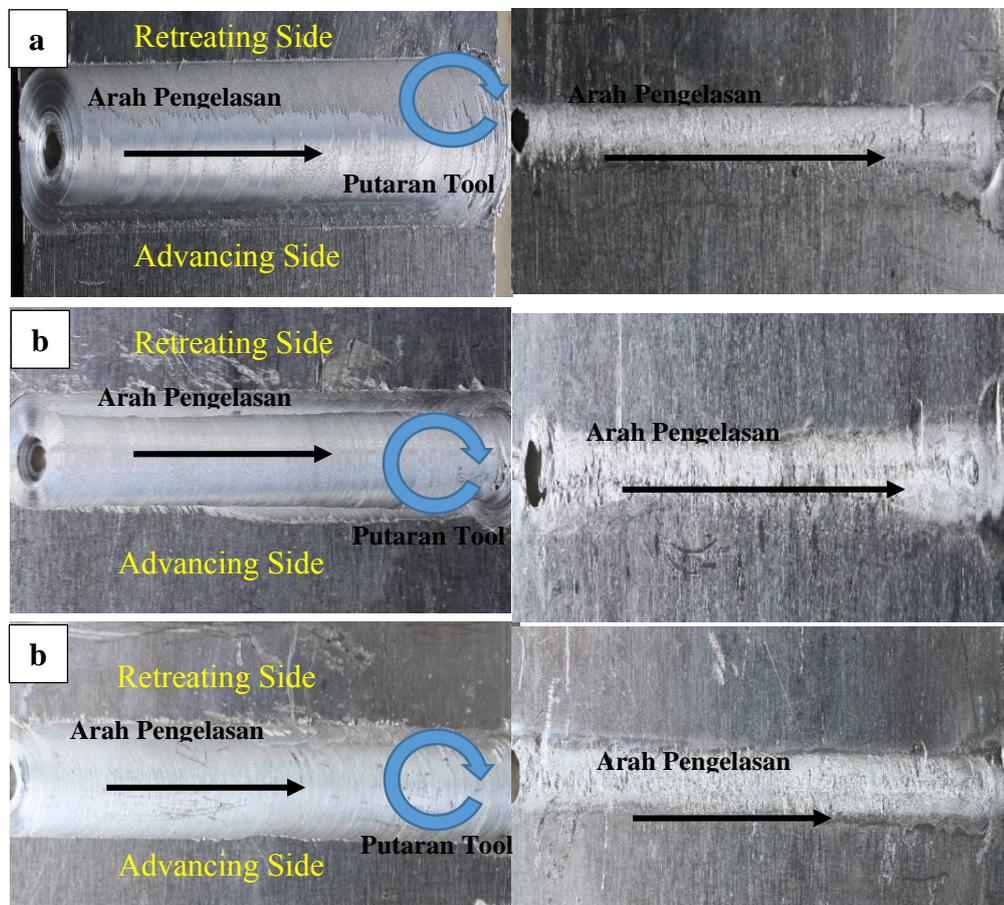


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengelasan

Hasil pengelasan aluminium seri 1xxx dengan variasi panjang pin 4,2 mm, 4,5 mm, dan 4,8 mm menggunakan metode *friction stir welding* didapat beberapa hasil pengelasan pada aluminium dapat ditunjukkan pada Gambar 4.1.



