

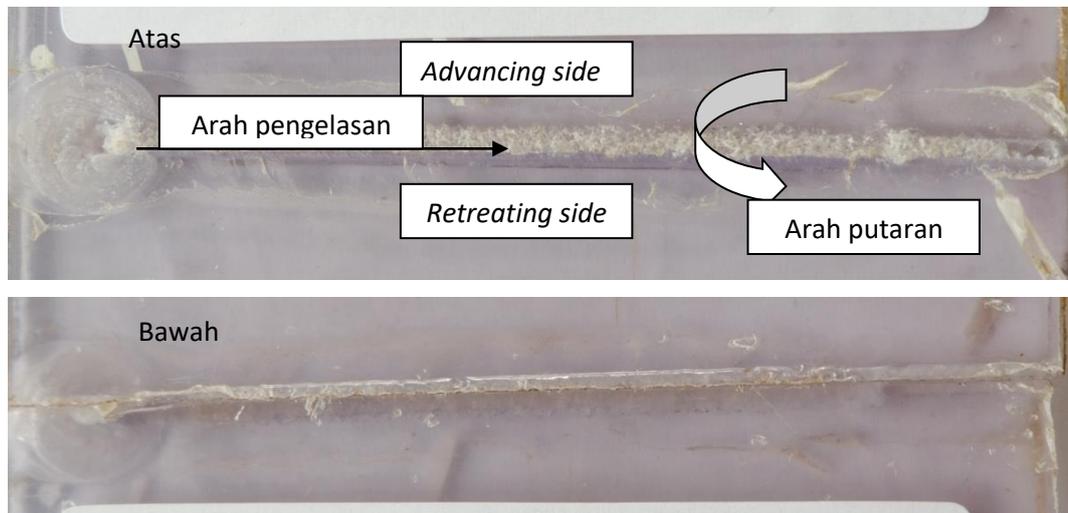
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengelasan FSW

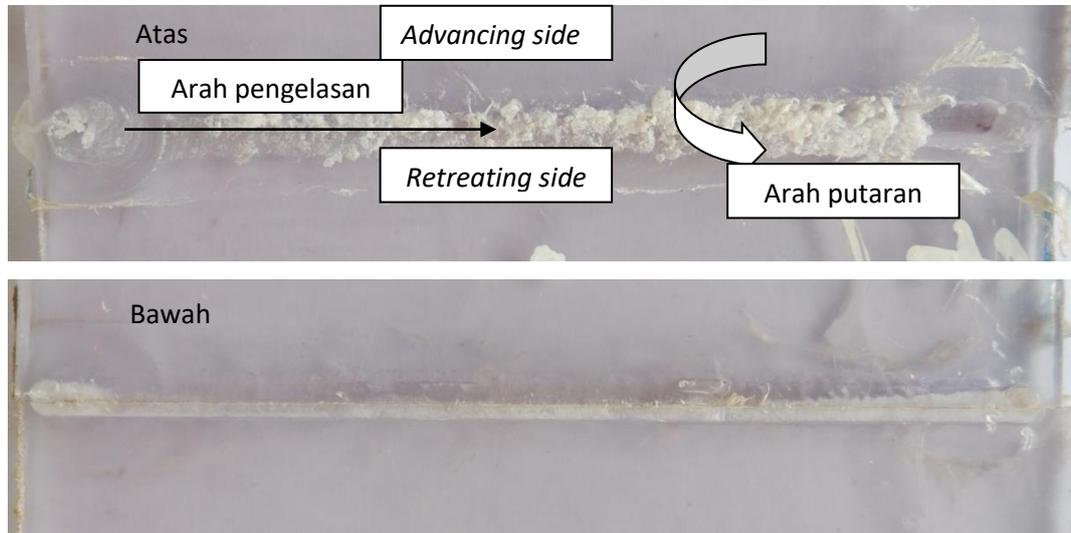
Hasil pengelasan *polycarbonate sheet* menggunakan metode *friction stir welding* menggunakan variasi kecepatan putar dan diameter *pin tool* dengan parameter kecepatan putar mesin 985, 1660, dan 2350 rpm. Dan parameter pendukung yang dibuat konstan seperti *feed rate* dibuat 2 mm/detik, bentuk pin tool yang digunakan yaitu silinder berulir, dan besar diameter pin 3 mm dan 4 mm. Pada proses pengelasan didapatkan hasil pengelasan yang cukup baik, dimana lembaran *polycarbonate* dapat tersambung dengan baik walaupun masih terdapat banyak kekurangan seperti cacat di beberapa sisi permukaan sambungan dan cacat rongga pada spesimen benda kerja. Adapun hasil pengelasan dengan metode *friction stir welding* diuraikan sebagai berikut.

4.1.1 Hasil Pengelasan dengan Parameter 985 rpm/3 mm



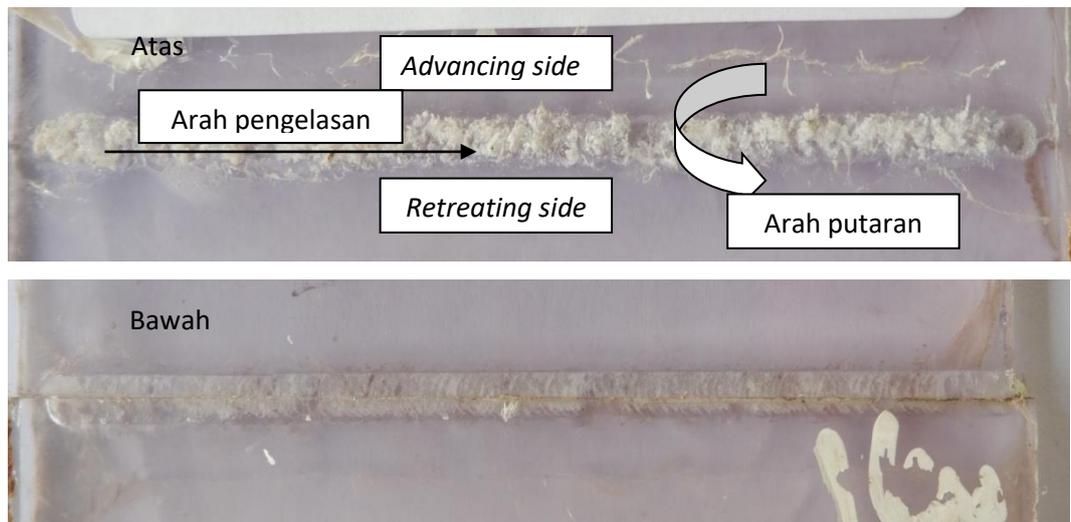
Gambar 4.1 Hasil pengelasan parameter 985 rpm/3 mm

4.1.2 Hasil Pengelasan dengan Parameter 985 rpm/4 mm



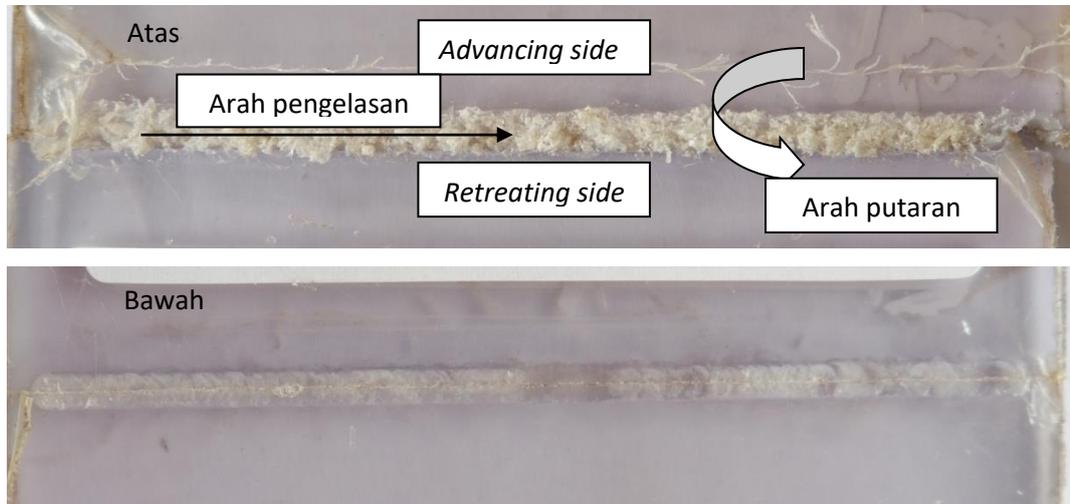
Gambar 4.2 Hasil pengelasan parameter 985 rpm/4 mm

