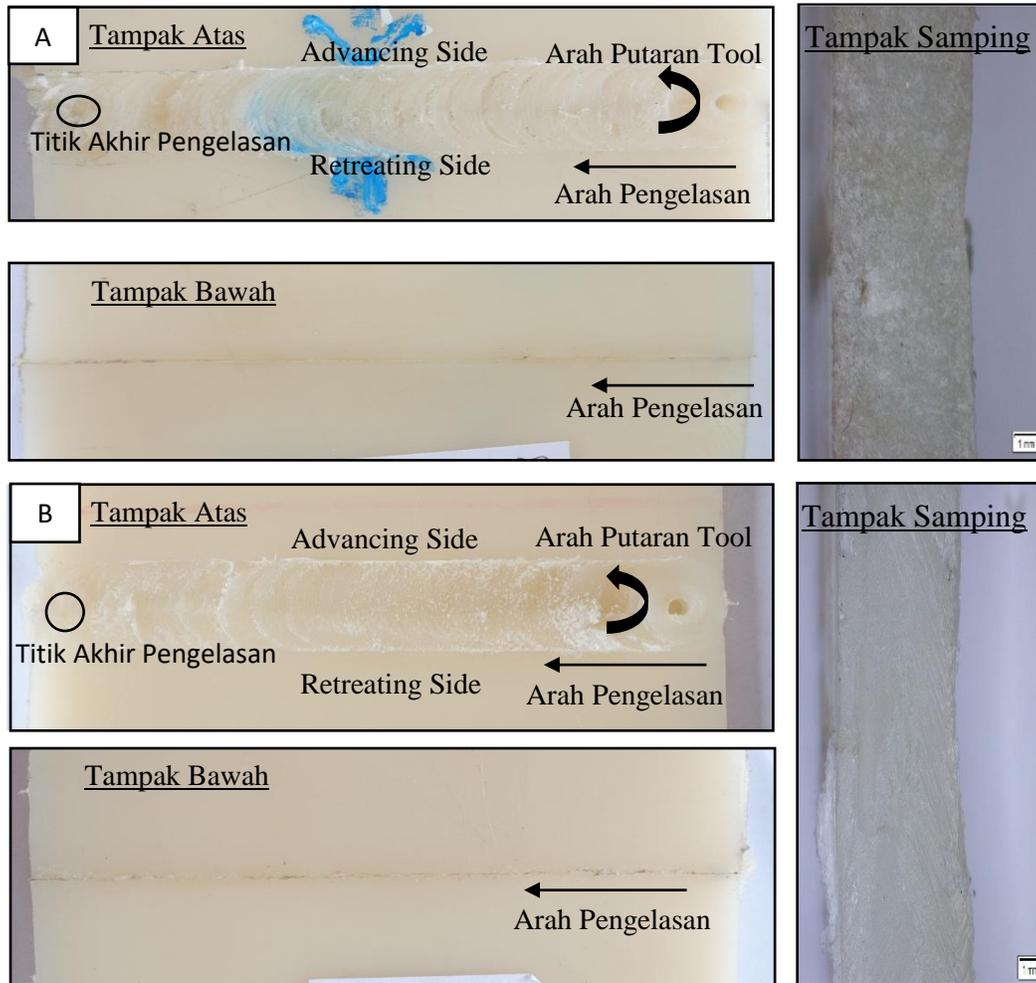


## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengelasan

Pada hasil penyambungan material nylon 6 menggunakan metode pengelasan FSW dengan parameter variasi bentuk pin tool silinder, silinder ulir, dan tirus ulir dengan diameter 4 mm, dan kedalaman tool 4,8 mm serta kecepatan putar spindle 2350 dan *feed rate* 6 mm/menit mendapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada **gambar 4.1**.



