

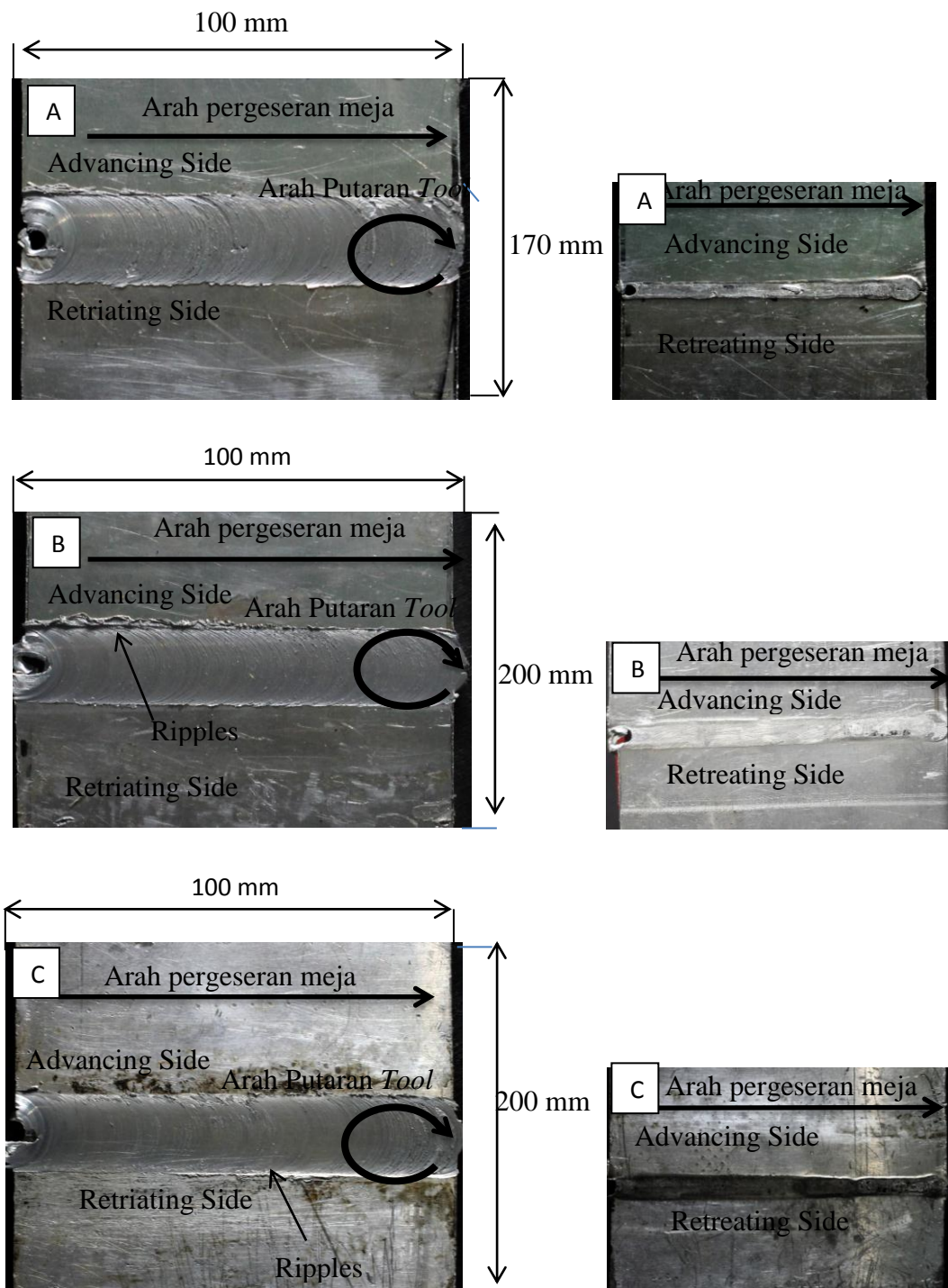
## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Hasil Pengelasan Pada FSW**

Hasil pengelasan menggunakan metode FSW ditunjukkan pada Gambar 4.1. Pengelasan FSW adalah penyambungan pada kondisi padat atau logam las tidak mencair (*solid-state process*) dengan memanfaatkan gesekan antara pin beserta *sholder* dengan benda kerja sehingga mampu melunakan benda kerja tersebut dan terbentuklah sambungan las.

Pada Gambar 4.1.a menunjukkan bahwa hasil pengelasan dengan metode FSW dengan kecepatan putar *tool* 1300 rpm dengan *feed rate* 20 mm/menit terlihat lubang dan permukaan las masih terlihat kasar hal tersebut disebabkan putaran *tool* rendah sehingga pelunakan akibat panas dari *friksi* kurang maksimal. Pada kecepatan putar *tool* 2200 rpm dengan *feed rate* 20 mm/menit sambungan las menyatu dengan baik walaupun masih terdapat *ripples* dan permukaan kurang halus yang disebabkan pelunakan dari *friksi* mengalami siklus termal sehingga menyebabkan kempuh dipermukaan las, dapat dilihat pada gambar 4.1.b. Sedangkan pada gambar 4.1.c menunjukkan bahwa kecepatan putar *tool* 3300 rpm dengan *feed rate* 20 mm/menit sambungan las menyatu dengan baik, teramati adanya *ripples*. Hal tersebut disebabkan panas dari *friksi* lebih tinggi sehingga menyebabkan kempuh dipermukaan las.



