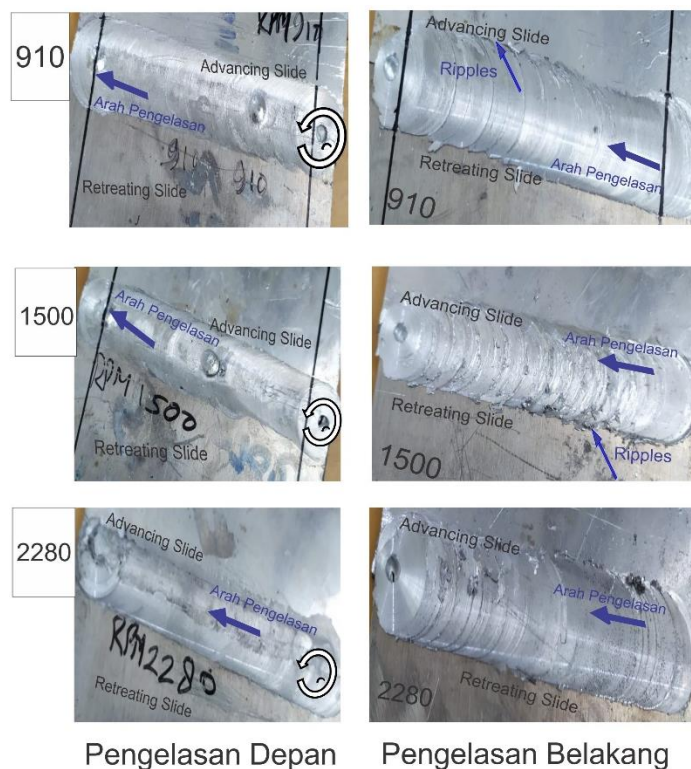


## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Pengelasan Pada Proses FSW *Dissimilar*

Hasil pengelasan aluminium *double sided* dengan variasi kecepatan putar dan menggunakan metode FSW dapat dilihat pada Gambar 4.1. Pada kecepatan putar 910 rpm dan 1500 rpm pengelasan mengalami cacat *ripples* pada bagian belakang. Hal, itu disebabkan karena kedalaman penekanan tool yang terlalu dalam pada saat pengelasan. Putaran yang tinggi akan menyebabkan kemungkinan cacat yang lebih sedikit, karena semakin tinggi putaran maka akan semakin tinggi *heat input* yang dihasilkan dan itu akan menyebabkan kemungkinan cacat yang lebih kecil.

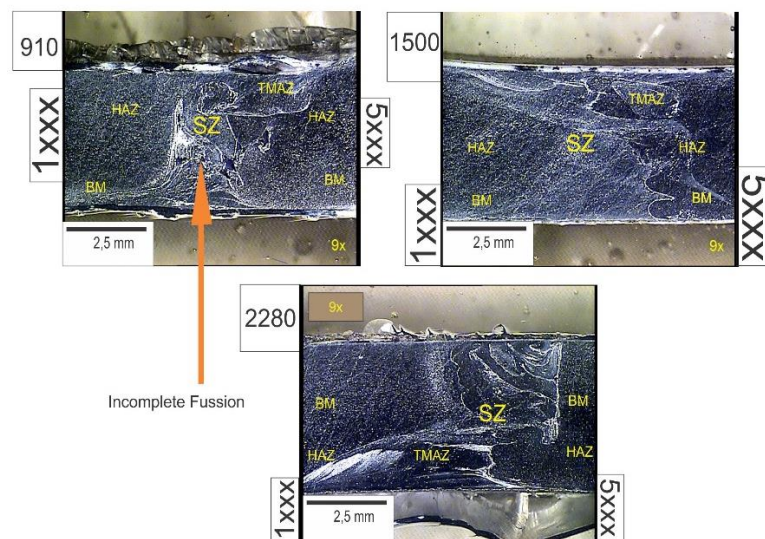


**Gambar 4.1** Hasil pengelasan FSW *double sided* antara aluminium seri 1xxx (*advancing*) dengan aluminium seri 5xxx (*retreating*) variasi kecepatan putar 910 rpm, 1500 rpm dan 2280 rpm.

## 4.2 Hasil dari Foto Makro dan Mikro

### a. Hasil Foto Makro

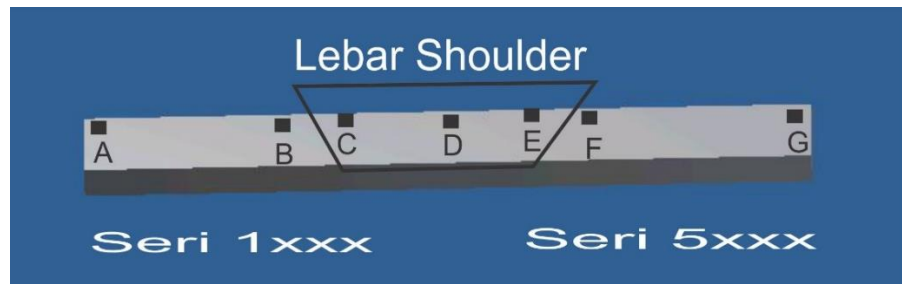
Berdasarkan pada hasil foto struktur makro dengan pembesaran 9× hasil pengelasan *friction stir welding* terdapat cacat *incomplete fusion* pada setiap variasi kecepatan putar. Terjadi cacat *incomplete fusion* pada kecepatan putar 910 rpm. Cacat ini terjadi karena terdapat kotoran pada permukaan lasan dan kecepatan putaran yang terlalu rendah.



**Gambar 4.2** Struktur makro sambungan las FSW dengan variasi kecepatan putar terhadap daerah BM, HAZ dan *stir zone* dengan variasi kecepatan putar 910 rpm, 1500 rpm dan 2280 rpm.

