

**PENGARUH PARAMETER RASIO DIAMETER *TOOL* DAN  
KECEPATAN PUTAR *TOOL* TERHADAP SIFAT TARIK PADA  
SAMBUNGAN *NYLON 6* DENGAN METODE *FRICTION STIR WELDING*  
(FSW)**

**Dicky Handika Setia Putra<sup>a</sup>, Aris Widyo Nugroho<sup>b</sup>, Cahyo Budiyanoro<sup>c</sup>**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183

<sup>a</sup>[dickyhandikasetiaputra@gmail.com](mailto:dickyhandikasetiaputra@gmail.com), <sup>b</sup>[nugrohoaris@gmail.com](mailto:nugrohoaris@gmail.com), <sup>c</sup>[cahyo\\_budi@umy.ac.id](mailto:cahyo_budi@umy.ac.id)

---

---

**INTISARI**

*Nylon 6* merupakan bahan pengganti logam yang memiliki sifat ketahanan panas yang tinggi. Dengan sifat ini, *Nylon 6* banyak digunakan seperti pada bidang transportasi, kesehatan, maupun digunakan untuk bahan penelitian. Meskipun *Nylon 6* memiliki sifat manufaktur yang baik, untuk membuat bagian yang kompleks teknologi penyambungan dapat dimanfaatkan. Teknologi yang sering digunakan untuk penyambungan *Nylon 6* ini adalah teknologi sambungan *adhesive* (lem), tetapi penyambungan ini masih memiliki banyak kekurangan, maka dibutuhkan alternatif sambungan yang lain. FSW merupakan inovasi penyambungan baru di bidang pengelasan. FSW merupakan teknik sambungan padat (*solid-state*) yang umumnya digunakan untuk menyambungkan dua material dengan memanfaatkan sumber panas dari gesekan putar *tool* dan terjadi adanya pengadukan lelehan sehingga membentuk sambungan. FSW dapat mengurangi masalah perbedaan titik leleh yang tidak dapat di sambung pada pengelasan fusi. Tidak hanya logam, metode ini juga dapat digunakan pada material plastik seperti jenis *Nylon 6*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi rasio diameter *tool* dan kecepatan putar *tool* terhadap sifat tarik pada sambungan *Nylon 6* dengan menggunakan metode pengelasan FSW.

Pada penelitian ini material yang digunakan plastik jenis *Nylon 6* dengan dimensi 115 mm x 100 mm dan ketebalan 4 mm. Parameter yang digunakan adalah variasi rasio diameter *tool* 10/3, 15/3, 20/3 dan kecepatan putar *tool* 5800 rpm, 6000 rpm, 6200 rpm, dengan *feed rate* 4 mm/min, dan *tool* berbahan baja ST80. Hasil dari pengelasan dipotong menggunakan *water jet*, bentuk dan ukuran sesuai standar ASTM D638 *type-4*. Setelah pemotongan spesimen selesai, selanjutnya dilakukan pengujian meliputi pengujian foto makro, pengujian kekerasan, dan pengujian tarik.

Secara umum hasil pengelasan masih terdapat cacat yang mempengaruhi sifat tarik sambungan dalam penelitian ini. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa pada parameter variasi rasio diameter *tool* 15/3 dengan kecepatan putar *tool* 5800 rpm menunjukkan nilai kekuatan tarik tertinggi dari hasil pengelasan yaitu sebesar 10,2 MPa, akan tetapi nilai tersebut masih dibawah nilai kekuatan tarik dari *raw material* yang sebesar 21,3 MPa, dan hasil kekuatan tarik terendah ditunjukkan pada variasi rasio diameter *tool* 20/3 dengan parameter kecepatan putar *tool* 6000 rpm sebesar 2,76 MPa. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa pada spesimen yang memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi dari hasil pengelasan tingkat kekerasannya mencapai 62,5 *shore D*, sedangkan pada spesimen yang memiliki nilai kekuatan tarik terendah dari hasil pengelasan tingkat kekerasannya sebesar 44,5 *shore D*. Jika dilihat dari foto makro hasil pengelasan masih terdapat indikasi cacat berupa cacat *incomplete fusion* ataupun cacat *crack* yang mempengaruhi sifat mekanis dari sebagian besar hasil pengelasan. Dari penelitian yang sudah dilakukan, variasi rasio diameter *tool* dengan kecepatan putar tinggi, dapat menggantikan alat bantu pemanas dan hasilnya lebih baik.

Kata kunci: FSW, *Nylon 6*, rasio diameter *tool*, kecepatan putar *tool*

---

---

---

---

## ABSTRACT

*Nylon 6 a metal replacement material that has high heat resistance properties. With these properties, such as Nylon 6 is widely used in the fields of transport, health, and is used for materials research. Although Nylon 6 has good manufacturing properties, to create complex parts joining technology can be utilized. The technology is often used for connecting Nylon 6 is the connection technology of adhesive (glue), but this connection still has many shortcomings, it takes another alternative connection. FSW is an innovation in the field of welding grafting. FSW is a solid connection technique (solid-state) that is generally used for joining two materials by utilizing a heat source of friction going on their rotary tool and stirring the melt to form a connection. FSW can reduce the differences in the melting point can not connect to fusion welding. Not only metal, but this method can also be used on plastic material such as the type of Nylon 6. purpose of this study was to determine the effect of variations in the ratio of the diameter of the tool and tool rotational speed of the tensile properties on the connection Nylon 6 with the welding method FSW.*

*In this study was used Nylon 6 with dimensions of 115 mm x 100 mm and a thickness of 4 mm. The parameters used are variations in tool diameter ratio of 10/3, 15/3, 20/3 and tool rotational speed 5800 rpm, 6000 rpm, 6200 rpm, with a feedrate of 4 mm/min, and a tool made of steel ST80. Results of welding are cut using a water jet, in according to ASTM D638 standard type-4. Characterization was, then testing is carried out including testing macro image, hardness testing, and tensile testing.*

