

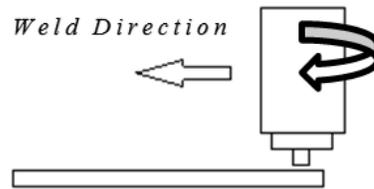
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

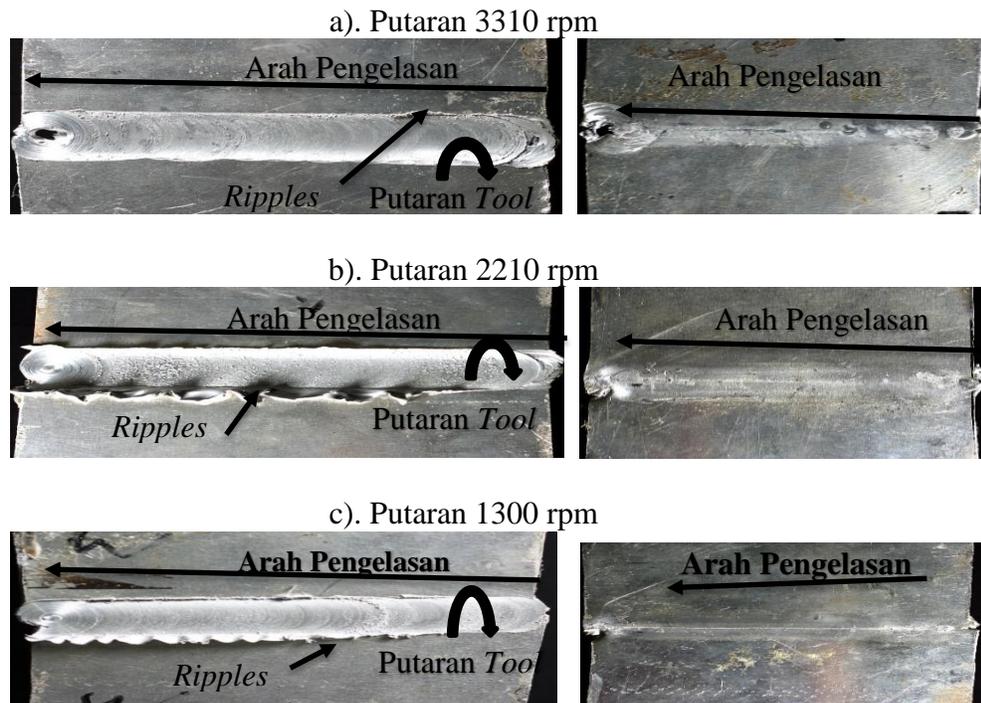
4.1. Hasil Pengelasan

Hasil pengelasan menggunakan metode *friction stir welding* ditunjukkan pada Gambar 4.1. dan 4.2. Pengelasan dengan metode FSW merupakan pengelasan yang terjadi pada kondisi padat (*solid state joining*) dengan memanfaatkan gesekan dari *tool* yang berputar dengan material yang akan dilas sehingga menimbulkan panas yang mampu melunakkan material yang akan dilas tersebut dan akhirnya tersambung menjadi satu.

Pada Gambar 4.2. (a) hasil pengelasan dengan metode FSW dengan kecepatan putar *tool* 3310 rpm menghasilkan permukaan lasan yang lebih baik jika dibandingkan dengan kecepatan putar *tool* 2220 (b) dan 1300 rpm(c), dimana permukaan lasnya lebih halus dan tidak terdapat *ripples*, sedangkan bagian belakang lasan terlihat material las lebih baik. Pada Gambar 4.2. (b) dan (c) terlihat permukaan sambungan las yang dihasilkan terdapat *ripples* yang cukup banyak, dimana hal tersebut terjadi karena kedalaman penekanan *tool* yang terlalu dalam saat pengelasan. Selain itu permukaan yang dihasilkan juga lebih kasar, dimana faktor putaran yang lebih rendah memungkinkan material lasan tidak dapat tercampur rata karena suhu yang dihasilkan dari putaran *tool* tidak cukup besar dibandingkan dengan kecepatan putar 3310 rpm pada Gambar 4.2. (a). Sedangkan jika dilihat pada bagian belakang lasan pada gambar 4.2. (a) dan (b) masih terlihat bahwa material lasan belum begitu tercampur dengan baik karena putaran yang digunakan saat pengelasan menghasilkan suhu yang lebih kecil sehingga pengelasan yang dihasilkan tidak sampai pada bagian belakang logam lasnya.



