mm, lebar 2 mm dan IP terbesar terdapat pada hasil pengelasan dengan putaran *tool* 1300 rpm. Cacat *wormholes* disebabkan kurangnya penetrasi dan menimbulkan konsentrasi tegangan pada hasil pengelasan. Sedangkan cacat IP disebabkan oleh suhu pengelasan yang rendah sehingga temperature lelehan logam yang teraduk belum tercapai dengan baik. Cacat *wormholes* juga terjadi pada variasi putaran *tool* 2200 rpm yang memiliki panjang 2,2 mm, lebar 2 mm dan pada variasi putaran *tool* 3300 rpm terdapat cacat IP yang memiliki panjang 2 mm, lebar 0,5 mm disebabkan disebabkan panas yang terlalu tinggi pada variasi tersebut sehingga meenyebabkan material menjadi lebih mudah retak karena heat input yang terlalu tinggi.



Gambar 5 Struktur makro sambungan las FSW dengan variasi putaran *tool* pembesaran 9 kali (a) 1300 rpm, (b) 2200 rpm, dan (c) 3300 rpm

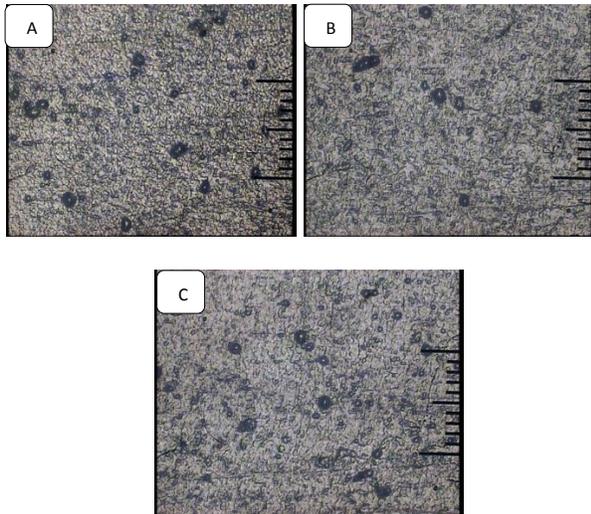
Pengamatan struktur mikro lasan di daerah BM, HAZ, dan NZ untuk lasan FSW dengan variasi putaran *tool* dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6 struktur mikro daerah HAZ pembesaran 100 kali (a) base metal, (b) 1300 rpm, (c) 2200 rpm (d) 3300 rpm

Menurut Wahyudianto (2015) bentuk butir pada aluminium 5052 memiliki panjang rata-rata 10 μm dan lebar rata-rata 8 μm serta berbentuk hitam itu menunjukkan kandungan butir Al_3Mg_2 . Gambar 6 memperlihatkan struktur mikro daerah

HAZ dimana besar butir mengalami perubahan bentuk dan ukuran jika dibandingkan pada daerah base material. Hal ini diakibatkan oleh siklus termal yang berasal dari proses pengelasan. Sedangkan daerah HAZ 3300 rpm, bentuk dan ukuran butir sedikit membesar seiring kenaikan kecepatan putaran *tool*.



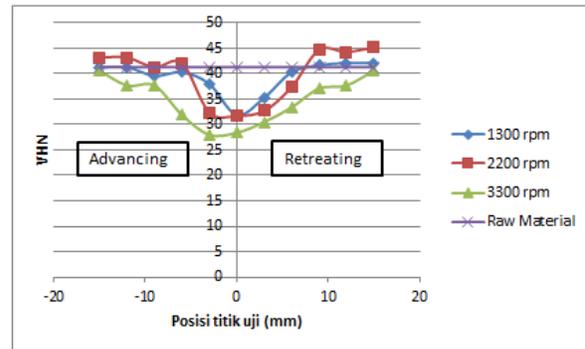
Gambar 7 Struktur Mikro daerah stir zone variasi putaran *tool* pembesaran 100 kali (a) 1300 rpm (b) 2200 rpm dan (c) 3300 rpm

Pada Gambar 7 menunjukkan bahwa butiran logam akan semakin kecil bila dekat dengan *weld nugget* bila dibandingkan butiran logam antara *base metal*, dan HAZ. Gambar 7.(b).(c) menunjukkan daerah *stir zone*, pada daerah ini partikel mengalami pertumbuhan dan partikel terlihat lebih kecil dan lembut terjadi akibat adanya rekristalisasi yang disebabkan oleh proses puntiran pada saat pengelasan.