*In general, there is still a defective weld that affects the tensile properties of connection in this study. Tensile testing results showed that the variation parameter tool diameter ratio 15/3 with 5800 rpm rotational speed tool shows the value of the highest tensile strength of the weld is equal to 10,2 MPa, but the value is still below the value of the tensile strength of the raw material 21,3 MPa, and the lowest tensile strength results are shown in the variation of tool diameter ratio of 20/3 with parameter tool rotational speed of 6000 rpm by 2,76 MPa. The test results showed that the specimens hardness which has the highest tensile strength value of the weld level reached 62,5 shore D hardness, whereas the specimen which has the lowest value of the tensile strength of the weld hardness 44,5 shore D. In terms of the macro picture is still a weld defect such as defect indication fusion incomplete or crack defects affecting the mechanical properties of most of the weld. The results show that has been done, the tool diameter ratio variations with a high rotational speed can replace heating tools and better results.*

*Keyword: FSW, Nylon 6, tool diameter ratio, speed rotary tool*

---

---

## 1. Pendahuluan

Pada proses pengembangan produk, plastik merupakan sebuah material yang saat ini banyak digunakan. Plastik memiliki sifat ringan tetapi kuat, relatif tidak korosi, dan perawatan pada plastik tergolong sangat mudah. Selain itu plastik juga memiliki berbagai macam jenis, salah satunya adalah jenis plastik *Nylon 6*. *Nylon 6* merupakan bahan pengganti logam yang mempunyai sifat ketahanan panas yang tinggi, dan koefisien gesek rendah. Dengan sifat ini, plastik *Nylon 6* banyak digunakan seperti pada bidang transportasi, kesehatan, maupun digunakan untuk bahan penelitian. Meskipun plastik *Nylon 6* memiliki kemampuan manufaktur yang baik, untuk membuat bagian yang kompleks, teknologi penyambungan dapat dimanfaatkan. Teknologi yang sering digunakan untuk penyambungan plastik *Nylon 6* adalah dengan menggunakan teknologi sambungan *adhesive* (lem). Cara Penyambungan ini masih memiliki beberapa kelemahan yaitu membutuhkan waktu yang lama, keterampilan khusus, kemampuan menerima temperatur tinggi terbatas, dan sifat mekanis yang rendah. Oleh karena itu dibutuhkan alternatif penyambungan untuk material plastik *Nylon 6*.

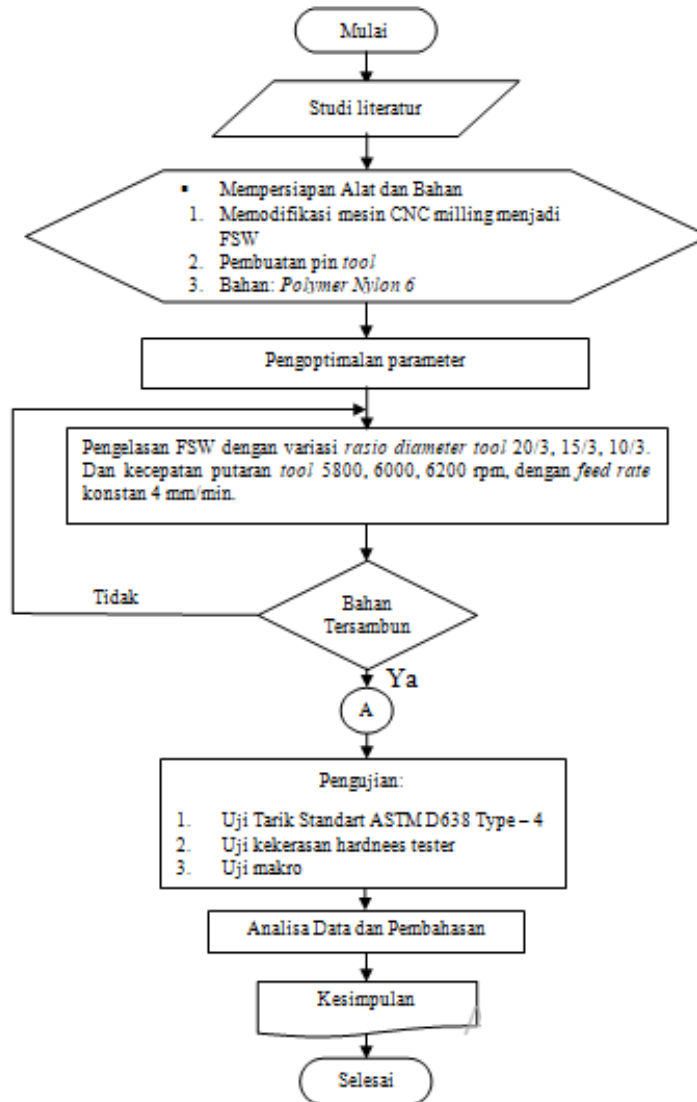
Pengelasan FSW merupakan teknik sambungan padat atau *solid-state* yang digunakan untuk menyambung lembaran material. Teknik ini merupakan inovasi penyambungan baru yang dikembangkan oleh Thomas et al. dari *The welding institute* (TWI) di Inggris pada tahun 1991. Konsep dasar dari penyambungan ini adalah menyambungkan dua material dengan memanfaatkan sumber panas dari gesekan putaran *tool* pada permukaan material. *Tool* yang berputar ditekan pada permukaan antara dua material hingga terjadinya lelehan serta proses pengadukan dan menghasilkan sambungan (Prabowo, dkk. 2013). Tidak hanya logam, metode penyambungan ini juga dapat diaplikasikan pada material non logam seperti *polymer*, bahkan dapat digunakan pada material yang memiliki titik leleh yang berbeda (Fraser, 2016).

