

# Karakterisasi Sambungan *Friction Stir Welding* untuk Material *Polycarbonate* dengan Variasi Kecepatan Putar Mesin dan Diameter *Pin Tools*

Abdul Maulana<sup>a</sup>, Aris Widyo Nugroho<sup>b</sup>, Cahyo Budiyanoro<sup>c</sup>

<sup>a</sup>UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

Jl. Brawijaya, Kasihan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta  
+62 813 8304 3142

e-mail: abdulmaulana84@gmail.com

<sup>b</sup>UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

Jl. Brawijaya, Kasihan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta  
+62 856 4336 1829

e-mail: nugrohoaris@gmail.com

---

## Abstrak

*Polycarbonate* adalah sekelompok polimer termoplastik yang mudah dibentuk dengan menggunakan panas. Plastik ini memiliki banyak keunggulan, seperti tahan panas yang lebih tinggi dari jenis plastik lainnya, tahan terhadap benturan, dan sangat jernih. Terkait dengan kasus ini, kebutuhan akan suatu bentuk pemrosesan pada suatu teknologi juga akan meningkat yang dapat diterapkan pada material, sehingga material tersebut lebih efisien. Salah satunya adalah metode *friction stir welding*. Karena metode ini memiliki potensi yang sangat tinggi dalam proses penyambungan termoplastik. Salah satu termoplastik adalah polikarbonat. Besar diameter *pin tools* dan kecepatan rotasi adalah faktor yang mempengaruhi hasil proses *friction stir welding*. Seperti sifat mekanik dan struktur material hasil sambungan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh diameter *pin tools* dan kecepatan rotasi terhadap struktur material dan kekuatan mekanik pada *friction stir welding* menggunakan bahan *polycarbonate*.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah lembaran *polycarbonate* dengan ketebalan 5 mm, panjang 150 mm dan lebar 100 mm. Penyambungan material dilakukan dengan kecepatan putar 985, 1660, 2350 rpm, kecepatan pemakanan 16 mm / menit, *depth of plunge* 4,8 mm, *pin tools* yang digunakan adalah silinder ulir dengan besar diameter 3 dan 4 mm. Pada penelitian ini dilakukan 3 (tiga) pengujian seperti pengujian tarik, pengujian kekerasan, dan pengujian struktur makro.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *pin tool* dengan diameter 4 mm mendapatkan hasil yang terbaik dimana pada hasil permukaan material terlihat lebih merata dan dilihat dalam struktur makro hanya mempunyai sedikit cacat pada pengelasan. Untuk nilai kekuatan tarik terbesar didapatkan 27,174 MPa dan nilai regangan 2,045 %. Sedangkan untuk base material nilai yang didapatkan untuk kekuatan tarik sebesar 82,87 MPa dan regangan 4,86 % dimana untuk nilai tertinggi dari hasil pengelasan didapatkan 32,791 % kekuatan tarik dan 42,078% regangan dari base material. Berdasarkan hasil yang diperoleh diatas, *pin tool* yang direkomendasikan adalah pin berukuran diameter 4 mm dan kecepatan putar mesin 985 rpm karena pada variasi ini didapatkan hasil permukaan dan sifat mekanik material yang lebih baik daripada variasi lainnya.

**Kata kunci :** *friction stir welding, polycarbonate, pin tool, base material feed rate, depth of plunge*

---

## 1. PENDAHULUAN

Dalam membuat sambungan yang memiliki efisiensi tinggi (perbandingan kuat sambungan dengan kuat material) dengan metode penyambungan merupakan suatu pilihan terbaik dalam melakukan sebuah proses pengelasan saat ini (Kiss dan Czygany,

2007; Arici dan Sinmaz, 2005). Pengelasan merupakan suatu proses dua buah material yang dipanaskan sampai mengalami proses pencairan antara dua material sehingga terjadi ikatan metalurgi dari kedua material.

Seperti yang dikutip oleh (squeo dkk, 2009) kecepatan pengelasan sangat berpengaruh terhadap kekuatan hasil lasan, semakin tinggi kecepatan putar menghasilkan pengelasan yang tidak memiliki banyak kecacatan, dan bentuk diameter juga berpengaruh, semakin besar diameter pin tool maka hasil yang didapatkan pada proses pengelasan menjadi lebih kecil untuk kekuatan yang didapatkannya. Kecepatan putar juga berpengaruh terhadap penelitian yang dilakukan oleh (Rezgui dkk, 2010) yang mana kecepatan putar tertinggi akan didapatkan hasil pengelasan yang baik, karena pada saat proses pengadukan material akan lebih merata dan saling mengikat antara material satu dengan material yang lainnya yang menyebabkan struktur makro dari material tersebut berubah. Akan tetapi adapun hasil dari penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa kekuatan pengelasan meningkat saat kecepatan rotasi meningkat. Namun semakin meningkat kecepatan putaran (lebih tinggi dari 1570 rpm) akan menurunkan kekuatan pengelasan (Husain dkk, 2005). Menurut (Santosh dkk, 2017) pin tool yang mempunyai diameter lebih tinggi akan mengikis material secara konstan dari ujung ke ujung, dan dengan pin tool yang berbentuk silindris didapatkan hasil kekuatan yang paling tinggi.

Pengelasan seperti ini biasa dilakukan terhadap material polimer seperti *polycarbonate, polypropilene, nylon*, dan polimer lain. Proses pengelasan polimer dibagi kedalam dua kelompok, yaitu proses yang memanfaatkan gerakan mekanis sebagai metode untuk menghasilkan panas yang akan mencairkan material contohnya : *ultrasonic welding, fiction welding, friction stir welding dan vibration welding*. Dan proses pengelasan yang melibatkan sebuah pemanasan eksternal seperti *hotplate welding* (Arici dan Sinmaz, 2005).

