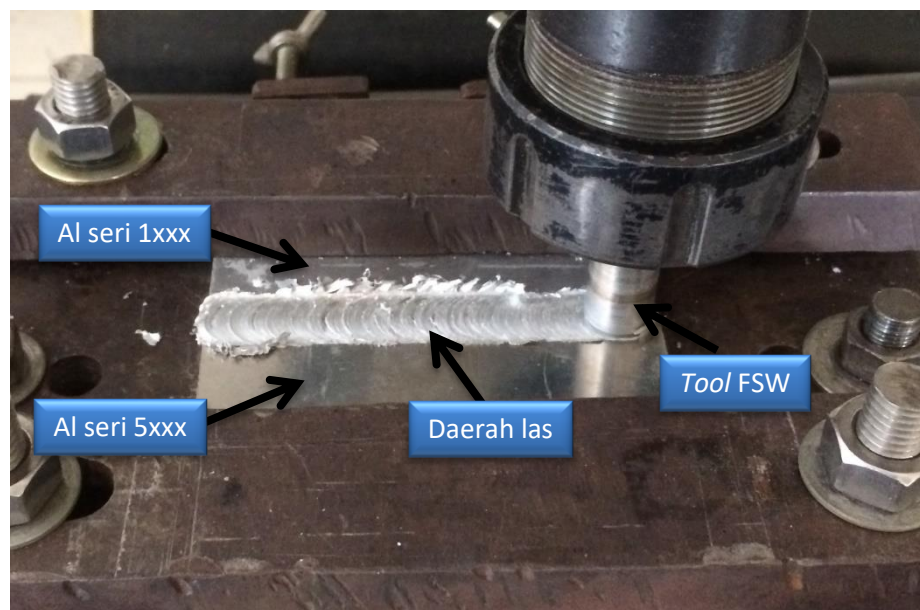


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

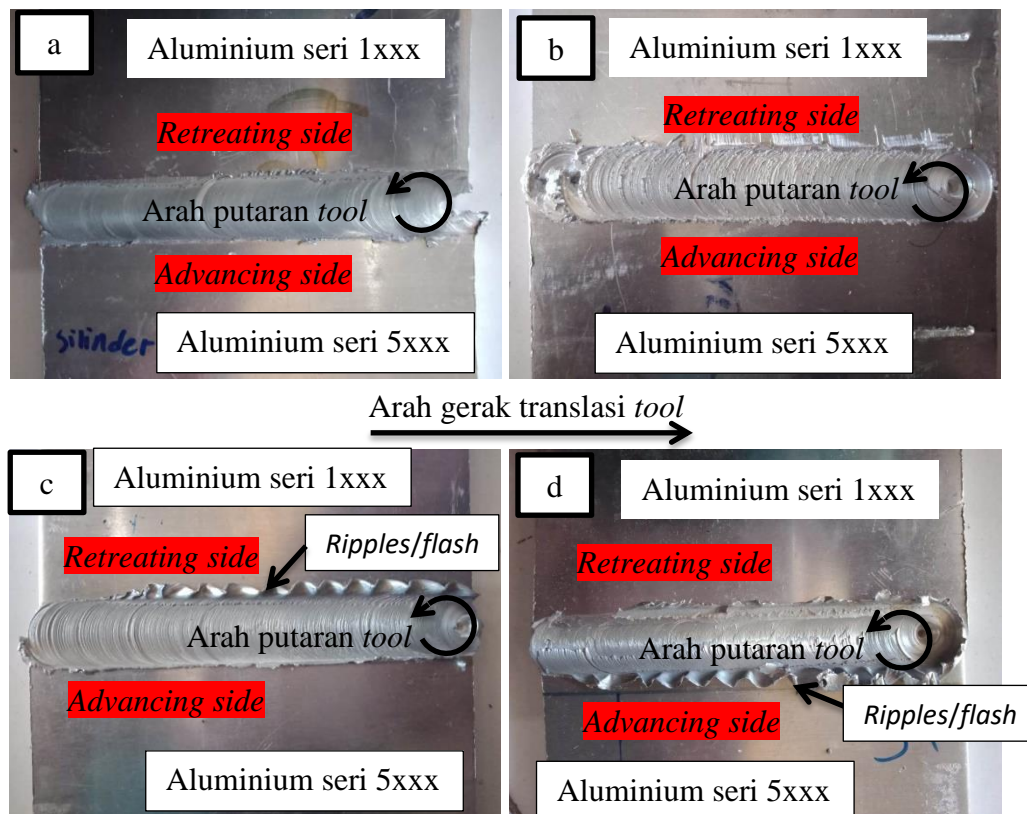
4.1. Hasil Pengelasan Pada FSW *Dissimilar*

Proses pengelasan menggunakan metode *friction stir welding* pada aluminium *dissimilar* seri 1xxx dan seri 5xxx ditunjukkan pada Gambar 4.1. Metode FSW merupakan proses penyambungan material yang terjadi pada kondisi padat (*solid state joining*) dengan memanfaatkan energi panas yang terjadi akibat gesekan dari *welding tool* yang berputar dengan benda kerja yang diam. Energi panas tersebut mampu melelehkan kedua benda kerja sehingga dapat tersambung menjadi satu.



Gambar 4.1 Proses pengelasan dengan metode *Friction Stir Welding*

Pada penelitian ini mendapatkan hasil sambungan las yang cukup bagus, walaupun masih terdapat cacat pada permukaan las. Hasil pengelasan FSW *dissimilar* antara aluminium seri 1xxx dengan 5 xxx pada masing-masing variasi bentuk *pin tool* dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 hasil pengelasan FSW *dissimilar* antara aluminium seri 1xxx dengan aluminium seri 5xxx variasi bentuk *pin tool* (a) silinder berulir, (b) silinder tidak berulir, (c) tirus berulir, (d) tirus tidak berulir.

Pada gambar 4.2 hasil pengelasan pada masing-masing variasi bentuk *pin tool* dapat dilihat dari perbedaan bentuk dan kehalusan permukaan sambungan las dengan menggunakan metode FSW pada kecepatan putar 985 rpm dan *feed rate* 5 mm/min. pada gambar 4.2 (a) hasil pengelasan dengan menggunakan *pin tool* berbentuk silinder berulir. Sambungan las menyatu dengan baik, bentuk dan kehalusan permukaan las terlihat rapi dan tidak terdapat *ripples/flash*. Hal tersebut dikarenakan panas yang dihasilkan oleh gesekan *shoulder* dengan benda kerja pada saat proses pengelasan cukup dan konstan hingga akhir pengelasan. Gambar 4.2 (b) menunjukkan hasil pengelasan menggunakan *pin tool* berbentuk silinder tidak berulir. Pada awal proses pengelasan sambungan las tidak menyatu dengan sempurna dan permukaan lasan terlihat kasar. Hal tersebut dikarenakan gerakan translasi *tool* sudah dimulai tetapi temperatur pada benda kerja belum mencapai suhu rekristalisasi yaitu diatas 80°C sehingga ketika awal proses pengelasan

temperatur yang terjadi belum berada pada kisaran suhu 88°-210°C. Pada gambar 4.2(c) adalah hasil dari pengelasan menggunakan *pin tool* berbentuk tirus berulir. Permukaan hasil las terlihat halus dan sambungan menyatu dengan baik. Walaupun masih terdapat *ripples/flash* di sepanjang jalur lasan. *Ripples/flash* disebabkan oleh terlalu dalamnya penetrasi dari *welding tool* terhadap benda kerja pada saat proses pengelasan. Gambar 4.2 (d) permukaan hasil lasan terlihat retak disepanjang jalur las yang disebabkan oleh kecepatan pengelasan yang tidak konstan pada saat proses pengelasan. Terdapat juga *ripples/flash* pada hasil lasan yang disebabkan oleh terlalu dalamnya penetrasi dari *welding tool*.

