

KARAKTERISASI SAMBUNGAN *FRICION STIR WELDING* POLYCARBONATE (PC) VARIASI RASIO DIAMETER *SHOULDER* DAN PIN *TOOLS DEPTH PLUNGE*

Prasetyo^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
frazprasetyo@gmail.com, nugrohoaris@gmail.com, Cahyo_budi@umy.ac.id

Abstrak

Polikarbonat merupakan salah satu jenis polimer yang dikenal dengan kekuatan dan sifatnya yang mudah dibentuk, serta memiliki warna transparan seperti kaca. Untuk meningkatkan kebutuhan akan bentuk pemrosesan yang lebih maju dalam teknologi penyambungan maka dipilih metode *Friction stir welding*. *Friction stir welding* merupakan proses penyambungan dua buah material dengan memanfaatkan panas gesekan putaran tools dengan permukaan benda kerja. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh rasio diameter shoulder dan pin *tools depth plunge* terhadap sifat mekanik pada pengelasan *friction stir welding*.

Penelitian ini menggunakan material polikarbonat dengan dimensi 150 x 100 x 5 mm, variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah rasio diameter *shoulder* 10/3 mm/mm, 14/3 mm/mm, 16/3 mm/mm dengan *depth plunge* 4,6 mm dan 4,8 mm. Parameter yang dipertahankan konstan seperti; kecepatan putaran tool 2350 Rpm, kecepatan pemakanan 14 mm/menit, bentuk pin *tool*/silinder ulir. Pengujian yang dilakukan pengujian struktur makro, kekerasan dan pengujian tarik.

Hasil pengujian tarik maksimum didapat pada sambungan variasi rasio diameter *shoulder* 14/3 mm/mm dengan *depth plunge* 4,6 mm sebesar 31,54 MPa atau 38,05 % dari kuat tarik raw material. Nilai kekerasan maksimum didapat pada variasi rasio diameter shoulder 14/3 mm/mm dengan *depth plunge* 4,8 mm sebesar 80 Shore D. Pada pengujian struktur makro variasi rasio diameter *shoulder* 10/3 mm/mm dengan *depth plunge* 4,6 mm menampilkan permukaan yang kasar dan tidak merata, terdapat banyak *flash*, cacat rongga dan alur pengelasan tidak terisi dengan sempurna. Optimalisasi rasio diameter shoulder dan kedalaman pembenaman pin menghasilkan penyebaran material leleh yang merata, sehingga dapat meminimalisir terjadinya cacat dan meningkatkan kekuatan mekanik sambungan.

Kata Kunci: *Polycarbonate*, FSW, Rasio diameter *shoulder*, *Depth plunge*, pengujian tarik.

Abstract

Polycarbonate is one type of polymer known as strength and is easily shaped, and has a transparent color like glass. To increase the need for a more advanced form of processing in connecting technology, the Friction stir welding method was chosen. Friction stir welding is the process of joining two pieces of material by utilizing the tool's friction heat with the workpiece surface. This research was conducted to determine the effect of ratio of shoulder diameter and tool depth pin plunge to the mechanical properties of friction stir welding.

This study uses polycarbonate material with dimensions 150 x 100 x 5 mm, the variation used in this study is the ratio of shoulder diameter 10/3 mm / mm, 14/3 mm / mm, 16/3 mm / mm with 4,6 mm plunge depth and 4,8 mm. Parameters that are kept constant are; tool rotation speed 2350 rpm, feed rate 14 mm / minute, and shape of screw cylinder pin tool. Tests conducted are; macro structure testing, hardness testing and tensile testing.

The maximum tensile test results were obtained on the connection variations in the shoulder diameter ratio 14/3 mm / mm with a 4,6 mm plunge depth 31,54 MPa or 38,05% of the tensile strength of raw material. The maximum hardness value is obtained by varying the shoulder diameter ratio of 14/3 mm / mm with a 4,8 mm depth plunge of 80 Shore D. In testing the macro structure the variation in the ratio of shoulder diameter is 10/3 mm / mm with 4,6 mm depth plunge showing the surface the rough and uneven, there are lots of flash, the cavity defects and the welding grooves are not completely filled. Optimizing the ratio of shoulder diameter and pin immersion depth results in a uniform spread of melting material, so as to minimize the occurrence of defects and increase the mechanical strength of the joint.

Keywords: Polycarbonate, FSW, shoulder diameter ratio, depth of plunge, tensile testing.

1. Pendahuluan

Polycarbonate (PC) adalah jenis polimer termoplastik yang dikenal memiliki kekuatan yang tangguh. PC terbuat dari senyawa biji resin dan jenis polimer ini cukup mudah dibentuk dengan cara dipanaskan. Plastik jenis ini digunakan secara meluas didalam industri kimia. Plastik ini memiliki banyak keunggulan, yaitu ketahanan termal dibandingkan dengan plastik jenis lain, tahan terhadap benturan, dan sangat bening. *Polycarbonate* disebut demikian karena terdiri dari polimer dengan gugus karbonat dalam suatu rantai molekul yang panjang. (Nurtanto dan Hasaduddin 2014).

