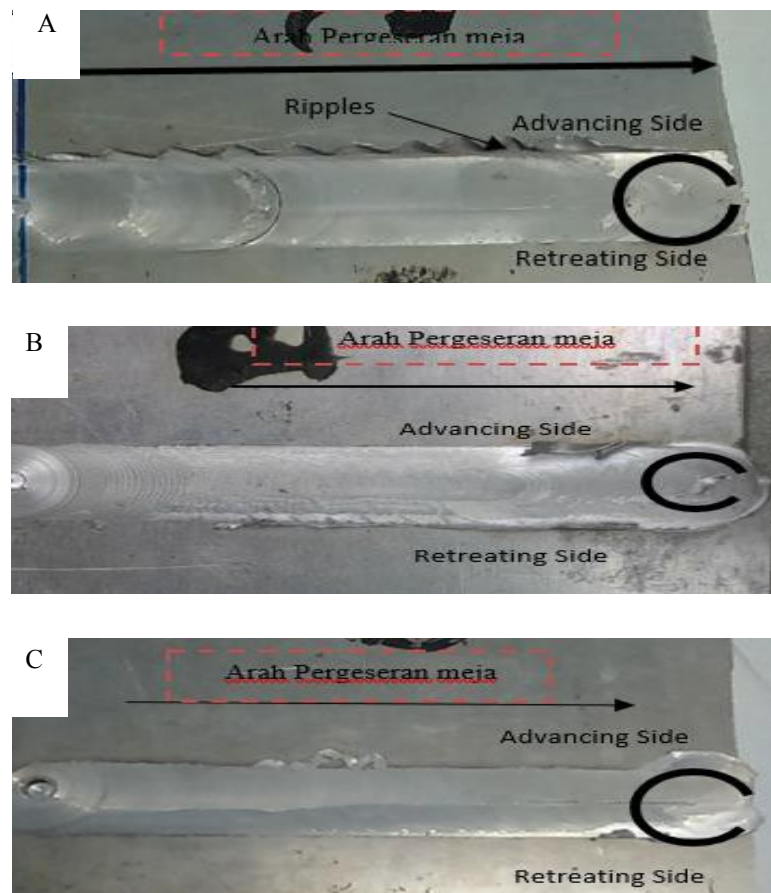


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengelasan FSW

Hasil pengelasan aluminium dissimilar dengan variasi kecepatan putar tool dan menggunakan metode pengelasan *friction stir welding* dilakukan secara bolak-balik/ tumpuk ditunjukkan pada Gambar 4.1. Pengelasan dengan metode FSW merupakan pengelasan yang terjadi pada kondisi padat (*solid state joining*) dengan memanfaatkan gesekan dari benda kerja yang berputar dengan benda kerja lain yang diam sehingga melelehkan benda kerja yang diam tersebut dan akhirnya tersambung menjadi satu.



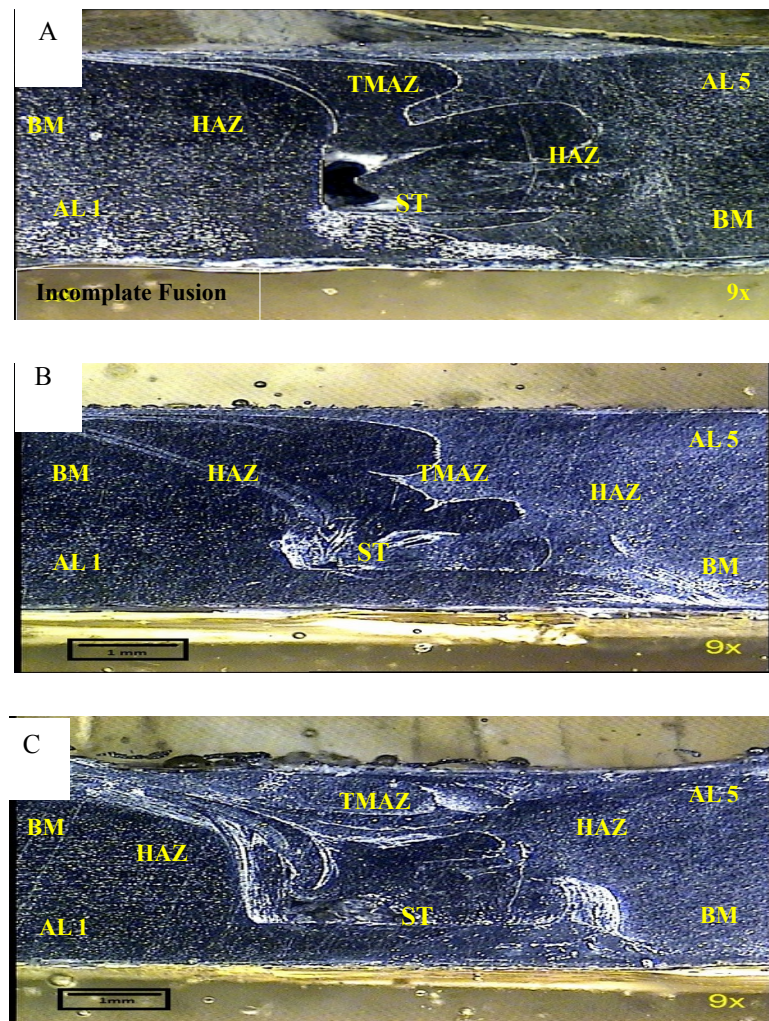
Gambar 4.1 Hasil pengelasan FSW dua sisi antara aluminium 1xxx dengan 5xxx variasi kecepatan putar (A) Rpm 910 (B) Rpm 1500 dan (C) Rpm 2280.

