

Pengaruh *Plunge Depth* dan Preheat Terhadap Sifat Mekanik Sambungan *Friction Stir Welding Polyamide*

Triyono^{1, a *}, Budi Nugroho^{1, b} dan Nurul Muhayat^{1, c}

¹Program studi Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta, Indonesia

^atriyono74@staff.uns.ac.id, ^bbudy.i0409011@gmail.com, ^cnurulmuhayat@ymail.com

* penulis penanggung jawab

Abstrak

Friction stir welding adalah penyambungan dengan memanfaatkan panas yang ditimbulkan oleh gesekan antara material benda kerja dan pin. Beberapa tahun terakhir penelitian tentang FSW untuk material non logam seperti *polymer* telah banyak dilakukan. Pengelasan Friction Stir Welding memiliki beberapa parameter antara lain kecepatan putaran tool, kecepatan pengelasan, tool plunge depth. Penelitian ini akan meneliti tentang pengaruh *plunge depth* terhadap sifat mekanik sambungan FSW material *polyamide* dengan pemanasan awal. Plunge depth yang digunakan dalam penelitian ini adalah 5,6 mm; 5,65 mm; 5,7 mm; 5,75 mm. Parameter yang dijaga tetap konstan yaitu kecepatan putar tool 620 rpm, kecepatan pengelasan 7,3 mm/menit dan sudut kemiringan tool 2°. *Preheat* 170°C dan non *preheat* digunakan untuk membandingkan kedua metode tersebut. Kekuatan tarik dan bending maksimum didapat pada kedalaman pemakanan 5,7 mm dengan *preheat*. Nilai maksimal kekuatan tarik dan bending adalah 27,3 mpa dan 75,7 mpa. Optimalisasi kedalaman tool dan preheat akan menjadikan proses pengadukan menjadi lebih baik, sehingga material leleh dapat menyebar diseluruh daerah lasan. Penyebaran material leleh yang merata akan meminimalisir terjadinya void atau cacat. Sebagai hasilnya kekuatan mekanik sambungan meningkat.

Kata kunci : *Friction Stir Welding, Polyamide, Plunge Depth, Heater*

Pendahuluan

Pengelasan merupakan salah satu proses penyambungan material dengan memanfaatkan energi panas (Wiryosumarto dan Okumura 2000). Teknik pengelasan semakin berkembang seiring dengan perkembangan jenis dan aplikasi dari material tersebut. Salah satu teknik pengelasan yang sekarang ini sedang berkembang adalah *Friction Stir Welding* (FSW). FSW dikenalkan pertama kali oleh *The Welding Institute* (TWI) of UK 1991 sebagai teknik sambungan padat (Mirsha dan Ma 2005). Kiss dan Czigany, (2007) mempelajari aplikasi FSW pada material polimer dan menyatakan bahwa teknologi FSW dapat diterapkan pada material polimer.

Proses FSW terdiri dari tiga fase yaitu *plunging*, *stirring* dan *retracting* (kurtulmus 2012). Konsep dasar teknik penyambungan ini adalah menyambung dua material dengan

memanfaatkan sumber panas yang berasal dari gesekan putaran *tool* dengan permukaan benda kerja. *Tool* yang berputar ditekan pada permukaan antara dua material yang akan disambung. Gesekan *tool* dan material akan menghasilkan panas hingga mencapai temperature 0,6-0,8 temperatur leleh material tersebut (Thomas, dkk. 1991). Pengelasan FSW memiliki kelebihan antara lain tidak memerlukan *filer metal*, biayanya lebih murah daripada pengelasan busur, hasil pengelasan memiliki sifat mekanik yang baik, proses pengelasan yang lebih cepat dan efisien, pengelasan ini aman karena tidak menggunakan gas pelindung dan aman dari radiasi sinar ultraviolet (Mishra dan Ma, 2005). Menurut Panneerselvam, dkk (2004), hasil sambungan material non logam dengan metode FSW memiliki kekuatan yang lebih tinggi daripada sambungan dengan *adhesive bonding*.