Gambar 4.1. Skema Proses Pengelasan



Gambar 4.2. Hasil FSW Terhadap Variasi Putaran *Tool* (Kiri Tampak Atas dan Kanan Tampak Bawah)

4.2. Hasil Foto Makro dan Mikro

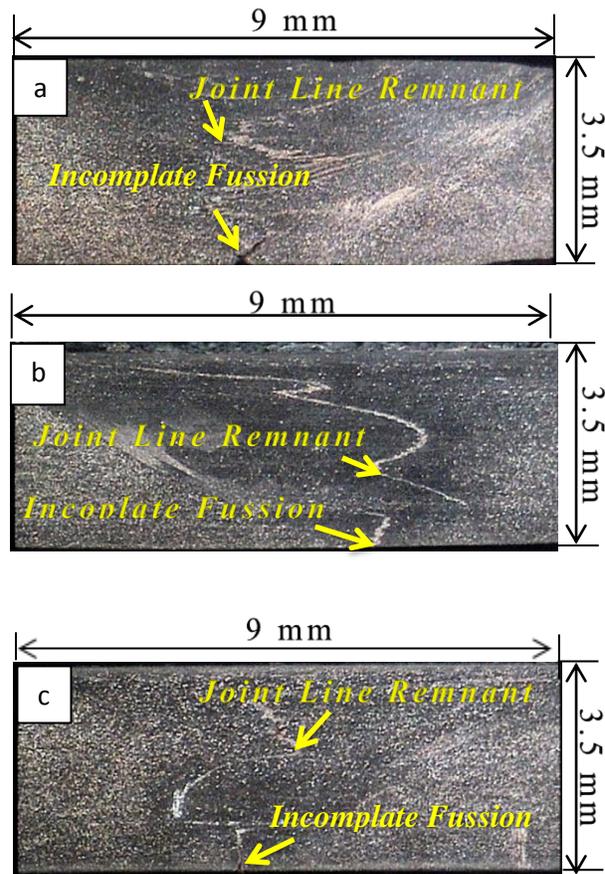
a. Hasil Foto Makro

Berdasarkan hasil foto struktur makro untuk tiap spesimen memiliki perbedaan yang signifikan yang terlihat dari beberapa cacat yang terjadi pada material hasil las. Hal ini dikarenakan panas yang dihasilkan dari tiap kecepatan tidak sama sehingga menyebabkan proses pelunakan material tidak seluruhnya melunak. Proses pelunakan sangat berperan penting dalam pengelasan ini karena jika material tidak

melunak *pin* yang berfungsi sebagai pengaduk dan penyambung material tidak bisa mengaduk dengan sempurna.

Setelah dilihat ternyata pada tiap hasil lasan masih terdapat cacat *incomplete fusion*. Cacat *incomplete fusion* adalah cacat yang terjadi karena material las tidak menyatu dengan sempurna sehingga terjadi celah pada pusat sambungan las. Penyebab dari *incomplete fusion* diantaranya adalah putaran *tool* yang kurang tinggi, dan *feed rate* yang terlalu tinggi. Sehingga material las tidak bisa melunak dan menyatu dengan sempurna,

Selain itu pada semua hasil lasan terdapat *joint line remnant*, dimana terlihat seperti garis-garis lengkung pada daerah las, *joint line remnant* terbentuk karena adanya oksida yang terjebak pada saat proses pengelasan berlangsung (Threadgill, 2009) . *Joint line remnant* sering terjadi pada daerah pusat sambungan las, karena celah antara material las dapat menyebabkan ruang oksigen sehingga pada saat proses pengelasan berlangsung oksigen tersebut tidak mampu keluar sempurna dari logam las. Jika dilihat dari Gambar 4.3. dengan pembesaran 9 kali teramati bahwa *joint line remnant* terbesar terjadi pada variasi kecepatan putar 1300 rpm, sedangkan variasi putaran 3310 rpm paling sedikit *joint line remnant*, sehingga dapat diketahui besarnya kecepatan putar *tool* berpengaruh pada *joint line remnant* yang terjadi.

