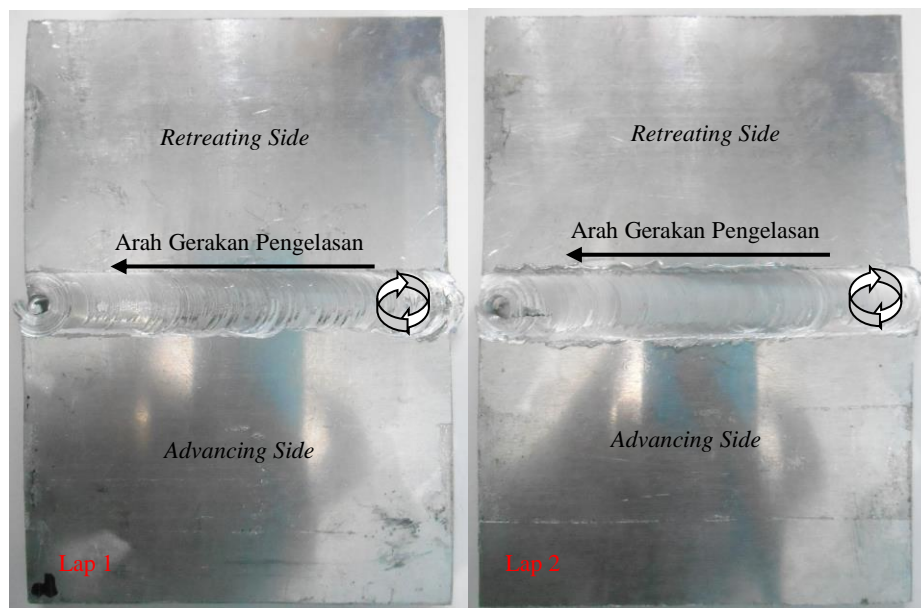


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengelasan Pada FSW Dua Sisi

Hasil pengelasan aluminium 1xxx menggunakan metode *friction stir welding* dua sisi ditunjukkan pada Gambar 4.1. Pengelasan dengan metode FSW ini merupakan penyambungan yang terjadi pada kondisi padat atau logam tidak mencair (*solid state process*) serta energi panas yang digunakan dalam pengelasan bersumber dari gesekan *probe*, *shoulder* dan benda kerja yang diam. Energi panas tersebut mampu melelehkan benda kerja dan menjadikan kedua benda kerja tersambung menjadi satu. Pada penelitian ini mendapatkan hasil yang cukup bagus, dimana benda kerja dapat tersambung dengan baik walaupun masih terdapat cacat pada salah satu sisi permukaan las kecepatan putar *tool* 1500 dan 2300 rpm. Hasil pengelasan dua sisi pada masing-masing variasi kecepatan putar dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil pengelasan FSW dua sisi variasi putaran *tool* 950 rpm



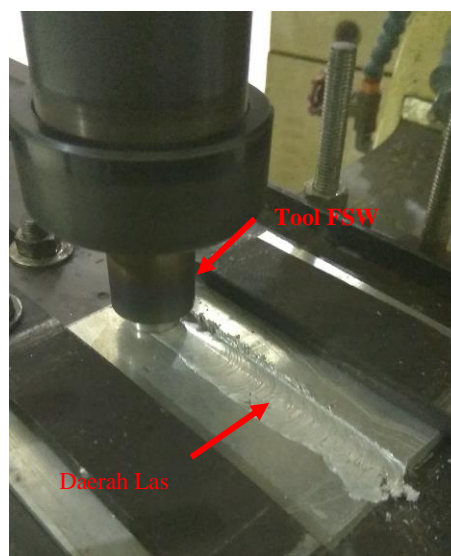
Gambar 4.2 Hasil pengelasan FSW dua sisi variasi putaran *tool* 1500 rpm



Gambar 4.3 Hasil pengelasan FSW dua sisi variasi putaran *tool* 2300 rpm

Hasil pengelasan pada masing-masing variasi kecepatan putar *tool* dapat dilihat perbedaan kehalusan permukaannya pada Gambar 4.1. Secara berurutan pada variasi kecepatan terendah hingga paling tinggi mendapatkan permukaan yang rata, namun masih terdapat cacat permukaan yakni pada sisi kedua variasi kecepatan 1500 rpm dan sisi pertama variasi kecepatan putar 2300

rpm, sedangkan pada variasi kecepatan 950 rpm mendapatkan permukaan yang paling halus. Pada pengelasan ini gerak translasi *tool* dimulai ketika temperature benda kerja telah mencapai suhu rekristalisasi yaitu diatas 80°C sehingga temperature yang terjadi ketika proses pengelasan berada pada kisaran suhu $88^{\circ} - 210^{\circ}\text{C}$. Keseluruhan hasil pengelasan dapat menyatu dengan baik walaupun masih terdapat sedikit cacat jika dilihat dari luar. Pada saat proses pengelasan variasi kecepatan 1500 rpm benda kerja yang baru selesai mengalami proses pengelasan langsung dibalik dan dilakukan proses pengelasan kembali pada sisi sebaliknya, itulah yang menyebabkan permukaan pada sisi kedua mengalami cacat pada permukaan. Sedangkan cacat permukaan yang terdapat pada sisi pertama variasi kecepatan 2300 rpm diakibatkan karena putaran mesin yang tiba-tiba melambat dan *feed rate* yang susah dikendalikan.



Gambar 4.4 Proses Pengelasan

Gambar 4.4 merupakan proses pengelasan FSW pada spesimen plat aluminium 1xxx. Pada proses pengelasan ini dilakukan pada kedua sisi spesimen. Setelah pengerjaan pengelasan sisi pertama selesai, benda kerja di angkat dan di tunggu hingga suhu benda kerja turun menjadi suhu ruangan kemudian dilakukan pengelasan kembali pada sisi sebaliknya. Meja pengelasan yang terbuat dari bahan besi mampu menahan panas dengan baik akibat adanya gesekan *tool* dengan benda kerja pada saat pengelasan. Secara keseluruhan proses pengelasan