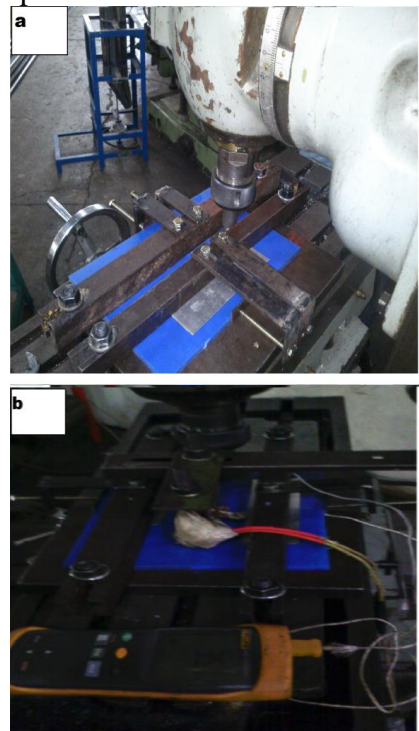
Beberapa tahun terakhir penelitian tentang FSW untuk material non logam seperti *polymer* telah banyak dilakukan. Polimer merupakan bahan pengganti logam yang sering digunakan pada industri makanan, minuman, otomotif, transportasi, dan tekstil. Dibandingkan dengan logam polimer memiliki keunggulan antara lain ringan, tahan korosi dan lebih murah. Salah satu jenis polimer yang memiliki ketahanan atau daya leleh yang baik adalah *polyamide* (nylon). Contoh penggunaan *polyamide* yaitu pada mesin EDM (*electric discharge machine*) sebagai tempat larutan dielektrik. Setiawan (2011) mempelajari aplikasi FSW dalam material HDPE dan menyatakan bahwa material plastik memiliki nilai konduktivitas panas rendah yang menjadi kendala dalam proses FSW. Terdapat beberapa parameter dalam pengelasan FSW yang perlu diperhatikan yaitu *rotational speed*, *welding speed*, *design pin*, *transfer speed*, *axial force* atau *shoulder depth plunge*, temperatur pengelasan. Arici dan Sinmaz (2005) mempelajari pengaruh *tool double pass* pada FSW dari *polyethylene*, dan menyatakan bahwa *double pass* mampu meningkatkan sifat mekanik sambungan. FSW dapat digunakan untuk penyambungan material *thermoplastic*, tetapi kualitas sambungan tidak mencukupi karena homogenitas tidak memuaskan dan mengakibatkan *embrittlement* pada sambungan (Squeo 2009). Lenin (2013) meneliti pengaruh kecepatan *tool*, kecepatan pengelasan, dan bentuk pin terhadap kekerasan dan struktur mikro pengelasan FSW pada material lembaran *nylon 6*. Pengelasan FSW dengan perlakuan *preheating* pada material memiliki homogenitas dan sifat mekanis yang lebih baik daripada tanpa *preheating* (Aydin 2010). Prasad (2012) mengemukakan bahwa untuk mendapatkan hasil lasan yang maksimal perlu kondisi dimana material sekitar *tool* cukup panas untuk meminimalkan gaya yang bekerja pada *tool*.

Plunge depth adalah kedalaman terendah *tool shoulder* yang menembus benda kerja (Dirhamsyah 2011). Banyak penelitian yang dilakukan pada hasil pengelasan FSW hanya membahas pengaruh kecepatan *tool*,

kecepatan pengelasan, dan bentuk pin, sedangkan pengaruh kedalaman pemakanan atau *plunge depth* belum banyak dilakukan. Padahal kedalaman pemakanan akan berpengaruh pada tingkat penetrasi dan panas yang dihasilkan. Penelitian ini akan meneliti tentang pengaruh *plunge depth* terhadap sifat mekanik sambungan FSW material *polyamide* dengan pemanasan awal. Proses pengelasan FSW pada penelitian ini akan dimodifikasi dengan menambahkan pemanasan awal berupa *electric heater* yang diletakkan pada permukaan benda kerja. Pemanas tambahan berfungsi untuk memanaskan benda kerja atau *preheat*. Dengan adanya *preheat* pada benda kerja hasil lasan diharapkan menjadi lebih baik.