Pada Gambar 4.1 (A) hasil pengelasan dengan metode FSW dengan rpm 910 permukaan lasannya terlihat kasar hal ini disebabkan pada permukaan lasan terdapat *repples* hal ini dikarenakan penetrasi pin *tool* kecepatan *feed rate* terlalu pelan sehingga menghasilkan panas yang cukup berlebih akibatnya banyak melelehkan aluminium yang akhirnya muncul kepermukaan kehasil pengelasan. Gambar 4.1 (B) dan (C) sambungan las menyatu dengan baik walaupun masih terdapat cacat yang disebabkan oleh *tools* yang terlalu menempel pada plat pada saat proses pengelasan dan tidak halus nya permukaan *tool* yang bergesekan dengan benda kerja yang menyebabkan hasil las tidak begitu halus dan rapi.

4.2 Hasil Makro dan Mikro

a. Hasil Makro

Pengamatan makro dikerjakan untuk mengetahui dan bisa membedakan daerah hasil lasan yang terdiri dari logam induk. Yaitu : HAZ, TMAZ dan *stir zone* pada hasil pengelasan FSW. Setelah diamati pada hasil foto struktur makro dengan pembesaran 9x hasil pengelasan *Friction Stir Welding* terdapat cacat *incomplete fussion* pada setiap variasi kecepatan putar. Terjadinya cacat *incomplate fussion* ini pada kecepatan putar 910 rpm, cacat ini terjadi karena pada saat proses pengelasan terjadi hambatan yaitu adanya slip yang dikarenakan *heat input* kurang tinggi sehingga penyambungan tidak dapat menyatu dengan sempurna yang mengakibatkan terjadinya celah pada pusat sambungan las.

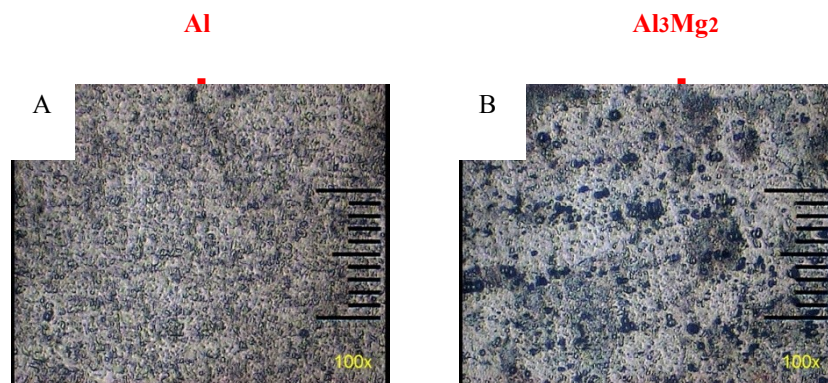


Gambar 4.2 Struktur makro variasi kecepatan putar
(A) Rpm 910 (B) Rpm 1500 dan (C) Rpm 2280

