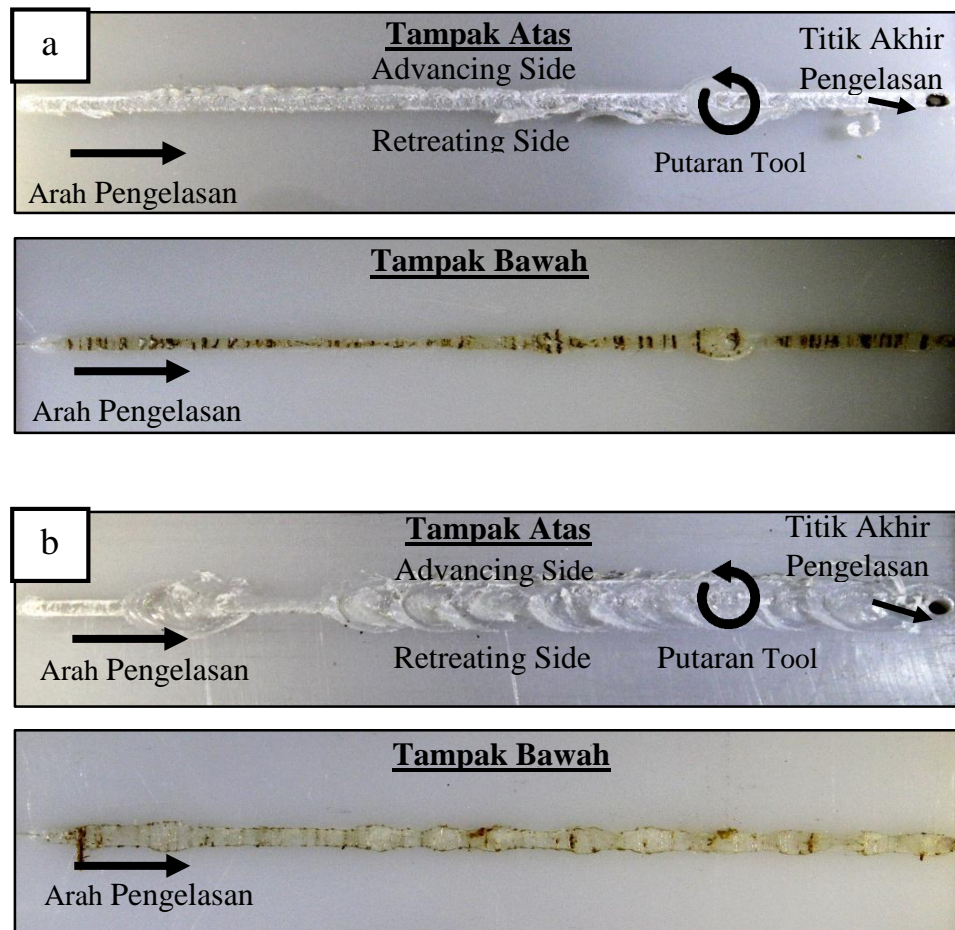
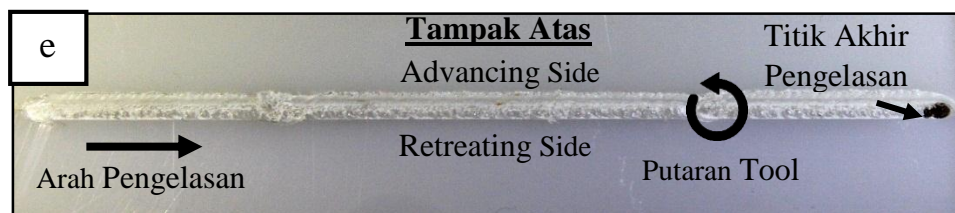
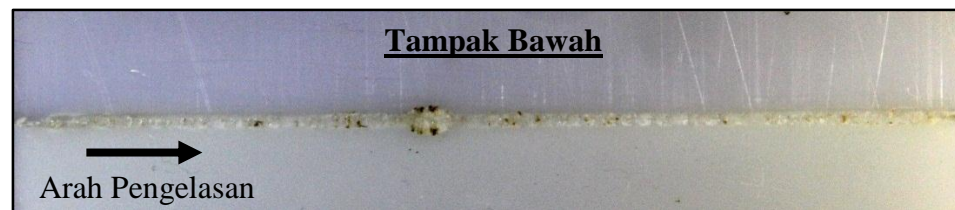
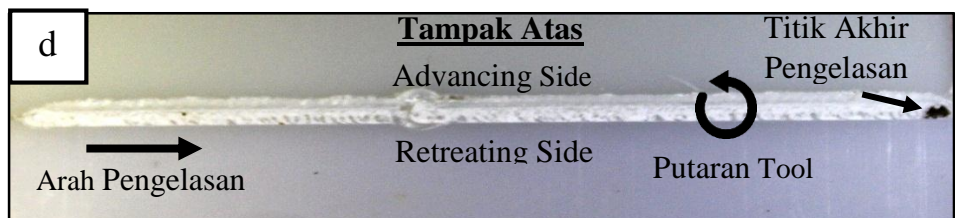
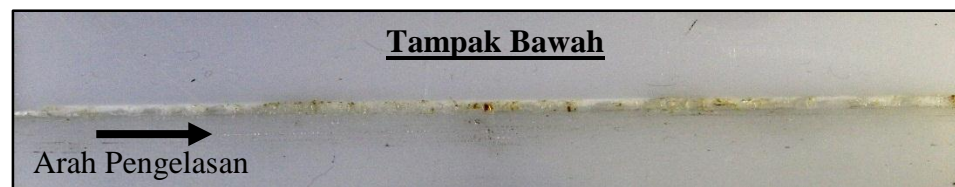
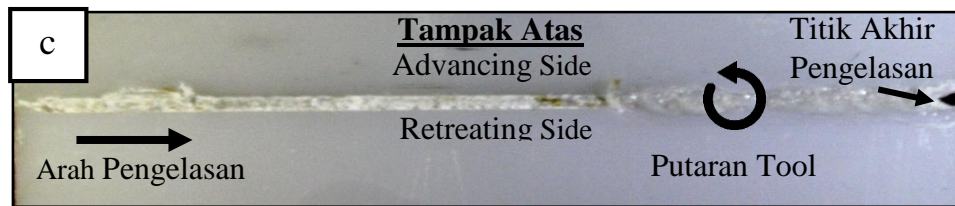