Metodologi Penelitian

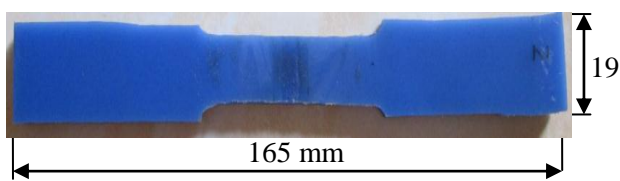
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah plat *polyamide*. Dimensi material pengelasan adalah 200 x 85 x 6 mm. Pengelasan menggunakan mesin milling 57-3C. Pengelasan FSW dalam penelitian ini menggunakan dua metode yaitu pengelasan tanpa pemanasan awal dan pengelasan dengan pemanasan awal dengan setting alat seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses *Friction stir welding* (a) tanpa pemanasan awal (b) dengan pemanasan awal

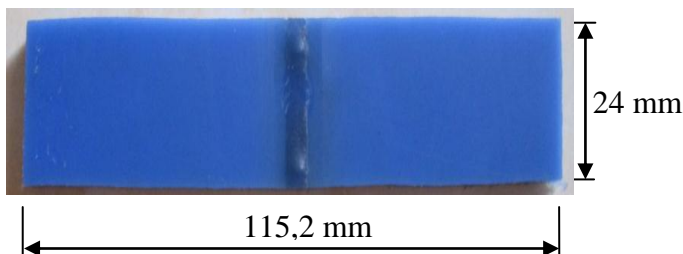
Kedalaman pemakanan (*plunge depth*) divariasikan sebesar 5,6 mm, 5,65 mm, 5,7 mm, 5,75 mm. Parameter proses FSW yang dijaga konstan antara lain adalah *tool inclined* sebesar 2°, kecepatan putar sebesar 620 rpm dan *transfer speed* adalah 7,3 mm/min. Temperatur pada variasi pemanasan awal diatur sebesar 170°C menggunakan *thermocontroller*.

Pengujian tarik hasil las dilakukan dengan *Universal Testing Machine* berdasarkan standar ASTM D 638. Dimensi gambar ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Spesimen uji tarik

Pengujian bending meliputi dua pengujian yaitu *face bending* dan *root bending*. Pengujian bending dilakukan dengan metode *3 point bending* menggunakan *Universal Testing Machine* berdasarkan standar ASTM D 790. Dimensi spesimen ditunjukkan Gambar 3.

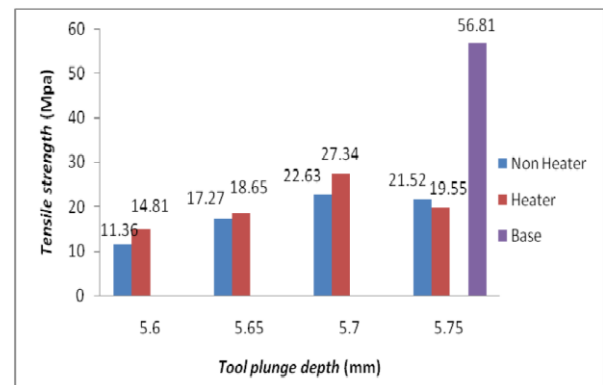


Gambar 3. Spesimen uji bending

Hasil Penelitian Dan Pembahasan

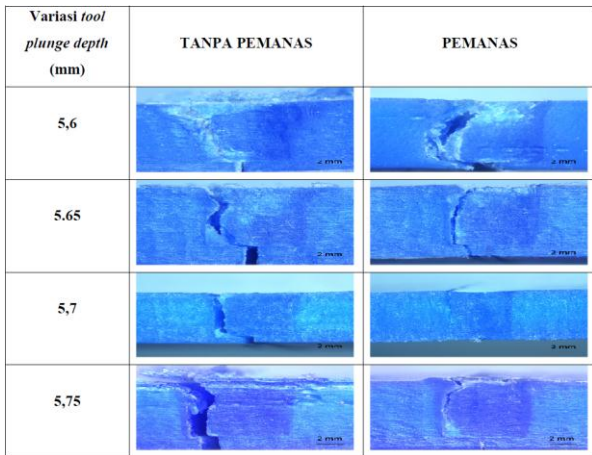
Gambar 4. menunjukkan hubungan antara *tensile strength* dengan *tool plunge depth*, dari gambar tersebut diketahui bahwa *tool plunge depth* akan berpengaruh terhadap kekuatan tarik sambungan. Hal ini dapat dilihat pada spesimen dengan variasi 5,6mm 5,65mm, dan 5,7mm dimana seiring dengan penambahan kedalaman *tool* maka kekuatan tarik sambungan semakin meningkat. Penambahan kedalaman *tool* akan mengakibatkan tekanan *tool* semakin meningkat, sehingga produksi *friction heat* akan meningkat. Peningkatan

