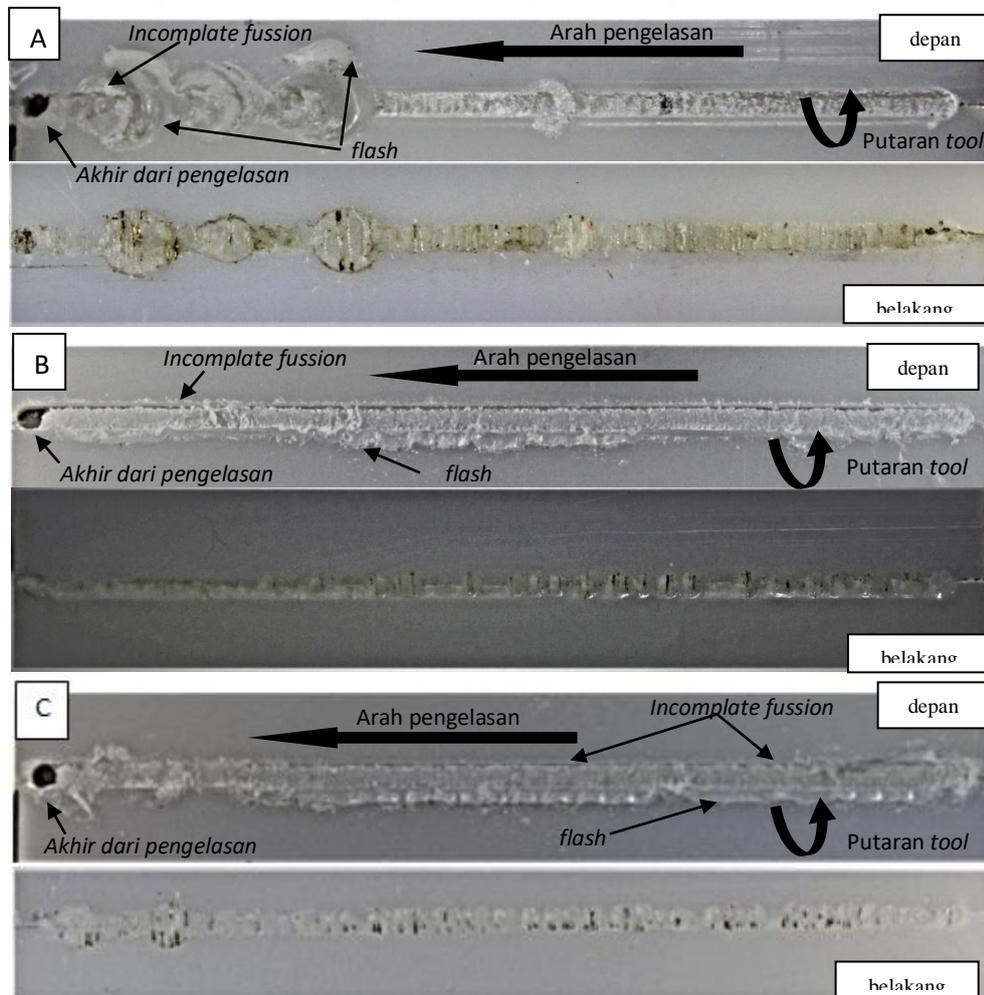


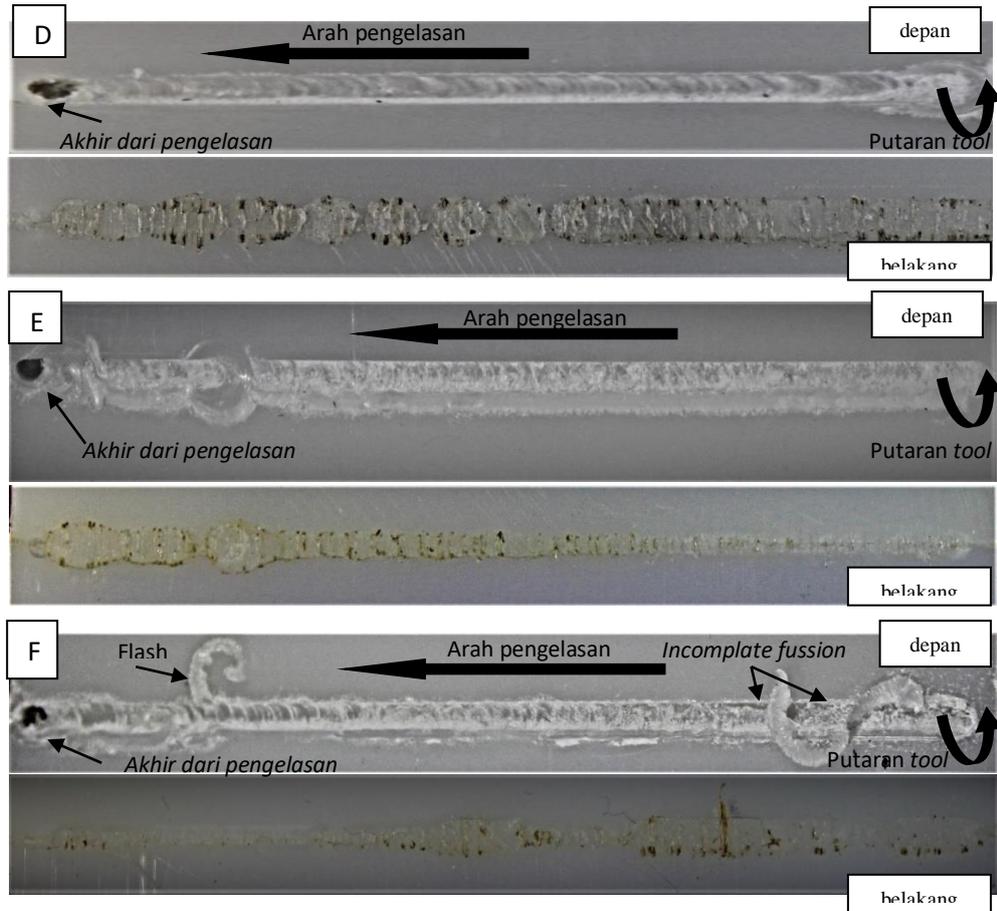
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