Pengelasan merupakan salah satu jenis penyambungan diantara penyambungan baut dan keling. Pengelasan adalah suatu proses penyambungan dua material sejenis maupun material tak sejenis digabungkan menjadi satu sehingga terbentuk suatu sambungan melalui ikatan kimia yang dihasilkan dari pemakaian panas dan tekanan (Wirjosumarto dan Okumura, 2000).

Friction Stir Welding (FSW), yaitu proses menyambung dua buah material dengan memanfaatkan sumber panas yang berasal dari gesekan putaran tool dengan permukaan benda kerja. Putaran tool ditekan pada permukaan material yang akan disambung hingga panas yang dihasilkan dari gesekan tool hampir mencapai temperatur leleh material (Thomas & Dolby, 1991).

Prinsip kerja dari *friction stir welding* yaitu menyambungkan dua buah material dengan memanfaatkan sumber panas yang berasal dari gesekan putaran tool dengan permukaan benda kerja. Putaran tool ditekan pada permukaan material yang akan disambung hingga panas yang dihasilkan dari gesekan tool hampir mencapai temperatur leleh material (Thomas dkk 1991).

(Triyono dkk 2015). Mengatakan bahwa kedalaman pembenaman *tool* dan penambahan *preheat* dapat meningkatkan *friction heat*. Peningkatan *friction heat* mengakibatkan material yang meleleh semakin banyak, sehingga pengadukan material dapat terjadi secara merata. Penyebaran material leleh yang merata akan meminimalisir terjadinya cacat pada sambungan lasan.

penelitian tentang pengaruh diameter *shoulder* tool pada *friction stir welding* pada aluminium 5083 dengan dimensi material panjang 150 mm, lebar 37 mm, dan tebal 8 mm menggunakan variasi diameter *shoulder* yaitu 16/4 mm/mm, 18/4 mm/mm dan 20/4 mm/mm. Hasil pengujian tarik tertinggi dihasilkan oleh diameter *shoulder* 18 mm sebesar 96,45 MPa. Nilai kekerasan tertinggi didapatkan oleh diameter *shoulder* 16 mm sebesar 39,25 Kgf/mm² tetapi tidak terpaut jauh dengan *shoulder* 18 mm sebesar 38,55 Kgf/mm² atau 0,7 Kgf/mm² perbedaan keduanya. Hal tersebut terjadi karena besar panas yang masuk pada proses pengelasan menghasilkan bentuk butiran yang kecil, sehingga membuat kekuatan tarik dan kekerasan meningkat (Permana dkk. (2018).

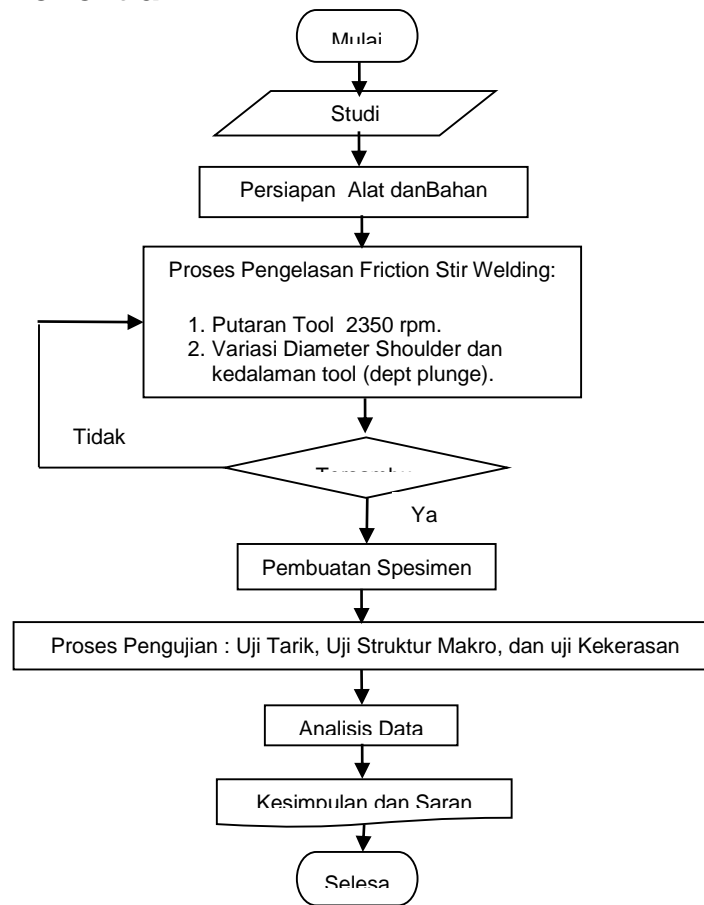
Penelitian FSW Dissimilar pada aluminium AA2024-T6 dan AA7576-T6 oleh Saravanan dkk. (2016) Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah kecepatan rotasi, kecepatan pengelasan, beban aksial, dan variasi rasio diameter *shoulder* dengan pin *tool* (D/d) yaitu 2, 2.5, 3, 3.5, dan 4. Hasil kekuatan tarik maksimum sebesar 356 MPa diperoleh dari rasio D/d 3, kecepatan putar alat 1200 Rpm, kecepatan pengelasan 12 mm/menit. Nilai kekerasan maksimum daerah *stir zone* yaitu sebesar 151 HV dengan rasio D/d 3, hal ini terjadi karena pada daerah *stir zone* menghasilkan butiran yang lebih halus. Pengamatan struktur mikro pada rasio D/d 3 memperlihatkan adanya struktur rekristalisasi yang halus, dan ukuran butir yang lebih kecil.