b. Hasil Mikro

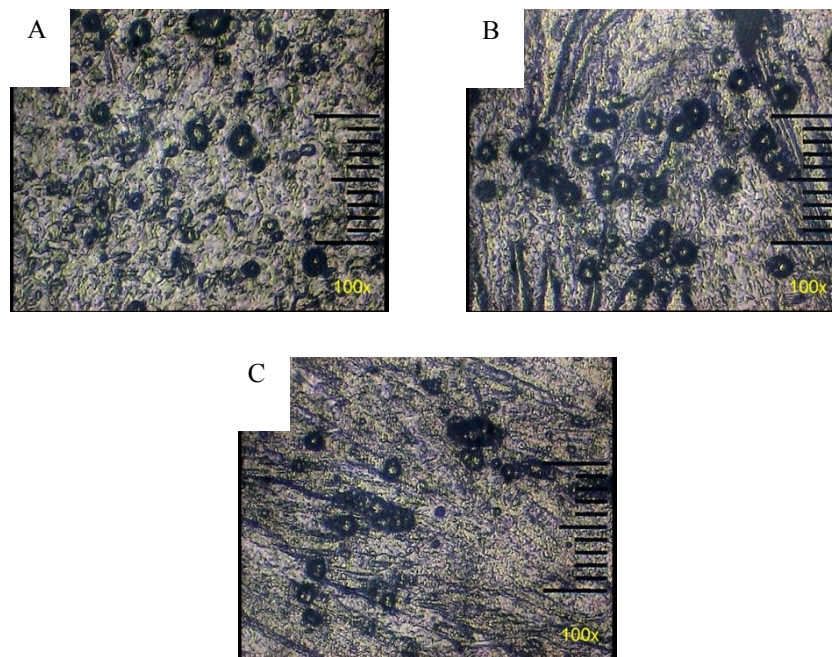
Pengamatan struktur mikro dikerjakan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi akibat adanya proses pengelasan dengan metode FSW, yaitu di daerah Stir zone, HAZ, TMAZ, dan base metal. Pada pengelasan FSW dua sisi dengan menggunakan aluminium seri 5052 hanya terjadi penghasulan partikel-partikel pada daerah stir zone dan tidak perubahan fase. Menurut wahdiyanto (2015) partikel hitam yang terdispersi merata pada matriks aluminium adalah Al_3Mg_2 , seperti yang dijelaskan pada Gambar 4.4

Ketiga daerah (*stir zone*, *HAZ* dan *base metal*) itu mendapatkan perlakuan yang berbeda pada saat proses pengelasan berlangsung, dengan adanya perlakuan yang berbeda maka ketiganya memiliki struktur mikro yang berdeda. Pengujian struktur mikro dilakukan dengan cara mengambil foto dengan pembesaran 100x untuk mengetahui struktur yang terjadi.



Gambar 4.3 Struktur Mikro Daerah Base Metal
(A) Aluminium 1xxx dan (B) Aluminium 5xxx

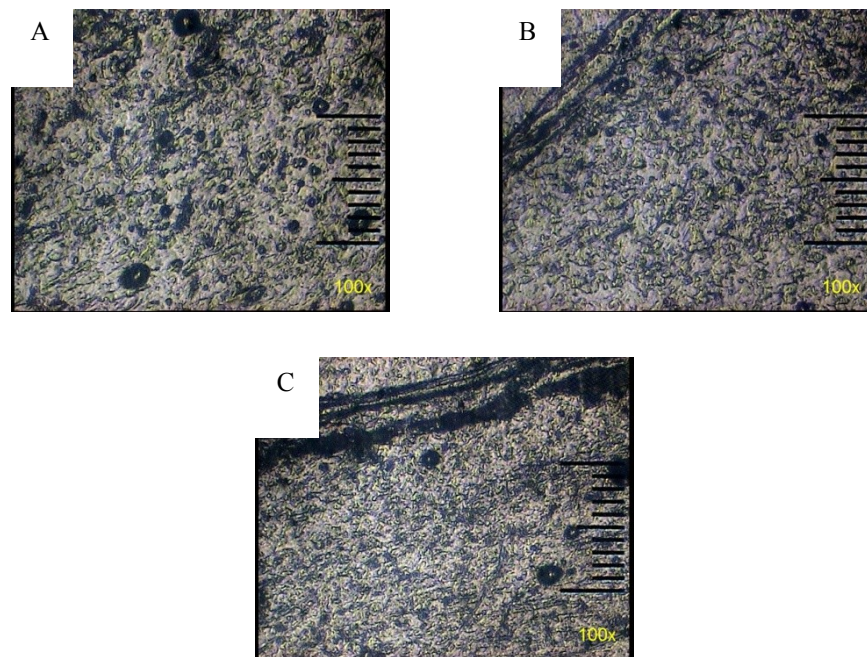
Gambar 4.3 adalah struktur mikro daerah *base metal* (BM) aluminium seri 1xxx dan 5xxx. Daerah *base metal* adalah bahan material yang belum dilas, jadi material tidak mengalami deformasi dan perubahan struktur makro. Bentuk butir pada *base metal* aluminium 1xxx dan aluminium 5xxx yaitu berbentuk proses perlakuan *cold working* pada saat proses pembuatannya.