friction heat mengakibatkan material yang meleleh semakin banyak sehingga pengadukan material dapat terjadi secara optimal. Pengadukan material yang sempurna oleh putaran *tool* menyebabkan material leleh atau *soft* material mengisi secara sempurna kedalam rongga sambungan sehingga mempersempit ruang terbentuknya cacat pada sambungan. Semakin rongga sambungan atau zona las terisi penuh maka kekuatan tarikannya akan semakin meningkat (Paygadeh dkk, 2011). Kekuatan tarik sambungan las dengan pemanasan awal memiliki nilai yang lebih tinggi dari pada tanpa pemanasan awal. Hal tersebut terjadi karena peningkatan temperatur pada material akan mengakibatkan material menjadi lunak sehingga pengadukan material oleh putaran *tool* lebih optimal dan material leleh dapat mengisi seluruh rongga sambungan.

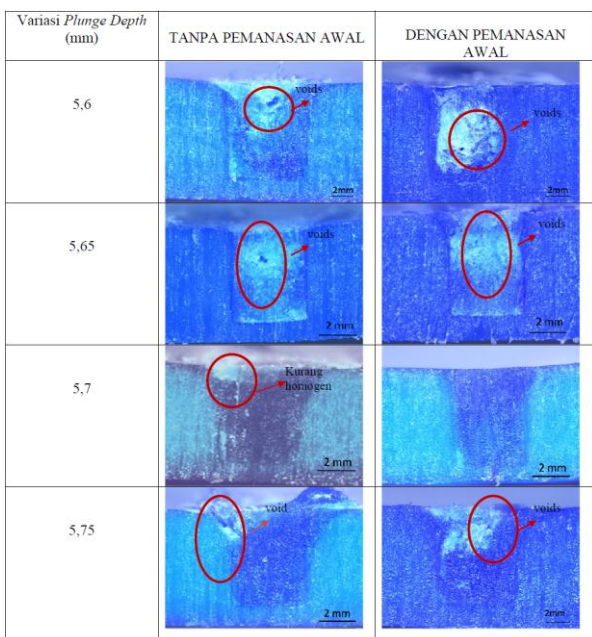


Gambar 4. Pengaruh *Tool plunge depth* dan pemanasan awal terhadap kekuatan tarik spesimen hasil las FSW *polyamide*.

Kekuatan tarik terendah terjadi pada variasi kedalaman *tool* 5,6mm tanpa pemanasan awal yaitu 11,36 Mpa. Hal ini terjadi karena kedalaman *tool* yang kurang akan menyebabkan tekanan yang diterima oleh material kurang, sehingga *friction heat* yang dihasilkan dari gesekan antara *tool* dengan material benda kerja kurang. *Friction heat* yang kurang akan mengakibatkan material yang leleh tidak mengisi rongga sambungan secara penuh dan akibatnya terjadi cacat *void* pada sambungan.



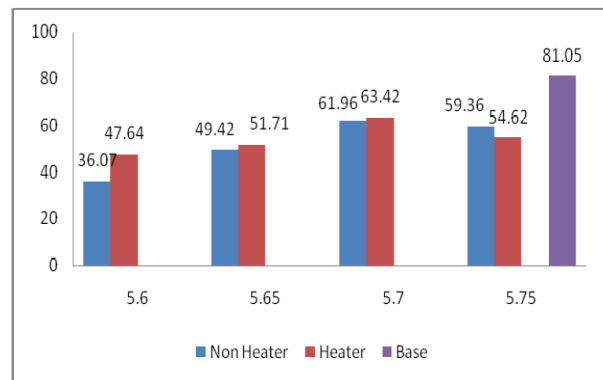
Gambar 5. Foto makro patahan spesimen tarik las FSW *polyamide*