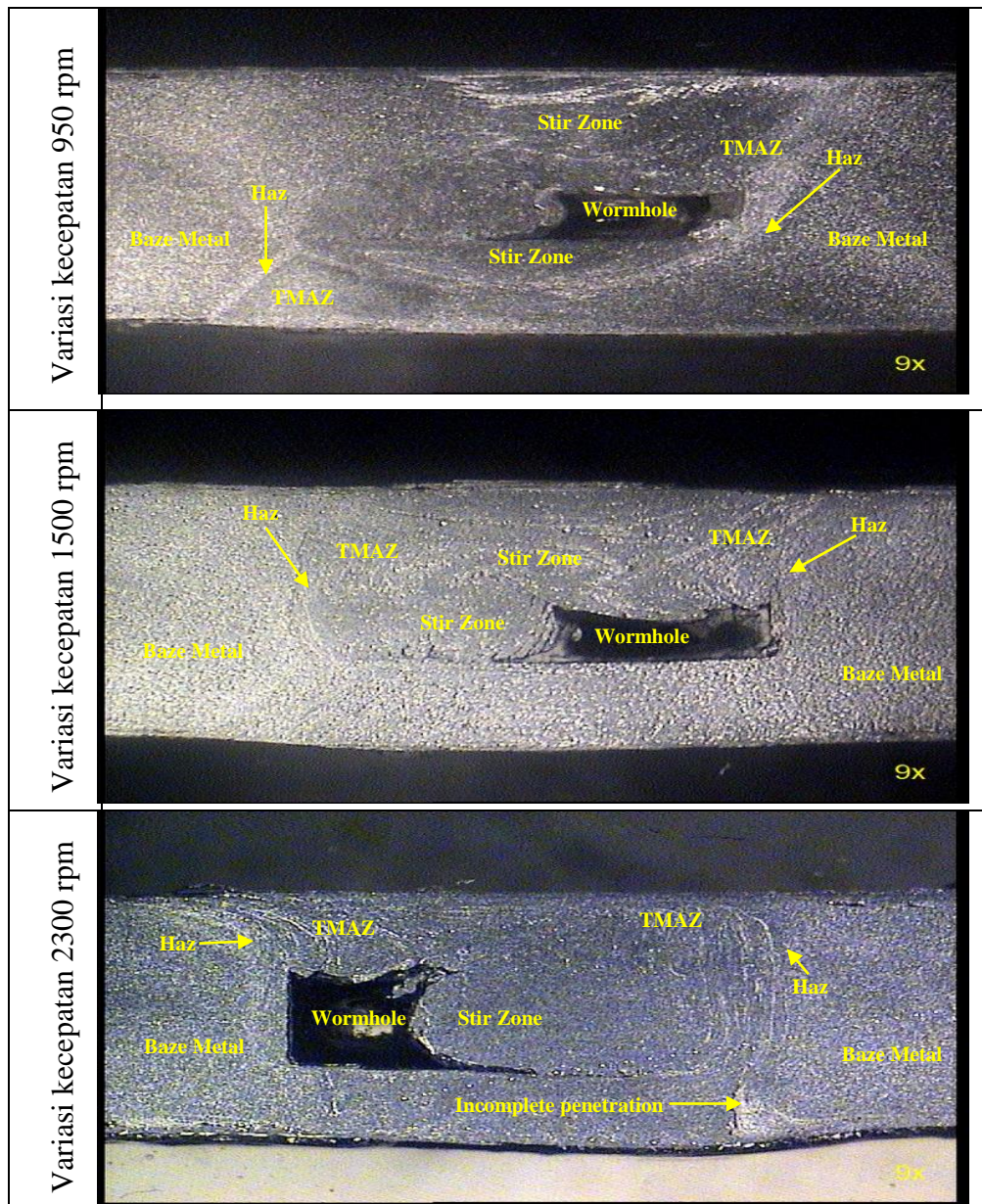
ini berjalan baik, namun meja pengelasan dan juga penjepit benda kerja yang berbahan besi mengalami deformasi ketika proses pengelasan terlalu panjang. Proses pengelasan yang terlalu panjang mengakibatkan panas yang berlebih pada meja pengelasan, terutama pada penjepit benda kerja dan tentu berpengaruh juga terhadap komponen lain dalam proses pengelasan.

4.2 Hasil Foto Makro dan Mikro

Sebelum dilakukan proses foto makro dan mikro, specimen dilakukan proses etsa terlebih dahulu. Larutan etsa yang digunakan adalah sesuai dengan standar ASTM E407 yaitu *Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*. Larutan etsa yang diaplikasikan untuk aluminium seri 1 memakai standar etsa no.6 yang terdiri dari 25 ml HNO₃ dan 75 ml Aquades. Waktu yang digunakan adalah 3-60 detik dan dipilih waktu yang tepat untuk menghindari specimen menjadi gosong dan berwarna hitam. Specimen yang terlalu lama dicelup dalam larutan etsa akan menjadi gosong, menjadikan batas butir dan daerah lasan tidak dapat dilihat.

4.2.1 Hasil Foto Makro

Berdasarkan hasil foto makro untuk tiap specimen memiliki perbedaan yang sangat signifikan baik dari segi bentuk maupun sifat mekaniknya. Hal ini disebabkan karena panas yang dihasilkan dari tiap kecepatan putar *tool* berbeda, sehingga menyebabkan proses pelunakan material tidak seluruhnya melunak. Proses pelunakan sangat berperan penting dalam pengelasan FSW, karena jika material tidak meleleh *pin* yang berfungsi sebagai pengaduk dan penyambung material tidak akan bisa mengaduk dengan sempurna.

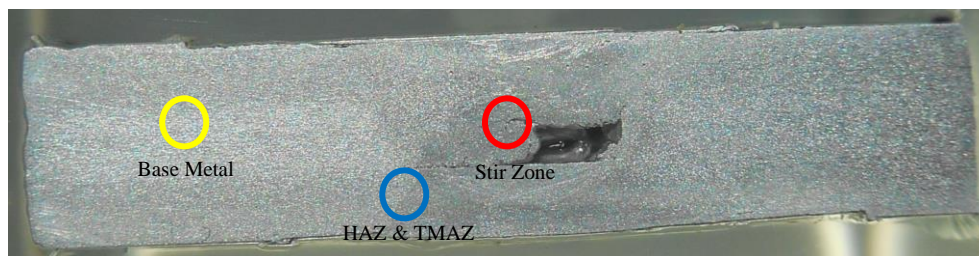


Gambar 4.5 Struktur makro sambungan las FSW dua sisi dengan variasi putaran *tool* (a) 950 rpm, (b) 1500 rpm dan (c) 2300 rpm.

Gambar 4.5 adalah gambar hasil foto mikro daerah pengelasan masing-masing spesimen. Spesimen dipotong dengan dimensi panjang 25 mm dan tebal 5 mm. spesimen di foto dengan pembesaran 9x sehingga tampak perbedaan antara *stir zone*, HAZ, TMAZ, dan *base metal*. Cacat *wormholes* terjadi pada semua spesimen sepanjang *joint line*. Hal ini disebabkan karena suhu tidak mencapai titik ideal saat proses pengelasan berlangsung, dan juga pada bagian tengah lasan

mengalami 2 kali pengadukan yang membuat penetrasinya menjadi menurun menimbulkan rongga. Cacat *incomplete penetration* juga terdapat pada hasil pengelasan yang disebabkan karena kurangnya pembedaan serta suhu pengelasan yang rendah.

