

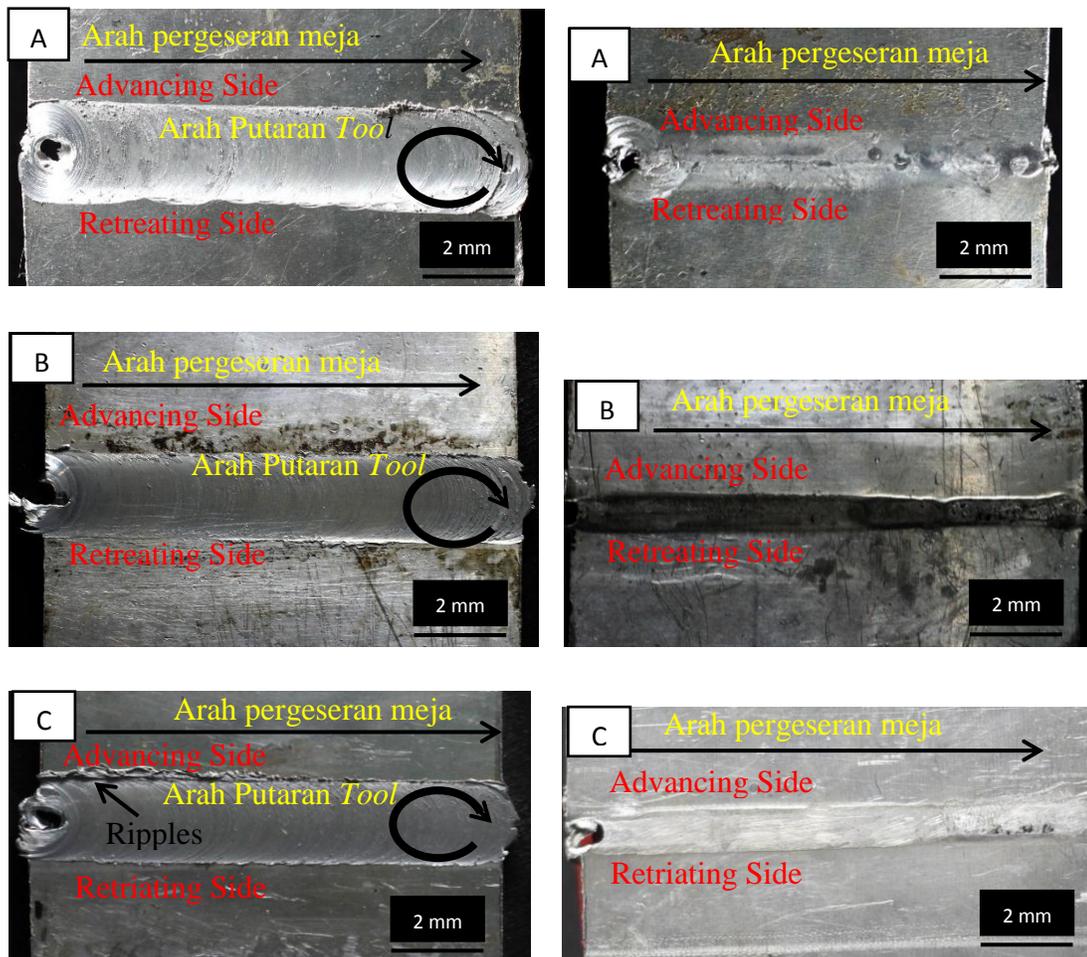
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Pengelasan Pada FSW

Hasil pengelasan menggunakan metode *friction stir welding* 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 mampu melelehkan benda kerja yang diam tersebut dan akhirnya tersambung menjadi satu.

Pada Gambar 4.1 (a) hasil pengelasan dengan metode FSW dengan *Feed rate* 20 mm/menit dengan kecepatan putar *tool* 980 rpm permukaan lasannya terlihat kasar hal tersebut disebabkan oleh kecepatan putar *tool* terlalu pelan sehingga menghasilkan panas yang kurang untuk melelehkan aluminium yang akan disambung atau dilas. (b) menunjukkan hasil pengelasan dengan kecepatan putar *tool* 2300 rpm dengan *feed rate* 20 mm/menit sambungan las menyatu dengan baik dan tidak terdapat *ripples*. Hal tersebut disebabkan panas yang dihasilkan pada saat proses pengelasan cukup dan konstan hingga akhir pengelasan dan (c) sambungan las menyatu dengan baik. walaupun masih terdapat *ripples* yang disebabkan oleh *tool* terlalu menempel pada plat saat proses pengelasan dan tidak halusya permukaan *tool* yang bergesekan antara *tool* dengan benda kerja yang menyebabkan hasil las tidak begitu halus dan rapi.