Mendes dkk. (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh gaya aksial, kecepatan rotasi dan *transverse*, kualitas pengelasan, kekuatan tarik, dan regangan tarik pada pengelasan FSW. Digunakannya lembaran bahan *Aklironitril Butadiena Styrene* (ABS), sistem shoulder dan sistem robot dikembangkan untuk tujuan ini. Ditemukan bahwa gaya aksial yang tinggi mendorong bahan polimer cair, mencegah kontak udara kedalam lasan dan membantu pendinginan pada lasan dan menghindari susut. Dan diamati juga bahwa gaya aksial dan kecepatan rotasi yang tinggi akan meningkatkan kuat tarik dan regangan pada hasil lasan.

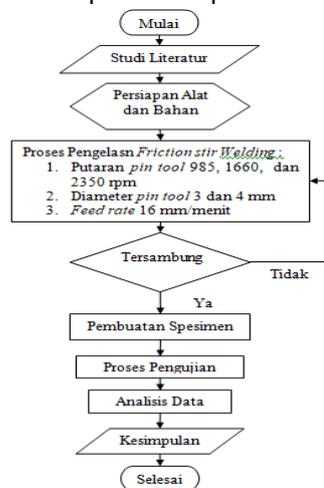
Sazly dkk. (2018) melakukan penelitian tentang proses pengelasan menggunakan metode *friction stir welding* menggunakan bahan *polycarbonate sheet*. Pada penelitian ini menggunakan variasi kecepatan putar dengan nilai 1000, 1220, dan 1850 rpm dengan sudut kemiringan 1 dan 3 derajat. Didapatkan bahwa *polycarbonate* berhasil tersambung menggunakan metode FSW, dan didapatkan efisiensi hasil sambungan 30.78 % yang didapatkan dari variasi parameter 1220 rpm, kecepatan pengelasan 40 mm/menit dan menggunakan sudut kemiringan 1 derajat. Hal ini berkaitan dengan tingkat deformasi yang lebih rendah yang dicapai dengan sudut kemiringan yang disebabkan oleh penurunan area kontak antara shoulder dengan material yang dilas. Terlihat bahwa peningkatan parameter *friction stir welding* menyebabkan peningkatan pada deformasi didalam zona pengelasan yang mempengaruhi nilai kekerasan dan distribusi nilai – nilai diseluruh zona pengelasan.

Dari penelitian – penelitian sebelumnya, bentuk pin tool dan kecepatan putar mesin merupakan salah satu faktor yang sangat penting yang dapat mempengaruhi hasil pengelasan pada proses *friction stir welding*, terutama dari hasil struktur makro, dan sifat mekanik pada sambungan yang dihasilkan. Oleh sebab itu, tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh bentuk pin tool dan kecepatan putar mesin terhadap hasil pengelasan menggunakan metode *friction stir welding* dengan menggunakan benda kerja *polycarbonate* (PC) dengan ketebalan 5 mm, lebar 100 mm dan panjang 150 mm, yang kemudian hasil pengelasan dilakukan pengujian sifat mekanik, struktur makro dan kekerasan pada hasil pengelasan.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Diagram Alir

Pada penelitian ini memiliki beberapa langkah yang dilakukan. Adapun langkah – langkah dalam proses penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

### 2.2 Bahan Penelitian dan Tool Desain

#### 2.2.1 Bahan Dasar



Gambar 2 Polycarbonate Sheet

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu lembaran polimer jenis polycarbonate (PC) dengan ketebalan 5 mm, panjang 150 mm dan lebar 100 mm seperti pada Gambar 2. Adapun sifat fisik dan kimia polycarbonate (PC) terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Sifat mekanik polycarbonate

Mechanical Properties of Polycarbonate	
Tensile strength	55 - 80 Mpa
Elongation at break	80 - 200 %
Flexural strength	100 - 150 Mpa
Notched impact strength	>20 kJ/m <sup>2</sup>

(Budiyantoro, 2018)

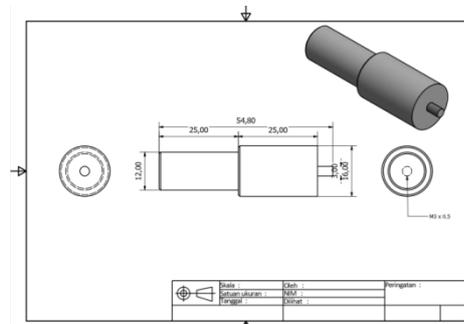
#### 2.2.2 Pin Tool

Pin tool adalah alat yang terbuat dari logam berbentuk silinder bertingkat dilengkapi sebuah pin dan shoulder yang digunakan untuk menggesek kedua sisi material yang akan di las sampai mendekati titik leleh hingga tersambung. Pada penelitian ini menggunakan bentuk pin tool silinder ulir, dengan 2 variasi diameter pin yang berbeda (3 mm dan 4 mm), seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3 pin tool

Proses pembuatan tool diawali dengan pembuatan desain tool dengan menggunakan software autodesk inventor 2018 yang berlokasi di Lab Komputer Teknik Mesin Uneversitas Muhammadiyah Yogyakarta. Sebelum pembuatan pin tool dilakukan pemilihan bahan, pada penelitian ini dipilih bahan Stainless Steel sebagai material utama pembuatan pin tool, selanjutnya untuk pengerjaan tool dikerjakan sendiri dengan menggunakan mesin bubut yang berlokasi di Lab Fabrikasi Teknik Mesin Uneversitas Muhammadiyah Yogyakarta. Adapun desain serta dimensi *pin tool* dapat dilihat pada Gambar 4.

