

Program Studi Teknik Mesin

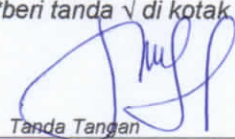
Lembar Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir (TA)

Judul TA:	<u>Karakterisasi Sambungan <i>Friction Stir Welding Similar</i> untuk Material <i>Nylon 6</i> dengan Variasi <i>Pin Tools</i></u>
Judul Naskah Publikasi:	<u>Karakterisasi Sambungan <i>Friction Stir Welding Similar</i> untuk Material <i>Nylon 6</i> dengan Variasi <i>Pin Tools</i></u>
Nama Mahasiswa:	<u>Ma'ruf Ramadhani</u>
NIM:	<u>2015130011</u>
Pembimbing 1:	<u>Ir. Aris Widyo Nugroho, M.T., Ph.D.</u>
Pembimbing 2:	<u>Cahyo Budiyanoro, S.T., M.Sc</u>

Hal yang dimintakan persetujuan *:

<input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Indonesia	<input checked="" type="checkbox"/> Naskah Publikasi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Inggris	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*beri tanda di kotak yang sesuai



Tanda Tangan
Ma'ruf Ramadhani

Tanggal 13 Agustus 2019

Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui




Tanda Tangan
Ir. Aris Widyo Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

Tanda Tangan
Berli Paripurna Kamiel, S.T., M.Sc, Ph.D.

Tanggal 13 Agustus 2019

Tanggal 13 Agustus 2019

Formulir persetujuan ini mohon diletakkan pada lampiran terakhir pada naskah TA.

KARAKTERISI SAMBUNGAN *FRICION STIR WELDING SIMILAR* UNTUK MATERIAL NYLON 6 DENGAN VARIASI *PIN TOOL*

Ma'ruf Ramadhani^a, Aris Widyo Nugroho^b, Cahyo Budiyanoro^c

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
 Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183
m4ruramadhani@gmail.com, nugrohoaris@gmail.com, cahyo_budi@umy.ac.id

INTISARI

Friction stir welding (FSW) merupakan salah satu metode penyambungan sebuah material yang memanfaatkan gesekan *pin tool* dan *shoulder*. Salah satu material yang digunakan adalah *nylon 6*. *Nylon 6* banyak digunakan di dunia industri karena memiliki tegangan yang tinggi dan ringan. Bentuk *pin tool* mempengaruhi hasil dari proses penyambungan material dari sifat mekanik serta struktur makronya. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh bentuk *pin tool* terhadap sifat mekanik dan struktur makro dari material *nylon 6* dengan menggunakan metode *friction stir welding*. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah lembaran *nylon 6* dengan panjang 115 mm, lebar 100 mm dan tebal 6 mm. Proses penyambungan dilakukan pada kecepatan putar 2350 rpm, *feed rate* 6 mm/menit, dan *depth of plunge* 4,8 mm. *Pin tool* yang digunakan antara lain silinder, silinder ulir dan tirus ulir. Pada penelitian ini dilakukan 3 pengujian, seperti pengujian tarik, pengujian kekerasan dan pengujian struktur makro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *pin tool* silinder mendapatkan hasil terbaik, dimana pada hasil pengelasan terlihat lebih merata dan cacat yang didapatkan tidak terlalu banyak. Hal ini disebabkan karena adanya heat input yang tidak terlalu besar yang menyebabkan material leleh secara homogen. Untuk nilai kekuatan tarik terbesar didapatkan 17,22 MPa dengan nilai regangannya 31,85 %. Sedangkan nilai kekuatan tarik pada *raw material* didapatkan 18,95 MPa dan nilai regangannya 171,5 %, dimana untuk nilai kekuatan tarik tertinggi hasil pengelasan merupakan 90,87 % dari *raw material*nya. Berdasarkan hasil yang diperoleh diatas, *pin tool* yang direkomendasikan adalah *pin tool* silinder. Karena didapatkan hasil sambungan dengan sifat mekanik yang baik serta permukaan yang rata.

Kata Kunci: *Friction Stir Welding, Feed Rate, Stir zone, Nylon 6*

ABSTRACT

Friction stir welding (FSW) is one method of joining a material that utilizes *pin tool* friction and *shoulder*. One of the materials used is *nylon 6*. *Nylon 6* is widely used in industry because it has high tension and lightweight. the shape of the *pin tool* affects the results of the material joining process from the mechanical properties and macrostructure. This study was conducted to determine the effect of the *pin tool* shape on the mechanical properties and macrostructure of *nylon 6* material using the *friction stir welding* method. The material used in this study is a *nylon 6* sheet with a length of 115 mm, a width of 100 mm and a thickness of 4 mm. The joining process is carried out at 2350 rpm rotating speed, 6 mm / minute feed rate, and 4.8 mm depth of plunge. The *pin tools* used include cylinders, threaded cylinders, and threaded cone. In this study, 3 tests were carried out, such as tensile testing, hardness testing, and macrostructure testing. The results of the study showed that the use of the *pin tool* cylinder got the best results, where the welding results looked more evenly distributed and there were not many defects. Due to the heat input that is not too high which causes the material to melt homogeneously. For the value of the highest tensile strength obtained 17,22 MPa with a strain value of 31,85%. While the value of tensile strength on the base material was obtained 18,95 MPa and the strain value was 171,5 %, where for the highest tensile strength the welding result was 90,87 % of the base material. Based on the results obtained above, the recommended *pin tool* is a cylindrical *pin tool*. Because the joining results are obtained with good mechanical properties and a flat surface.