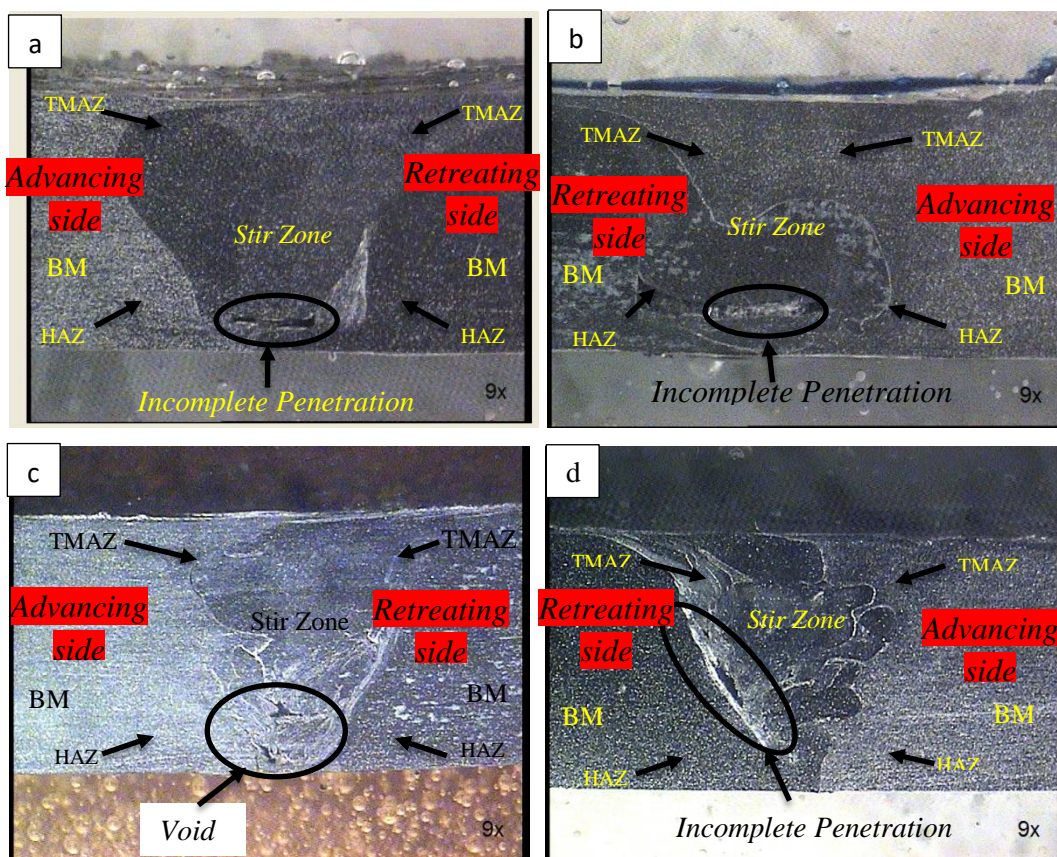
4.2. Hasil Foto Makro dan Mikro

Pengujian foto makro dan mikro dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Mesin D3 Universitas Gadjah Mada. Sebelum melakukan pengamatan foto makro dan mikro, spesimen uji di etsa terlebih dahulu. Larutan etsa yang digunakan sesuai dengan standar ASTM E407-07 yaitu *Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*. Larutan etsa yang diaplikasikan pada aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx memakai standar etsa no.6 yaitu terdiri dari 25 mL HNO₃ dan 75 mL Aquades. Proses pengetsan dilakukan selama 3-60 detik dan dipilih waktu yang tepat untuk menghindari spesimen uji menjadi gosong dan berwarna hitam. Spesimen uji yang terlalu lama dicelupkan ke dalam larutan etsa akan menjadi gosong, sehingga batas butir dan daerah las tidak dapat terlihat.

4.2.1. Hasil Foto Makro

Berdasarkan hasil pengamatan foto struktur makro pada setiap spesimen uji memiliki perbedaan yang sangat signifikan baik dari segi bentuk maupun sifat mekaniknya. Hal ini dikarenakan panas yang ditimbulkan dari gesekan antara benda kerja dengan *shoulder* dan setiap variasi bentuk *pin tool* berbeda sehingga menyebabkan proses pelunakan material pada daerah las (*stir zone*) tidak seluruhnya melunak. Proses pelunakan material sangat berperan penting dalam pengelasan dengan metode FSW ini karena jika material tidak meleleh maka *pin tool* yang berfungsi sebagai pengaduk dan penyambung material tidak akan mengaduk dengan sempurna.

Pada Gambar 4.3 adalah hasil foto struktur makro daerah pengelasan pada masing-masing spesimen. Spesimen di foto dengan pembesaran 9x sehingga terlihat perbedaan antara daerah *stir zone*, TMAZ, HAZ, dan *base metal*. Setelah dilihat ternyata semua hasil lasan masih terdapat adanya cacat berupa *incomplete penetration* (Gambar 4.3 (a), (b), (d)) dan cacat *void* (Gambar 4.3 (c)). Cacat *incomplete penetration* adalah cacat yang terjadi karena material tidak meleleh dan menyatu dengan sempurna sehingga terbentuk celah atau lubang kecil pada daerah las (*stir zone*) sedangkan cacat *void* adalah cacat rongga yang terjadi karena kurangnya tekanan tool terhadap material benda kerja dan mengakibatkan *friction heat* yang dihasilkan tidak mampu melelehkan material dengan sempurna. Hal ini dikarenakan desain *tool* yang tidak tepat seperti pada panjang pin yang terlalu pendek sehingga jarak antara ujung pin dengan bagian bawah tebal plat terlalu besar sehingga menyebabkan panas yang dihasilkan akibat gesekan tidak cukup mampu melunakan dan mengalirkan material benda kerja sampai ke bawah permukaan material benda kerja (Maryati, 2016). Cacat pada hasil lasan dengan menggunakan metode FSW terbesar terlihat pada pengelasan menggunakan bentuk *pin tool* tirus tidak berulir (Gambar 4.3 (d)).



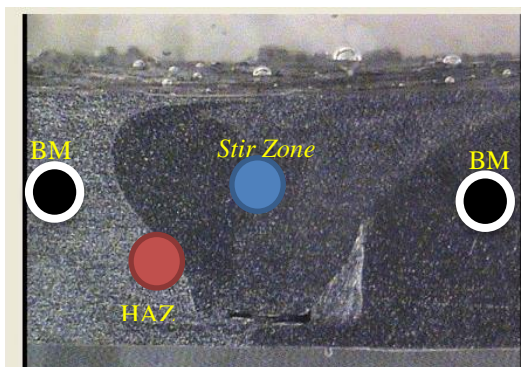
Gambar 4.3 foto struktur makro hasil pengelasan FSW dissimilar aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx dengan variasi bentuk *pin tool* pada (a) silinder berulir, (b) silinder tidak berulir, (c) tirus berulir, (d) tirus tidak berulir.