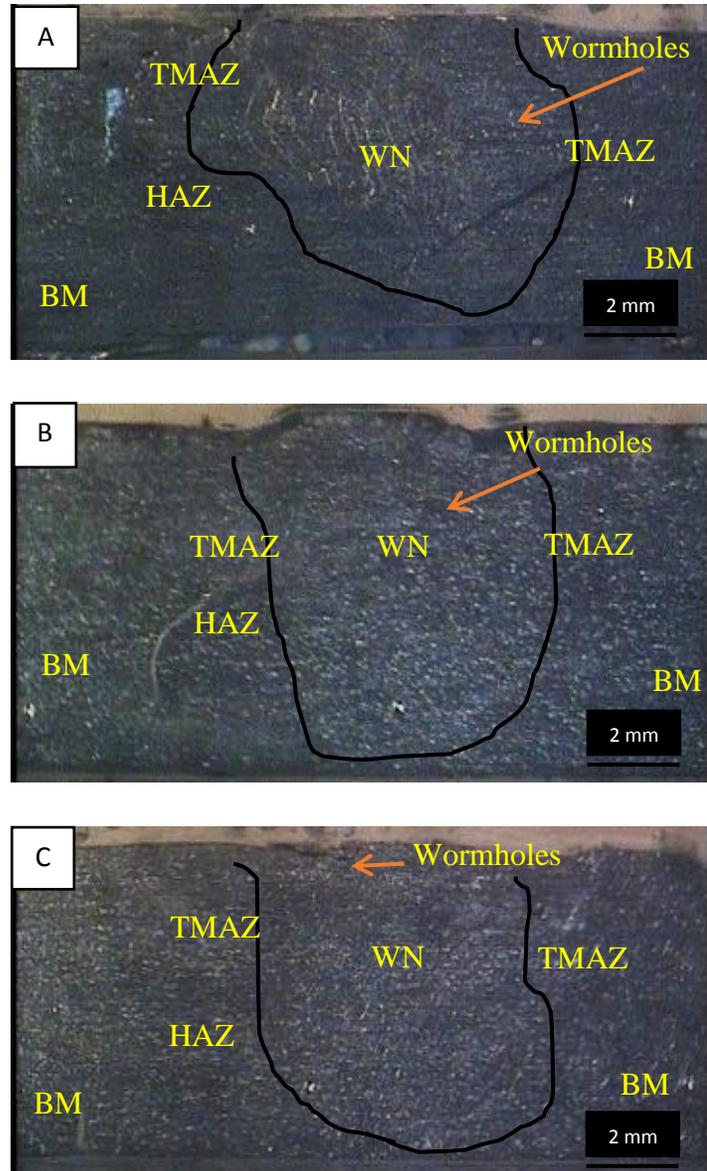
Gambar 4.1 (a). Hasil pengelasan dan tampak belang dengan metode FSW kecepatan putar *tool* 980 rpm (b). 2300 rpm. (c). 2700 rpm.

## 4.2 Hasil Foto Makro dan Mikro

### a. Hasil Foto Makro

Berdasarkan hasil foto struktur makro untuk tiap spesimen memiliki perbedaan yang sangat signifikan baik dari segi bentuk ataupun dari sifat mekaniknya. Hal ini dikarenakan panas yang dihasilkan dari tiap kecepatan putar *Tool* tidak sama sehingga menyebabkan proses pelunakan material tidak seluruhnya melunak. Proses pelunakan sangat berperan penting dalam pengelasan ini karena jika material tidak meleleh *pin* yang berfungsi sebagai

pengaduk dan penyambung material tidak akan bisa mengaduk dengan sempurna.

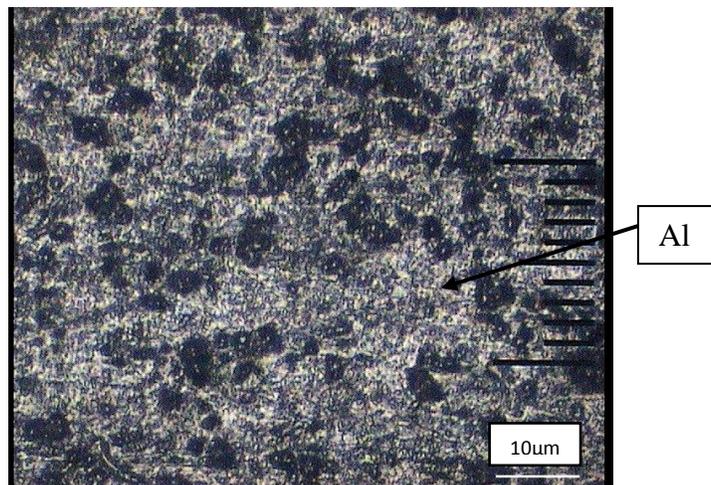


Gambar 4.2. Struktur makro sambungan las FSW dengan variasi putaran *tool* (a) 980 rpm, (b) 2300 rpm, dan (c) 2700 rpm.