### b. Hasil Foto Mikro

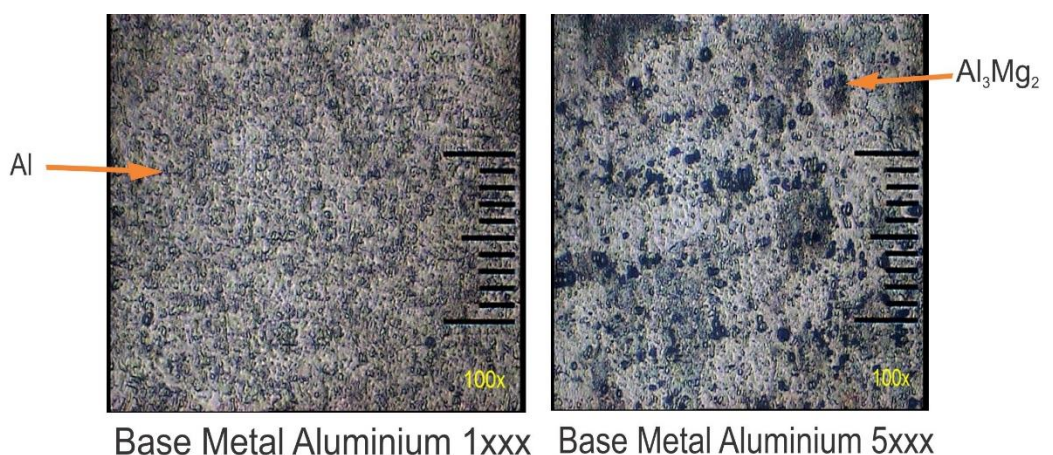
Pengamatan struktur mikro dikerjakan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi akibat adanya proses pengelasan dengan metode FSW yaitu di daerah *stir zone*, HAZ, TMAZ dan *base metal*. Pengujian struktur mikro dilakukan dengan cara pengambilan foto dengan pembesaran 100x untuk mengetahui perubahan struktur yang terjadi akibat pengelasan FSW *dissimilar* pada material aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx dengan menggunakan kecepatan putaran yang berbeda di daerah (*stir zone*, HAZ, TMAZ dan *raw material*) mengalami perubahan bentuk dan ukuran setelah proses FSW.



**Gambar 4.3** Daerah pengujian struktur mikro

Gambar 4.3 adalah posisi pengambilan gambar pada daerah-daerah pengelasan. Daerah kotak adalah titik pengujian struktur mikro dilakukan. Bagian A adalah *base metal* seri 1xxx dan bagian G adalah *base metal* seri 5xxx, bagian B adalah daerah HAZ pada seri 1xxx dan bagian C adalah TMAZ pada seri 1xxx. Bagian E adalah HAZ pada seri 5xxx, sedangkan bagian F adalah TMAZ pada seri 5xxx. Bagian D adalah daerah *stir zone* dari *base metal* 1xxx dan *base metal* 5xxx. Hasil pengujian mikro pada setiap spesimen dapat dilihat pada gambar 4.4 –4.7

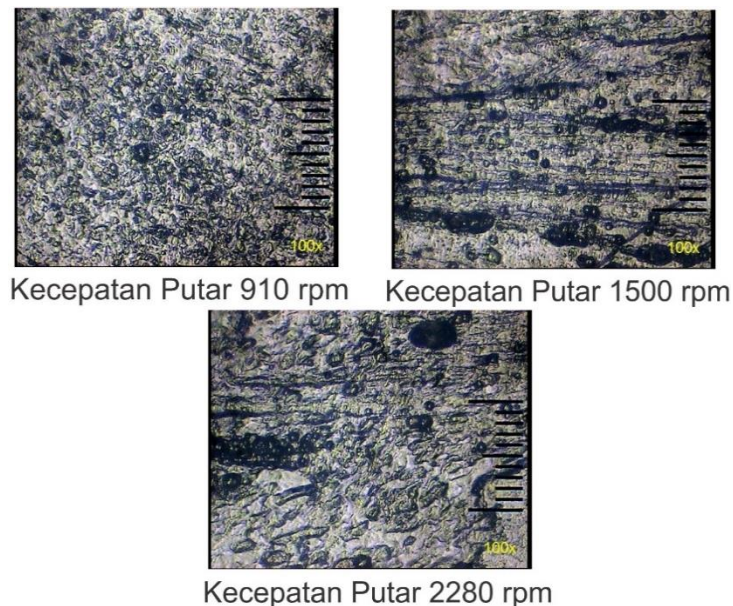
Gambar 4.4 adalah struktur mikro daerah *base metal* (BM) aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx. Daerah *base metal* adalah bahan material yang belum dilas, jadi material tidak mengalami deformasi dan perubahan struktur mikro maupun *mechanical properties*. Bentuk butir terjadi akibat proses perlakuan *cold working* pada saat proses pembuatannya.



**Gambar 4.4** Struktur mikro daerah *base metal* dengan skala 10  $\mu\text{m}$

Hasil pengamatan struktur mikro pada gambar 4.5 *stir zone* merupakan bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair kemudian membeku. Batas

butir paling kecil terdapat pada kecepatan putar 2280 rpm dibandingkan dengan kecepatan putar 910 dan 1500 rpm yang memiliki batas lebih besar. Hal ini disebabkan karena semakin besar kecepatan putar maka akan semakin kecil batas butirnya. Pada daerah ini partikel mengalami pertumbuhan dan partikel terlihat lembut terjadi akibat rekristalisasi oleh proses puntiran saat pengelasan. Pada daerah *Stir Zone* menjadi lebih lembut dan merata jika dibandingkan dengan daerah HAZ dan base metal. Hal ini terjadi karena pengaruh adukan *tool joint* dan panas saat proses pengelasan.