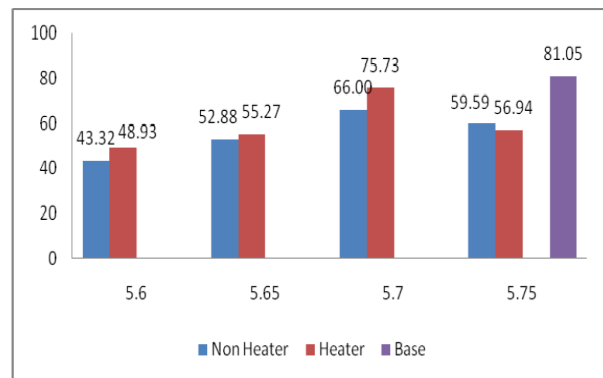
Gambar 6. Foto makro penampang melintang spesimen las FSW *polyamide* dengan variasi *tool depth plunge* dan pemanasan awal

Jenis cacat yang terjadi pada pengelasan FSW berupa cacat rongga (*void*). *Void* terjadi karena kurangnya tekanan *tool* terhadap material benda kerja dan mengakibatkan *friction heat* dihasilkan tidak mampu untuk melelehkan material secara optimal sehingga jumlah material yang meleleh tidak dapat mengisi rongga sambungan secara sempurna. Selain cacat *void* kurangnya material yang meleleh mengakibatkan sambungan material kurang homogen, hal ini dapat dilihat dari warna putih yang terdapat pada sambungan. Gambar 5 menunjukkan patahan yang dihasilkan dari pengujian tarik terlihat bahwa daerah cacat menjadi bagian yang paling

rawan, hal ini terlihat dari bentuk patahan yang selalu melewati daerah cacat. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa patahan selalu terjadi pada sisi *advancing* (sisi bagian pengelasan yang searah dengan arah pengelasan) yang merupakan sisi dimana terdapat banyak cacat dan tingkat homogenitas yang kurang. Pemanasan awal dan kedalamn *tool* yang sesuai akan mengurangi terjadinya cacat, sehingga kekuatan sambungan akan semakin meningkat.



a. (*Root Bending*)



b. (*Face Bending*)

Gambar 7. Pengaruh *Tool Plunge Depth* dan pemanasan awal terhadap kekuatan *Root bending* dan *Face bending* spesimen hasil las FSW *polyamide*.

Gambar 7 menunjukkan bahwa kenaikan nilai kekuatan *bending* meningkat seiring dengan penambahan kedalaman pemakanan baik pada *face bending* dan *root bending*. Hal ini dapat dilihat pada spesimen dengan variasi kedalamn pemakanan 5,6 , 5,65 , 5,7 mm. Penambahan kedalaman *tool* menyebabkan kenaikan tekanan *tool* sehingga *friction heat* akibat gesekan antara material dengan *tool* pada saat proses pengadukan berlangsung

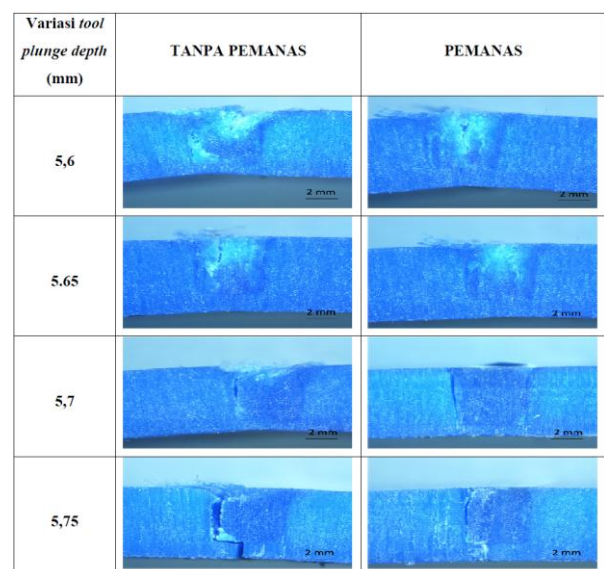
meningkat. Peningkatan *friction heat* akan mengakibatkan *soft material* atau material leleh semakin banyak, sehingga rongga sambungan terisi penuh. Semakin banyak *molten material* yang mengisi rongga sambungan secara sempurna akan mempersempit ruang terbentuknya *void* pada sambungan. Sambungan material dengan menggunakan pemanasan awal memiliki nilai kekuatan *bending* yang lebih besar daripada tanpa pemanasan awal. Hal tersebut terjadi karena peningkatan temperatur pada material mengakibatkan material menjadi lunak, sehingga pengadukan material lebih optimal.