Penggunaan metode pengelasan FSW untuk penyambungan material non logam merupakan alternatif penyambungan baru dalam bidang pengelasan. Beberapa tahun terakhir penelitian tentang pengelasan FSW pada plastik *Nylon 6* telah dilakukan. Pada penelitian sebelumnya Zafar, dkk. (2016) dengan meneliti metode pengelasan FSW pada plat *Nylon 6* dengan mempelajari efek kecepatan putar *tool* dan alat pembantu pemanas terhadap sifat mikromekanik. Didapatkan bahwa hasil pengelasan yang efisien diperlukan distribusi panas yang cukup untuk mencapai titik leleh butiran material. Dengan alat bantu pemanas, kecepatan putar *tool* yang digunakan pada penelitian ini rendah yaitu 300 rpm. *Nylon 6* yang digunakan memiliki ketebalan 16 mm. Hasil kekuatan tarik tertinggi sebesar 27,21 Mpa, yang hanya sekitar 30 % dari bahan dasar *Nylon 6*. Ethiraj, dkk. (2017), juga melakukan penelitian terhadap pengelasan FSW pada *Nylon 6* dengan mempelajari efek proses parameter pada sifat mekanik dan mikrostruktur. Bahan yang digunakan memiliki ketebalan 6 mm, pengelasan dilakukan menggunakan mesin CNC milling. *Profile pin tool* yang digunakan berulir dan memiliki rasio diameter *tool* 16/8. Hasil kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada parameter kecepatan putar *tool* 1200 rpm dengan *feed rate* 30 mm/min sebesar 10 MPa.

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan, pengkajian terhadap pengelasan FSW pada material *Nylon 6* masih perlu dikembangkan lebih lanjut. Kecepatan putar *tool* merupakan parameter yang penting dalam pengelasan FSW, dari penelitian yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa kecepatan putar *tool* berpengaruh terhadap panas yang dihasilkan untuk mencapai titik leleh material yang dilas. Penelitian mengenai pengelasan FSW terhadap parameter kecepatan putar *tool* rendah dengan alat bantu pemanas tambahan pada sambungan *Nylon 6* sudah dilakukan, tetapi penelitian terhadap kecepatan putar *tool* dengan variasi rasio diameter *tool* pada sambungan *Nylon 6* belum pernah dilakukan. Variasi rasio diameter *tool* berpengaruh terhadap pengendalian adukan ataupun pola pengelasan. Untuk itulah penelitian tentang pengaruh rasio diameter *tool* dan kecepatan putar *tool* terhadap kekuatan tarik dengan metode pengelasan FSW pada sambungan *Nylon 6* ini dilakukan. Harapan dapat memberikan informasi baru terkait sifat mekanis khususnya kekuatan tarik, tingkat kekerasan, dan hasil pengelasan dari variasi rasio diameter *tool* dan kecepatan putar *tool* pada penggunaan metode pengelasan FSW.

**2. Metode Penelitian.**

Langkah-langkah dalam proses pengelasan dengan metode FSW dapat dilihat pada Gambar 1.



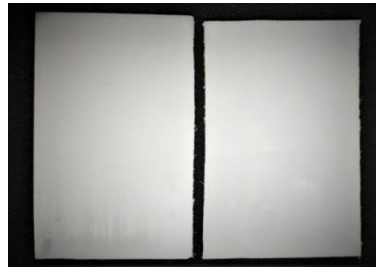
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Proses pengelasan dilakukan dengan menggunakan mesin CNC milling dengan parameter yang sudah ditentukan yaitu dengan variasi rasio diameter *tool* 10/3 mm, 15/3 mm, dan 20/3 mm, parameter kecepatan putar *tool* yang digunakan 5800 rpm, 6000 rpm, 6200 rpm dan *feed rate* yang digunakan konstan sebesar 4 mm/min.



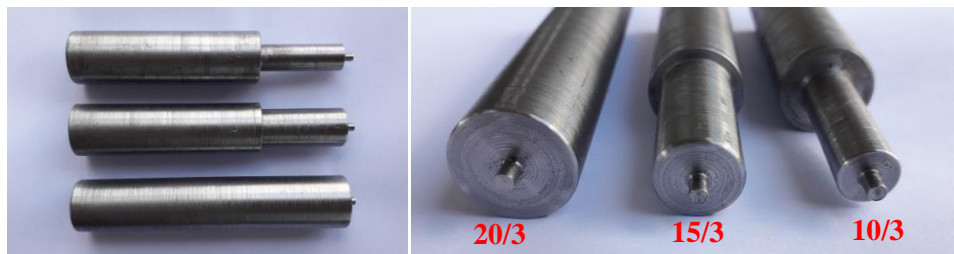
Gambar 2. Proses Pengelasan FSW dengan Mesin CNC

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah *polymer* jenis Nylon 6 dengan ketebalan 4 mm dan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Nylon 6 dengan Ketebalan 4 mm

Adapun pin *tool* yang digunakan pada penelitian ini hanya berbentuk profil pin *cylindrical* namun memiliki beberapa variasi rasio diameter yaitu dengan variasi rasio diameter *tool* 10/3 mm, 15/3 mm, dan 20/3 mm yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Tiga Variasi Pin *Tool*

### 2.1 Pengujian Makro

Pengujian makro dilakukan pada spesimen hasil uji tarik yang memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi dan terendah dari setiap variasi rasio diameter *tool* dan dilakukan pada spesimen hasil patahan dari uji tarik. Pengujian ini dilakukan guna mengetahui indikasi-indikasi cacat yang dihasilkan serta struktur pengelasan pada daerah *stir zone*.

### 2.2 Pengujian kekerasan

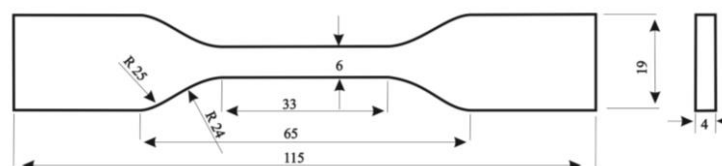
Pengujian kekerasan dilakukan guna untuk mengetahui tingkat kekerasan dari hasil pengelasan FSW. Pengujian kekerasan ini dilakukan pada spesimen yang memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi dan terendah dari semua spesimen yang telah di uji tarik. Skema pengujian kekerasan ini dilakukan pada beberapa titik yaitu pada daerah *advancing side*, *stir zone*, dan *retreating side* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema Titik

### 2.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan pada semua spesimen hasil pengelasan FSW. Pengujian tarik mengacu pada standart ASTM D638 *type* – 4 dan desain dari spesimen uji tarik dapat dilihat pada Gambar 6. Dalam pengujian tarik didapatkan nilai tegangan.