Keywords : *Friction Stir Welding, Feed Rate, Stir Zone, Nylon 6*

1. Pendahuluan

Plastik merupakan material yang bersifat kuat, ringan dan tahan terhadap tegangan. *Nylon* merupakan material yang sering kita jumpai karena ketersediaannya banyak serta merupakan material yang mempunyai sifat ringan, kuat, tahan terhadap tegangan dan memiliki serat riasan yang tidak menyerap dengan halus sehingga barang yang dikonstruksi serat ini kering dengan cepat. *Nylon* merupakan jenis sintetis yang sering dikenal juga *polyamide* (PA). Material ini memiliki sifat tidak lemah dari bahan kimia serta memiliki daya leleh dan ketahanan yang tinggi. *Nylon* juga digunakan sebagai bahan utama dalam dunia industri tekstil, perabotan rumah tangga, dan otomotif (Nugroho dkk, 2016). *Nylon* dalam produksinya dibagi dalam beberapa jenis yang dibedakan menurut sifat serat mekanik serta komponen kimia diantaranya *nylon 6.6* dan *nylon 6*.

Polimer *nylon 6* dalam dunia industri pada umumnya sering dilakukan dengan proses penyambungan. Proses penyambungan pada polimer *nylon 6* sudah dilakukan dengan menggunakan beberapa metode, salah satunya dengan metode laser pengelasan. Pada umumnya proses penyambungan dengan metode pengelasan yaitu dua potong *nylon 6* diletakkan pada tatakan yang selanjutnya diberikan tekanan pada area permukaan dan terjadi panas yang meleburkan *nylon 6* sehingga terjadilah penyambungan. Tetapi terdapat juga kelemahan dalam proses penyambungan material *nylon 6* dengan metode pengelasan yaitu dari pengendalian lelehan dalam penyambungan, molekul – molekul sering tidaknya menyatu dan sering terjadinya deformasi.

Pengelasan adalah salah satu teknik penyambungan dua material yang memanfaatkan energi panas. Pada penyambungan *nylon 6* dengan metode pengelasan terdapat alternatif baru yang sekarang sedang dikembangkan dan sudah banyak digunakan. Salah satu penelitian pengelasan dengan metode FSW yaitu (Husain, dkk, 2016) yang meneliti tentang “*Mechanical properties of friction-stir-welded polyamide sheets*”. Teknologi pengelasan kali ini yang sedang dikembangkan yaitu *Friction Stir Welding* (FSW). FSW adalah pengelasan *solid-state* dimana *pin tool* berputar sepanjang garis sambungan dua material. *Pin tool* berputar dan bergesekan dengan garis sambungan material dan menghasilkan panas yang meleburkan material sehingga terjadi penyambungan. FSW diperkenalkan pertama kali oleh *The Welding Institute* (TWI) of UK pada tahun 1991 sebagai teknik penyambungan padat. Pada pengelasan FSW sendiri memiliki kelebihan yaitu tidak membutuhkan yang namanya *filer metal*, memiliki sifat yang baik pada pengelasan, pengelasan yang aman dikarenakan tidak memakai gas, merupakan pengelasan yang efisien dan cepat, biaya yang lebih efisien, dan aman terkena dari sinar *ultraviolet* (Nugroho dkk, 2016).

Penelitian kali ini akan membahas karakterisasi bentuk *pin tool* silinder ulir terhadap sifat mekanik yang materialnya menggunakan polimer *nylon 6*. Dalam penelitian ini memerlukan material yang perlu dipersiapkan dengan berbagai parameter pengelasan untuk pengujian uji tarik, struktur makro, dan uji kekerasan. Dalam prinsip kerja FSW yaitu gesekan yang dimanfaatkan dari alat yang berputar dan dilengkapi silinder yang menonjol (*pin tool*) dan silinder luar yang berukuran lebih besar dari pin (*shoulder*) yang turun di antara permukaan dua benda material yang sisinya dirapatkan ke dua sisinya yang akan membentuk garis las. *Shoulder* adalah sumber utama untuk pembangkit panas apabila dibandingkan dengan panas yang dihasilkan dari *pin tool*, deformasi geser terjadi disekitar pin tool yang memberikan efek termal sangat diperlukan untuk dilakukan proses FSW (Rezgui, dkk, 2011).