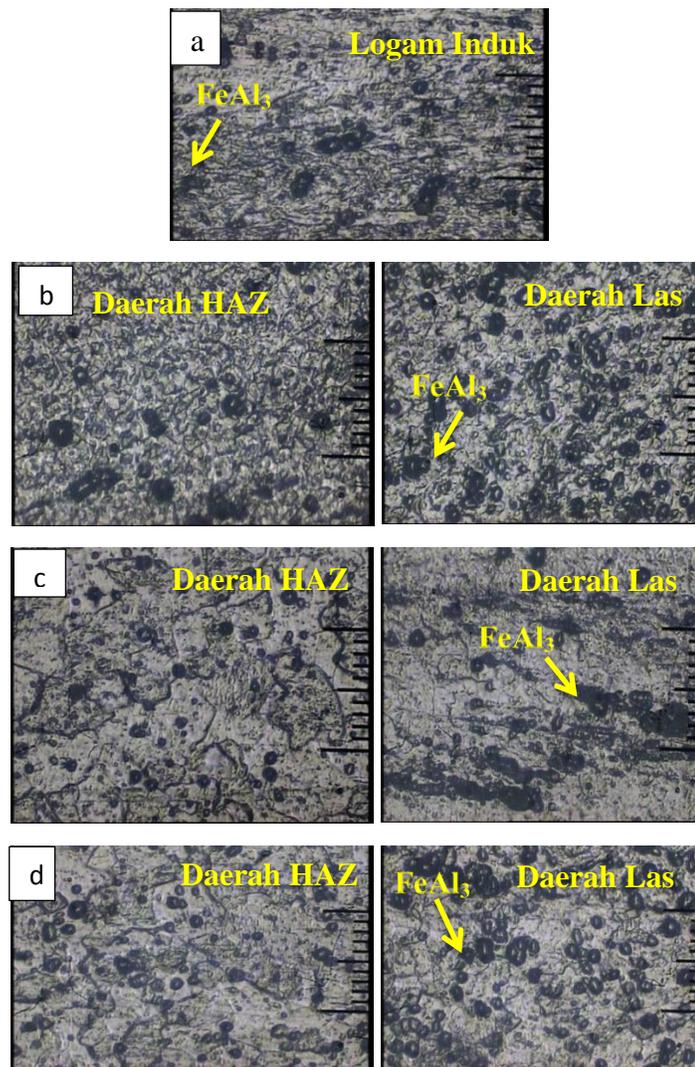


Gambar 4.3. Struktur makro sambungan las FSW pada Putaran *Tool* (a) 3310 rpm, (b) 2220 rpm, dan (c) 1300 rpm

b. Hasil Foto Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi akibat adanya proses pengelasan dengan metode FSW, yaitu di daerah *stir zone*, HAZ, dan logam induk. Pada pengelasan *friction stir welding* Aluminium 1xxx terlihat adanya partikel hitam pada seluruh daerah las. Menurut *ASM Hand Book Metallography and- Microstructures* partikel hitam adalah $FeAl_3$, yaitu seperti yang terlihat pada Gambar 4.4. Dalam penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan putaran *tool* mengakibatkan terjadinya presipitasi pada material las sehingga mengakibatkan butiran partikel menjadi lebih besar dan rapat.

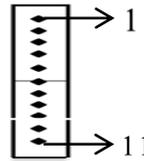
Pada Gambar 4.4.(b) terlihat bahwa pada daerah las partikel-partikel atom lebih merata dan lebih padat. Untuk Gambar 4.4.(c) terlihat bahwa partikel-partikel atom memiliki jarak yang berjauhan antar partikel dan memiliki ukuran yang besar dan kecil tidak seragam dari pada daerah HAZ dan logam induk. Sedangkan untuk Gambar 4.4.(d) terlihat partikel-partikel atom dengan jumlah yang merata tetapi tidak lebih padat dari variasi putaran 3310 rpm pada Gambar 4.4.(b).



Gambar 4.4. Struktur Mikro Pengaruh Kecepatan Putar Tool Terhadap Daerah HAZ (Kiri) Dan Daerah Las (Kanan) Dengan Variasi Putaran Pembesaran 100 Kali (a) Logam Induk, (b) 3310 rpm, (c) 2220 rpm, (d) 1300 rpm

4.3. Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan ini dilakukan pada tiap spesimen hasil pengelasan dengan variasi putaran *tool* dengan skema pengujian seperti pada Gambar 4.5. Adapun Table 4.1. menunjukkan data hasil pengujian kekerasan dengan menggunakan uji kekerasan Makro *Vickers*, kemudian pada Gambar 4.5. menunjukkan grafik perbandingan kekerasan pada setiap variasi pengelasan.