Perubahan yang terjadi pada daerah *stir zone* (daerah yang bersentuhan langsung dengan *welding tool* dan *shoulder*) merupakan efek dari deformasi pada temperatur tinggi akibat gerakan rotasi dan longitudinal dari *welding tool* dan *shoulder* yang mengakibatkan butiran-butiran pada daerah *stir zone* menjadi lebih kecil dari butiran pada raw materialnya. Menurut (Wijayanto, 2011) ciri-ciri dari daerah *stir zone* adalah daerah beberapa lingkaran konsentris yang disebut sebagai struktur *onion ring* (lingkaran seperti bawang). Pada penelitian tentang pengujian struktur makro hasil lasan FSW *dissimilar* sebelumnya telah dilakukan oleh Wijayanto (2011). Hasilnya bentuk struktur mikro pada daerah *stir zone* butir mengalami distorsi sehingga nampak seperti *onion ring* dan masih terdapat cacat *incomplete penetration* dan cacat *void*. Hasil penelitian ini pun sama bahwa pada daerah tersebut masih terdapat cacat *incomplete penetration* dan cacat *void* karena panas yang dihasilkan akibat gesekan tidak cukup mampu melunakan dan

mengalirkan material benda kerja sampai ke bawah permukaan material benda kerja (Maryati, 2016).

4.2.2. Hasil Foto Mikro

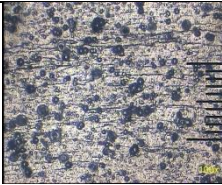
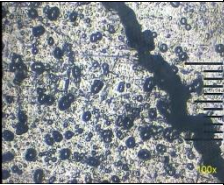
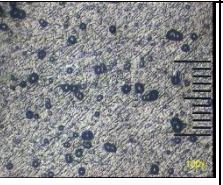
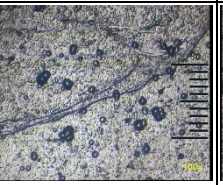
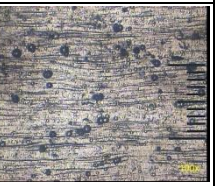
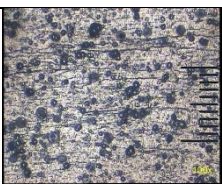
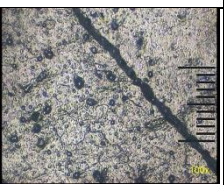

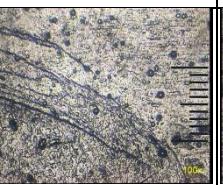
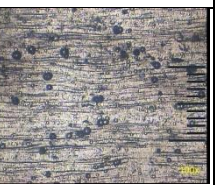
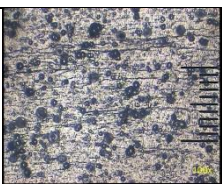

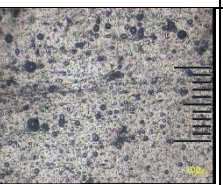
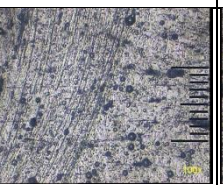
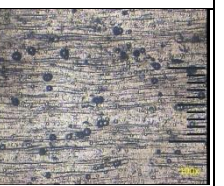
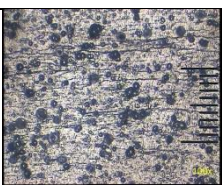



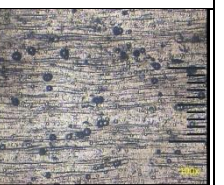
Pengamatan foto struktur mikro dilakukan dengan cara pengambilan foto dengan pembesaran 100x untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi akibat adanya proses pengelasan dengan metode FSW *dissimilar* pada aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx dengan variasi bentuk *pin tool*. Daerah pengamatan ditunjukkan pada Gambar 4.4 yaitu daerah *stir zone*, HAZ, dan *base metal*.



Gambar 4.4 Daerah pengamatan struktur mikro

Pada Gambar 4.4 adalah posisi pengambilan foto pada daerah-daerah pengelasan. Daerah yang ditandai dengan bentuk lingkaran adalah titik dimana pengamatan struktur mikro dilakukan. Bentuk lingkaran berwarna hitam menandakan daerah *base metal*, bentuk lingkaran berwarna merah untuk menandakan daerah HAZ dan bentuk lingkaran berwarna biru untuk menandakan daerah pengamatan *stir zone*. Menurut buku *ASM Hand Book Metallography and Microstructure* partikel hitam yang terdapat pada hasil pengujian struktur mikro adalah FeAl_3 , seperti yang diperlihatkan pada tabel 4.1. Hasil pengamatan struktur pada masing-masing spesimen uji dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pengelasan FSW Dissimilar Aluminium Seri 1xxx dan Aluminium Seri 5xxx dengan Variasi Bentuk *Pin Tool*

Variasi Bentuk <i>Pin Tool</i>	Struktur mikro <i>Base Metal</i> Aluminium Seri 1xxx	Struktur mikro Daerah HAZ Aluminium Seri 1xxx	Struktur mikro Daerah <i>Stir Zone</i>	Struktur mikro Daerah HAZ Aluminium Seri 5xxx	Struktur mikro <i>Base Metal</i> Aluminium Seri 5xxx
Silinder Berulir					
Silinder tidak Berulir					
Tirus Berulir					
Tirus tidak Berulir					

Pada Tabel 4.1 adalah foto hasil pengamatan struktur mikro spesimen uji setelah dilakukan proses etsa. Pada tabel tersebut menunjukkan terjadinya perubahan struktur mikro pada masing-masing daerah pengelasan. Hal ini dikarenakan panas yang diterima pada masing-masing daerah lasan berbeda-beda. Pada daerah *base metal* aluminium seri 1xxx dan 5xxx menunjukkan daerah tersebut tidak terpengaruh oleh panas yang dihasilkan oleh proses pengelasan, dapat dilihat bahwa bentuk butir dan dimensi struktur mikro yang tampak pada *base metal* berbentuk pipih dan memanjang searah *roll*. Pada daerah HAZ aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx disemua hasil lasan terdapat garis hitam memanjang yang merupakan daerah *interface* antara raw material

aluminium dengan daerah *stir zone*. Hal ini dikarenakan perbedaan metalurgi logam las pada proses pengelasan tak sejenis yang mengakibatkan daerah tersebut terlihat jelas dan menandakan bahwa sambungan antar material menyatu dengan baik.

Pada daerah *stir zone* adalah daerah yang mengalami deformasi dan pemanasan selama proses FSW berlangsung sehingga menghasilkan rekristalisasi yang merubah dimensi dan bentuk butir menjadi halus. Proses FSW menggunakan *welding tool* dengan *pin tool* berbentuk tirus tidak berulir menghasilkan struktur mikro yang lebih halus dan rapat dibandingkan menggunakan bentuk *pin tool* lainnya. Hal ini akan berpengaruh pada sifat mekanik seperti kekuatan tarik dan kekerasan dari hasil sambungan las tersebut.