Gambar 4.4 Struktur Mikro Daerah Stir Zone
(A) Rpm 910 (B) Rpm 1500 dan (C) Rpm 2280

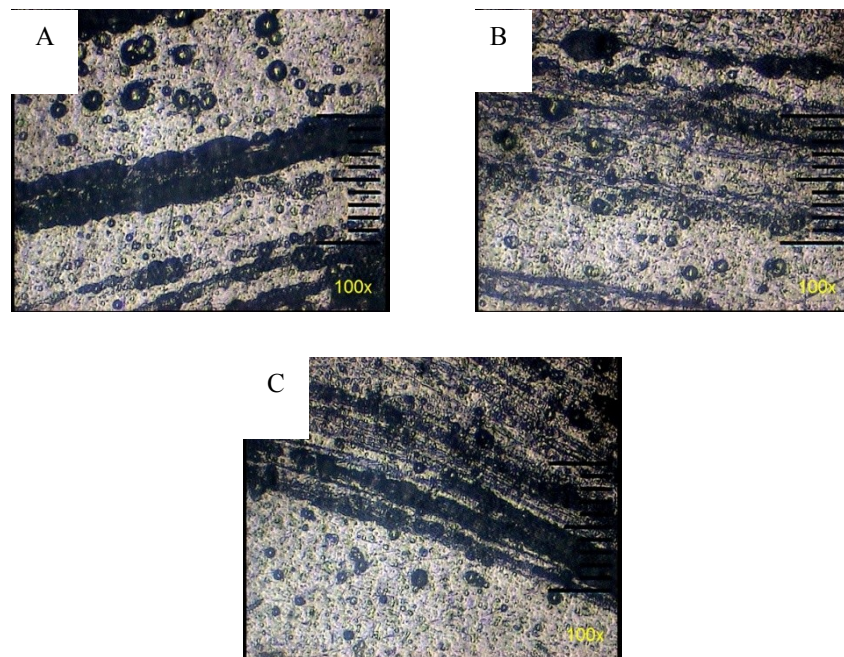
Hasil pengamatan struktur mikro pada gambar 4.4 *stir zone* merupakan bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair kemudian membeku. Batas butir paling kecil terdapat pada kecepatan putar 2280 rpm dibandingkan dengan kecepatan putar 910 dan 1500 rpm yang memiliki batas lebih besar. Hal ini disebabkan karena semakin besar kecepatan putar maka akan semakin kecil batas butirnya.

Daerah HAZ 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 baik (merata) dibandingkan pada variasi kecepatan putar 910 rpm, hal tersebut dikarenakan pada kecepatan putar 910 rpm lambat sehingga proses pengadukan kurang maksimal.



Gambar 4.5 Struktur Mikro Daerah HAZ Aluminium 1xxx
(A) Rpm 910 (B) Rpm 1500 dan (C) Rpm 2280

Daerah HAZ 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 baik (merata) dibandingkan pada variasi kecepatan putar 910 rpm, hal tersebut dikarenakan pada kecepatan putar 910 rpm lambat sehingga proses pengadukan kurang maksimal.



Gambar 4.6 Struktur Mikro Daerah HAZ Aluminium 5xxx
(A) Rpm 910 (B) Rpm 1500 dan (C) Rpm 2280

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* yaitu hasil penyambungan pengelasan kurang merata dikarenakan pada kecepatan putar 910 rpm lambat dibandingkan kecepatan putar 1500 dan 2280 rpm yang hasil pengelasannya merata.