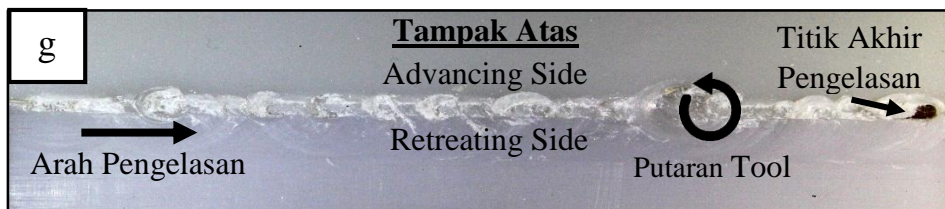
BAB IV PEMBAHASAN

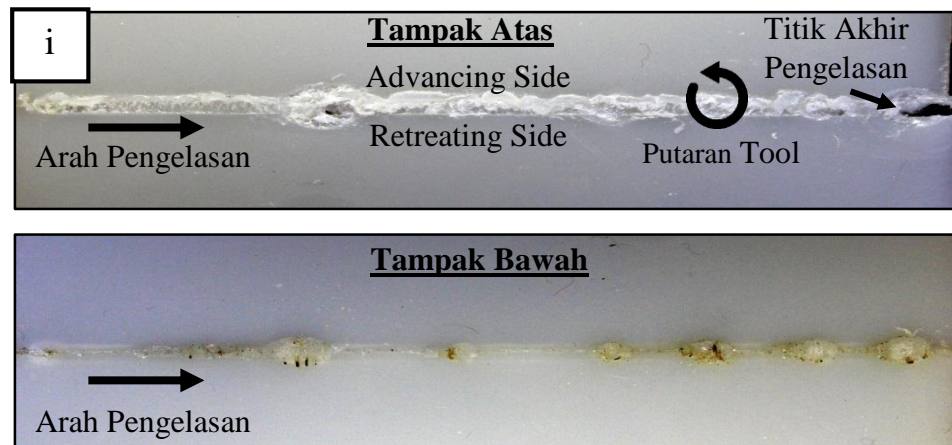
4.1 Hasil Pengelasan

Hasil penyambungan *nylon 6* menggunakan metode *friction stir welding* dengan parameter rasio diameter *tool* 10/3 mm/mm, 15/3 mm/mm, 20/3 mm/mm dan *feedrate* 4, 6, 8 mm/menit didapat hasil seperti ditunjukkan pada gambar 4.1 dibawah ini.







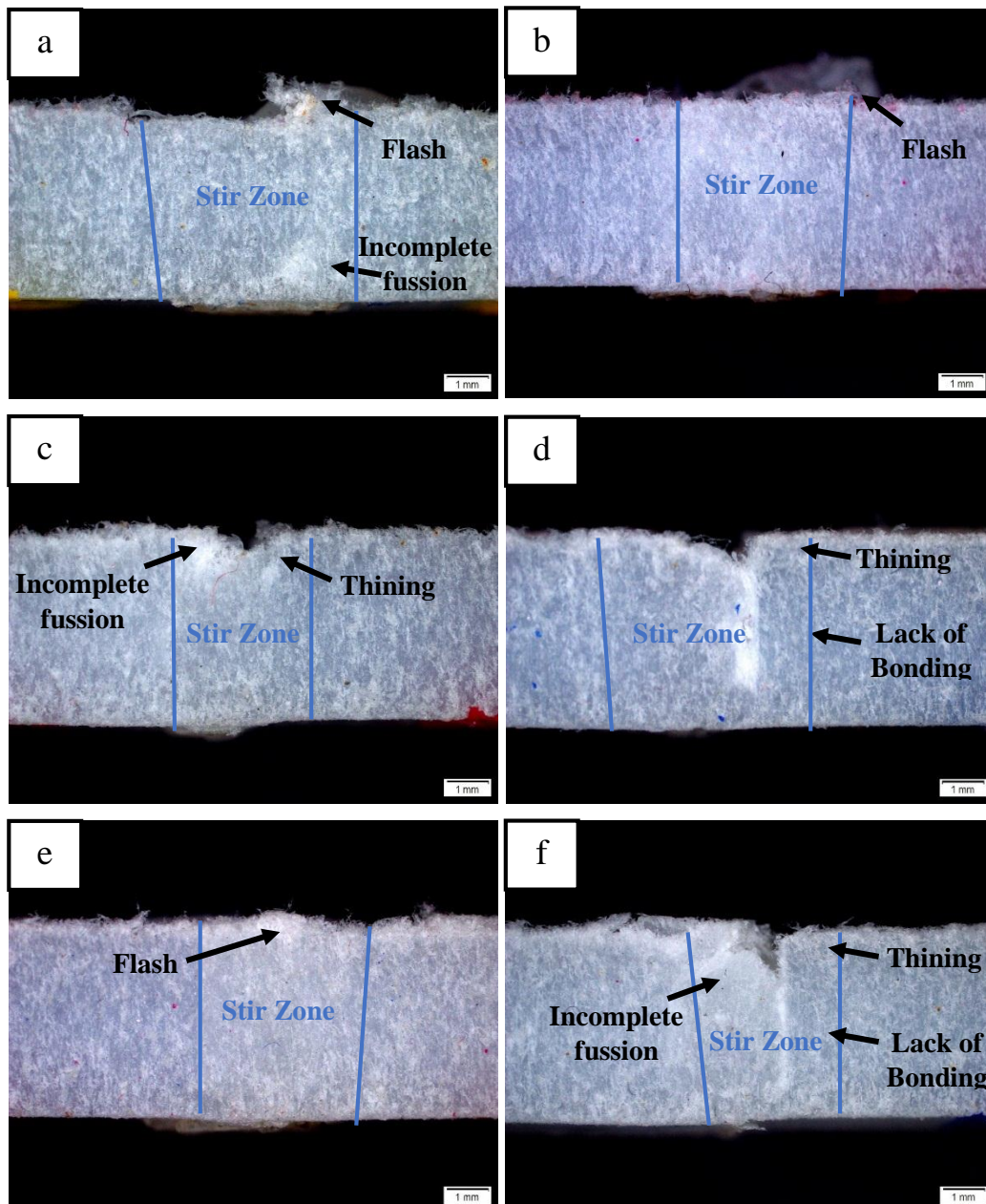


Gambar 4.1 Hasil pengelasan FSW dengan variasi rasio diameter *tool* dan *feedrate* a. 10/3 mm/mm & 4 mm/menit, b. 10/3 mm/mm & 6 mm/menit, c. 10/ 3mm/mm & 8 mm/menit, d. 15/3 mm/mm & 4 mm/menit, e. 15/3 mm/mm & 6 mm/menit, f. 15/3 mm/mm & 8 mm/menit, g. 20/3 mm/mm & 4 mm/menit, h. 20/3 mm/mm & 6 mm/menit, i. 20/3 mm/mm & 8 mm/menit.

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa hasil lasan pada setiap variasi memiliki tampilan lasan yang berbeda. Pada gambar a, b, c yaitu variasi rasio diameter *tool* 10/3 mm/mm dengan *feedrate* 4, 6, 8 mm/min tampilan lasan cukup baik walaupun sedikit cenderung tidak merata, baik pada tampak atas maupun tampak bawah. Pada gambar d, e, f yaitu variasi rasio diameter *tool* 15/3 mm/mm dengan *feedrate* 4, 6, 8 mm/min tampilan cukup baik dan hasil lasan yang cenderung merata, baik pada tampak atas maupun tampak bawah. Sedangkan pada gambar g, h, i yaitu variasi rasio diameter *tool* 20/3 mm/mm dengan *feedrate* 4, 6, 8 mm/min tampilan lasan kurang baik dan cenderung tidak merata, baik pada tampak atas maupun tampak bawah. Hasil lasan yang paling baik terdapat pada variasi rasio diameter *tool* 15/3 mm/mm yaitu gambar d, e, f dan hasil lasan yang kurang baik terdapat pada variasi rasio diameter *tool* 10/3 mm/mm dan 20/3 mm/mm. Hal ini disebabkan oleh dimensi *tool* yang memiliki diameter *shoulder* yang berbeda sehingga mempengaruhi hasil tampilan lasnya. *Shoulder* berpengaruh terhadap hasil akhir lasan karena berfungsi untuk meratakan permukaan zona aduk.

4.2 Hasil Foto Makro

Pada penelitian ini, foto makro hanya diambil pada variasi tertentu yang mewakili saja. Pengambilan foto makro bertujuan untuk mengetahui dan membedakan hasil lasan baik dari bentuk maupun sifat mekaniknya yang terdiri dari material induk dan zona aduk (*stir zone*).