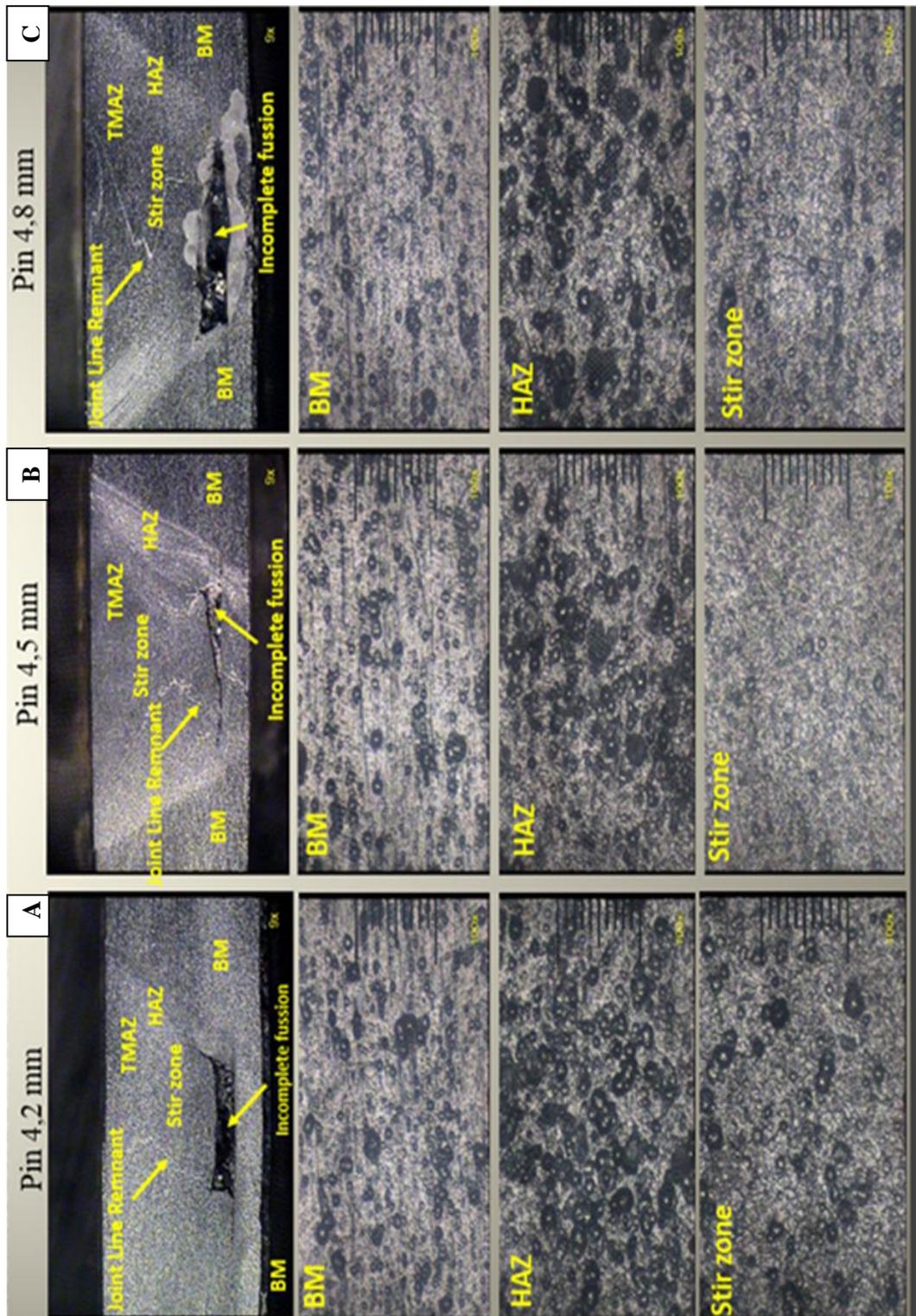
Gambar 4.1 Hasil Pengelasan FSW Dengan Variasi Panjang Pin a. 4,2 mm, b. Pin 4,5 mm, dan c. Pin 4,8 mm (kiri tampak atas dan kanan tampak bawah)

Pada Gambar 4.1 (a) hasil pengelasan dengan metode FSW menggunakan panjang pin 4,2 mm menghasilkan permukaan yang kasar dan tidak halus hal itu dikarenakan *heat input* yang dihasilkan tidak maksimal dan pembenaman

pin yang terlalu dangkal. Pada Gambar 4.1 (b) dan (c) menghasilkan permukaan lasan yang lebih halus dan merata.