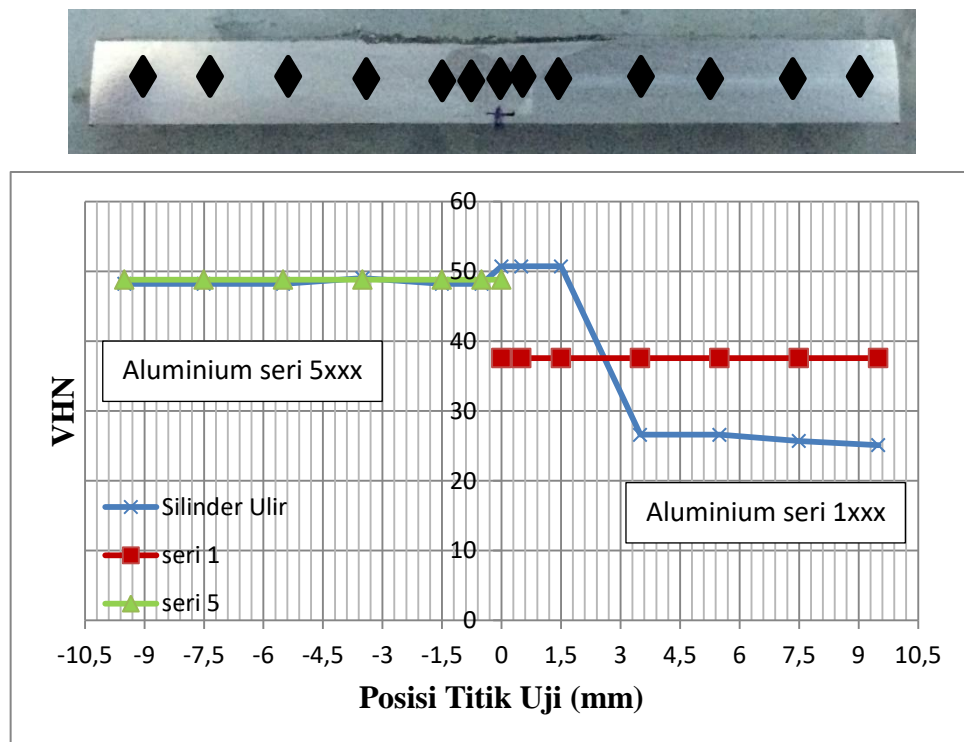
4.3. Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Mesin D3 Universitas Gadjah Mada. Pengujian ini dilakukan pada setiap spesimen hasil pengelasan FSW dengan variasi bentuk *pin tool*. Tabel 4.2 menunjukkan data hasil uji kekerasan dengan menggunakan metode uji *Micro Vickers* dengan beban yang digunakan sebesar 100 gf selama 5 detik, kemudian pada Gambar 4.5 sampai Gambar 4.9 menunjukkan grafik distribusi kekerasan hasil pengelasan FSW pada setiap variasi bentuk *pin tool* dan pada gambar 4.10 adalah grafik perbandingan nilai kekerasan pada daerah sambungan las (titik 0) disetiap variasi bentuk *pin tool* pengelasan.

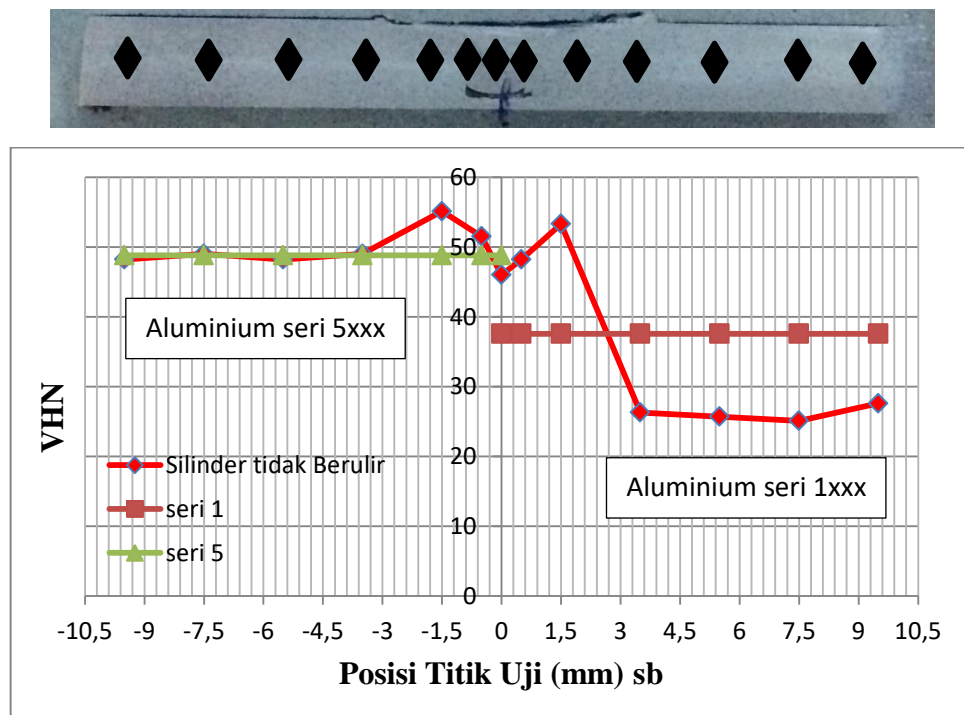
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan

No	Posisi titik uji (mm)	Nilai Kekerasan VHN					
		Silinder Berulir	Silinder tidak Berulir	Tirus Berulir	Tirus tidak Berulir	Al seri 1xxx	Al Seri 5xxx
1	9.5	25.1	27.6	34.8	36.8	-	-
2	7.5	25.7	25.1	33.4	35.8	-	-
3	5.5	26.6	25.7	29	34.8	-	-
4	3.5	26.6	26.3	26	27.9	-	-
5	1.5	50.7	53.3	56.1	26.9	-	-
6	0.5	50.7	48.2	54.2	67.3	36.8	48.2
7	0	50.7	46	56.1	72.7	38.4	47.5
8	-0.5	48.2	51.5	58.1	71.3	37.8	50.7
9	-1.5	48.2	55.1	61.3	74.2	-	-
10	-3.5	49	49	53.3	52.4	-	-
11	-5.5	48.2	48.2	53.3	49.8	-	-
12	-7.5	48.2	49	51.5	50.7	-	-
13	-9.5	48.2	48.2	51.5	51.5	-	-
Rata-rata		42,01	42,55	47,58	50,16	37,56	48,8

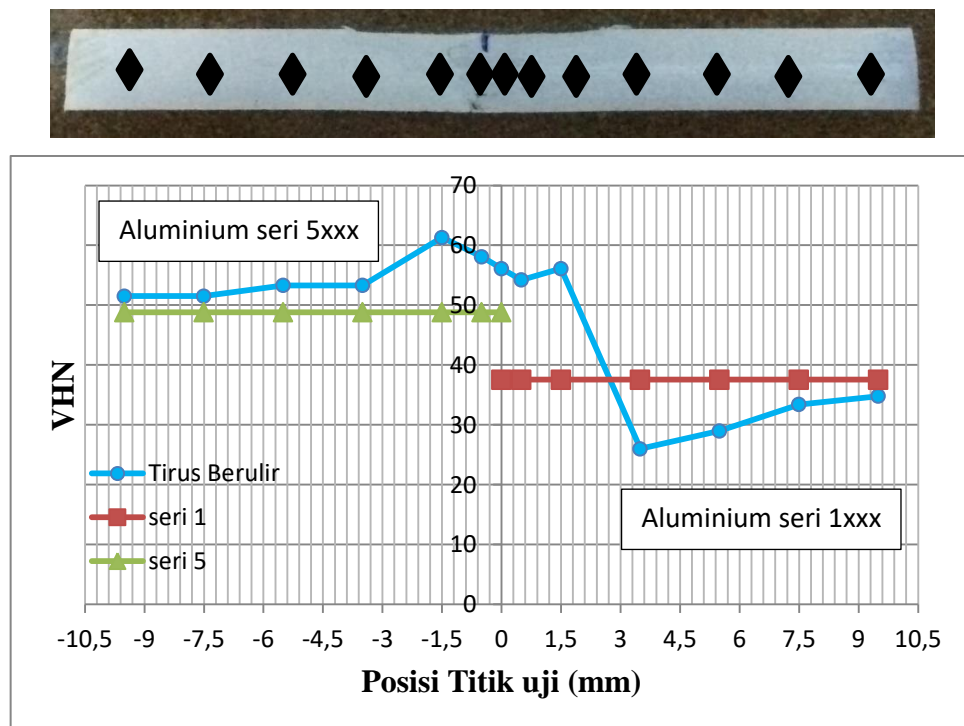
Proses pengelasan *dissimilar* aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx dengan metode *Friction Stir Welding* (FSW) menggunakan putaran 985 rpm dengan kecepatan *feed rate* 5 mm/min. Variasi pengelasan yang digunakan adalah perbedaan bentuk *pin* pada *welding tool* yaitu *pin tool* berbentuk silinder ulir, silinder tidak berulir, tirus berulir dan tirus tidak berulir. Sehingga dari perbedaan variasi bentuk *pin tool* pada proses pengelasan dengan metode FSW sangat berpengaruh pada nilai kekerasan hasil sambungan las. Pada Tabel 4.2 bagian posisi titik uji dengan nilai 0 merupakan pusat dari daerah sambungan las (*stir zone*), sedangkan tanda nilai plus (+) adalah daerah material aluminium seri 1xxx dan tanda minus (-) adalah daerah material aluminium seri 5xxx.