Gambar 4.2 Hasil foto makro pada variasi rasio diameter *tool* dan *feedrate*
a. 10/3mm/mm & 6 mm/menit, b. 10/3 mm/m & 4 mm/menit, c. 15/3 mm & 8 mm/menit d. 15/3 & 6 mm/menit, e. 20/3 mm & 4 mm/menit, f. 20/3 mm & 8 mm/menit.

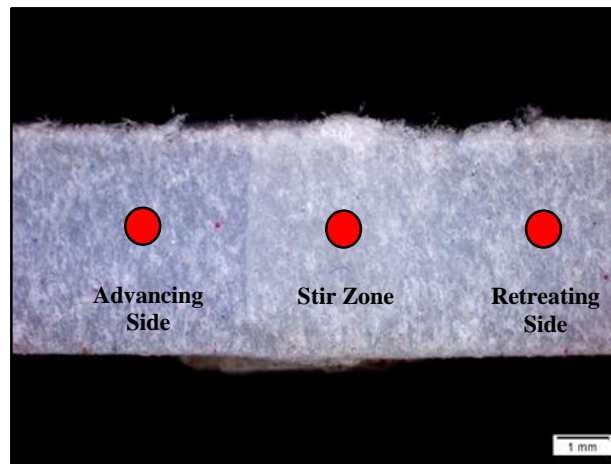
Pada gambar 4.2 hasil pengambilan foto makro pada spesimen penelitian FSW dengan material *nylon 6* dapat diamati bahwa pada variasi rasio diameter *tool* 10/3 mm/mm yaitu gambar a dan b, terlihat terdapat sedikit cacat *flash* dan *incomplete fusion*. Hal ini disebabkan oleh lelehan material yang tidak sempurna pada saat proses FSW. Walaupun masih terdapat sedikit cacat tetapi bentuk lasan cukup baik dan terlihat homogen. Pada variasi rasio diameter *tool* 15/3 mm/mm dan 20/3 mm/mm hasil lasan cenderung kurang bagus dan terdapat cacat *flash*, *incomplete fusion*, *lack of bonding* dan *thining*. *Flash* merupakan lelehan material yang berlebih atau tidak sempurna dipermukaan zona aduk disebabkan oleh panas yang tinggi karena luas bidang gesek *shoulder* yang besar. *Incomplete fusion* merupakan fusi yang tidak terisi secara penuh di dalam zona aduk hal ini disebabkan oleh proses pendinginan material yang kurang sempurna. Kemudian *lack of bonding* adalah rongga kecil antara zona aduk dan material induknya disebabkan oleh distribusi partikel yang kurang baik sehingga antara kedua daerah ini tidak bisa menyatu dengan baik, ini bisa disebabkan oleh kecepatan pemakanan yang terlalu cepat pada saat proses FSW. Sedangkan *thining* adalah cacat yang terjadi di daerah lasan atau zona aduk yaitu berupa berkurangnya material yang mengakibatkan terjadinya rongga seperti lembah pada sambungan FSW. Dari hasil pengambilan foto makro hasil yang cukup baik ditunjukkan pada variasi rasio diameter *tool* 10/3 mm/mm dibandingkan dengan variasi 15/3 mm/mm dan 20/3 mm/mm.

4.3 Hasil Pengujian Kekerasan

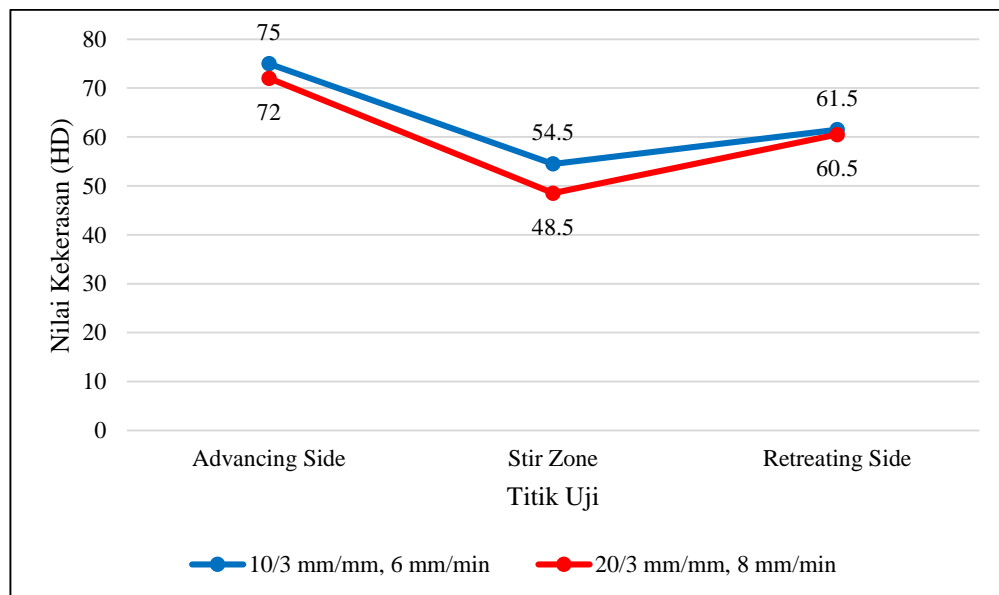
Pengujian kekerasan pada penelitian ini dilakukan pada 2 spesimen yang mewakili saja yaitu pada spesimen rasio diameter *tool* dan *feedrate* 10/3 mm/mm & 6 mm/min dan 20/3 mm/mm & 8 mm/min. Titik pengujian diambil dari 3 titik antara lain titik *advancing side*, *stir zone* dan *retreating side*. Pada tabel 4.1 menunjukkan hasil nilai kekerasan dengan menggunakan alat *Shore D*.

Tabel 4.1 Hasil pengujian kekerasan.

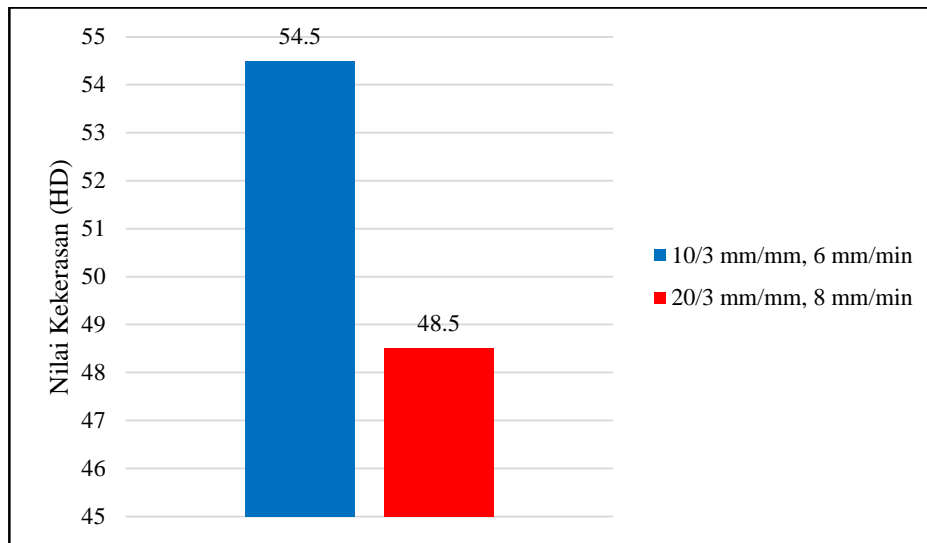
No	Variabel	Nilai Kekerasan (HD)		
		<i>Advancing Side</i>	<i>Stir Zone</i>	<i>Retreating Side</i>
1	10/3 mm/mm, 6 mm/min	75	54.5	61.5
2	20/3 mm/mm, 8 mm/min	72	48.5	60.5



Gambar 4.3 Titik pengambilan pengujian kekerasan.