4.2 Hasil Foto Struktur Makro dan Mikro

Pengamatan makro dilakukan guna mengetahui dan membedakan hasil lasan baik dari segi bentuk maupun dari sifat mekaniknya yang terdiri dari logam induk, HAZ, TMAZ, dan *stir zone* pada hasil pengelasan FSW. Hal ini dikarenakan *heat input* dari setiap pin tidak sama menyebabkan pelunakan pada material tidak terjadi sempurna. Pada pengelasan FSW pelunakan sangatlah penting karena jika material tidak lunak maka pin yang berfungsi sebagai pengaduk dan penyambung material tidak bekerja dengan sempurna. Setelah diamati pada hasil foto struktur makro dengan pembesaran 9x hasil pengelasan *friction stir welding* terdapat cacat *incomplete fusion* pada setiap variasi pengelasan. Terjadi cacat *incomplete fusion* terbesar pada pin 4,2 mm dan pin 4,8 mm, menurut Prasetyo (2015), cacat *incomplete fusion* adalah cacat yang terjadi akibat material las tidak menyatu dengan sempurna sehingga terjadi celah pada pusat sambungan las. Cacat *incomplete fusion* disebabkan karena input yang dilakukan pada saat proses pengelasan kurang besar, sehingga material las tidak menyatu dengan sempurna, selain itu *feed rate* yang terlalu tinggi juga dapat mengakibatkan cacat karena jika *feed rate* terlalu tinggi maka waktu proses pengelasan semakin cepat, sehingga memungkinkan material las tidak menyatu dengan baik. Selain itu semua hasil las juga terdapat *joint line remnant* yang terlihat seperti garis lengkung *joint line remnant* terbentuk karena adanya oksida yang terjebak pada saat proses pengelasan (Threadgill, 2009).



Gambar 4.2 Struktur Makro dan Mikro Pengaruh Variasi Panjang Pin Terhadap Daerah BM, HAZ Dan Stir zone Dengan Variasi Panjang Pin (A), Pin 4,2 mm, (B) Pin 4,5 mm, dan (c) Pin 4,8 mm

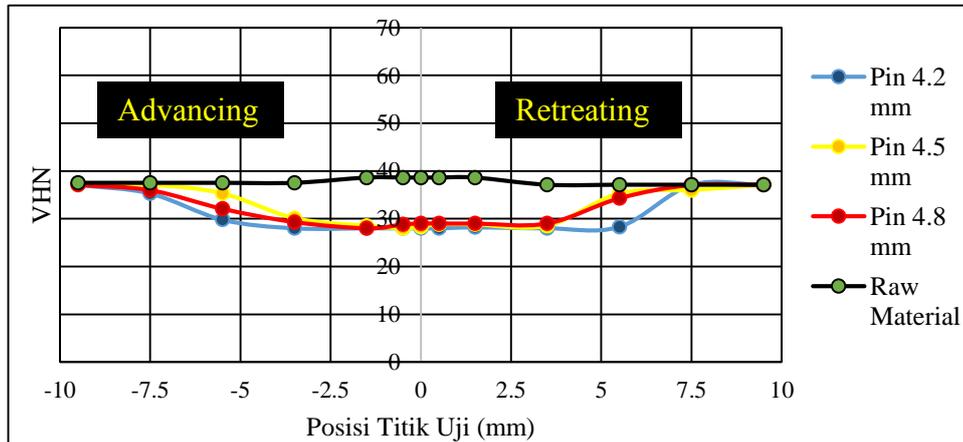
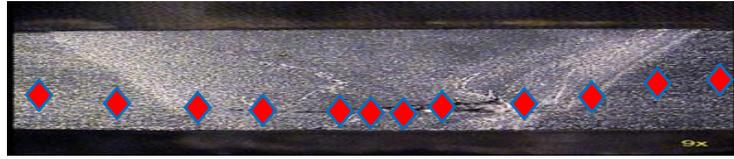
Pengujian foto mikro ini dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi akibat dari proses pengelasan FSW yang terdapat di daerah *stir zone*, HAZ, dan *base metal*. Ketiga daerah tersebut mendapat perlakuan yang berbeda pada saat proses pengelasan berlangsung, dengan perlakuan yang berbeda maka hasilnya pun berbeda seperti pada Gambar 4.3. Pada Gambar 4.3 *heat input* akibat gesekan pin dengan spesimen pada proses pengelasan mudah menyebar, butiran hitam yang terdapat pada foto mikro memiliki perbedaan yang sangat signifikan dan adanya rekristalisasi yang disebabkan oleh proses pengelasan. Adanya rekristalisasi ini menjadi salah satu penyebab menurunnya nilai kekerasan.