4.3 Hasil Uji Kekerasan

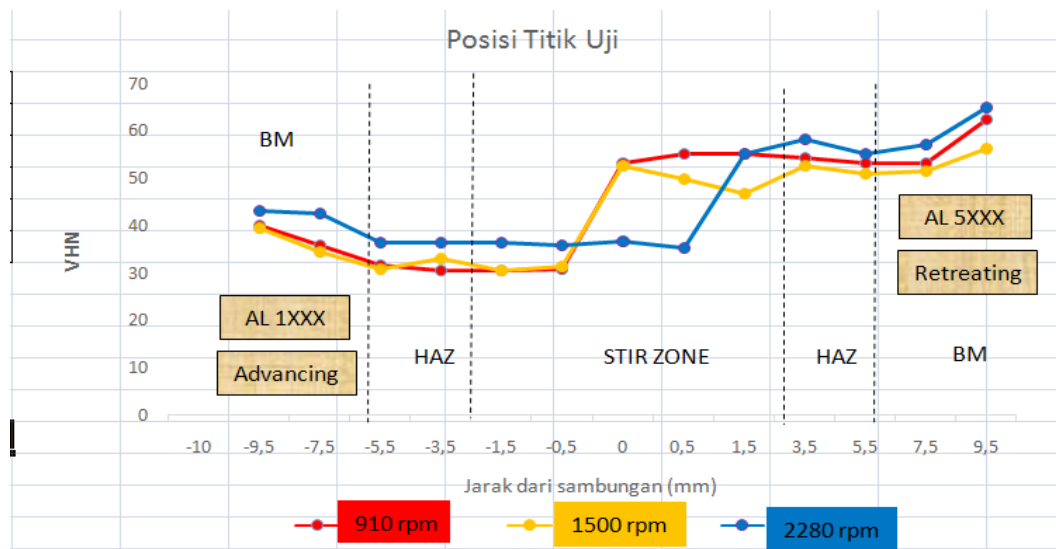
Hasil uji kekerasan pengelasan FSW menggunakan *micro hardness vickers* dan ditunjukkan dalam bentuk grafik hubungan jarak tiap penetrasi indentor terhadap pusat las dengan besarnya *Vickers hardness number* (VHN). Hasil plot grafik uji kekerasan ditunjukkan pada Tabel 4.1. Menunjukkan data hasil pengujian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

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kekerasan

No	Jarak dari Sambungan (mm)		Nilai Kekerasan VHN				
			910Rpm	1500Rpm	2280Rpm	Raw Material 1xxx	Raw Material 5xxx
1	Al Seri 1xxx	9.5	40.1	39.5	43.2		
2		7.5	35.8	34.3	42.6		
3		5.5	31.7	30.9	36.3		
4		3.5	30.5	33	36.3		
5		1.5	30.5	30.5	36.3		
6		0.5	30.9	31.3	35,8		
7	Tengah	0	53.3	52.4	36.8	38.4	66
8	Al Seri 5xxx	- 0.5	55.1	49.8	35.3	39.5	67.3
9		- 1.5	55.1	46.7	55.1		
10		- 3.5	54.2	52.4	58.1		
11		- 5.5	53.3	50.7	55.1		
12		- 7.5	53.3	51.5	57.1		
13		- 9.5	62.4	56.1	64.8		

Pada proses pengelasan aluminium *Friction Stir Welding* dua sisi dengan menggunakan variasi kecepatan putar *pin tool*, kecepatan *feed rate* dan sudut kemiringan *pin tool*. Nilai kekerasan pada bagian tengah/daerah lasan lebih tinggi dari raw material aluminium seri 1xxx (retreating) berbeda dengan raw

material aluminium seri 5xxx (advancing) yang memiliki nilai kekerasan paling tinggi dari pusat las dapat dilihat pada tabel 4.1.



Gambar 4.7 Grafik Uji Kekerasan

Dari gambar 4.7 grafik hasil uji nilai kekerasan pada daerah retreating dengan nilai 66.8 VHN lebih tinggi dari pada daerah advancing dengan nilai 38.7 VHN karena menggunakan bahan aluminium yang berbeda dan pada tiap kecepatan putar terlihat nilainya naik turun didaerah Stir Zone dan HAZ hal ini disebabkan karena pada proses pengujian salah satu titik spesimen yang terlihat dari gambar struktur mikro terdapat rongga/ pori-pori sehingga mengakibatkan naik turunnya nilai kekerasan.

Nilai kekesaran tertinggi pada daerah base metal aluminium 1xxx pada kecepatan putar 2280 rpm sebesar 43.2 VHN dan terendah pada kecepatan putar 1500 rpm sebesar 34.3 VHN, nilai kekerasan tertinggi pada daerah HAZ aluminium 1xxx pada keceparan putar 2280 rpm sebesar 36.3 VHN dan terendah pada kecepatan putar 910 rpm sebesar 30.5 VHN, nilai kekerasan tertinggi pada daerah stir zone pada kecepatan putar 910 rpm sebesar 53.3 VHN dan terendah pada kecepatan putar 2280 rpm sebesar 36.8 VHN, nilai

kekerasan tertinggi pada kecepatan putar daerah HAZ aluminium 5xxx pada kecepatan putar 2280 rpm sebesar 58.1 VHN dan terendah pada kecepatan putar 1500 rpm 50.7 VHN, dan nilai kekerasan tertinggi pada daerah base metal aluminium 5xxx pada kecepatan putar 2280 rpm sebesar 64.8 rpm dan terendah pada kecepatan putar 1500 rpm sebesar 51.5 VHN.