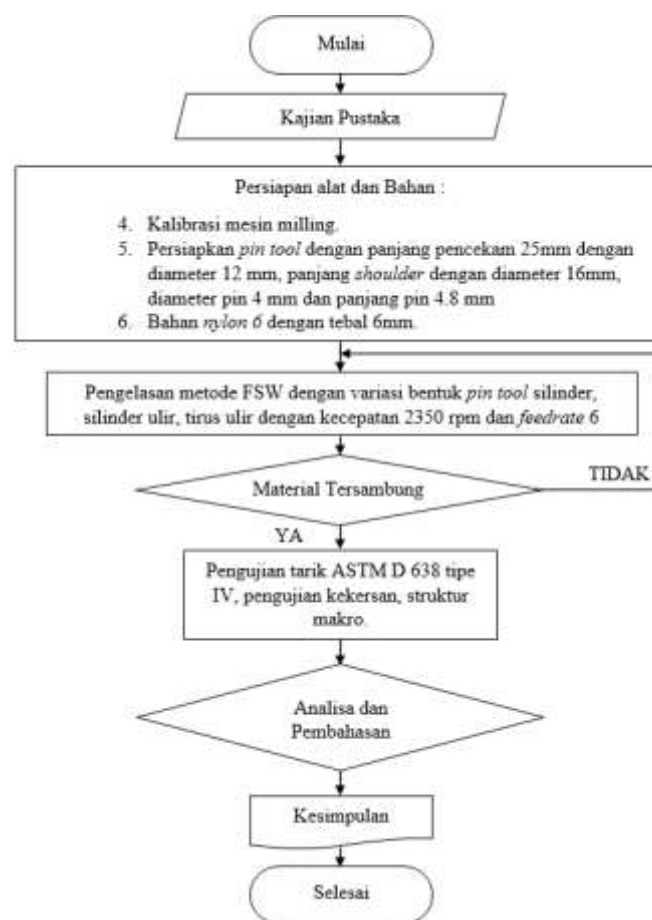
Pada polimer *nylon 6*, metode pengelasan *friction stir welding* (FSW) merupakan proses pengelasan efektif dalam penyambungan las yang kontinyu (Shaikh, dkk, 2012). Aplikasi sambungannya menggunakan yang sering digunakan saat ini karena memiliki keunggulan seperti mudahnya otomasi, rendahnya tegangan sisa, dan memiliki kekuatan mekanik pada daerah lasan yang cukup relevan (Sukmawan, 2016). Sebelumnya dari sebagian penelitian FSW yang dikaji ditemukan bahwa untuk penggunaan parameter *pin tool* belum banyak dilakukan penelitian yang menggunakan metode *friction stir welding* dengan lembaran HDPE. Pada percobaan menggunakan *feed rate* 10 mm/menit dengan kecepatan putaran 5000 rpm, *pin tool* dengan diameter 3 mm menghasilkan hasil pengelasan yang baik. Maka didapatkan hasil setelah percobaan dengan bentuk *pin tool*

yang lebih besar mendapatkan hasil buruk pada lasan, kekuatan tertinggi antara 10 Mpa, sedangkan bahan dasar mencapai 23 Mpa. Parameter yang digunakan salah satunya yaitu bentuk *pin tool* dengan menggunakan variasi bentuk diameter pin (Squeo dkk, 2009).

Bentuk *pin tool* merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi hasil las pada pengelasan FSW, antara lain struktur makro dan sifat mekanik sambungan lasnya. Maka dari itu, tujuan utama dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh bentuk *pin tool* pada kekuatan mekanik dari pengelasan *friction stir welding* yang menggunakan material benda kerja polimer *nylon 6*. Selanjutnya dilakukan pengujian sifat mekanik pada hasil pengelasan.

2. Metode Penelitian

Langkah – langkah proses pengelasan dengan metode FSW dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Pada proses pengelasan menggunakan mesin milling, mesin *milling* berperan penting dalam proses pengelasan FSW ini dikarenakan mesin *milling* alat yang berfungsi untuk menjalankan putaran *tool* yang bergesekan langsung dengan spesimen. Kerja dari mesin *milling* ini yaitu dengan mengubah energi listrik menjadi gerak utama yang selanjutnya gerak utama tersebut melewati suatu transmisi yang menghasilkan gerakan putar pada *spindel* mesin *milling* tersebut. *Spindel* pada mesin *milling* ini berguna untuk mencekam dan memutar *tool* yang menghasilkan putaran. Putaran pada *tool* ini selanjutnya ditempelkan pada material yang telah dicekam dan akan menghasilkan panas yang berfungsi untuk melunakkan material dan terjadilah proses penyambungan.



Gambar 2 Mesin milling

Pada penelitian ini material yang digunakan yaitu nylon 6 dengan ukuran 115 mm x 110 mm x 4 mm yang ditunjukkan pada gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3 Lembaran material nylon 6

2.1 Pengujian Makro

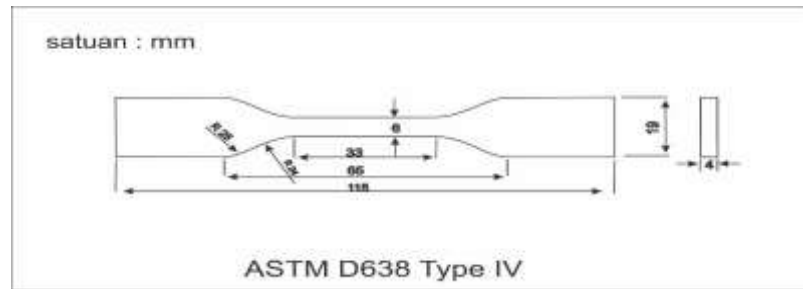
Dalam pengujian struktur makro ini atau foto makro memiliki tujuan untuk menganalisa permukaan material yang sudah selesai pada proses pengelasan. Selain itu, pengujian ini berfungsi untuk menunjukkan daerah seperti *advancing side*, *stir zone*, *retresting side* dan juga cacat pada hasil pengelasan. Pengujian foto makro ini menggunakan alat mikroskop dengan metode yang bervariasi.

2.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan merupakan sebuah metode untuk mengetahui nilai kekerasan dan sifat mekanik pada material *nylon 6*. Pada pengujian kekerasan penelitian ini menggunakan alat *Shore D*. Alat *Shore D* ini menggunakan satuan HD dikarenakan jenis pengujian kekerasannya memiliki tingkat yaitu nilai empiris yang berarti perbandingan berjarak antara 0 sampai 100 HD.

2.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik ini dilakukan setelah proses penyambungan material selesai dan material sudah dipotong. Pemotongan material ini harus sesuai standar aturan yang ditentukan yaitu ASTM D638 tipe IV dengan ketebalan 4 mm.



Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl		4 (0.16) or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV ¹⁾	Type V ^{1),2)}		
W—Width of narrow section ^{1),2)}	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	±0.5 (±0.02) ^{3),4)}	
L—Length of narrow section	37 (2.25)	37 (2.25)	37 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	±0.5 (±0.02) ⁴⁾	
WO—Width overall, min ¹⁾	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	—	+ 6.4 (+ 0.25)	
W—Width overall, min ¹⁾	—	—	—	—	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)	
LO—Length overall, min ¹⁾	186 (8.5)	183 (7.2)	248 (9.7)	115 (4.5)	83.5 (2.5)	no max (no max)	
G—Gage length ¹⁾	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	—	7.62 (0.300)	±0.25 (±0.010) ⁵⁾	
G—Gage length ¹⁾	—	—	—	25 (1.00)	—	±0.13 (±0.005)	
D—Distance between grips	115 (4.5)	125 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) ⁶⁾	25.4 (1.0)	±5 (±0.2)	
R—Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	±1 (±0.04) ⁷⁾	
RO—Outer radius (Type IV)	—	—	—	25 (1.00)	—	±1 (±0.04)	

Gambar 4 Dimensi ukuran material dengan standar ASTM D638 tipe 4

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengelasan

Hasil pengelasan dengan metode FSW menggunakan parameter pengaruh bentuk pin tool dengan variasi bentuk pin tool silinder, silinder ulir, tirusulir.



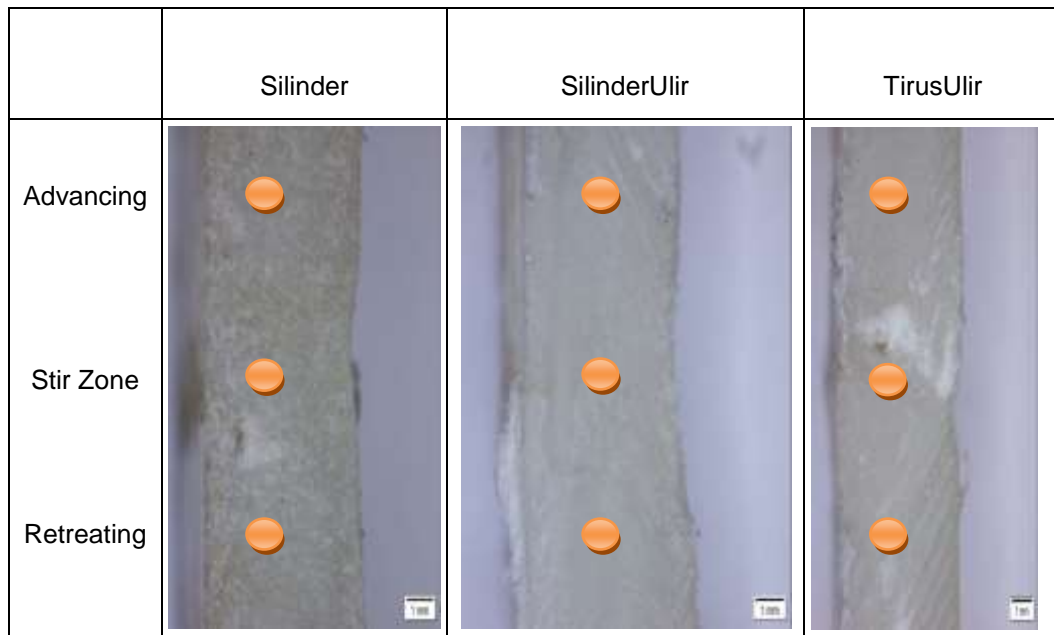


Gambar 5 Hasil pengelasan dengan metode FSW menggunakan parameter variasi bentuk *pin tool* a. Silinder, b. Silinder ulir, c. Tirus ulir dengan kecepatan putar *spindle* 2350 rpm dan *feed rate* 6 mm/menit.

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

3.2 Hasil Foto Makro

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



Gambar 6 Hasil foto makro dari jenis *pin tool* a) silinder, b) silinder ulir, c) tirus ulir

Hasil foto makro dengan parameter variasi bentuk *pin tool* silinder memiliki cacat sedikit yaitu *incomplete fusion* pada daerah *stir zone* yang dikarenakan saat pengelasan berlangsung menghasilkan *heat input* yang terlalu besar sehingga saat proses berlangsung kendali panas tidak berjalan dengan baik. Selanjutnya pada parameter variasi bentuk *pin tool* silinder ulir juga memiliki cacat yang sedikit yaitu *crack* pada daerah *stir zone* yang diakibatkan saat proses pengelasan berlangsung *heat input* yang dihasilkan terlalu kecil sehingga mengakibatkan tidak meratanya lelehan pada saat adukan penyambungan molekul-molekul yang telah mengeras kembali tidak dapat menyatu dan untuk parameter variasi tirus ulir memiliki cacat terbanyak antara lain *flash*, *thinning* dan *incomplete fusion*. Cacat *flash* diakibatkan oleh lebihnya sisa lelehan material serta zona aduk pada permukaan yang tidak sempurna dikarenakan luas bidang gesek pin yang besar sehingga menghasilkan panas yang tinggi sedangkan untuk cacat *thinning*.