**Gambar 4.1** hasil pengelasan dengan metode FSW variasi kecepatan putar *tool* dengan *feed rate* 20 mm/menit (a) 1300 rpm, (b) 2200 rpm, (c) 3300 rpm

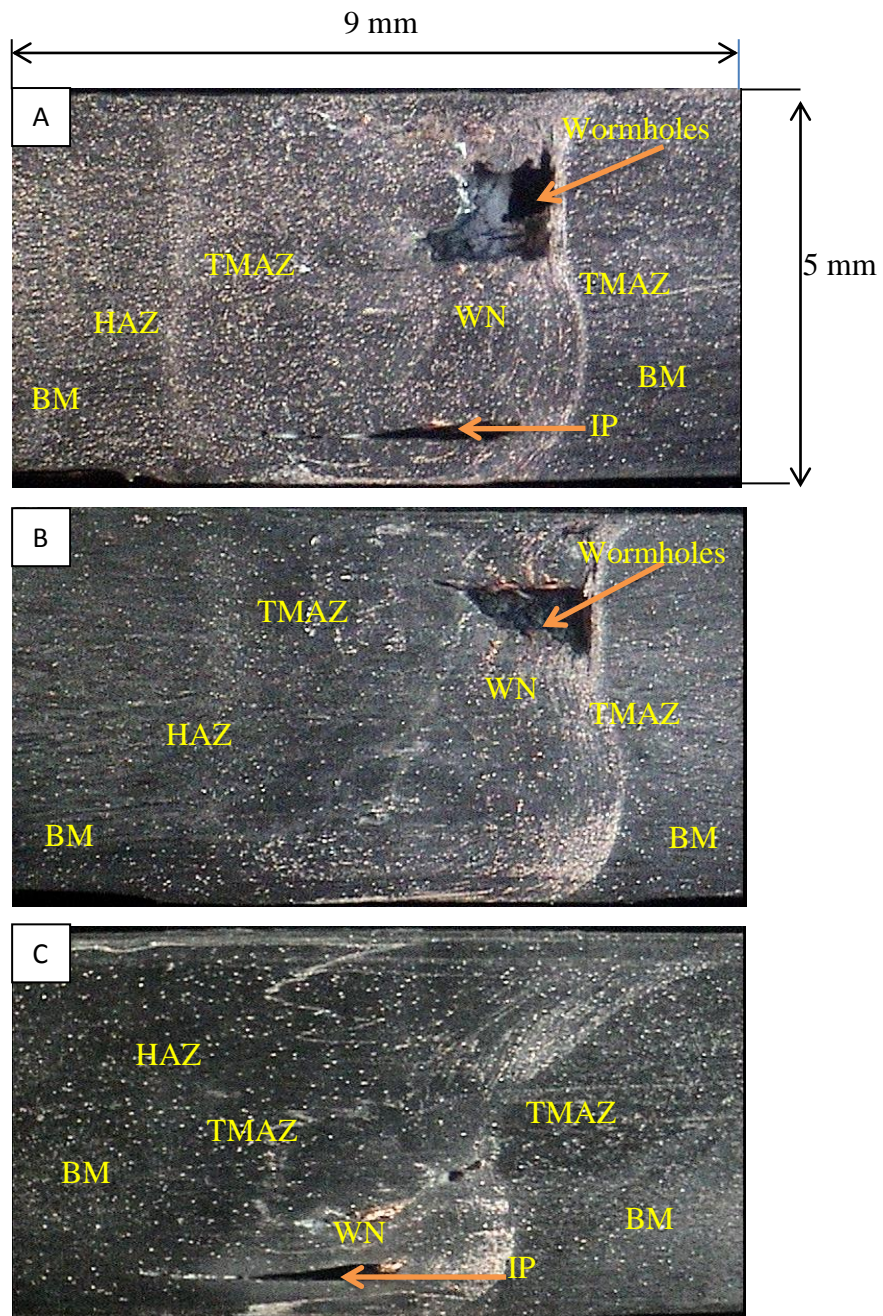
## 4.2 Hasil Foto Makro dan Mikro

### 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.

Dari gambar 4.2 menunjukkan hasil pengelasan FSW adanya cacat *wormholes* dan *incomplete penetrationn* (IP) pada hasil pengelasan. Cacat *wormholes* yang memiliki panjang 2,4 mm, lebar 2,3 mm dan IP terdapat pada hasil pengelasan dengan putaran *tool* 1300 rpm. Cacat *wormholes* disebabkan kurangnya penetrasi dan menimbulkan konsentrasi tegangan pada hasil pengelasan, cacat IP disebabkan oleh kurangnya penekanan pembenaman serta suhu pengelasan yang rendah. Cacat *wormholes* juga terjadi pada variasi putaran *tool* 2200 rpm yang memiliki panjang 2,2 mm, lebar 2 mm dan pada variasi putaran *tool* 3300 rpm terdapat cacat IP yang memiliki panjang 2 mm, lebar 0,5 mm disebabkan suhu panas yang terlalu tinggi pada variasi tersebut sehingga menyebabkan material menjadi lebih mudah retak karena heat input yang terlalu tinggi.

Haipan (2012) menyatakan bahwa hal ini dapat terjadi akibat material yang teraduk hanya sepertiga dari seluruh material yang dilas. Pada gambar 4.2 terlihat adanya batas antara material yang menyatu dan tidak.