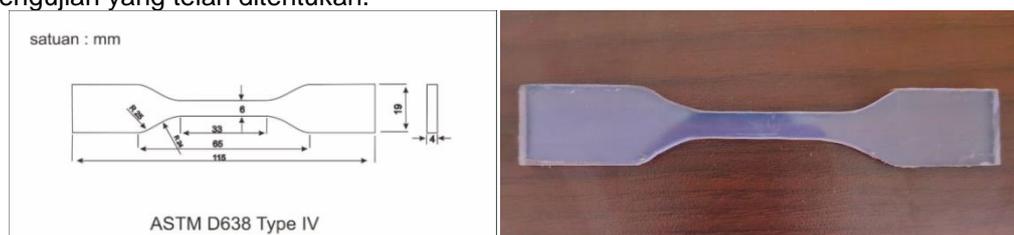


Gambar 4 Sketsa Pin Tool

### 2.3 Proses Pengelasan dan Persiapan Pengujian

Proses pengelasan *Friction stir welding* pada penelitian ini menggunakan mesin milling dengan parameter yang sudah ditentukan dari percobaan pengelasan material guna mendapatkan hasil yang cukup maksimal dan dibuat konstan yaitu ; bentuk pin tool silinder berulir, diameter pin tool 3mm dan 4mm, kecepatan putaran spindel 985, 1660, 2350 rpm, suhu awal pengadukan material 40°C dan feed rate 16 mm/menit.

Persiapan spesimen uji dilaksanakan pada sambungan lembaran polycarbonat yang telah disambung dengan menggunakan metode pengelasan friction stir welding. Kemudian langkah awal sebelum pembuatan spesimen uji yaitu pembuatan sketsa atau pola sesuai dengan standar pengujian yang digunakan yakni ASTM D 638 tipe IV seperti pada Gambar 3.12 dan 3.13 untuk spesimen uji tarik. Pembuatan spesimen uji dilakukan di Citra Jogja Kereasi dengan menggunakan teknologi water jet untuk mempermudah dan mempercepat proses pembuatan spesimen uji. Setelah pembuatan spesimen uji dengan water jet selesai, spesimen yang tebal awalnya 5 mm dibuat 4 mm dengan cara mengamplas permukaan spesimen dengan menggunakan amplas kasar 600 dan 800 untuk mempercepat pengurangan tebal spesimen dan amplas 1000 menghaluskan permukaan spesimen guna menyesuaikan dimensi tebal spesimen dengan standar pengujian yang telah ditentukan.

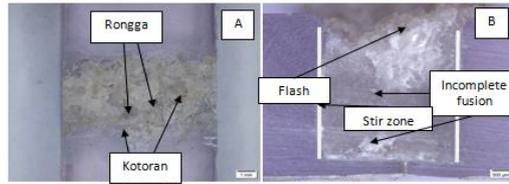


Gambar 5 Sketsa Spesimen Uji Tarik dan Spesimen Uji Tarik

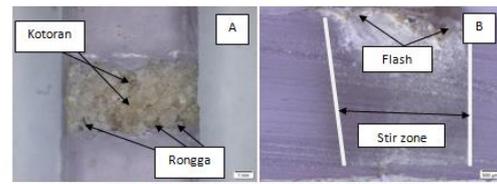
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil dan Foto Makro

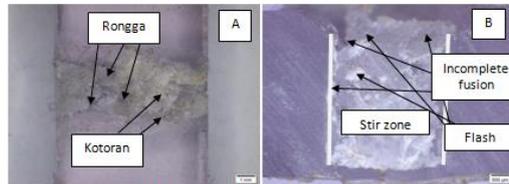
Hasil dari pengamatan pengujian struktur makro pada hasil pengelasan menggunakan metode friction stir welding menggunakan material *polycarbonate simmilar sheet* dengan variasi kecepatan putar mesin dan diameter pin tool terdapat pada gambar 4.7 - 4.12 yang mana (A) menunjukkan hasil dari bagian atas,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



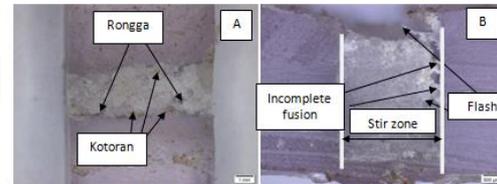
Gambar 4.7 Hasil struktur makro 985 rpm/3 mm



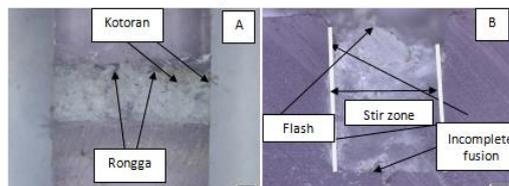
Gambar 4.8 Hasil struktur makro 985 rpm/4 mm



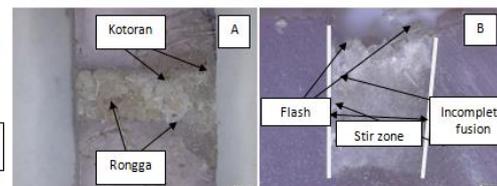
Gambar 4.9 Hasil struktur makro 1660 rpm/3 mm



Gambar 4.10 Hasil struktur makro 1660 rpm/4 mm



Gambar 4.11 Hasil struktur makro 2350 rpm/3 mm



Gambar 4.12 Hasil struktur makro 2350 rpm/4 mm

Pada hasil pengelasan pada gambar 7 menunjukkan bahwa hasil pengelasan didapat cukup baik, karena cacat yang terjadi di daerah lasan lebih sedikit, cacat yang terjadi pada hasil lasan ini ada sedikit *incomplete fusion* dan rongga pada permukaan hasil lasan yang bisa mematahkan hasil sambungan.

Pada hasil pengelasan pada gambar 8 menunjukkan bahwa hasil pengelasan didapat cukup baik, karena cacat yang terjadi di daerah lasan lebih sedikit, cacat yang terjadi pada hasil lasan ini ada sedikit *flash* dan rongga pada permukaan hasil lasan.