## b. Hasil Foto Mikro

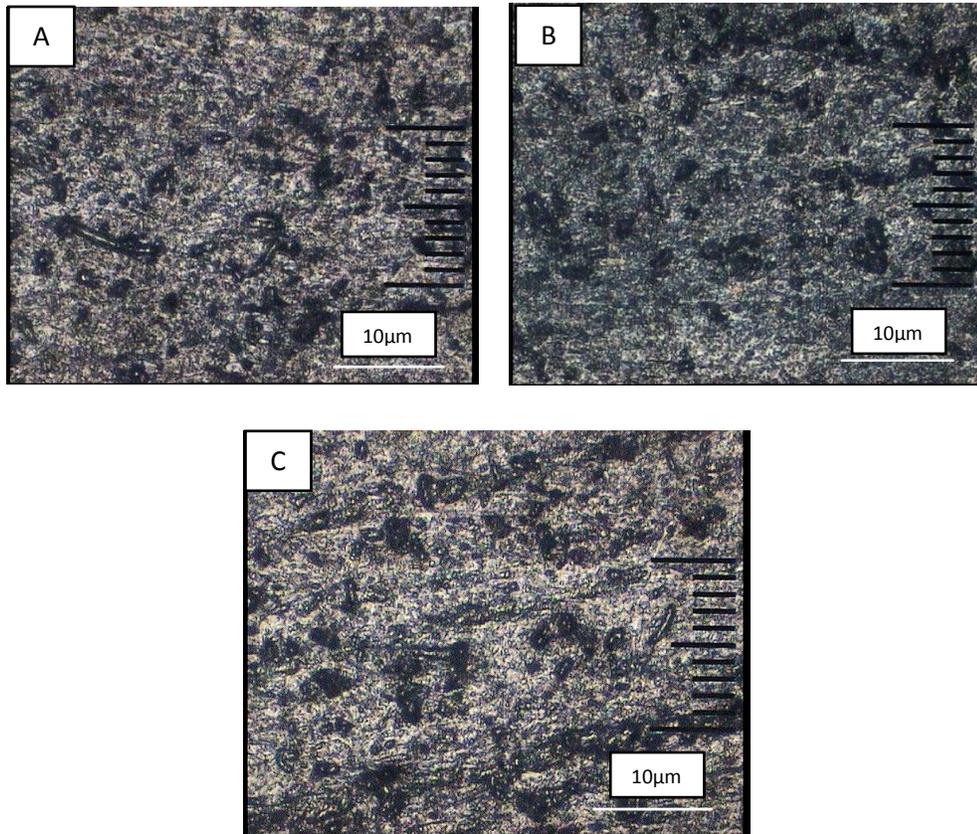
Hasil pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi akibat adanya proses pengelasan dengan metode FSW, yaitu di daerah *stir zone*, HAZ, dan *base metal*. Pada pengelasan FSW dengan penggunaan aluminium 1XXX hanya terjadi penghalusan partikel-partikel pada daerah *stir zone* dan tidak terjadi perubahan fase karena pada pengelasan ini tidak menggunakan logam pengisi.

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 berbeda.



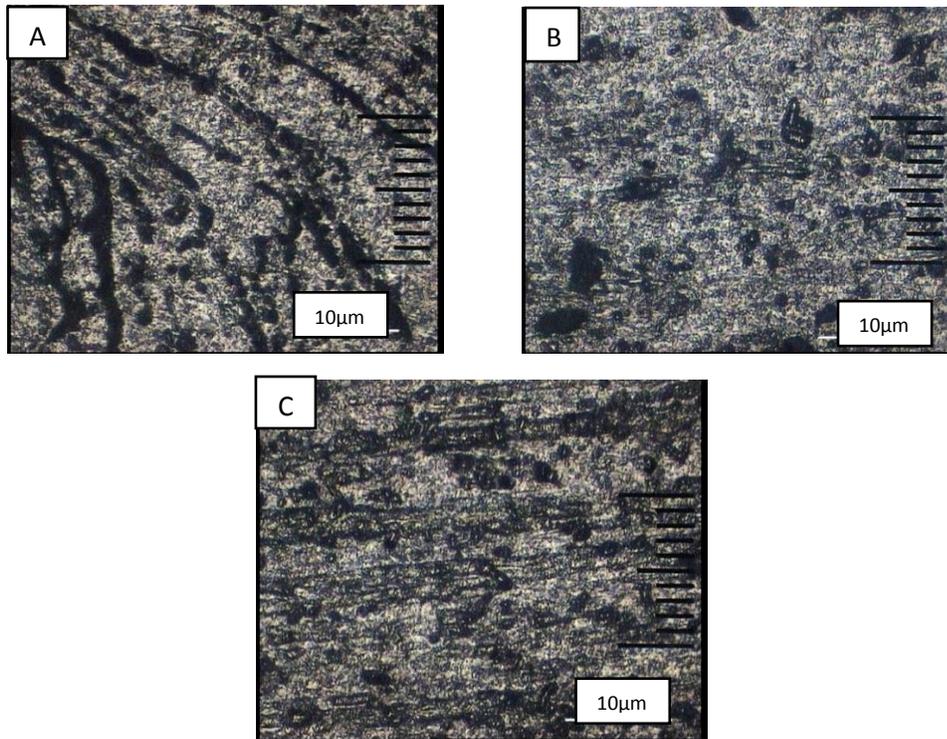
**Gambar 4.3** Struktur mikro *base metal* Aluminium 1xxx setelah pengujian mikrostruktur dengan pembesaran

Pada gambar 4.3 daerah base metal bentuk butir hitam memiliki ukuran partikel yang lebih lebar karena pada daerah base metal tidak terpengaruh efek panas yang dapat merubah struktur mikronya.