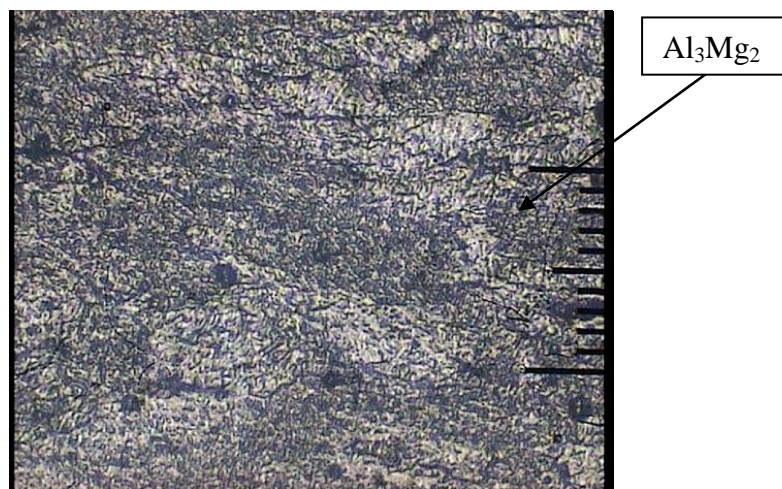


**Gambar 4.2** Foto Stuktur makro sambungan las FSW dengan variasi putaran *tool* dengan pembesaran 9 kali a) 1300 rpm, (b) 2200 rpm, dan (c) 3300 rpm

## b. Hasil Foto Mikro

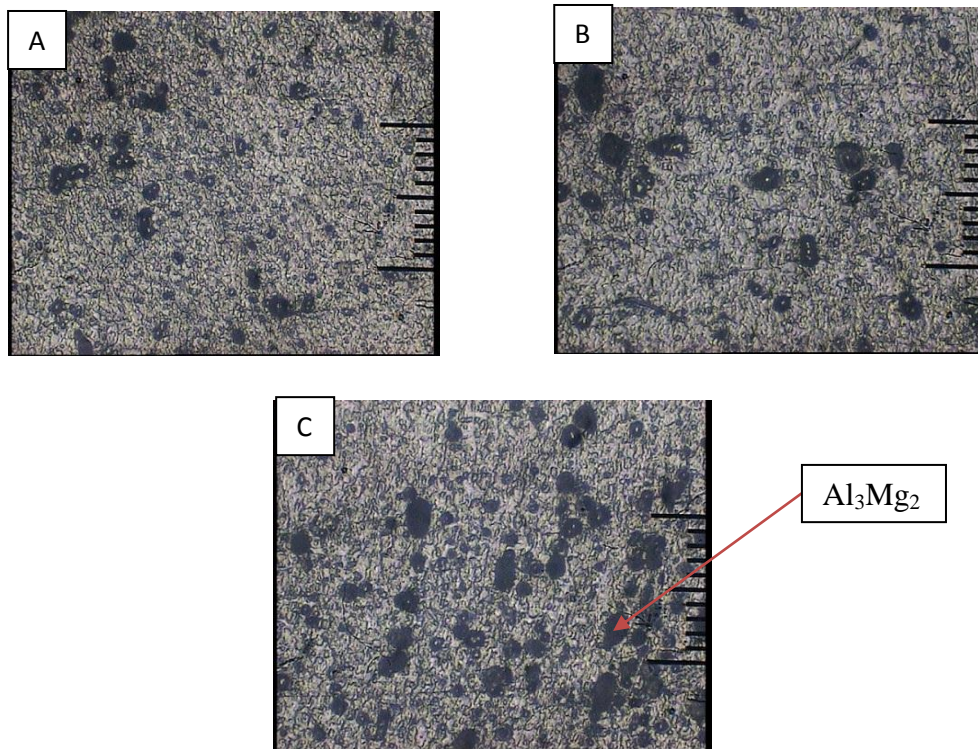
Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi akibat adanya proses pengelasan dengan metode FSW, yaitu di daerah *stir zone*, HAZ, dan *base metal*. Pada pengelasan FSW dengan penggunaan aluminium 5051 hanya terjadi penghalusan partikel-partikel pada daerah *stir zone* dan tidak terjadi perubahan fase karena pada pengelasan ini tidak menggunakan logam pengisi. Menurut Wahyudiato (2015) menyatakan bahwa partikel hitam yang terdispersi merata pada matriks aluminium adalah  $\text{Al}_3\text{Mg}_2$ , seperti yang dijelaskan pada Gambar 4.3 dan 4.4 Pada pengelasan FSW paduan Aluminium 5051.

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.



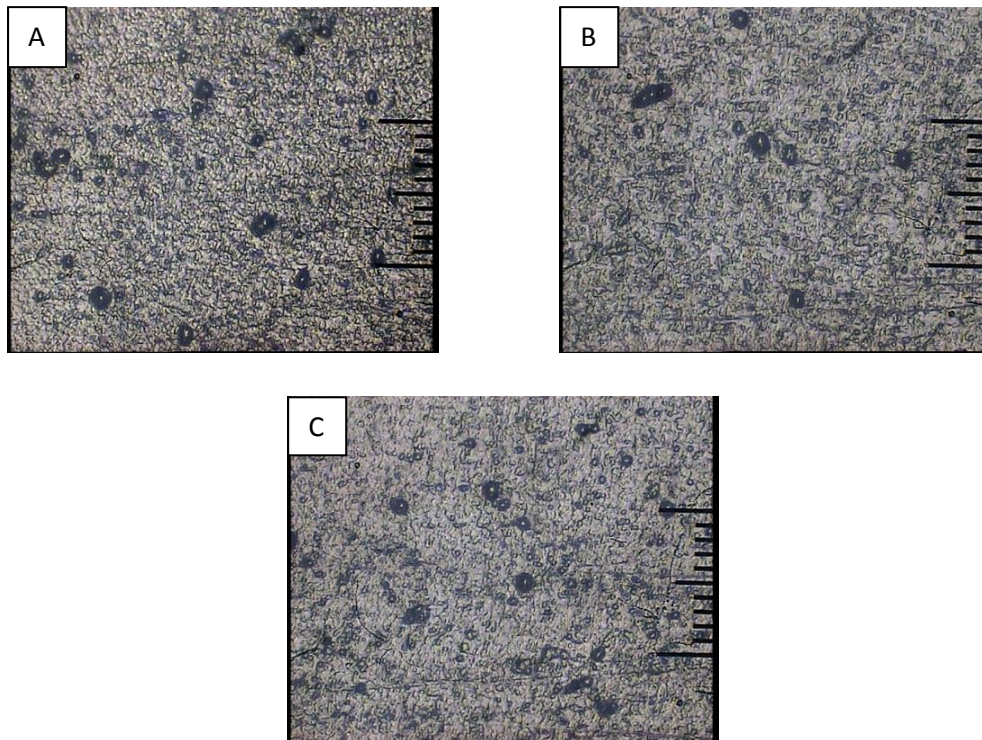
**Gambar 4.3** Struktur mikro *base metal* Aluminium 5051 setelah pengujian mikrostruktur dengan pembesaran 100x