4.3 Hasil Uji Kekerasan

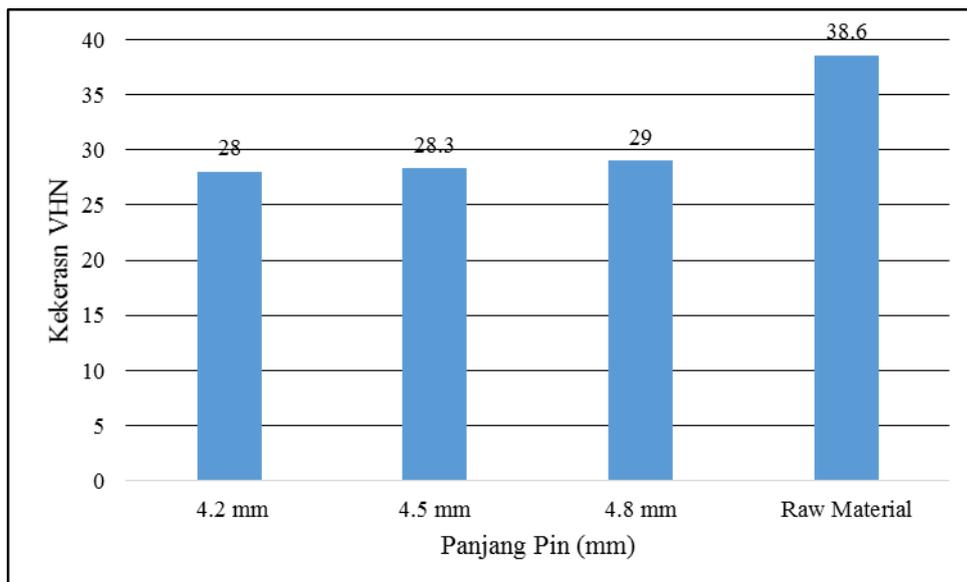
Pada pengujian kekerasan kali ini dilakukan pada setiap spesimen hasil pengelasan menggunakan metode *friction stir welding* dengan variasi panjang pin dengan pengujian kekerasan *mikrovickers*. Pada table 4.1 menunjukkan hasil pengujian kekerasan dengan menggunakan *vickers*.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kekerasan

No	Jarak dari sambungan (mm)	Nilai Kekerasan VHN			
		4.2 mm	4.5 mm	4.8 mm	<i>Raw Material</i>
1	Kanan	9.5	37.1	37.1	37.1
2		7.5	37.1	36	37.1
3		5.5	28.3	35.3	34.3
4		3.5	28	28.5	29
5		1.5	28.2	28.8	29
6		0.5	28	28.8	29
7	Tengah	0	28	28.3	29
8	Kiri	-0.5	28	28	28.8
9		-1.5	28	28.5	28
10		-3.5	28	30.1	29.3
11		-5.5	29.8	35.3	32.1
12		-7.5	35.3	37.1	36
13		-9.5	37.1	37.1	37.1