Gambar 4.4 Grafik distribusi kekerasan pada titik pengambilan uji.



Gambar 4.5 Grafik nilai kekerasan daerah *stir zone* pada variabel yang diambil.

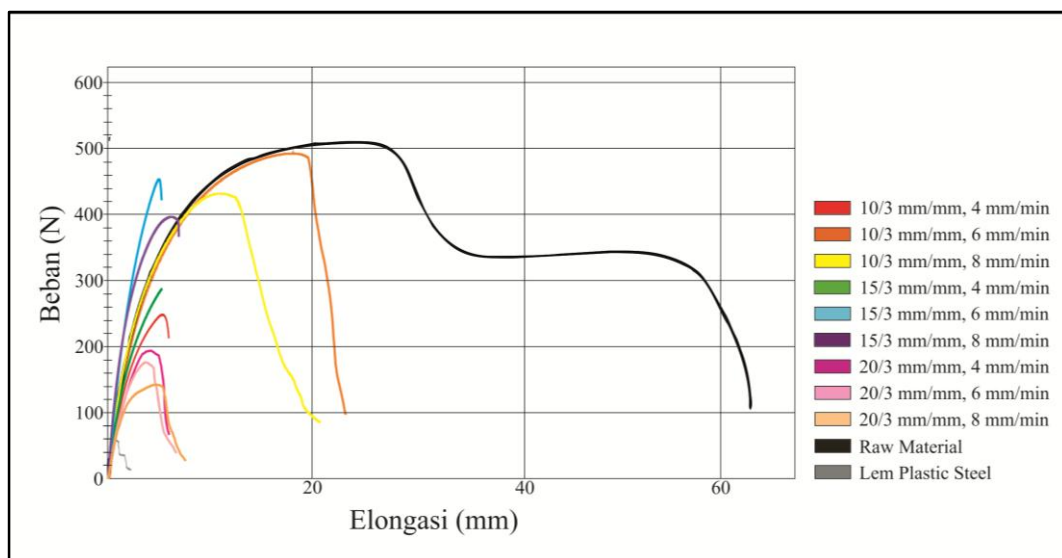
Dari Gambar 4.4 dapat diketahui nilai kekerasan pada titik pengambilan pengujian kekerasan yaitu *advancing side*, *stir zone*, dan *retreating side*. Di daerah *advancing side* yaitu daerah material induk yang terkena gesekan *tool* arah maju didapat nilai kekerasan yang paling tinggi yaitu sebesar 75 HD untuk variasi parameter 10/3 mm/mm dan 6 mm/menit dan 72 HD untuk variasi parameter 20/3 mm/mm dan 8 mm/min. Hal ini disebabkan karena pada daerah *advancing side* terdapat deformasi terbesar dari sifat mekanik dan termalnya sehingga material menjadi lebih padat dan lebih keras (Dudzik, 2014). Pada daerah *stir zone* (zona aduk), lelehan material terjadi di daerah ini saja sehingga nilai kekerasannya pun paling rendah yaitu sebesar 54,5 HD untuk variasi parameter 10/3 mm/mm dan 6 mm/menit dan 48,5 HD untuk variasi parameter 20/3 mm/mm dan 8 mm/menit. Sedangkan untuk daerah *retreating side* atau daerah yang terkena arah mundur dari putaran *tool*, nilai kekerasannya lebih rendah dari *advancing side* yaitu sebesar 61,5 HD untuk variasi parameter rasio diameter *tool* 10/3 mm/mm dan *feedrate* 6 mm/menit dan 60,5 HD untuk variasi parameter rasio diameter *tool* 20/3 mm/mm dan *feedrate* 8 mm/menit. Hal ini disebabkan karena terjadi penyapuan material oleh putaran *tool* sehingga partikel material menjadi lebih renggang dan lunak.

Pada gambar 4.5 dapat diketahui nilai kekerasan di *stir zone* sambungan FSW dari 2 variasi parameter yang diambil. Nilai kekerasan pada variasi 10/3

mm/mm & 6 mm/menit lebih tinggi dari pada nilai kekerasan pada variasi 20/3 mm/mm & 8 mm/menit yaitu sebesar 54,5 HD untuk variasi parameter 10/3 mm/mm & 6 mm/menit dan 48,5 HD untuk variasi parameter 20/3 mm/mm & 8 mm/menit. Hal ini disebabkan oleh panas yang terjadi dari gesekan *tool* 10/3 mm/mm tidak terlalu tinggi karena luas bidang gesek *shoulder* nya yang tidak terlalu besar sehingga lelehan material menjadi efisien di daerah las saja sehingga menjadikan sambungan las yang homogen. Sebaliknya luas bidang *shoulder* pada variasi rasio diameter *tool* 20/3 mm/mm cukup besar menyebabkan terjadinya panas yang tinggi dan menyebabkan lelehan material yang cukup lebar di sambungan lasnya sehingga sambungan terbentuk kurang homogen dan menyebabkan material menjadi lebih lunak dan mengurangi nilai kekerasannya.

4.4 Hasil Pengujian Tarik

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



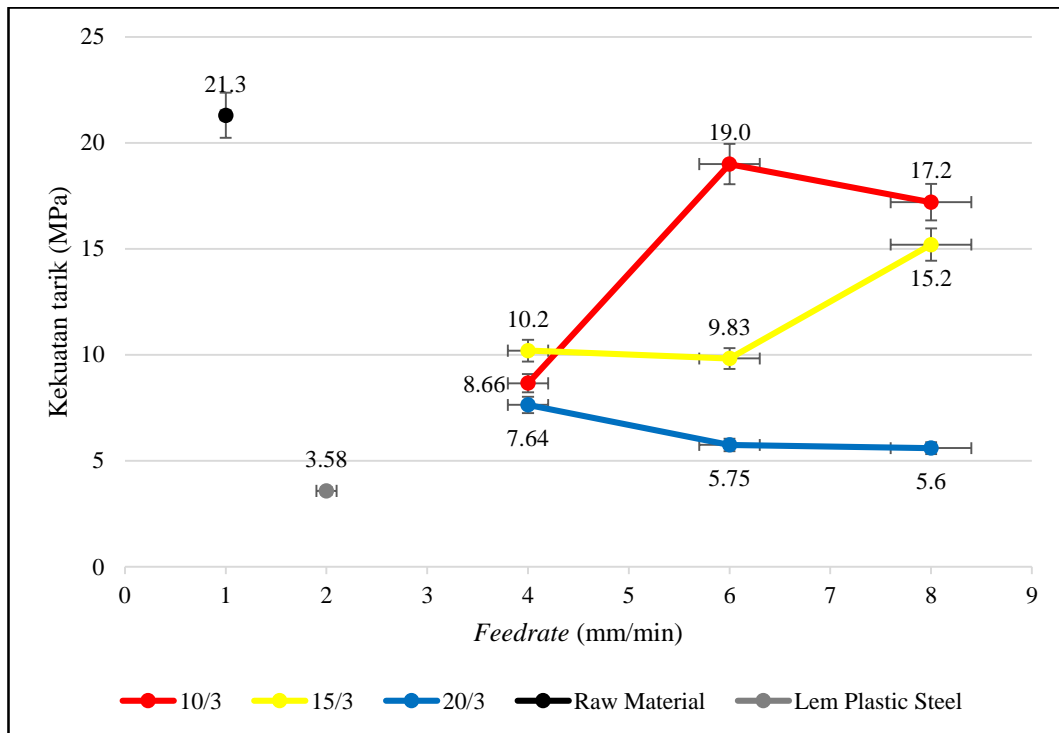
Gambar 4.6 Kurva beban elongasi hasil pengujian tarik.