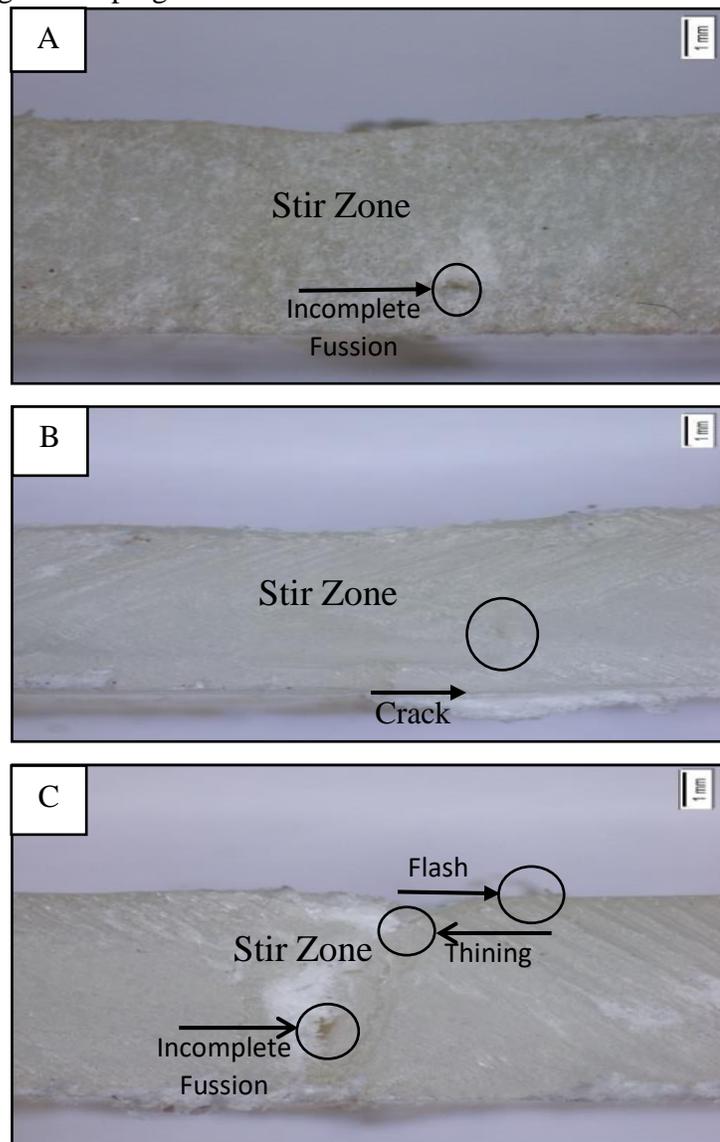


**Gambar 4.1** Hasil pengelasan dengan metode FSW menggunakan parameter variasi bentuk *pin tool* a. Silinder, b. Silinder ulir, c. Tirus ulir dengan kecepatan putar *spindle* 2350 rpm dan *feed rate* 6 mm/menit.

Dari **gambar 4.1** dapat dijelaskan bahwa hasil penelitian dari pengelasan pada setiap variasi memiliki hasil dan tampilan yang berbeda. Pada gambar a variasi bentuk *pin tool* silinder dengan kecepatan putar *spindel* 2350 rpm dan *feed rate* 6 mm/menit memiliki hasil pengelasan yang baik dengan pengisian yang penuh dan merata dibagian atas dan bawah. Selanjutnya gambar b variasi bentuk *pin tool* silinder ulir dengan kecepatan *spindel* 2350 rpm dan *feed rate* 6 mm/menit memiliki hasil yang cukup baik dikarenakan pengisian pada lasan cukup penuh hampir sama seperti hasil dari bentuk *pin tool* silinder dan merata pada bagian atas serta bagian bawah akan tetapi pada akhir pengelasan hasilnya pengisian tidak penuh. Sedangkan pada gambar c variasi bentuk *pin tool* tirus ulir dengan kecepatan putar *spindel* 2350 rpm dan *feed rate* 6 mm/menit memiliki hasil yang kurang baik dikarenakan dari awal pengelasan pengisian sudah tidak terisi dengan penuh sehingga terjadi banyak cacat rongga dan terdapat beberapa bagian atas yang tidak merata dan berongga serta pada bagian bawah tidak tersambung dengan penuh.

## 4.2 Hasil Foto Struktur Makro

Pengambilan foto makro pada hasil penyambungan bertujuan untuk mengetahui cacat serta baik dan tidak baiknya sifat mekanik ataupun bentuk pada material induk dan zona aduk (*stir zone*). Pada penelitian ini diambil dari sisi samping saja dikarenakan cacat serta baik dan tidak baiknya sifat mekanik dan bentuk dapat dilihat dari bagian samping.



**Gambar 4.2** Hasil foto makro dari jenis *pin tool* a) silinder, b) silinder ulir, c) tirus ulir

Pada **gambar 4.2** dianalisa bahwa dari hasil foto makro dengan parameter variasi bentuk *pin tool* silinder memiliki cacat yaitu *incomplete fusion* pada daerah *stir zone*. Hal tersebut dikarenakan saat pengelasan berlangsung menghasilkan *heat input* yang terlalu besar sehingga saat proses berlangsung kendali panas tidak berjalan dengan baik. Selanjutnya pada parameter variasi bentuk *pin tool* silinder ulir juga memiliki cacat yang sedikit yaitu *crack* pada daerah *stir zone* yang diakibatkan saat proses pengelasan berlangsung *heat input* yang dihasilkan terlalu kecil. Dari *heat input* yang terlalu kecil mengakibatkan tidak meratanya lelehan pada saat adukan penyambungan molekul-molekul yang telah mengeras kembali tidak dapat menyatu. Untuk parameter variasi tirus ulir memiliki cacat terbanyak antara lain *flash*, *thining* dan *incomplete fusion*. Cacat *flash* diakibatkan oleh lebihnya sisa lelehan material serta zona aduk pada permukaan yang tidak sempurna. Untuk cacat *thining* diakibatkan luas bidang gesek *pin tool* sebesar 16 mm yang menghasilkan panas tinggi, sedangkan cacat *incomplete fusion* terdapat lubang pada daerah pengelasan yang diakibatkan saat proses pengelasan tidak terisi dengan penuh.