Shazly dkk. (2014) melakukan penelitian tentang *friction stir welding* pada lembaran *polycarbonate* dengan tebal 10 mm menggunakan variasi kecepatan putaran 1000 rpm, 1220 rpm, dan 1850 rpm, feed rate 20 mm/menit dan 40 mm/menit, dengan sudut kemiringan 1° dan 3°. Hasil pengujian tarik tertinggi didapatkan oleh variasi kecepatan putaran 1220 rpm dengan sudut kemiringan 1° pada *feed rate* 20 mm/menit dan 40 mm/menit sebesar 17,7 MPa.

Dari beberapa uraian penelitian sebelumnya dapat disimpulkan bahwa rasio diameter *shoulder* dan kedalaman pembenaman pin *tool* (*depth plunge*) merupakan parameter yang sangat penting digunakan dalam proses FSW. Rasio diameter *shoulder* berpengaruh pada pembentukan struktur rekristalisasi dan ukuran butir pada daerah *stir zone* hasil pengelasan.

Kedalaman pembenaman pin mempengaruhi tingkat penetrasi dan panas yang dihasilkan oleh *tool* sehingga kedua parameter tersebut berpengaruh terhadap sifat tarik sambungan.

2. Metode Penelitian



Gambar 1.Diagram alir penelitian.

Pada penelitian ini material yang digunakan adalah polycarbonate sheet dengan panjang 150 mm, lebar 100 mm, dan tebal 5 mm. Penelitian menggunakan variasi rasio diameter shoulder 10/3 mm, 14/3 mm, dan 16/3 mm, dengan kedalaman pembenaman pin (depth plunge), dimanaparameter yang dipertahankan seperti; kecepatan putaran tool 2350 rpm, kecepatan pengelasan 14 mm/menit, dan bentuk pin tool silinder berulir.

2.1 Pengujian Struktur Makro

Pengujian ini bertujuan untuk mengamati permukaan material yang memiliki struktur kristal yang kasar dan besar menggunakan mata terbuka. Pada penelitian makro angka kevalidan berkisar antara 0,5 sampai 50 kali. Pengujian struktur makro ini dilakukan di laboratorium teknik Mesin universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

2.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan pada daerah advancing side, stir zone, dan retreating side pada hasil sambungan lembaran polycarbonate. Pengujian kekerasan pada sambungan polycarbonate dengan metode friction stir welding menggunakan alat shore durometer tipe D. pengujian ini dilakukan pada 3 tempat yang berbeda untuk melihat perbedaan nilai kekerasan pada daerah stir zone, daerah (advancing side) material induk yang terkena gerakan maju putaran tool, dan daerah (retreating side) logam induk yang

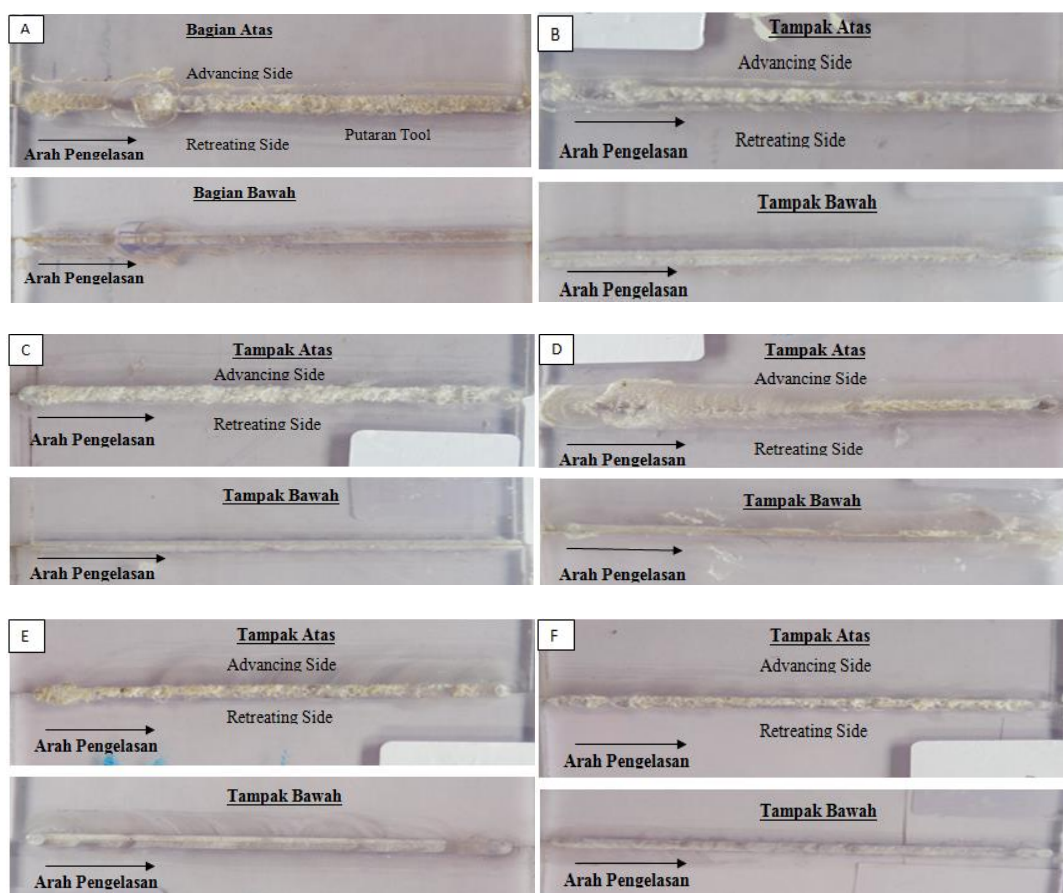
terkena gerakan mundur putaran tool. Pengujian kekerasan ini dilakukan di Politeknik ATMI Surakarta.