4.1.3 Hasil Pengelasan dengan Parameter 1660 rpm/3 mm



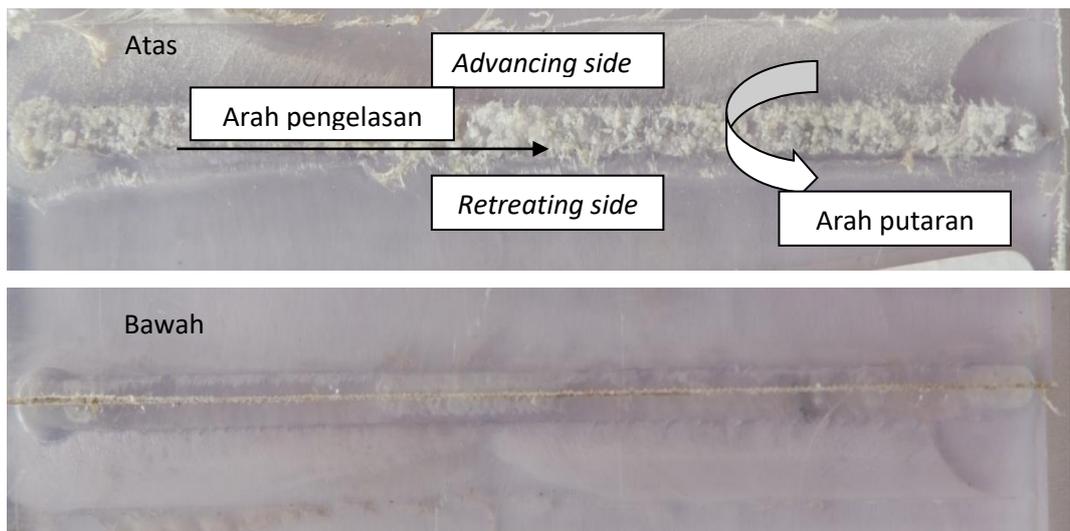
Gambar 4.3 Hasil pengelasan parameter 1660 rpm/3 mm

4.1.4 Hasil Pengelasan dengan Parameter 1660 rpm/4 mm



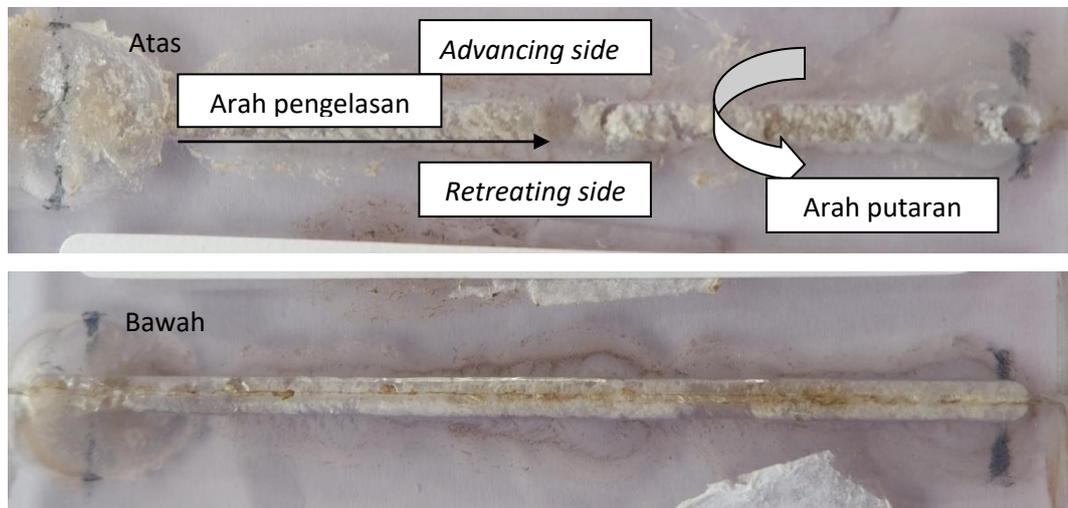
Gambar 4.4 Hasil pengelasan parameter 1660 rpm/4 mm

4.1.5 Hasil Pengelasan dengan Parameter 2350 rpm/3 mm



Gambar 4.5 Hasil pengelasan parameter 2350 rpm/3 mm

4.1.6 Hasil Pengelasan dengan Parameter 2350 rpm/4 mm



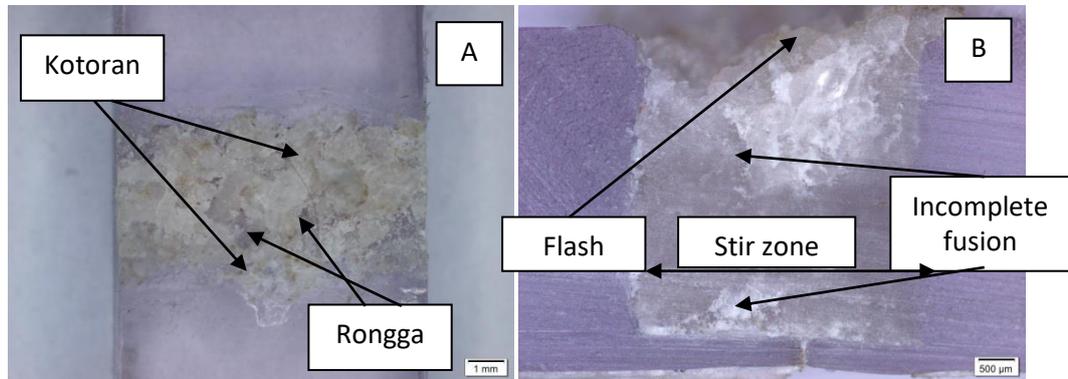
Gambar 4.6 Hasil pengelasan parameter 2350 rpm/4 mm

Pada gambar 4.1- 4.6 diatas dapat diketahui bahwa hasil pengelasan dari setiap parameter berbeda-beda. pada gambar 4.1 dan 4.2 memiliki perbedaan yang lumayan banyak, dari segi hasil lasan, pada gambar 4.1 terlihat lebih terisi secara sempurna dari awal lasan sampai akhir lasan, sedangkan pada gambar 4.2 hasil lasan diawal terlihat bagus, akan tetapi pada saat diakhir lasan terlihat hasil lasan yang berongga sehingga lebih cenderung tidak merata, dan hasil pengelasan dengan hasil yang kurang baik terdapat pada gambar 4.6 pada gambar tersebut terlihat jelas hasil sambungan yang tidak merata yang menyebabkan adanya salah satu bagian dari jalannya hasil pengelasan yang kurang terisi dengan sempurna yang menyebabkan terjadinya cacat-cacat pada hasil sambungan tersebut.

4.2 Hasil Penelitian Struktur Makro

Hasil dari pengamatan pengujian struktur makro pada hasil pengelasan menggunakan metode friction stir welding menggunakan material *polycarbonate simmilar sheet* dengan variasi kecepatan putar mesin dan diameter pin tool terdapat pada gambar 4.7 - 4.12 yang mana (A) menunjukkan hasil dari bagian atas dan (B) menunjukkan hasil dari bagian samping hasil sambungan adapun hasilnya dibawah ini :