Gambar 4.6 menunjukkan kurva beban elongasi dari pengujian tarik yang telah dilakukan meliputi *raw material*, sambungan lem *plastic steel* dan sambungan

FSW. Dari kurva beban elongasi ini kita dapat mengamati sifat tarik material dari kekuatan tarik, regangan, modulus elastisitas, kekuatan luluh dll. *Raw material nylon 6* yang ditunjukkan oleh kurva berwarna hitam, material ini belum mendapatkan perlakuan apapun sehingga kuat tarik dan regangannya masih tinggi. Pada material dengan sambungan FSW terdapat beberapa variasi parameter dengan kekuatan tarik yang tinggi dan cenderung mendekati *raw material* namun pada semua variasi parameter, regangan yang terjadi cenderung rendah. Hal ini disebabkan karena pada saat proses FSW terjadi lelehan material sehingga menurunkan tingkat keuletannya. Variasi parameter dengan kekuatan tarik dan regangan yang hampir mendekati *raw material* antara lain variasi parameter 10/3 mm/mm & 4 mm/min ditunjukkan oleh kurva berwarna jingga dan 10/3 mm/mm & 8 mm/min ditunjukkan oleh kurva berwarna kuning. Sedangkan untuk sambungan lem *plastic steel* kekuatan tarik dan regangannya sangat kecil dibandingkan dengan *raw material* ataupun sambungan FSW nya.

Tabel 4.2 Hasil pengujian tarik terhadap kekuatan tarik.

No.	Rasio diameter <i>tool</i> (mm/mm)	Rotasi (RPM)	<i>Feedrate</i> (mm/min)	Spesimen 1 (Mpa)	Spesimen 2 (Mpa)	Rata - rata (Mpa) ±SD	Daerah putus
1	10/3	5800	4	7.54	9.77	8.66 ±1.58	<i>Retreating side</i>
2			6	20.1	17.8	19.0 ±1.63	<i>Retreating side</i>
3			8	17.2	17.3	17.3 ±0.07	<i>Retreating side</i>
4	15/3		4	10.6	9.77	10.2 ±0.59	<i>Retreating side</i>
5			6	9.69	9.96	9.83 ±0.19	<i>Retreating side</i>
6			8	13.4	17	15.2 ±2.55	<i>Retreating side</i>
7	20/3		4	8.06	7.22	7.64 ±0.59	<i>Retreating side</i>
8			6	4.72	6.79	5.76 ±1.46	<i>Retreating side</i>
9			8	5.91	5.28	5.6 ±0.45	<i>Retreating side</i>
10	<i>Raw Material</i>			22.5	20	21.3 ±1.77	Tengah spesimen
11	<i>Lem Plastic Steel</i>			3.6	3.56	3.58 ±0.03	Sambungan lem



Gambar 4.7 Grafik nilai kekuatan tarik rata - rata pada hasil pengujian tarik dengan variasi rasio diameter *tool* dan *feedrate*, *raw material* dan sambungan lem *plastic steel*.

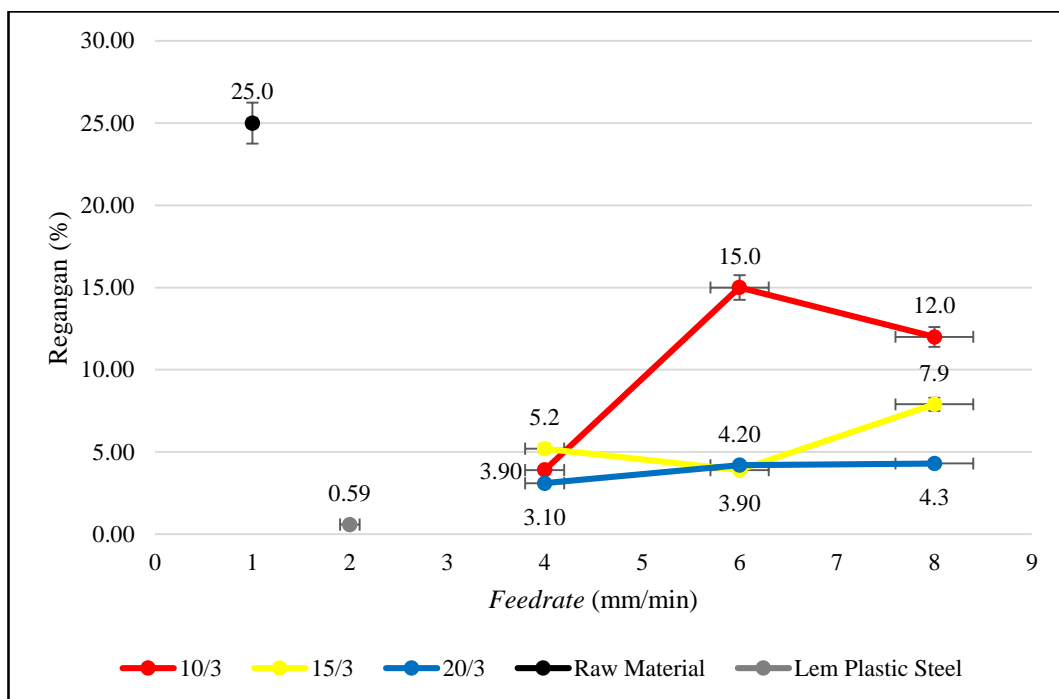
Dari Tabel 4.2 menunjukkan hasil nilai kekuatan tarik pada tiap spesimen yang telah diujikan. Dapat dilihat bahwa hasil pada tiap spesimen memiliki selisih yang berbeda - beda. Selisih terendah didapat pada variasi rasio diameter *tool* 10/3 mm/mm dan *feedrate* 8 mm/menit dengan nilai standar deviasi sebesar 0,07 MPa. Sementara selisih tertinggi didapat pada variasi rasio diameter *tool* 15/3 mm/mm dan *feedrate* 8 mm/menit yaitu dengan nilai standar deviasi sebesar 2,55 MPa. Hal ini disebabkan *heat input* yang tidak stabil karena putaran *tool* yang tidak merata atau pengaruh suhu lingkungan, dan waktu pendinginan lelehan sambungan yang berbeda - beda karena variasi *feedrate* yang dipakai. Sementara, daerah putus pada tiap perlakuan sambungan spesimen berbeda - beda. Pada *raw material* daerah putus terletak di tengah spesimen uji tarik, pada sambungan lem *plastic steel* daerah putus terletak di tengah sambungan lem, sedangkan untuk sambungan FSW daerah putus terletak di *retreating side*. Hal ini disebabkan karena di daerah *retreating side*

terdapat beberapa cacat seperti *lack of bonding* dan *thining* sehingga menurunkan nilai kekuatan tariknya.