2.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan atau material dan sering disebut juga metode yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari sebuah material. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sambungan polycarbonate variasi rasio diameter shoulder dan kedalaman pembenaman pin yang optimal dalam menerima beban tarik. Pengujian tarik ini dilakukan di Balai Besar Kulit Karet dan Plastik (BBKLP) Yogyakarta.

3. Hasil dan pembahasan

Pengelasan pada material polycarbonate telah berhasil dilakukan, hasil pengelasan menunjukkan permukaan bekas lasan yang berbeda-beda hampir di setiap variasi rasio diameter shoulder dan pin tool depth plunge.

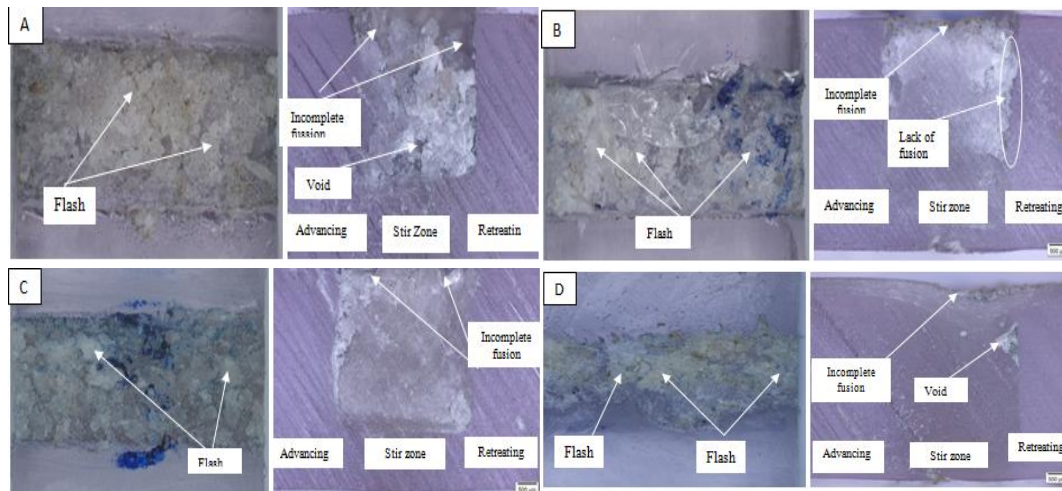


Gambar 2. Hasil pengelasan sambungan *polycarbonate* a. 10/3 mm/mm & 4,6 mm, b. 10/3 mm/mm & 4,8 mm, c. 14/3 mm/mm & 4,6 mm, d. 14/3 mm/mm & 4,8 mm, e. 16/3 mm/mm & 4,6 mm, f. 16/3 mm/mm & 4,8 mm.

3.1 Hasil Pengujian Struktur Makro

Hasil dari pengamatan pengujian struktur makro pada hasil pengelasan metode friction stir welding menggunakan material polikarbonat dengan variasi rasio diameter shoulder dan kedalaman pembenaman pin (*depth plunge*). Hasil struktur makro lasan seperti yang terlihat

pada Gambar 4.2 menunjukan hasil tampak atas, dan hasil tampak samping dari sebuah pengelasan. Adapun hasilnya di jelaskan sebagai berikut.



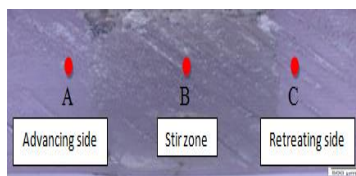
Gambar 3. Hasil struktur makro sambungan FSW polycarbonate a.10/3 mm/mm & 4,6 mm, b.10/3 mm/mm & 4,8 mm, c. 14/3 mm/mm & 4,6 mm, d. 14/3 mm/mm & 4,8 mm, e.16/3 mm/mm & 4,6 mm, f.16/3 mm/mm & 4,8 mm.