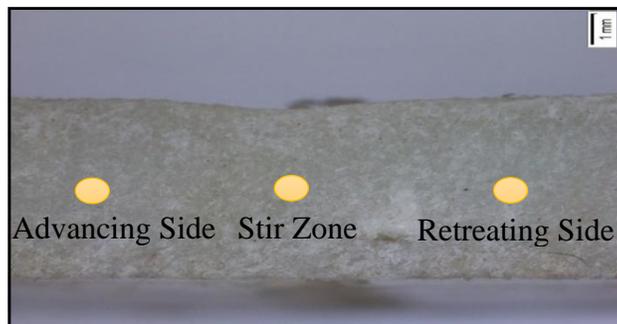
Pengelasan dengan parameter profil *pin tool* silinder, tirus, spiral dan berulir yang arah putaran spindelnya searah jarum jam menghasilkan cacat yang lebih banyak, sehingga terjadi kavitas di sekitar daerah pengelasan. Selain itu kavitas besar terlihat pada daerah kedalaman (Panneerselvam, dkk, 2013).

### **4.3 Hasil Pengujian Kekerasan**

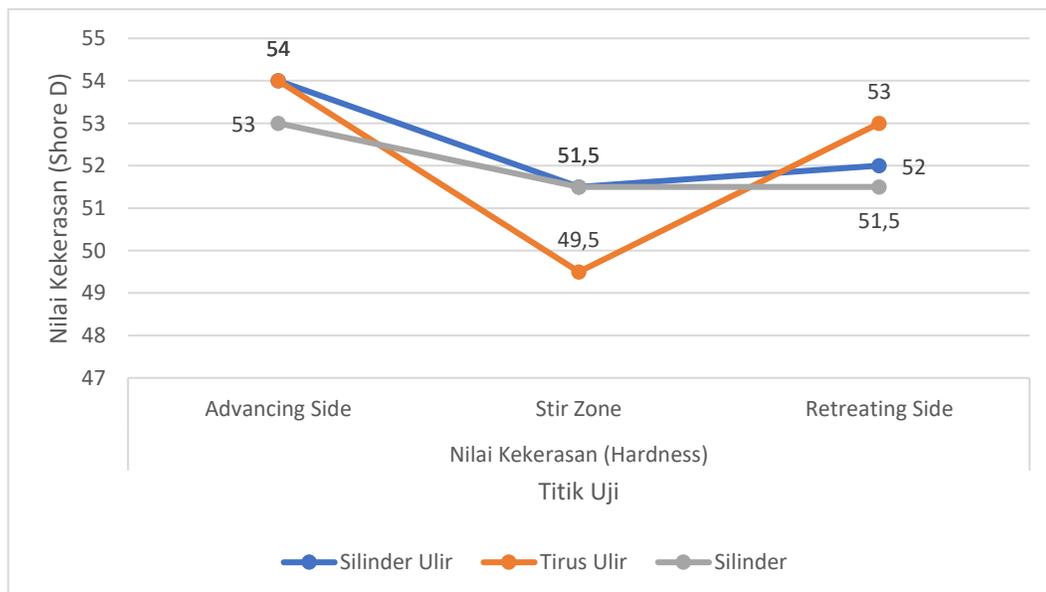
Pengujian kekerasan menggunakan hasil pengelasan dari 3 jenis bentuk *pin tool* yaitu silinder, silinder ulir dan tirus ulir dengan kecepatan putar *spindel* 2350 rpm dan *feed rate* 6 mm/menit. Pada pengujian ini titik pengujian diambil dari 3 titik yaitu *advancing side*, *stir zone* dan *retreating side*. Pada **tabel 4.1** dibawah ini merupakan hasil pengujian kekerasan menggunakan alat *Shore D*.