Pada Gambar 4.7 diatas dapat dilihat hasil kekuatan tarik rata - rata dari setiap variasi antara lain pada rasio diameter *tool* 10/3 mm/mm dengan *feedrate* 4 mm/menit sebesar 8,66 MPa, *feedrate* 6 mm/menit sebesar 19 MPa, *feedrate* 8 mm/menit sebesar, 17,2 MPa. Nilai kekuatan tarik pada rasio diameter *tool* 15/3 mm/mm dengan *feedrate* 4 mm/menit sebesar 10,2 MPa, *feedrate* 6 mm/menit sebesar 9,83 MPa, dan *feedrate* 8 mm/menit sebesar 15,2 Mpa. Nilai kekuatan tarik pada rasio diameter *tool* 20/3 mm/mm dengan *feedrate* 4 mm/menit sebesar 7,64 MPa, *feedrate* 6 mm/menit sebesar 5.75 MPa, *feedrate* 8 mm/menit sebesar 5.6 MPa. Dari tiap variasi yang telah ditentukan, nilai kekuatan tarik tertinggi didapat pada variasi rasio diameter *tool* dan *feedrate* 10/3 mm/mm & 6 mm/menit yaitu sebesar 19 MPa, presentasinya 89.2% dari *raw material* nya yang sebesar 21.3 Mpa dan 530.7% dari sambungan lem *plastic steel* yang sebesar 3.58 MPa. Hal ini bisa terjadi karena diameter *shoulder* yang tidak terlalu besar yaitu 10 mm menyebabkan *heat input* yang masuk juga tidak terlalu tinggi sehingga material *nylon 6* bisa meleleh secara efisien dan tersambung dengan baik di zona aduknya dan diameter *shoulder* pahat yang semakin besar juga menyebabkan menurunnya nilai tarik sambungan las (Bilici, 2017). *Federate* 6 mm adalah *feedrate* yang paling optimal untuk variasi diameter *tool* 10/3 mm/mm diantara variasi *feedrate* lainnya karena kecepatannya cenderung sedang, sehingga partikel material di zona aduk dapat terdistribusi dengan baik. Nilai kekuatan tarik terendah didapat pada variasi 20/3 mm/mm & 8 mm/menit yaitu sebesar 5,6 MPa, presentasinya 26,2% dari *raw material* nya yang sebesar 21.3 MPa dan 156,4% dari sambungn lem *plastic steel* yang sebesar 3,58 MPa. Hal ini bisa terjadi karena ukuran diameter *shoulder* yaitu sebesar 20 mm menyebabkan luasnya permukaan bidang gesek yang terjadi pada material *nylon 6*, menyebabkan *heat input* yang tinggi mengakibatkan lelehan material menjadi tidak sempurna dan kecepatan pemakanan *tool* sebesar 8 mm/menit menyebabkan proses pendinginan lelehan material menjadi terlalu cepat.

Tabel 4.3 Hasil pengujian tarik terhadap regangan.

No.	Rasio diameter <i>tool</i> (mm/mm)	Rotasi (RPM)	Feedrate (mm/min)	Spesimen 1 (%)	Spesimen 2 (%)	Rata - rata (%) \pm SD	Daerah putus
1	10/3	5800	4	3	4.8	3.9 \pm 1.20	<i>Retreating side</i>
2			6	18	13	15.0 \pm 3.50	<i>Retreating side</i>
3			8	12	11	12.0 \pm 0.49	<i>Retreating side</i>
4	15/3		4	5.5	4.9	5.2 \pm 0.42	<i>Retreating side</i>
5			6	3.7	4.1	3.90 \pm 0.29	<i>Retreating side</i>
6			8	5.5	10	7.9 \pm 3.50	<i>Retreating side</i>
7	20/3		4	3.4	2.8	3.10 \pm 0.41	<i>Retreating side</i>
8			6	4.8	3.6	4.20 \pm 0.89	<i>Retreating side</i>
9			8	4.9	3.7	4.3 \pm 0.81	<i>Retreating side</i>
10	<i>Raw Material</i>			25	25	25.0 \pm 0.09	Tengah spesimen
11	<i>Lem Plastic Steel</i>			0.66	0.52	0.59 \pm 0.11	Sambungan lem



Gambar 4.8 Grafik nilai regangan rata - rata pada hasil pengujian tarik dengan variasi rasio diameter *tool* dan *feedrate*, *raw material* dan sambungan lem *plastic steel*.

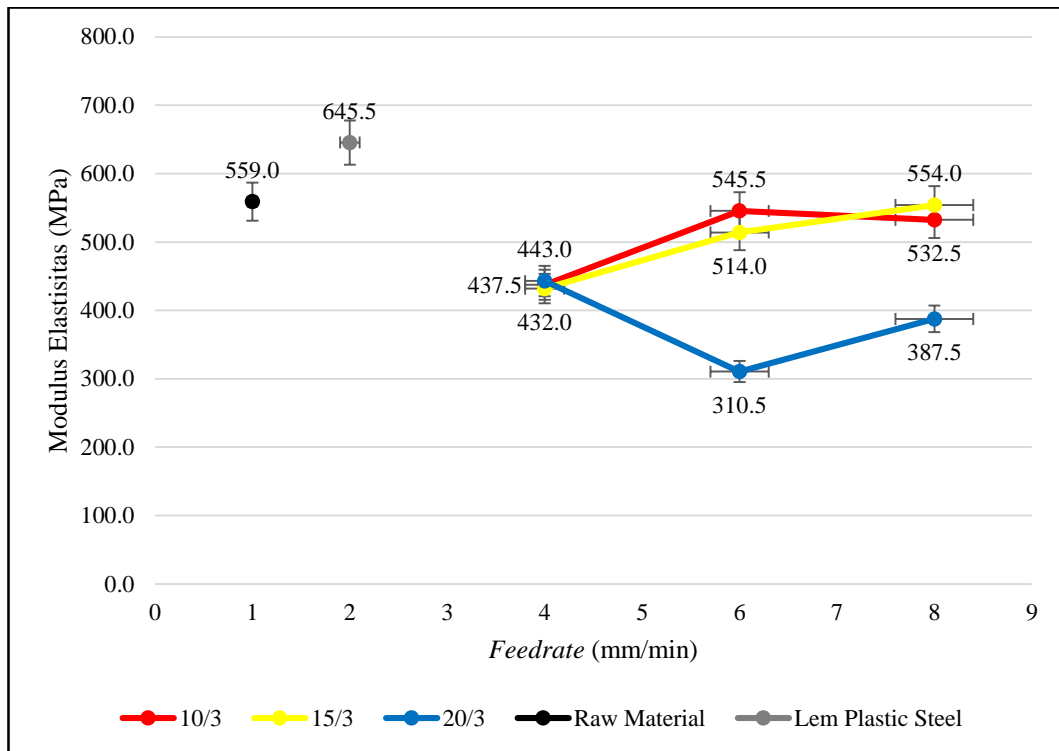
Tabel 4.3 menunjukkan hasil pengujian tarik terhadap regangan. Dapat dilihat bahwa tiap spesimen memiliki selisih regangan yang berbeda - beda. Selisih tertinggi didapat pada variasi rasio diameter *tool* dan *feedrate* 10/3 mm/mm & 6 mm/menit yaitu dengan nilai standar deviasi sebesar 3,50 MPa. Selisih terendah

didapat pada variasi rasio diameter *tool* dan *feedrate* 15/3 mm/mm & 6 mm/menit yaitu dengan nilai standar deviasi sebesar 0,29 MPa.

Dari gambar 4.8 dapat diketahui regangan tertinggi didapat pada variasi rasio diameter *tool* dan *feedrate* 10/3 mm/mm & 6 mm/menit yaitu sebesar 15%, dan nilai regangan terendah didapat pada variasi 20/3 mm/mm & 4 mm/menit yaitu sebesar 3.10%. Regangan tertinggi terdapat pada variasi yang sama dengan variasi yang memiliki nilai kekuatan tarik yang tertinggi juga. Sementara nilai regangan terendah didapat pada variasi rasio diameter *tool* dan *feedrate* 20/3 mm/mm & 4 mm/menit. Berbeda dengan nilai regangan yang tertinggi, nilai regangan terendah justru didapat tidak sama dengan variasi yang memiliki nilai kekuatan tarik yang terendah yaitu pada variasi rasio diameter *tool* dan *feedrate* 20/3 mm/mm & 8 mm/menit. Hal ini terjadi karena nilai regangan berbanding terbalik dengan nilai kekuatan tarik. Semakin tinggi kekuatan tarik maka semakin rendah regangannya, dan jika semakin rendah kekuatannya maka semakin besar regangannya menurut (Sudrajat, 2012).