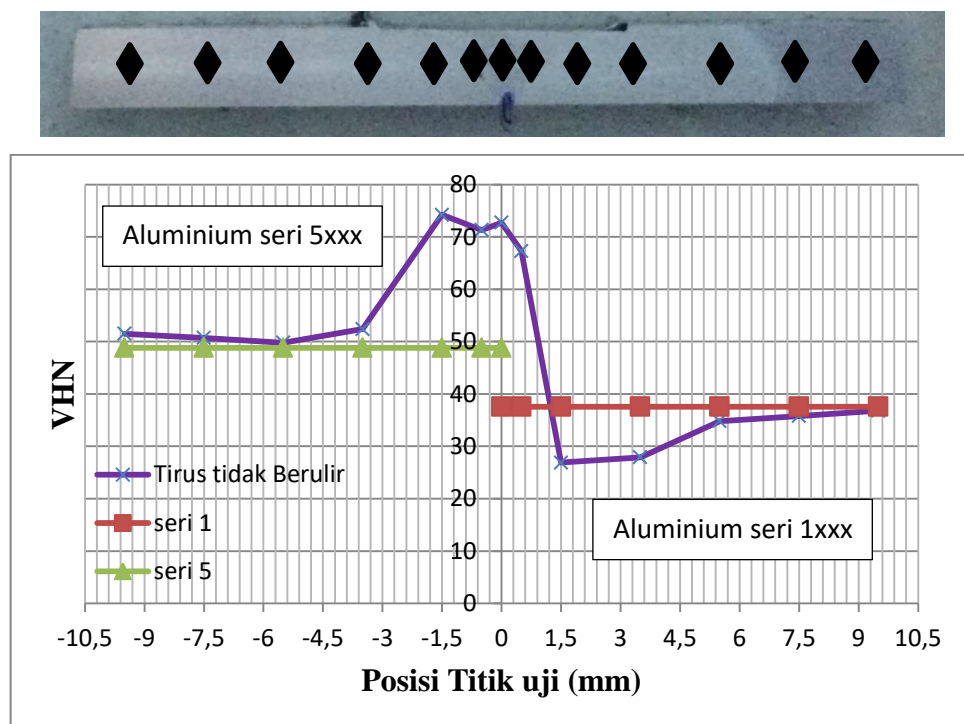
Gambar 4.5 Grafik distribusi kekerasan pengelasan FSW *dissimilar* aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx variasi bentuk *pin tool* silinder berulir



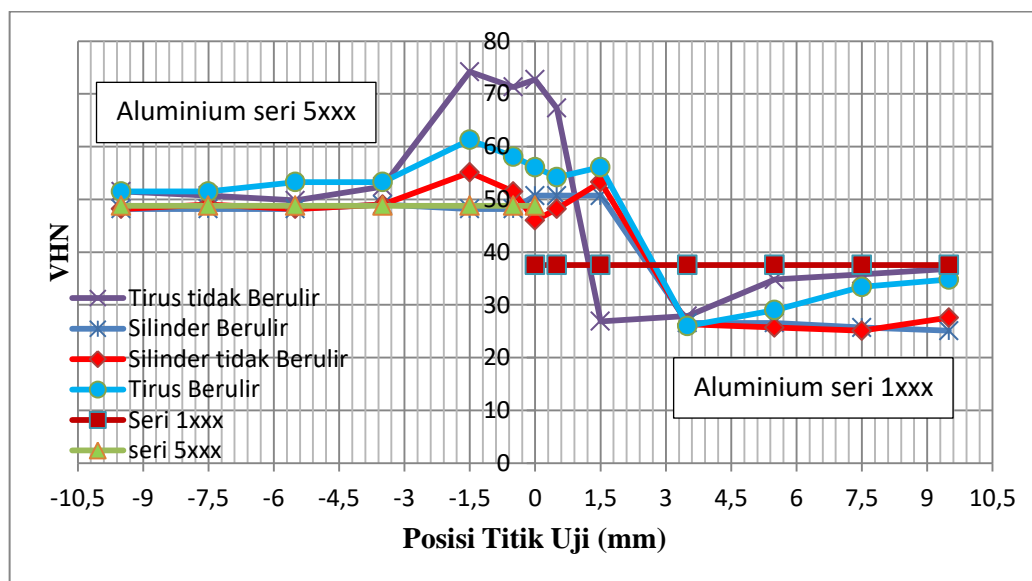
Gambar 4.6 Grafik distribusi kekerasan pengelasan FSW *dissimilar* aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx variasi bentuk *pin tool* silinder tidak berulir



Gambar 4.7 Grafik distribusi kekerasan pengelasan FSW *dissimilar* aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx variasi bentuk *pin tool* tirus berulir

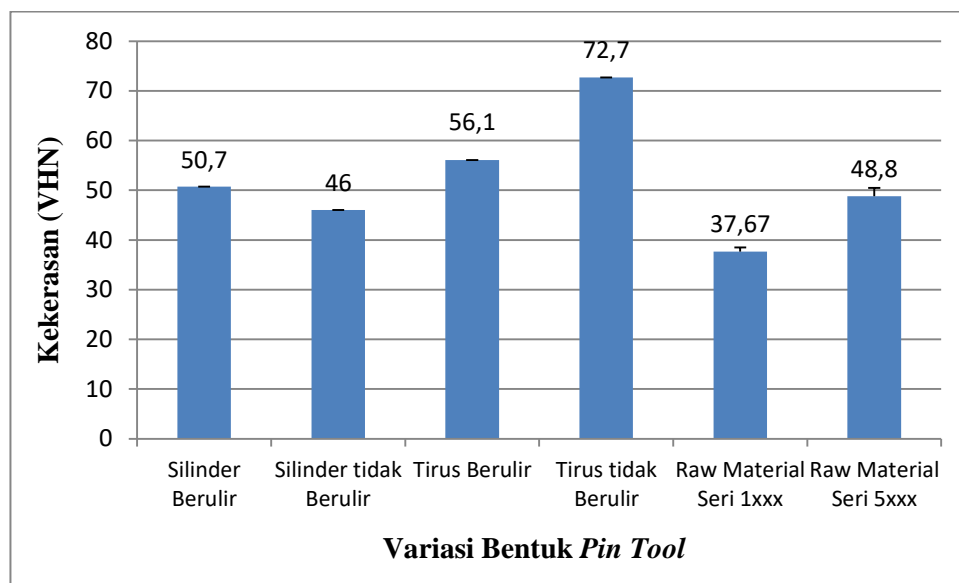


Gambar 4.8 Grafik distribusi kekerasan pengelasan FSW *dissimilar* aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx variasi bentuk *pin tool* tirus tidak berulir