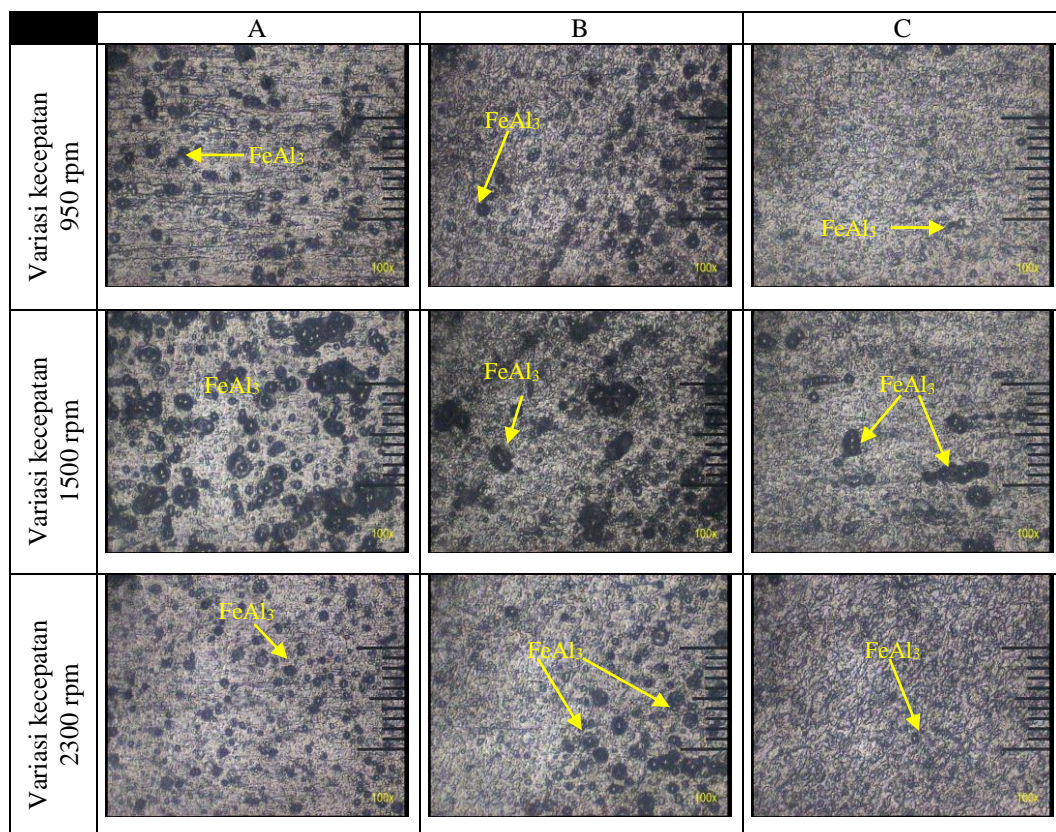
4.2.2 Hasil Foto Mikro



Gambar 4.6 Daerah Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur dilakukan dengan cara pengambilan foto dengan 100x pembesaran untuk mengetahui perubahan struktur yang terjadi akibat adanya proses pengelasan dengan metode FSW dua sisi pada spesimen aluminium 1xxx. Pemotretan diambil pada daerah *stir zone*, HAZ & TMAZ, kemudian *base metal*.

Gambar 4.6 adalah gambar posisi pemotretan pada daerah-daerah pengelasan. Daerah yang dilingkari adalah titik dimana pengujian struktur mikro dilakukan. Lingkaran berwarna kuning menandakan *base metal*, lingkaran berwarna biru menandakan daerah HAZ dan TMAZ, sedangkan untuk lingkaran berwarna merah adalah untuk menandakan daerah pengujian *stir zone*. Menurut *ASM Hand Book Metallography and Microstructures*, partikel hitam yang terdispersi merata pada matriks aluminium adalah $FeAl_3$, seperti yang diperlihatkan pada gambar 4.7. Hasil pengujian mikro pada masing-masing spesimen dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Hasil Pengujian Struktur Mikro Aluminium 1xxx (a) *base metal*, (b) HAZ dan TMAZ, (c) *stir zone*.

Gambar 4.7 adalah foto hasil pengujian mikro spesimen setelah dilakukan proses etsa. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa daerah *stir zone* pada tiap-tiap spesimen terlihat bentuk partikel yang halus. Proses puntiran pada saat pengelasan berlangsung mengakibatkan partikel $FeAl_3$ tersebar merata. Bentuk butiran cenderung lebih mengecil dan rapat, akan tetapi terdapat garis-garis kecil yang tidak beraturan. Kotoran yang berada pada *joint line* adalah penyebab adanya garis-garis tersebut, yang tidak dapat hilang setelah melakukan proses *etching*.

Pada spesimen dengan variasi kecepatan 950 dan 2300 rpm memiliki bentuk butiran yang hampir sama pada daerah HAZ dan TMAZ. Akan tetapi pada spesimen dengan variasi kecepatan 1500 rpm daerah HAZ dan TMAZ terdapat partikel $FeAl_3$ yang cukup besar, tidak sehalus pada spesimen dengan variasi kecepatan 950 dan 2300 rpm. Hal ini sebanding dengan hasil uji tarik pada ketiga

spesimen tersebut, dimana pada variasi kecepatan 1500 rpm mendapatkan kekuatan tarik terendah.

4.3 Hasil Uji Kekerasan

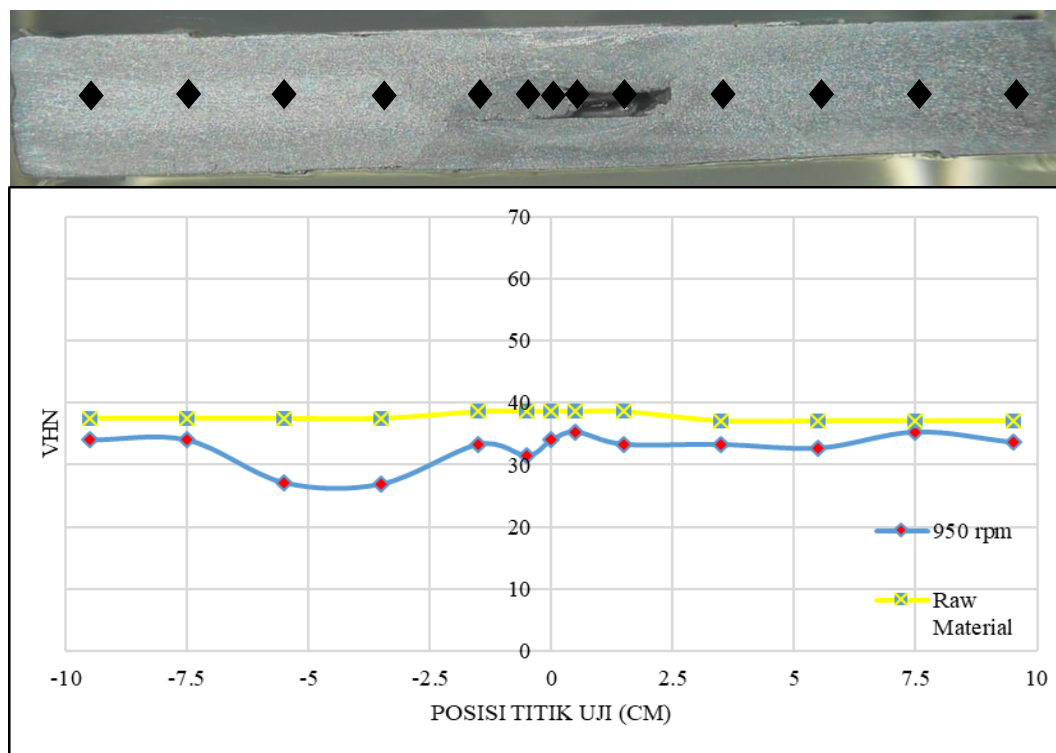
Pengujian kekerasan ini dilakukan pada tiap specimen hasil pengelasan dengan metode 2 sisi FSW dengan variasi putaran *tool*. Tabel 4.1 menunjukkan data hasil pengujian kekerasan dengan menggunakan uji kekerasan *Micro Vickers* dengan beban yang digunakan sebesar 200 gf selama 5 detik, kemudian pada Gambar 4.11 menunjukkan grafik perbandingan kekerasan rata-rata pada setiap variasi pengelasan.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kekerasan