Dari Gambar 3 pada tampak atas terdapat banyak gumpalan-gumpalan putih (*flash*), hal ini disebabkan karena kurangnya tekanan dan gesekan shoulder tool terhadap benda kerja sehingga pengadukan material menjadi tidak sempurna. Pada tampak samping terlihat cacat rongga (*void*), dan alur pengelasan tidak mengisi dengan sempurna (*incomplete fusion*). Hal ini disebabkan karena pada saat proses pengelasan tool yang mengaduk benda kerja menghasilkan gelembung udara pada alur pengelasan yang tidak sempat keluar sebelum material pada permukaan pengelasan mengeras.

Hasil struktur yang kurang optimal didapatkan oleh variasi rasio diameter shoulder 10/3 mm/mm dengan pembedaman pin 4,6 mm, menampilkan banyak cacat flash, void, dan alur pengelasan tidak terisi dengan penuh. Hal ini disebabkan karena gesekan shoulder dan kedalaman pin menghasilkan panas yang terlalu rendah sehingga membuat banyak serpihan material terlempar keluar dari alur pengelasan. Sebagai hasilnya membuat kekuatan mekanik menjadi menurun.

3.2 Pengujian Kekerasan

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui nilai kekerasan hasil sambungan las. Letak titik penekanan pada pengujian terletak pada 3 daerah yaitu; daerah *advancing side*, *stir zone*, dan daerah *retreating side*.



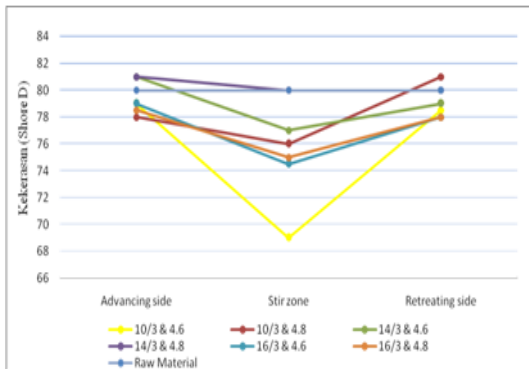
Gambar 4. Titik pengujian

Tabel 2.1 Tabel hasil pengujian

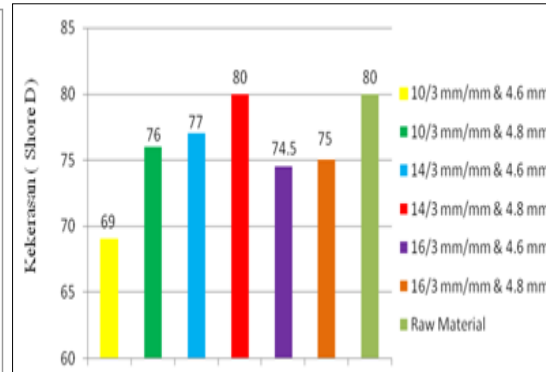
Variasi (mm/mm & mm)	Posisi titik pengujian		
	Advancing side	Stir zone	Retreating side
10/3 & 4.6	79	69	78,5
10/3 & 4.8	78	76	81
14/3 & 4.6	81	77	79
14/3 & 4.8	81	80	80
16/3 & 4.6	79	74,5	78
16/3 & 4.8	78,5	75	78
Raw Material	80		

Pada tabel 2.1 dapat diketahui bahwa pada daerah *advancing side* atau daerah material induk yang terkena gesekan *tool* arah maju memiliki nilai kekerasan tertinggi sebesar 81 Shore D didapatkan oleh variasi 14/3 mm/mm dan 4,8 mm. Hal ini dikarenakan pada daerah

advancing side memiliki deformasi terbesar dari sifat mekanik dan termal sehingga material menjadi lebih padat dan lebih keras (Dudzik, 2014).



Gambar 5. Grafik distribusi kekerasan pada titik pengujian.

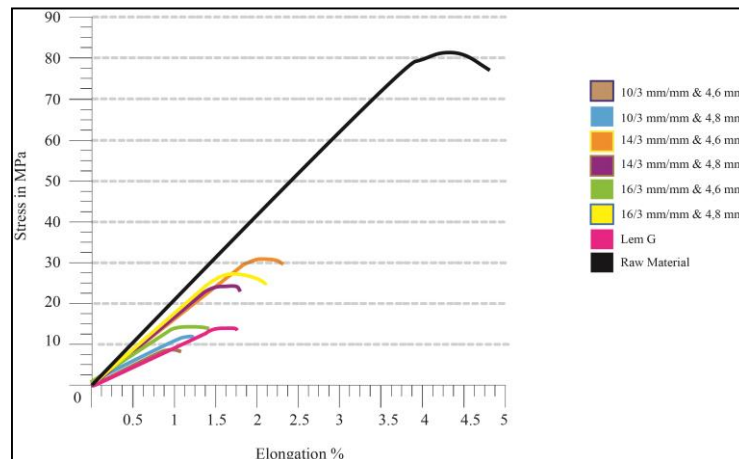


Gambar 6. Kekerasan Shore D pada daerah *stir zone*.