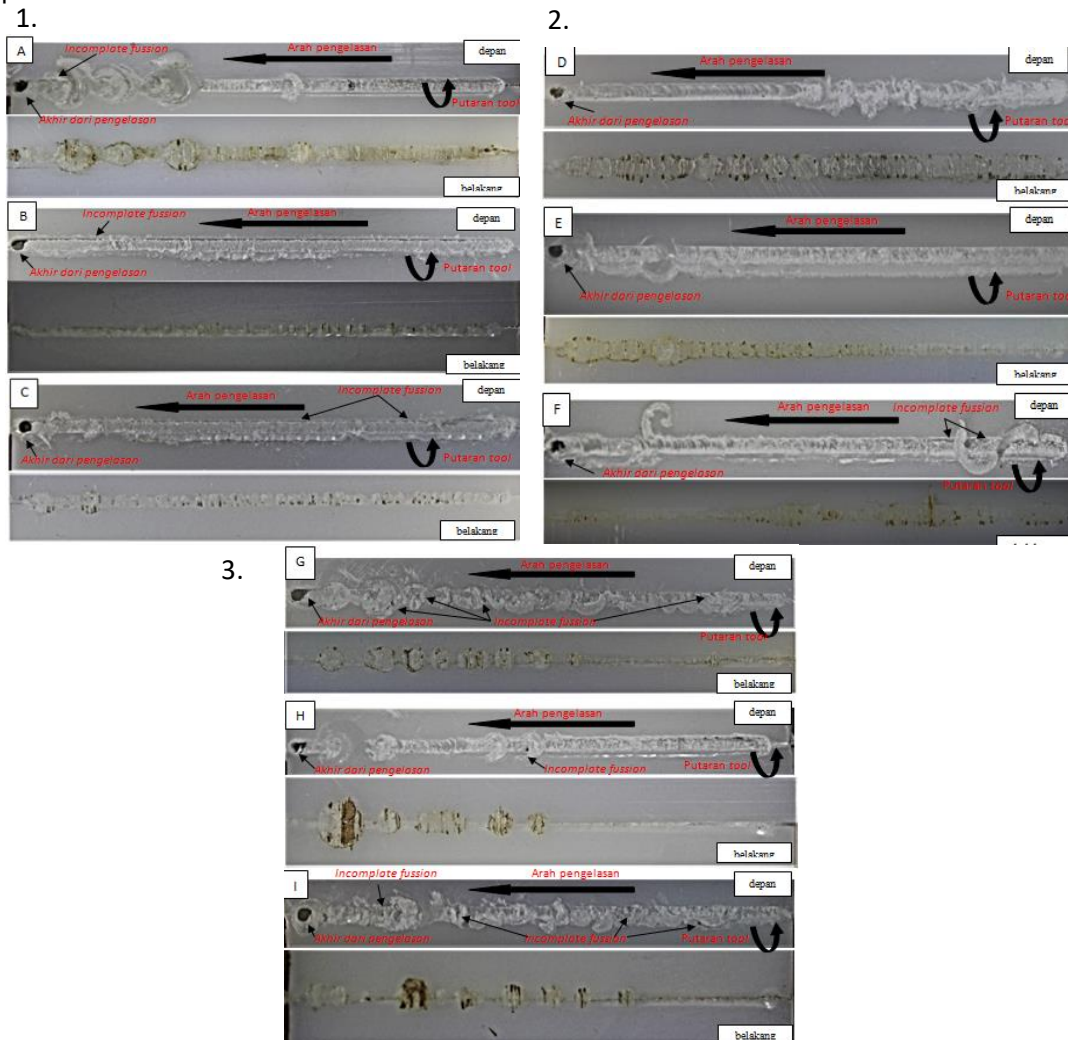


Gambar 6. Desain ASTM D638 *Type*-4

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Hasil Pengelasan

Hasil pengelasan FSW pada material Nylon 6 dengan ketebalan 4 mm dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil Pengelasan 1. Menggunakan parameter rasio diameter *tool* 10/3 mm dan parameter kecepatan putar *tool* A.5800 rpm, B.6000 rpm, C.6200 rpm, 2. Menggunakan parameter rasio diameter *tool* 15/3 mm dan parameter kecepatan putar *tool* D.5800 rpm, E.6000 rpm, F.6200 rpm, 3. Menggunakan parameter rasio diameter *tool* 20/3 mm dan parameter kecepatan putar *tool* G.5800 rpm, H.6000 rpm, I.6200 rpm.

Pada rasio diameter *tool* 10/3 hasil pengelasan pada setiap parameter kecepatan *tool* masih terdapat cacat *incomplete fusion* pada permukaan atas pengelasan, hal ini disebabkan karena *shoulder* pada pin *tool* memiliki luas penampang yang terlalu kecil sehingga saat terjadi gesekan antara permukaan *shoulder* dan permukaan material tidak tergesek secara merata dan distribusi panas yang dihasilkan kecil, maka dari itu pengelasan yang dihasilkan kurang optimal pada setiap parameter kecepatan putar *tool*. Pada rasio diameter *tool* 15/3 mm 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 mm merupakan optimasi yang ideal dan pada rasio diameter *tool* ini *heat input* yang dihasilkan optimal serta pengendalian panas yang baik, dapat dilihat dari pola pengelasannya maupun cacat yang dihasilkan dimana

cacat yang dihasilkan cenderung sedikit dibandingkan pada variasi rasio diameter *tool* 10/3 dan 20/3 mm. Pada rasio diameter *tool* 20/3 mm hasil pengelasan cenderung tidak teratur pada pola pengelasan sehingga cacat yang dihasilkan banyak, hal ini disebabkan karena luas permukaan *shoulder* yang terlalu besar sehingga menyebabkan *heat input* yang dihasilkan besar dan menyebabkan lelehan sulit untuk dikendalikan.