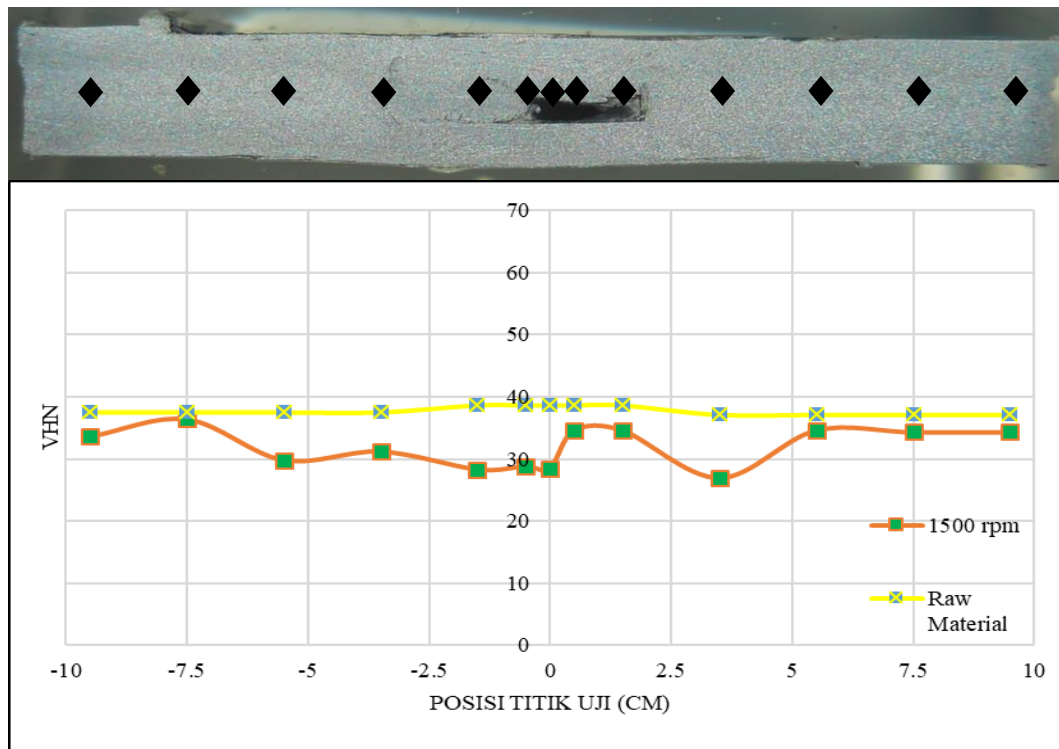
No	Jarak dari sambungan		Nilai Kekerasan VHN			
			950 rpm	1500 rpm	2300 rpm	Raw Material
1	Kanan	9.5	33.6	34.3	36.7	37.1
2		7.5	35.3	34.3	34.3	37.1
3		5.5	32.7	34.6	30.9	37.1
4		3.5	33.3	26.9	26.2	37.1
5		1.5	33.3	34.6	30.1	38.6
6		0.5	35.3	34.6	29.8	38.6
7	Tengah	0	34	28.5	31.2	38.6
8	Kiri	-0.5	31.5	28.8	27.6	38.6
9		-1.5	33.3	28.3	27.6	38.6
10		-3.5	26.9	31.2	28	37.5
11		-5.5	27.1	29.8	26.4	37.5
12		-7.5	34	36.4	29	37.5
13		-9.5	34	33.6	34	37.5
Rata-rata			32.64	31.99	30.14	37.8

Proses pengelasan aluminium dengan metode FSW dua sisi menggunakan variasi putaran 950 rpm, 1500 rpm, dan 2300 rpm. Hasil uji kekerasan pada pusat las menunjukkan lebih kecil dari *raw material*, dapat dilihat pada table 4.1. Pada

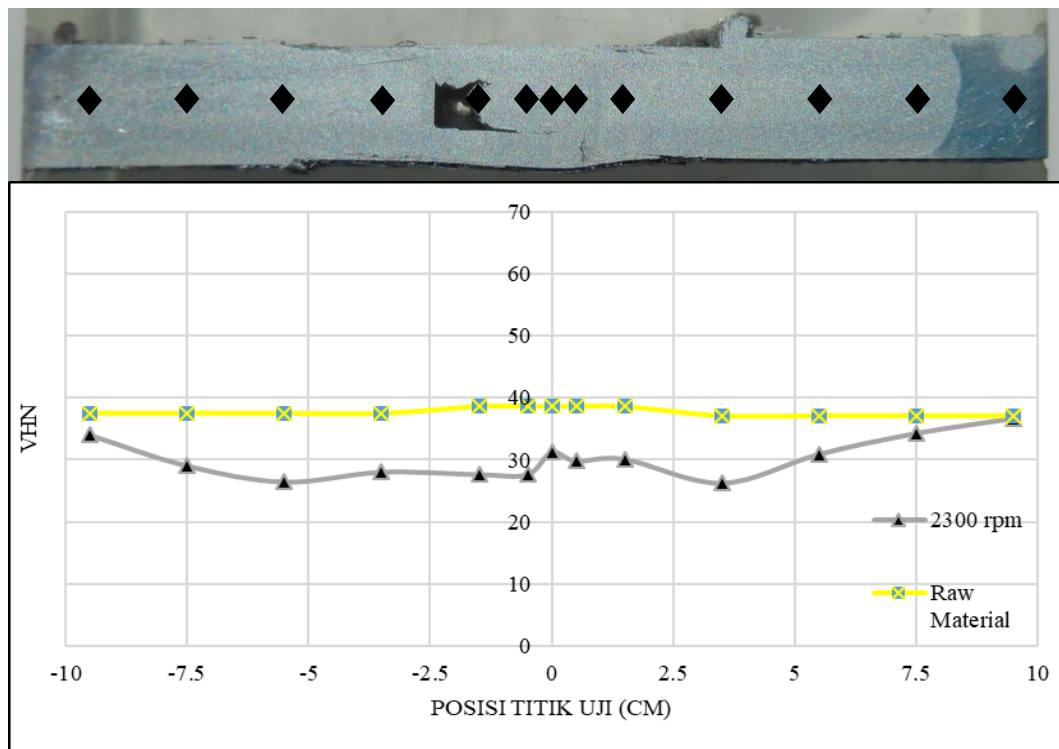
putaran *tool* 950 rpm memiliki kekerasan paling tinggi di pusat las, yakni sebesar 34 VHN sedangkan kekerasan terendah terdapat pada pusat las di variasi putaran 1500 rpm, yakni sebesar 28.5 VHN. Hal ini dapat terjadi karena heat input cukup tinggi 130-140°C pada permukaan benda kerja dan 170-200°C pada tool di kecepatan 1500 rpm dapat menghasilkan bentuk grain yang kecil. Pada variasi putaran 2300 rpm nilai kekerasan pada pusat las sebesar 31.2 VHN. Namun jika dilihat dari rata-rata kekerasan tiap spesimen nilai kekerasan secara berurutan, maka dapat disimpulkan jika semakin tinggi putaran *tool* maka nilai kekerasannya semakin rendah.