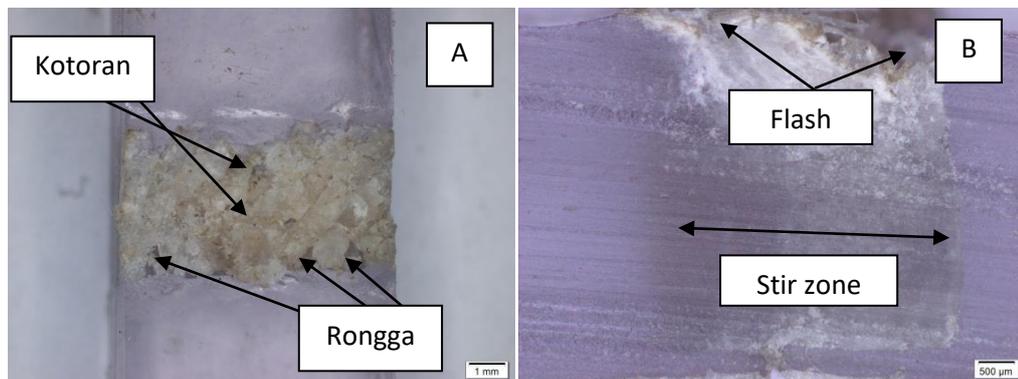
4.2.1 Hasil Parameter 985 rpm/3 mm



Gambar 4.8 (A) bagian atas (B) bagian samping struktur makro 985 rpm/3 mm

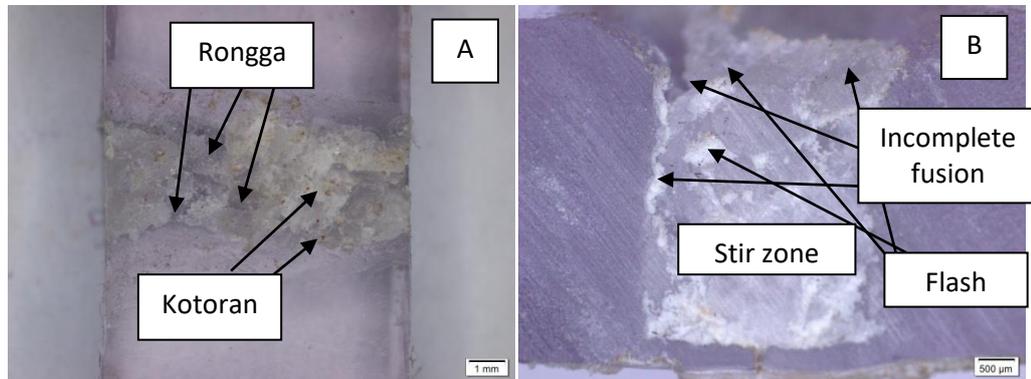
Hasil pengelasan pada gambar 4.7 menunjukkan bahwa hasil pengelasan didapat cukup baik, karena cacat yang terjadi di daerah lasan lebih sedikit, cacat yang terjadi pada hasil lasan ini ada sedikit *incomplete fusion* dan rongga pada permukaan hasil lasan yang bisa mematahkan hasil sambungan.

4.2.2 Hasil Parameter 985 rpm/4 mm



Gambar 4.8 (A) bagian atas (B) bagian samping struktur makro 985 rpm/4 mm

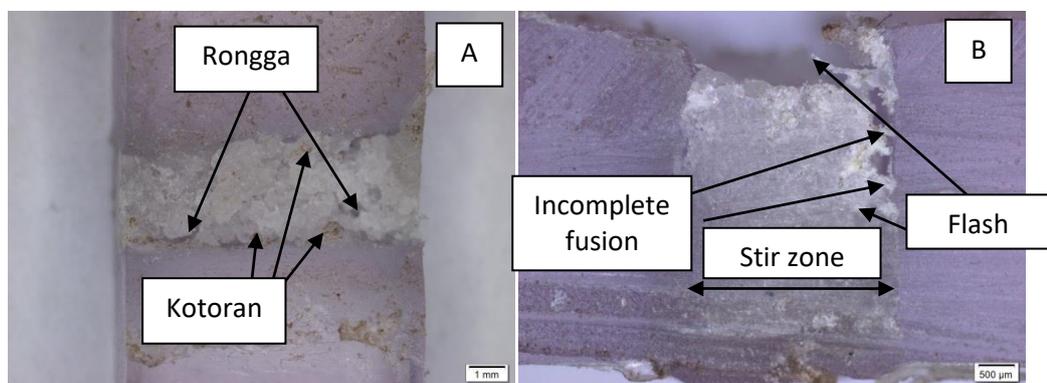
4.2.3 Hasil Parameter 1660 rpm/3 mm



Gambar 4.9 (A) bagian atas (B) bagian samping struktur makro 1660 rpm/3 mm

Hasil pengelasan pada gambar 4.9 menunjukkan bahwa hasil pengelasan didapat kurang baik, karena cacat yang terjadi di daerah lasan lebih banyak terdapat *flash* dan ada beberapa *incomplete fusion* pada hasil lasan, yang dapat menyebabkan patahnya hasil lasan dengan cepat.

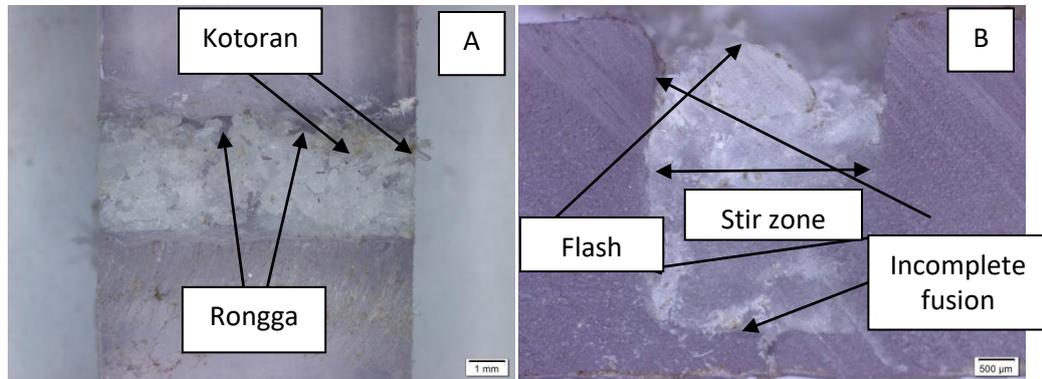
4.2.4 Hasil Parameter 1660 rpm/4 mm



Gambar 4.10 (A) bagian atas (B) bagian samping struktur makro 1660 rpm/4 mm

Hasil pengelasan pada gambar 4.10 menunjukkan bahwa hasil pengelasan didapat kurang baik, karena cacat yang terjadi di daerah lasan lebih banyak terutama adanya *incomplete fusion* pada hasil lasan yang kemungkinan besar menjadi salah satu ancaman patahnya material tidak terduga.

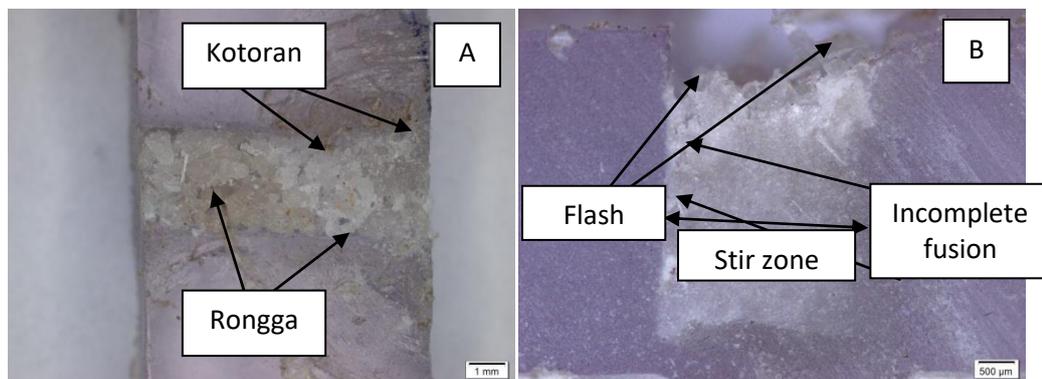
4.2.5 Hasil Parameter 2350 rpm/3 mm



Gambar 4.11 (A) bagian atas (B) bagian samping struktur makro 2350 rpm/3 mm

Hasil pengelasan pada gambar 4.11 menunjukkan bahwa hasil pengelasan didapat cukup baik, karena pada hasil lasan bagian tengah sudah hampir melebur dengan baik, cacat yang terjadi pada hasil lasan ini ada sedikit *incomplete fusion* dan masih banyak *flash* dan rongga pada permukaan hasil lasan.