Menurut Wahyudianto (2015), bentuk butir pada aluminium 5052 memiliki panjang rata-rata 10  $\mu\text{m}$  dan lebar rata-rata 8  $\mu\text{m}$  serta berbentuk hitam itu menunjukkan kandungan butir  $\text{Al}_3\text{Mg}_2$ . Hasil foto struktur mikro daerah HAZ dengan perbesaran 100x dengan varisai putaran tool 1300,2200,3300 rpm dapat dilihat gambar 4.3



**Gambar 4.4** Struktur Mikro daerah HAZ variasi putaran *tool* dengan pembesaran 100 kali (a) 1300 rpm, (b) 2200 rpm (c) 3300 rpm

Pada Gambar 4.4.a menunjukkan daerah HAZ mengalami perubahan bentuk partikel, pada daerah tersebut ukuran partikel terlihat lebih kecil memiliki lebar rata-rata 10  $\mu\text{m}$  dan partikel terlihat halus jika dibandingkan dengan daerah Gambar 4.4.(b).(c). Gambar 4.4.b untuk daerah HAZ, bentuk partikel  $\text{Al}_3\text{Mg}_2$  terlihat memiliki lebar rata-rata 20  $\mu\text{m}$  dan pada daerah tersebut tidak terlihat adanya transisi antara HAZ dan *weld*. Bentuk butir pada daerah HAZ pada gambar 4.4.c lebih besar memiliki lebar rata-rata 25  $\mu\text{m}$ . Ukuran butir semakin bertambah seiring dengan tingginya kecepatan putaran tool hal ini dikarenakan pada daerah HAZ 3300 rpm menerima *heat input* yang lebih besar berasal dari pengelasan. Dari ketiga penjelasan bahwa daerah HAZ partikel masih berbentuk kasar dikarenakan daerah HAZ hanya terpengaruh panas dari gesekan *tool* pada saat proses pengelasan.



**Gambar 4.5** Struktur Mikro daerah *stir zone* variasi putaran *tool* dengan pembesaran 100 kali (a) 1300 rpm, (b) 2200 rpm, (c) 3300 rpm

Pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa butiran logam akan semakin kecil bila dekat dengan *stir zone* bila dibandingkan butiran logam antara *base metal*, dan HAZ. Gambar 4.5.(b).(c) menunjukkan daerah *stir zone*, pada daerah ini partikel mengalami pertumbuhan dan partikel terlihat lebih kecil dan lembut terjadi akibat adanya rekristalisasi yang disebabkan oleh proses puntiran pada saat pengelasan.

### 4.3 Hasil Uji Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan ini dilakukan pada tiap spesimen hasil pengelasan dengan variasi putaran *tool*. Table 4.1 menunjukkan data hasil pengujian kekerasan dengan menggunakan uji kekerasan *Vickers*, kemudian pada Gambar 4.6 menunjukkan grafik perbandingan kekerasan pada setiap variasi pengelasan.