**Tabel 4.1** Hasil pengujian kekerasan dengan alat *Shore D*.

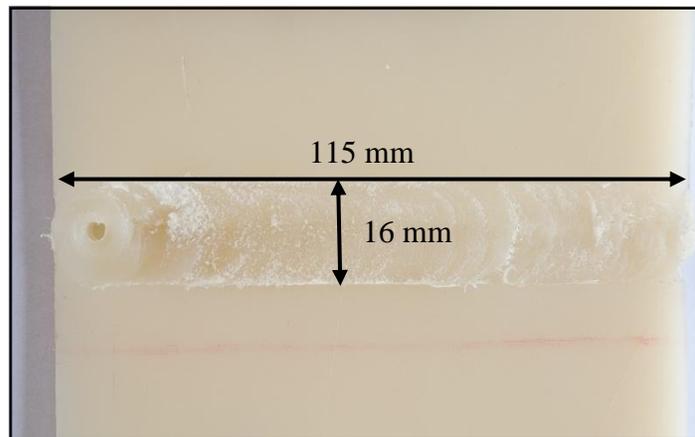
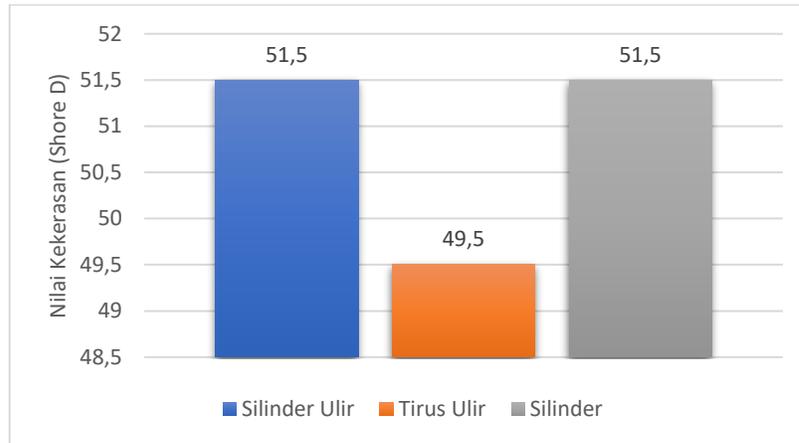
| No | Variasi       | Nilai Kekerasan ( <i>Shore D</i> ) |                  |                        |
|----|---------------|------------------------------------|------------------|------------------------|
|    |               | <i>Advancing Side</i>              | <i>Stir Zone</i> | <i>Retreating Side</i> |
| 1  | Silinder      | 53                                 | 51,5             | 51,5                   |
| 2  | Silinder Ulir | 54                                 | 51,5             | 52                     |
| 3  | Tirus Ulir    | 54                                 | 49,5             | 53                     |



**Gambar 4.3** Titik Pengambilan Uji Kekerasan dengan *Shore D*.



**Gambar 4.4** Grafik nilai kekerasan pada titik pengambilan uji



**Gambar 4.5** Grafik nilai kekerasan pada daerah *stir zone* dan daerah bidang gesek.

**Gambar 4.5** nilai kekerasan yang diambil pada 3 titik daerah pengambilan yaitu *advancing side*, *stir zone* dan *retreating side*. Jenis material *nylon 6* dengan *tool* silinder pada daerah induk materialnya yaitu *advancing side* atau daerah yang terkena arah maju gesekan *tool* memiliki nilai kekerasan sebesar 53 *Shore D*. Jenis material *nylon 6* dengan *pin tool* silinder ulir dan tirus ulir pada daerah induk materialnya memiliki nilai kekerasan yang sama yaitu 54 *Shore D*.

Pada daerah *stir zone* (daerah adukan) ini merupakan daerah penyambungan sehingga lelehan material terjadi didaerah ini dan daerah ini memiliki nilai kekerasannya paling rendah. Jenis material *nylon 6* dengan bentuk *pin tool* silinder dan silinder ulir memiliki nilai kekerasan 51,5 *Shore D*. Untuk jenis material *nylon 6*

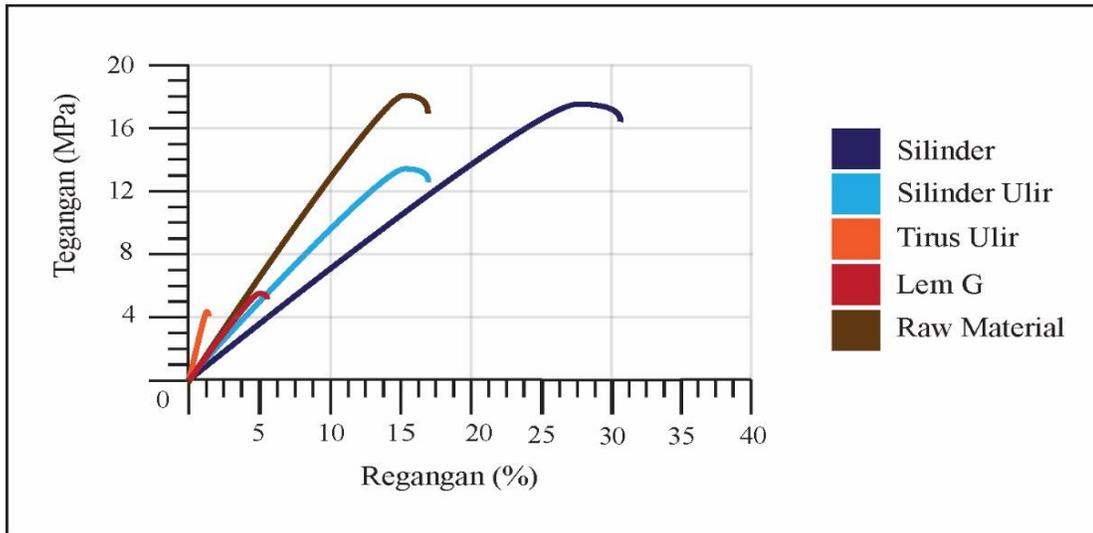
dengan bentuk *pin tool* tirus ulir memiliki nilai kekerasan terendah yaitu 49,5 *Shore D*. Di daerah *retreating side* yang juga daerah gerak mundur dari gesekan *tool* pada jenis material *nylon 6* bentuk *pin tool* silinder memiliki nilai kekerasan paling rendah yaitu 51,5 *Shore D*. Selanjutnya jenis material *nylon 6* bentuk *pin tool* silinder ulir memiliki nilai kekerasan 52 *Shore D*. Dan untuk yang terakhir pada jenis material *nylon 6* bentuk *pin tool* tirus ulir memiliki nilai tertinggi yaitu 53 *Shore D*. Hal ini dikarenakan terjadinya penyapuan material dan juga putaran *tool* yang menyebabkan partikel material menjadi renggang dan lunak.