**Gambar 4.4** (a) Struktur Mikro daerah HAZ pada kecepatan *tool* 980 rpm (b) 2300 rpm dan (c) 2700 rpm pengujian mikrostruktur dengan pembesaran 100x

Pada Gambar 4.4 terlihat bentuk butir hitam memiliki perbedaan ukuran partikel yang tidak signifikan dari masing-masing variasi kecepatan putar tool dikarenakan efek panas yang dihasilkan dari gesekan pin dengan spesimen pada saat proses pengelasan mudah menyebar dengan cepat pada cekam yang digunakan. Hal ini disebabkan spesimen yang digunakan menggunakan plat aluminium yang tipis dengan ketebalan 2mm.



**Gambar 4.5** Struktur mikro daerah *stir zone* variasi putar *tool* (a) 980 rpm, (b) 2300 rpm, dan (c) 2700 rpm dengan pembesaran 100x

Pada Gambar 8(a) Struktur mikro pada daerah *stir zone* terlihat bentuk partikel terlihat kasar dan terlihat mengikuti alur dari putaran pin tersebut, hal ini diakibatkan kurangnya efek panas dan tidak stabilnya panas yang dihasilkan pada proses pengelasan, efek panas yang dihasilkan pada putaran 980 rpm sebesar 65 – 140 °C. Gambar 8(b) dan (c) pada daerah ini partikel mengalami pertumbuhan dan partikel terlihat lebih lembut terjadi akibat adanya rekristalisasi yang disebabkan oleh proses puntiran pada saat pengelasan, panas yang dihasilkan cukup stabil sebesar 68 – 210 °C.

#### 4. 3 Hasil Uji kekerasan

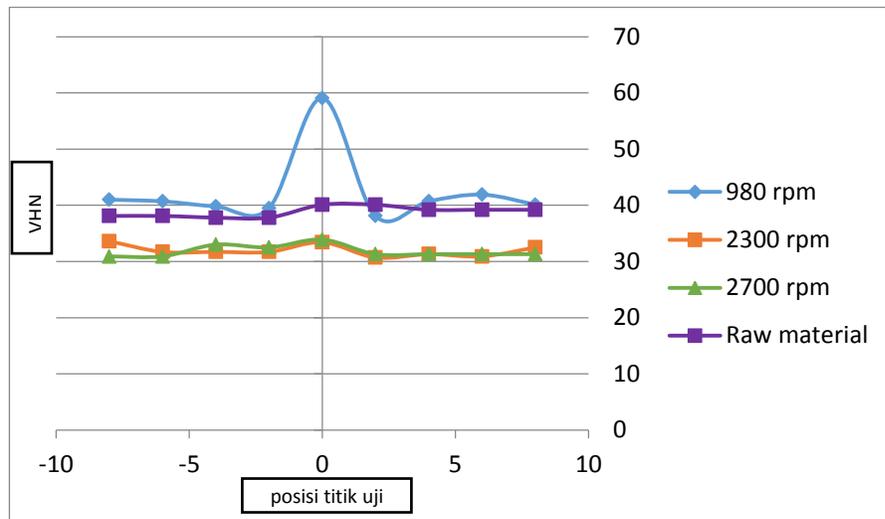
Pengujian kekerasan dilakukan pada tiap spesimen hasil pengelasan dengan variasi kecepatan putar *tool*. Table 4.1 Menunjukkan data hasil pengujian kekerasan

dengan menggunakan *Vickers*, kemudian pada gambar menunjukkan grafik perbandingan kekerasan pada tiap variasi pengelasan.