4.4 Hasil Uji Tarik

Pengujian uji tarik dilakukan dengan dimensi uji tarik menggunakan standar ASTM E8-09 pada material aluminium seri 1xxx dan 5xxx pengelasan *Friction Stir Welding* dua sisi/ tumpuk dengan kecepatan putar 910 rpm, 1500 rpm, dan 2280 rpm. Sifat-sifat logam induk secara umum yang meliputi sifat fisik, sifat mekanik dan sifat kimianya, logam induk aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx dengan logam yang sudah dilas memiliki perbedaan nilai tegangan dan regangan yang sangat signifikan. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Kekuatan Hasil Uji Tarik

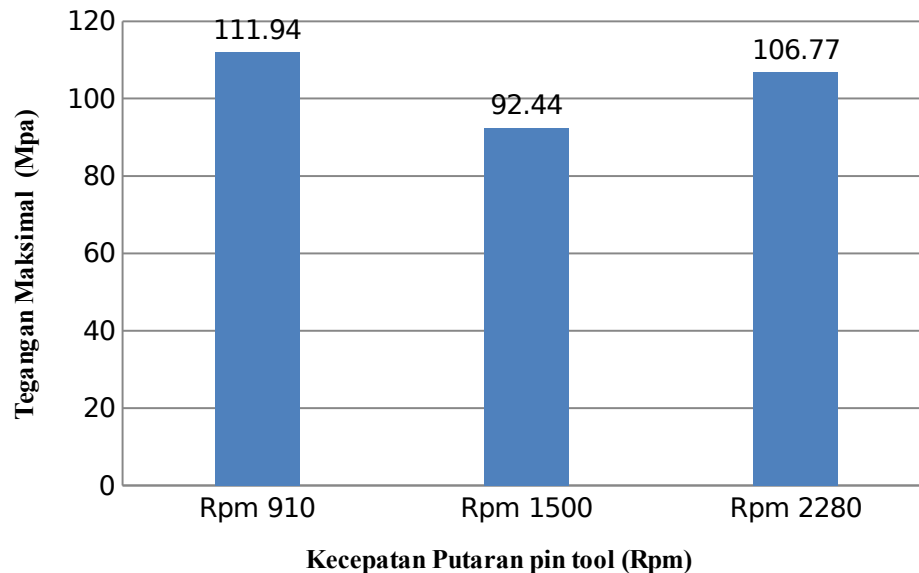
Kecepatan Putar Pin Tool (Rpm)	Luas (mm ²)	Kekuatan Tarik (Mpa)			Rata-rata (Mpa)	Standar deviasi
		Spesimen I	Spesimen II	Spesimen III		
910	30	99.27	122.51	114.05	111.94	11.76
1500	30	100.93	109.25	67.16	92.44	22.29
2280	30	108.68	99.96	111.68	106.77	6.08

Tabel 4.3 Regangan Hasil Uji tarik

Kecepatan Putar Pin Tool (Rpm)	Luas (mm ²)	Regangan (mm/mm)			Rata-rata (%)	Standar deviasi
		Spesimen I	Spesimen II	Spesimen III		
910	30	0.04	0.07	0.06	0.056	0.015
1500	30	0.04	0.07	0.02	0.043	0.025

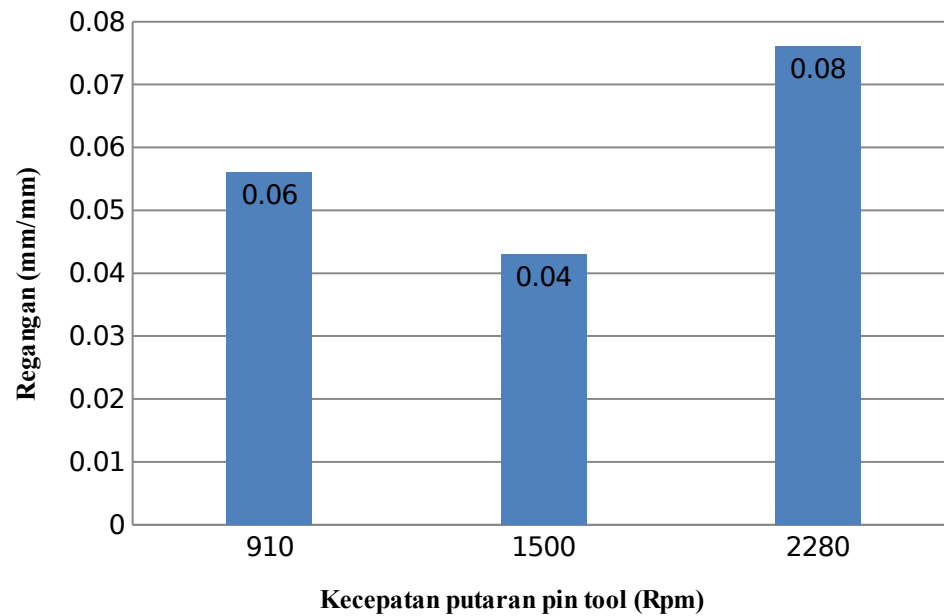
2280	30	0.07	0.05	0.11	0.076	0.030
------	----	------	------	------	-------	-------