Dari **gambar 4.5** diketahui nilai kekerasan pada daerah *stir zone* (daerah adukan) material *nylon 6* dan dengan parameter variasi 3 bentuk *pin tool*. Pada **gambar 4.5** diatas nilai dari hasil penyambungan jenis bentuk *pin tool* silinder dan silinder ulir memiliki nilai *stir zone* yang sama dan tertinggi yaitu 51,5 *Shore D*. Untuk hasil penyambungan dengan jenis *pin tool* tirus ulir memiliki nilai 49,5 *Shore D*. Hal ini disebabkan panas dari gesekan tool tirus ulir yang tidak terlalu tinggi sehingga luas bidang gesek pada *tool* terlalu besar menyebabkan lelehan pada material tidak efisien, maka dari itu penyambungan tidak terlalu baik dan nilai kekerasan pada material *nylon 6* kurang baik.

*Pin tool* silinder dan silinder ulir memiliki luas bidang gesek yang memiliki nilai sebesar 1.840 mm<sup>2</sup>. Hal tersebut dikarenakan panjang dari alur pengelasan dikalikan lebar diameter *shoulder*, sehingga menghasilkan panas dari gesekan *tool* yang tinggi serta lelehan pada proses pengelasan menjadi efisien dan hasil penyambungannya baik.

#### **4.4 Hasil Pengujian Tarik**

Pada penelitian ini melakukan pengujian tarik sesuai dengan standar ASTM D638 tipe IV, dikarenakan jenis material yang digunakan adalah polimer *nylon 6* dengan ketebalan 4 mm



**Gambar 4.6** Kurva beban dan elongasi pengujian tarik.

**Gambar 4.6** kurva hasil pengujian tarik yang mencakup sambungan lem korea (G), sambungan FSW dan *raw material*. Kurva **gambar 4.5** dapat menunjukkan nilai tegangan, regangan dan *modulus elastisitas*. Dapat dilihat pada pada bentuk pin tool silinder memiliki sudut kemiringan  $45^\circ$ , yang berarti pada pada sudut tersebut hampir semua material mengalami patah.

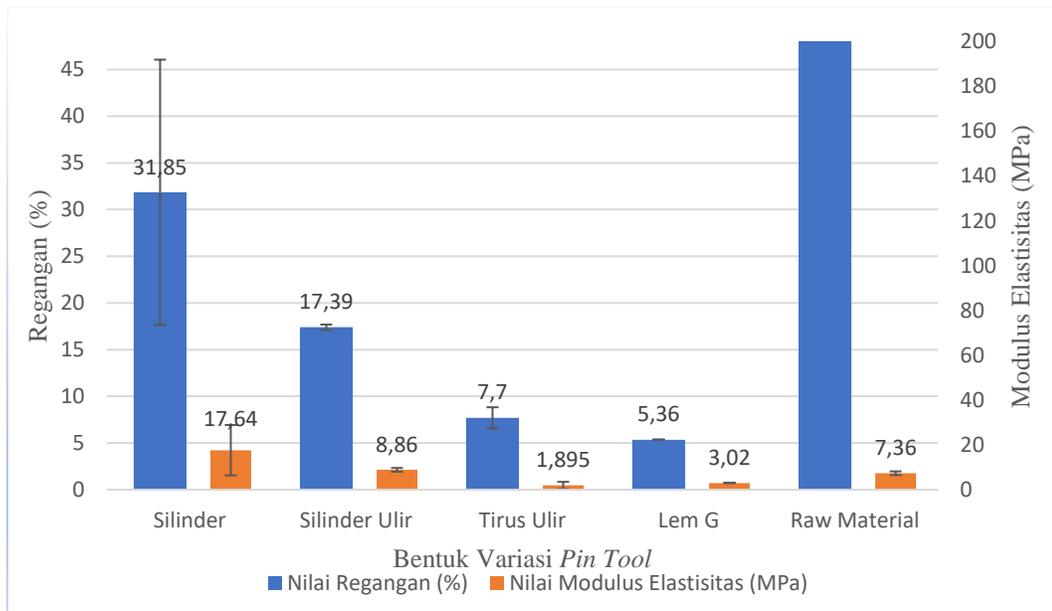
Parameter variasi kecepatan putar 2350 rpm, *feed rate* 6 mm/menit dengan bentuk *pin tool* jenis silinder merupakan nilai yang terdekat dengan nilai *raw material*. Maka dari itu, lelehan pada sambungan lebih merata dan penyambungan cenderung saling mengisi antara kedua material *nylon 6*. Nilai terendah ditunjukkan garis berwarna *orange* yang didapatkan pada parameter variasi kecepatan putar 2350 rpm, *feed rate* 6 mm/menit dengan bentuk *pin tool* jenis tirus ulir dikarenakan pada saat penyambungan berlangsung pengisian tidak terisi secara maksimal menghasilkan rongga serta lelehan tidak semuanya merata sehingga daerah sambungan cenderung cepat mengeras dan tidak bisa tersambung antara kedua material *nylon 6*. Untuk hasil kekuatan tarik penyambungan dengan metode pengelasan FSW pada kurva tersebut yang mendekati *raw material* yaitu bentuk *pin tool* silinder dengan nilai sebesar 90,87 % dari nilai *raw material*.