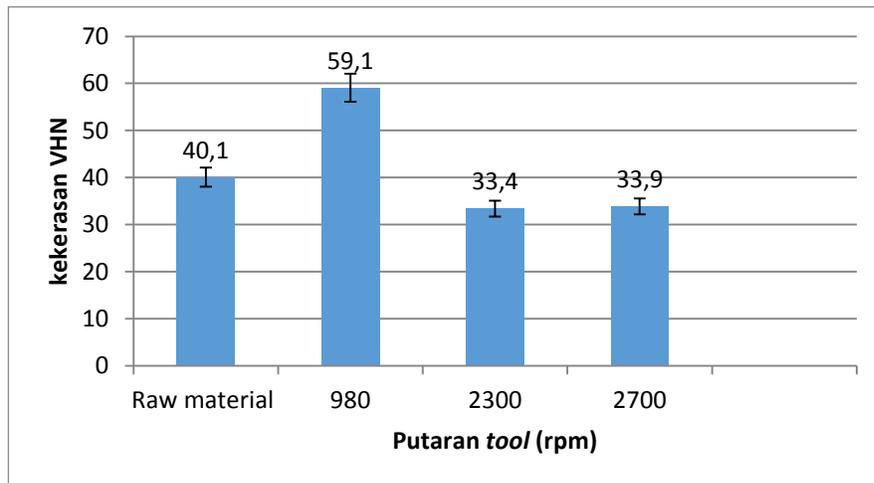
**Tabel 4.1** Hasil pengujian kekerasan

No	Posisi titik uji	Nilai kekerasan VHN			
		980	2300	2700	Raw Material
1	8 mm	41.0	33.6	30.9	38.1
2	6 mm	40.7	31.7	30.9	38.1
3	4 mm	39.8	31.7	33.0	37.8
4	2 mm	39.5	31.7	32.5	37.8
5	0 mm	59.1	33.4	33.9	40.1
6	2 mm	38.1	30.7	31.3	40.1
7	4 mm	40.7	31.3	31.3	39.2
8	6 mm	41.9	30.9	31.3	39.2
9	8 mm	40.1	32.5	31.3	39.2

Proses pengelasan aluminium dengan *friction stir welding* menggunakan variasi putaran *tool* 980, 2300, 2700 rpm hasil pada pusat las lebih kecil dari raw material, kecuali pada putaran *tool* 980 rpm dapat dilihat pada table 4.1. Pada putaran *tool* 980 rpm memiliki kekerasan paling tinggi dipusat las sebesar 59,1 VHN sedangkan Kekerasan yang rendah di pusat las pada putaran *tool* 2300 rpm sebesar 33,4 VHN. ini dapat terjadi karena heat input yang besar dapat menghasilkan bentuk grain yang kecil.



**Gambar 4.6** Grafik distribusi kekerasan dari pusat las



**Gambar 4.7** Grafik pengaruh putaran *tool* terhadap kekerasan pada daerah sambungan las (titik 0)

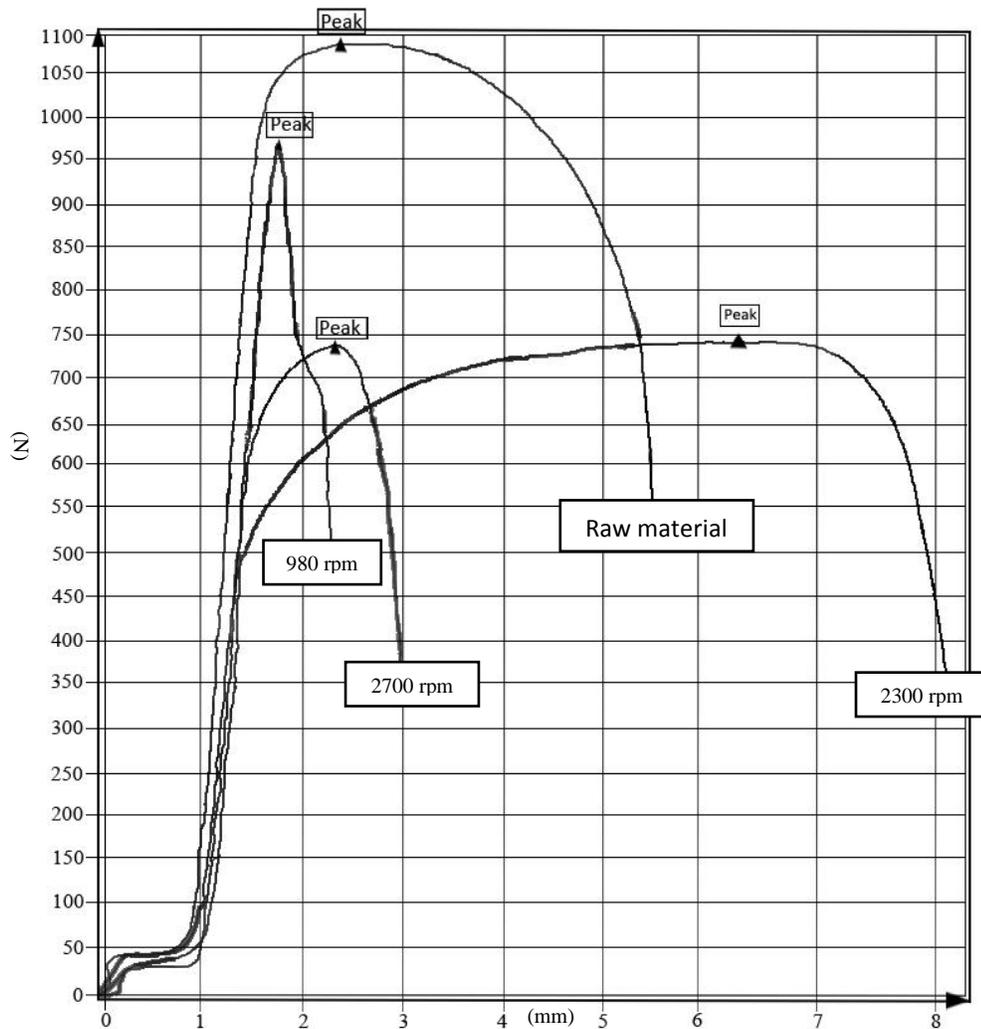
Pada gambar 4.6 menunjukkan bahwa kekerasan dari sambungan FSW variasi putaran tool 980, 2300, 2700 rpm hasilnya adalah 59,1, 33,4, 33,9 VHN. Kekerasan sambungan las FSW mencapai 148 % dimana hasil kekerasan tertinggi terjadi pada putaran 980 rpm sebesar 59.1 VHN lebih tinggi dari nilai kekerasan *raw material* sebesar 40.1VHN.