Dari tabel diatas didapatkan grafik hubungan antara kecepatan putar tool terhadap tegangan dan regangan tarik pada gambar 4.9-4.10.



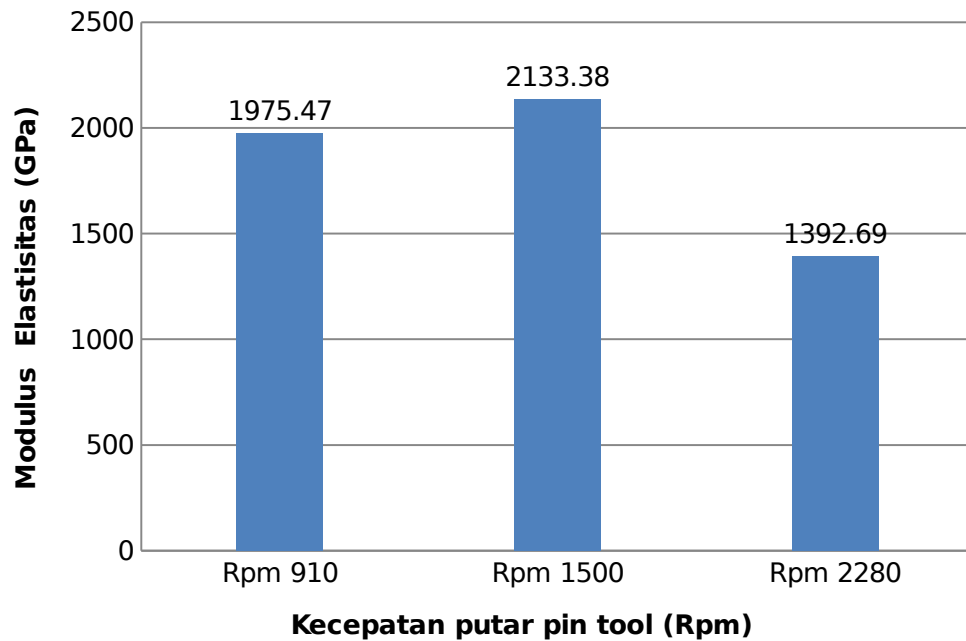
Gambar 4.8 Pengaruh Kecepatan Putar Terhadap Kekuatan Tarik

Pada gambar 4.8 hasil pengujian tarik pada variasi kecepatan putar dapat diketahui bahwa kekuatan tarik pada kecepatan putar 910 rpm mendapatkan nilai UTS sebesar 111.94 Mpa. Sedangkan nilai tegangan terendah pada kecepatan putar 1500 rpm yaitu sebesar 92.44 Mpa karena disebabkan terdapat rongga yang membentuk butiran kasar pada spesimen sehingga mengalami pahatan yang getas.



Gambar 4.10 Pengaruh Kecepatan Putar Terhadap Regangan

Pada gambar 4.10 hasil dari pengujian tarik pada variasi kecepatan putar dapat diperoleh nilai regangan tertinggi terdapat pada kecepatan putar 2280 rpm yaitu sebesar 0.076 mm karena disebabkan adanya *nacking* (pengecilan penampang) pada spesimen sehingga mengalami patahan yang ulet. Sedangkan terendah terdapat pada kecepatan putar 1500 yaitu sebesar 0.043 mm.