4.2.6 Hasil Parameter 2350 rpm/4 mm



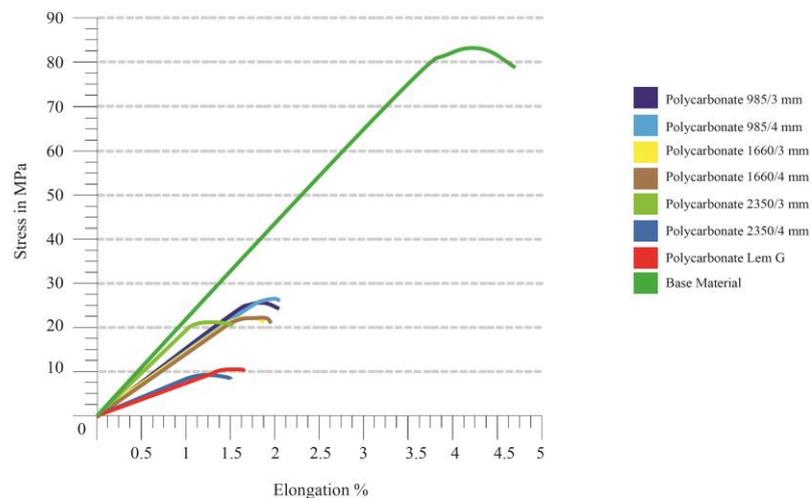
Gambar 4.12 (A) bagian atas (B) bagian samping struktur makro 2350 rpm/4 mm

Hasil pengelasan pada gambar 4.12 menunjukkan bahwa hasil pengelasan didapat kurang baik, karena cacat yang terjadi di daerah lasan lebih banyak, dari kurang terisinya sambungan karena cepatnya putaran mesin yang menyebabkan material hasil pengelasan berkurang lumayan banyak, dan pada sambungan ini ada banyak cacat yang terjadi pada hasil

lasan seperti *flash*, *incomplete fusion*, dan rongga pada permukaan hasil lasan.

4.3 Hasil Pengujian Tarik

Pada penelitian pengujian tarik ini digunakan standar ASTM D638 tipe 4 untuk dimensi yang digunakan dengan menggunakan material polycarbonate dengan ketebalan material 4 mm.



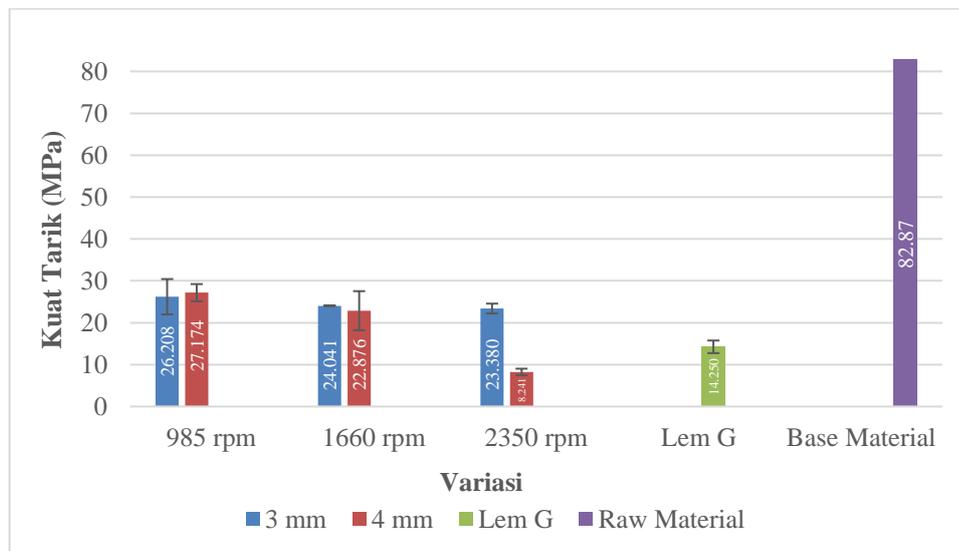
Gambar 4.13 Kurva tegangan dan regangan

Pada gambar 4.13 menunjukkan kurva tegangan dan regangan dari pengujian tarik yang telah dilakukan. Dapat diamati bahwa pada base material memiliki sudut kemiringan kurang lebih 45° dimana pada sudut tersebut hampir semua material akan mengalami patah, pada base material diatas terlihat bahwa terjadi *necking*, seperti yang sudah diketahui, apabila hasil pengujian tarik penyusutan atau *necking*, material tersebut mempunyai sifat ulet akan tetapi sifat ulet yang didapatkan pada base material hanya sebatas ulet sebagian saja, sedangkan dari grafik diatas untuk spesimen uji pada proses pengelasan menggunakan metode *friction stir welding* dan penyambungan spesimen menggunakan lem G cenderung lebih datar, seperti yang sudah diketahui, apabila sebuah spesimen uji tarik didapatkan grafik hasil uji tarik yang cenderung lebih lurus dan hampir tidak mempunyai *necking* maka hasilnya bisa dipastikan akan mengalami patah

getas, Callister (2000). Dari kurva diatas diketahui bahwa terdapat *base material*, sambungan dengan lem G dan sambungan dengan metode *friction stir welding*, dari kurva tersebut dapat diamati bahwa sifat material dan kekuatan tarik, tegangan, regangan, modulus elastisitas dan lain-lain. *Base material polycarbonate* yang ditunjukkan oleh kurva diatas mendapatkan nilai paling tinggi dibandingkan dengan variasi yang lain, disebabkan karena material ini belum mendapatkan perlakuan apapun yang menyebabkan besar kuat tarik dan regangannya masih tinggi. Untuk hasil pengujian tarik yang paling mendekati *base material* adalah variasi parameter 985 rpm/4 mm dengan nilai besar kuat tarik sekitar 32,791% dari nilai *base material*nya.

Tabel 4.1 Pengujian tarik terhadap kuat tarik

| No. | Variasi | Spesimen 1 (MPa) | Spesimen 2 (MPa) | Rata-rata (MPa) | Standar Deviasi | Daerah Putus |
|-----|----------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------------|
| 1 | 985 rpm/3 mm | 29,192 | 23,223 | 26,208 | 4,221 | <i>Retreating side</i> |
| 2 | 985 rpm/4 mm | 25,719 | 28,629 | 27,174 | 2,058 | <i>Retreating side</i> |
| 3 | 1660 rpm/3 mm | 24,055 | 24,027 | 24,041 | 0,020 | <i>Retreating side</i> |
| 4 | 1660 rpm/4 mm | 19,58 | 26,172 | 22,876 | 4,661 | <i>Retreating side</i> |
| 5 | 2350 rpm/3 mm | 22,547 | 24,214 | 23,381 | 1,179 | <i>Retreating side</i> |
| 6 | 2350 rpm/4 mm | 7,68 | 8,801 | 8,241 | 0,793 | <i>Retreating side</i> |
| 7 | Sambungan Lem G | 13,19 | 15,31 | 14,250 | 1,499 | Sambungan lem |
| 8 | <i>Base material</i> | | | 82,87 | 0,000 | Tengah spesimen |



Gambar 4.14 Grafik nilai kekuatan tarik rata-rata pada hasil pengujian tarik dengan variasi kecepatan putar mesin, besar diameter *pin tool*, *base material* dan sambungan lem G.

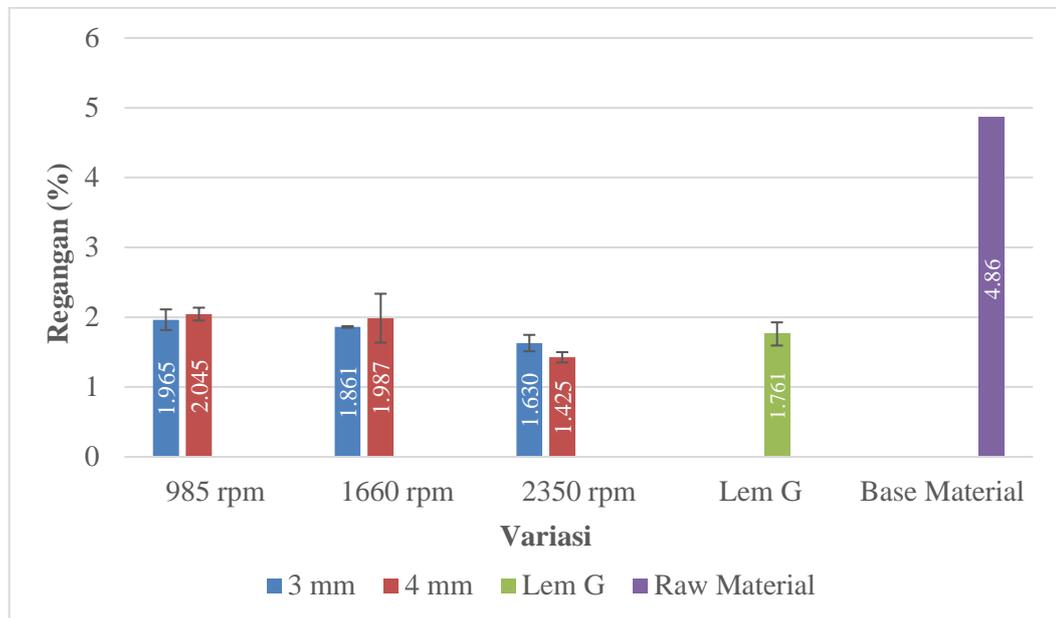
Dari tabel 4.1 menunjukkan besar nilai kuat tarik untuk tiap spesimen yang telah diuji. Dapat dilihat bahwa nilai pada setiap spesimen memiliki selisih yang berbeda – beda, selisih terendah didapatkan pada variasi 1660 rpm/3 mm dengan nilai standar deviasi sebesar 0,020 MPa. Sementara itu untuk selisih dengan nilai standar deviasi tertinggi yaitu didapatkan pada variasi 1660 rpm/4 mm dengan nilai standar deviasi sebesar 4,661 MPa. Hal ini terjadi akibat tidak stabilnya putaran motor penggerak *feed rate* dan meja kerja yang kurang rata, yang mengakibatkan hasil lasan kurang sempurna dari segi hasil lasannya sendiri. Pada sambungan pengelasan FSW daerah patahan pada sambungannya berbeda – beda, kebanyakan untuk sambungan FSW mengalami patah didaerah *retreating side* yang mana pada daerah tersebut banyak terdapat cacat – cacat seperti *flash*, *incomplete fusion* dan lain – lain yang mengakibatkan patahnya spesimen uji, akan tetapi untuk base material mengalami patah didaerah tengah spesimen uji tarik, sedangkan untuk spesimen uji tarik menggunakan lem patah tepat di bagian hasil pengeleman.