Pada hasil pengelasan pada gambar 9 menunjukkan bahwa hasil pengelasan didapat kurang baik, karena cacat yang terjadi di daerah lasan lebih banyak terdapat *flash* dan ada beberapa *incomplete fusion* pada hasil lasan, yang dapat menyebabkan patahnya hasil lasan dengan cepat.

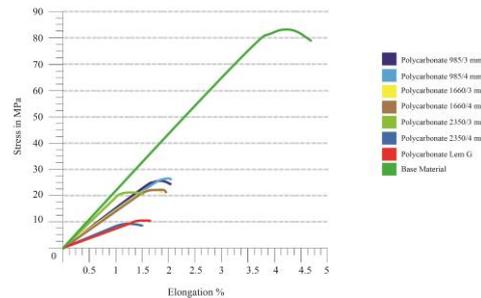
Pada hasil pengelasan pada gambar 10 menunjukkan bahwa hasil pengelasan didapat kurang baik, karena cacat yang terjadi di daerah lasan lebih banyak terutama adanya *incomplete fusion* pada hasil lasan yang kemungkinan besar menjadi salah satu ancaman patahnya material tidak terduga.

Pada hasil pengelasan pada gambar 11 menunjukkan bahwa hasil pengelasan didapat cukup baik, karena pada hasil lasan bagian tengah sudah hampir melebur dengan baik, cacat yang terjadi pada hasil lasan ini ada sedikit *incomplete fusion* dan masih banyak *flash* dan rongga pada permukaan hasil lasan.

Pada hasil pengelasan pada gambar 12 menunjukkan bahwa hasil pengelasan didapat kurang baik, karena cacat yang terjadi di daerah lasan lebih banyak, dari kurang terisinya sambungan karena cepatnya putaran mesin yang menyebabkan material hasil pengelasan berkurang lumayan banyak, dan pada sambungan ini ada banyak cacat yang terjadi pada hasil lasan seperti *flash*, *incomplete fusion*, dan rongga pada permukaan hasil lasan.

### 3.2 Hasil Uji Tarik

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

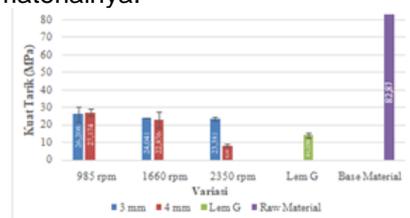


Gambar 13 Kurva tegangan (MPa) dan regangan (%)

Pada gambar 13 menunjukkan kurva tegangan dan regangan dari pengujian tarik yang telah dilakukan. Dapat diamati bahwa pada base material memiliki sudut kemiringan kurang lebih  $45^\circ$  dimana pada sudut tersebut hampir semua material akan mengalami patah, pada base material diatas terlihat bahwa terjadi *necking*, seperti yang sudah diketahui, apabila hasil pengujian tarik penyusutan atau *necking*, material tersebut mempunyai sifat ulet akan tetapi sifat ulet yang didapatkan pada base material hanya sebatas ulet sebagian saja, sedangkan dari grafik diatas untuk spesimen uji pada proses pengelasan menggunakan metode *friction stir welding* dan penyambungan spesimen menggunakan lem G cenderung lebih datar, seperti yang sudah diketahui, apabila sebuah spesimen uji tarik didapatkan grafik hasil uji tarik yang cenderung lebih lurus dan hampir tidak mempunyai *necking* maka hasilnya bisa dipastikan akan mengalami patah getas (Callister, 2000). Dari kurva diatas diketahui bahwa terdapat base material, sambungan dengan lem G dan sambungan dengan metode *friction stir welding*, dari kurva tersebut dapat diamati bahwa sifat material dan kekuatan tarik, tegangan, regangan, modulus elastisitas dan lain-lain. Base material polycarbonate yang ditunjukkan oleh kurva diatas mendapatkan nilai paling tinggi dibandingkan dengan variasi yang lain, disebabkan karena material ini belum mendapatkan perlakuan apapun yang menyebabkan besar kuat tarik dan regangannya masih tinggi. Untuk hasil pengujian tarik yang paling mendekati base material adalah variasi parameter 985 rpm/4 mm dengan nilai besar kuat tarik sekitar 32.791% dari nilai base materialnya.

Tabel 2 Hasil Pengujian tarik terhadap tegangan

No.	Variasi	Spesimen 1 (Mpa)	Spesimen 2 (Mpa)	Rata-rata (Mpa)	Standar Deviasi	Daerah Putus
1	985 rpm/3 mm	29.192	23.223	26.208	4.221	Retreating side
2	985 rpm/4 mm	25.719	28.629	27.174	2.058	Retreating side
3	1660 rpm/3 mm	24.055	24.027	24.041	0.020	Retreating side
4	1660 rpm/4 mm	19.58	26.172	22.876	4.661	Retreating side
5	2350 rpm/3 mm	22.547	24.214	23.381	1.179	Retreating side
6	2350 rpm/4 mm	7.68	8.801	8.241	0.793	Retreating side
7	Sambungan Lem G	13.19	15.31	14.250	1.499	Sambungan lem
8	Base material			82.87	0.000	Tengah spesimen

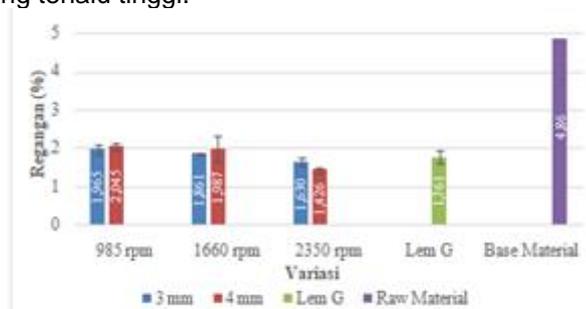


Gambar 14 Grafik nilai kekuatan tarik rata-rata pada hasil pengujian tarik dengan variasi kecepatan putar mesin dan besar diameter pin tool, base material dan sambungan lem G.