**Tabel 4.2** Hasil pengujian tarik nilai regangan dan modulus elastisitas pada pengelasan FSW.

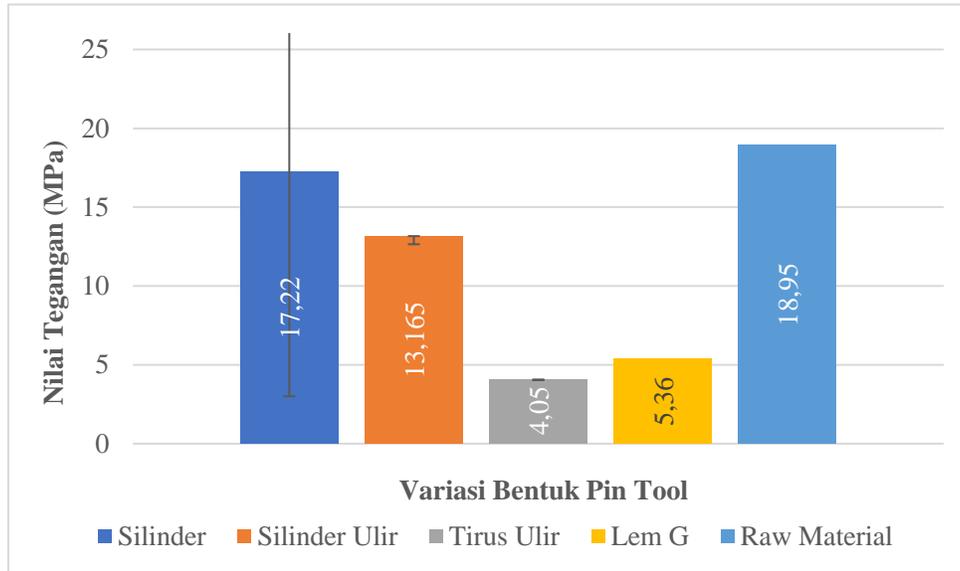
| No | Variasi       | Nilai Regangan (%) | Nilai Modulus Elastisitas (MPa) | Standar Deviasi Regangan | Standar Deviasi Modulus Elastisitas |
|----|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| 1  | Silinder      | 31,85              | 17,64                           | 14,212846                | 11,24299782                         |
| 2  | Silinder Ulir | 17,39              | 8,86                            | 0,296984848              | 0,834386002                         |
| 3  | Tirus Ulir    | 7,7                | 1,895                           | 1,13137085               | 1,605132393                         |
| 4  | Lem G         | 5,36               | 3,02                            | 0                        | 0                                   |
| 5  | Raw Material  | 171,15             | 7,36                            | 23,54665581              | 0,820243866                         |

**Tabel 4.3** Hasil pengujian tarik nilai tegangan pada pengelasan FSW.

| No | Variasi       | Nilai Tegangan (Mpa) | Standar Deviasi |
|----|---------------|----------------------|-----------------|
| 1  | Silinder      | 17,22                | 3,478965363     |
| 2  | Silinder Ulir | 13,165               | 0,51618795      |
| 3  | Tirus Ulir    | 4,05                 | 0,212132034     |
| 4  | Lem G         | 5,36                 | 0               |
| 5  | Raw Material  | 18,95                | 1,909188309     |



**Gambar 4.7** Grafik nilai regangan dan modulus elastisitas pada pengelasan dengan metode FSW.



**Gambar 4.8** Grafik nilai tegangan (MPa) pada pengelasan dengan metode FSW.

Pada **tabel 4.2** hasil nilai regangan dan *modulus elastisitas* setiap pengelasan FSW, lem korea (G) dan *raw material*. Hasil regangan tertinggi pada pengelasan FSW material *nylon 6* didapatkan oleh bentuk *pin tool* silinder dengan hasil 31,85 % dan nilai terendah dihasilkan oleh bentuk *pin tool* tirus ulir sebesar 7,7 %. Dari hasil tersebut didapatkan nilai pada bentuk *pin tool* silinder ulir lebih rendah dari pada silinder dan lebih tinggi dibandingkan tirus ulir dengan nilai sebesar 17,39 %. Modulus elastisitas berbanding terbalik dengan regangan dan juga sebaliknya bahwa semakin tinggi nilai regangan maka semakin rendah nilai modulus elastisitas (Sudrajat,2012).