Tabel 4.4 Hasil pengujian tarik terhadap modulus elastisitas.

No.	Rasio diameter <i>tool</i> (mm/mm)	Rotasi (RPM)	<i>Feedrate</i> (mm/min)	Spesimen 1 (MPa)	Spesimen 2 (MPa)	Rata - rata (MPa) ±SD	Daerah putus
1	10/3	5800	4	421	454	437.5 ±23.33	<i>Retreating side</i>
2			6	557	534	545.5 ±16.26	<i>Retreating side</i>
3			8	507	558	532.5 ±36.06	<i>Retreating side</i>
4	15/3		4	363	501	432 ±97.58	<i>Retreating side</i>
5			6	562	466	514 ±67.88	<i>Retreating side</i>
6			8	532	576	554 ±31.11	<i>Retreating side</i>
7	20/3		4	420	466	443 ±32.53	<i>Retreating side</i>
8			6	257	364	310.5 ±75.66	<i>Retreating side</i>
9			8	362	413	387.5 ±36.06	<i>Retreating side</i>
10	<i>Raw Material</i>			601	517	559 ±59.40	Tengah spesimen
11	<i>Lem Plastic Steel</i>			555	736	645.5 ±127.99	Sambungan lem



Gambar 4.9 Grafik nilai modulus elastisitas rata - rata pada hasil pengujian tarik dengan variasi rasio diameter *tool* dan *feedrate*, *raw material* dan sambungan lem *plastic steel*.

Dari tabel 4.4 diketahui bahwa nilai modulus elastisitas pada tiap spesimen pengujian memiliki selisih yang berbeda - beda. Selisih tertinggi terdapat pada variasi sambungan lem *plastic steel* yaitu dengan standar deviasi sebesar 127,99 MPa. Sedangkan pada sambungan FSW selisih tertinggi terdapat pada variasi rasio diameter *tool* 15/3 mm/mm dengan *feedrate* 4 mm/menit. Selisih terendah terdapat pada variasi rasio diameter *tool* 10/3 mm/mm dengan *feedrate* 6 mm/menit yaitu dengan nilai standar deviasi 16,26 MPa.

Pada gambar 4.9 dapat diketahui nilai rata - rata modulus elastisitas tertinggi terdapat pada variasi lem *plastic steel* yaitu sebesar 645,5 MPa. Sedangkan pada sambungan FSW nilai modulus elastisitas tertinggi terdapat pada variasi rasio diameter *tool* 15/3 mm/mm dengan *feedrate* 8 mm/menit yaitu sebesar 554 MPa. Untuk nilai modulus elastisitas terendah terdapat pada variasi rasio diameter *tool* 20/3 mm/mm dengan *feedrate* 6 mm/menit yaitu sebesar 310,5 MPa.

Hal ini dikarenakan semakin besar nilai modulus elastisitas maka semakin besar pula tegangan yang diperlukan untuk regangan tertentu, begitupun sebaliknya.

Tabel 4.5 Perbandingan hasil tegangan dan regangan pada penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang.

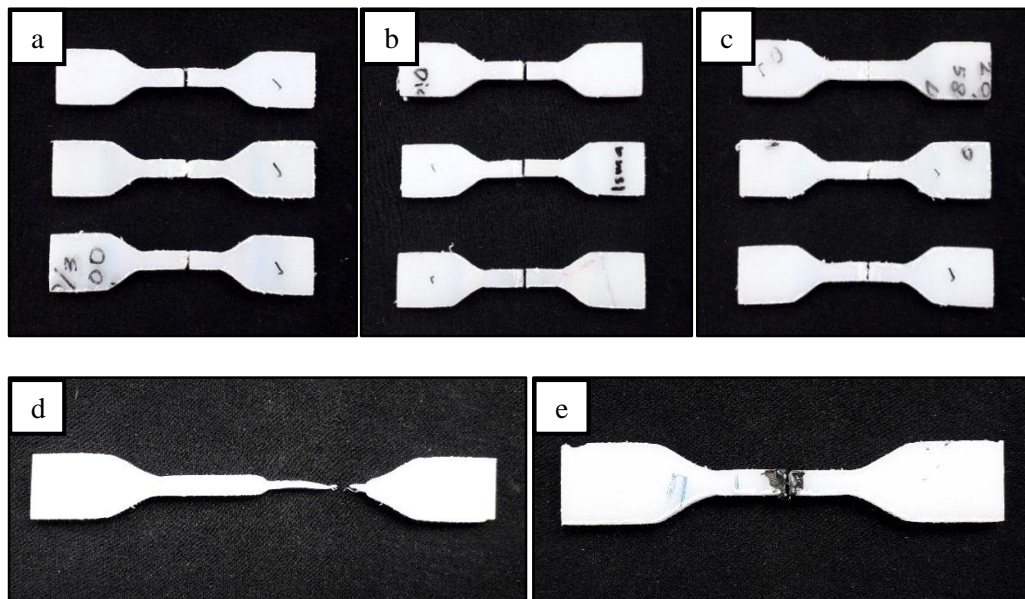
Penelitian Terdahulu (Ethiraj, 2017)			Penelitian Sekarang			
Material <i>Nylon 6</i> ketebalan 6 mm			Material <i>Nylon 6</i> ketebalan 4 mm			
<i>Feedrate</i> (mm/menit)	Tegangan (Mpa)	Regangan (%)	Rasio diameter <i>tool</i> (mm/mm)	<i>Feedrate</i> (mm/menit)	Tegangan (Mpa)	Regangan (%)
18	6	3.2	10/3	4	8.66	3.90
				6	19	15.0
				8	17.2	12.0
21	4.3	2	15/3	4	10.2	5.2
				6	9.83	3.90
24	6	3.7	15/3	8	15.2	7.9
				4	7.64	3.10
27	2.5	2.1	20/3	6	5.75	4.20
				8	5.6	4.3
30	7.2	5.4	<i>Lem Plastic Steel</i>		3.58	0.59
<i>Raw Material</i>	55.7	19.3	<i>Raw Material</i>		21.3	25.0
Rotasi 1000 RPM			Rotasi 5800 RPM			
<i>Tool</i> bentuk <i>cylindrical with threaded pin</i> D/d = 16/ 8 mm/mm			<i>Tool</i> bentuk <i>cylindrical</i>			

Tabel 4.5 menunjukkan perbandingan hasil pengujian tarik penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh (Ethiraj, 2017) dengan penelitian sekarang. Dapat dilihat bahwa nilai sifat tarik pada penelitian sekarang cenderung lebih tinggi dari pada penelitian terdahulu. Nilai tegangan tertinggi pada penelitian sekarang sebesar 19 Mpa sedangkan nilai tegangan tertinggi pada penelitian terdahulu sebesar 7,2 MPa. Nilai regangan tertinggi pada penelitian sekarang sebesar 15% sedangkan pada penelitian terdahulu nilai regangannya hanya sebesar 5,4 %. Hal ini disebabkan karena pengaruh variasi parameter yang berbeda, rotasi *tool* yang lebih tinggi pada penelitian sekarang yang sebesar 5800 RPM lebih optimal dalam melelehkan material karena panas yang terjadi lebih tinggi dari pada rotasi *tool*

pada penelitian terdahulu yang sebesar 1000 RPM. *Feedrate* juga mempengaruhi nilai sifat tariknya karena dengan *feedrate* yang lebih rendah pada penelitian sekarang yaitu 4, 6, dan 8 mm/menit dapat mendistribusikan partikel di zona las menjadi lebih merata dibandingkan *feedrate* pada penelitian terdahulu yaitu sebesar 18, 21, 24, 27 dan 30 mm/menit.