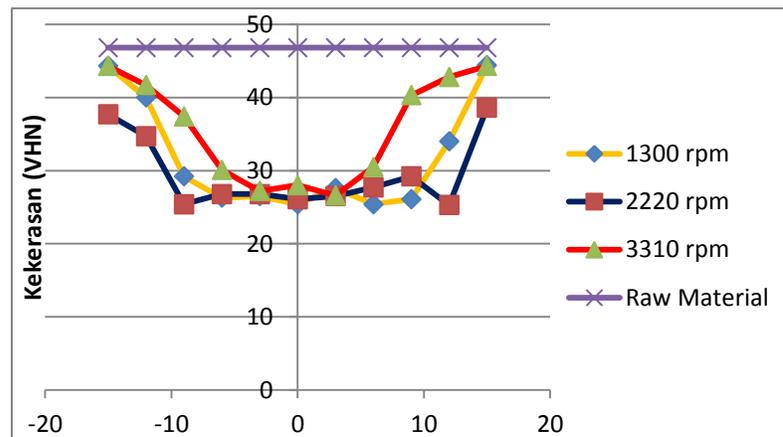
Gambar 4.5. Skema Hasil Pengujian Kekerasan

Tabel 4.1. Nilai Hasil Uji Kekerasan

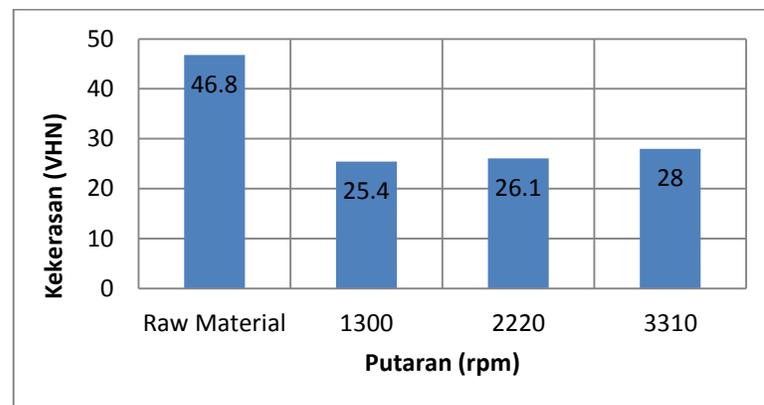
No	Posisi Titik Uji mm	Nilai Kekerasan VHN			Raw Material
		1300	2220	3310	
		rpm	rpm	rpm	
1	-15	44.3	37.7	44.3	46.8
2	-12	40	34.7	41.7	
3	-9	29.2	25.4	37.4	
4	-6	26.3	26.8	30.1	
5	-3	26.5	26.8	27.2	
6	0	25.4	26.1	28	
7	3	27.6	26.5	26.6	
8	6	25.4	27.7	30.5	
9	9	26.1	29.2	40.3	
10	12	34	25.3	42.8	
11	15	44.4	38.6	44.3	

Proses pengelasan aluminium dengan *friction stir welding* menggunakan *feed raet* 2 mm/ menit dengan variasi putaran *tool* (3310 rpm, 2220 rpm, 1300 rpm). Dari hasil pengujian kekerasan dapat dilihat bahwa adanya presesipitasi $FeAl_3$ yang terlihat pada hasil struktur mikro mengakibatkan butiran lebih besar dan meningkatkan nilai kekerasannya. Nilai kekerasan tertinggi terjadi pada variasi putaran 3310 RPM dengan nilai sebesar 28 VHN, sedangkan untuk nilai terendah

terjadi pada variasi putaran 1300 rpm dengan nilai 25,4 VHN. Nilai tertinggi dan terendah untuk kekerasan ini dimulai dari pusat pengelasan, dimana nilai kekerasannya mengalami kenaikan menuju *base metal*.



Gambar 4.6. Grafik Distribusi Kekerasan Pada Sambungan FSW



Gambar 4.7. Grafik Hubungan Putaran *Tool* Terhadap Nilai Kekerasan Pada Sambungan FSW