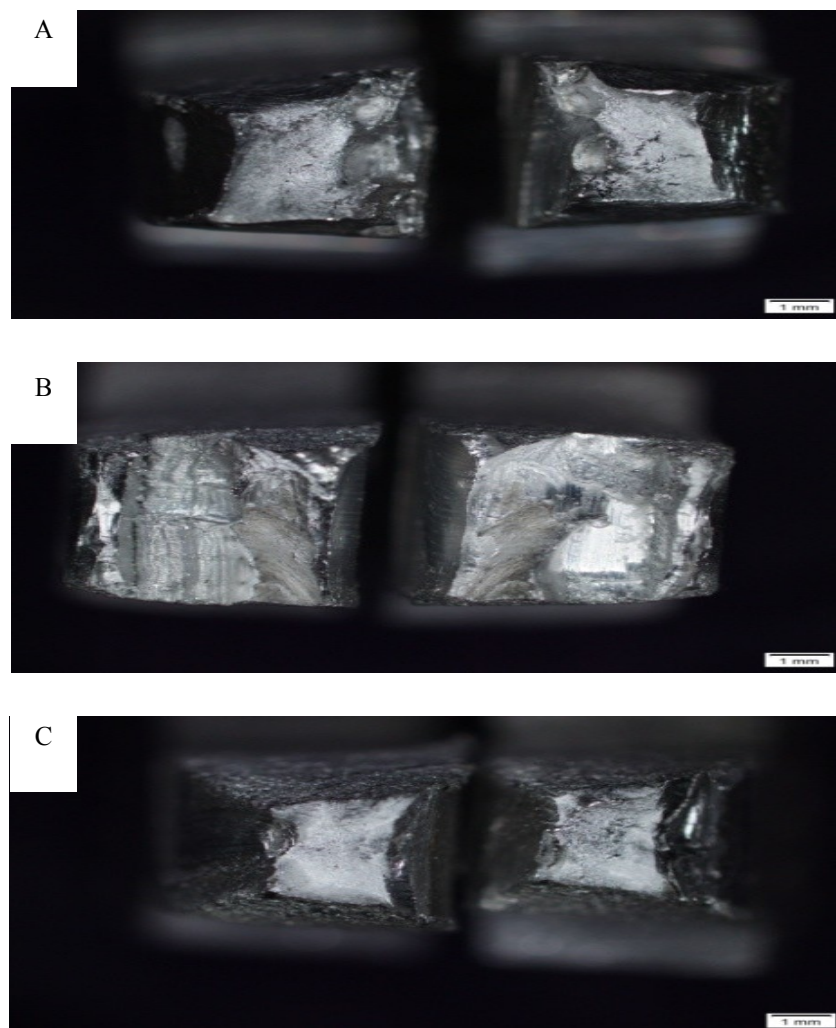


Gambar 4.11 Grafik modulus elastisitas

Pada gambar 4.11 kecepatan putar 910 rpm didapat nilai modulus elastisitas 1975.47 GPa, pada kecepatan putar 1500 rpm didapat nilai modulus elastisitas 2133.38 GPa, dan pada kecepatan putar 2280 rpm didapat nilai modulus elastisitas 1392.69 GPa. Nilai modulus elastisitas terendah terdapat pada variasi 2800 rpm yang disebabkan *heat input* belum cukup untuk melelehkan material sehingga menghasilkan sambungan yang solid. Sedangkan nilai modulus elastisitas tertinggi pada variasi 1500 rpm karena *heat input* cukup untuk melelehkan material sehingga didapat sambungan yang kuat.

4.5 Fraktografi

Analisa fraktografi dilakukan setelah melakukan pengujian tarik selesai maka akan mendapatkan hasil berupa kekuatan tarik dari pengelasan FSW. Proses pengambilan gambar dengan menggunakan alat mikroskop makro pengambilan gambar dengan meletakkan benda uji ditempat yang presisi agar dapat menghasilkan gambar yang maksimal.



Gambar 4.12 Permukaan patahan uji tarik
(A) Rpm 910 (B) Rpm 1500 dan (C) Rpm 2280

Setelah melakukan pengujian tarik pada hasil pengelasan FSW maka akan mendapatkan hasil patahan seperti pada gambar 4.12 menunjukkan bahwa daerah permukaan patahan hasil pengelasan yang runcing dan tidak rata. Patahan biasanya terjadi atas beberapa macam, yaitu *necking* (pengecilan penampang), terbentuknya rongga-rongga kecil, pembesaran rongga besar atau terjadi retak tegak lurus gaya yang berkerja dan pada akhirnya retak menjalar sampai terjadinya patahan. Proses pengelasan *Friction Stir Welding* dua sisi dengan aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx menghasilkan sambungan las yang bersifat ulet yang ditandai dengan adanya *necking* pada patahan spesimen uji. Pada gambar 4.12 (b) mengalami patahan getas karena adanya cacat *incomplate fussion*. Cacat *incomplate fussion* yang terbentuk berupa lubang kecil yang terjadi pada bagian las dan tidak begitu menyatu dengan *spesimen* yang dilas, hal tersebut membuktikan bahwa nilai kekuatan tarik berhungan dengan nilai kekerasan.