Gambar 4.3 Grafik Distribusi Kekerasan Dari Pusat Las



Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Panjang Pin Terhadap Kekerasan Pada Daerah Sambungan Las

Dari Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 diketahui bahwa nilai kekerasan tertinggi pada pin 4,8 mm. Hal ini dikarenakan heat input yang dihasilkan pada pin 4,8 mm cukup maksimal, pada hasil kekerasan setiap variasi pin terjadi kekerasan yang homogen, meskipun nilai kekerasan dibawah nilai raw materialnya. Jika dilihat dari foto stuktur mikro hal ini disebabkan karena terdapat

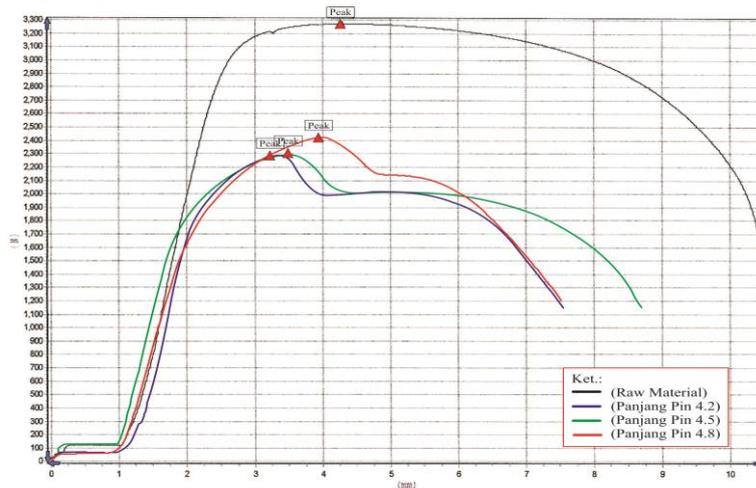
butiran hitam yang membesar dan melebar pada masing-masing variasi pin dan pada pengelasan FSW tidak dimasukkannya logam baru (*electrode*) pada saat pengelasan. Kekurangan pada pengelasan FSW ini yaitu terjadinya pelunakan pada daerah las akibat panas yang timbul dan penurunan nilai kekerasan pada daerah las, selain karena karakteristik dari paduan itu sendiri juga disebabkan karena proses pengerasan yang tidak bisa terjadi ketika proses pengelasan berlangsung. Pada pengelasan FSW penyambungan logam dilakukan dengan gesekan dan adukan tanpa adanya logam pengisi diantara material.

Table 4.2 Tabel Perbandingan Nilai Kekerasan Sekarang Dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian Terdahulu (Romadhoni,2016)		Penelitian Sekarang	
Bahan Aluminium 1xxx		Bahan Aluminium 1xxx	
Putaran <i>Tool</i> (rpm)	Kekerasan pada daerah sambungan las (VHN)	Panjang Pin (mm)	Kekerasan pada daerah sambungan las (VHN)
<i>Raw Material</i>	40.1	<i>Raw Material</i>	38.6
980	59.1	4,2	28
2300	33.4	4,5	28.3
2700	44.9	4,8	29