Dari gambar grafik 4.7 menunjukkan bahwa ketiga variasi putaran *tool* diketahui bahwa semakin besar putaran *tool* maka tingkat kekerasannya semakin kecil. Hal ini dikarenakan semakin tinggi putaran maka heat input yang dihasilkan

akan semakin besar. Dan semakin besar heat input maka akan menyebabkan butir semakin berkembang sehingga menyebabkan ukuran butir semakin besar, semakin besar ukuran butir maka jumlah butir perluasan akan semakin berkurang sehingga menyebabkan tingkat kekerasannya menurun.

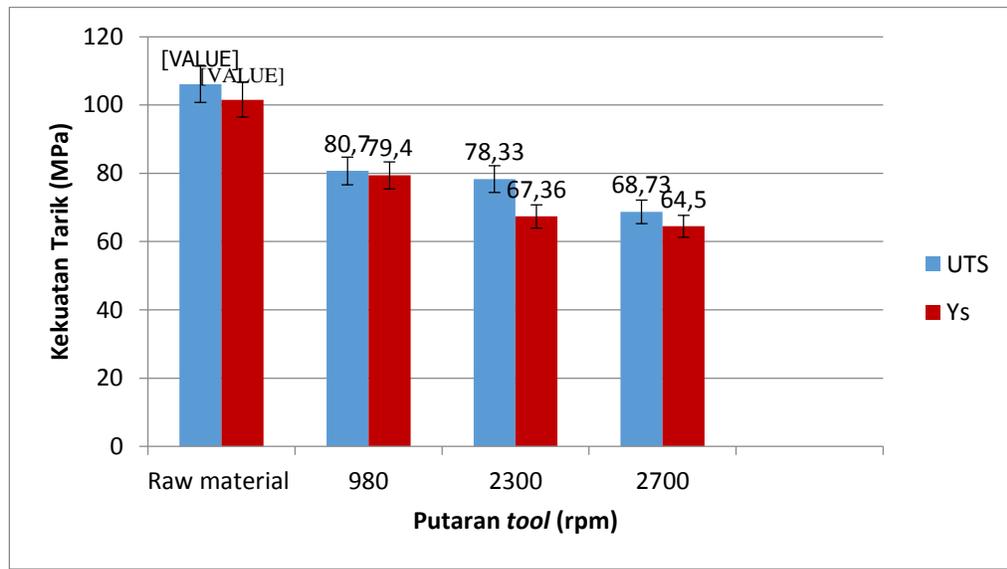
#### **4.4 Hasil Uji Tarik**

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



Gambar 4.8 Grafik Uji Tarik hasil FSW pada variasi putar *tool*

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa antara logam induk aluminium 1xxx dengan logam yang sudah dilas memiliki perbedaan tegangan tarik yang sangat signifikan, yang hampir mencapai 76% dari kekuatan *raw material*nya. Hal ini dikarenakan pada daerah las mengalami perubahan struktur mikro, akibat dari penempaan pada saat pengelasan.