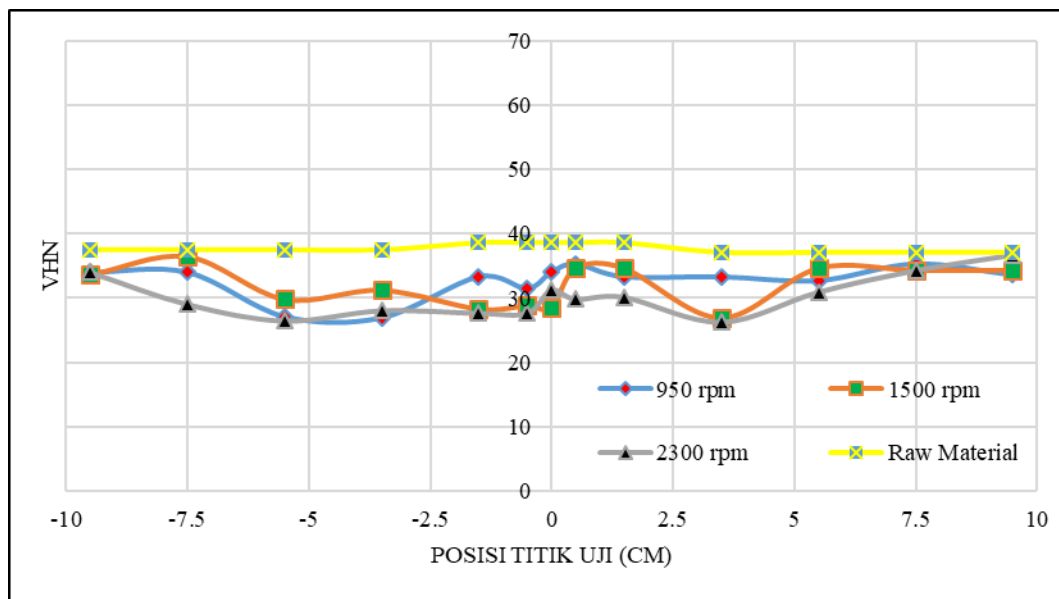
Gambar 4.8 Grafik distribusi kekerasan pengelasan FSW dua sisi variasi kecepatan putar *tool* 950 rpm



Gambar 4.9 Grafik distribusi kekerasan pengelasan FSW dua sisi variasi kecepatan putar *tool* 1500 rpm

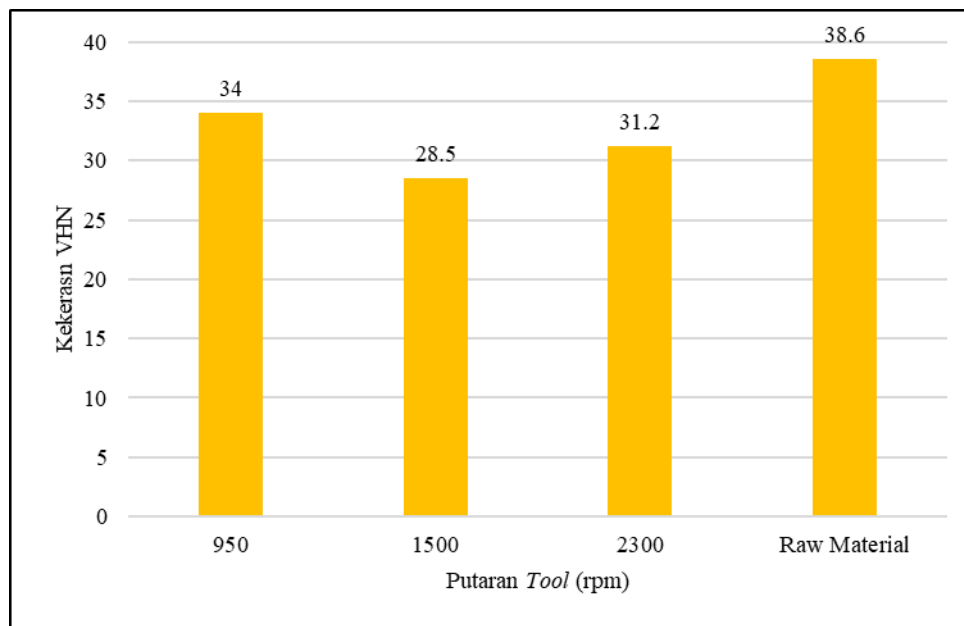


Gambar 4.10 Grafik distribusi kekerasan pengelasan FSW dua sisi variasi kecepatan putar *tool* 2300 rpm



Gambar 4.11 Grafik distribusi kekerasan pengelasan FSW dua sisi dari semua variasi pengelasan

Dari gambar 4.11 menunjukkan grafik distribusi nilai kekerasan yang diperoleh dari pengujian *micro Vickers hardness* dimana terdapat nilai yang berbeda pada setiap titik uji. Masing-masing spesimen diuji sebanyak 13 titik dan setiap titik kebanyakan mempunyai nilai berbeda pada saat pengujian dilakukan seperti yang digambarkan pada grafik tersebut. Pada daerah *stir zone* nilai kekerasannya cenderung lebih tinggi dibandingkan pada daerah HAZ, bahkan tidak jauh berbeda dengan *raw material*nya. Bentuk grafik juga menunjukkan bahwa ketiga variasi kecepatan putar *tool* diketahui bahwa semakin besar putaran *tool* maka nilai kekerasan hasil lasan semakin rendah. Hal ini disebabkan karena *heat input* yang di hasilkan semakin besar sehingga proses pengerasannya membutuhkan waktu yang lebih lama. Semakin besar *heat input* maka akan menyebabkan ukuran butir semakin besar, semakin besar ukuran butir maka jumlah butir perluasan akan semakin berkurang dan menyebabkan tingkat kekerasannya menurun. Selain itu juga karakteristik dari paduan itu sendiri yang kurang mampu diperlakukan panas.



Gambar 4.12 Grafik pengaruh putaran *tool* terhadap kekerasan pada daerah sambungan las (titik 0)