Dari tabel 2 menunjukkan besar nilai kuat tarik untuk tiap spesimen yang telah diuji. Dapat dilihat bahwa nilai pada setiap spesimen memiliki selisih yang berbeda – beda, selisih terendah didapatkan pada variasi 1660 rpm/3 mm dengan nilai standar deviasi sebesar 0.020 Mpa. Sementara itu untuk selisih dengan nilai standar deviasi tertinggi yaitu didapatkan pada variasi 1660 rpm/4 mm dengan nilai standar deviasi sebesar 4.661 Mpa. Hal ini terjadi akibat tidak stabilnya putaran motor penggerak *feed rate* dan meja kerja yang kurang rata, yang mengakibatkan hasil lasan kurang sempurna dari segi hasil lasannya sendiri. Pada sambungan pengelasan FSW daerah patahan pada sambungannya berbeda – beda, kebanyakan untuk sambungan FSW mengalami patah didaerah *retreating side* yang mana pada daerah tersebut banyak terdapat cacat – cacat seperti *flash*, *incomplete fusion* dan lain – lain yang mengakibatkan patahnya spesimen uji, akan tetapi untuk base material mengalami patah didaerah tengah spesimen uji tarik, sedangkan untuk spesimen uji tarik menggunakan lem patah tepat di bagian hasil pengeleman.

Pada gambar 14 diatas dapat dilihat bahwa hasil kuat tarik rata – rata tiap variasi berbeda beda diantaranya untuk variasi 985 rpm/3 mm didapatkan sebesar 26.208 Mpa, nilai kekuatan tarik pada variasi parameter 985 rpm/4 mm didapatkan sebesar 32.791

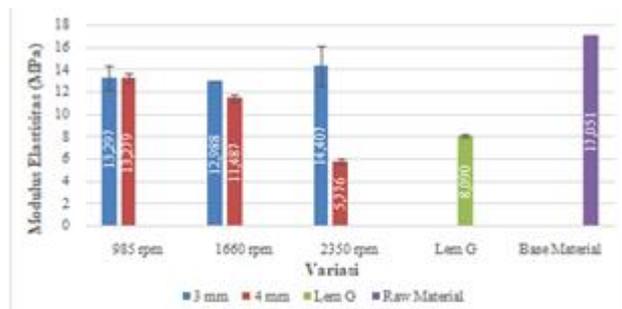
Mpa, nilai kekuatan tarik variasi parameter 1660 rpm/ 3 mm didapatkan nilai sebesar 24.041 Mpa, nilai kekuatan tarik variasi parameter 1660 rpm/4 mm didapatkan nilai sebesar 22.876 Mpa, nilai kekuatan tarik variasi parameter 2350 rpm/3 mm didapatkan nilai sebesar 23.381 Mpa dan untuk nilai kekuatan tarik variasi parameter 2350 rpm/4 mm didapatkan nilai sebesar 8.241 Mpa. Dari setiap variasi yang telah ditentukan, nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat di variasi parameter 985 rpm/4 mm dengan nilai 27.174 Mpa, yang merupakan 32.791 dari base material, hal ini disebabkan oleh putaran mesin yang tidak terlalu tinggi yang menyebabkan material hasil penyambungan bisa bercampur dan meleleh secara sempurna, dan tidak banyak material yang terbuang akibat sapuan dari kencangnya putaran mesin. Dan untuk hasil terendah terdapat ada variasi parameter 2350 rpm/4 mm dengan nilai kuat tarik sebesar 8.241 Mpa, hal ini disebabkan oleh besarnya diameter *pin tool* yang menyebabkan besarnya pula celah lasan yang terjadi sehingga proses pengisian lasan menjadi sedikit lebih sulit ketika kecepatan putar mesinnya terlalu tinggi, yang menyebabkan material hasil lasan tidak sepenuhnya menyatu dalam celah lasan, akan tetapi material banyak tersapu oleh kecepatan putar yang terlalu tinggi.



Gambar 15 Grafik nilai regangan rata-rata pada hasil pengujian tarik dengan variasi kecepatan putar mesin dan besar diameter *pin tool*, base material dan sambungan lem G.

Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian tarik terhadap besarnya regangan. Terlihat bahwa setiap spesimen memiliki selisih yang berbeda – beda. Selisih terbesar didapatkan pada variasi parameter 1660 rpm/4 mm dengan nilai standar deviasi sebesar 0.350 Mpa. Selisih terendah terdapat pada variasi parameter 2350 rpm/4 mm dengan nilai standar deviasi 0.012 Mpa.

Dari gambar 15 dapat diketahui bahwa regangan tertinggi didapatkan pada variasi parameter 985 rpm/4 mm dengan nilai sebesar 2.045 % dan nilai regangan terendah terdapat pada variasi parameter 2350 rpm/4 mm dengan nilai regangan sebesar 1.426 %. Nilai regangan terendah untuk seluruh variasi parameter pengujian didapatkan sama seperti hasil pengujian kuat tarik, yaitu untuk variasi parameter 2350 rpm/4 mm mendapatkan nilai regangan yang kecil.



Gambar 16 Grafik nilai modulus elastisitas rata-rata pada hasil pengujian tarik dengan variasi kecepatan putar mesin dan besar diameter *pin tool*, base material dan sambungan lem G.