Dari hasil pengujian kekerasan dapat disimpulkan bahwa nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada daerah *advancing side*, sedangkan pada daerah *stir zone* selalu mendapatkan nilai kekerasan terendah dari setiap variasi pengelasan *friction stir welding*. Hal ini disebabkan karena pada daerah *stir zone* terjadi pengadukan oleh pin *tool* yang membuat butiran-butiran material polikarbonat tidak menyatu dengan sempurna seperti pada raw material.

3.3 Pengujian tarik

Pengujian tarik pada penelitian ini dilakukan pada material polimer jenis *polycarbonate* menggunakan standar ASTM D 638 tipe IV dengan kecepatan tarik sebesar 5 mm/menit.

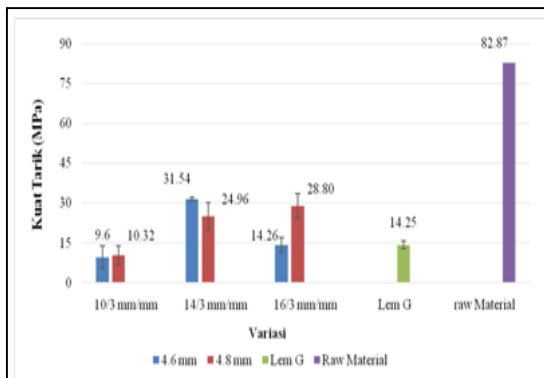


Gambar 7. Grafik tegangan-regangan hasil pengujian tarik FSW.

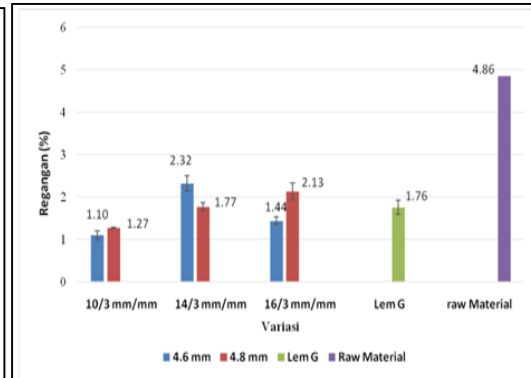
Pada Gambar 7 menunjukkan bahwa kuat tarik tertinggi di dapat pada hasil sambungan *polycarbonate* variasi 14/3 mm & 4.6 mm sebesar 31,543 Mpa atau 38,05 % dari kuat tarik *raw material*, dengan nilai regangan sebesar 2,315 % ditunjukkan oleh garis orange, dan hasil tegangan tarik paling rendah didapatkan pada variasi sambungan 10/3 mm/mm & 4.6 mm sebesar 9,595 Mpa atau 11,57 % dengan nilai regangan sebesar 1,09 % ditunjukkan oleh garis

cokelat. Sedangkan nilai tegangan tarik yang didapat pada sambungan lem G yaitu sebesar 14,25 Mpa dengan nilai regangan sebesar 1,7 % ditunjukkan oleh garis pink.

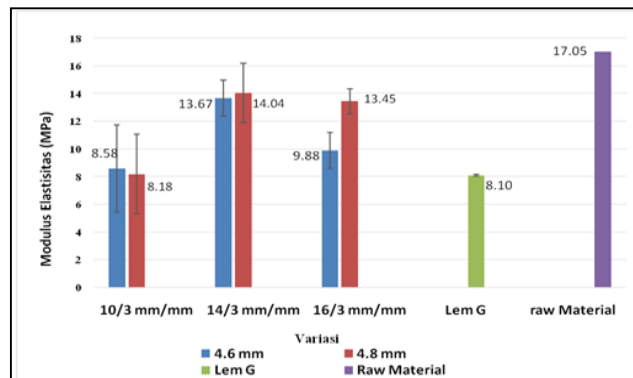
Pada Gambar 8 menunjukkan nilai kuat tarik pada kedalaman pembenaman pin 4,8 mm semakin meningkat dari shoulder 10 mm hingga shoulder 16 mm. Hal ini sesuai dengan penelitian (Triyono, 2015) yang mengatakan semakin dalam kedalaman pembenaman pin tool maka semakin besar pula panas penetrasi yang dihasilkan, sehingga mengakibatkan produksi *friction heat* meningkat. Peningkatan *friction heat* akan menghasilkan material leleh semakin banyak sehingga pengadukan material dapat menghasilkan permukaan yang merata.



Gambar 8. Grafik tegangan pada pengujian tarik



Gambar 9. Grafik regangan pada pengujian tarik.



Gambar 10. Grafik modulus elastisitas pada pengujian tarik.

Pada Gambar 8 menunjukkan nilai kuat tarik pada kedalaman pembenaman pin 4,8 mm semakin meningkat dari shoulder 10 mm hingga shoulder 16 mm. Hal ini sesuai dengan penelitian (Triyono, 2015) yang mengatakan semakin dalam kedalaman pembenaman pin tool maka semakin besar pula panas penetrasi yang dihasilkan, sehingga mengakibatkan produksi *friction heat* meningkat. Peningkatan *friction heat* akan menghasilkan material leleh semakin banyak sehingga pengadukan material dapat menghasilkan permukaan yang merata.