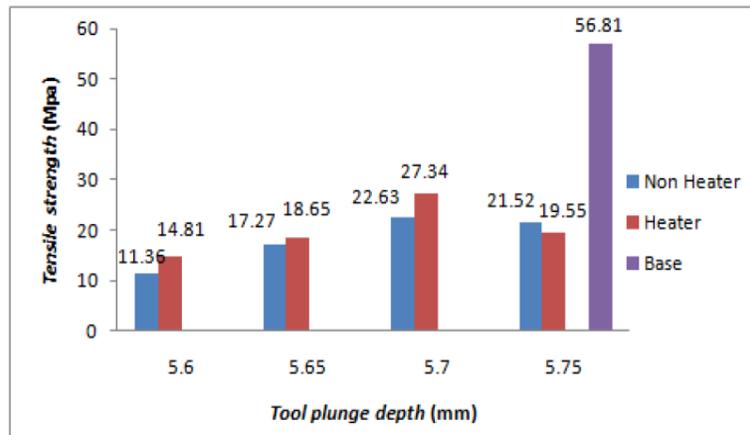
Pada hasil nilai *modulus elastisitas* nilai tertinggi didapatkan pada sambungan FSW bentuk *pin tool* silinder dengan nilai 17,64 MPa, sedangkan sambungan pengelasan FSW bentuk *pin tool* tirus ulir yang memiliki nilai terendah yaitu 1,89 MPa. Hasil *modulus elastisitas* yang optimal dihasilkan pada sambungan FSW bentuk *pin tool* silinder ulir sebesar 8,86 MPa dikarenakan nilai tersebut berada diantara nilai tertinggi dan nilai terendah, tetapi untuk *raw material* memiliki nilai yang hampir sama untuk pembandingan sambungan FSW dengan lem korea (G).

Dari **tabel 4.3** diatas merupakan nilai tegangan setiap jenis bentuk *pin tool* dengan pengelasan metode FSW, penyambungan lem korea serta *raw material*. Nilai tertinggi untuk tegangan didapatkan pada *raw material* sebesar 18,95 MPa yang memang pembanding antara penyambungan lem korea (G) dan pengelasan metode FSW. Bentuk *pin tool* jenis tirus ulir yang mendapatkan nilai terendah yaitu 4,05 MPa dikarenakan pada sambungan material *nylon 6* bentuk *pin tool* tirus ulir saat pengelasan tidak sempurna, sehingga mengakibatkan terjadinya cacat *incomplete fussion*, *thining* serta *flash* bila dibandingkan dengan sambungan FSW untuk nilai tertinggi yaitu bentuk *pin tool* silinder memiliki nilai 17,22 MPa. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan nilai paling tinggi pada sambungan FSW bentuk *pin tool* silinder dikarenakan saat pengelasan berlangsung pengisian merata dan cacat yang dihasilkan sangatlah sedikit yaitu *incomplete fussion*.

Bila dibandingkan dengan penelitian Nugroho, dkk, (2016) yang meneliti tentang pengaruh *plunge depth* dan *preheat* dengan *pin tool* berbentuk silinder terhadap sifat mekanik sambungan *friction stir welding polyamide* memiliki hasil sebagai berikut :

**Tabel 4.4** Hasil pengujian tarik nilai kuat tarik (MPa) pada pengelasan FSW dengan material *polyamide*.

| No | Variasi Kedalaman   | Tensile Strength |              |
|----|---------------------|------------------|--------------|
|    |                     | Non Heater (MPa) | Heater (MPa) |
| 1  | 5.6 mm              | 11.35            | 14.81        |
| 2  | 5.65 mm             | 17.27            | 18.65        |
| 3  | 5.7 mm              | 22.63            | 27.34        |
| 4  | 5.75 mm             | 21.52            | 19.55        |
| 5  | <i>Raw Material</i> | 56.81            | 56.81        |