Gambar 4.9 Grafik distribusi kekerasan pengelasan FSW *dissimilar* aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx dari semua variasi bentuk *pin tool*

Dari Gambar 4.9 menunjukkan grafik distribusi nilai kekerasan pada spesimen uji dari hasil pengelasan FSW dengan variasi bentuk *pin tool*. Nilai kekerasan diperoleh dari pengujian dengan metode *Micro Vickers Hardness* dimana terdapat nilai yang berbeda pada setiap titik uji. Spesimen diuji sebanyak 13 titik dari pusat lasan (*stir zone*), HAZ, dan *base metal*. Pada daerah *stir zone* nilai kekerasan mengalami penurunan dan lebih rendah dibandingkan pada daerah HAZ. Penurunan nilai kekerasan pada daerah *stir zone* disebabkan karena perbedaan kekerasan dari *base metal* aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx sehingga proses penyambungan kedua material tersebut relatif sulit jika tidak menerima masukan panas yang cukup pada saat proses pengelasan. Pada beberapa titik pengujian kekerasan baik dibagian aluminium seri 1xxx atau dibagian aluminium seri 5xxx nilai kekerasan yang diperoleh rata-rata melebihi dari raw material aluminium seri 1xxx ataupun aluminium seri 5xxx. Pada grafik distribusi nilai kekerasan tersebut juga terlihat nilai kekerasan tertinggi terdapat pada pengelasan dengan bentuk *pin tool* tirus tidak berulir dititik uji 0 sebesar 72,7 VHN dan nilai kekerasan terendah terdapat pada pengelasan dengan bentuk *pin tool* silinder tidak berulir sebesar 46 VHN.

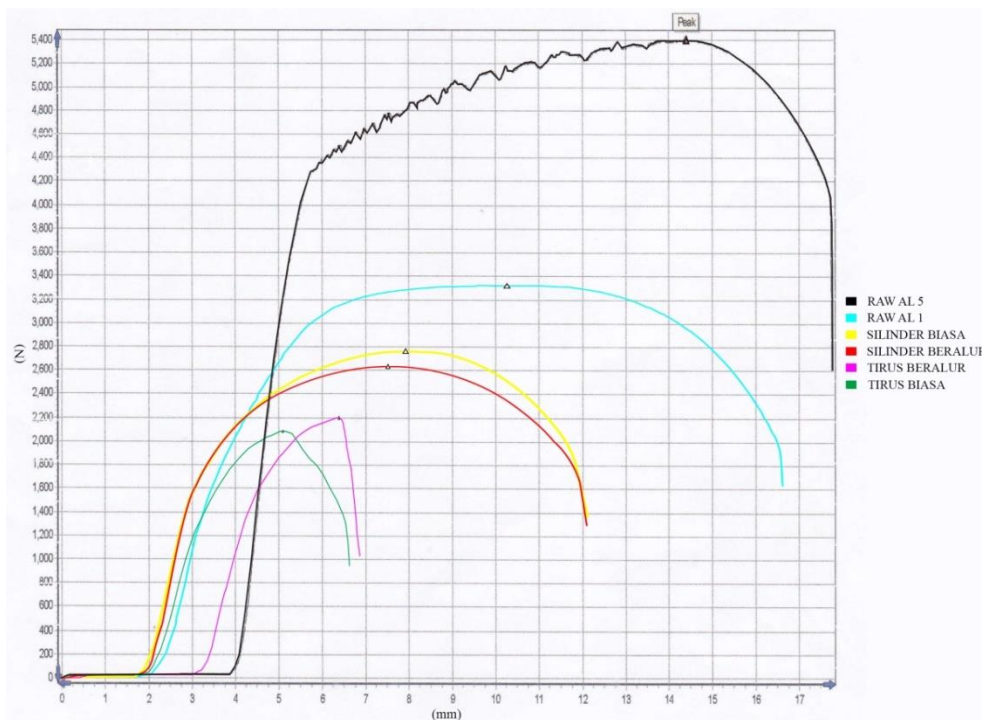


Gambar 4.10 Grafik pengaruh variasi bentuk *pin tool* terhadap kekerasan pada daerah sambungan las (titik 0)

Hasil pengujian kekerasan pada daerah sambungan pengelasan metode FSW *dissimilar* aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx dengan variasi bentuk *pin tool* didapatkan nilai kekerasan yang ditunjukkan pada Gambar 4.10. Variasi bentuk *pin tool* tirus tidak berulir mendapatkan nilai tertinggi yaitu sebesar 72,7 VHN, kemudian nilai kekerasan selanjutnya terdapat pada variasi bentuk *pin tool* tirus berulir dengan nilai 56,1 VHN, pada pengelasan dengan bentuk *pin tool* silinder ulir diperoleh nilai kekerasan sebesar 50,7 VHN dan pengelasan menggunakan bentuk *pin tool* silinder tidak berulir diperoleh nilai sebesar 46 VHN. Dari hasil pengelasan FSW variasi bentuk *pin tool* tersebut nilai kekerasan yang diperoleh melebihi dari RAW Aluminium seri 5xxx sebesar 47,5 VHN dan melebihi 2 kali lipat dari nilai kekerasan RAW Aluminium seri 1xxx yang bernilai 38,4 VHN. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat proses pengelasan *friction stir welding* berlangsung dengan baik yaitu dapat meningkatkan sifat mekanik khususnya pada kekerasan material. Perubahan dimensi dan bentuk butir pada daerah *stir zone* akan berpengaruh pada nilai kekerasan. Daerah *stir zone* dengan bentuk butir yang halus dan rapat akan mempunyai nilai kekerasan yang tinggi karena semakin halus butir yang dihasilkan maka nilai kekerasan akan semakin tinggi (Biswajit dkk, 2011).

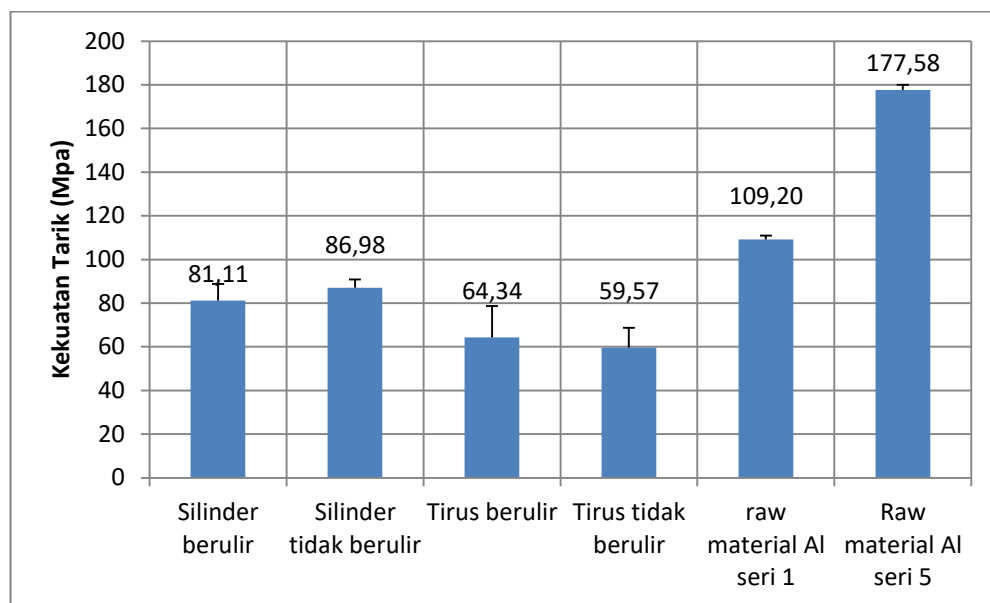
4.4. Hasil Uji Tarik

Pengujian uji tarik dilakukan pada spesimen hasil pengelasan FSW *dissimilar* aluminium seri 1xxx dengan seri 5xxx. Dimensi spesimen untuk pengujian tarik menggunakan standar ASTM E08. Hasil yang diperoleh dari pengujian tarik berupa nilai tegangan dan regangan dari hasil pengelasan yang akan dibandingkan dengan nilai tegangan dan regangan dari *raw* material.