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

3.3 Hasil Uji Kekerasan

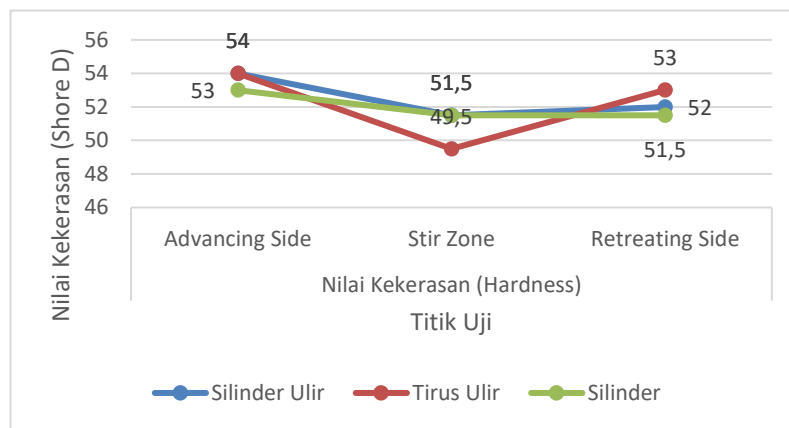
Pengujian kekerasan ini menggunakan hasil pengelasan dari 3 jenis bentuk *pin tool* yaitu silinder, silinder ulir dan tirus ulir dengan kecepatan putar *spindel* 2350 rpm dan *feed rate* 6 mm/menit. Pada pengujian ini titik pengujian diambil dari 3 titik yaitu *advancing side*, *stir zone* dan *retreating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

Tabel 1. Hasil pengujian kekerasan

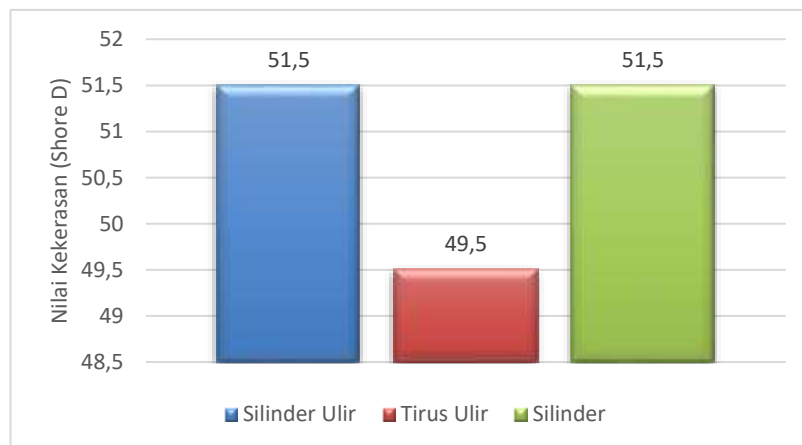
No	Variasi	Nilai Kekerasan (<i>Shore D</i>)		
		<i>Advancing Side</i>	<i>Stir Zone</i>	<i>Retreating Side</i>
1	Silinder	53	51,5	51,5
2	Silinder Ulir	54	51,5	52
3	Tirus Ulir	54	49,5	53



Gambar 7 Skema titik pada uji kekerasan



Gambar 8. Grafik nilai kekerasan pada titik pengambilan



Gambar 9. Grafik nilai kekerasan pada daerah stir zone

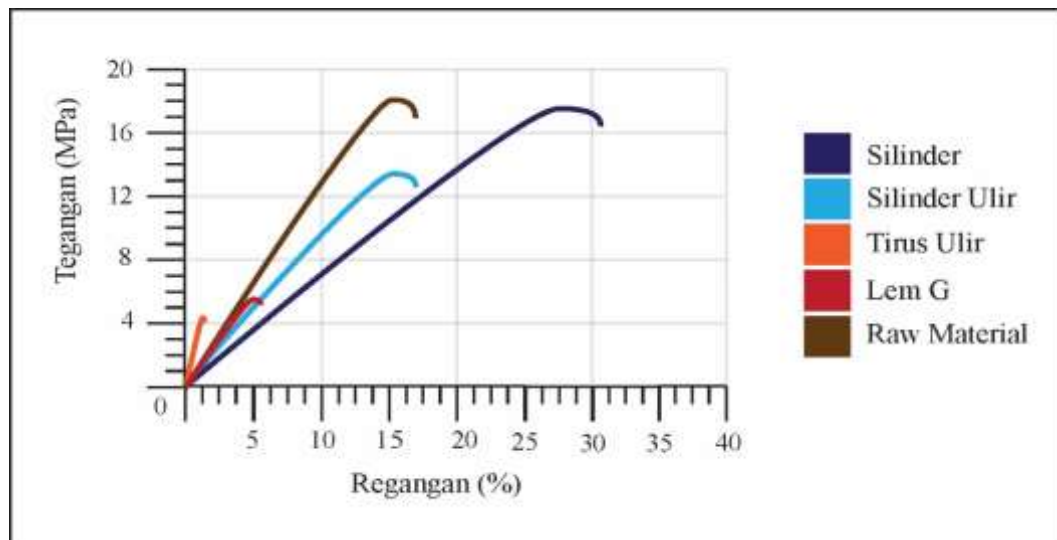
Nilai kekerasan yang diambil pada 3 titik daerah pengambilan yaitu *advancing side*, *stir zone* dan *retreating side*. Jenis material *nylon 6* dengan *tool* silinder pada daerah induk materialnya yaitu *advancing side* atau daerah yang terkena arah maju gesekan *tool* memiliki nilai kekerasan sebesar 53 Shore D. Sedangkan pada jenis material *nylon 6* dengan *pin tool* silinder ulir dan tirus ulir pada daerah induk materialnya memiliki nilai kekerasan yang sama yaitu 54 Shore D. Pada daerah *stir zone* (daerah adukan) ini merupakan daerah penyambungan sehingga lelehan material terjadi didaerah ini dan daerah ini memiliki nilai kekerasannya paling rendah. Jenis material *nylon 6* dengan