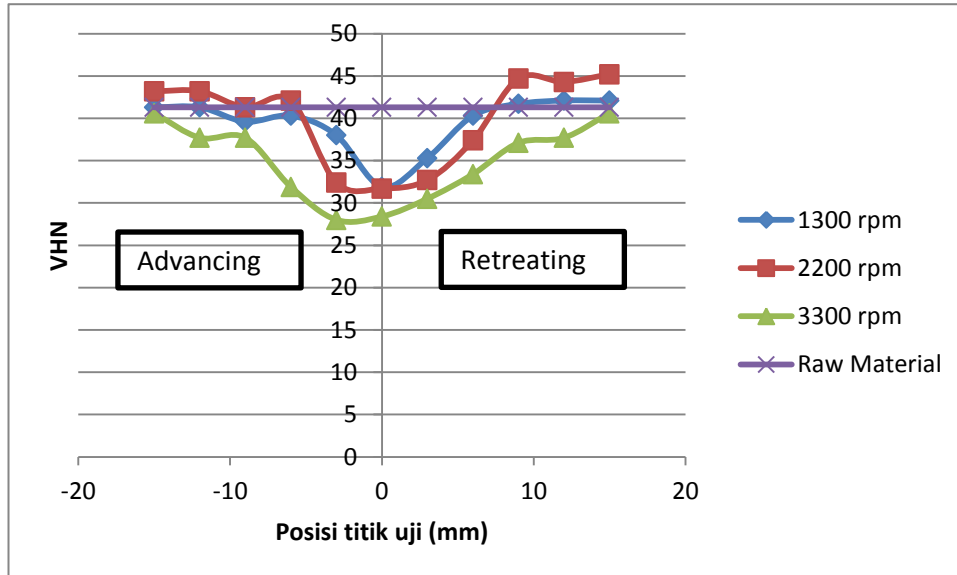
**Tabel 4.1** Hasil Pengujian Kekerasan

Posisi titik uji (mm)	Nilai kekerasan VHN			
	1300	2200	3300	Raw Material
15	41.3	43.2	40.6	-
12	41.3	43.2	37.7	41.3
9	39.6	41.3	37.7	-
6	40.3	42.1	31.9	-
3	38	32.4	28	-
0	31.9	31.7	28.4	41.3
3	35.3	32.7	30.5	-
6	40.3	37.4	33.4	-
9	41.7	44.7	37.1	-
12	42.1	44.3	37.7	-
15	42.1	45.2	40.6	41.3

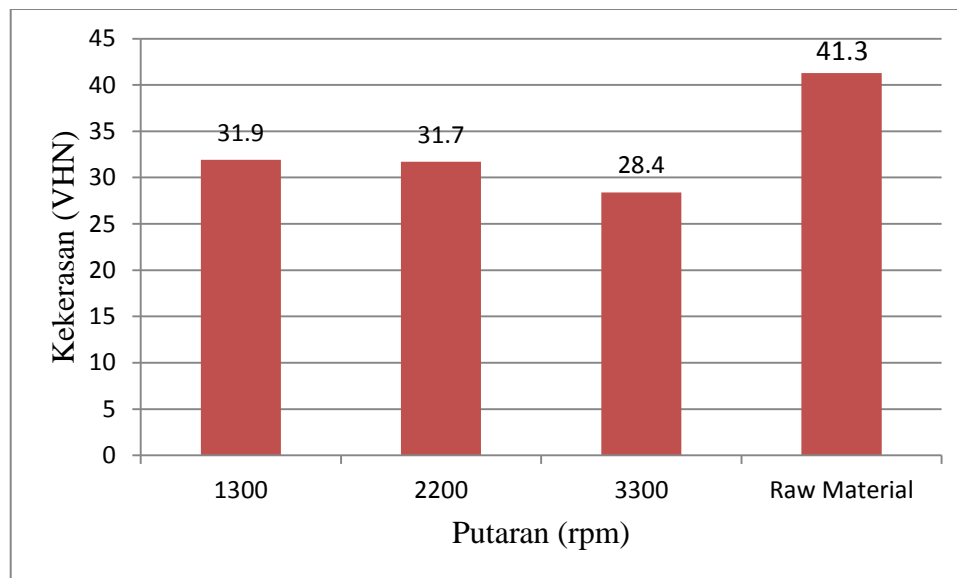
Proses pengelasan aluminium dengan *friction stir welding* menggunakan variasi putaran *tool* 1300, 2200, 3300 rpm hasil pada pusat las lebih kecil dari raw material, dapat dilihat pada table 4.1. Pada putaran *tool* 1300 rpm memiliki kekerasan paling tinggi di pusat las sebesar 31,9 VHN sedangkan Kekerasan yang rendah di pusat las pada putaran *tool* 3300 rpm sebesar 28,4 VHN, ini dapat terjadi karena *heat input* yang besar proses pendinginannya membutuhkan waktu lama sehingga kekerasannya menurun. Erwanto, R., (2015) Al 5052 variasi putaran *tool* 1500, 2500, 3500 rpm dengan *feed rate* 60 mm/menit kekerasan mencapai 78 % dari kekuatan *raw material*.

Pada gambar 4.6 menunjukkan hasil daerah distribusi kekerasan dari pusat las ke *advancing* dan *retreating*. Hasil pada pusat titik las pada 3300 ke 1300 rpm terjadi kenaikan nilai kekerasan mekipun tidak signifikan. Penurunan nilai kekerasan pada daerah las dikarenakan karakteristik dari paduan itu sendiri selain itu juga disebabkan proses pengerasan membutuhkan waktu lama. Sedangkan pada jarak 3-15 mm dari pusat las kenaikan nilai kekerasan mulai terjadi hingga nilainya kurang lebih sama dengan logam induk.





**Gambar 4.6** Grafik distribusi kekerasan dari pusat las ke *retreating* dan *advancing*



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

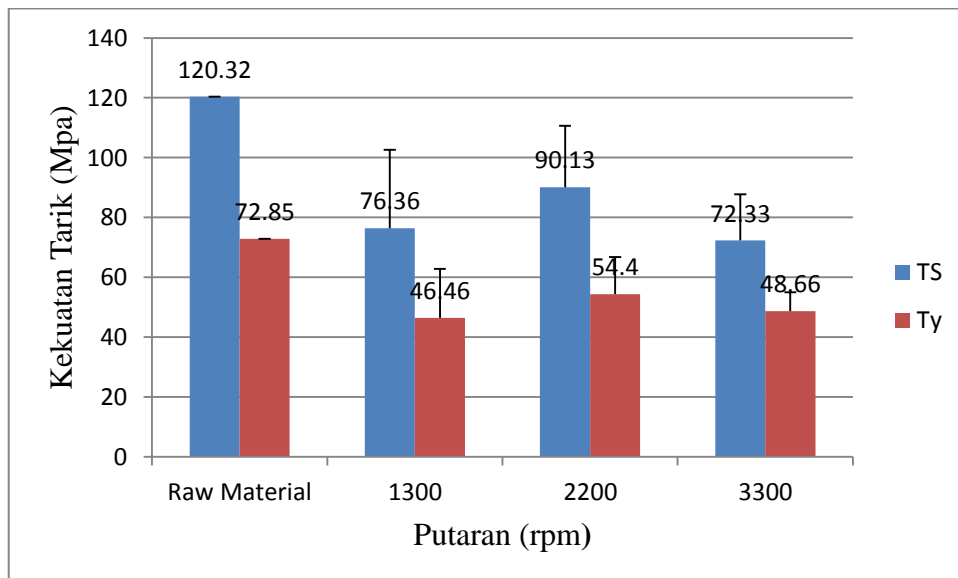
Pada gambar 4.7 menunjukkan bahwa kekerasan dari sambungan FSW variasi putaran tool 1300, 2200, 3300 rpm hasilnya adalah 31,9, 31,7, 28,4 VHN.