1.1 Hasil Pengelasan

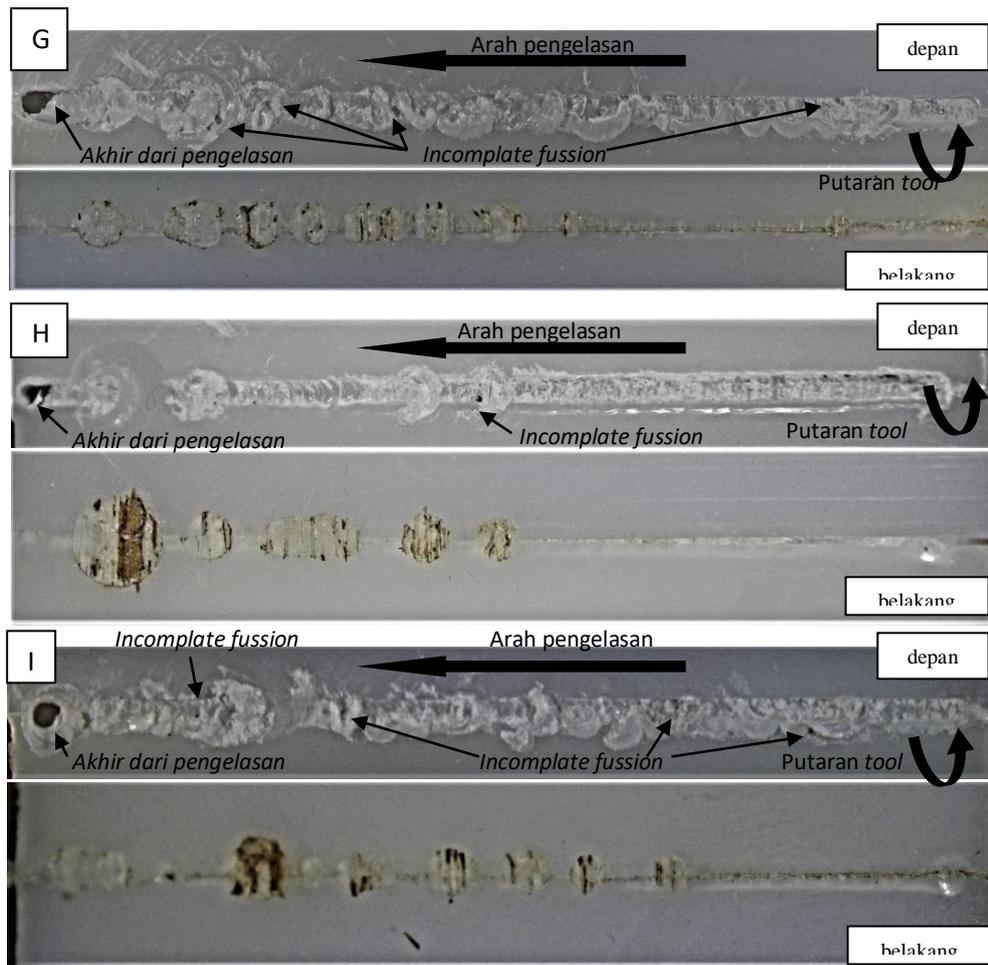
Hasil pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) pada material *Nylon 6* dengan ketebalan 4 mm dapat dilihat pada **Gambar 4.1, 4.2, dan 4.3**. Pengelasan dilakukan dengan menggunakan paduan antara variasi rasio diameter *tool* dan kecepatan putar *tool*, dimana rasio diameter *tool* yang digunakan memiliki dimensi 10/3, 15/3, 20/3, panjang pin 3,8 mm dan bentuk *pin tool cylindrical* dengan kecepatan putar *tool* 5800 rpm, 6000 rpm, 6200 rpm. Hasil sambungan lem dapat dilihat pada **Gambar 4.4**.



Gambar 4.1 Hasil Pengelasan Dengan Parameter Rasio Diameter *Tool* 10/3 dan Kecepatan Putar *Tool* A. 5800 rpm, B. 6000 rpm, C.6200 rpm (atas tampak depan dan bawah tampak belakang).



Gambar 4.2 Hasil Pengelasan Dengan Parameter Rasio Diameter *Tool* 15/3 dan Kecepatan Putar *Tool* D.5800 rpm, E.6000 rpm, F.6200 rpm (atas tampak depan dan bawah tampak belakang).



Gambar 4.3 Hasil Pengelasan Dengan Parameter Rasio Diameter *Tool* 20/3 dan Kecepatan Putar *Tool* G. 5800 rpm, H.6000 rpm, I.6200 rpm (atas tampak depan dan bawah tampak belakang).

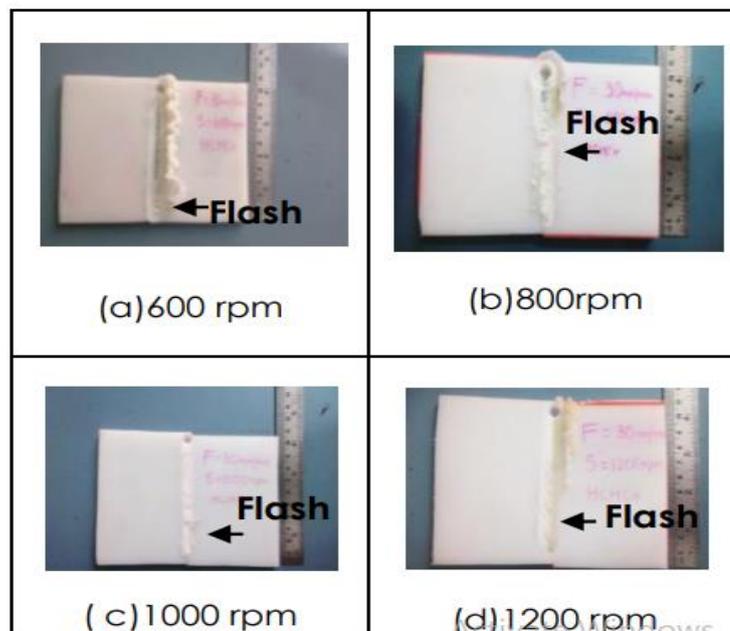


Gambar 4.4 Hasil Sambungan Lem *Plastic Steel Epoxy*.

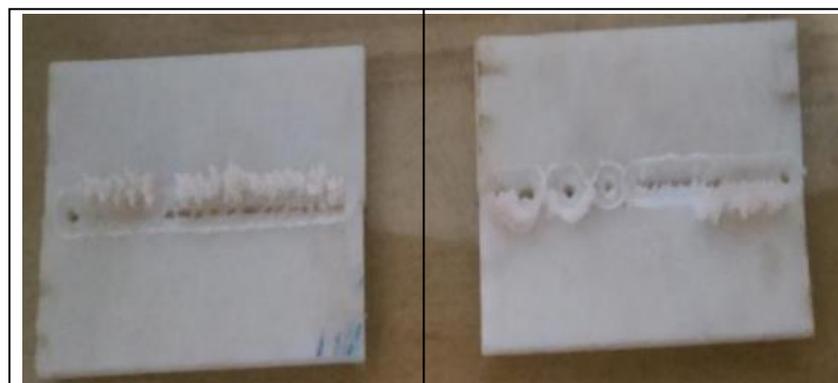
Pada rasio diameter *tool* 10/3 yang ditunjukkan pada **Gambar 4.1**, pengelasan yang dihasilkan dari setiap parameter kecepatan putar *tool* masih terdapat adanya cacat *incomplete fussion* pada permukaan hasil pengelasan, hal ini disebabkan karena *shoulder* pada *pin tool* memiliki luas penampang

yang kecil sehingga saat terjadinya gesekan antara permukaan *shoulder* dengan permukaan material distribusi panas yang dihasilkan cenderung kecil, maka pengelasan yang dihasilkan masih kurang efisien pada setiap parameter kecepatan putar *tool*. Pada rasio diameter *tool* 15/3 yang ditunjukkan pada **Gambar 4.2**, pada setiap parameter kecepatan putar *tool* menghasilkan hasil pengelasan yang efisien, pada permukaan depan maupun belakang tidak terlihat adanya cacat dan pola pengelasan disepanjang lintasannya *continue*. Hal ini disebabkan karena pada rasio diameter *tool* 15/3 *heat input* yang dihasilkan optimal serta pengendalian panas yang baik sehingga proses pengadukan lelehan dapat terdistribusikan secara merata, hal tersebut dapat dilihat pada pola pengelasan maupun cacat yang dihasilkan dimana cacat yang dihasilkan cenderung sedikit dibandingkan pada variasi rasio diameter *tool* 10/3, dan 20/3. Pada rasio diameter *tool* 20/3 yang dapat dilihat pada **Gambar 4.3**, hasil pengelasan cenderung tidak teratur pada pola pengelasan sehingga menghasilkan cacat yang berupa celah kecil atau biasa disebut cacat *incomplete fusion* di bagian permukaan hasil pengelasan, hal ini disebabkan karena luas permukaan *shoulder* yang terlalu besar sehingga saat terjadi gesekan dan penekanan terhadap permukaan benda kerja *heat input* yang dihasilkan terlalu besar dan mengakibatkan lelehan yang terjadi tidak teratur dan sulit untuk dikendalikan. Jika dibandingkan dengan hasil pengelasan dari penelitian sebelumnya Ethiraj, dkk. (2017) pada optimasi pengaruh parameter kecepatan putar *tool* 600, 800, 1000, dan 1200 rpm dengan *feed rate* 30 mm/min dan bentuk pin berulir yang dapat dilihat pada **Gambar 4.5**, hasil pengelasan dari penelitian ini juga beragam, pada kecepatan putar *tool* terendah yaitu 600 rpm menghasilkan pengelasan yang belum optimal atau masih terdapat indikasi cacat *crack* maupun cacat *incomplete fusion* dan hasil pengelasan yang efisien dari penelitian sebelumnya diperoleh pada kecepatan putar *tool* tertinggi yaitu 1200 rpm. Pengoptimalan terhadap kecepatan putar *tool*, rasio diameter *tool* dan *feed rate* sangat penting untuk menghasilkan pengelasan yang baik, pengoptimalan parameter tersebut