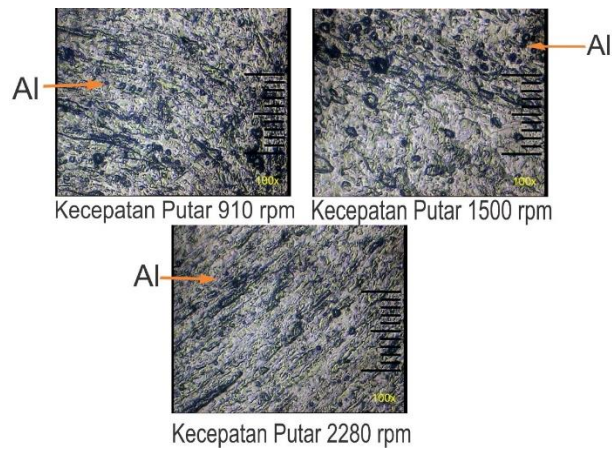


**Gambar 4.5** Struktur mikro daerah *stir zone* dengan skala 10  $\mu\text{m}$

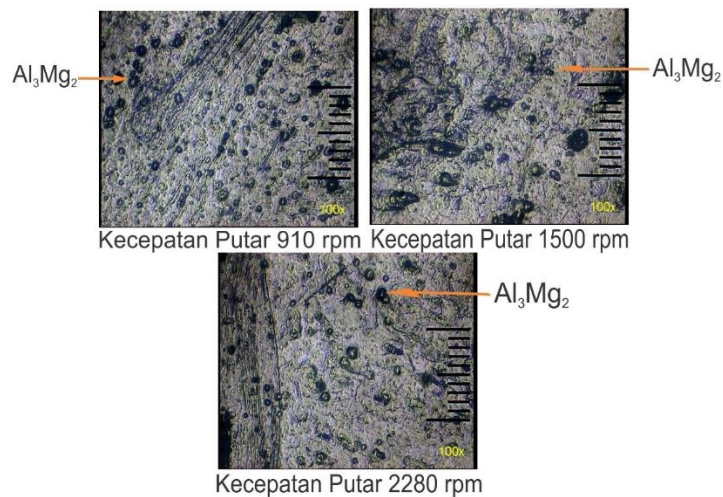
Daerah HAZ yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 memiliki hasil ukuran butir las yang lebih besar dibandingkan dengan daerah *base metal* terjadinya perubahan ukuran batas butir dikarenakan faktor pengadukan pada saat proses pengelasan. Pada variasi kecepatan putar 1500 dan 2280 rpm terjadi pencampuran antara daerah *stir zone* dan *base metal* yang merata dibandingkan pada variasi kecepatan putar 910 rpm, hal tersebut dikarenakan pada kecepatan putar 910 rpm lambat sehingga proses pengadukan kurang maksimal dan juga terjadi cacat *incomplete fusion* pada spesimen 910 rpm. Oleh karena itu yang mempengaruhi hasil dari HAZ adalah kecepatan putar dan cacat yang terjadi. Jika,



kecepatan putar yang digunakan terlalu lambat hasil HAZ tidak akan merata. Cacat yang terjadi pada pengelasan juga akan mempengaruhinya.



**Gambar 4.6** Struktur mikro daerah HAZ aluminium 1xxx dengan skala 10  $\mu\text{m}$



**Gambar 4.7** Struktur mikro daerah HAZ aluminium 5xxx dengan skala 10  $\mu\text{m}$

Dengan menggunakan kecepatan putar yang semakin tinggi, maka hasil struktur mikro akan semakin halus. Hal itu disebabkan karena, semakin tinggi kecepatan putar semakin jarang ditemui cacat yang ada pada struktur mikronya.

Bedasarkan pada hasil struktur mikro gambar diatas terdapat perbedaan pada tiap- tiap daerahnya antara lain daerah *stir zone*, *base metal* dan HAZ. Hasil pengelasan pada variasi kecepatan putar 910 rpm terjadi cacat *incomplete fusion*.

### 4.3 Hasil Uji Kekerasan

Uji kekerasan hasil las FSW menggunakan *micro hardness vickers* dan ditunjukkan dalam bentuk grafik hubungan jarak tiap penetrasi indenter terhadap pusat las dengan besarnya *Vickers Hardness Number* (VHN). Hasil plot grafik uji kekerasan ditunjukkan pada Gambar 4.8 dan pada Tabel 4.1. Menunjukkan data hasil pengujian kekerasan *vickers*.

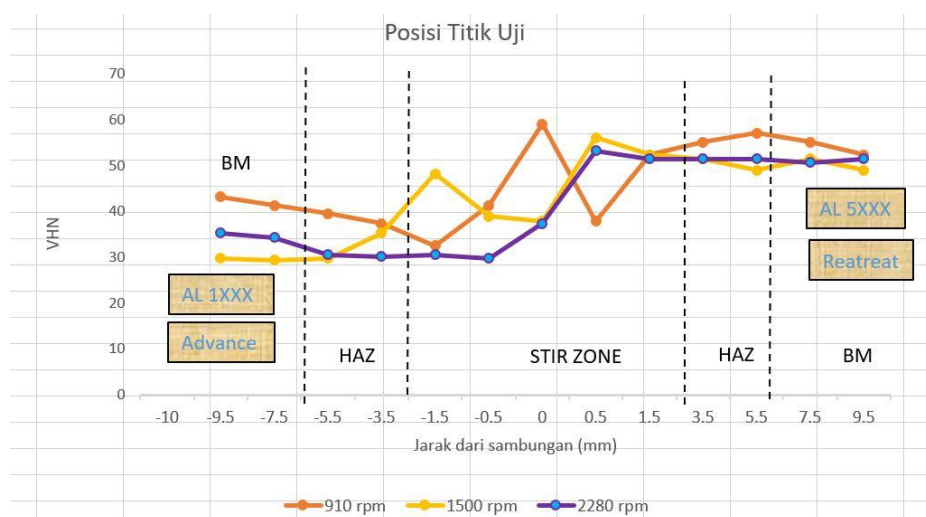
**Tabel 4.1** Hasil pengujian kekerasan

No	Jarak dari Sambungan (mm)		Nilai Kekerasan VHN				
			910Rpm	1500Rpm	2280Rpm	<i>Raw Material</i> Al 1xxx	<i>Raw Material</i> Al 5xxx
1	Al Seri 1xxx	9,5	43,2	29,7	35,3		
2		7,5	41,3	29,3	34,3		
3		5,5	39,5	29,7	30,5		
4		3,5	37,3	35,3	30,1		
5		1,5	32,5	48,2	30,5		
6		0,5	41,3	38,9	29,7		
7	Tengah	0	59,1	37,8	37,3	38,4	66
8	Al Seri 5xxx	- 0,5	37,8	56,1	53,3	39,5	67,3
9		- 1,5	52,4	52,4	51,5		
10		- 3,5	55,1	51,5	51,5		
11		- 5,5	57,1	49	51,5		
12		- 7,5	55,1	51,5	50,7		
13		- 9,5	52,4	49	51,5		