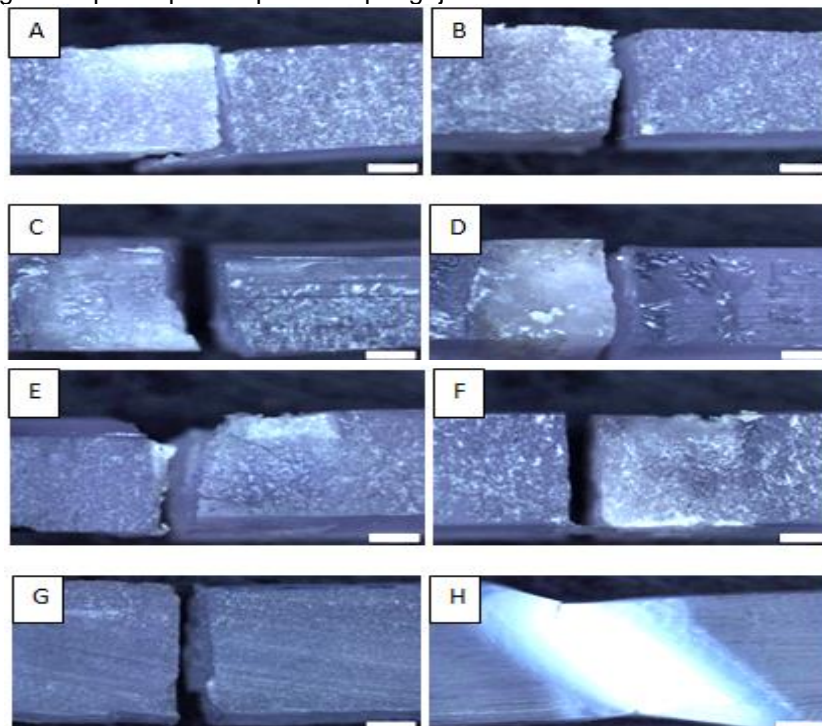
Pada Gambar 9 regangan rata-rata tertinggi pada hasil pengujian tarik terdapat pada variasi rasio diameter *shoulder* 14/3 mm/mm dan *depth plunge* 4,6 mm sebesar 2,31 % dengan nilai standar deviasi sebesar 0.17 %, dan nilai regangan terendah dihasilkan oleh variasi rasio diameter *shoulder* 10/3 mm/mm dan *depth plunge* 4,6 mm sebesar 1,09 % dengan nilai standar deviasi sebesar 0,1%. Hasil regangan dan tegangan rata-rata tertinggi

dihasilkan oleh variasi rasio diameter *shoulder* 14/3 mm/mm dan *depth plunge* 4,6 mm Hal ini dapat disimpulkan bahwa regangan berbanding lurus dengan tegangan dan begitu pula sebaliknya.

Pada Gambar10 hasil pengujian tarik terhadap modulus elastisitas diatas diketahui bahwa nilai modulus elastisitas tertinggi terdapat pada variasi sambungan polikarbonat 14/3 mm/mm & 4,8 mm sebesar 14,03 MPa dan nilai modulus elastisitas terendah terdapat pada variasi sambungan polikarbonat 10/3 mm/mm & 4,8 mm sebesar 8,18 MPa. Hal ini terjadi karena semakin besar nilai modulus elastisitas maka semakin besar juga tegangan yang dibutuhkan untuk regangan tertentu dan sebalik.

3.4 Fraktografi

Fraktografi adalah gambar hasil patahan benda uji setelah proses pengujian tarik. Hasil patahan biasanya diambil dengan menggunakan mikroskop supaya terlihat lebih jelas dan dapat mengetahui posisi patah spesimen pengujian.



Gambar 11. Hasil Patahan spesimen pengujian tarik dengan variasi A. 10/3 mm/mm & 4,6 mm/mm, B. 10/3 mm/mm & 4,8 mm/mm, C. 14/3 mm/mm & 4,6 mm/mm, D. 14/3 mm/mm & 4,8 mm/mm, E. 16/3 mm/mm & 4,6 mm/mm, F. 16/3 mm/mm & 4,8 mm/mm, G. Lem G, dan, H. raw material.

4. Kesimpulan

Pada penelitian friction stir welding menggunakan material polycarbonate dengan variasi rasio diameter shoulder dan kedalaman pembedaman pin (depth plunge) dapat disimpulkan bahwa :