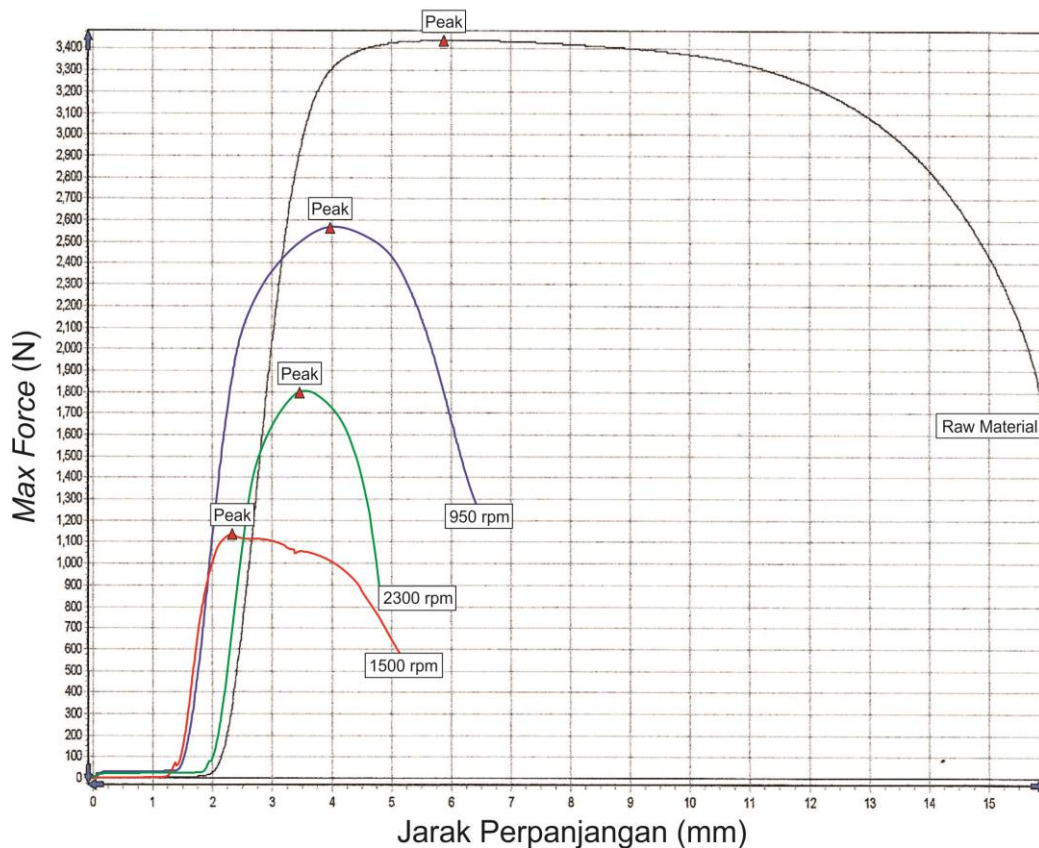
Pada gambar 4.12 menunjukkan nilai kekerasan pada daerah sambungan las FSW dua sisi. Variasi putaran 950 rpm mendapatkan nilai kekerasan tertinggi, yaitu 34 VHN, namun masih lebih rendah 88 % dari *raw material*nya yang mencapai 38.6 VHN. Dari hasil pengujian kekerasan yang didapatkan dari penelitian ini terdapat perbedaan jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu, yaitu Romadhoni (2016) yang meneliti tentang pengaruh kecepatan putar *tool* terhadap kekuatan mekanik sambungan las aluminium 1xxx dengan metode FSW dengan variasi putaran 980, 2300, dan 2700 rpm. Dimana nilai kekerasan menyatakan hasil lasan lebih tinggi daripada *raw material*nya, yaitu pada putaran 980 rpm sebesar 59.1 VHN atau 147.5 %. Sudrajat (2012) menganalisis sifat mekanik hasil pengelasan Aluminium AA 1100 dengan metode *Friction Stir Welding* (FSW) dengan variasi putaran *tool* 780, 980, dan 1120 rpm. Nilai kekerasan tertinggi didapat pada putaran 780 dan 1120 rpm sebesar 50 BHN atau lebih rendah 85 % dari *raw material*nya. Adapun hasil perbandingan penelitian yang spesifik ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perbandingan Nilai Uji Kekerasan dan Uji Tarik Penelitian Sekarang dengan Penelitian Terdahulu

Putaran <i>Tool</i> (rpm)	Kekerasan pada daerah sambungan las (VHN)	Kekerasan pada daerah sambungan las (BHN)	Nilai Tegangan	Nilai Regangan	Penelitian
			MPa	%	
<i>Raw Material</i>	40.1	-	106.3	5.2	Romadhoni (2016)
<i>Raw Material</i>	-	59	119.5	10	Pamungkas (2012)
<i>Raw Material</i>	38.6	-	111.86	20.39	Sekarang
780	-	50	52.222	21.875	Pamungkas (2012)
950	34	-	85.24	7.81	Sekarang
980	59.1	-	80.7	2.9	Romadhoni (2016)
980	-	49	38.472	15.525	Pamungkas (2012)
1120	-	50	56.528	21.875	Pamungkas (2012)
1500	28.5	-	37.55	6.25	Sekarang
2300	33.4	-	78.33	14.1	Romadhoni (2016)
2300	31.2	-	52	5.78	Sekarang
2700	44.9	-	68.73	6	Romadhoni (2016)

4.4 Hasil Uji Tarik

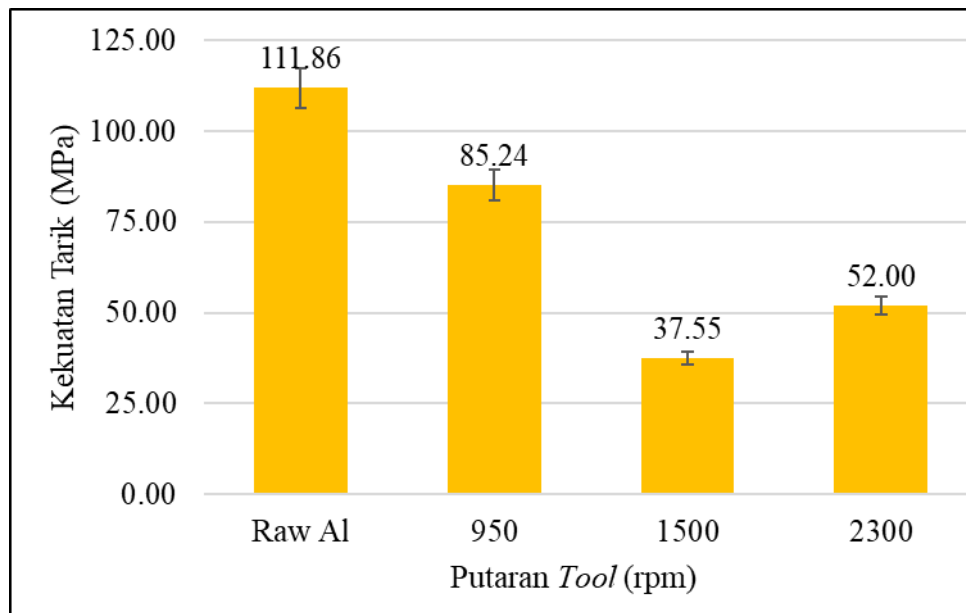
Pengujian tarik dilakukan pada hasil pengelasan dua sisi aluminium 1xxx. Dimensi specimen uji tarik untuk material pengelasan menggunakan standar ASTM E8. Hasil yang diperoleh dari hasil pengujian tarik berupa nilai tegangan dan regangan dari hasil pengelasan yang akan dibandingkan dengan nilai tegangan dan regangan *raw material*.



Gambar 4.13 Grafik Uji Tarik hasil FSW dua sisi Aluminium 1xxx

Gambar 4.13 Menunjukkan bahwa antara *raw material* aluminium 1xxx dengan logam yang sudah mengalami proses pengelasan memiliki perbedaan tegangan tarik yang sangat signifikan, mencapai 76.21 % dari kekuatan *raw material*nya. Hal ini disebabkan karena pada daerah lasan mengalami perubahan struktur mikro, akibat dari proses pengelasan. Pada *raw material* mengalami patahan ulet dimana terjadi perpanjangan yang cukup panjang sebelum patah. Pada spesimen dengan kecepatan putar 950 rpm tingkat keuletannya sudah

menurun. Sedangkan pada spesimen kecepatan putar 1500 dan 2300 mengalami patahan getas.