Pada gambar 4.14 diatas dapat dilihat bahwa hasil kuat tarik rata – rata tiap variasi berbeda beda diantaranya untuk variasi 985 rpm/3 mm

didapatkan sebesar 26,208 MPa, nilai kekuatan tarik pada variasi parameter 985 rpm/4 mm didapatkan sebesar 27,174 MPa, nilai kekuatan tarik variasi parameter 1660 rpm/ 3 mm didapatkan nilai sebesar 24,041 MPa, nilai kekuatan tarik variasi parameter 1660 rpm/4 mm didapatkan nilai sebesar 22,876 MPa, nilai kekuatan tarik variasi parameter 2350 rpm/3 mm didapatkan nilai sebesar 23,381 MPa dan untuk nilai kekuatan tarik variasi parameter 2350 rpm/4 mm didapatkan nilai sebesar 8,241 MPa. Dari setiap variasi yang telah ditentukan, nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat di variasi parameter 985 rpm/4 mm dengan nilai 27,174 MPa, yang merupakan 32.791 % dari *base* material, hal ini disebabkan oleh putaran mesin yang tidak terlalu tinggi yang menyebabkan material hasil penyambungan bisa bercampur dan meleleh secara sempurna, dan tidak banyak material yang terbang akibat sapuan dari kencangnya putaran mesin. Dan untuk hasil terendah terdapat ada variasi parameter 2350 rpm/4 mm dengan nilai kuat tarik sebesar 8,241 MPa, hal ini disebabkan oleh besarnya diameter *pin tool* yang menyebabkan besarnya pula celah lasan yang terjadi sehingga proses pengisian lasan menjadi sedikit lebih sulit ketika kecepatan putar mesinnya terlalu tinggi, yang menyebabkan material hasil lasan tidak sepenuhnya menyatu dalam celah lasan, akan tetapi material banyak tersapu oleh kecepatan putar yang terlalu tinggi.

Tabel 4.2 Pengujian tarik terhadap regangan

| No. | Variasi | Spesimen 1 (%) | Spesimen 2 (%) | Rata-rata (%) | Standar Deviasi | Daerah Putus |
|-----|----------------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|------------------------|
| 1 | 985 rpm/3 mm | 2,069 | 1,86 | 1,965 | 0,148 | <i>Retreating side</i> |
| 2 | 985 rpm/4 mm | 1,98 | 2,11 | 2,045 | 0,092 | <i>Retreating side</i> |
| 3 | 1660 rpm/3 mm | 1,852 | 1,869 | 1,861 | 0,012 | <i>Retreating side</i> |
| 4 | 1660 rpm/4 mm | 1,739 | 2,234 | 1,987 | 0,350 | <i>Retreating side</i> |
| 5 | 2350 rpm/3 mm | 1,713 | 1,547 | 1,630 | 0,117 | <i>Retreating side</i> |
| 6 | 2350 rpm/4 mm | 1,373 | 1,478 | 1,426 | 0,074 | <i>Retreating side</i> |
| 7 | Sambungan Lem G | 1,643 | 1,878 | 1,761 | 0,166 | Sambungan lem |
| 8 | <i>Base material</i> | | | 4,86 | 0,000 | Tengah spesimen |



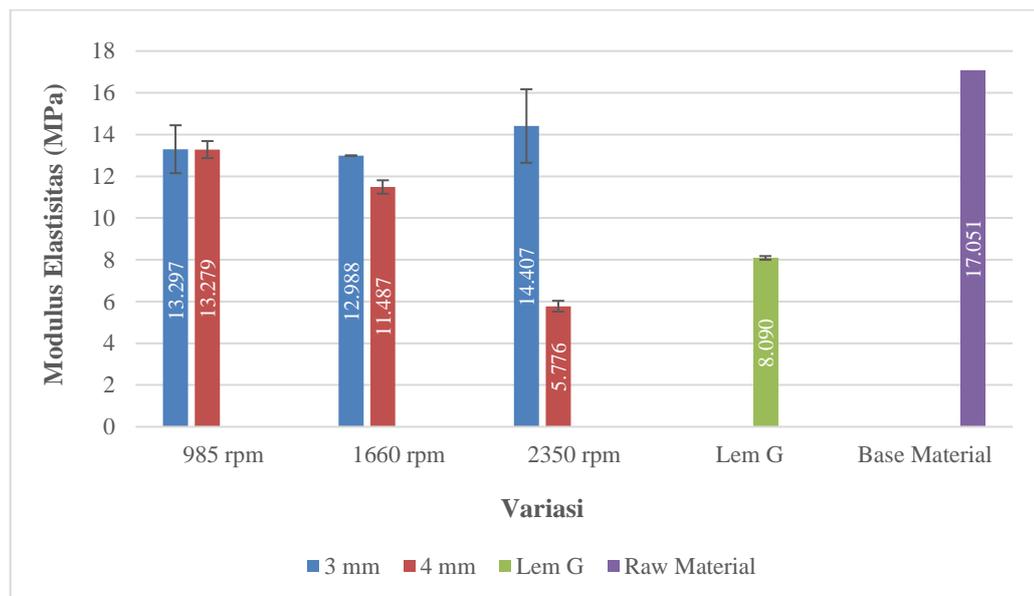
Gambar 4.15 Grafik nilai regangan rata-rata pada hasil pengujian tarik dengan variasi kecepatan putar mesin, besar diameter *pin tool*, base material dan sambungan lem G.

Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengujian tarik terhadap besarnya regangan. Terlihat bahwa setiap spesimen memiliki selisih yang berbeda – berbeda. Selisih terbesar didapatkan pada variasi parameter 1660 rpm/4 mm dengan nilai standar deviasi sebesar 0,350 MPa. Selisih terendah terdapat pada variasi parameter 2350 rpm/4 mm dengan nilai standar deviasi 0,012 MPa.

Dari gambar 4.15 dapat diketahui bahwa regangan tertinggi didapatkan pada variasi parameter 985 rpm/4 mm dengan nilai sebesar 2,045 % dan nilai regangan terendah terdapat pada variasi parameter 2350 rpm/4 mm dengan nilai regangan sebesar 1,426 %. Nilai regangan terendah untuk seluruh variasi parameter pengujian didapatkan sama seperti hasil pengujian kuat tarik, yaitu untuk variasi parameter 2350 rpm/4 mm mendapatkan nilai regangan yang kecil.