1. Pengelasan pada material *polycarbonate* dengan metode *friction stir welding* telah berhasil dilakukan. Hasil struktur makro pada variasi diameter shoulder 10/3 mm/mm dan pin *tool depth plunge* 4,6 mm terdapat beberapa cacat seperti; cacat *flash*, cacat rongga (*void*) dan cacat *incomplete fusion*.
2. Pada pengujian kekerasan, nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada daerah *advancing side* sebesar 81 Shore D, dan kekerasan tertinggi pada daerah *stir zone* sebesar 80 Shore D pada variasi rasio diameter shoulder 14/3 mm/mm dan pin *tool depth plunge* 4,8 mm. Sedangkan kekerasan tertinggi pada daerah *reatreating side* 81 Shore D pada variasi rasio diameter shoulder 10/3 mm/mm dan pin *tool depth plunge* 4,8 mm.
3. Pada pengujian kuat tarik, kekuatan tertinggi terdapat pada variasi rasio diameter shoulder 14/3 mm/mm dengan kedalaman pembedaman pin (depth plunge) 4,6 mm sebesar 31,54 MPa atau 38,05 % dari kuat tarik raw material. Nilai kekuatan tarik terendah terdapat pada variasi rasio diameter shoulder 10/3 mm dengan depth plunge 4,6 mm sebesar 9,59 MPa atau 11.57 % dari kuat tarik raw material.

Daftar Pustaka

- Broitman E. (2017). Indentation Hardness Measurements at Macro – Micro, and Nanoscale: A Critical Overview. *Tribology Letters*. 65 : 23.
- Budiyantoro C. (2018). Kuliah Teknologi Plastik. Bahan Plastik 2. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.
- Dudzik K. (2014). Properties of Advancing Side on Weld In Joint Welded By Friction Stir Welding. *Journal of KONES Powertrain and Transport*. 21:3.
- Galvao I., Leitao C., Loureiro A. and Rodrigues D. (2012). Friction Stir Welding of Very Thin Plates. *Soldag insp*. 17 : 1.
- Lexan. (2017). Machine Grade Polycarbonate Data Sheet di <https://www.professionalplastics.com/professionalplastics/MachineGradePolycarbonateDataSheet.pdf>. (di akses 25 Juli).
- Mishra RS, Ma ZY. (2005). *Friction Stir Welding and Processing*. Material Science and Engineering. 50 : 78.
- Nurtanto D., dan Hasanuddin A. (2014). Kontribusi Kuat Lentur Polikarbonat Pada Pelat Beton Berpori. Skripsi. Jember: Universitas Jember.
- Permana D. I., Febriansyah R. dan Salam H. (2018). Pengaruh Diameter Shoulder Pada Friction Stir Welding Aluminum 5083 Terhadap Sifat Mekanis Bahan. Skripsi. Bandung: ITENAS Bandung.
- Prasetyana D., dan Sugito B. (2016). Pengaruh Kedalaman pin (depth plunge) terhadap kekuatan sambungan las pada pengelasan adukan gesek sisi ganda (double sided friction stir welding) Alumunium 5083. Skripsi. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Rezgui M.A., Trabelsi A. C., Ayadic M. and Hamraunic K. (2011). Optomization of Friction Stir Welding Proses of Higih Density Polyethylene. *International Journal of Production and Quality Engineering*. 2 : 1.
- Saravanan V., Rajakumar S. and Banerjee N. (2016). Effect of friction stir welding process parameters on microstructure and mechanical properties of dissimilar AA6061-T6 and AA7075-T6 Aluminum Alloy joints. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 84 : 1-4.
- Shazly M., Ahmad M.M.Z. and El-Raey M. (2014). *Characterization of Minerals, Metals, and Materials*. Suez :Jon Wiley And Sons.
- Thomas W.M., Dolby R.E. (1991). *Friction Stir Welding Developments*. Dikutip dari https://www.researchgate.net/publication/273060095_Friction_Stir_Welding_Developments. (di akses 27 Mei).
- Triyono, Nugroho B. and Muhayat N. (2015). Pengaruh *Plunge Depth* dan Preheat Terhadap Sifat Mekanik Sambungan *Friction Stir Welding Polyamide*. Skripsi. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Wiryosumarto H., Okumura T. (1994). *Teknologi Pengelasan Logam*, Cetakan Ke-6, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.

Program Studi Teknik Mesin

Lembar Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir (TA)

Judul TA	Karakterisasi Sambungan <i>Friction Stir Welding Polycarbonate (PC)</i> Dengan Variasi Rasio Diameter <i>Shoulder</i> dan Pin Tools <i>Depth Plunge</i>
Judul Naskah Publikasi	Karakterisasi Sambungan <i>Friction Stir Welding Polycarbonate (PC)</i> Dengan Variasi Rasio Diameter <i>Shoulder</i> dan Pin Tools <i>Depth Plunge</i>
Nama Mahasiswa	Prasetyo
NIM	20150130001
Pembimbing 1	Ir. Aris Widyo Nugroho, M.T., Ph.D.
Pembimbing 2	Cahyo Budiyantoro, S.T., M.Sc.

Hal yang dimintakan persetujuan *:

Abstrak berbahasa Indonesia	Naskah Publikasi
Abstrak berbahasa Inggris

*beri tanda ✓ di kotak yang sesuai

Tanda Tangan:  Prasetyo
 Tanggal: 31 Juli 2019

Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui

Tanda Tangan:  Ir. Aris Widyo Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.
 Tanggal: 31 Juli 2019

Tanda Tangan:  Berli Panipuma Kamiel, S.T., M.M., M.Eng.Sc, Ph.D.
 Tanggal: 31 Juli 2019



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