berfungsi untuk mendapatkan *heat input* yang optimal serta pengendalian adukan terhadap butiran lelehan dapat berjalan dengan baik pada metode pengelasan FSW. Hasil pengelasan dari Jaiganesh, dkk. (2014) juga dapat dilihat pada **Gambar 4.6** hasil sambungan FSW dari penelitian Jaiganesh dkk juga belum optimal, masih banyak indikasi cacat dan pola pengadukan yang tidak merata dan tergolong hasil dari pengelasan kurang efisien, apabila dibandingkan dengan hasil pengelasan yang dilakukan penelitian sekarang pada variasi rasio diameter *tool* 15/3 hasil pengelasan dari penelitian sekarang lebih baik karena indikasi cacat yang sedikit dan pada pola pengelasannya merata.



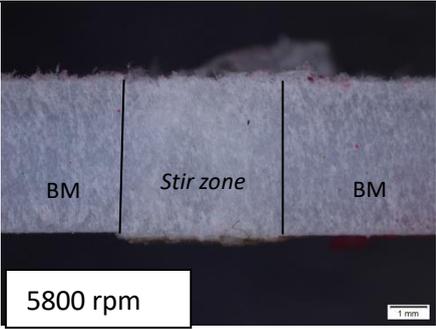
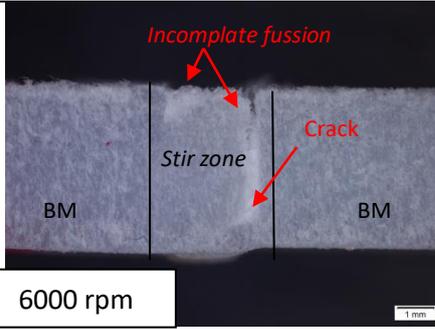
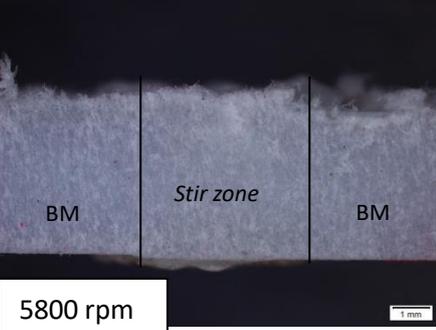
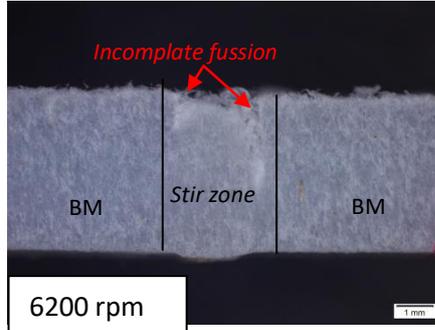
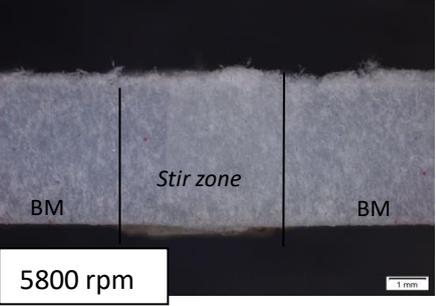
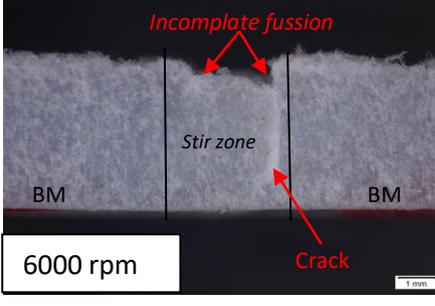
Gambar 4.5 Hasil Pengelasan Peneliti Sebelumnya (Ethiraj, dkk. 2017)



Gambar 4.6 Hasil Pengelasan Peneliti Sebelumnya (Jaiganesh, dkk. 2014)

1.2 Hasil foto Makro

Pengujian makro ini dilakukan untuk mengetahui hasil pengelasan dari segi bentuk maupun sifat mekaniknya yang terdiri dari daerah *advancing side*, *stir zone*, dan *retreating side* pada hasil pengelasan FSW dengan material *Nylon 6*. Adapun hasil dari pengamatan makro dapat dilihat pada **Gambar 4.7**. Pengamatan makro ini dilakukan pada spesimen yang memiliki kekuatan tarik tertinggi dan terendah pada setiap variasi rasio diameter *tool*.

rasio diameter <i>tool</i>	Sambungan pengelasan dengan nilai kekuatan tarik tertinggi			Sambungan pengelasan dengan nilai kekuatan tarik terendah		
	Advancing	Stir zone	Retreating	Advancing	Stir zone	Retreating
10/3	 <p>5800 rpm</p>			 <p>6000 rpm</p>		
15/3	 <p>5800 rpm</p>			 <p>6200 rpm</p>		
20/3	 <p>5800 rpm</p>			 <p>6000 rpm</p>		

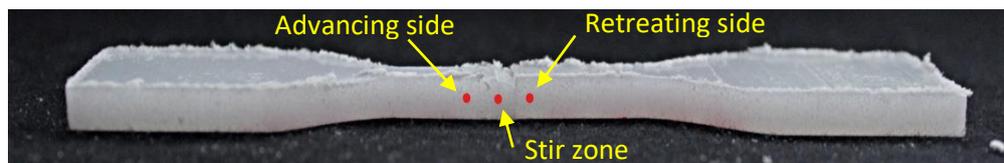
Gambar 4.7 Hasil Pengamatan Makro Pada Sambungan dengan Hasil Kekuatan Tarik Tertinggi dan Terendah

Dari foto makro yang telah dilakukan dapat dianalisa bahwa pada spesimen yang memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi dari ketiga variasi rasio diameter *tool* yang terdapat pada parameter kecepatan putar *tool* 5800 rpm, menunjukkan bahwa pada parameter tersebut tidak terdapat adanya indikasi cacat pada daerah *advancing side*, *stir zone* ataupun pada daerah *retreating side*, hal ini menggambarkan bahwa proses pengelasan dengan parameter tersebut berjalan dengan baik dan pada parameter tersebut menunjukkan bahwa pengendalian panas serta pengadukan terhadap butiran lelehan material optimal dan terdistribusi secara merata, hal itu juga dapat dilihat bahwa pola butiran pada hasil pengelasan dari parameter ini cenderung menyerupai pola butiran dari *base material* pada daerah *advancing side*, *stir zone* ataupun pada daerah *retreating side*. Pada spesimen yang memiliki nilai kekuatan tarik terendah dari parameter kecepatan putar *tool* 6000 rpm di setiap variasi rasio diameter *tool* cacat yang terjadi cenderung pada daerah *interface* antara *stir zone* dengan daerah *retreating side*, terdapat adanya cacat *incomplete fusion* dan cacat *crack* pada daerah tersebut. Cacat *incomplete fusion* dapat terjadi akibat *heat input* yang dihasilkan dari gesekan putar *tool* dengan benda kerja terlalu besar atau terlalu kecil. Apabila *heat input* yang dihasilkan terlalu besar maka saat proses pengendalian panas tidak dapat berjalan dengan baik dan menyebabkan pembentukan cacat *incomplete fusion*, apabila *heat input* yang dihasilkan terlalu kecil dapat menyebabkan material tidak dapat meleleh secara merata, sehingga saat proses pengadukan terdapat butiran lelehan yang telah mengeras kembali dan tidak dapat menyatu secara sempurna dengan butiran lelehan yang lainnya, hal tersebut juga dapat memicu adanya indikasi cacat *crack*. Pada spesimen dengan variasi rasio diameter *tool* 15/3 dan parameter kecepatan putar *tool* 6200 rpm hasil foto makro menunjukkan bahwa masih terdapat cacat *incomplete fusion*, hal ini dapat terjadi karena pada kecepatan putar *tool* tersebut terlalu tinggi maka dapat menyebabkan *heat input* yang dihasilkan cenderung tinggi sehingga pengendalian lelehan tidak dapat terdistribusi secara merata, dan