Kekerasan sambungan las FSW hanya mencapai 77 % masih lebih rendah dari kekerasan *raw material*nya.

Dari gambar grafik 4.7 menunjukkan bahwa ketiga variasi putaran *tool* diketahui bahwa semakin besar putaran *tool* maka tingkat kekerasannya semakin kecil. Hal ini disebabkan *heat input* yang dihasilkan semakin besar sehingga proses pengerasannya membutuhkan waktu lama selain itu juga karakteristik dari paduan itu sendiri yang tidak mampu diperlakukan panas.

#### 4.4 Hasil Uji Tarik

Pengujian tarik menggunakan standar ASTM E8, dari proses pengujian didapat besaran tegangan tarik dan tegangan luluh data hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.8 :



**Gambar 4.8** pengaruh variasi putaran *tool* terhadap *tensile strenght* dan *tensile yield* pada sambungan las FSW

Pada gambar 4.8 menunjukkan bahwa kekuatan tarik dari sambungan FSW variasi putaran *tool* 1300, 2200, 3300 rpm hasilnya adalah 76,36, 90,13, 72,33 MPa. Kekuatan tarik dan tegangan luluh tertinggi diperoleh pada putaran *tool* 2200 rpm sebesar 90,13, 54,4 MPa. Hal ini tidak teramati adanya retak didaerah las, dan mempunyai kekerasan cukup tinggi. Sedangkan hasil kekuatan tarik

yang rendah pada putaran *tool* 3300 rpm sebesar 72,33 VHN. Disebabkan terdapat cacat *Incomplete Penetration* (IP) hal ini dikarenakan panas yang terlalu tinggi pada variasi tersebut menyebabkan material menjadi lebih mudah retak karena heat input terlalu tinggi sehingga mengalami patah getas dan kekuatan tariknya menurun. Kekuatan tarik sambungan tersebut baru mencapai 75% dari kekuatan tarik *raw material*.

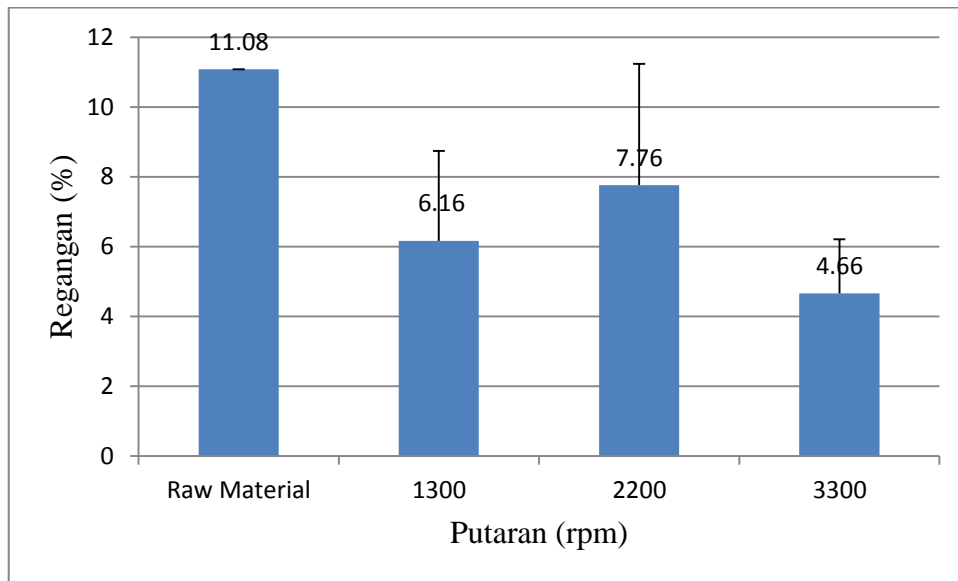
Nilai *yeld strength* pada sambungan FSW variasi putar *tool* 1300, 2200, 3300 rpm masing-masing adalah 46,46, 54,4, 48,66 MPa. Tegangan luluh pada putaran *tool* 1300 rpm diperoleh hasil yang rendah disebabkan kurangnya penekanan serta suhu pengelasan rendah sehingga patahannya merambat pada sambungan las FSW. Kekuatan tegangan luluh sambungan baru mencapai 75% dari tegangan luluh *raw material*.

Pada penelitian Erwanto, R., (2015) Al 5052 variasi putaran *tool* 1500, 2500, 3500 rpm dengan *feed rate* 60 mm/menit kekuatan tarik mencapai 64 MPa dari kekuatan *raw material*.