Tabel 4.3 Pengujian tarik terhadap modulus elastisitas

| No. | Variasi | Spesimen 1 (MPa) | Spesimen 2 (MPa) | Rata-rata (MPa) | Standar Deviasi | Daerah Putus |
|-----|----------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------------|
| 1 | 985 rpm/3 mm | 14,109 | 12,485 | 13,297 | 1,148 | <i>Retreating side</i> |
| 2 | 985 rpm/4 mm | 12,989 | 13,568 | 13,279 | 0,409 | <i>Retreating side</i> |
| 3 | 1660 rpm/3 mm | 12,988 | 12,988 | 12,988 | 0,000 | <i>Retreating side</i> |
| 4 | 1660 rpm/4 mm | 11,259 | 11,715 | 11,487 | 0,322 | <i>Retreating side</i> |
| 5 | 2350 rpm/3 mm | 13,162 | 15,652 | 14,407 | 1,761 | <i>Retreating side</i> |
| 6 | 2350 rpm/4 mm | 5,593 | 5,959 | 5,776 | 0,259 | <i>Retreating side</i> |
| 7 | Sambungan Lem G | 8,027 | 8,152 | 8,090 | 0,088 | Sambungan lem |
| 8 | <i>Base material</i> | | | 17,051 | 0,000 | Tengah spesimen |



Gambar 4.16 Grafik nilai modulus elastisitas rata - rata pada hasil pengujian tarik dengan variasi kecepatan putar mesin, besar diameter *pin tool*, *base material* dan sambungan lem G.

Dari tabel 4.3 diketahui bahwa nilai modulus elastisitas disetiap spesimen memiliki selisih nilai yang berbeda – beda. Selisih tertinggi didapatkan pada variasi parameter 2350 rpm/3 mm dengan nilai standar deviasi sebesar 1,761 MPa dan selisih terendah didapatkan pada variasi parameter 1660 rpm/3 mm dengan nilai standar deviasi sebesar 0,000 MPa.

Pada gambar 4.16 dapat diketahui nilai rata – rata modulus elastisitas dari setiap variasi parameter, nilai tertinggi dari modulus elastisitas terdapat pada variasi parameter 2350 rpm/3 mm dengan nilai rata – rata 14,407 MPa dan nilai terendah dari modulus elastisitas terdapat pada variasi parameter 2350 rpm/4 mm dengan nilai rata – rata modulus elastisitasnya sebesar 5,776 MPa. Semakin tinggi nilai modulus elastisitas maka semakin kecil regangan elastis yang terjadi, sehingga material akan semakin kaku, demikian pula sebaliknya, semakin kecil modulus elastisitas, maka semakin lentur materialnya.

Tabel 4.4 Perbandingan hasil kuat tarik atau tegangan dan regangan pada penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang.

| Penelitian Terdahulu (Sazly, dkk) | | | | Penelitian Sekarang | | | | |
|---|-----------------------------|---------------|----------------|--|---------------|----------------|--------------|---------------------------|
| Material <i>Polycarbonate Sheet</i> 10 mm | | | | Material <i>Polycarbonate Sheet</i> 5 mm | | | | |
| Kecepatan Putar (rpm) | <i>Feed Rate</i> (mm/menit) | Sudut Mirring | Tegangan (MPa) | Kecepatan Putar (rpm) | Diameter (mm) | Tegangan (MPa) | Regangan (%) | Modulus Elastisitas (MPa) |
| 1000 | 20 | 1 | 6,8 | 985 | 3 | 26,208 | 1,965 | 13,297 |
| | | 3 | 13,4 | | 4 | 27,174 | 2,045 | 13,279 |
| | 40 | 1 | 12 | 1660 | 3 | 24,041 | 1,861 | 12,988 |
| | | 3 | 17,6 | | 4 | 22,876 | 1,987 | 11,487 |
| 1220 | 20 | 1 | 17,7 | 2350 | 3 | 23,381 | 1,630 | 14,407 |
| | | 3 | 13,2 | | 4 | 8,241 | 1,426 | 5,776 |
| | 40 | 1 | 17,7 | Lem G | | 14,25 | 1,7605 | 8,0895 |
| | | 3 | 15,2 | | | | | |
| 1850 | 20 | 1 | 9,4 | Base material | | 82,87 | 4,86 | 17,051 |
| | | 3 | 13,2 | | | | | |
| | 40 | 1 | 16 | | | | | |
| | | 3 | 15,2 | | | | | |

Tabel 4.4 menunjukan perbandingan hasil pengujian tarik penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Sazly (2018) dengan penelitian yang dilakukan sekarang. Dapat dilihat bahwa nilai kekuatan tarik dari setiap pengujian terdapat perbedaan, penelitian yang sekarang mendapatkan hasil lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian terdahulu. Nilai kuat tarik

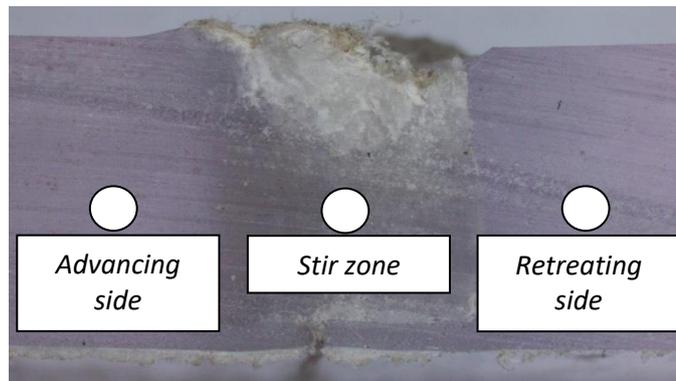
tertinggi pada penelitian terdahulu didapatkan pada variasi parameter 1200 rpm dengan *feed rate* 20 dan 40 mm/min dengan sudut miring 1 derajat didapatkan nilai kuat tarik sebesar 17,7 MPa. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan sekarang nilai kuat tarik tertinggi terdapat pada variasi parameter 985 rpm/3 mm dan didapatkan nilai kuat tarik sebesar 27,174 MPa. Hal ini bisa disebabkan karena pengaruh peralatan yang ada ataupun dari segi lain seperti pengaturan *feed rate* yang berbeda, putaran mesin, besar kecilnya *pin tool* yang digunakan dan lain sebagainya yang bisa menjadi pembeda nilai kuat tarik penelitian terdahulu dengan penelitian yang sekarang.

4.4 Hasil Pengujian Kekerasan

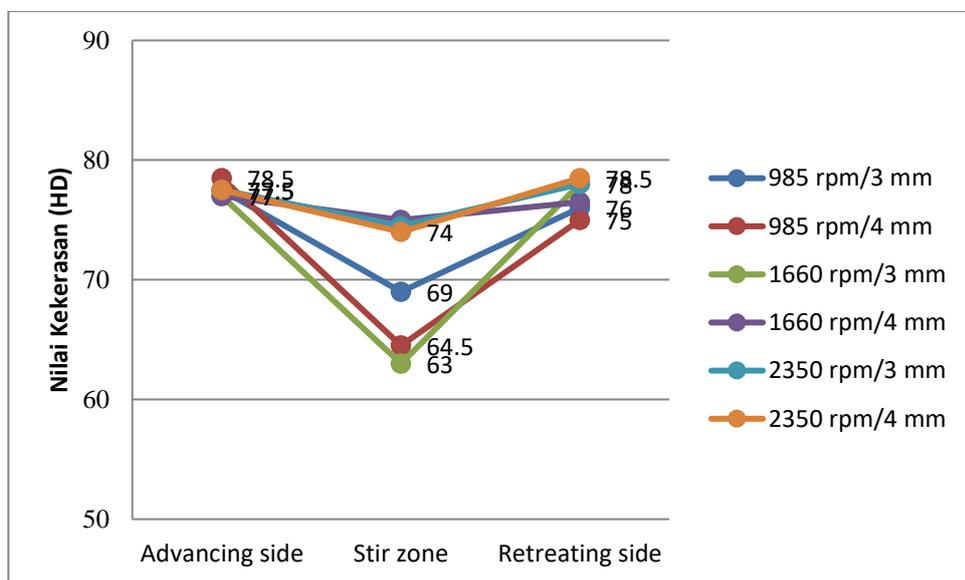
Hasil pengujian kekerasan pada pengujian ini dilakukan pada 6 spesimen yaitu pada rasio kecepatan putar mesin dan diameter *pin tool* 985 rpm/3 mm, 985 rpm/4 mm, 1660 rpm/3 mm, 1660 rpm/4 mm, 2350 rpm/3 mm, dan 2350 rpm/4 mm. Titik pengujian yang diambil dari 3 titik, yaitu : titik *advancing side*, *stir zone*, dan *retreating side*. Pada tabel 4.5 menunjukkan hasil nilai kekerasan dengan menggunakan alat *Shore D*.