menyebabkan adanya pembentukan cacat *incomplete fusion* pada permukaan hasil dari pengelasan. Pada proses pengelasan FSW ini pengendalian panas atau pengoptimalan parameter sangat berpengaruh penting terhadap hasil pengelasan. Dari beberapa spesimen yang telah di uji makro hasil pengelasan yang baik terdapat pada parameter kecepatan putar *tool* 5800 rpm dari ketiga variasi rasio diameter *tool* dimana pada parameter tersebut menghasilkan hasil pengelasan yang baik dan tidak terdeteksi adanya indikasi cacat seperti pada parameter kecepatan putar *tool* dan variasi rasio diameter *tool* yang lainnya.

1.3 Hasil Pengujian Kekerasan

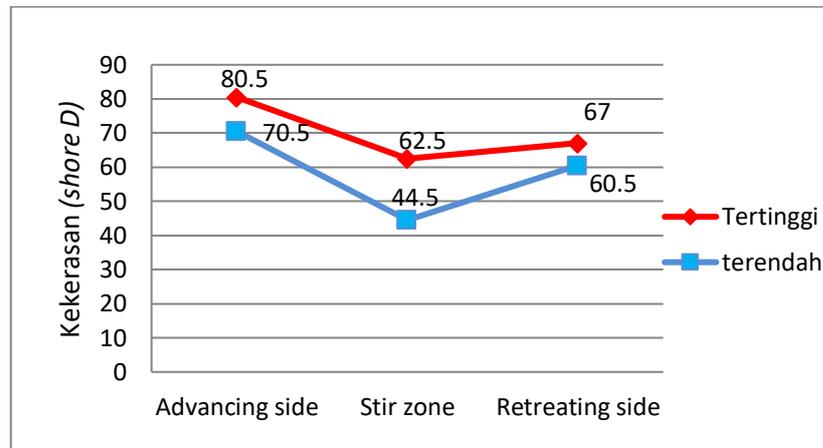
Pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen yang memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu pada variasi rasio diameter *tool* 15/3, parameter kecepatan putar *tool* 5800 rpm, dengan *feed rate* 4 mm/min, dan pengujian kekerasan ini juga dilakukan pada spesimen yang memiliki nilai kekuatan tarik terendah yaitu pada variasi rasio diameter *tool* 20/3, parameter kecepatan putar *tool* 6000 rpm, dengan *feed rate* 4 mm/min. Pengujian dilakukan dengan skema yang telah ditentukan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.8**



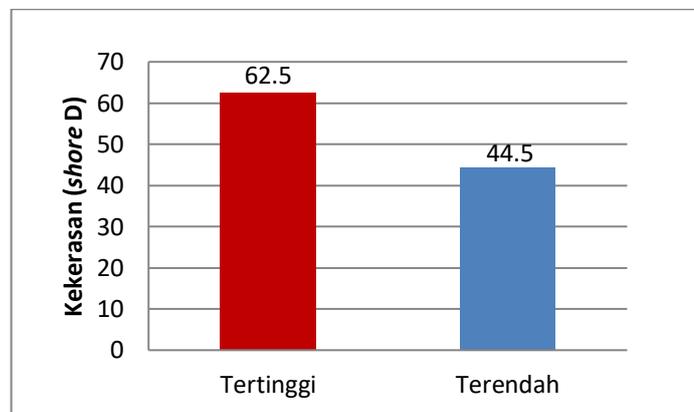
Gambar 4.8 Skema Hasil Uji Kekerasan

Tabel 4.1 Hasil Uji kekerasan

No	Posisi titik uji (mm)	Nilai Kekerasan (<i>shore D</i>)	
		Tertinggi	terendah
1	3	80,5	70,5
2	0	62,5	44,5
3	-3	67	60,5



Gambar 4.9 Grafik Distribusi Nilai Kekerasan pada Setiap Titik



Gambar 4.10 Grafik Nilai Kekerasan dari Spesimen yang Memiliki Nilai Kekuatan Tarik Tertinggi dan Terendah

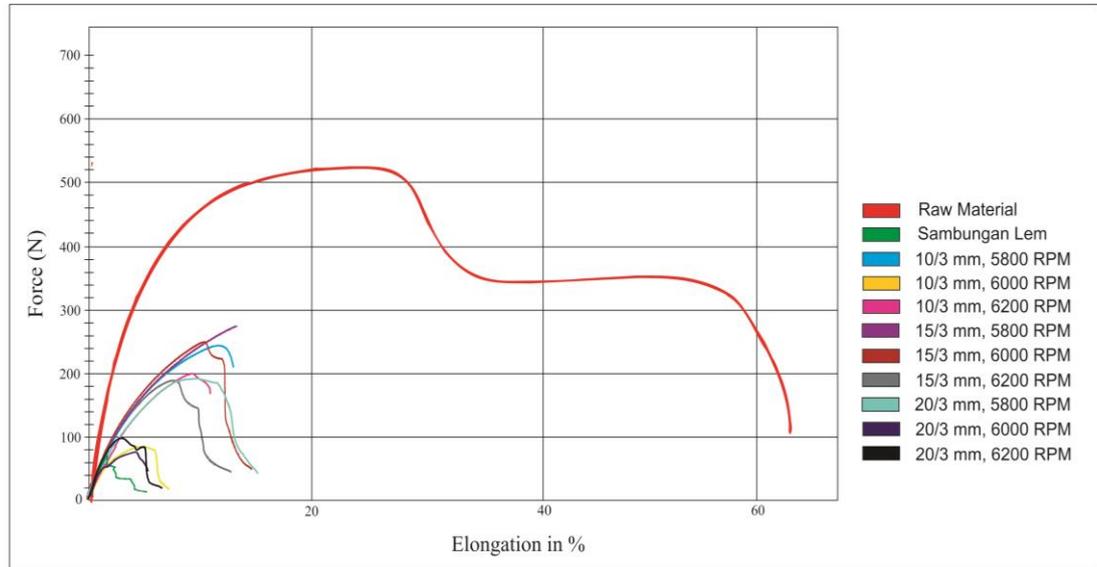
Dari hasil uji kekerasan dapat dilakukan pengamatan bahwa nilai kekerasan dari spesimen yang memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi, tingkat kekeerasan yang dimiliki cenderung lebih tinggi yaitu sebesar 62,5 *shore D*, dibandingkan dengan spesimen yang memiliki nilai kekuatan tarik terendah yang tingkat kekerasannya cenderung rendah, hanya sebesar 44,5 *Shore D*. Hal ini dapat terjadi karena pada spesimen yang memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu pada variasi rasio diameter *tool* 15/3 dengan parameter kecepatan putar *tool* 5800 rpm, jika dilihat pada foto makro struktur butiran lelehan material dari proses pengelasan tersebut cenderung terdistribusi secara merata pada daerah *stir zone* dan bentuk butiran lelehan hampir menyerupai *base material*, maka dari itu nilai kekerasan yang dimiliki parameter ini cenderung tinggi. Peningkatan nilai kekerasan pada