Pada gambar 16 dapat diketahui nilai rata – rata modulus elastisitas dari setiap variasi parameter, nilai tertinggi dari modulus elastisitas terdapat pada variasi parameter

2350 rpm/3 mm dengan nilai rata – rata 14.407 Mpa dan nilai terendah dari modulus elastisitas terdapat pada variasi parameter 2350 rpm/4 mm dengan nilai rata – rata modulus elastisitasnya sebesar 5.776 Mpa. Semakin tinggi nilai modulus elastisitas maka semakin kecil regangan elastis yang terjadi, sehingga material akan semakin kaku, demikian pula sebaliknya, semakin kecil modulus elastisitas, maka semakin lentur materialnya.

### 3.3 Hasil Uji Kekerasan

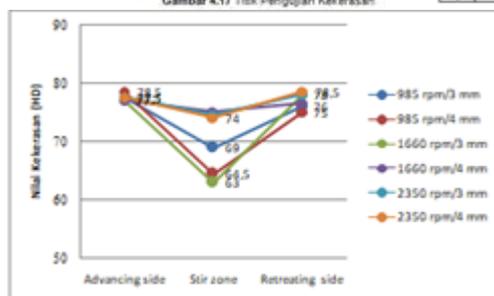
Hasil pengujian kekerasan pada pengujian ini dilakukan pada 6 spesimen yaitu pada rasio kecepatan putar mesin dan diameter *pin tool* 985 rpm/3 mm, 985 rpm/4 mm, 1660 rpm/3 mm, 1660 rpm/4 mm, 2350 rpm/3 mm, dan 2350 rpm/4 mm. Titik pengujian yang diambil dari 3 titik, yaitu : titik *advancing side*,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



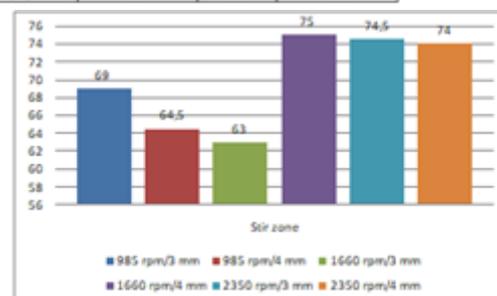
Gambar 4.17 Titik Pengujian Kekerasan

Tabel 5 Hasil pengujian kekerasan

No	Variabel	Nilai Kekerasan (HD)		
		Advancing side	Stir Zone	Retreating Side
1	985 rpm/3 mm	77.5	69	76
2	985 rpm/4 mm	78.5	64.5	75
3	1660 rpm/3 mm	78	63	77
4	1660 rpm/4 mm	77	75	76.5
5	2350 rpm/3 mm	78.5	74	77.5
6	2350 rpm/4 mm	79	74.5	78.5



Gambar 18 Grafik distribusi kekerasan pada titik uji



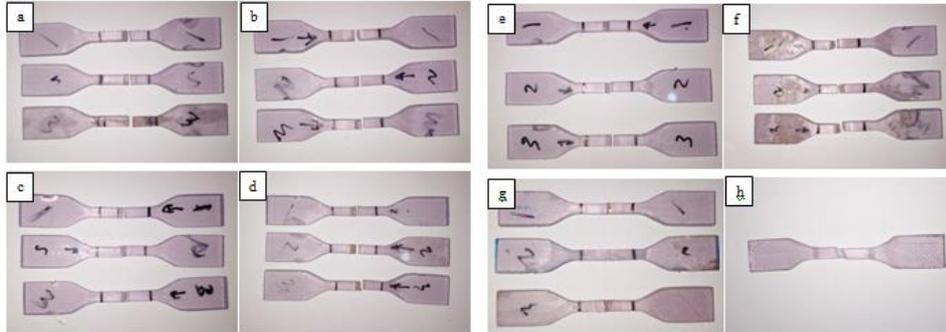
Gambar 19 Grafik nilai kekerasan daerah stir zone

Dari gambar 18 dapat diketahui bahwa nilai kekerasan pada titik pengujian *advancing side*, *stir zone* dan *reatreating side* memiliki nilai kekerasan yang berbeda beda. Pada daerah *advancing side* yaitu daerah induk yang mendapatkan perlakuan pada proses penyambungan yang terkena gesekan *tool* dengan arah maju yang mendapatkan nilai yang paling tinggi sebesar 79 HD untuk variasi parameter 2350 rpm/4 mm. Dan nilai kekerasan paling kecil di *advancing side* adalah pada variasi parameter 1660 rpm/4 mm dengan nilai 77 HD. Hal ini disebabkan karena pada *advancing side* terdapat deformasi material yang besar dari sifat termal dan mekaniknya sehingga material lebih keras dan lebih padat. Pada daerah *stir zone*, proses lelehnya material terjadi di daerah sini, sehingga untuk nilai kekerasannya itu lebih kecil dibandingkan dengan *advancing side* dan *reatreating side*, dengan nilai tertinggi terdapat pada variasi parameter 1660 rpm/4 mm dan nilai terkecil terdapat pada variasi parameter 1660 rpm/3 mm. Sedangkan pada daerah *reatreating side* atau daerah yang terkena putaran *tool* dalam keadaan mundur yang mengakibatkan nilai kekerasannya lebih kecil dibandingkan nilai dari *advancing side*. Nilai kekerasan terbesar terdapat pada variasi parameter 2350 rpm/4 mm dan nilai kekerasan terkecil terdapat pada variasi parameter 985 rpm/4 mm. Hal ini karena pada saat proses penyambungan, material tersapu oleh putaran mesin sehingga pada daerah *reatreating side*, material tidak tersisi penuh dan menjadi lebih renggang dan cenderung lunak.