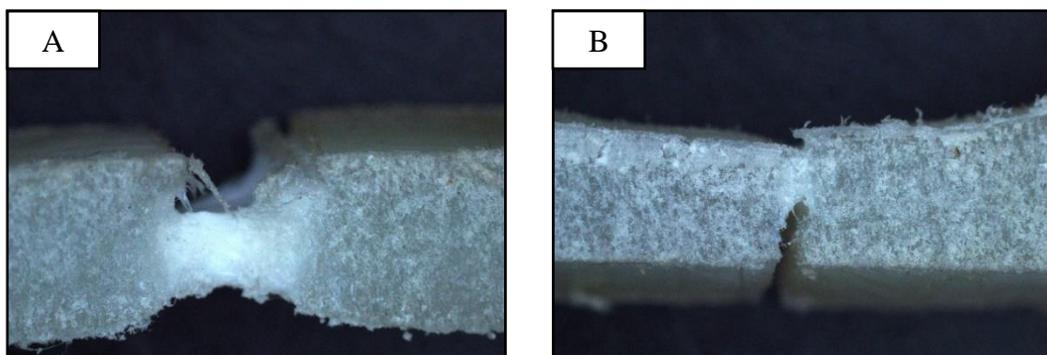


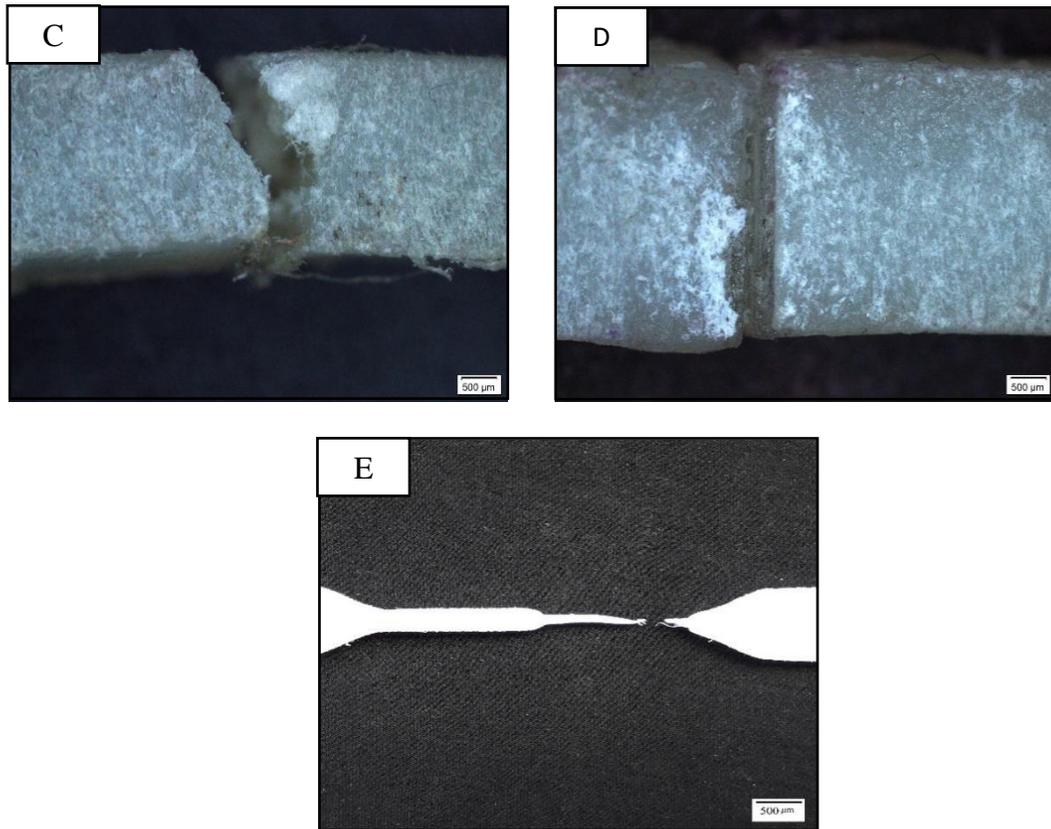
**Gambar 4.9** Grafik hasil pengujian tarik nilai kuat tarik (MPa) pada pengelasan FSW dengan material *polyamide* (Nugroho, dkk, 2016).

Terlihat **tabel 4.4** bahwa pengelasan tanpa proses pemanasan dengan *pin tool* silinder kedalaman 5.7 mm merupakan hasil tertinggi dengan nilai 22,63 MPa. Hal ini dikarenakan meningkatnya *friction preheat* yang mengakibatkan optimalnya hasil pengelasan dan pengisian yang baik pada daerah pengelasan sedangkan nilai terendah didapatkan kedalaman *pin tool* berukuran 5.6 mm sebesar 11,36 MPa. Hal ini disebabkan oleh kedalaman *pin tool* kurang dalam sehingga tekanan yang diterima kurang dan *friction preheat* juga berkurang pada gesekan antara *pin tool* dengan material (Nugroho, dkk. 2016)

#### 4.5 Fraktografi

Pada penelitian ini terdapat juga fraktografi yang merupakan foto setelah dilakukannya pengujian tarik. Fraktografi bertujuan untuk mengetahui hasil bagaimana material yang sudah selesai pengujian tarik. Dilihat pada **gambar 4.10** foto fraktografi material *nylon 6* setelah dilakukannya pengujian tarik.





**Gambar 4.10** Frakturgrafi dari hasil setelah pengujian tarik.

Pada **gambar 4.10** dilihat bahwa a) bentuk *pin tool* silinder dan b) bentuk *pin tool* silinder ulir setelah diuji tarik patahan tidak putus sepenuhnya dikarenakan lelehan berlebihan sehingga material tidak putus secara terpisah. Penyambungan d) dengan metode lem korea (G) putus secara sempurna sedangkan hasil gambar e) *raw material* saat pengujian tarik mengalami penguluran yang lumayan panjang. Hal tersebut dikarenakan *raw mterial* tidak mengalami proses penyambungan dengan metode pengelasan FSW.