spesimen yang memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi ini terjadi pada daerah *advancing side* yaitu sebesar 80,5 *shore D*, hal ini dapat terjadi karena adanya proses pemindahan butiran lelehan dari daerah *retreating side* ke daerah *advancing side* pada saat proses pengadukan yang menyebabkan penumpukan serta pemadatan butiran lelehan pada daerah *advancing side* sehingga tingkat kekerasan yang dihasilkan meningkat. Pada spesimen yang memiliki nilai kekuatan tarik terendah yaitu dari variasi rasio diameter *tool* 20/3 dengan kecepatan putar *tool* 6000 rpm tingkat kekerasannya cenderung kecil, hal ini dapat disebabkan karena jika dilihat dari foto makro pada daerah *stir zone*, dan daerah *interface* antara *retreating side* dengan *stir zone* butiran lelehan material tidak dapat menyatu sepenuhnya sehingga pada daerah tersebut tidak terjadi pemadatan butiran lelehan yang menyebabkan tingkat kekerasan dari spesimen ini rendah, hal itu juga ditandai adanya cacat *incomplete fusion* ataupun cacat *crack* yang terbentuk karena sebagian besar butiran lelehan tidak dapat dikendalikan hingga banyak butiran lelehan yang terbuang serta sebagian besar butiran tidak dapat menyatu secara sempurna dan hal itu sangat mempengaruhi tingkat kekerasan. Peningkatan nilai kekerasan dari spesimen yang memiliki kekuatan tarik terendah ini juga terjadi pada daerah *advancing side* sebesar 70,5 *shore D* akan tetapi tingkat kekerasannya masih dibawah tingkat kekerasan dari spesimen yang memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi yang mencapai 80,5 *shore D*, hal itu dapat terjadi karena pada spesimen yang memiliki nilai kekuatan tarik terendah *head input* yang dihasilkan terlalu besar sehingga proses pengendalian lelehan tidak teratur yang menyebabkan tingkat kekerasannya rendah.

1.4 Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan pada setiap spesimen hasil pengelasan dengan menggunakan standart ASTM D638 *type-4*. Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik ini adalah nilai tegangan, regangan, dan modulus elastisitas dari spesimen uji sambungan pengelasan FSW dan hasilnya akan

dibandingkan dengan nilai kekuatan tarik dari spesimen hasil sambungan lem *plastic steel epoxy* serta *raw material* dari spesimen itu sendiri dan dari penelitian sebelumnya.



Gambar 4.11 Kurva beban elongation terhadap hasil pengujian tarik

Pada kurva beban elongation terhadap hasil pengujian tarik yang telah di lakukan pada *raw material*, sambungan lem *plastic steel* dan sambungan FSW. Dari kurva beban elongation ini dapat dilakukan pengamatan terhadap sifat tarik pada spesimen uji, meliputi nilai kekuatan tarik, regangan, dan modulus elastisitas. Pada *raw material* yang ditunjukkan oleh kurva berwarna merah, *raw material* tidak mendapatkan perlakuan apapun sehingga nilai kekuatan tarik dan nilai regangan yang dihasilkan cenderung tinggi. Pada sambungan lem *plastic steel epoxy* yang ditunjukkan kurva warna hijau, kekuatan tarik dan nilai regangannya cenderung kecil dibandingkan dengan *raw material* ataupun hasil sambungan FSW. Pada material dengan sambungan FSW didapatkan nilai kekuatan tarik tertinggi dan cenderung mendekati nilai dari *raw material* yaitu pada variasi rasio diameter *tool* 15/3, kecepatan putar *tool* 5800 rpm, dan *feed rate* 4 mm/min yang ditunjukkan grafik kurva berwarna ungu, akan tetapi pada sebagian besar

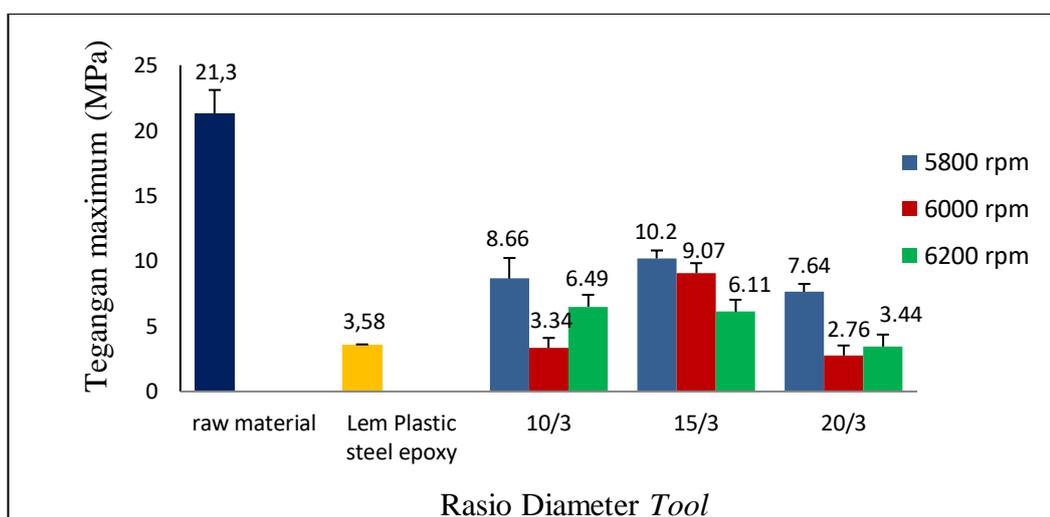
variasi dan parameter hasil pengelasan FSW nilai regangan yang dihasilkan cenderung rendah. Rendahnya nilai tegangan dan regangan disebabkan karena pada proses pengelasan terdapat butiran lelehan material yang terbuang ataupun tidak dapat menyatu dengan baik, sehingga tidak adanya pemadatan butiran lelehan secara merata dan menyebabkan turunnya tingkat keuletan.

Dari grafik beban elongation menunjukkan adanya pengelompokan kurva dari hasil pengelasan, kelompok kurva tertinggi terdapat pada parameter kecepatan putar *tool* 5800 rpm dari variasi rasio diameter *tool* 10/3 dan 15/3, serta pada kecepatan putar *tool* 6000 rpm dari variasi rasio diameter *tool* 15/3, yang ditunjukkan kurva berwarna ungu, biru, dan merah tua. Dari kurva ini menunjukkan bahwa pada hasil pengelasan FSW dengan parameter dan variasi tersebut menghasilkan nilai tegangan, dan regangan yang tinggi di bandingkan dengan hasil pengelasan dari parameter dan variasi lainnya. Kelompok kurva terendah ditunjukkan pada parameter kecepatan putar 6000 rpm dari variasi rasio diameter *tool* 10/3 dan 20/3, serta pada kecepatan putar *tool* 6200 rpm dari variasi rasio diameter *tool* 20/3 dan sambungan lem *plastic steel epoxy*, yang ditunjukkan kurva berwarna biru tua, kuning, hitam, dan hijau pada sambungan lem. Kelompok kurva terendah ini menunjukkan bahwa nilai regangan dan tegangan pada hasil pengelasan dari variasi dan parameter tersebut rendah, hal ini juga menunjukkan bahwa hasil pengelasan dari variasi dan parameter tersebut memiliki sifat *brittle* karena pada kurva menunjukkan adanya *streanght break* atau terjadinya patah setelah mengalami tegangan maksimum.