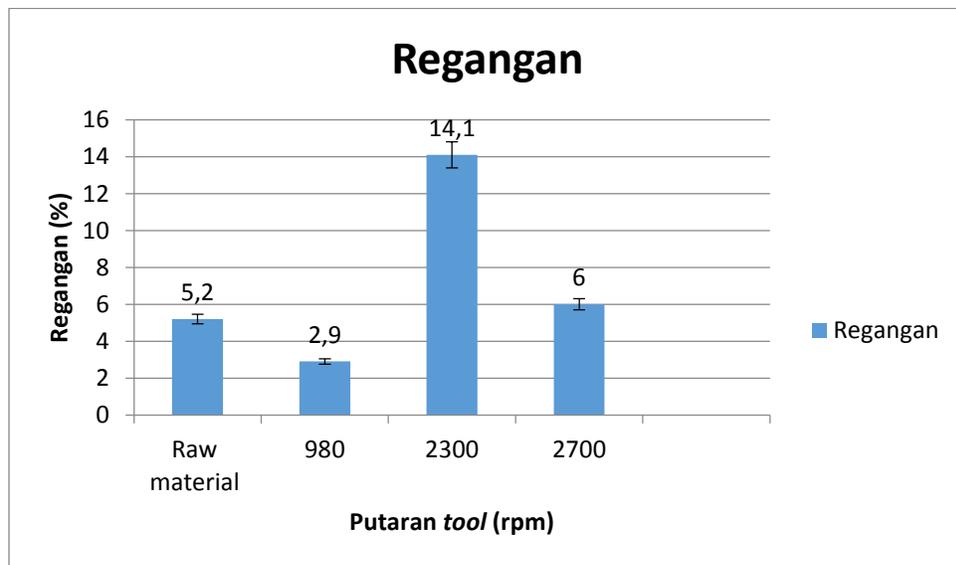
**Gambar 4.9** Grafik *Tensile Strenght* dan *Yield Strenght* pada sambungan las FSW dengan variasi putaran *tool*

Pada Gambar 4.9 menunjukkan bahwa kekuatan tarik dari sambungan FSW variasi putaran *tool* 980, 2300, 2700 rpm hasilnya adalah 80.7, 78.33, 68.73 MPa. Kekuatan tarik dan tegangan luluh terendah pada putaran *tool* 2700 rpm sebesar 68.73 dan 64.5 MPa. Hal ini disebabkan terdapat cacat *Incomplete Penetration* (IP) dikarenakan panas yang terlalu tinggi pada variasi tersebut menyebabkan material menjadi lebih mudah retak sehingga kekuatan tariknya menurun. Sedangkan hasil kekuatan Tarik dan tegangan tertinggi diperoleh pada putaran *tool* 980 rpm sebesar 80.7 dan 79.4 MPa. Hal ini diduga tidak terdeteksi adanya retak didaerah las, dan mempunyai kekerasan cukup tinggi. Kekuatan tarik dari sambungan tersebut mencapai 76% dari kekuatan tarik *raw material*.

Nilai *yeld strength* pada sambungan FSW variasi putar *tool* 980, 2300, 2700 rpm masing-masing adalah 101.53, 79.4, dan 64.5 MPa. Tegangan luluh pada putaran *tool* 2700 rpm diperoleh hasil yang rendah disebabkan terdapat rongga dan retak pada sambungan las FSW. Kekuatan tegangan luluh sambungan mencapai 78% dari tegangan luluh *raw material*.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Sudrajat, A., (2012), kekuatan tarik hasil las mencapai 50% dari *base metal*, diduga tidak teramati cacat *wormholes* dan penetrasi yang cukup kurang pada hasil pengelasan.

Gambar 4.10 juga memperlihatkan bahwa nilai regangan mengalami perbedaan dibanding dengan regangan yang dimiliki oleh *raw material*. Hal ini dikarenakan patahan terjadi tepat pada daerah lasan, yang merupakan daerah yang paling banyak mengalami perlakuan teknik, sehingga pada daerah tersebut kekuatan materialnya mengalami perbedaan.



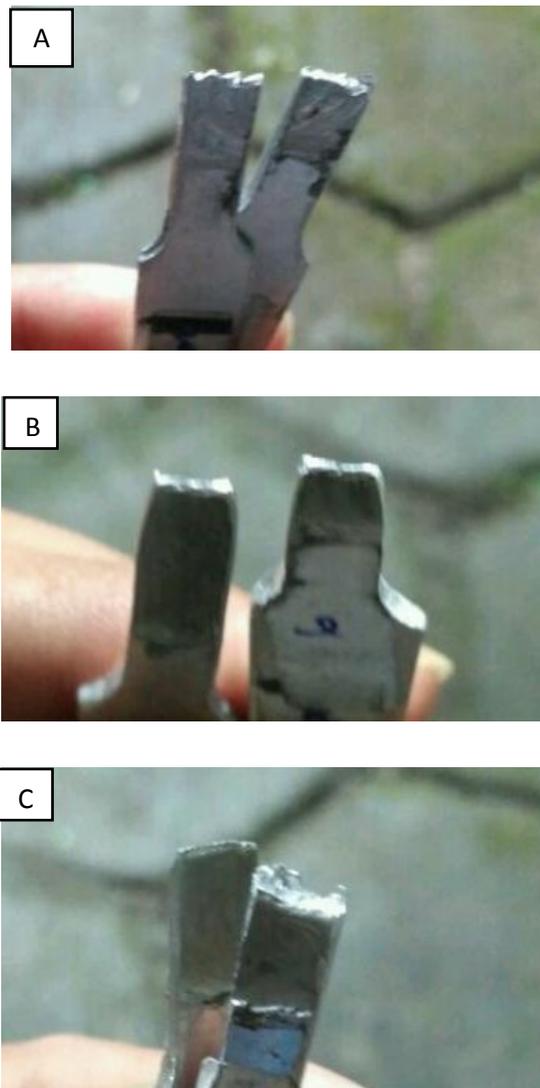
**Gambar 4.10** Pengaruh putaran *tool* terhadap regangan hasil las FSW