### 3.2 Hasil Foto Makro

Pengujian makro dilakukan untuk mengetahui hasil pengelasan dari segi bentuk maupun sifat mekaniknya yang terdiri dari *advancing side*, *stir zone*, *retreating side* pada hasil pengelasan FSW pada material Nylon 6. Pengamatan makro ini dilakukan pada spesimen yang memiliki nilai 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						
15/3						
20/3						

Gambar 8. Hasil pengamatan makro

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 fussion* dan cacat *crack* pada daerah tersebut. Cacat *incomplete fussion* dapat terjadi akibat *heat input* yang dihasilkan dari gesekan putar *tool* dengan benda kerja terlalu

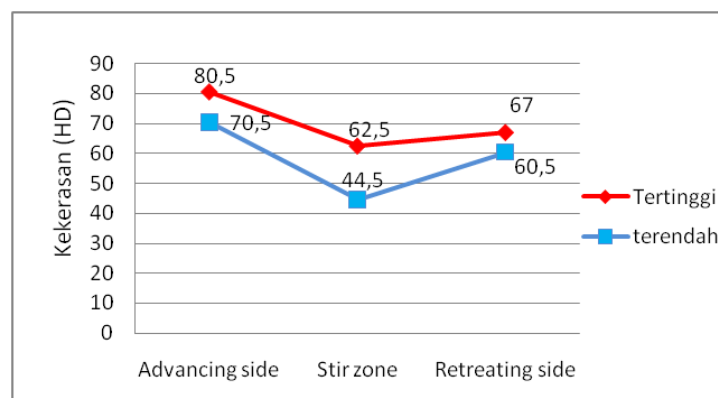
besar atau terlalu kecil. Apabila *heat input* yang dihasilkan terlalu besar maka saat proses pengendalian panas tidak dapat berjalan dengan baik dan menyebabkan pembentukan cacat *incomplete fussion*, apabila *heat input* yang dihasilkan terlalu kecil dapat menyebabkan material tidak dapat meleleh secara 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 fussion*, 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 fussion* 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.

### 3.3 Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan ini dilakukan pada spesimen yang memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu pada variasi rasio diameter *tool* 15/3 mm, parameter kecepatan putar *tool* 5800 rpm, dengan *feed rate* 4 mm /min, dan pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen yang memiliki nilai kekuatan tarik terendah yaitu pada variasi rasio diameter *tool* 20/3 mm, parameter kecepatan putar *tool* 6000 rpm, dengan *feed rate* 4 mm/min. Pengujian dilakukan dengan skema titik yang ditunjukkan Gambar 5.

Tabel 1. Hasil uji kekerasan

No	Posisi titik uji (mm)	Nilai Kekerasan (HD)	
		Tertinggi	terendah
1	3	80,5	70,5
2	0	62,5	44,5
3	-3	67	60,5



Gambar 9. Grafik Distribusi Hasil Pengujian Kekerasan

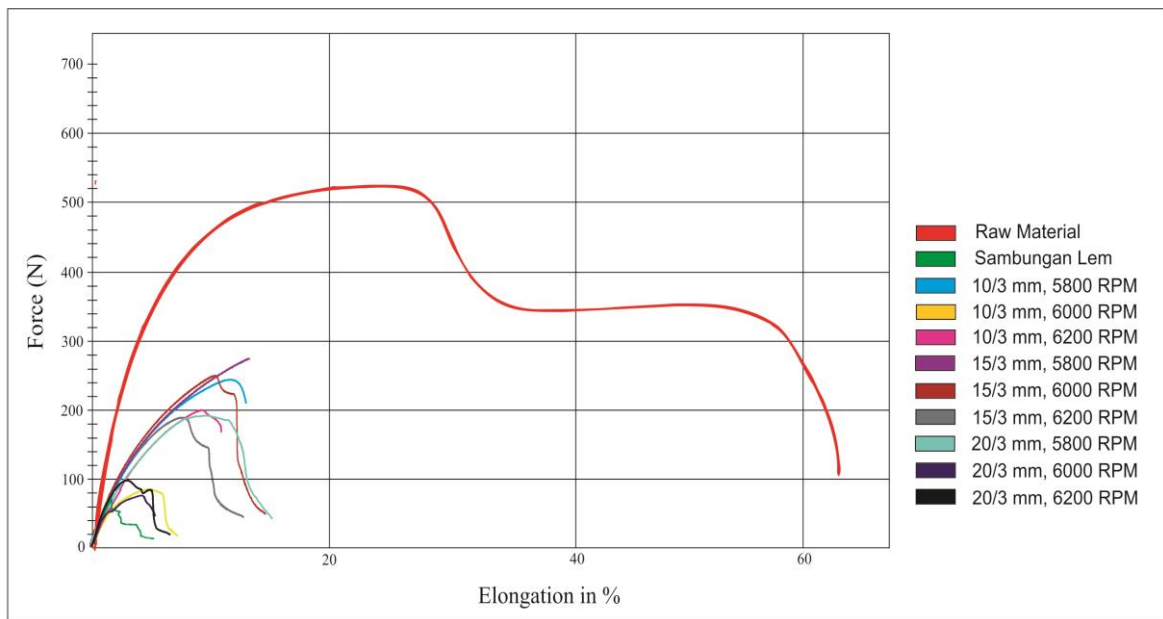
Dari hasil uji kekerasan dapat diamati bahwa nilai kekerasan pada spesimen yang memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi tingkat kekerasan yang dimiliki cenderung lebih tinggi yaitu sebesar 62,5 *shore D*, dibandingkan dengan spesimen yang memiliki nilai kekuatan tarik terendah yang tingkat kekasarannya cenderung rendah yaitu 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 mm dengan parameter kecepatan putar *tool* 5800 rpm, jika dilihat pada foto makro struktur butiran lelehan dari proses pengelasan



cenderung menyatu secara merata pada daerah *stir zone* dan bentuk butiran lelehan hampir menyerupai *base material*, maka dari itu tingkat kekerasan yang dimiliki parameter ini cenderung tinggi. Pada spesimen yang memiliki nilai kekuatan tarik terendah yaitu pada variasi rasio diameter *tool* 20/3 dengan parameter kecepatan putar *tool* 6000 rpm tingkat kekerasannya cenderung rendah, ini dapat disebabkan karena jika dilihat pada foto makro pada daerah *stir zone* butiran lelehan tidak dapat menyatu sepenuhnya sehingga pada daerah tersebut tidak terjadi pemadatan butiran lelehan yang menyebabkan tingkat kekerasan dari spesimen ini rendah, hal ini juga ditandai dengan adanya cacat *incomplete fussion* dan cacat *crack* yang dihasilkan karena sebagian besar butiran lelehan tidak dapat dikendalikan hingga banyak butiran yang terbuang. Peningkatan nilai kekerasan pada spesimen yang memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi dan terendah ini terjadi pada daerah *advancing side*, hal ini dapat terjadi karena adanya proses pemindahan butiran lelehan dari daerah *retreating side* ke daerah *advancing side* yang menyebabkan penumpukan serta pemadatan butiran lelehan pada daerah *advancing side* sehingga tingkat kekerasannya meningkat.