Tabel 4.5 Hasil pengujian kekerasan

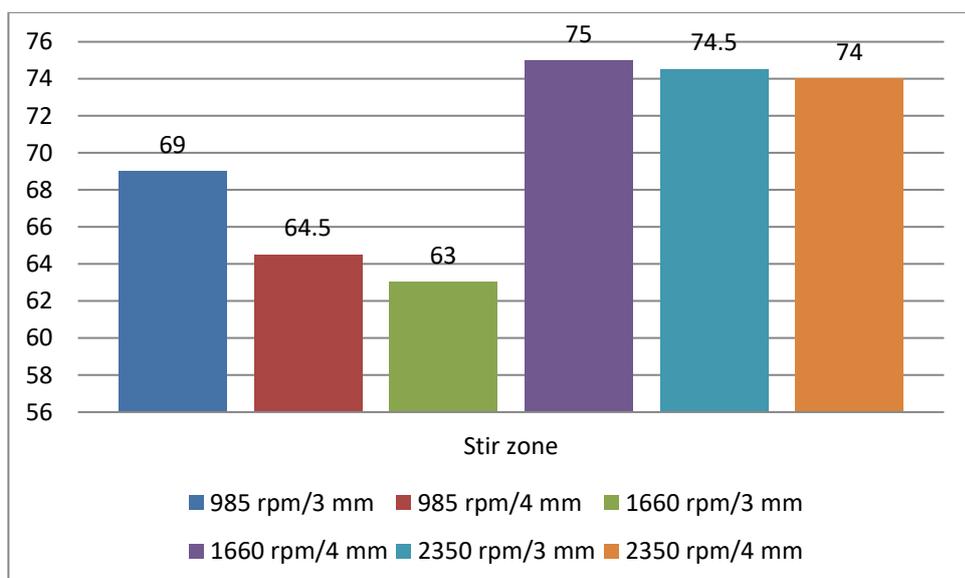
| TITIK | 985 rpm/3 mm | 985 rpm/4 mm | 1660 rpm/3 mm | 1660 rpm/4 mm | 2350 rpm/3 mm | 2350 rpm/4 mm |
|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| <i>Advancing side</i> | 77,5 <i>Shore D</i> | 78,5 <i>Shore D</i> | 78 <i>Shore D</i> | 77 <i>Shore D</i> | 78 <i>Shore D</i> | 78,5 <i>Shore D</i> |
| <i>Stir zone</i> | 69 <i>Shore D</i> | 64,5 <i>Shore D</i> | 63 <i>Shore D</i> | 75 <i>Shore D</i> | 74,5 <i>Shore D</i> | 74 <i>Shore D</i> |
| <i>Retreating side</i> | 76 <i>Shore D</i> | 75 <i>Shore D</i> | 77 <i>Shore D</i> | 76,5 <i>Shore D</i> | 77,5 <i>Shore D</i> | 77,5 <i>Shore D</i> |



Gambar 4.17 Titik Pengujian Kekerasan



Gambar 4.18 Grafik distribusi kekerasan pada titik uji



Gambar 4.19 Grafik nilai kekerasan daerah stir zone

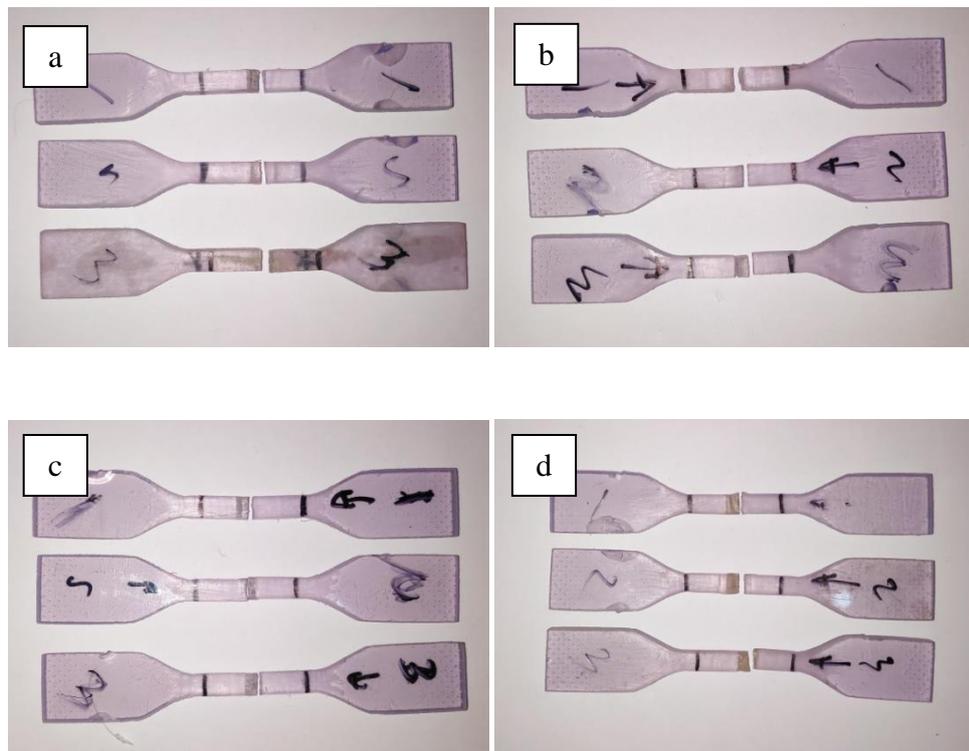
Dari gambar 4.18 dapat diketahui bahwa nilai kekerasan pada titik pengujian *advancing side*, *stir zone* dan *retreating side* memiliki nilai kekerasan yang berbeda beda. Pada daerah *advancing side* yaitu daerah induk yang mendapatkan perlakuan pada proses penyambungan yang terkena gesekan *tool* dengan arah maju yang mendapatkan nilai yang paling tinggi sebesar 79 *Shore D* untuk variasi parameter 2350 rpm/4 mm. Dan nilai kekerasan paling kecil di *advancing side* adalah pada variasi parameter 1660 rpm/4 mm dengan nilai 77 *Shore D*. Hal ini disebabkan karena pada *advancing side* terdapat deformasi material yang besar dari sifat termal dan mekaniknya sehingga material lebih keras dan lebih padat. Pada daerah *stir zone*, proses lelehnya material terjadi di daerah sini, sehingga untuk nilai kekerasannya itu lebih kecil dibandingkan dengan *advancing side* dan *reatreating side*, dengan nilai tertinggi terdapat pada variasi parameter 1660 rpm/4 mm dan nilai terkecil terdapat pada variasi parameter 1660 rpm/3 mm. Sedangkan pada daerah *retreating side* atau daerah yang terkena putaran *tool* dalam keadaan mundur yang mengakibatkan nilai kekerasannya lebih kecil dibandingkan nilai dari *advancing side*. Nilai kekerasan terbesar terdapat pada variasi parameter 2350 rpm/4 mm dan nilai kekerasan terkecil terdapat pada variasi parameter 985 rpm/4 mm. Hal ini karena pada saat proses penyambungan, material tersapu oleh putaran mesin sehingga pada daerah *retreating side*, material tidak tersisi penuh dan menjadi lebih renggang dan cenderung lunak.