Tabel 4.2 Hasil pengujian tarik terhadap nilai kekuatan tarik

No.	Bentuk pin	D/d	n (rpm)	V (mm/min)	Max. Tensile Strength (MPa)			ket
					Spesimen 1	Spesimen 2	Rata-Rata	
1	Cylindrical	10/3	5800	4	7,54	9,77	8,66 ±1,57	r
2	Cylindrical		6000		3,09	3,59	3,34 ±0,352	r
3	Cylindrical		6200		5,45	7,54	6,49 ±1,48	r
4	Cylindrical	15/3	5800	4	10,6	9,77	10,2 ±0,606	r
5	Cylindrical		6000		10,2	7,95	9,07 ±1,59	r
6	Cylindrical		6200		5,59	6,64	6,11 ±0,742	r
7	Cylindrical	20/3	5800	4	8,06	7,22	7,64 ±0,599	r
8	Cylindrical		6000		2,52	2,9	2,76 ±0,347	r
9	Cylindrical		6200		3,06	3,81	3,44 ±0,532	r
10	Raw material	0	0	0	22,5	20	21,3 ±1,8	b
11	Lem plastic steel epoxy	0	0	0	3,6	3,56	3,58 ±0,028	s

- ∴ r = putus pada daerah *interface* antara daerah *retreating side* dengan *stir zone*,
- b = putus pada daerah *base material*, s = putus pada daerah sambungan



Gambar 4.12 Grafik hasil pengujian tarik terhadap nilai kekuatan tarik pada Sambungan FSW *Nylon 6* dengan variasi rasio diameter *tool*, kecepatan putar *tool*, dan penyambungan menggunakan lem *plastic steel epoxy*.

Dari grafik hasil pengujian tarik terhadap nilai kekuatan tarik yang ditunjukkan pada **Gambar 4.12** dapat di analisa bahwa nilai kekuatan tarik dari hasil pengelasan FSW pada parameter kecepatan putar *tool* 5800 rpm di setiap variasi rasio diameter *tool* kekuatan tarik yang dihasilkan cenderung tinggi dibandingkan dengan parameter kecepatan putar *tool* 6000, dan 6200 rpm dan jika dibandingkan dengan kekuatan tarik pada sambungan lem

plastic steel epoxy yang hanya sebesar 3,58 MPa, nilai kekuatan tarik dari hasil pengelasan FSW dengan parameter kecepatan putar *tool* 5800 rpm dari setiap variasi rasio diameter *tool* ini cenderung lebih tinggi, hal ini disebabkan karena pada hasil pengelasan FSW dengan parameter kecepatan putar *tool* 5800 rpm merupakan parameter yang sesuai untuk menghasilkan *heat input* yang optimal dari penelitian ini. Nilai kekuatan tarik tertinggi dari hasil pengelasan FSW diperoleh pada variasi rasio diameter *tool* 15/3 dengan parameter kecepatan putar *tool* 5800 rpm sebesar 10,2 MPa, akan tetapi nilai tersebut masih dibawah nilai kekuatan tarik dari *raw material* dimana kekuatan tarik *raw material* sebesar 21,3 MPa. Jika dibandingkan dengan peneliti sebelumnya Ethiraj, dkk. (2017) nilai kekuatan tarik tertinggi dari hasil pengelasan FSW penelitian sebelumnya hanya sebesar 10 MPa nilai itu di dapat dari optimasi parameter kecepatan putar *tool* 1200 rpm, *feed rate* 30 mm/min dengan bentuk pin *tool* berulir, hal itu menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik tertinggi dari hasil pengelasan FSW penelitian sebelumnya masih lebih kecil dibanding penelitian sekarang, dimana penelitian sekarang memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 10,2 MPa. Adapun hasil perbandingan secara *detail* dari penelitian sekarang dan sebelumnya dapat dilihat pada **Tabel 4.3**. Tingginya nilai kekuatan tarik pada pengelasan FSW ini terpacu oleh pengoptimalan parameter-parameter yang digunakan pada saat proses pengelasan. Dilihat pada penelitian sekarang dari hasil foto makro, semakin tinggi kecepatan putar *tool* akan menghasilkan *heat input* yang semakin besar, hal ini menyebabkan butiran lelehan material sulit untuk dikendalikan dan menyebabkan butiran lelehan terbuang dan tidak dapat menyatu secara sempurna, sehingga terjadi pembentukan cacat *crack* ataupun cacat *incomplete fussion* yang menyebabkan hasil pengelasannya tidak efisien dan nilai kekuatan tarik yang dihasilkan rendah. Pengoptimalan parameter sangat penting dalam pengelasan FSW untuk mendapatkan sambungan yang efisien dan kekuatan mekanik yang tinggi untuk itu diperlukan ketepatan, dan kecermatan dalam

pemakaian parameter pada metode pengelasan FSW. Adapun gambar patahan dari hasil uji tarik dapat dilihat pada **Gambar 4.15**

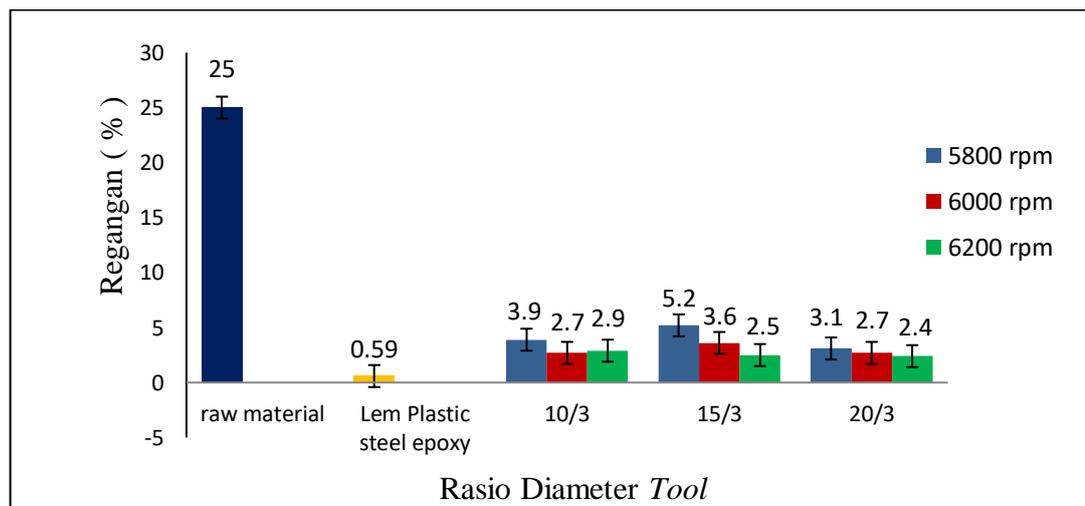
Tabel 4.3 Perbandingan antara penelitian sekarang dan penelitian sebelumnya

Penelitian Sekarang				Penelitian Sebelumnya (Ethiraj, dkk. 2017)			
Bahan Nylon tebal 4 mm				Bahan Nylon tebal 6 mm			
Bentuk pin	D/d	Putaran tool (rpm)	tegangan (MPa)	Bentuk pin	D/d	Putaran tool (rpm)	tegangan (MPa)
<i>Raw material</i>	0	0	21,3	<i>Raw material</i>	0	0	38
Lem plastic steel	0	0	3,58	Berulir	16/8	600	7
Cylindrical	10/3	5800	8,66			800	4
		6000	3,34				
		6200	6,49				
	15/3	5800	10,2			1000	4
		6000	9,07				
		6200	6,11				
	20/3	5800	7,64			1200	10
		6000	2,76				
		6200	3,44				
<i>Feed rate 4 (mm/min)</i>				<i>Feed rate 30 (mm/min)</i>			