Pada proses pengelasan aluminium *friction stir welding double sided* dengan menggunakan variasi kecepatan putar, nilai kekerasan daerah las lebih rendah dari *raw material* aluminium 1xxx berbeda dengan *raw material* aluminium 5xxx yang memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dari pada daerah las dapat dilihat

pada tabel 4.1. Pada kecepatan putar 910 rpm memiliki kekerasan yang paling tinggi dibandingkan pengujian setelah pengelasan yang lain. Ini disebabkan karena kecepatan putaran yang dipakai terlalu kecil. Pengujian nya menghasilkan kekerasan sebesar 59,1 VHN. Sedangkan, 1500 rpm hanya menghasilkan 37,8 VHN dan 2280 rpm hanya menghasilkan 37,3 VHN.

Pada Gambar 4.8 menunjukkan Gambar dari distribusi Kekerasan. Pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa grafik hasil uji nilai kekerasan pada daerah *retreating* lebih tinggi dari pada daerah *advancing* karena menggunakan bahan aluminium yang berbeda dan pada salah satu titik spesimen yang terlihat dari struktur makro terdapat pori-pori. Pori-pori tersebut mengakibatkan naik turun nilai grafik *stir zone*.



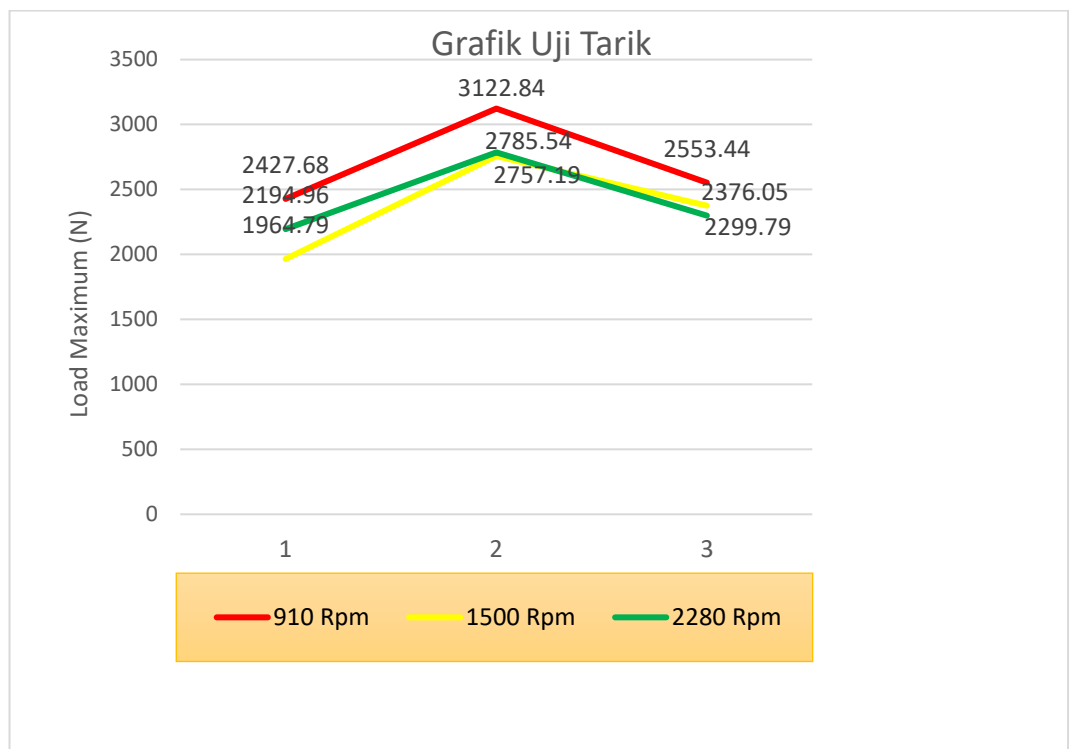
**Gambar 4.8** Grafik distribusi kekerasan pada pusat las

Nilai kekesaran tertinggi pada daerah base metal aluminium 1xxx pada kecepatan putar 910 rpm sebesar 43,2 VHN dan terendah pada kecepatan putar 1500 rpm sebesar 29,7 VHN, nilai kekerasan tertinggi pada daerah HAZ aluminium 1xxx pada keceparan putar 910 rpm sebesar 39,5 VHN dan terendah pada kecepatan putar 2280 rpm sebesar 30,5 VHN, nilai kekerasan tertinggi pada daerah stir zone pada kecepatan putar 910 rpm sebesar 59,1 VHN dan terendah pada kecepatan putar 2280 rpm sebesar 37,3 VHN, nilai kekerasan tertinggi pada kecepatan putar daerah HAZ aluminium 5xxx pada kecepatan putar 910 rpm sebesar 57,1 VHN dan terendah pada kecepatan putar 1500 rpm sebesar 49 VHN, dan nilai kekerasan

tertinggi pada daerah base metal aluminium 5xxx pada kecepatan putar 910 rpm sebesar 55,1 rpm dan terendah pada kecepatan putar 2280 rpm sebesar 50,7 VHN .

#### 4.4 Hasil Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan di laboratorium Balai Latihan Kerja Surakarta dengan dimensi uji tarik menggunakan standar ASTM-E8 pada material aluminium tak sejenis dengan metode FSW.