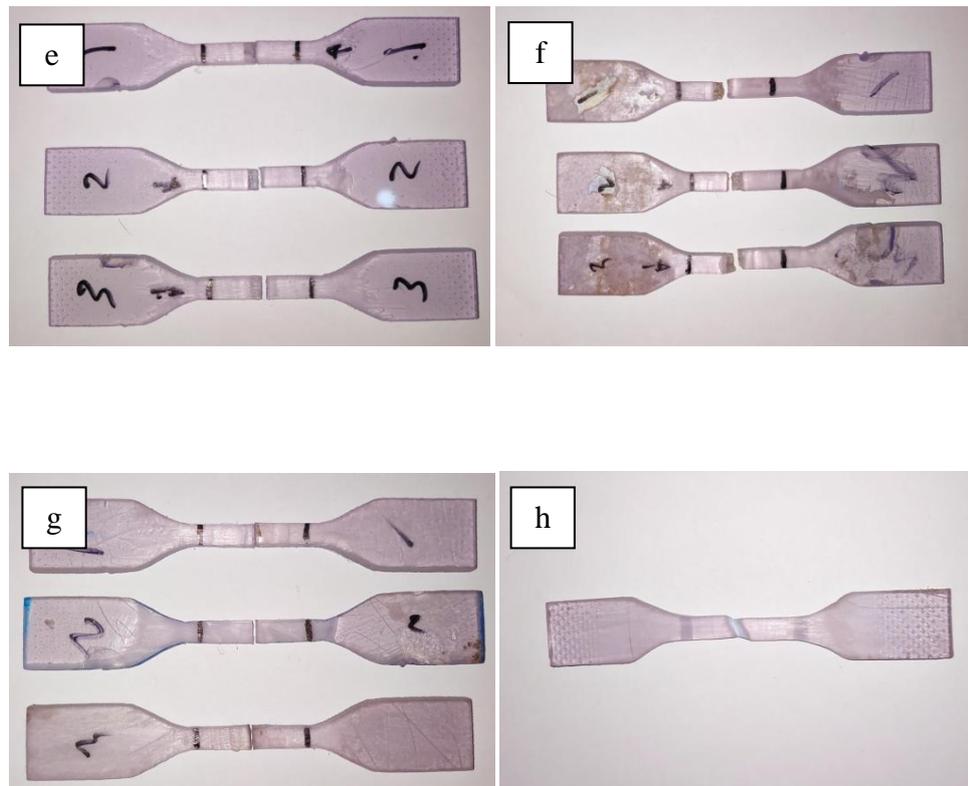
Pada gambar 4.16 dapat diketahui bahwa nilai kekerasan di *stir zone* dari 6 variasi sambungan *friction stir welding* tersebut nilai kekerasan pada variasi parameter 1660 rpm/4 mm lebih tinggi dari pada nilai kerkerasan dari parameter lain dengan nilai 75 *Shore D* dan nilai terbesar kedua didapatkan oleh variasi parameter 2350 rpm/3 mm dengan nilai 74,5 *Shore D*. Sedangkan untuk nilai kekerasan terkecil pada daerah *stir zone* adalah variasi parameter 1660 rpm/3 mm dengan nilai kekerasan sebesar 63 *Shore D*. Hal ini disebabkan karena pada variasi 1660 rpm/4 mm mengalami

proses pemanasan pada bidang gesek yang lebih tinggi yang menyebabkan material pada saat proses peyambungan tidak banyak tersapu oleh putaran mesin yang menyebabkan material lebih homogen.

4.5 Fraktografi

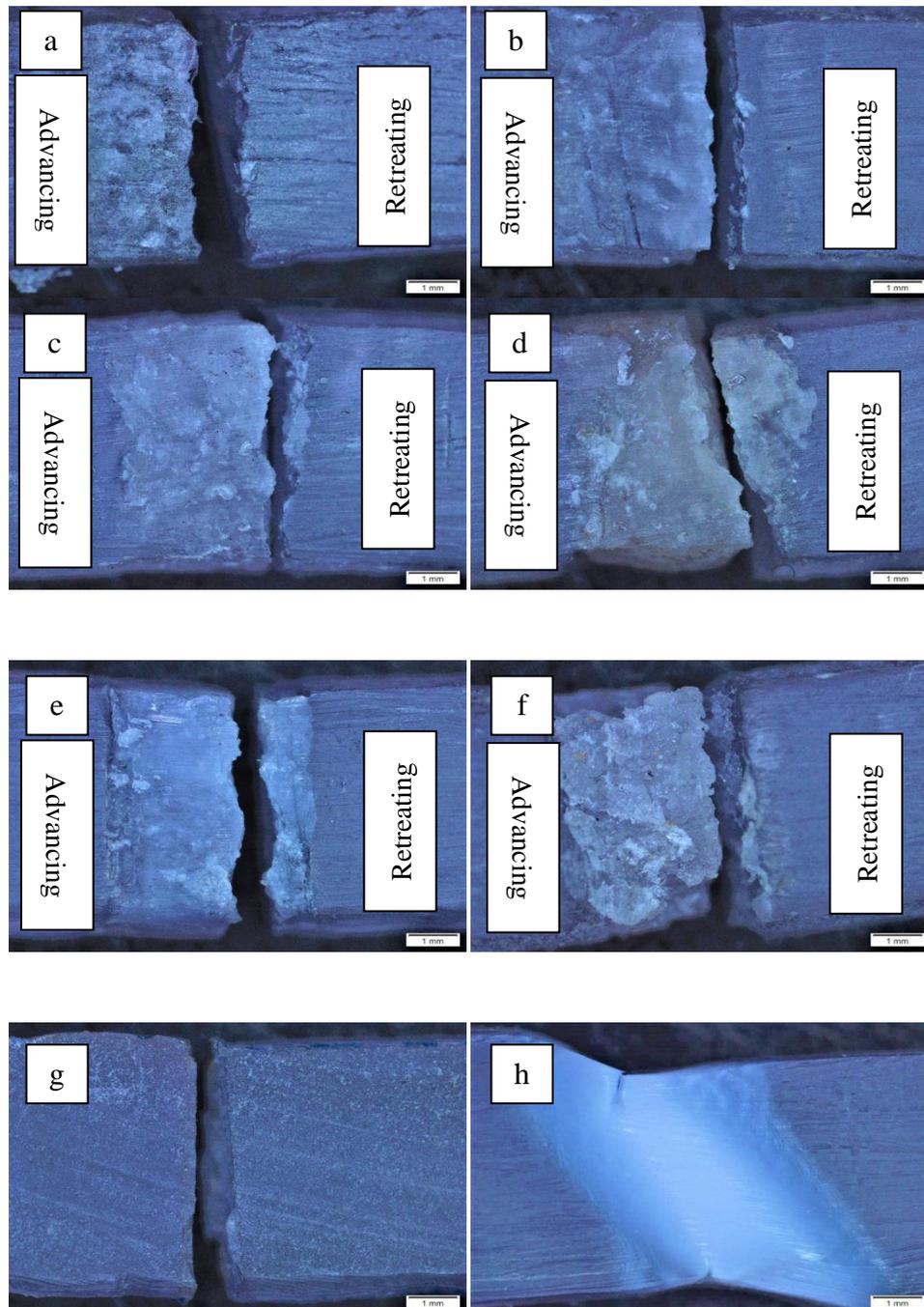
Fraktografi merupakan gambar hasil patahan pada saat setelah pengujian tarik dilakukan. Hasil gambar dari fraktografi pada pengujian tarik terdapat pada gambar 4.20 a, b, c, d, e, f, g, dan h yang mana diketahui bahwa ada beberapa spesimen yang mengalami patahan dengan baik, dan adapula spesimen yang mengalami patahan yang kurang baik. Berikut merupakan gambar hasil fraktografi.





Gambar 4.20 Spesimen setelah dilakukan pengujian tarik dengan variasi parameter a. 985 rpm/3 mm, b. 985 rpm/4 mm, c. 1660 rpm/3 mm, d. 1660 rpm/4 mm, e. 2350 rpm/3 mm, f. 2350 rpm/4 mm, g. sambungan lem G, dan h. *base material*.

Pada gambar 4.21 dapat dilihat bahwa hasil patahan yang terjadi setelah dilakukan pengujian tarik menggunakan mikroskop optik. Untuk variasi sambungan FSW rata – rata mengalami patahan pada *interface retreating side* karena pada pembahasan sebelumnya sudah dijelaskan bahwa pada *retreating side* merupakan daerah yang mengalami putaran mundur pada saat tool berputar, dan tersapunya material oleh putaran tool yang menyebabkan partikel material lebih renggang dan cenderung lebih lunak yang mengakibatkan hasil lasan banyak mengalami patahan pada daerah tersebut. Seperti yang dikatakan oleh Callister (2000) hasil fraktografi spesimen pada pengujian base material mengalami patahan ulet seagian, dan untuk spesimen uji hasil penyambungan dengan metode friction stir welding dan penyambungan menggunakan lem G didapatkan hasil yang lebih getas yang dibuktikan dengan hasil patahan yang lebih datar.



Gambar 4.21 Spesimen setelah dilakukan pengujian tarik dengan variasi parameter a. 985 rpm/3 mm, b. 985 rpm/4 mm, c. 1660 rpm/3 mm, d. 1660 rpm/4 mm, e. 2350 rpm/3 mm, f. 2350 rpm/4 mm, g. sambungan lem G, dan h. *base material* menggunakan mikroskop optik.