Tabel 4.4 Hasil pengujian tarik terhadap nilai regangan

No.	Bentuk pin	D/d	n (rpm)	V (mm/min)	Nilai Regangan (%)			Ket
					Spesimen 1	Spesimen 2	Rata-Rata (%) \pm SD	
1	Cylindrical	10/3	5800	4	3	4,8	3,9 \pm 1,2	r
2	Cylindrical		6000		2,4	3	2,7 \pm 0,4	r
3	Cylindrical		6200		2,8	3	2,9 \pm 0,11	r
4	Cylindrical	15/3	5800	4	5,5	4,9	5,2 \pm 0,42	r
5	Cylindrical		6000		4,4	2,9	3,6 \pm 1,1	r
6	Cylindrical		6200		2,4	2,6	2,5 \pm 0,11	r
7	Cylindrical	20/3	5800	4	3,4	2,8	3,1 \pm 0,41	r
8	Cylindrical		6000		2,9	2,5	2,7 \pm 0,32	r
9	Cylindrical		6200		3,4	1,4	2,4 \pm 1,4	r
10	Raw material	0	0	0	25	25	25 \pm 0,089	b
11	Lem plastic steel	0	0	0	0,66	0,51	0,59 \pm 0,11	s

∴ r = putus pada daerah *interface* antara daerah *retreating side* dengan *stir zone*,
 b = putus pada daerah *base material*, s = putus pada daerah sambungan



Gambar 4.13 Grafik hasil pengujian tarik terhadap nilai regangan pada sambungan FSW Nylon 6 dengan variasi rasio diameter *tool*, kecepatan putar *tool*, dan penyambungan menggunakan lem *plastic steel epoxy*.

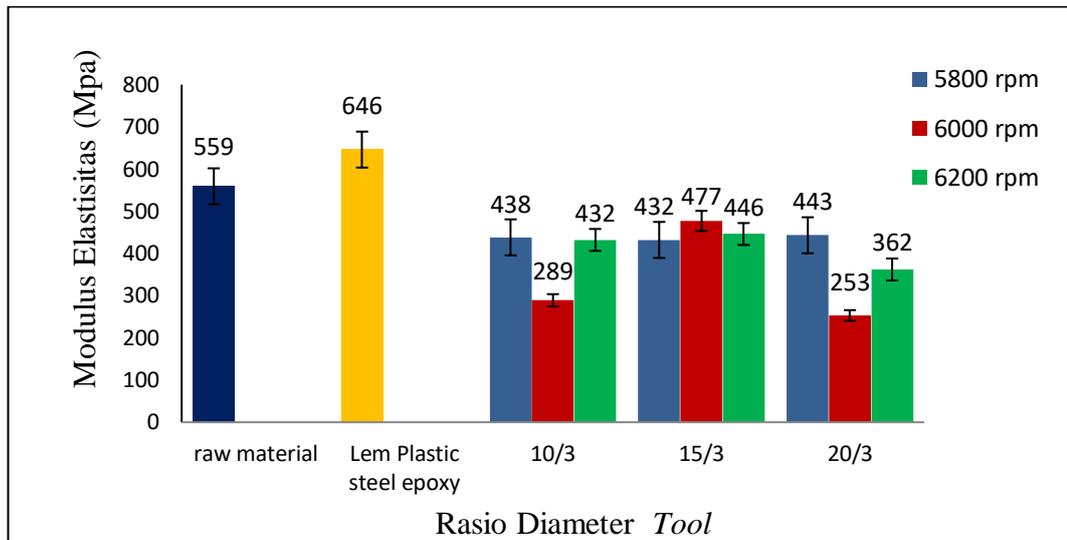
Dari grafik hasil pengujian tarik terhadap nilai regangan yang ditunjukkan pada **Gambar 4.13** dapat dilihat bahwa pada setiap spesimen hasil pengelasan FSW memiliki nilai regangan yang berbeda-beda. Nilai regangan tertinggi pada spesimen hasil pengelasan FSW diperoleh dengan menggunakan variasi rasio diameter *tool* 15/3 dan kecepatan putar *tool* 5800

rpm sebesar 5,2 %, nilai regangan tersebut didapat pada parameter yang sama dengan parameter yang dimiliki nilai kekuatan tarik tertinggi, akan tetapi nilai regangan tertinggi dari hasil pengelasan FSW tersebut masih dibawah nilai regangan dari *raw material* yang sebesar 25 %. Hal ini dapat terjadi karena pada *raw material* tidak mendapatkan perlakuan apapun sehingga regangan yang dihasilkan cenderung tinggi. Sedangkan nilai regangan terendah dari hasil pengelasan FSW diperoleh pada variasi rasio diameter *tool* 20/3 dan kecepatan putar *tool* 6200 rpm yang hanya sebesar 2,4 %, namun nilai regangan dari hasil pengelasan FSW pada setiap variasi dan parameter yang digunakan jika dibandingkan dengan hasil sambungan lem *plastic steel epoxy* nilai regangan dari hasil pengelasan FSW lebih besar, karena nilai regangan yang dimiliki sambungan lem hanya sebesar 0,59%. Perbedaan serta penurunan nilai regangan dan kekuatan tarik ini dapat disebabkan karena adanya indikasi cacat yang dihasilkan dari proses pengelasan FSW, dan perbedaan antara regangan dan tegangan dapat terjadi karena nilai regangan berbanding terbalik dengan nilai kekuatan tarik, jadi jika semakin rendah kekuatan tarik maka regangannya semakin besar dan sebaliknya menurut (Sudrajat, 2012).

Tabel 4.5 Hasil pengujian tarik terhadap nilai modulus elastisitas

No	Bentuk pin	D/d	n (rpm)	V (mm/min)	Nilai Modulus Elastisitas (MPa)			Ket
					Spesimen 1	Spesimen 2	Rata-Rata \pm SD	
1	Cylindrical	10/3	5800	4	421	454	438 \pm 23,2	r
2	Cylindrical		6000		302	276	289 \pm 18,4	r
3	Cylindrical		6200		407	458	432 \pm 36	r
4	Cylindrical	15/3	5800	4	363	501	432 \pm 97,6	r
5	Cylindrical		6000		487	467	477 \pm 14,2	r
6	Cylindrical		6200		421	471	446 \pm 35	r
7	Cylindrical	20/3	5800	4	420	466	443 \pm 32,4	r
8	Cylindrical		6000		125	382	253 \pm 182	r
9	Cylindrical		6200		278	445	362 \pm 118	r
10	Raw material	0	0	0	601	517	559 \pm 59,6	b
11	Lem plastic steel	0	0	0	555	736	646 \pm 128	s

- ∴ r = putus pada daerah *interface* antara daerah *retreating side* dengan *stir zone*,
b = putus pada daerah *base material*, s = putus pada daerah sambungan.