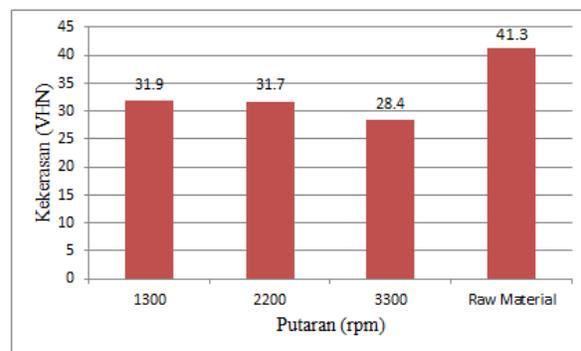
3.3. Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan ini dilakukan pada tiap spesimen hasil pengelasan dengan variasi putaran *tool* dengan pengujian kekerasan mikrovicker. Pada gambar 8 menunjukkan hasil daerah distribusi kekerasan dari pusat las ke *advancing* dan *retreating*. Hasil pada pusat titik las pada 3300 ke 1300 rpm terjadi kenaikan nilai kekerasan mekipun tidak signifikan. Penurunan nilai kekerasan pada daerah las dikarenakan

karaktristik dari paduan itu sendiri selain itu juga disebabkan proses pengerasan membutuhkan waktu lama. Sedangkan pada jarak 3-15 mm dari pusat las kenaikan nilai kekerasan mulai terjadi hingga nilainya kurang lebih sama dengan logam induk.



Gambar 8 grafik distribusi kekerasan dari pusat las ke *retreating* dan *advancing*

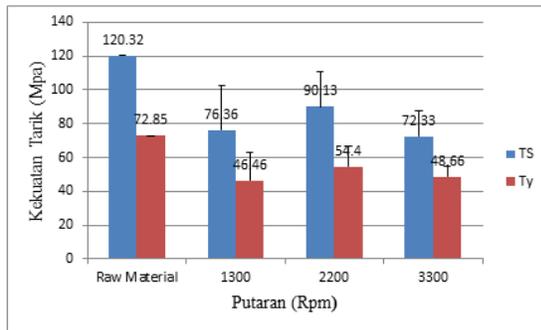


Gambar 9 grafik pengaruh putaran *tool* terhadap kekerasan pada daerah sambungan las (titik 0)

Pada gambar 9 Pada putaran *tool* 1300 rpm memiliki kekerasan paling tinggi dipusat las sebesar 31,9 VHN sedangkan Kekerasan yang rendah di pusat las pada putaran *tool* 3300 rpm sebesar 28,4 VHN, ini dapat terjadi karena heat input yang besar menghasilkan bentuk grain yang besar. Penelitian yang dilakukan Erwanto, R., (2015), menggunakan AL 5052 kecepatan putar *tool* 950, 1500, 2500 dan 3600 rpm. Dimana hasil uji kekerasan yang paling tertinggi pada kecepatan putar *tool* 3600 rpm sebesar 69,6 VHN dan kekerasan terendah pada putaran *tool* 1500 rpm sebesar 56,5 VHN.

3.4 Uji Tarik

Pengujian uji tarik dilakukan pada material aluminium 5051 pada logam hasil pengelasan. Dimensi spesimen uji tarik untuk material pengelasan menggunakan standar ASTM E8. Hasil yang diperoleh dari proses pengujian tarik berupa nilai regangan dan regangan.

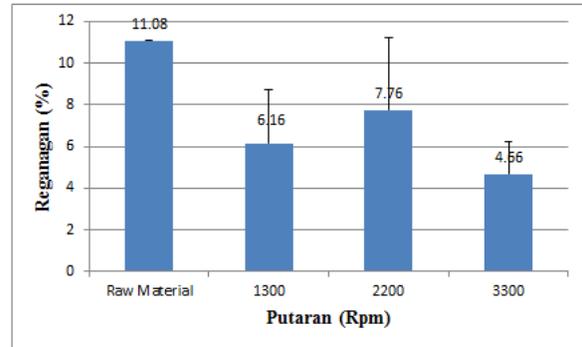


Gambar 9 pengaruh variasi putaran tool terhadap *tansile strenght* dan *tansile yield* pada sambungan las FSW

Dari gambar 9 menunjukkan bahwa kekuatan tarik dari sambungan FSW variasi putaran *tool* 1300, 2200, 3300 rpm hasilnya adalah 76,36, 90,13, 72,33 MPa. Kekuatan tarik dan tegangan luluh tertinggi diperoleh pada putaran *tool* 2200 rpm sebesar 90,13, 54,4 MPa. Sedangkan hasil kekuatan tarik yang rendah pada putaran *tool* 3300 rpm sebesar 72,33 VHN disebabkan terdapat cacat *wormholes* hal ini dikarenakan panas yang terlalu tinggi pada variasi tersebut menyebabkan material menjadi lebih mudah retak sehingga kekuatan tariknya menurun.