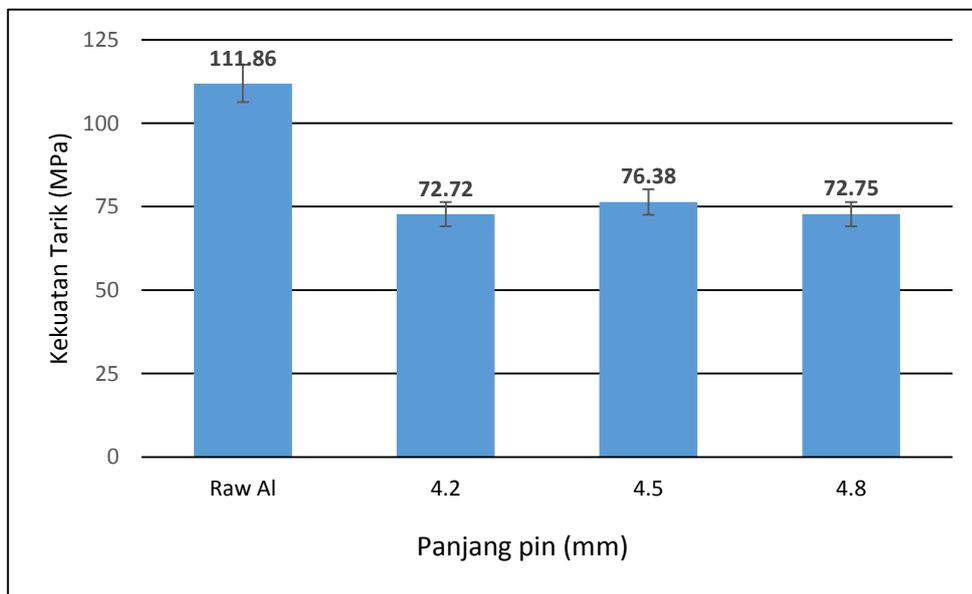
4.4 Hasil Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan dengan dimensi uji tarik menggunakan standar ASTM-E8 pada material aluminium seri 1xxx hasil pengelasan dengan metode *friction stir welding*.



Gambar 4.5 Grafik Uji Tarik Hasil FSW Pada Variasi Panjang Pin

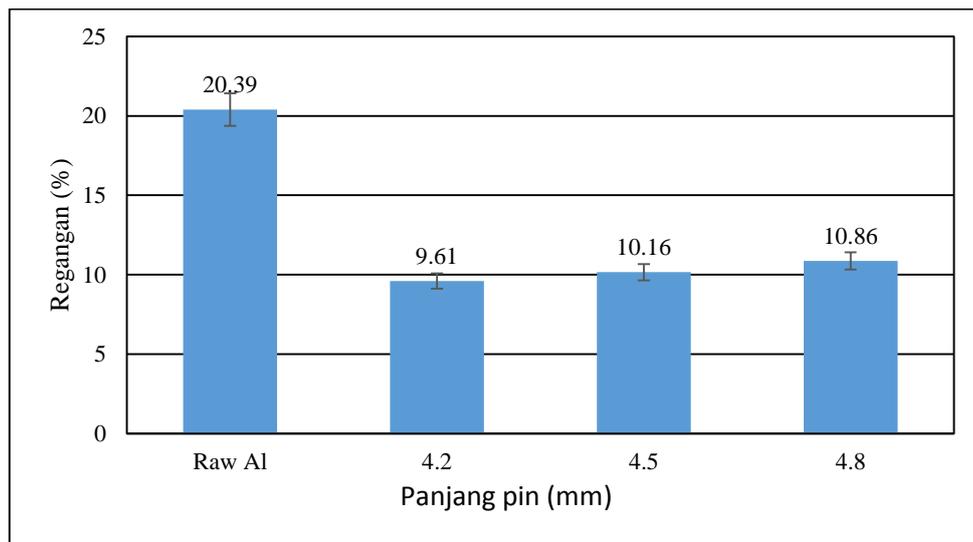
Gambar 4.5 menunjukkan bahwa antara logam induk aluminium seri 1xxx dengan logam yang sudah dilas memiliki perbedaan tegangan tarik yang sangat signifikan yaitu 68.29% dari kekuatan raw materialnya. Hal ini dapat terjadi pada daerah las karena mengalami perubahan struktur mikro akibat dari penempaan pada saat proses pengelasan.