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

Nilai kekerasan pada daerah *stir zone* (daerah adukan) material *nylon 6* dan dengan parameter variasi 3 bentuk *pin tool*. Pada nilai dari hasil penyambungan jenis bentuk *pin tool* silinder dan silinder ulir memiliki nilai *stir zone* yang sama dan tertinggi yaitu 51,5 *Shore D* dan untuk hasil penyambungan dengan jenis *pin tool* tirus ulir memiliki nilai 49,5 *Shore D*. Hal ini disebabkan oleh panas dari gesekan *tool* jenis tirus ulir yang tidak terlalu tinggi sehingga luas bidang gesek pada *tool* terlalu besar menyebabkan lelehan pada material tidak efisien sehingga penyambungan tidak terlalu baik dan nilai kekerasan pada material *nylon 6* kurang baik. Sedangkan jenis *pin tool* silinder dan silinder ulir memiliki luas bidang gesek tidak besar disebabkan dari gesekan *tool* yang tinggi menyebabkan lelehan pada proses pengelasan efisien dan hasil penyambungannya baik sehingga nilai kekerasan pada material *nylon 6* baik dan bagus.

3.4 Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik untuk penelitian ini sesuai dengan standar ASTM D638 tipe 4, dikarenakan jenis material yang digunakan adalah polimer *nylon 6* dengan ketebalan 4 mm.



Gambar 10 Kurva beban dan elongasi pengujian tarik

Kurva hasil pengujian tarik yang mencakup sambungan lem korea (G), sambungan FSW dan *raw material*. Pada gambar 12 nilai tegangan, regangan dan *modulus elastisitas*. Garis pada kurva berwarna hijau merupakan material *nylon 6* tanpa perlakuan sehingga menghasilkan nilai tegangan, regangan, dan *modulus elastisitas* yang cenderung tinggi. Parameter variasi kecepatan *spindel* 2350 rpm, *feed rate* 6 mm/menit dengan bentuk *pin tool* jenis silinder merupakan nilai yang terdekat dengan nilai *raw material* dikarenakan lelehan pada sambungan lebih merata dan penyambungan cenderung saling mengisi antara kedua material *nylon 6*. Nilai terendah ditunjukkan garis berwarna hitam yang didapatkan pada parameter variasi kecepatan putar *spindel* 2350 rpm, *feed rate* 6 mm/menit dengan bentuk *pin tool* jenis tirus ulir dikarenakan pada saat penyambungan berlangsung pengisian tidak terisi secara maksimal menghasilkan rongga

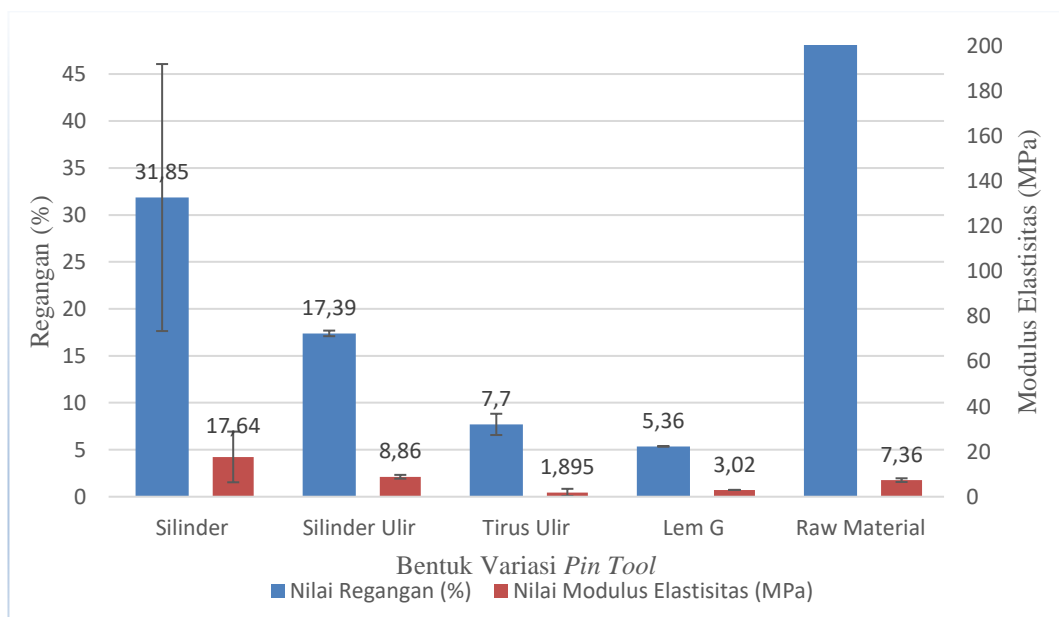
serta lelehan tidak semuanya merata sehingga daerah sambungan cenderung cepat mengeras dan tidak bisa tersambung antara kedua material *nylon 6*.