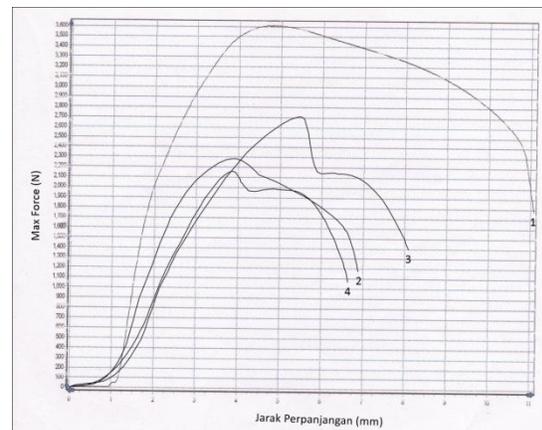
Nilai *yeld strength* pada sambungan FSW variasi putar *tool* 1300, 2200, 3300 rpm masing-masing adalah 46,46, 54,4, 48,66 MPa. Tegangan luluh pada putaran *tool* 1300 rpm diperoleh hasil yang rendah disebabkan kurangnya penekanan serta suhu pengelasan rendah pada sambungan las FSW.

Pada penelitian yang dilakukan oleh. Erwanto, R., (2015)., menyatakan bahwa kekuatan tarik mencapai 64 % dari kekuatan *raw material* sebesar 323 MPa. Sedangkan pada pengujian ini hanya mencapai 75% *raw material* lebih tinggi dari penelitian erwanto.



Gambar 10 grafik variasi putaran *tool* terhadap regangan

Gambar 10 menunjukkan hasil dari pengujian tarik nilai regangan terbesar pada *raw material* sebesar 11,08%, sedangkan variasi putaran *tool* 1300, 2200 adalah 6,16, 7,76, dan yang terendah putaran *tool* 3300 rpm sebesar 4,56 %. Pada penelitian yang dilakukan oleh Erwanto, R., (2015)., menyatakan bahwa kekuatan tarik mencapai 26 % dari kekuatan *raw material* sebesar 25.1 % sedangkan pada penelitian ini hanya mencapai 75% dari *raw material*, lebih tinggi dari regangan penelitian Erwanto.



Gambar 4.11 grafik beban perpanjangan variasi putaran *tool*

keterangan

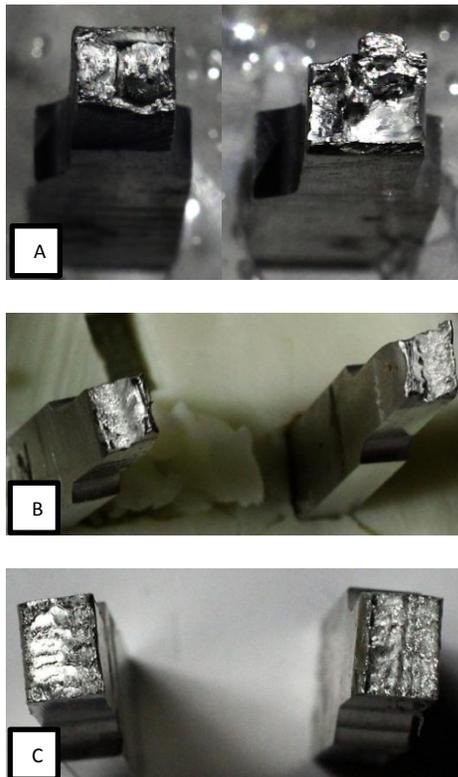
1. Raw material
2. 1300 rpm
3. 2200 rpm
4. 3300 rpm

Gambar 4.11 menunjukkan hasil dari proses pengujian tarik berupa nilai beban perpanjangan

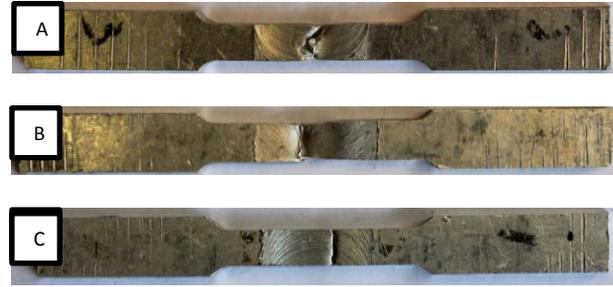
(tegangan-regangan) dari hasil pengelasan yang akan dibandingkan dengan nilai *raw material*. Pada logam induk aluminium 5051 dengan logam yang sudah dilas memiliki perbedaan tegangan dan regangan tarik yang sangat signifikan, mencapai 75% dari kekuatan *raw material*-nya. Hal ini dikarenakan pada daerah logam lasan mengalami perubahan struktur mikro, akibat dari penempaan pada saat pengelasan

3.4. Frakturafi

Dari hasil yang telah dilakukan setelah uji tarik diperoleh bahwa spesimen gambar 11.(a).(b) hasil pengelasan FSW mengalami patahan ulet. Hal ini disebabkan hasil las menyatu dengan baik dan tidak teramati retak. Sedangkan gambar 11.c mengalami patahan getas hal ini diduga terdapat lubang dan retak pada hasil las FSW, dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 penampang patahan spesimen uji tarik dengan variasi putaran *tool* (a) 1300 rpm, (b) 2200 rpm dan (c) 3300 rpm



Gambar 12 patahan uji tarik tampak atas dengan kecepatan putaran *tool* (a) 1300 rpm (b) 2200 rpm dan (c) 3300 rpm.