Gambar 4.11 Grafik Uji Tarik hasil FSW *Dissimilar* antara Aluminium Seri 1xxx dengan Seri 5xxx

Gambar 4.11 menunjukkan bahwa antara logam raw material aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx dengan logam yang sudah mengalami proses pengelasan dengan metode FSW memiliki perbedaan tegangan tarik yang signifikan, yaitu mencapai 81,49% pada aluminium seri 1xxx dan 49,89% pada aluminium seri 5xxx. Hal ini dikarenakan pada daerah las (*stir zone*) mengalami perubahan struktur mikro akibat proses pengelasan. Pada raw material aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx mengalami patahan ulet dimana terjadi perpanjangan material yang cukup panjang sebelum akhirnya spesimen tersebut patah.

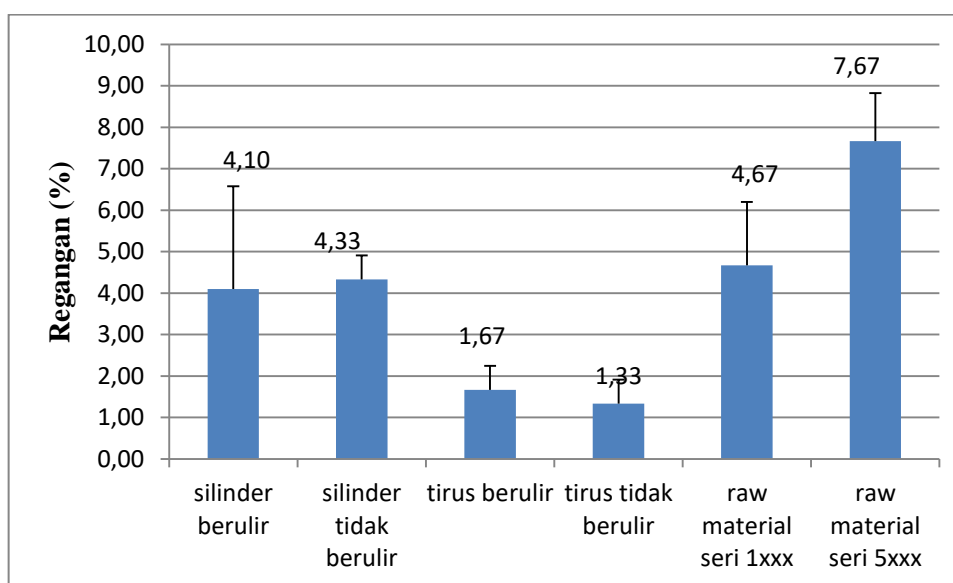


Gambar 4.12 Grafik pengaruh bentuk pin tool terhadap kekuatan tarik hasil las FSW dissimilar aluminium seri 1xxx dengan aluminium seri 5xxx

Pada Gambar 4.12 menunjukkan bahwa kekuatan tarik maksimum dari sambungan FSW *dissimilar* terdapat pada pengelasan menggunakan *pin* silinder yaitu sebesar 86,98 MPa atau 79,65% dari raw material aluminium seri 1xxx dan 48,98% dari raw material aluminium seri 5xxx. Hal ini terjadi karena pengadukan material benda kerja yang merata sesuai dengan bentuk *pin tool* yang digunakan. Sedangkan nilai kekuatan tarik yang paling rendah terdapat pada pengelasan FSW menggunakan bentuk *pin tool* tirus tidak berulir dengan nilai sebesar 59,57 MPa atau 54,55% dari raw material aluminium seri 1xxx dan 33,54% dari raw material seri 5xxx. Hal yang menyebabkan kekuatan tarik menjadi rendah karena pengadukan material benda kerja yang tidak merata dan terdapat cacat pada sambungan las yang akan mengurangi nilai kekuatannya. Untuk variasi bentuk *pin tool* silinder berulir kekuatan tarik sebesar 81,11 MPa atau 74,27% dari raw material aluminium seri 1xxx dan 45,67% dari raw material seri 5xxx dan variasi bentuk *pin tool* tirus berulir kekuatan tarik sebesar 64,34 MPa atau 58,91% dari raw material aluminium seri 1xxx dan 36,23% dari raw material seri 5xxx.

Menurunnya nilai kekuatan tarik hasil pengelasan dengan metode FSW variasi bentuk *pin tool* di bandingkan dengan kekuatan tarik dari raw material dapat terjadi karena beberapa faktor, diantaranya adalah kedalaman

penetrasi/pembendaman *welding tool* pada saat proses pengelasan berlangsung. Semakin dalam penetrasi *welding tool* menyebabkan keluarnya *ripples/flash* disepanjang jalur lasan sehingga mengakibatkan ketebalan dari hasil lasan material berkurang yang dapat menurunkan nilai kekuatan tarik. Pada Gambar 4.2 memperlihatkan adanya *ripples/flash* di sepanjang jalur lasan yang diduga menjadi penyebab tinggi rendahnya nilai kekuatan uji tarik pada pengelasan FSW *dissimilar* ini, semakin banyak *ripples/flash* di sepanjang jalur lasan maka semakin berkurang juga nilai kekuatan tariknya. Bentuk dan dimensi dari cacat lasan juga menjadi penyebab menurunnya nilai kekuatan tarik dari spesimen uji. Semakin besar cacat yang terjadi pada hasil lasan maka nilai kekuatan tarik menurun.



Gambar 4.13 Grafik pengaruh bentuk pin tool terhadap regangan hasil las FSW dissimilar aluminium seri 1xxx dengan aluminium seri 5xxx

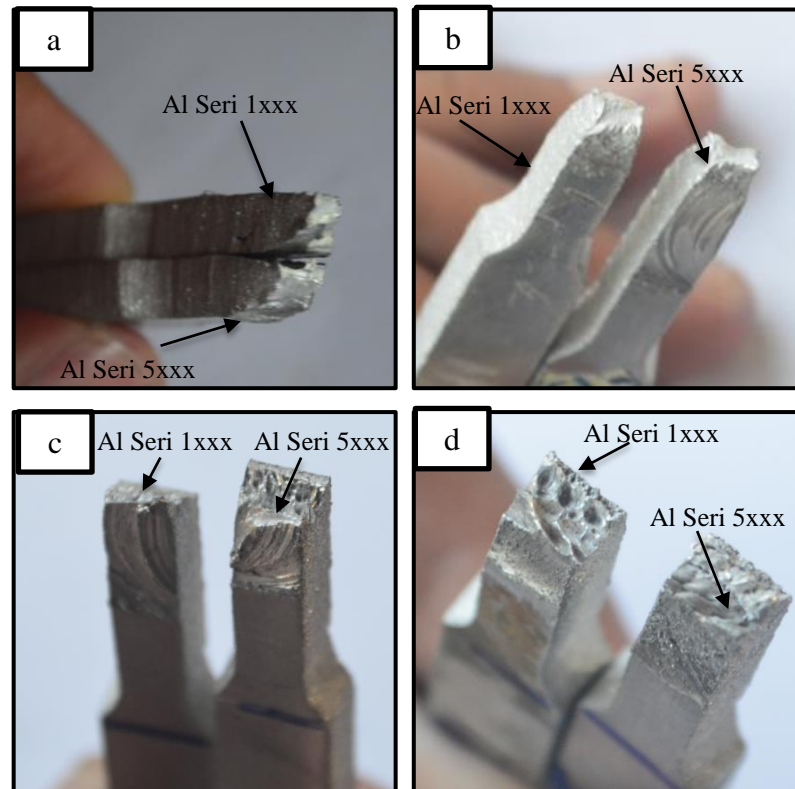
Pada Gambar 4.13 menunjukkan bahwa nilai regangan hasil pengelasan dengan metode FSW variasi bentuk *pin tool* mengalami perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan nilai regangan yang dimiliki raw material aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx. Hal ini disebabkan karena patah yang terjadi akibat pengujian tarik tepat pada daerah sambungan lasan (*stir zone*) yang merupakan daerah yang paling banyak mengalami perlakuan teknik, sehingga pada daerah tersebut kekuatan dari spesimen menurun.