**Gambar 4.9** Grafik uji tarik hasil FSW *double sided* pada variasi kecepatan putaran 910 rpm, 1500 rpm dan 2280 rpm

Dalam pengujian tarik terdapat sifat tarik yaitu sifat yang berhubungan dengan pengujian tarik. Dalam sambungan las sifat tarik dipengaruhi oleh sifat sifat logam induk. Sifat logam induk adalah sifat-sifat logam secara umum yang meliputi sifat fisik, sifat mekanik maupun sifat kimianya. Gambar 4.9 menunjukkan bahwa antara logam induk Al 1xxx dan Al 5xxx dengan logam yang sudah dilas memiliki perbedaan tegangan tarik yang sangat signifikan. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.2 ,4.3, 4.4 dan 4.5



**Tabel 4.2** Data spesimen uji tarik

Nomor urut spesimen	Tebal (mm)	lebar atas (mm)	lebar bawah (mm)	Panjang awal (mm)	Pertambahan panjang (mm)
910 rpm spesimen 1	5,12	5,58	6,14	32	1,87
910 rpm spesimen 2	5,08	6,04	6,14	32	1,97
910 rpm spesimen 3	5,06	6,14	6,28	32	2,65
1500 rpm spesimen 1	5,14	5,38	5,44	32	7,83
1500 rpm spesimen 2	5,68	6,18	6,24	32	7,58
1500 rpm spesimen 3	5,12	5,48	5,74	32	7,17
2280 rpm spesimen 1	5,14	6,12	6,38	32	2,67
2280 rpm spesimen 2	4,92	6,38	6,54	32	3,10
2280 rpm spesimen 3	4,82	6,36	6,44	32	2,33

Perhitungan dari luas permukaan (kecepatan putar 910 rpm):

$$A_1 = \frac{(\text{lebar atas} + \text{lebar bawah}) \times \text{tebal}}{2} = \frac{(5,58 + 6,14) \times 5,12}{2} = 30,0032 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = \frac{(\text{lebar atas} + \text{lebar bawah}) \times \text{tebal}}{2} = \frac{(6,04 + 6,14) \times 5,08}{2} = 30,9372 \text{ mm}^2$$

$$A_3 = \frac{(\text{lebar atas} + \text{lebar bawah}) \times \text{tebal}}{2} = \frac{(6,14 + 6,28) \times 5,06}{2} = 31,4226 \text{ mm}^2$$

Perhitungan dari luas permukaan (kecepatan putar 1500 rpm):

$$A_1 = \frac{(\text{lebar atas} + \text{lebar bawah}) \times \text{tebal}}{2} = \frac{(5,38 + 5,44) \times 5,14}{2} = 27,7303 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = \frac{(\text{lebar atas} + \text{lebar bawah}) \times \text{tebal}}{2} = \frac{(6,18 + 6,24) \times 5,68}{2} = 35,2728 \text{ mm}^2$$

$$A_3 = \frac{(\text{lebar atas} + \text{lebar bawah}) \times \text{tebal}}{2} = \frac{(5,48 + 5,74) \times 5,12}{2} = 28,7232 \text{ mm}^2$$

Perhitungan dari luas permukaan (kecepatan putar 2280 rpm):

$$A_1 = \frac{(\text{lebar atas} + \text{lebar bawah}) \times \text{tebal}}{2} = \frac{(6,12 + 6,38) \times 5,14}{2} = 32,125 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = \frac{(\text{lebar atas} + \text{lebar bawah}) \times \text{tebal}}{2} = \frac{(6,38 + 6,54) \times 4,92}{2} = 31,7832 \text{ mm}^2$$

$$A_3 = \frac{(\text{lebar atas} + \text{lebar bawah}) \times \text{tebal}}{2} = \frac{(6,36 + 6,44) \times 4,82}{2} = 30,848 \text{ mm}^2$$

Perhitungan dari kekuatan tarik (kecepatan putar 910 rpm):

$$Su_1 = \frac{P_{maks_1}}{A_o} = \frac{2427,68 \text{ N}}{30,0032 \text{ mm}^2} = 80,914 \text{ MPa}$$

$$Su_2 = \frac{P_{maks_2}}{A_o} = \frac{1964,79 \text{ N}}{30,9372 \text{ mm}^2} = 63,508 \text{ MPa}$$

$$Su_3 = \frac{P_{maks_3}}{A_o} = \frac{2194,96 \text{ N}}{31,4226 \text{ mm}^2} = 69,852 \text{ MPa}$$

Perhitungan dari kekuatan tarik (kecepatan putar 1500 rpm):

$$Su_1 = \frac{P_{maks_1}}{A_o} = \frac{3122,84 \text{ N}}{27,7303 \text{ mm}^2} = 112,614 \text{ MPa}$$

$$Su_2 = \frac{P_{maks_2}}{A_o} = \frac{2757,19 \text{ N}}{35,2778 \text{ mm}^2} = 78,156 \text{ MPa}$$

$$Su_3 = \frac{P_{maks_3}}{A_o} = \frac{2785,54 \text{ N}}{28,7232 \text{ mm}^2} = 96,978 \text{ MPa}$$

Perhitungan dari kekuatan tarik (kecepatan putar 2280 rpm):

$$Su_1 = \frac{P_{maks_1}}{A_o} = \frac{2553,44 \text{ N}}{32,125 \text{ mm}^2} = 79,484 \text{ MPa}$$

$$Su_2 = \frac{P_{maks_2}}{A_o} = \frac{2376,05 \text{ N}}{31,7832 \text{ mm}^2} = 74,758 \text{ MPa}$$

$$Su_3 = \frac{P_{maks_3}}{A_o} = \frac{2299,79 \text{ N}}{30,848 \text{ mm}^2} = 74,552 \text{ MPa}$$

**Tabel 4.3** Tabel kekuatan hasil uji tarik

Kecepatan Putaran	Kekuatan Tarik (MPa)			Rata-rata (MPa)	Standar Deviasi (MPa)
	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3		
<b>910 Rpm</b>	80,914	63,508	69,852	71,4246	8,8089
<b>1500 Rpm</b>	112,614	78,156	96,978	95,916	17,2535
<b>2280 Rpm</b>	79,484	74,758	74,552	76,2646	2,7899