Tabel 2. Nilai regangan dan modulus elastisitas pada pengujian tarik

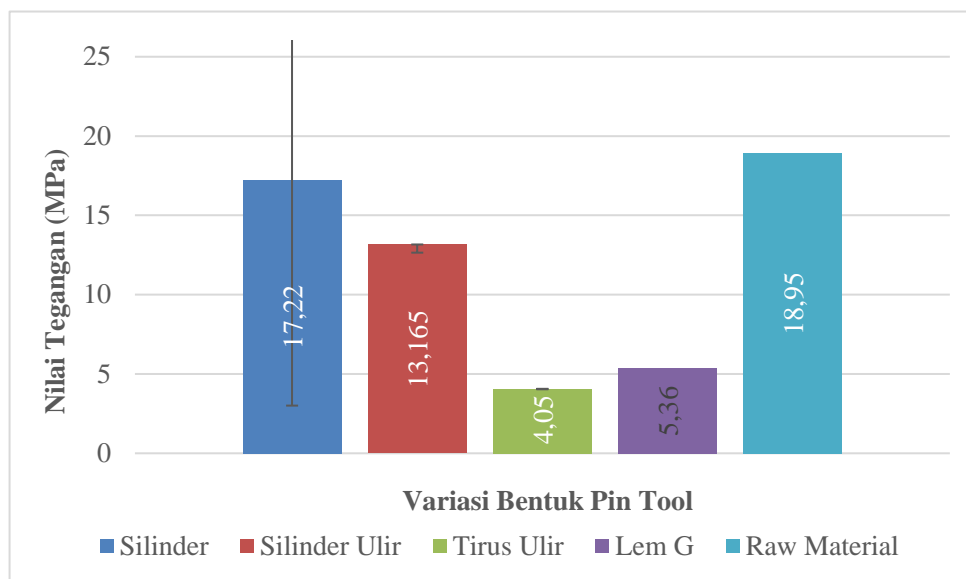
No	Variasi	Nilai Regangan (%)	Nilai Modulus Elastisitas (MPa)	Standar Deviasi Regangan	Standar Deviasi Modulus Elastisitas
1	Silinder	31,85	17,64	14,212846	11,24299782
2	Silinder Ulir	17,39	8,86	0,296984848	0,834386002
3	Tirus Ulir	7,7	1,895	1,13137085	1,605132393
4	Lem G	5,36	3,02	0	0
5	Raw Material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

Tabel 3. Hasil tegangan (MPa) pada pengujian Tarik

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



Gambar 11 Grafik nilai regangan dan modulus elastisitas pada pengujian tarik



Gambar 12 Grafik nilai tegangan pada pengujian tarik

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

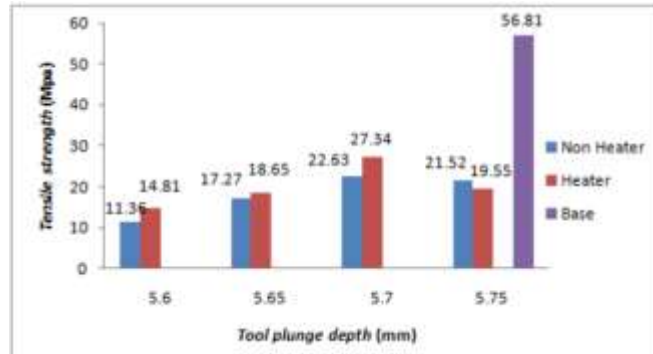
Pada hasil nilai *modulus elastisitas* nilai tertinggi didapatkan pada sambungan FSW bentuk *pin tool* silinder dengan nilai 17,64 MPa, sedangkan sambungan pengelasan FSW bentuk *pin tool* tirus ulir yang memiliki nilai terendah yaitu 1,89 MPa. Hasil *modulus elastisitas* yang optimal dihasilkan pada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

Tabel 3 merupakan nilai tegangan setiap jenis bentuk *pin tool* dengan pengelasan metode FSW, penyambungan lem korea serta *raw material*. Nilai tertinggi untuk tegangan didapatkan pada *raw material* sebesar 18,95 MPa yang memang perbandingan antara penyambungan lem korea (G) dan pengelasan metode FSW. Bentuk *pin tool* jenis tirus ulir yang mendapatkan nilai terendah yaitu 4,05 MPa dikarenakan pada sambungan material *nylon 6* bentuk *pin tool* tirus ulir saat pengelasan tidak sempurna, sehingga mengakibatkan terjadinya cacat *incomplete fusion*, *thining* serta *flash* bila dibandingkan dengan sambungan FSW untuk nilai tertinggi yaitu bentuk *pin tool* silinder memiliki nilai 17,22 MPa. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan nilai paling tinggi pada sambungan FSW bentuk *pin tool* silinder dikarenakan saat pengelasan berlangsung pengisian merata dan cacat yang dihasilkan sangatlah sedikit yaitu *incomplete fusion*.