Pada gambar 16 dapat diketahui bahwa nilai kekerasan di *stir zone* dari 6 variasi sambungan *friction stir welding* tersebut nilai kekerasan pada variasi parameter 1660 rpm/4 mm lebih tinggi dari pada nilai kerkerasan dari parameter lain dengan nilai 75 HD dan nilai terbesar kedua didapatkan oleh variasi parameter 2350 rpm/3 mm dengan nilai 74.5 HD. Sedangkan untuk nilai kekerasan terkecil pada daerah *stir zone* adalah variasi parameter 1660 rpm/3 mm dengan nilai kekerasan sebesar 63 HD. Hal ini disebabkan karena pada variasi 1660 rpm/4 mm mengalami proses pemanasan pada bidang gesek yang lebih tinggi yang menyebabkan material pada saat proses penyambungan tidak banyak tersapu oleh putaran mesin yang menyebabkan material lebih homogen.

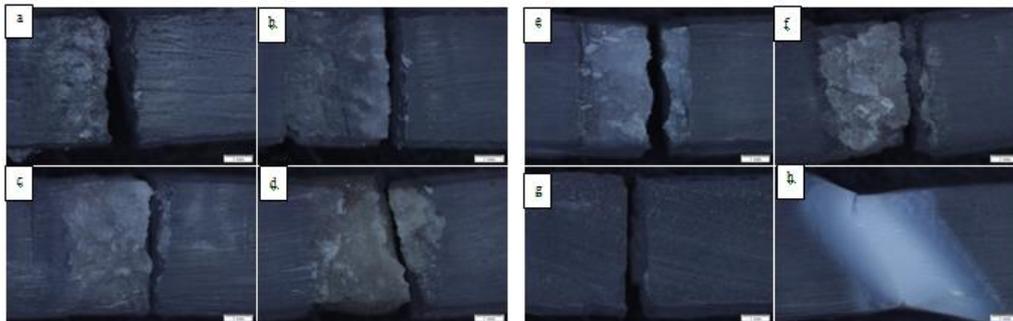
### 3.4 Fraktografi

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



Gambar 20 Spesimen setelah dilakukan pengujian tarik dengan variasi parameter a. 985 rpm/3 mm, b. 985 rpm/4 mm, c. 1660 rpm/3 mm, d. 1660 rpm/4 mm, e. 2350 rpm/3 mm, f. 2350 rpm/4 mm, g. sambungan lem G, dan h. *base material*.

Pada gambar 21 dapat dilihat bahwa hasil patahan yang terjadi setelah dilakukan pengujian tarik menggunakan mikroskop optik. Untuk variasi sambungan FSW rata – rata mengalami patahan pada *retreating side* karena pada pembahasan sebelumnya sudah dijelaskan bahwa pada *retreating side* merupakan daerah yang mengalami putaran mundur pada saat tool berputar, dan tersapunya material oleh putaran tool yang menyebabkan partikel material lebih renggang dan cenderung lebih lunak yang mengakibatkan hasil lasan banyak mengalami patahan pada daerah tersebut. Seperti yang dikatakan oleh (Callister, 2000) hasil fraktografi spesimen pada pengujian base material mengalami patahan ulet seagian, dan untuk spesimen uji hasil penyambungan dengan metode friction stir welding dan penyambungan menggunakan lem G didapatkan hasil yang lebih getas yang dibuktikan dengan hasil patahan yang lebih datar



Gambar 21 Spesimen setelah dilakukan pengujian tarik dengan variasi parameter a. 985 rpm/3 mm, b. 985 rpm/4 mm, c. 1660 rpm/3 mm, d. 1660 rpm/4 mm, e. 2350 rpm/3 mm, f. 2350 rpm/4 mm, g. sambungan lem G, dan h. *base material* menggunakan mikroskop optik.

## 4. PENUTUP

### 4.1 KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian dan mengkaji hasil penelitian berdasarkan hasil pengujian tarik, pengujian struktur makro dan pengujian kekerasan terhadap hasil pengelasan dengan metode *friction stir welding* (FSW) pada lembaran *polycarbonate* dengan menggunakan variasi kecepatan putar 985 rpm, 1660 rpm, 2350 rpm serta besar diameter *pin tool* 3 mm dan 4 mm dengan *feed rate* dan bentuk *pin tool* dibuat konstan, bentuk *pin tool* yang dipakai adalah *pin tool* berbentuk silinder ulir. Maka dari itu dapat diarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari proses pengelasan pada material *polycarbonate* dengan menggunakan metode *friction stir welding* yang telah berhasil dilakukan. Hasil pengelasan dari variasi bentuk pin tool sangat beragam, untuk hasil terbaik didapatkan oleh variasi parameter 985 rpm/4 mm dengan hasil visual yang ditunjukkan oleh hasil pengujian struktur makro yang mana hasil yang didapatkan pada *stir zone* atau daerah terjadinya proses bercampurnya kedua material terjadi paling sempurna, dan hanya ada beberapa cacat yang terjadi, dan untuk pengamatan pada hasil pengujian struktur makro yang kurang baik didapatkan pada variasi parameter 2350 rpm/4 mm dimana pada hasil pengamatan struktur makronya didapatkan banyak cacat yang terjadi diantaranya ada cacat flash, *incomplete fusion*, cacat lubang, dan kurang terisi sempurna hasil lelehan material mengisi garis lasan, yang menyebabkan patahnya material didaerah yang memiliki cacat tersebut.
2. Pada pengujian kekerasan yang dilakukan pada tiga titik pengujian, bahwa untuk variasi parameter kecepatan putar 2350 rpm/4 mm didapatkan nilai kekerasan tertinggi pada daerah *advancing side* dengan nilai kekerasan 79 HD, sedangkan untuk daerah *stir zone* nilai kekerasan tertinggi didapatkan untuk variasi parameter kecepatan putar 1660 rpm/4 mm dengan nilai kekerasan mencapai 75 HD, dan untuk daerah *retreating side* nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada variasi parameter 2350 rpm/4 mm dengan nilai kekerasan mencapai 78.5 HD.
3. Pada pengujian tarik, didapatkan untuk variasi 985 rpm dengan menggunakan pin tool berukuran 4 mm didapatkan nilai kekuatan tarik tertinggi diantara variasi yang lain dengan nilai kekuatan tarik sebesar 27.174 Mpa dengan nilai regangan sebesar 2.045 %.