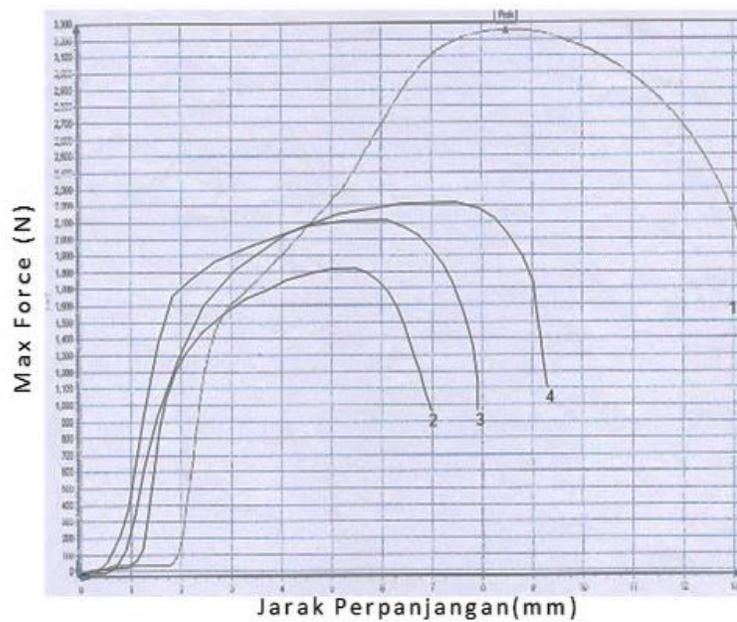
Pada proses pengelasan aluminium dengan metode FSW dengan variasi kecepatan putar *tool* kali ini dapat diketahui bahwa semakin tinggi putaran *tool* maka nilai kekerasannya semakin tinggi, begitu juga sebaliknya jika putaran *tool* rendah maka nilai kekerasan hasil lasan juga lebih rendah. Selain itu pada Gambar

4.6. dan 4.7. dapat diketahui bahwa nilai kekekerasan pada daerah pusat lasan adalah yang paling rendah, nilai kekerasan hasil lasan meningkat pada daerah yang mendekati *base metal*. Dari hasil pengelasan dengan semua variasi kecepatan putar *tool* menunjukkan bahwa kekerasan hasil lasan masih jauh dari *raw material*, dimana pada kecepatan putar *tool* 1300 rpm sebesar 54,2 % dari *raw material*. 2220 rpm sebesar 55.7 % dari *raw material*, dan pada 3310 rpm sebesar 59.8 % dari *rawmaterial*. Dimana hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran *tool* maka semakin tinggi nilai kekerasannya, hal tersebut diduga karena putaran yang lebih tinggi akan menghasilkan panas yang lebih tinggi juga, sehingga penyambungan logam las dapat terjadi secara maksimal dan mampu mendekati kekerasan logam induknya dibandingkan dengan putaran *tool* yang lebih rendah.

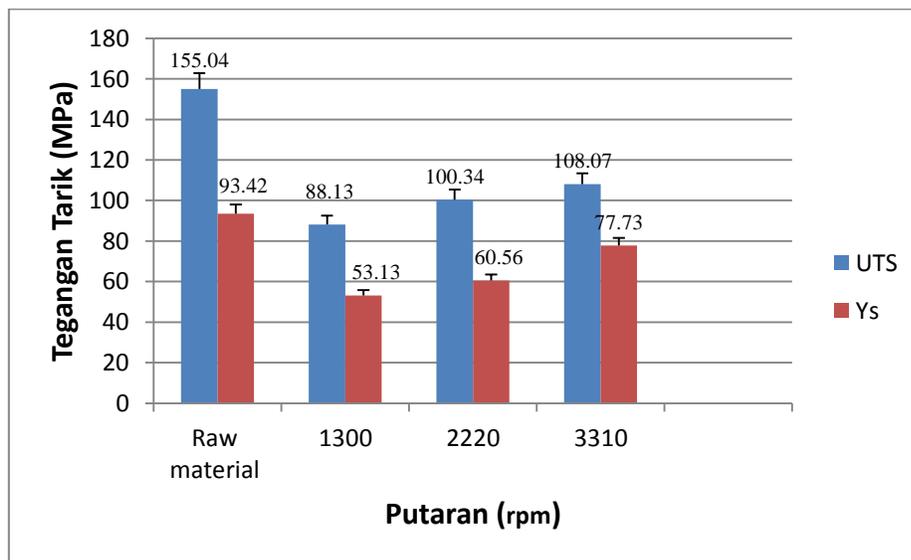
Selain itu jika dilihat dari foto makro, kecepatan *tool* yang lebih tinggi memiliki cacat *joint line remnant* yang lebih kecil jika dibandingkan putaran yang lebih rendah, sedangkan dari struktur mikro putaran *tool* yang lebih tinggi juga mengakibatkan butiran atom pada daerah las lebih besar dan padat sehingga mengakibatkan peningkatan nilai kekerasannya.