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

Tabel 4 Hasil nilai dari pengujian tarik

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

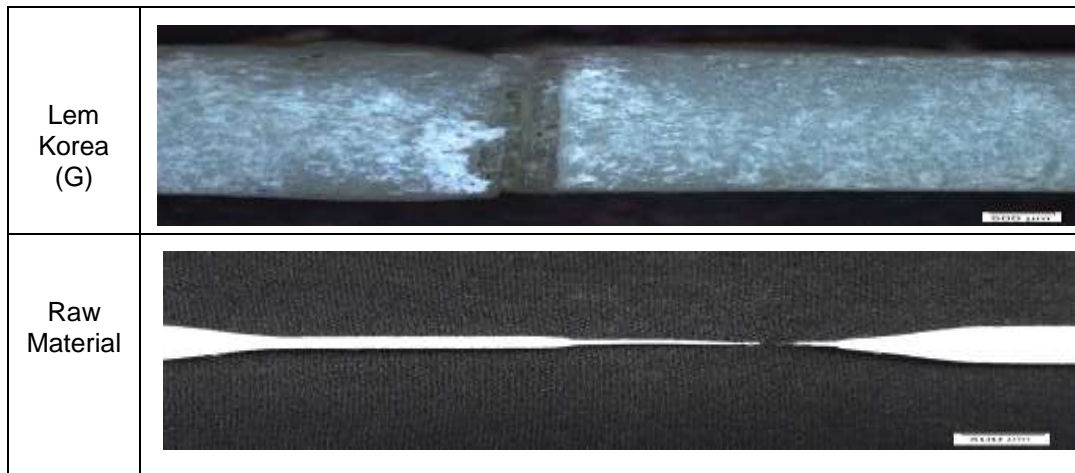


Gambar 13 Hasil pengujian tarik

3.5 Fraktografi

Pada penelitian ini terdapat juga fraktografi yang merupakan foto setelah dilakukannya pengujian tarik. Fraktografi bertujuan untuk mengetahui hasil bagaimana material yang sudah selesai pengujian tarik.

	Gambar
Silinder	
Silinder Ulir	
Tirus Ulir	



Gambar 14. Hasil patahan uji tarik tampak samping

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

4. Kesimpulan

Pada penelitian Karakterisasi Sambungan *Friction Stir Welding Similar* untuk Material *Nylon 6* dengan Variasi *Pin Tools* dapat disimpulkan bahwa sifat mekanis paling optimal didapatkan *pin tool* silinder dengan nilai efisiensi sebesar 90,87 % dari *raw material*. Untuk hasil terendah didapatkan pada sambungan *pin tool* tirus ulir dengan nilai kuat tarik sebesar 4,05 MPa. Maka dari itu dapat disimpulkan juga :

1. Pengujian foto makro menunjukkan hasil yang sedikit mendapati cacat yaitu bentuk *pin tool* silinder dengan cacat *crack* dibandingkan bentuk *pin tool* tirus ulir yang mengalami cacat lebih banyak antara lain *flash*, *thinning* serta *incomplete fusion*. Cacat *crack* sendiri di sambungan las dengan bentuk *pin tool* silinder jika memiliki kedalaman dan luasan yang berlebihan akan mengakibatkan material cenderung rapuh.
2. Pada pengujian kekerasan didapatkan hasil yang optimal pada bentuk *pin tool* silinder dan silinder ulir sebesar 51,5 Shore D berbanding terbaillk dengan bentuk *pin tool* tirus ulir yang memiliki nilai terendah yaitu 49,5 Shore D sehingga luas bidang gesek pada tool terlalu besar mengakibatkan lelehan menjadi tidak efisien.
3. Hasil pengujian tarik penelitian ini nilai tegangan tertinggi didapatkan pada bentuk *pin tool* silinder dengan nilai 17,22 MPa dan nilai regangannya 31,85 % berbeda dengan bentuk *pin tool* tirus ulir mendapatkan nilai tegangan terendah sebesar 4,05 MPa serta nilai regangannya 7,7 %. Untuk nilai modulus elastisitas nilai tertinggi didapatkan pada bentuk *pin tool* silinder dengan nilai 17,64 MPa sedangkan nilai terendah didapatkan bentuk *pin tool* tirus ulir sebesar 1,895 MPa.
4. Pengelasan metode *friction stir welding* (FSW) dengan material *nylon 6* ini dinyatakan berhasil dan menjadi pengelasan alternatif serta efektif. Untuk bentuk *pin tool* yang baik digunakan yaitu silinder dikarenakan memiliki hasil yang optimal, sifat mekanik terbaik dan permukaan merata.

Daftar Pustaka

- Husain, Imad M., Salim, Raed K., Azdast, Taher., Hasanifard, Soran., Shishavan, Sajjad M., & Lee, Richard Eungkee. (2015). *Mechanical properties of friction-stir-welded polyamide sheets. International Journal of Mechanical and Materials Engineering*. 10:18.
- Nugroho, B., Triyono., & Muhayat, Nurul. (2016). Pengaruh plunge depth dan preheat terhadap sifat mekanik sambungan friction stir welding. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, vol 11, 77-82.
- Panneerselvam, k., & Lenin, k. (2013). Joining of Nylon 6 Plate by Friction Stir Welding Process using threaded pin profile. *Material and Design.*, 302-307.
- Rezgui, Mohamed Ali., Trabelsi, Ali-Chedli., Hamrouni, Khaled., & Ayadi, Mahfoudh. (2011). Optimization of Friction Stir Welding Process of High Density Polyethylene. *International Journal of Production and Quality Engineering*, vol 2, No. 1, 55-61.
- Shaikh, Asad-Ali., Salam, Iftikhar us. (2014). FSW of AA-2014, Optimization of welding conditions for improved weld joint efficiency. *Turki*. 1-13.
- Sukmawan, Gesa., Danardono, Dominicus., Kusharjanta, Bambang, (2016). Simulasi Distribusi Temperatur pada Friction Stir Welding dengan Tool Pin Silinder dan Tirus. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia, (S.I)*, v. 11, n. 1, p. 20-24.
- Squeo, Erica-Anna., Bruno, Giuseppe., Guglielmotti., Quadrini, Fabrizio. (2009). Friction Stir Welding of Polyethylene Sheets. *Technologies In Machine Building*. 1-7.