Nilai kekuatan *bending* terendah terjadi pada *root bending* dengan variasi kedalaman pemakanan 5,6 mm tanpa pemanasan awal yaitu 36,07 Mpa. Hal ini terjadi karena kurangnya tekanan yang diterima material, *friction heat* yang dihasilkan tidak mampu untuk melelehkan material secara sempurna. *Soft material* yang kurang akan mengakibatkan adanya rongga pada sambungan dan mengurangi kekuatan sambungan. Kekuatan *bending* tertinggi terjadi pada *face bending* dengan variasi kedalaman pemakanan 5,7 mm dengan pemanasan awal sebesar 75,7 Mpa. Penambahan kedalaman pemakanan akan mengakibatkan tekanan meningkat sehingga *friction heat* meningkat (Kurtulmus, 2012). Peningkatan *friction heat* akan membuat *molten material* semakin banyak, dan dengan pemanasan awal tersebut membuat material menjadi lunak sehingga pengadukan terjadi secara optimal.

Kekuatan *face bending* dan *root bending* material dengan variasi kedalaman pemakanan 5,75 mm mengalami penurunan baik pada variasi pemanasan awal dan tanpa pemanasan awal. Hal tersebut dapat dilihat dari Gambar 6 yang menunjukkan foto makro lasan dimana, tekanan yang semakin besar mengakibatkan *friction heat* yang dihasilkan semakin besar sehingga memicu terjadinya cacat berupa *void* dan menyebabkan kekuatannya sambungan berkurang.

Hasil patahan spesimen pengujian *bending* dapat dilihat pada Gambar 8, yang menunjukkan bahwa daerah cacat menjadi awal terjadinya patahan. Penambahan

kedalaman pemakanan akan berpengaruh pada homogenitas sambungan yang ditunjukkan dengan mulai berkurangnya warna putih pada sambungan seiring dengan penambahan kedalaman pemakanan. Namun pada kedalaman pemakanan yang terlalu dalam menyebabkan munculnya cacat berupa *void* pada sambungan yang terjadi karena *friction heat* yang terlalu tinggi. Pemanasan awal juga menjadikan homogenitas sambungan semakin baik, namun pada kedalaman maksimal pemanasan awal akan menjadikan kekuatan sambungan turun karena munculnya cacat berupa *void* pada sambungan. Penambahan pemakanan akan berpengaruh pada tekanan tol terhadap material benda kerja sehingga *friction heat* akan meningkat. Peningkatan *friction heat* menjadikan *soft material* semakin banyak sehingga sambungan dapat terisi dengan penuh. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 4.5 dimana semakin dalam pemakanan maka homogenitas meningkat dan cacat pada sambungan akan semakin berkurang. Namun kedalaman pemakanan yang terlalu dalam akan menjadikan material rusak. Hal ini terjadi karena pemakanan yang terlalu dalam menyebabkan *friction heat* terlalu tinggi sehingga memicu terjadinya cacat pada sambungan, yang berakibat kekuatan sambungan menurun.



Gambar 8. Foto makro patahan spesimen *root bending* las FSW *polyamide*

Pemanasan awal juga berpengaruh terhadap struktur makro dari lasan, dimana dengan adanya pemanasan awal struktur makro dari sambungan menjadi semakin baik. Hal ini terjadi karena pemanasan awal akan menjadikan material lunak sehingga pengadukan material oleh *tool* dapat berlangsung secara optimal. Pengadukan yang optimal menjadikan material leleh dapat tersebar merata mengisi rongga sambungan sehingga sambungan lebih kuat. Namun pemanasan awal pada kedalaman pemakanan paling dalam menjadikan sambungan berkurang kekuatannya, hal ini terjadi karena *friction heat* yang terlalu tinggi karena pemakanan yang terlalu dalam dan ditambah pemanasan awal mengakibatkan munculnya cacat berupa *void* pada sambungan. Penambahan kedalaman pemakanan dan pemanasan awal yang sesuai akan mengurangi terjadinya cacat pada sambungan sehingga sambungan akan semakin kuat.