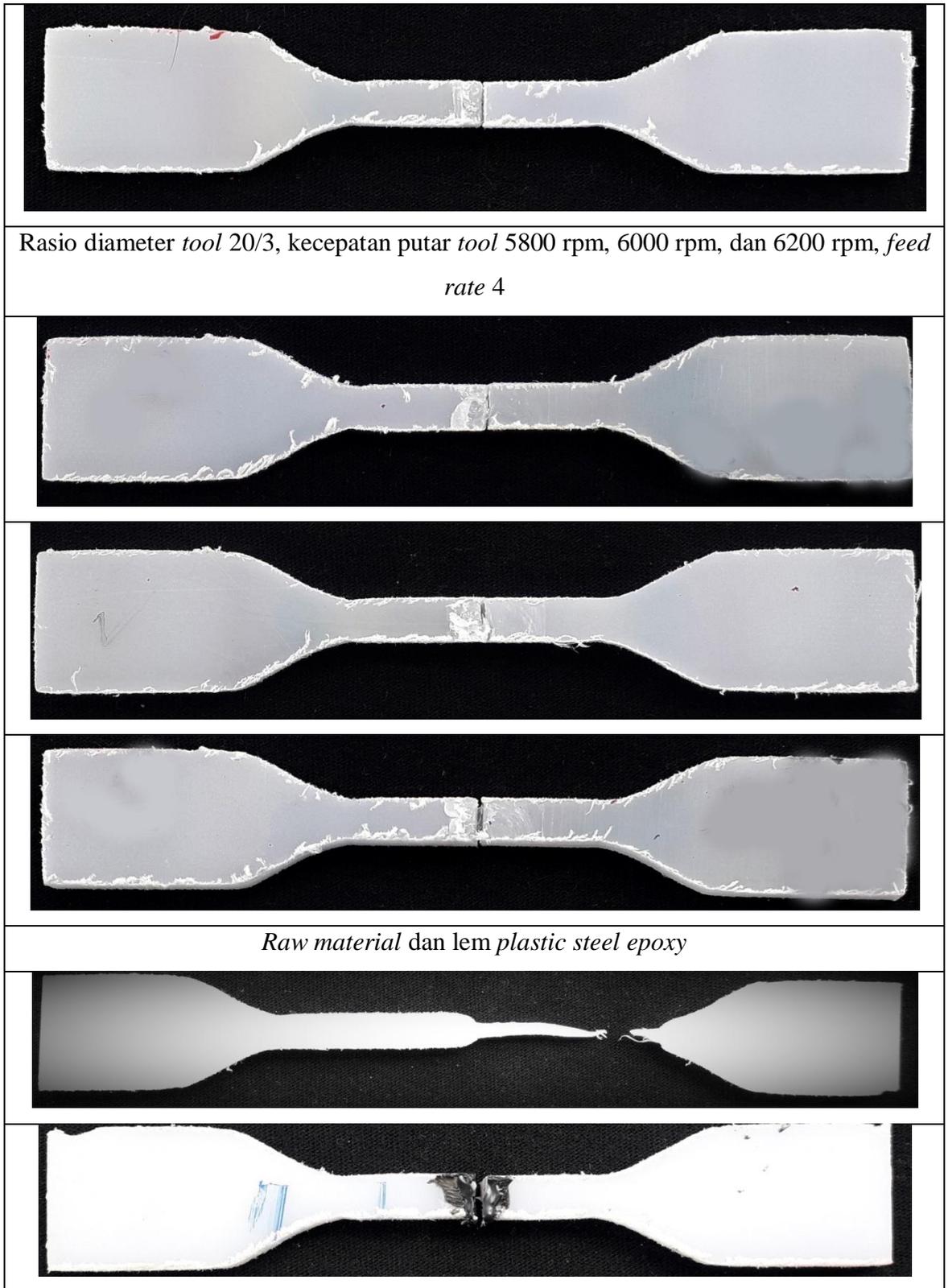


Gambar 4.14 Grafik hasil pengujian tarik terhadap nilai modulus elastisitas pada sambungan FSW *Nylon 6* dengan variasi rasio diameter *tool*, kecepatan putar *tool*, dan penyambungan menggunakan lem *plastic steel epoxy*.

Dari grafik hasil pengujian tarik terhadap nilai modulus elastisitas yang ditunjukkan pada **Gambar 4.14** dapat dilihat bahwa nilai modulus elastisitas pada setiap spesimen hasil pengelasan cenderung berbeda-beda. Nilai modulus elastisitas tertinggi dari hasil pengelasan FSW terdapat pada variasi rasio diameter *tool* 15/3 dan kecepatan putar *tool* 6000 rpm sebesar 477 MPa dengan selisih standar deviasi 14,2 MPa. Akan tetapi nilai modulus elastisitas tertinggi dari hasil pengelasan FSW tersebut jika dibandingkan dengan nilai modulus elastisitas dari sambungan lem *plastic steel epoxy*, maka nilai modulus elastisitas tertinggi dari hasil pengelasan FSW masih lebih rendah dari nilai modulus elastisitas sambungan lem *plastic steel epoxy* yang nilainya sebesar 646 Mpa dengan selisih standar deviasi 128 MPa. Sementara nilai modulus elastisitas terendah dari hasil pengelasan FSW terdapat pada variasi rasio diameter *tool* 20/3 dan kecepatan putar *tool* 6000 rpm sebesar 253 MPa dengan nilai selisih standar deviasi sebesar 182 MPa. Hal ini dapat terjadi karena semakin besar nilai tegangan maka semakin besar juga nilai modulus elastisitas untuk mencapai regangan tertentu.

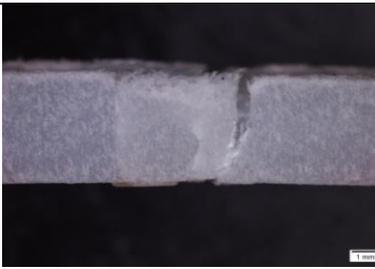
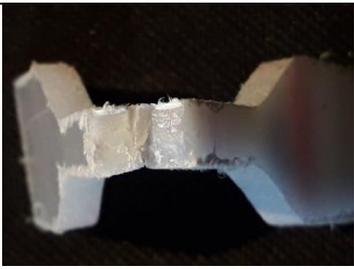
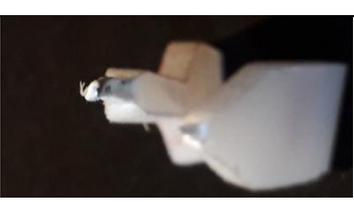
1.5 Fraktografi

Spesimen Patahan Dari Uji Tarik Tampak Atas	
Rasio diameter <i>tool</i> 10/3, kecepatan putar <i>tool</i> 5800 rpm, 6000 rpm, dan 6200 rpm, <i>feed rate</i> 4	
	
	
	
Rasio diameter <i>tool</i> 15/3, kecepatan putar <i>tool</i> 5800 rpm, 6000 rpm, dan 6200 rpm, <i>feed rate</i> 4	
	
	



Gambar 4.15 Spesimen Patahan Hasil Uji Tarik Tampak Atas

Rasio diameter <i>tool</i>	Kecepatan putar <i>tool</i> (rpm)	Hasil Patahan Uji Tarik Tampak Samping	Hasil Uji Tarik Pada Permukaan Patahan
10/3	5800		
	6000		
	6200		
15/3	5800		
	6000		

	6200		
20/3	5800		
	6000		
	6200		
<i>Raw material</i>			
Sambungan Lem <i>plastic steel epoxy</i>			

Gambar 4.16 Hasil Patahan dari Uji Tarik Tampak Samping dan Tampak Permukaan

Hasil patahan uji tarik dari spesimen hasil pengelasan FSW, sambungan lem *plastic steel epoxy*, dan *raw materil* ditunjukkan pada **Gambar 4.15**, dan **4.16**. Dapat diamati bentuk patahan dari spesimen hasil pengelasan FSW, bahwa posisi patahan cenderung terjadi pada daerah *interface* antara daerah *retreating side* dengan *stir zone*, hal ini disebabkan karena pada daerah tersebut hasil pengelasan kurang efisien dan masih terdapat indikasi cacat, hal itu sesuai dengan hasil dari foto makro bahwa pada daerah tersebut masih terdapat indikasi cacat *incomplete fussion*. Cacat *incomplete fussion* dapat terjadi akibat benda kerja tidak dapat menyatu dengan sempurna, cacat ini sebagian besar terjadi pada permukaan material hasil pengelasan dan cacat tersebut cenderung ada pada sepanjang pengelasan. Cacat *incomplete fussion* ini berupa celah kecil tetapi sangat mempengaruhi sifat mekanis dari hasil pengelasan. Selain cacat *incomplete fussion* juga terdapat cacat *crack* pada beberapa spesimen, hal ini disebabkan karena butiran lelehan tidak dapat menyatu sepenuhnya pada daerah *interface* antara daerah *retreating side* dengan *stir zone* sehingga menimbulkan adanya cacat *crack*. Sedangkan pada *raw material* hasil uji tarik menunjukkan bahwa hasil patahannya terjadi penguluran material yang panjang. Hal ini sebanding dengan kurva beban elongation dimana regangan yang dihasilkan cenderung tinggi.