Gambar 4.6 Grafik Variasi Panjang Pin Terhadap Kekuatan Tarik

Dari Gambar 4.6 menunjukkan bahwa kekuatan tarik dari sambungan FSW dengan variasi panjang pin 4,2 mm, 4,5 mm, dan 4,8 mm hasilnya yaitu 72,72 MPa, 76,38 MPa, dan 72,75 MPa. Kekuatan tarik tertinggi didapat pada

pin 4,5 mm sebesar 76,38 MPa. Diduga hal ini terjadi karena proses pengadukan dan penempatan yang tepat pada pin 4,5 mm, di mana kedalaman pin tidak terlalu dangkal dan tidak terlalu dalam sehingga heat input yang dihasilkan lebih stabil. Akan tetapi dari semua proses pengelasan mengalami penurunan kekuatan tarik dari *raw materialnya*, hal ini disebabkan karena terdapat cacat *incomplete fusion* pada pusat las. Cacat *incomplete fusion* bisa disebabkan karena pembenaman pin yang terlalu dangkal atau terlalu dalam dan *heat input* pada proses pengelasan yang dihasilkan tidak maksimal, selain itu *feed rate* yang terlalu tinggi juga dapat menyebabkan cacat *incomplete fusion*, karena semakin tinggi *feed rate* maka proses pengelasan semakin cepat memungkinkan material las tidak menyatu dengan baik.



Gambar 4.7 Grafik Variasi Panjang Pin Terhadap Regangan

Pada Gambar 4.7 menunjukkan hasil pengujian tarik untuk nilai regangan dengan variasi panjang pin 4,2 mm sebesar 9.61%, pin 4,5 mm sebesar 10.16%, pada pin 4,8 mm sebesar 10.86% dan pada *raw material* sebesar 20.39%. Menurut Sudrajat (2012) kekuatan tarik berbanding terbalik dengan regangannya. Semakin besar kekuatannya maka regangannya semakin kecil, jika semakin kecil kekuatannya regangannya akan semakin besar. Akan tetapi pada pengujian tarik di atas menunjukkan nilai kekuatan tarik dan regangan terendah pada pin 4,2 mm. Kemungkinan penyebabnya pembenaman pin yang terlalu

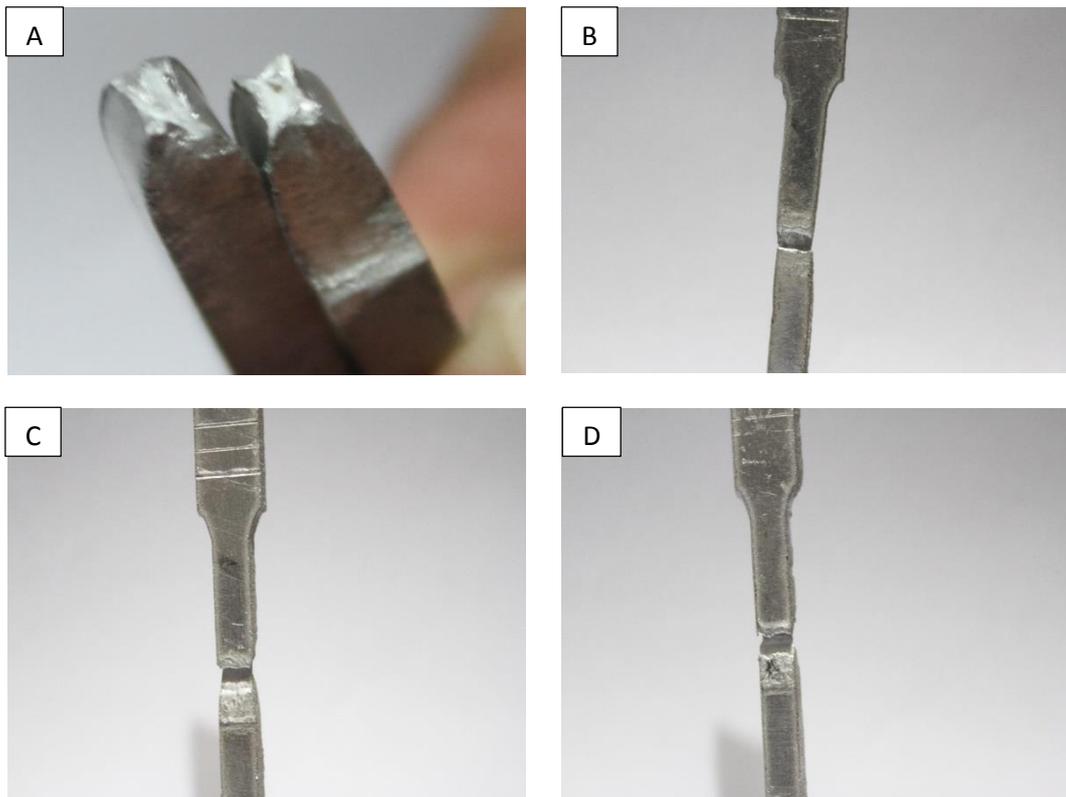
dangkal menghasilkan *heat input* yang kurang maksimal sehingga menyebabkan cacat *incomplete fussion* yang menyebabkan kekuatan tarik dan regangan menurun. Perbedaan nilai kekuatan tarik dan regangan terjadi karena pada material hasil pengelasan memiliki cacat, baik itu cacat bagian luar maupun bagian dalam.