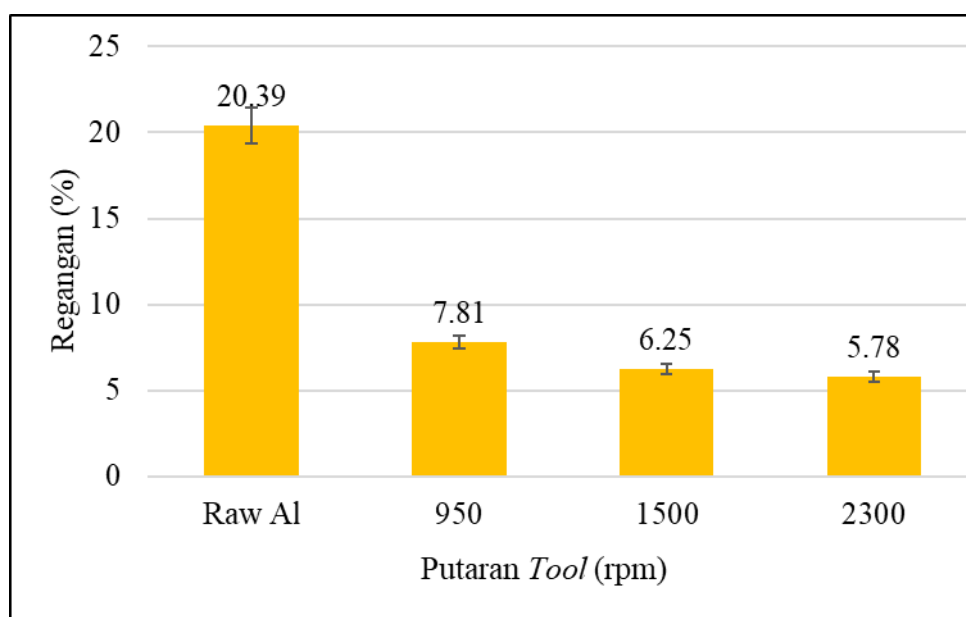
Gambar 4.14 Grafik pengaruh variasi putaran *tool* terhadap kekuatan tarik hasil las FSW dua sisi

Dari gambar 4.14 Terlihat nilai yang memiliki nilai tegangan tertinggi terdapat pada pengelasan dengan putaran 950 rpm yaitu sebesar 85.24 MPa atau 76.21 % dari *raw material*. Hal ini disebabkan hasil las yang menyatu dengan baik walaupun masih terdapat cacat *wormholes*, namun masih lebih kecil dari *raw material* yang memiliki nilai kuat tarik sebesar 111.86 MPa. Sedangkan untuk nilai kuat tarik terkecil terjadi pada variasi putaran 1500 rpm sebesar 37.55 MPa, 31.78 % dari *raw material*. Hal ini disebabkan terdapat cacat *wormholes* yang cukup besar pada variasi tersebut dikarenakan panas yang terlalu tinggi dan juga getaran yang cukup tinggi. Untuk variasi putaran 2300 rpm sebesar 52 MPa, 46.5 % dari *raw material*.

Rendahnya nilai uji tarik hasil pengelasan di banding dengan *raw material*nya dapat terjadi karena beberapa factor, diantaranya adalah kedalaman penekanan *tool* pada saat pengelasan sehingga menyebabkan getaran yang cukup tinggi. Semakin dalam penekanan *tool* juga membuat material terkelupas dan

terbuang pada saat pengelasan berjalan, sehingga mengakibatkan ketebalan material berkurang yang dapat menurunkan kekuatan nilai uji tarik.

Gambar 4.5 yaitu foto struktur makro memperlihatkan adanya cacat *wormholes* dan *incomplete fusion* diduga juga menjadi penyebab tinggi rendahnya nilai kuat uji tarik pada pengelasan dua sisi FSW, semakin banyak cacat yang terjadi maka semakin tinggi juga nilai kuat uji tarik berkurang. Dibuktikan juga dengan hasil foto mikro pada Gambar 4.7 dimana bentuk butir pada spesimen mempengaruhi hasil uji kekerasan dan uji tariknya, pada spesimen kecepatan putar 1500 rpm mendapatkan hasil uji kekerasan dan uji tarik terendah, yang bentuk butirnya cenderung lebih besar dan kasar jika dibandingkan dengan bentuk butir pada spesimen kecepatan putar 950 dan 2300 rpm yang lebih rapat dan halus.



Gambar 4.15 Grafik pengaruh variasi putaran *tool* terhadap regangan hasil las FSW dua sisi

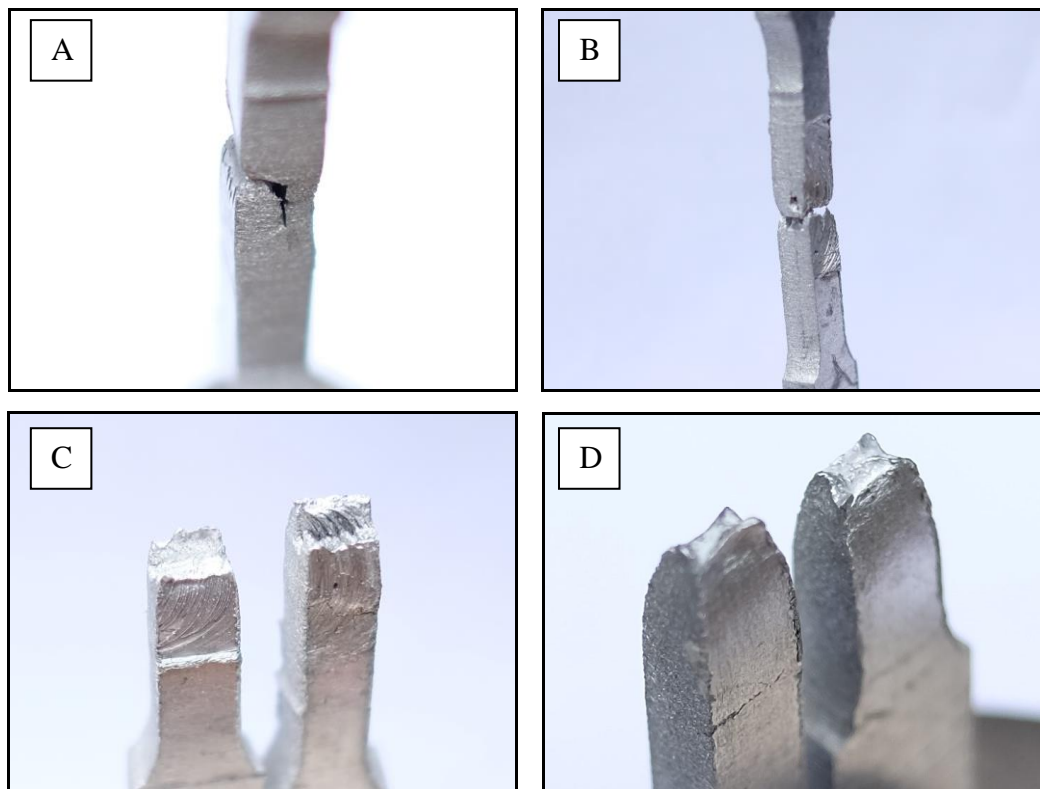
Pada gambar 4.15 Terlihat bahwa nilai regangan hasil pengelasan FSW mengalami perbedaan yang sangat signifikan dibandingkan dengan regangan yang dimiliki oleh *raw material* aluminium. Hal ini dikarenakan patah yang terjadi tepat pada sambungan lasan merupakan daerah yang paling banyak mengalami perlakuan teknik, sehingga pada daerah tersebut kekuatan materialnya menurun.