### 4.2 Saran

Berikut ini merupakan saran untuk penelitian lebih lanjut tentang penyambungan material *polycarbonate* dengan metode *friction stir welding* untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal yaitu :

1. Pada penelitian selanjutnya perlu ditambahkan parameter – parameter pembeda misalnya dari bentuk *pin tool* seperti *pin tool* segitiga berulir, tirus, dan tirus berulir, sebagai pembanding dengan penelitian sekarang yang hanya menggunakan *pin tool* berbentuk silinder berulir.
2. Perlu adanya percobaan pembuatan spesimen uji dengan menggunakan standar ASTM D638 tipe 1 dan 2, karena pada tipe tersebut mempunyai ketebalan material yang berbeda dibandingkan dengan penelitian sekarang yang menggunakan ASTM D638 tipe 4 yang memakai tebal material sebesar 4 mm.
3. Perlu adanya percobaan menggunakan *feed rate* dengan variasi yang lebih banyak untuk proses penyambungan material *polycarbonate* agar dapat diketahui penggunaan *feed rate* berapa yang paling optimal yang dapat digunakan pada penyambungan *polycarbonate*.

## Daftar Pustaka

- Armagan Arici and Tamer Sinmaz (2005). *Effects of Double Passes of the Tool on Friction Stir Welding of Polyethylene*. Journal of Material Science 40: 3313-3316.
- ASTM D-638-04 *Standard test method for tensile properties of plastics*. Philadelphia, PA: American Society for Testing Material.
- Broitman, E., (2017). *Indentation Hardness Measurements at Macro, Micro, and Nanoscale: A Critical Overview*. Tribol Letter 23:65. DOI 10/s11249-016-0805-5: 1-18
- Budiyantoro C. (2018). *Kuliah Teknologi Plastik. Bahan Plastik 2*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.
- Husain I. M., Salim R. K., Azdast T., Hassanifard S., Shishavan S. M. and Lee R. E. (2015). *Mechanical Properties of Friction Stir Welding Polyamide Sheet*. International Journal of Mechanical and Materials Engineering : 10-18.
- Kiss Z. and Czigany T. (2007). *Aplicability of Friction Stir Welding in Polymeric Materials*. Periodica Polytechnica: 15-18.
- Mendes N., Neto P., Simao M., Loureiro A. and Pires J. N. (2014). *A novel Friction Stir Welding Robotic Platform Welding Polymeric Materials*. Int J Adv Manuf Technol DOI 10.1007/s00170-014-6024-z.
- Meyer S. P., B Jaeger., C Wunderling and M F Zaeh. (2013). *Friction Stir Welding of Glass Fiber-Reinforced Polyamide 6:Analysis of the Tensile Strength and Fiber Length Distribution of Friction Stir Welded PA6-GF30*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering:1-9.
- Mishra R. S., Z. Y. Ma. (2005). *Friction Stir Welding and Processing*. A Review Journal Material Science and Engineering R 50: 1-78.
- Paoletti A., F. Lambiase., A. Di Ilio. (2015). *Optimization of Friction Stir Welding of Thermoplastics*. 9th CIRP Conference on Inteligent in Manufacturing Engineering-CIRP ICME'14. Via Campo De Pile. Procedia CIRP 33: 562-567.
- Sahu K. S., Debassis M., Raju P. M., Vyas M. S., Surjya K. P., Kamal P., Susanta B., Padmanav D. (2018). *Friction Sir Welding of Polypropylene Sheet*. Engineering Science and Technology an International Journal 21: 245-254.
- Sazly M., M.M.Z. Ahmed, El-Raey M. (2018). *Friction Stir Welding of Polycarbonate Sheets*. Department of Metalurgy and Materials Engineering. Fakulty of Petroleum and Mining Engineering. Suez University.
- Squeo E. A., Bruno G., Guglielmotti A., Quadrini F. (2009). *Friction Stir Welding of Polyethylene Sheets*. The Annals of " Dunaera De Jos" University of Galatifascicle V. Technologies in Machine Building ISSN 1221-4566. NewTech: 241-246.
- Callister D. William. (2000). *Fundamental of Material Science and Engineering*. An Interactive e.text. New York.

# Program Studi Teknik Mesin

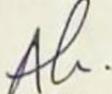
## Lembar Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir (TA)

Judul TA:	<b>Karakterisasi Sambungan <i>Friction Stir Welding</i> untuk Material <i>Polycarbonate</i> dengan Variasi Kecepatan Putar Mesin dan Diameter <i>Pin Tools</i></b>
Judul Naskah Publikasi:	<b>Karakterisasi Sambungan <i>Friction Stir Welding</i> untuk Material <i>Polycarbonate</i> dengan Variasi Kecepatan Putar Mesin dan Diameter <i>Pin Tools</i></b>
Nama Mahasiswa:	<b>Abdul Maulana</b>
NIM:	<b>2015130037</b>
Pembimbing 1:	<b>Ir. Aris Widyo Nugroho, M.T., Ph.D.</b>
Pembimbing 2:	<b>Cahyo Budiyanoro, S.T., M.Sc</b>

Hal yang dimintakan persetujuan \*:

Abstrak berbahasa Indonesia	Naskah Publikasi	.....	.....
Abstrak berbahasa Inggris	.....	.....	.....

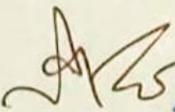
\*beri tanda ✓ di kotak yang sesuai

  
Tanda Tangan  
Abdul Maulana

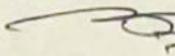
Tanggal 29/07/2019

## Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui

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

Tanggal 29/07/2019

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

Tanggal 30 Juli 2019

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