4.4. Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan pada material aluminium pada daerah hasil lasan. Dimensi spesimen uji tarik untuk material pengelasan menggunakan standar ASTM E8. Hasil yang diperoleh dari proses pengujian tarik berupa nilai tegangan dan regangan dari hasil pengelasan yang akan dibandingkan dengan nilai tegangan dan regangan *raw materialnya*.



Gambar 4.8. Grafik Uji Tarik Hasil FSW pada variasi Kecepatan Putar Tool (1) raw material, (2) 1300 rpm, (3) 2220 rpm, (4) 3310 rpm.



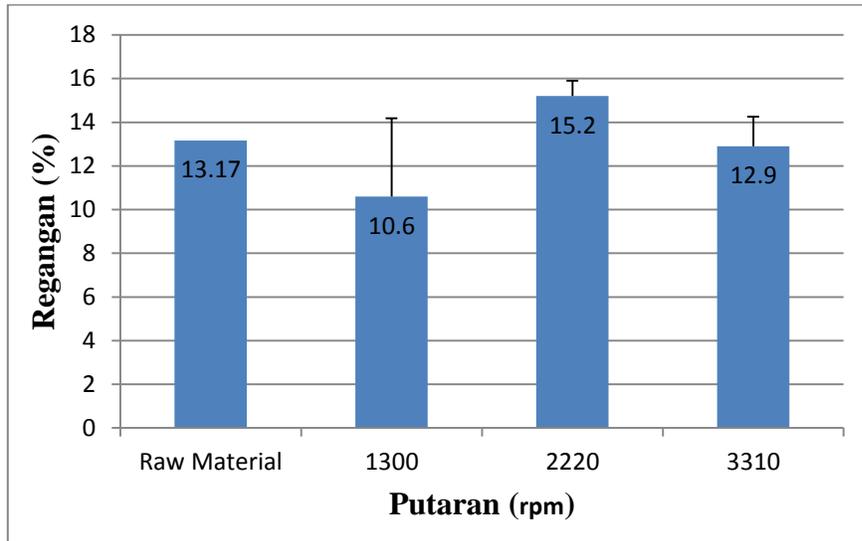
Gambar 4.9. Grafik UTS dan Yield Strength Pada Sambungan FSW Dengan Variasi Putaran Tool.

Dari Gambar 4.8. dan 4.9. dapat diketahui bahwa nilai kuat tarik maksimum spesimen hasil lasan masih lebih kecil dari *raw material* yang memiliki nilai kuat tarik sebesar 155.04 MPa. Untuk nilai kuat tarik tertinggi pada spesimen hasil las terjadi pada variasi putaran *tool* 3310 rpm dengan nilai tegangan sebesar 108.07 Mpa, 69.7 % dari *raw material*. Sedangkan untuk nilai kuat tarik terkecil terjadi pada variasi putaran 1300 rpm sebesar 88.13 MPa, 56.84 % dari *raw material*. Dari data grafik diatas menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran *tool* maka semakin tinggi nilai tegangan, begitu juga sebaliknya.

Untuk nilai *yield strength* nilai tertinggi terdapat pada kecepatan putar *tool* 3310 rpm sebesar 77.73 MPa, 83,2 % dari *raw material*. pada kecepatan putar *tool* 2220 rpm sebesar 60.56 MPa, 64,82 % dari *raw material*, dan nilai *yield strength* terendah terdapat pada kecepatan putar *tool* 1300 rpm sebesar 53.13 MPa, 56.87 % dari *raw material*.

Rendahnya nilai UTS dan *yield strength* dari *raw material* dapat terjadi karena beberapa faktor, diantaranya kedalaman penekanan *tool* pada waktu pengelasan, dimana semakin dalam penekanan *tool* maka material yang terkelupas dan terbuang pada waktu pengelasan berjalan lebih banyak, sehingga mengakibatkan ketebalan material berkurang yang dapat menurunkan nilai UTS dan *yield strength*.

Kemudian jika dilihat dari hasil struktur makro terjadi cacat *incomplete fussion* dan *joint line remnant* pada Gambar 4.3. diduga juga menjadi penyebab tinggi rendahnya nilai kuat tarik hasil lasan, semakin tinggi tingkat cacat yang terjadi maka semakin tinggi juga nilai kuat tarik yang berkurang. Selain itu jika dilihat dari struktur mikro hasil lasan pada Gambar 4.4. semakin tinggi putaran maka butiran atom akan semakin rapat dan merata sehingga akan menimbulkan ikatan yang lebih kuat antar atom yang dapat meningkatkan nilai kuat tariknya.