4.5 Fraktografi

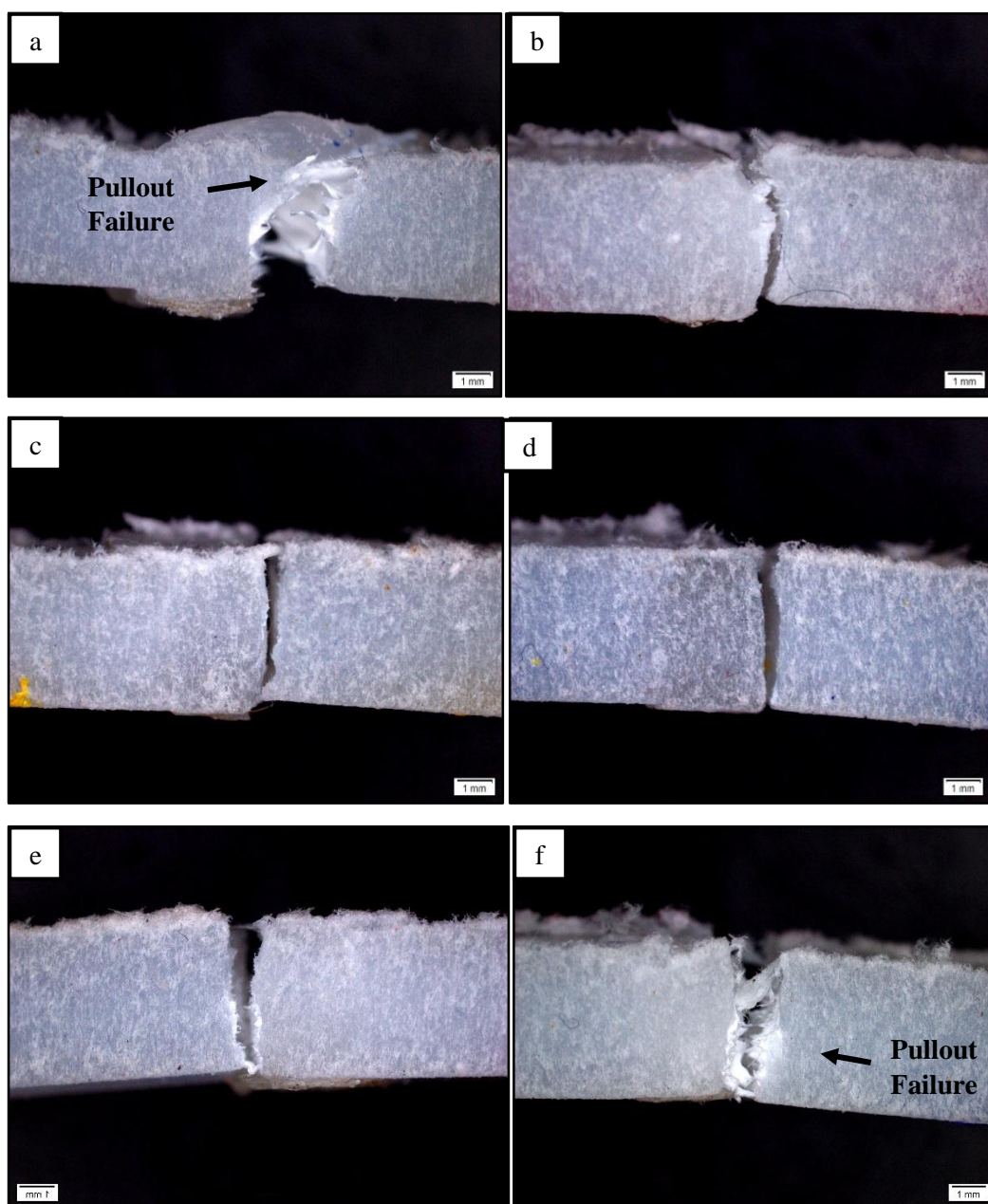
Fraktografi merupakan gambar patahan benda uji setelah proses pengujian tarik. Hasil gambar fraktografi bisa dilihat pada gambar 4.10 a, b, c, d, dan e dimana dapat diketahui bahwa beberapa spesimen dapat terputus dengan baik namun pada beberapa spesimen juga terdapat patahan yang tidak sempurna.

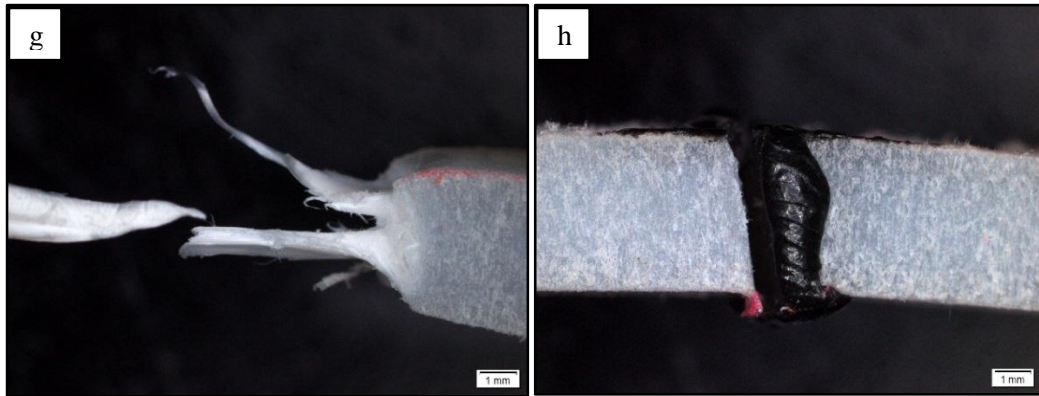


Gambar 4.10 Spesimen setelah pengujian tarik dengan variasi rasio diameter *tool* a. 10/3 mm/mm, b. 15/3 mm/mm, c. 20/3 mm/mm, d. *raw material*, e. lem *plastic steel*.

Pada gambar 4.11 dapat dilihat hasil gambar patahan yang terjadi. Variasi sambungan FSW yang ditunjukkan gambar 4.11 a. 10/3 mm/mm & 6 mm/min dan f. 20/3 mm/mm & 8 mm/min patahan tidak terputus dengan sempurna. Hal ini disebabkan karena terjadinya lelehan material yang berlebih pada zona las (*flash*) sehingga menyebabkan spesimen tidak terputus dengan sempurna atau biasa

disebut *pullout failure*. Sedangkan pada sambungan *raw material* yang ditunjukkan gambar g. terjadi penguluran material yang cukup panjang, dan pada sambungan lem *plastic steel* yang ditunjukkan gambar h. material terputus dengan sempurna. Hal ini sesuai dengan kurva beban elongasi pada gambar 4.6 dimana regangan pada spesimen *raw material* terlihat cenderung besar dan pada sambungan lem *plastic steel* regangannya terlihat kecil.





Gambar 4.11 Patahan spesimen pengujian tarik dengan variasi a. 10/3 mm/mm & 6 mm/min, b. 10/3 mm/mm & 4 mm/min, c. 15/3 mm/mm & 8 mm/min, d. 15/3 mm/mm & 6 mm/min, e. 20/3 mm/mm & 4 mm/min, f. 20/3 mm/mm & 8 mm/min, g. *raw material*, dan h. sambungan lem *plastic steel*.