Variasi kecepatan 950 rpm memiliki nilai regangan las tertinggi yaitu sebesar 7.81 %, lebih kecil dari *raw material* yang memiliki nilai regangan sebesar 20.39 %. Sedangkan nilai regangan terendah terjadi pada spesimen hasil lasan dengan variasi putaran 2300 rpm yaitu sebesar 5.78 %.

Dari hasil pengujian tarik dan regangan yang didapatkan dari penelitian las FSW dua sisi ini terdapat perbedaan jika dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu yaitu, Pamungkas (2012) yang menganalisis sifat mekanik hasil pengelasan Aluminium AA 1100 dengan metode *Friction Stir Welding* (FSW) dengan variasi putaran *tool* 780, 980, dan 1120 rpm, dengan *feed rate* 15 mm/menit. Kekuatan tarik menyatakan hasil yang berbeda dengan penelitian penulis, dimana penelitian yang dilakukan oleh Sudrajat kekuatan uji tarik tertingginya terjadi pada variasi kecepatan 1120 rpm, dengan nilai kuat tarik sebesar 56.528 MPa atau 47.3 % dari nilai kuat tarik *raw materialnya* yang sebesar 119.5 MPa. Romadhoni (2016) yang meneliti tentang pengaruh kecepatan putar *tool* terhadap kekuatan mekanik sambungan las aluminium 1xxx dengan metode FSW, variasi putaran *tool* yang digunakan adalah 980, 2300, dan 2700 rpm dengan *feed rate* 20 mm/menit. Kekuatan tarik tertinggi didapat 80.7 MPa pada kecepatan 980 rpm atau 76 % dari kekuatan tarik *raw materialnya* yang mencapai 106.3 MPa. Sedangkan untuk penelitian ini kuat tarik tertinggi terjadi pada variasi kecepatan 950 rpm yang mana ini adalah kecepatan putar terendah, adapun nilai kuat tariknya adalah 85.24 MPa atau 76.21 % dari *raw materialnya* yang sebesar 111.86 MPa. Kemudian dari nilai regangannya, pada penelitian ini nilai regangan tertinggi terjadi pada variasi putaran 950 rpm yaitu sebesar 7.81 %, lebih rendah dari *raw materialnya* yang mencapai 20.39 %. Sedangkan untuk penelitian Pamungkas (2012) nilai regangan lebih tinggi dari *raw materialnya* yaitu terjadi pada semua variasi putaran. Nilai regangan tertinggi terdapat pada variasi putaran 780 dan 1120 rpm yang mempunyai nilai regangan 21.875 %. Pada penelitian Romadhoni (2016) nilai regangan tertinggi terdapat pada kecepatan 2300 rpm, yaitu sebesar 14.1 %, lebih tinggi dari *raw materialnya* yang hanya sebesar 5.2 %. Adapun hasil perbandingan penelitian yang spesifik ditunjukkan pada Tabel 4.2.

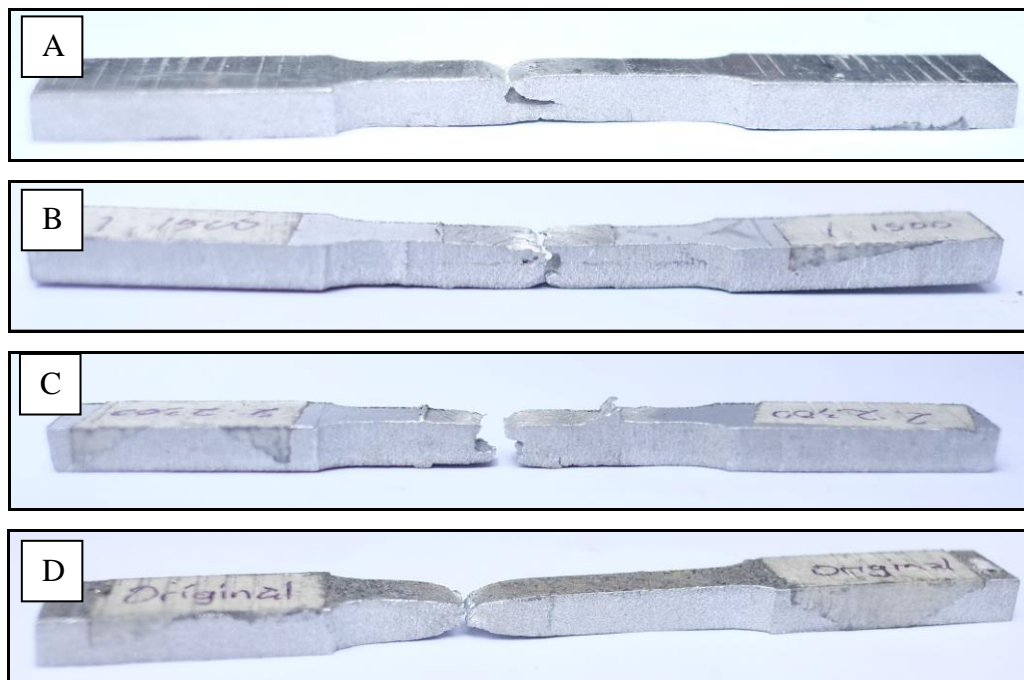
4.5 Fraktografi

Setelah dilakukan pengujian tarik dilakukan pengujian fraktografi pada patahan benda uji, hasil fraktografi dapat dilihat pada gambar 4.13



Gambar 4.16 Penampang patahan spesimen uji tarik dengan kecepatan putar *tool* (a) 950 rpm, (b) 1500 rpm, (c) 2300 rpm, dan (d) *raw material*.

Pada gambar 4.16 (a) Menunjukkan hasil pengelasan FSW mengalami patahan ulet, namun sudah menurun tingkat keuletannya. Hal ini disebabkan hasil las yang menyatu dengan baik walaupun masih terdapat *wormholes* kecil sepanjang lasan. Sedangkan gambar 4.16 (b)&(c) mengalami patahan getas, hal ini dikarenakan terdapat *wormholes* yang cukup besar dan tidak begitu menyatunya spesimen yang dilas FSW dua sisi, dibuktikan juga dari hasil pengamatan mikro dan pengujian tariknya yang mempunyai nilai rendah. Gambar 4.16 (d) menunjukkan patahan *raw material*, bentuk patahan ulet dimana sebelum patah terjadi perpanjangan terlebih dahulu.



Gambar 4.17 Patahan uji tarik tampak samping dengan kecepatan putar tool (a) 950 rpm, (b) 1500 rpm, (c) 2300 rpm, dan (d) *raw material*.

Pada patahan tampak samping sambungan las dua sisi FSW yang ditunjukkan gambar 4.17 (b)&(c) masih terdapat cacat *wormholes* dan itu menandakan tidak begitu menyatunya hasil las pada spesimen tersebut. Sedangkan pada gambar 4.17 (a) meskipun masih terdapat *wormholes* namun bagian yang menyatu lebih banyak dibandingkan dengan lubang. Pada gambar 4.17 (d) bentuk patahan *raw material* tidak berada ditengah spesimen, hal ini memperlihatkan bahwa material ulet, dimana sebelum terjadi patahan spesimen mengalami penyusutan.