Perhitungan dari tegangan luluh (kecepatan putar 910 rpm):

$$Y_{S1} = \frac{Py_1}{A_o} = \frac{1450 \text{ N}}{30,0032 \text{ mm}^2} = 48,328 \text{ MPa}$$

$$Y_{S2} = \frac{Py_2}{A_o} = \frac{1230 \text{ N}}{30,9372 \text{ mm}^2} = 39,757 \text{ MPa}$$

$$Y_{S3} = \frac{Py_3}{A_o} = \frac{1420 \text{ N}}{31,4226 \text{ mm}^2} = 45,1904 \text{ MPa}$$

Perhitungan dari tegangan luluh (kecepatan putar 1500 rpm):

$$Y_{S1} = \frac{Py_1}{A_o} = \frac{1720 \text{ N}}{27,7303 \text{ mm}^2} = 62,026 \text{ MPa}$$

$$Y_{S2} = \frac{Py_2}{A_o} = \frac{2150 \text{ N}}{35,2728 \text{ mm}^2} = 60,953 \text{ MPa}$$

$$Y_{S3} = \frac{Py_3}{A_o} = \frac{2240 \text{ N}}{28,7232 \text{ mm}^2} = 77,985 \text{ MPa}$$

Perhitungan dari tegangan luluh (kecepatan putar 2280 rpm):

$$Y_{S1} = \frac{Py_1}{A_o} = \frac{1480 \text{ N}}{32,125 \text{ mm}^2} = 46,07 \text{ MPa}$$

$$Y_{S2} = \frac{Py_2}{A_o} = \frac{1270 \text{ N}}{31,7832 \text{ mm}^2} = 39,958 \text{ MPa}$$

$$Y_{S3} = \frac{Py_3}{A_o} = \frac{1660 \text{ N}}{30,848 \text{ mm}^2} = 53,812 \text{ MPa}$$

**Tabel 4.4** Tabel Tegangan Luluh

Kecepatan Putaran	Tegangan Luluh (MPa)			Rata-rata (MPa)	Standar Deviasi (MPa)
	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3		
<b>910 Rpm</b>	48,328	39,757	45,1904	44,4251	4,336
<b>1500 Rpm</b>	62,026	60,953	77,985	66,988	9,538
<b>2280 Rpm</b>	46,07	39,958	53,812	46,6133	6,942

Perhitungan dari regangan (kecepatan putar 910 rpm):

$$\epsilon_1 = \frac{\Delta L}{L} = \frac{1,87 \text{ mm}}{32 \text{ mm}} = 0,0584 \text{ mm/mm}$$

$$\epsilon_2 = \frac{\Delta L}{L} = \frac{1,97 \text{ mm}}{32 \text{ mm}} = 0,0615 \text{ mm/mm}$$

$$\epsilon_3 = \frac{\Delta L}{L} = \frac{2,65}{32 \text{ mm}} = 0,0828 \text{ mm/mm}$$

Perhitungan dari regangan (kecepatan putar 1500 rpm):

$$\epsilon_1 = \frac{\Delta L}{L} = \frac{7,83 \text{ mm}}{32 \text{ mm}} = 0,2446 \text{ mm/mm}$$

$$\epsilon_2 = \frac{\Delta L}{L} = \frac{7,58 \text{ mm}}{32 \text{ mm}} = 0,2368 \text{ mm/mm}$$

$$\epsilon_3 = \frac{\Delta L}{L} = \frac{7,17 \text{ mm}}{32 \text{ mm}} = 0,2240 \text{ mm/mm}$$

Perhitungan dari regangan (kecepatan putar 2280 rpm):

$$\epsilon_1 = \frac{\Delta L}{L} = \frac{2,67 \text{ mm}}{32 \text{ mm}} = 0,0834 \text{ mm/mm}$$

$$\epsilon_2 = \frac{\Delta L}{L} = \frac{3,10 \text{ mm}}{32 \text{ mm}} = 0,0968 \text{ mm/mm}$$

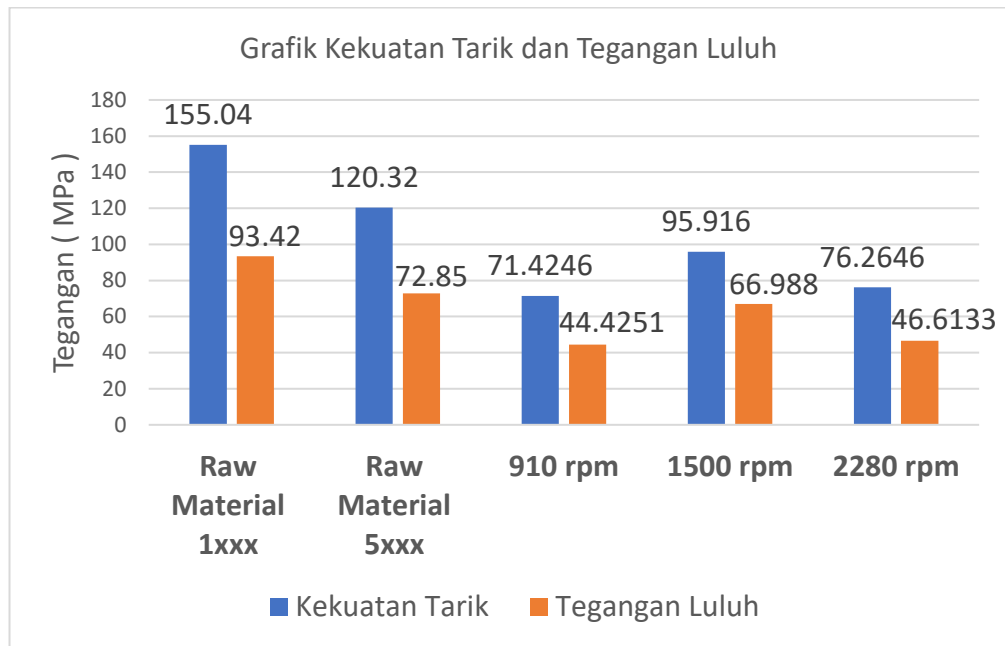
$$\epsilon_3 = \frac{\Delta L}{L} = \frac{2,33 \text{ mm}}{32 \text{ mm}} = 0,0728 \text{ mm/mm}$$