Kesimpulan

Kesimpulan yang bisa diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Peningkatan kedalaman pemakanan sampai 5,7 mm menyebabkan *friction heat* meningkat, sehingga pengadukan material menjadi optimal dan mampu mengisi seluruh rongga sambungan, namun ketika kedalaman ditingkatkan sampai 5,75 mm panas yang dihasilkan terlalu tinggi dan mengakibatkan timbulnya cacat pada sambungan, sehingga kekuatan mekaniknya turun.
2. Pemanasan awal pada *Friction Stir Welding* menjadikan material lunak sehingga pengadukan menjadi optimal dimana sampai kedalaman pemakanan 5,7 mm kekuatan mekaniknya semakin meningkat, namun ketika kedalaman ditingkatkan sampai 5,75 mm pemanasan awal menjadikan cacat pada sambungan semakin meningkat hal ini mengakibatkan kekuatan mekaniknya menurun.
3. Kekuatan mekanik tertinggi didapat pada kedalaman pemakanan 5,7 mm dengan pemanasan awal yaitu tarik 27,3 Mpa,

face bending 75,7 mm dan *root bending* 63,4 Mpa.

Referensi

- [1] Arici A, Sinmaz T. 2005. *Effect of Double Passes of The Tool on Friction Stir Welding of Polyethylene*. Departement of Mechanical Engineering, Kocealy University, 41040 Ismit, Turkey
- [2] Mishra RS, Ma ZY. 2005. *Friction Stir Welding and Processing*. Material Science and Engineering, 50 : 1 – 78.
- [3] Kiss Z, Czigany T. 2007. *Applicability of Friction Stir Welding in Polymeric Materials*. Per. Pol. Mech. Eng., 51 : 15 – 18.
- [4] Aydin M. 2010. *Effect Of Welding Parameters And Pre-heating On The Friction Stir Welding Polyethylene*. Polymer Plastic Technology And Engineer 49:6, 595-601
- [5] Dirhamsyah MR. 2011. *Pengaruh Perubahan Parameter Terhadap Sifat Mekanik Material AC4CH Pada Proses FSW*. Skripsi Universitas Indonesia.
- [6] Lenin K, Panneerselvam. 2013. *Study Hardness and Micro Structural Characterization of The Friction Stir Welding Nylon 6 Plate*. International Journal of Mechanical, Vol. 2, Issues 2 : 51 – 62.
- [7] Megantoro L, Hendropasetyo W. 2012. *Pengaruh Pengelasan Aluminium 5083 Terhadap Sifat Mekanis dan Biaya Pengelasan dengan Perbedaan Diameter Shoulder pada Friction Stir Welding*. Jurnal Ilmiah Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya, 1 – 9.
- [8] Memduh K. 2012. *Friction Stir Spot Welding Parameters For Polypropylene Sheets*. Departemen Of Material Technology, Marmara University, Istanbul, 34772, Turkey
- [9] Mustafa K, Ahmet I. 2011. *Effect Of Welding Prameters On Friction Stir Spot Welding Of High Density Polyethylene Sheets*. Departemen Of Material Technology, Marmara University, Istanbul 34722, Turkey
- [10] Panneerselvam K, Aravindan S, Noorul Haq A. 2004. *Joining Of Plastic By Frictional Vibration*. International Symposium Of Research Student On Materials Sience And Engineering, 1- 5.

- [11] Payganeh GH, Mostafa A, Dadgar A, Ghasemi F, Saeidi BM. 2011. *Effects of Friction Stir Welding Process Parameters on Appearance and Strength of Polypropylene Composite Welds*. International Journal of Physical Sciences, 6 : 4595 – 4601.
- [12] Prasad RV, Raghava M. 2012. *Fsw Of Polypropylene Reinforced With Al₂O₃ Nano Composites, Effect On Mechanical And Microstructural Properties*. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), Vol. 2, Issues 6 : 288 – 296.
- [13] Setiawan A, Irawan YS, Purnowidodo A. 2011. *Pengaruh Temperatur Pelat Landasan Selama Proses Friction Stir Welding Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las Lembaran HDPE*. Jurnal Rekayasa Mesin Vol.2, No. 3 232-240.
- [14] Squeo EA, Bruno G, Guglielmotti A, Quadrini F. 2009. *Friction Stir Welding Of Polyethylene Sheets*. The Annals of “Dunarea De Jos” University Of Galati. Fascicle V, Technologies in Machine Building, ISSN 1221- 4566.