Table 4.2 Tabel perbandingan nilai uji tarik sekarang dengan penelitian terdahulu

Penelitian Terdahulu (Sudrajat, 2012)			Penelitian Sekarang		
Bahan AA 1100			Bahan Al 1xxx		
Putaran <i>Tool</i> (rpm)	Tegangan	Regangan	Panjang Pin (mm)	Tegangan	Regangan
	MPa	%		MPa	%
<i>Raw Material</i>	119.5	10	<i>Raw Material</i>	111.86	20.39
780	52.222	21.875	4,2	72.72	9.61
980	38.472	15.525	4,5	76.38	10.16
1120	56.528	21.875	4,8	72.75	10.86
<i>Feed Rate</i> (15 mm/min)			<i>Feed Rate</i> (20 mm/min)		

4.5 Fraktografi

Setelah dilakukan pengujian kekuatan tarik dilakukan pengujian fraktografi pada patahan benda uji, hasil fraktografi dapat dilihat pada Gambar 4.9. Pada Gambar 4.8 (b), (c), dan (d) menunjukkan hasil pengelasan FSW dimana pada setiap variasi mengalami patahan ulet meski terjadi patahan pada bagian tengah spesimen. Hal ini disebabkan karena hasil las yang tidak menyatu dengan baik dan terdapat cacat *incomplete fussion* pada daerah lasan. Pada Gambar 4.10 (a) pada raw material menunjukkan patahan yang ulet dimana sebelum terjadi patahan terjadi perpanjangan terlebih dahulu.



Gambar 4.8 Penampang Patahan Spesimen Uji Tarik Dengan Variasi Panjang Pin (a) raw material, (b) Pin 4,2 mm, (c) Pin 4,5 mm, (d) Pin 4,8 mm.

Pada patahan sambungan las dengan variasi panjang pin yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 pada setiap variasi terdapat cacat *incomplete fusion* yang menyebabkan tidak menyatunya hasil lasan dengan sempurna. Hal ini juga yang menyebabkan kekuatan tarik menurun dan pada Gambar 4.9 (a) bentuk patahan pada raw material tidak berada tepat pada tengah spesimen hal ini menandakan bahwa spesimen yang ulet dimana sebelum terjadi patahan mengalami penyusutan. Pada Gambar 4.9 (b), (c), dan (d) terjadi patahan ulet dimana pada masing-masing spesimen terjadi penyusutan sebelum terjadi patahan. Dan terjadi patahan pada bagian tengah spesimen yang diakibatkan cacat *incomplete fusion*.



Gambar 4.9 Patahan Uji Tarik Tampak Samping Dengan Variasi Panjang Pin (a) raw material, (b) Pin 4,2 mm, (c) Pin 4,5 mm, dan (d) Pin 4,8 mm