**Tabel 4.5** Tabel Regangan hasil uji tarik

Kecepatan Putaran	Regangan (mm/mm)			Rata-rata $\epsilon$ (mm/mm)	Standar Deviasi (mm/mm)
	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3		
<b>910 Rpm</b>	0,0584	0,0615	0,0828	0,06756	0,01328
<b>1500 Rpm</b>	0,2446	0,2368	0,2240	0,23513	0,01040
<b>2280 Rpm</b>	0,0834	0,0968	0,0728	0,08433	0,01202

Dari tabel diatas didapatkan grafik hubungan antara kecepatan putaran terhadap tegangan dan regangan tarik pada gambar 4.10 - 4.11.

Gambar 4.10 menunjukkan kekuatan tarik dari sambungan FSW variabel putaran *tool* 910,1500 dan 2280 rpm. Sedangkan pada gambar 4.11 hasil dari pengujian tarik untuk nilai regangan. Untuk nilai *raw material* didapatkan dari penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya oleh (Prasetyo, 2015) dan (Merdiyanto, 2016).



**Gambar 4.10** Pengaruh kecepatan putaran *pin tool* terhadap kekuatan tarik dan tegangan luluh

Hasil dari Gambar 4.10 adalah pada kecepatan putar 910 rpm menghasilkan 71,4246 MPa, pada putaran 1500 rpm menghasilkan 95,916 MPa dan kecepatan putaran 2280 rpm menghasilkan 76,2646 MPa, Kekuatan tarik dan tegangan luluh terendah terdapat pada putaran tool 910 rpm sebesar 71,4246 MPa dan 44,4251 MPa.

Grafik untuk nilai kekuatan tarik tertinggi 95,916 MPa, 61,86% dari *raw material* 1xxx dan 79,71% dari *raw material* 5xxx. Sedangkan untuk nilai kekuatan tarik terendah 71,4246 MPa, 46,06% dari *raw material* 1xxx dan 59,36% dari *raw material* 5xxx.

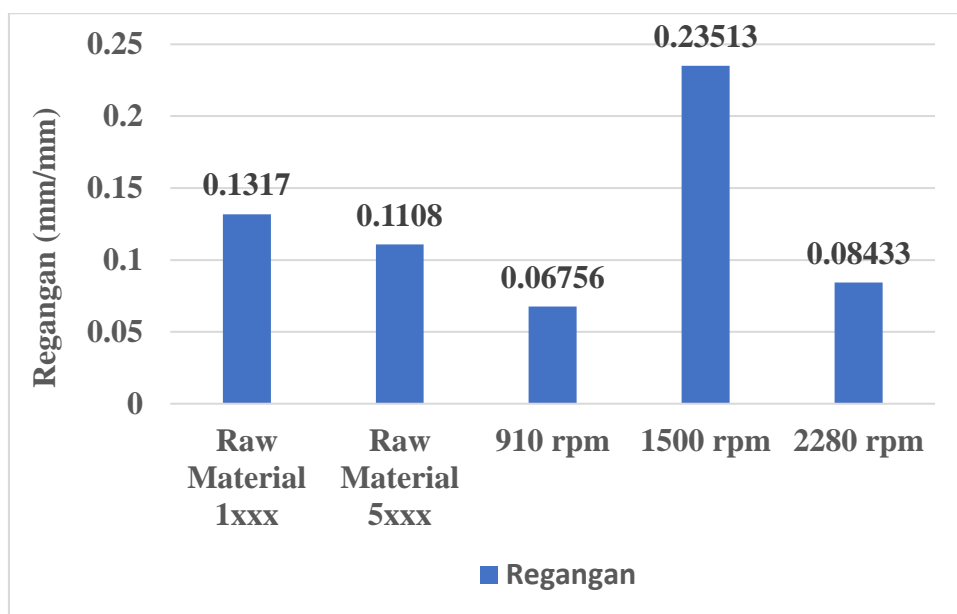
Grafik untuk nilai tegangan luluh tertinggi 66,988 MPa, 71,7% dari *raw material* 1xxx dan 91,95% dari *raw material* 5xxx. Sedangkan untuk nilai tegangan luluh terendah 44,4251 MPa, 47,55% dari *raw material* 1xxx dan 60,98% dari *raw material* 5xxx.

Rendahnya nilai UTS dan *yield strength* dapat terjadi melalui beberapa faktor, diantaranya kedalaman penekanan *tool* dan waktu pengelasan, dan juga semakin banyak cacat yang terjadi pada proses pengujian maka semakin rendah pula nilai kekuatan tarik maupun tegangan luluh.



Kekuatan tarik dan nilai *yield strength* dari putaran *tool* 1500 rpm adalah 95,916 dan 66,988 MPa. Sedangkan untuk putaran *tool* 2280 rpm adalah 76,2646 dan 46,6133 MPa. Ini menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran *tool* yang digunakan maka semakin rendah kekuatan tarik dan nilai *yield strength*.

Baik dari Kekuatan Tarik UTS maupun *yield strength* yang mempunyai nilai tertinggi adalah *raw material* 1xxx. *Raw Material* 1xxx pun lebih tinggi dibandingkan dari *raw material* 5xxx.