Patahan tampak atas sambungan las dapat dilihat pada Gambar 4.11. Pada sambungan las gambar 4.11.(a).(c) mengalami patahan getas karena terdapat Cacat *incomplete fusion*. Cacat *incomplete fusion* yang terbentuk berupa lubang kecil yang terjadi sepanjang pengelasan dan tidak begitu menyatunya spesimen yang dilas. Sesuai dengan hasil uji kekasaran mikro dan hasil dari foto makro Hal tersebut membuktikan bahwa nilai kekuatan tarik berhubungan dengan nilai kekerasan.

4. Kesimpulan

1. Pada hasil makro pada putaran *tool* 3300 rpm terdapat cacat IP. Cacat *wormholes* disebabkan kurangnya penetrasi dan menimbulkan konsentrasi tegangan pada hasil pengelasan, cacat IP disebabkan oleh suhu pengelasan yang rendah dan suhu pengelasan terlalu tinggi. Cacat *wormholes* juga terjadi pada variasi putaran *tool* 2200 rpm dan pada variasi putaran *tool* 3300 rpm terdapat cacat IP disebabkan disebabkan panas yang terlalu tinggi pada variasi tersebut sehingga menyebabkan material menjadi lebih mudah retak karena heat input yang terlalu tinggi. Hasil foto mikro terlihat adanya perbedaan pada setiap butir-butir unsur pada daerah (*Weld nugget*, HAZ, dan *base metal*).
2. Nilai kekerasan pada pusat titik las pada 3300 rpm sebesar 28,4 VHN ke 1300 rpm sebesar 31,9 VHN terjadi kenaikan nilai kekerasan mekipun tidak signifikan. Penurunan nilai kekerasan pada daerah las

dikarenakan karakteristik dari paduan itu sendiri selain itu juga disebabkan proses pengerasan membutuhkan waktu lama. Sedangkan pada jarak 3-15 mm dari pusat las kenaikan nilai kekerasan mulai terjadi hingga nilainya kurang lebih sama dengan logam induk.

3. Pada hasil uji tarik nilai tegangan dan regangan tertinggi pada sambungan las FSW dengan putaran *tool* 2200 rpm sebesar (90,13 MPa ; 7,76 %) dan nilai tegangan dan regangan yang terendah pada putaran *tool* 3300 sebesar (72,33 MPa ; 4,56 %). Regangan (ϵ) yang terjadi berbanding lurus dengan tegangannya (σ) dan kekuatan tarik sambungan las FSW mencapai 74%. dari kekuatan tarik *raw material*.
4. Dari hasil pengujian fraktografi pada patahan benda uji putaran *tool* 1300 dan 2200 rpm mengalami patahan ulet. Hal ini disebabkan hasil las menyatu dengan baik dan tidak teramati retak. *tool* 3300 rpm mengalami patahan getas hal ini diduga terdapat lubang dan retak pada hasil las FSW.

5. Daftar Pustaka

- ASTM, 2010. “*Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic materials, ASTM E8/E8M-09*”.
- Kulekci, M, K., dkk, 2009, Experimental Comparison of MIG and Friction Stir Welding Processes for EN AW-6061-T6 (Al Mg1 Si Cu) Aluminium Alloy, Jurnal Vol.35 No. 1B, The Arabian Journal for Science and Engineering.
- Erwanto, R., 2015, “Pengaruh ecepatan putar Tool Terhadap Kekuatan Mekanik Dengan *Friction Stir Welding* (FSW) Pada Alumunium 5052”, Skripsi TM Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.

Rasyid, I.N., 2014, “Pengaruh Tool Terhadap Sifat Mekanis Dan Korosi Pada Sambungan Tak Sejenis Las FSW AA6061-T6 Dan AA5083” Perpustakaan Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

Wahyudianto, FX. A., Iلمان, M.N., Iswanto, P.T., dan Kusmono, 2015. “Pengaruh Kecepatan Putar Tool Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Kekuatan Tarik Pada Sambungan Las FSW Tak Sejenis Anantara AA 5083 dan AA 6061-T6”, Prosiding Seminar Nasional Material dan Metalurgi (SENAMM VIII), Yogyakarta.