Sudrajat, A., (2012) AA 1100 menggunakan variasi putaran *tool* 780, 980, dan 1120 rpm dengan *feed rate* 15 mm/menit kekuatan tarik mencapai 47 MPa dari kekuatan *raw material*.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Erwanto, R., (2015), menyatakan bahwa kekuatan tarik mencapai 64 % dari kekuatan *raw material* dan Sudrajat, A., (2012), kekuatan tarik mencapai 47 % Mpa dari kekuatan *raw material*. Sedangkan pada penelitian ini mencapai 74 % lebih tinggi dari penelitian Erwanto dan sudrajat.

Gambar 4.9 grafik hasil yang diperoleh dari proses pengujian tarik berupa nilai regangan dari hasil pengelasan yang akan dibandingkan dengan nilai regangan *raw material*.

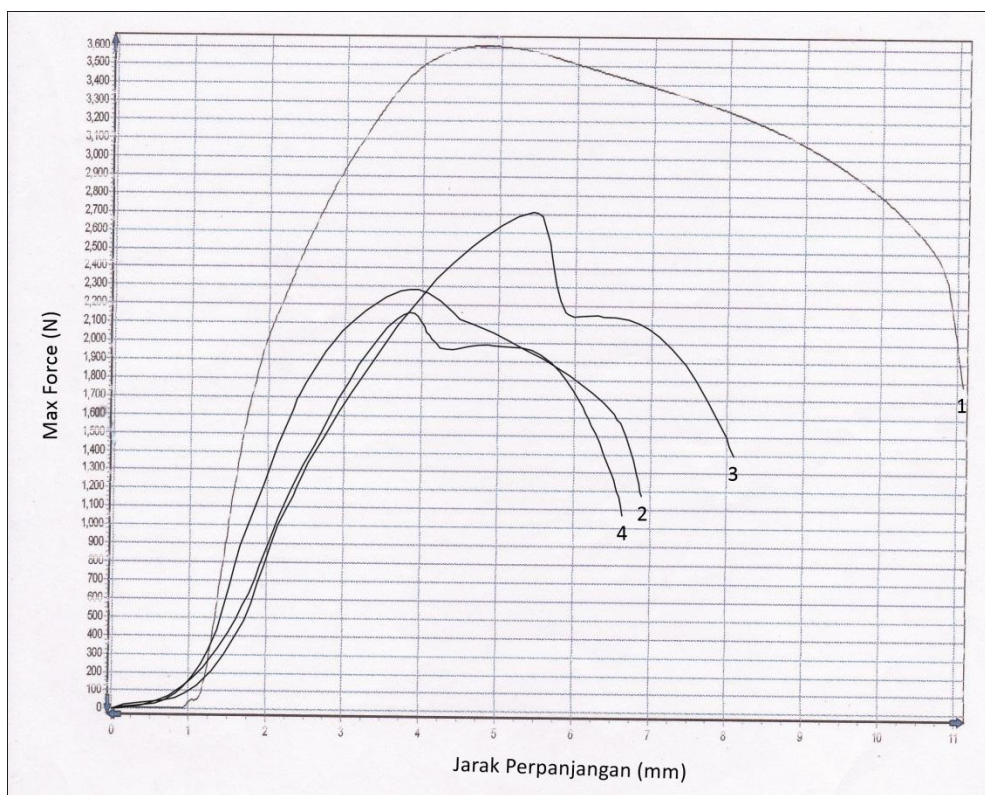


**Gambar 4.9** Grafik Pengaruh putaran *tool* terhadap regangan hasil las FSW

Pada gambar 4.9 hasil dari pengujian tarik untuk nilai regangan dengan variasi putaran *tool* 1300, 2200, 3300 rpm adalah 6,16, 7,76, 4,56 % dan pada *raw material* sebesar 11,08%. Pada hasil pengujian tarik tersebut nilai regangan tertinggi pada putaran *tool* 2200 rpm disebabkan pada hasil las tidak terlihat cacat IP pada *weld*-nya, membentuk butiran-butiran kecil, kekerasan juga cukup tinggi sehingga mengalami patahan ulet. Sedangkan nilai regangan terendah pada putaran *tool* 3300 rpm pada hasil las terlihat cacat IP pada *weld*-nya, membentuk butiran-butiran lebar sehingga patahan terjadi tepat pada daerah las dan mengalami patahan getas. Nilai regangan dan tegangan pada penelitian ini mencapai 75% dari *raw material* dan regangan ( $\epsilon$ ) yang terjadi berbanding lurus dengan tegangannya ( $\sigma$ ).

Pada penelitian yang dilakukan oleh. Erwanto, R., (2015)., menyatakan bahwa nilai regangan mencapai 26 % dari *base metal* dan Sudrajat, A., (2012), nilai regangan mencapai 200% dari *base metal* sedangkan pada penelitian ini hanya mencapai 75% dari *base metal*, lebih rendah dari regangan penelitian Sudrajat.

Gambar 4.10 menunjukkan hasil dari proses pengujian tarik berupa nilai beban perpanjangan dari hasil pengelasan yang akan dibandingkan dengan nilai *raw material*. Pada logam induk aluminium 5051 dengan logam yang sudah dilas memiliki perbedaan tegangan dan regangan tarik yang tidak sangat signifikan, yang hampir mencapai 75% dari kekuatan *raw material*nya. Hal ini di karenakan pada daerah logam lasan mengalami perubahan stuktur mikro, akibat dari penempaan pada saat pengelasan.