**Gambar 4.11** Pengaruh kecepatan putaran *pin tool* terhadap regangan

Pada gambar 4.11 hasil dari pengujian tarik untuk nilai regangan dengan variasi kecepatan putaran *pin tool* 910 rpm sebesar 0,06756, putaran *tool* 1500 rpm 0,23513 dan 2280 rpm sebesar 0,08433. Pada hasil pengujian tarik tersebut nilai regangan tertinggi pada putaran *tool* 1500 rpm disebabkan saat pengelasan tidak terlihat retak maupun rongga yang terbentuk butiran-butiran halus dan nilai kekerasan yang tinggi sehingga mengalami patahan ulet. Sedangkan nilai regangan terendah pada putaran *tool* 910 rpm yang disebabkan terdapat rongga, terlihat terdapat retak membentuk butiran kasar karena kurangnya panas yang didapat pada saat pengelasan sehingga patahan terjadi tepat pada daerah las dan mengalami patahan getas.

Pada aluminium 1xxx dan aluminium 5xxx yang di las menggunakan FSW *double sided* tidak bisa digunakan untuk konstruksi. Hal ini dikarenakan kekuatan tarik dan tegangan luluh yang dihasilkan jauh lebih rendah dari hasil kekuatan tarik dan tegangan luluh pada *raw material*.

#### 4.5 Fraktografi

Setelah melakukan pengujian tarik maka akan mendapatkan hasil berupa kekuatan tarik dari pengelasan FSW *dissimilar* antara aluminium seri 1xxx (*advancing*) dengan aluminium seri 5xxx (*retreating*) yang kemudian dilakukan analisa fraktografi. Fraktografi yang dihasilkan data berupa foto hasil patahan, foto hasil patahan diambil menggunakan mikroskop makro. Proses pengambilan gambar dengan cara meletakkan benda uji di atas malam supaya hasil yang didapatkan lebih presisi seperti pada gambar berikut ini.



Foto tampak depan 910 rpm

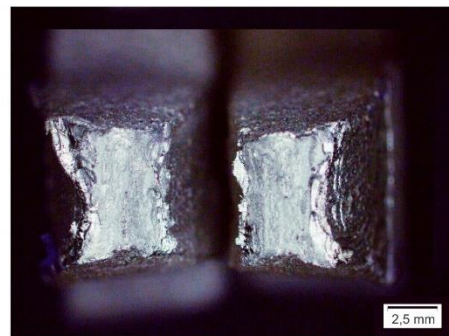


Foto tampak depan 1500 rpm

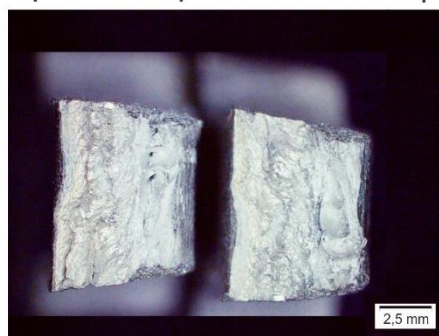


Foto tampak depan 2280 rpm

**Gambar 4.12** Patahan uji spesimen tarik tampak depan variasi putaran *pin tool* 910 rpm, 1500 rpm dan 2280 rpm.

Setelah melakukan pengujian tarik pada hasil pengelasan FSW maka mendapatkan hasil patahan seperti pada gambar 4.12 penampang daerah patahan

hasil pengelasan yang runcing dan tidak rata. Patah biasanya terjadi atas beberapa tingkatan, yaitu *necking* (pengecilan penampang), terbentuknya rongga-rongga kecil, pembesaran rongga menjadi satu rongga besar atau terjadi retak tegak lurus gaya yang bekerja dan pada akhirnya retak menjalar sampai terjadinya patahan. Proses pengelasan FSW *dissimilar* menghasilkan sambungan las yang bersifat ulet yang ditandai dengan adanya *necking* pada patahan spesimen uji.

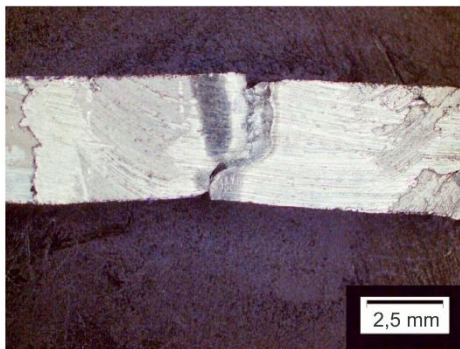


Foto Tampak Samping 910 rpm

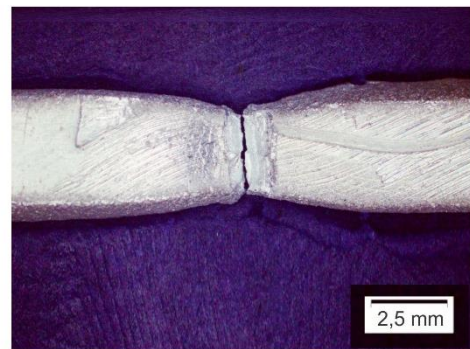


Foto Tampak Samping 1500 rpm

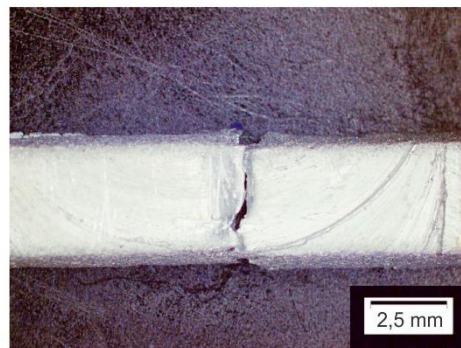


Foto Tampak Samping 2280 rpm

**Gambar 4.13** Patahan uji tarik tampak samping dengan variasi putaran *pin tool* 910 rpm, 1500 rpm dan 2280 rpm.

Pada gambar 4.13 kecepatan putar 910 rpm terdapat cacat *incomplete fusion* pada hasil las FSW, hal ini disebabkan *heat input* terlalu rendah dan juga permukaan yang dilas masih kotor. Patahan pada gambar 4.13 kecepatan putar 910 rpm dan 1500 rpm mengalami patahan ulet. Hal ini disebabkan hasil las menyatu dengan

baik dan tidak teramati retak. Sedangkan pada kecepatan putar 2280 rpm mengalami getas.