Pada gambar 4.10 hasil dari pengujian tarik untuk nilai regangan dengan variasi putaran *tool* 980 rpm sebesar 2.9%, putaran *tool* 2300 rpm sebesar 14.1%, putaran *tool* 2700 rpm sebesar 6% dan pada *raw material* sebesar 5.2%. Pada hasil pengujian tarik tersebut nilai regangan tertinggi pada putaran *tool* 2300 rpm disebabkan pada hasil las tidak terlihat retak maupun rongga membentuk butiran-butiran halus, dan nilai kekerasan juga cukup tinggi sehingga mengalami patahan ulet. Sedangkan nilai regangan terendah pada putaran *tool* 980 rpm yang disebabkan terdapat rongga, terlihat adanya retak, membentuk butiran-butiran kasar dikarenakan kurangnya panas

yang didapat pada saat proses pengelasan sehingga patahan terjadi tepat pada daerah las dan mengalami patahan getas.

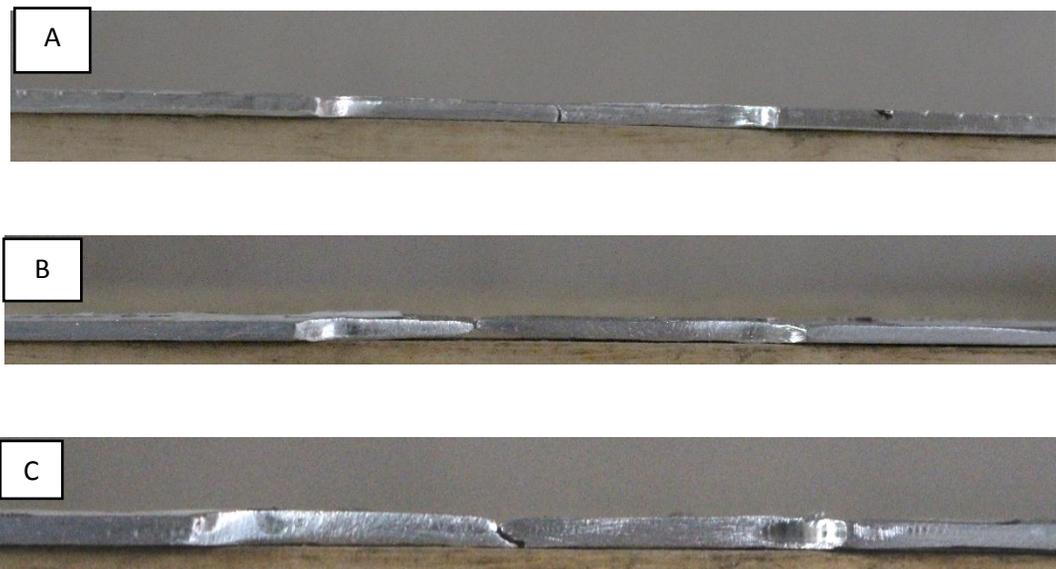
#### 4.5 Fraktografi

Setelah dilakukan pengujian Tarik dilakukan pengujian fraktografi pada patahan benda uji, hasil fraktografi dapat dilihat pada gambar 4.12



**Gambar 4.12** Patahan spesimen uji tarik penampang patahan dengan putaran *tool*  
(a) 980 rpm, (b) 2300 rpm dan (c) 2700 rpm

Dari hasil yang telah dilakukan setelah uji tarik diperoleh bahwa spesimen gambar 4.12 (a) hasil pengelasan FSW mengalami patahan getas. Hal ini dikarenakan pada proses pengelasan kecepatan tersebut terlalu rendah yang tidak mengalami pemanasan yang optimal diduga pula terdapat lubang dan retak. Sedangkan gambar 4.12 (b) dan (c) mengalami patahan ulet, hal ini disebabkan hasil las menyatu dengan baik, tidak teramati retak, dan terdapat lubang kecil pada hasil las FSW.



**Gambar 4.13** Patahan uji tarik tampak samping dengan kecepatan putar *tool* (a) 980 rpm (b) 2300 rpm dan (c) 2700 rpm.

Pada patahan tampak samping sambungan las dapat dilihat pada gambar 4.13 Pada sambungan las gambar 4.13 (a) masih terdapat cacat las yang berupa lubang di jalur tool FSW dan tidak begitu menyatunya hasil las pada spesimen kecepatan tersebut. Sedangkan pada gambar (b) dan (c) spesimen uji tarik mengalami penyusutan terlebih dahulu sebelum terjadi patahan, hal ini dikarenakan proses sambungan las menyatu dengan baik. Sesuai dengan hasil uji dari foto makro, hal tersebut membuktikan bahwa nilai kekuatan tarik sangat berhubungan dengan nilai kekerasan.