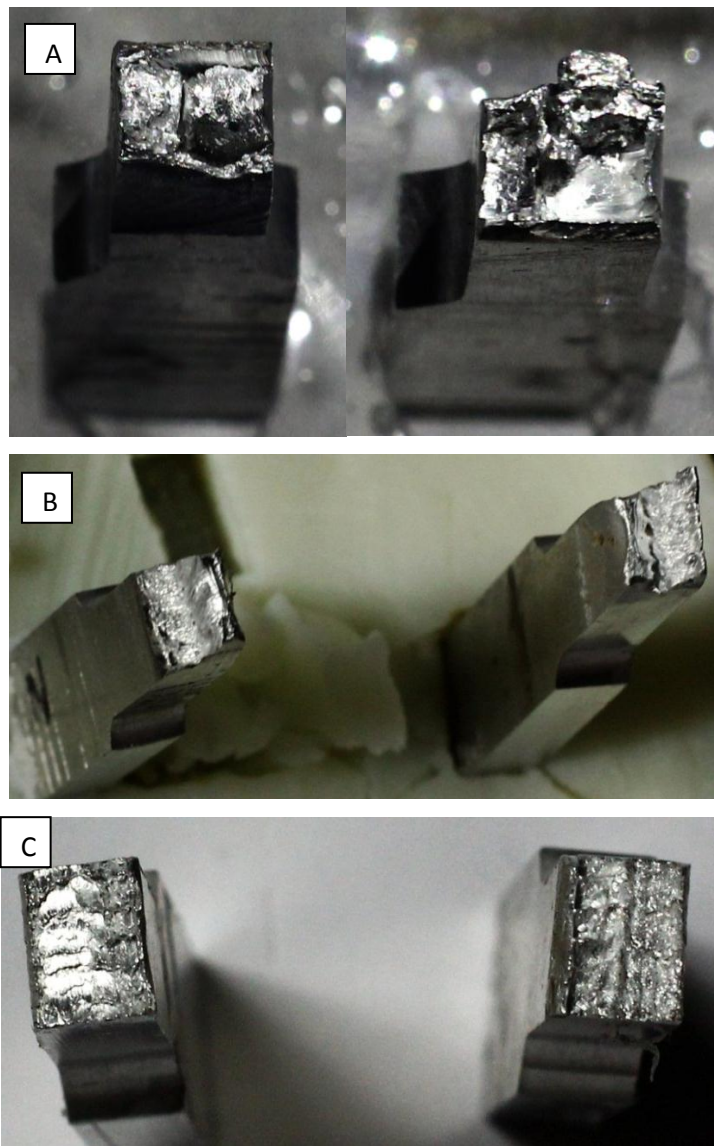
**Gambar 4.10** grafik beban perpanjangan variasi putaran *tool*

**Keterangan**

1. *Raw material*
2. 1300 rpm
3. 2200 rpm
4. 3300 rpm

#### 4.5 Fraktografi

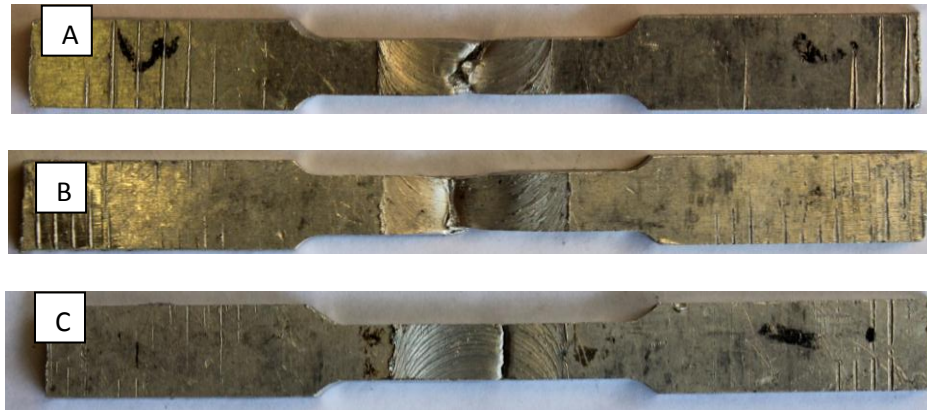
Setelah dilakukan pengujian tarik dilakukan pengujian fraktografi pada patahan benda uji, hasil fraktografi dapat dilihat pada gambar 4.11



**Gambar 4.11** penampang patahan uji tarik dengan putaran tool (a) 1300 rpm, (b) 2200 rpm dan (c) 3300 rpm

Dari hasil yang telah dilakukan setelah uji tarik diperoleh bahwa spesimen gambar 4.11.(a).(b) hasil pengelasan FSW mengalami patahan ulet. Hal ini disebabkan hasil las menyatu dengan baik dan tidak teramati retak. Sedangkan gambar 4.11.c mengalami patahan getas hal ini diduga terdapat lubang dan tidak

begitu menyatunya spesimen yang dilas pada hasil las FSW, dapat dilihat pada Gambar 4.11.



**Gambar 4.12** patahan uji tarik tampak atas dengan kecepatan putar tool (a) 1300 rpm (b) 2200 rpm dan (c) 3300 rpm.

Patahan tampak atas sambungan las dapat dilihat pada Gambar 4.12. Pada sambungan las gambar 4.12.(a).(b) hasil pengelasan FSW mengalami patahan ulet. Hal ini disebabkan hasil las menyatu dengan baik, tidak teramati retak, dan terdapat lubang kecil. (c) mengalami patahan getas karena terdapat Cacat *incomplete fusion*. Cacat *incomplete fusion* yang terbentuk berupa lubang kecil yang terjadi pada bagian las dan tidak begitu menyatunya *spesimen* yang dilas, Hal tersebut membuktikan bahwa nilai kekuatan tarik berhubungan dengan nilai kekerasan.