Nilai regangan tertinggi pada pengujian tarik ini terdapat pada raw material aluminium seri 5xxx sebesar 7,67% dan pada raw material aluminium seri 1xxx sebesar 4,67%. Sedangkan nilai regangan tertinggi pada hasil lasan FSW *dissimilar* variasi bentuk *pin tool* terdapat pada bentuk *pin tool* silinder tidak berulir dengan nilai 4,33%, kemudian pada bentuk *pin tool* silinder berulir sebesar 4,10%, pada pengelasan dengan bentuk *pin tool* tirus berulir sebesar 1,67% dan nilai regangan terendah terdapat pada pengelasan dengan menggunakan bentuk *pin tool* tirus tidak berulir yaitu sebesar 1,33%.

Menurut Tarmizi dan Prayogo (2016) pada hasil penelitian FSW variasi bentuk *pin tool* silinder ulir, tirus ulir dan segitiga ulir didapat nilai UTS yang paling tinggi pada penggunaan bentuk *pin tool* silinder ulir sebesar 120,442 MPa. namun jika dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan penulis nilai kekuatan UTS tertinggi didapatkan pada penggunaan bentuk *pin tool* silinder tidak berulir sebesar 86,98 MPa, kekuatan tarik ini hanya berkisar sekitar 72% jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Tarmizi dan Prayogo.

4.5. Fraktografi

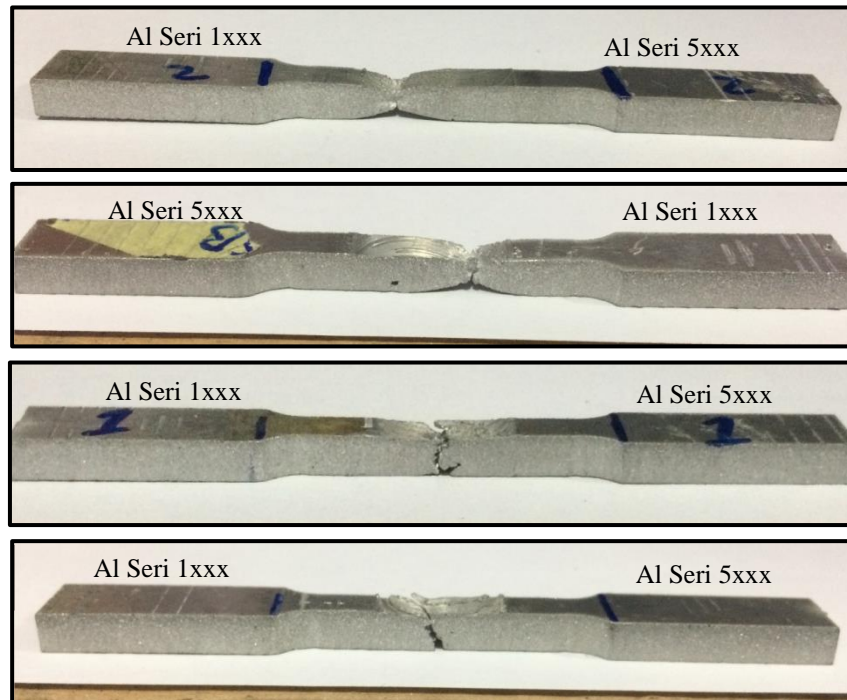
Setelah dilakukan pengujian tarik pada spesimen uji, selanjutnya dilakukan pengamatan fraktografi pada penampang patah spesimen uji. Hasil fraktografi dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Penampang patahan spesimen uji tarik tampak atas hasil pengelasan FSW dengan variasi bentuk *pin tool* pada (a) silinder berulir, (b) silinder tidak berulir, (c) tirus berulir, (d) tirus tidak berulir.

Dari hasil pengamatan fraktografi yang telah dilakukan pada spesimen uji diperoleh bahwa pada Gambar 4.14 (a)&(b) menunjukkan hasil pengelasan FSW mengalami patahan ulet tepat di daerah lasan. Hal ini dikarenakan distribusi panas yang dihasilkan oleh gesekan antara *shoulder* dengan benda kerja pada saat proses pengelasan merata dan dapat melelehkan material sehingga *pin tool* dapat mengaduk material lunak secara sempurna walaupun masih terdapat cacat *incomplete penetration* disepanjang jalur lasan. Sedangkan pada Gambar 4.14 (c)&(d) spesimen uji tarik mengalami patah getas. Hal ini dikarenakan terdapat cacat *incomplete penetration* pada hasil lasan yang cukup besar dan kurang menyatunya spesimen yang di las FSW menggunakan pin tirus ulir maupun tirus tidak berulir. Dibuktikan dari hasil pengujian tariknya yang memiliki nilai kekuatan tarik rendah. Perbedaan bentuk patahan yang dihasilkan dari pengujian tarik hasil lasan FSW variasi bentuk pin silinder berulir dan silinder tidak berulir dengan pin tirus ulir dan tirus tidak berulir dikarenakan luas permukaan pin

silinder ulir dan silinder tidak berulir lebih besar dari pada pin tirus berulir maupun tidak berulir yang mengakibatkan pada saat proses pengadukan terhadap material kurang sempurna.



Gambar 4.15 Penampang patahan spesimen uji tarik tampak samping hasil pengelasan FSW dengan variasi bentuk *pin tool* pada (a) silinder berulir, (b) silinder tidak berulir, (c) tirus berulir, (d) tirus tidak berulir.

Pada Gambar 4.15 Penampang patahan spesimen uji tarik tampak samping semua hasil lasan mengalami perpindahan material dibagian daerah las (*stir zone*) disebabkan oleh pengadukan *pin tool*. Dapat dilihat pada Gambar 4.15 (a)&(b) patahan hasil uji tarik berada pada daerah las dan spesimen uji tarik mengalami penyusutan terlebih dahulu sebelum patah. Hal ini menunjukkan bahwa hasil lasan dengan menggunakan *pin tool* silinder ulir maupun tidak berulir menyatu dengan baik walaupun terdapat lubang pada hasil las menggunakan *pin tool* silinder tidak berulir. Sedangkan pada Gambar 4.15 (c)&(d) patahan hasil uji tarik berada pada daerah las (*stir zone*), hal ini dikarenakan pengadukan yang dilakukan *pin tool* tirus berulir maupun tidak berulir terhadap material kurang sempurna dan kemungkinan terdapat *incomplete penetration* disepanjang jalur lasan.