Gambar 4.10. Grafik Hubungan Variasi Putaran *Tool* Terhadap Regangan Pada Sambungan FSW

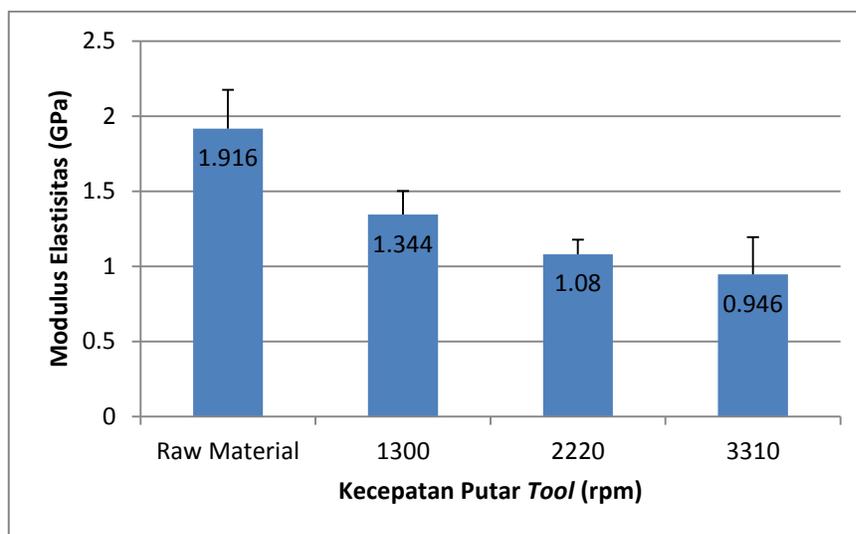
Dari Gambar 4.10. diatas dapat diketahui bahwa regangan hasil las dengan variasi putaran *tool* 2220 rpm memiliki nilai yang paling tinggi yaitu sebesar 15.9 % bahkan 15.4 % lebih tinggi dari *raw material* yang memiliki nilai regangan sebesar 13.17 %. Sedangkan nilai regangan terkecil terjadi pada material hasil lasan dengan Variasi putaran *tool* 1300 rpm dengan nilai 10.6 % yaitu lebih kecil dari *raw material* yang memiliki nilai regangan sebesar 13.17%.

Dari hasil pengujian kuat tarik dan regangan yang didapatkan dari penelitian ini terdapat perbedaan jika dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu yaitu, Hariyanto (2010) yang menganalisa sifat mekanik hasil pengelasan aluminium AA1100 dengan metode FSW dengan variasi putaran *tool* 1450, 1850, dan 2250 rpm, dengan *feed rate* 6 mm/menit. Dimana untuk kekuatan tarik menyatakan hasil yang Berbeda, dimana pada penelitian Hariyanto kekuatan taarik tretinggi terjadi padavariasi kecepatan putar 1850 rpm, yang mana putaran tersebut adalah tertinggi kedua dengan nilai kuat tarik sebesar 120.68 MPa atau 95,74 % dari nilai kuat tarik *raw materialnya*. Sedangkan untuk penelitian ini kuat tarik tertinggi terjadi pada variasi kecepatan putar 3310 rpm yang mana adalah kecepatan putar tertinggi, adapun

nilai kuat tariknya yaitu 108.07 MPa atau 64.71 % dari raw materialnya. Kemudian dari nilai regangannya, jika pada penelitian ini nilai regangan tertinggi terjadi pada variasi putaran tertinggi kedua yaitu 2220 rpm dengan 15.41 % lebih tinggi dari *raw material* untuk peneliti terdahulu nilai regangan tertinggi terjadi pada putaran yang paling tinggi yaitu 2250 rpm dengan 12.2 % lebih besar dari *raw material*. Adapun hasil perbandingan penelitian yang spesifik ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Tabel Perbandingan penelitian sekarang dengan penelitian terdahulu