### 3.4 Hasil Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan pada setiap spesimen hasil pengelasan dengan menggunakan standart ASTM D638 *type-4*. Hasil yang didapat dari pengujian ini adalah nilai tegangan dari spesimen uji sambungan FSW dan hasilnya akan dibandingkan dengan nilai kekuatan tarik dari *raw material* dan sambungan dengan menggunakan lem *plastic steel epoxy*.



Gambar 10. Grafik kurva beban elongation terhadap hasil pengujian tarik

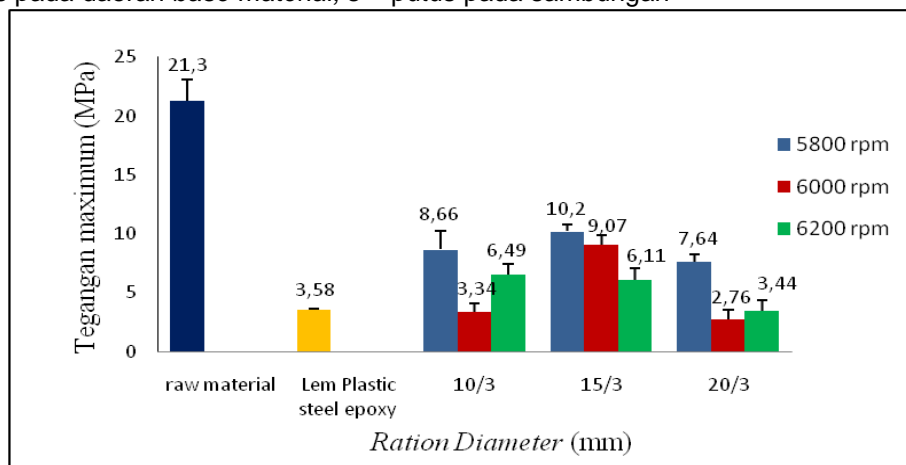
Pada grafik kurva beban elongation terhadap hasil pengujian tarik yang telah dilakukan pada *raw material*, sambungan lem *plastic steel* dan sambungan FSW. Dari grafik kurva beban elongation ini dapat dilakukan pengamatan terhadap sifat tarik pada spesimen uji, meliputi nilai kekuatan tarik, regangan, dan modulus elastisitas. Pada *raw material* yang ditunjukkan oleh kurva berwarna merah, 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 mm, kecepatan putar *tool* 5800 rpm, dan *feed rate* 4 mm/min yang ditunjukkan grafik kurva berwarna ungu, akan tetapi pada sebagian

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

Tabel 2. Hasil Pengujian Tarik

No.	Bentuk pin	D/d (mm)	n (rpm)	V (mm/min)	Max. Tensile Strength			ket
					Spesimen 1	Spesimen 2	Rata-Rata (Mpa)	
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 sambungan

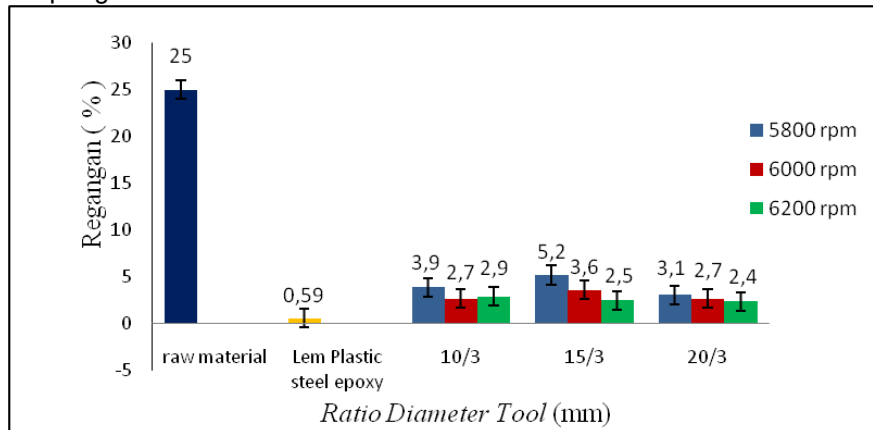


Gambar 11. Grafik hasil pengujian tarik terhadap nilai kekuatan tarik

Dari grafik hasil pengujian tarik terhadap nilai kekuatan tarik yang ditunjukkan Gambar 11. Dapat di analisa bahwa nilai kekuatan tarik pada kecepatan putar *tool* 5800 rpm pada setiap variasi rasio diameter *tool* kuat tarik yang dihasilkan cenderung tinggi dibandingkan dengan parameter kecepatan putar *tool* 6000, dan 6200 rpm dan jika di dibandingkan dengan kekuatan tarik dari sambungan lem yang hanya 3,58 MPa, nilai kekuatan tarik dengan parameter kecepatan putar *tool* 5800 rpm dari setiap variasi rasio diameter *tool* ini cenderung lebih tinggi, hal ini disebabkan karena pada parameter kecepatan putar *tool* 5800 rpm merupakan parameter yang sesuai untuk menghasilkan *head input* yang optimal dari penelitian ini. Nilai kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada variasi rasio diameter *tool* 15/3 mm dengan kecepatan putar *tool* 5800 rpm sebesar 10,2 MPa dan nilai tersebut masih lebih rendah dari kekuatan tarik *raw material* dimana kekuatan tarik *raw material* sebesar 21,3 MPa.