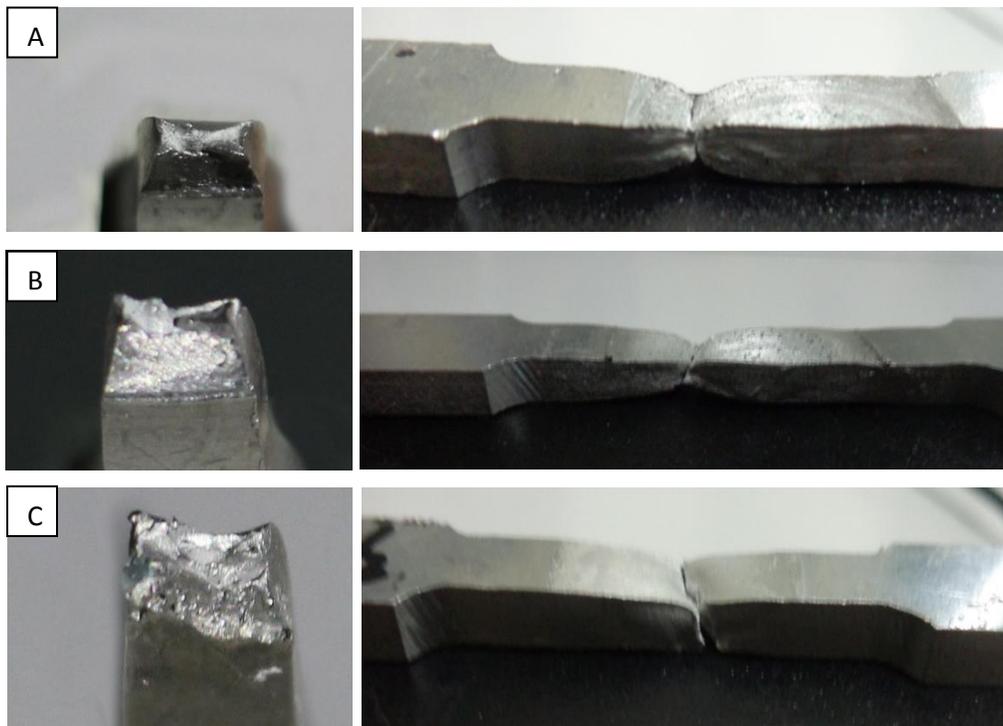
Penelitian Sekarang			Penelitian Terdahulu (Hariyanto, 2010)		
Bahan AL 1xxx			Bahan AA 1100		
Putaran Tool (rpm)	Tegangan	Regangan	Putaran Tool (rpm)	Tegangan	Regangan
	MPa	%		MPa	%
<i>Raw Material</i>	155.04	13.17	<i>Raw Material</i>	126.04	16
1300	88.13	10.6 15.2	1450	108.45	13.42
2220	100.34	12.9	1850	120.68	8.82
3310	108.07	13.17	2250	105.85	14.05
<i>Feed Rate</i> (20 mm/min)			<i>Feed Rate</i> (6 mm/min)		



Gambar 4.11. Grafik Hubungan Variasi Putaran *Tool* Terhadap Modulus Elastisitas Pada Sambungan FSW

Dari Gambar 4.11. dapat diketahui bahwa semakin tinggi putaran *tool* maka modulus elastisitasnya semakin rendah, adanya cacat *incomplete fusion* yang terlihat pada hasil struktur makro diduga dapat mempengaruhi hasil nilai modulus elastisitas hasil lasan. Selain itu modulus elastisitas hasil lasan masih lebih rendah dari *raw material* yang memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 1.916 GPa. Adapun modulus elastisitas tertinggi pada hasil lasan terjadi pada putaran 1300 rpm dengan nilai 1.344 GPa, sedangkan nilai modulus elastisitas terendah terjadi pada putaran 3310 rpm dengan nilai 0.946 GPa.

4.5. Fraktografi



Gambar 4.12. Tampak Depan Bagian Patahan Las(kiri) dan tampak samping (kanan) (a) Putaran *Tool* 1300 rpm, (b) Putaran *Tool* 2220 rpm, dan (c) Putaran *Tool* 3310 rpm

Pada Gambar 4.12. menunjukkan patahan dari hasil pengelasan FSW, letak patahan terjadi pada bagian lasan. Hal ini dikarenakan adanya cacat berupa *incomplete fusion*. Cacat *incomplete fusion* terjadi pada sebagian besar hasil lasan.

Cacat *incomplete fusion* yang terbentuk berupa celah kecil di bagian bawah logam las, yang terjadi sepanjang pengelasan. Hal ini dapat terjadi akibat material tidak mampu menyatu hingga bagian bawah logam yang dilas. Sedangkan itu untuk gambar 4.12. (a) terlihat bahwa hasil patahan tidak terjadi pada pusat daerah las tetapi pada daerah HAZ. Selain itu pada semua hasil patahan las menunjukkan kriteria patah ulet, dimana sebelum patah terjadi perpanjangan terlebih dahulu.