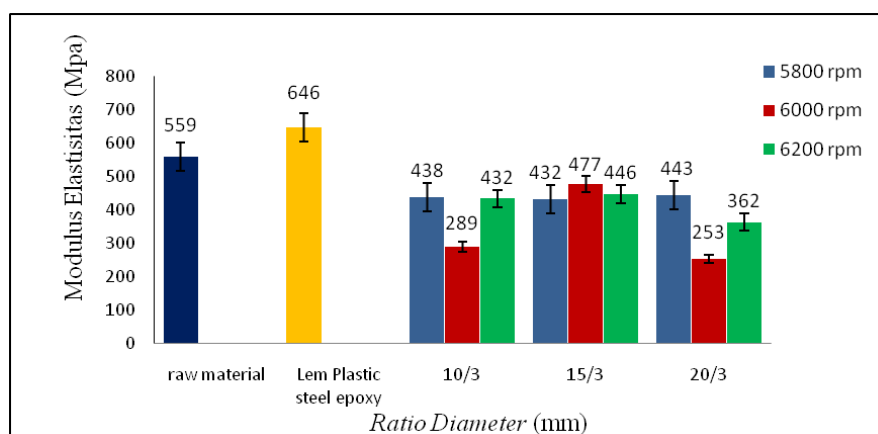
Tingginya kekuatan tarik pada pengelasan FSW ini terpacu pada pengoptimalan parameter-parameter yang digunakan pada saat proses pengelasan. Dilihat dari hasil pengelasan semakin tinggi *heat input* yang dihasilkan dari variasi rasio diameter *tool* dan kecepatan putar *tool* maka hal itu menyebabkan pengendalian lelehan yang kurang optimal sehingga mengakibatkan pembentukan cacat dan pola pengelasan tidak sesuai, akan tetapi jika *heat input* yang dihasilkan semakin rendah maka butiran lelehan material tidak dapat meleleh secara merata dan menyebabkan pembentukan cacat *crack* ataupun cacat

*incomplete fussion* yang menyebabkan hasil pengelasannya tidak optimal 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.



Gambar 12. Grafik hasil pengujian tarik terhadap nilai regangan

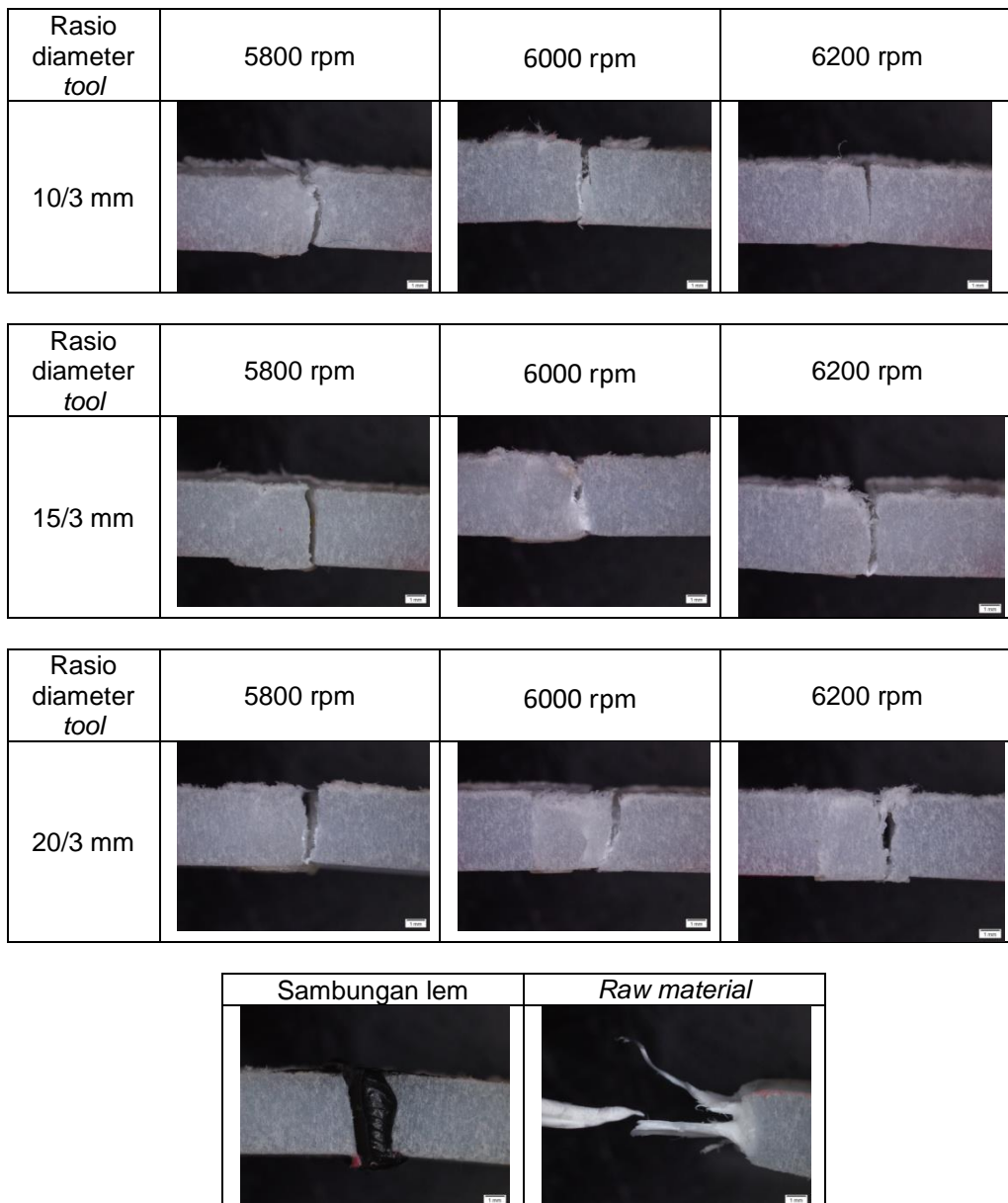
Dari grafik hasil pengujian tarik terhadap nilai regangan yang ditunjukkan pada Gambar 12. dapat dilihat bahwa pada setiap spesimen hasil pengelasan memiliki nilai regangan yang berbeda-beda. Nilai regangan tertinggi didapat pada spesimen hasil pengelasan dengan menggunakan variasi rasio diameter *tool* 15/3 mm 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 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 terdapat pada variasi rasio diameter *tool* 20/3 mm dan kecepatan putar *tool* 6200 rpm yang hanya sebesar 2,4 %, namun nilai regangan dari hasil pengelasan pada setiap variasi dan parameter yang digunakan jika dibandingkan dengan hasil sambungan lem nilai regangan dari hasil pengelasan 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 cacat yang dihasilkan dari proses pengelasan. Hal ini juga disebabkan karena nilai regangan berbanding terbalik dengan nilai kekuatan tarik, jadi jika semakin rendah kekuatan tarik maka regangannya semakin besar dan sebaliknya menurut (Sudrajat, 2012).



Gambar 13. Grafik hasil pengujian tarik terhadap nilai modulus elastisitas

Dari grafik hasil pengujian tarik terhadap nilai modulus elastisitas yang ditunjukkan pada Gambar 13. dapat dilihat bahwa nilai modulus elastisitas pada setiap spesimen hasil pengelasan cenderung berbeda-beda. Nilai modulus elastisitas tertinggi dari hasil pengelasan terdapat pada variasi *rasio diameter tool* 15/3 mm 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 tersebut jika di dibandingkan dengan nilai modulus elastisitas dari sambungan lem maka nilai modulus elastisitas tertinggi dari hasil pengelasan masih lebih rendah dari nilai modulus elastisitas sambungan lem yang nilainya sebesar 646 Mpa dengan selisih standar deviasi 128 Mpa. Sementara nilai modulus elastisitas terendah dari hasil pengelasan 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.

**3.5 Fraktografi**



Gambar 14. Hasil Patahan Uji Tarik Tampak Samping

Hasil patahan uji tarik dari spesimen hasil pengelasan FSW, sambungan lem *plastic steel epoxy*, dan *raw materil* ditunjukkan pada Gambar 14. 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.

#### 4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan pada parameter variasi rasio diameter *tool* 15/3 mm dengan parameter kecepatan putar *tool* 5800 rpm merupakan parameter yang menghasilkan sambungan pengelasan paling efisien dibandingkan dengan variasi rasio diameter *tool* dengan parameter kecepatan putar *tool* yang lain.

1. Hasil foto makro menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan putar *tool* maka indikasi cacat yang dihasilkan cenderung banyak. Cacat yang timbul pada beberapa spesimen merupakan jenis cacat *incomplete fussion*, cacat ini terjadi akibat spesimen tidak dapat menyatu dengan sempurna. Cacat ini cenderung terjadi pada permukaan spesimen berupa celah kecil disepanjang pengelasan yang sangat mempengaruhi sifat mekanis spesimen tersebut. Cacat *crack* yang terjadi pada daerah *retreating side* juga disebabkan karena butiran lelehan tidak dapat menyatu sepenuhnya dan pada daerah tersebut tidak terdapat pemadatan butiran sehingga memicu struktur yang lunak.
2. Nilai kekerasan yang tinggi diperoleh pada spesimen yang memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu pada variasi rasio diameter *tool* 15/3 mm dengan kecepatan putar *tool* 5800 rpm, dan *feed rate* 4 mm/min sebesar 62,5 *shore D*. Nilai kekerasan terendah diperoleh pada spesimen yang memiliki nilai kekuatan tarik terendah yaitu pada variasi rasio diameter *tool* 20/3 mm dengan kecepatan putar *tool* 6000 rpm, dan *feed rate* 4 mm/min sebesar 44,5 *shore D*.
3. Nilai kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada variasi rasio diameter *tool* 15/3 mm, dengan kecepatan putar *tool* 5800 rpm, dan *feed rate* 4 mm/min sebesar 10,2 MPa. Nilai kekuatan tarik terendah diperoleh pada variasi rasio diameter *tool* 20/3 mm, dengan parameter kecepatan putar *tool* 6000 rpm, dan *feed rate* 4 mm/min sebesar 2,76 MPa. Tingginya kekuatan tarik dan hasil pengelasan yang efisien dari metode pengelasan FSW terpacu pada pengoptimalan parameter yang digunakan pada proses pengelasan.

#### Daftar Pustaka

Journal:

- Ethiraj, N., Sivabalan, T., Raghavan, V., & Mourya, S. (2017). Friction stir welding of Nylon-6 effect of process parameters on mechanical and microstructural properties. *jurnal teknologi* , 185-191.
- Lawrence, E. (2017). *ASTM D638 The Definitive Guide to Plastic Tensile Testing*. instron.
- Panneerselvam, k., & Lenin, k. (2013). Joining of Nylon 6 plate by friction stir welding process using threaded pin profile. *Materials and Design* , 302-307.

- Panneerselvam, K., & Lenin, k. (2013). Study on friction stir welding of nylon 6 plates. *International journal of conceptions on mechanical and civil engineering* , 116-120.
- Prabowo, H., Triyono, & kusharjanta, B. (2013). Pengaruh kecepatan putaran tool dan pemanas tambahan terhadap kekuatan mekanik polypropilene hasil las friction stir welding. *Mekanika* , 34-38.
- Raharjo, A. (n.d.). Perbandingan Produktivitas Sambungan Adhesive Bonding Dengan Sambungan Las. 65-70.
- Sadeghian, N., & Besharati Givi, M. K. (2014). Experimental optimization of the mechanical properties of friction stir welded Acrylonitrile Butadiene Styrene Sheets. *Materials and disign* , 1-21.
- Zafar, A., Awang, M., Khan, S. R., & Emamian, S. (2016). Investigating Friction Stir Welding on Thick Nylon 6 Plates. *Welding Research* , 210-218.
- Zafar, A., Awang, M., Khan, S. R., & Emamian, S. (2016). Visual Analysis Of Material Flow During Friction Stir Welding Of Nylon-6. *ARPJN Journal of Engineering and Applied Sciences* , 4186-4190.