

Pengaruh plunge depth dan preheat terhadap sifat mekanik sambungan friction stir welding polyamide

Budy Nugroho¹, Triyono², Nurul Muhayat²

¹Program Sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta tlp. 0271632163

²Staff Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta tlp. 0271632163
Email korespondensi: nurulmuhayat@staff.uns.ac.id

Abstrak

Pengelasan gesek stir welding merupakan metode penggabungan dengan memanfaatkan panas yang disebabkan gesekan antara benda kerja dan pin. Pengelasan ini menggunakan beberapa parameter seperti kecepatan alat rotasi, kecepatan pengelasan, dan kedalaman pemakanan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kedalaman pemakanan dan pemanasan awal pada sifat mekanik bahan poliamida friction stir welding. Penelitian ini menggunakan kedalaman pemakanan 5,6 mm, 5,65 mm, 5,7 mm, dan 5,75 mm. Parameter yang dipertahankan konstan adalah kecepatan putaran alat 620 rpm, kecepatan pengelasan 7,3 mm / menit, dan sudut kemiringan alat 20. Panaskan awal 170⁰C dilakukan dengan metode non panas sebelum membandingkan kedua metode tersebut. Kekuatan tarik maksimum dan lentur itu didapat dari kedalaman pemakanan 5,7 mm dengan preheat. Nilai tegangan tarik dan bending maksimal sebesar 27,3 Mpa, dan 75,7 Mpa. Optimalisasi kedalaman pemakanan dan pemanasan awal membuat pengadukan(stir) lebih baik sehingga bahan cair bisa menyebar ke seluruh wilayah pengelasan. Penyebaran bahan cair meminimalkan kekosongan atau cacat pada daerah lasan. Akibatnya, karakteristik mekanis gabungan meningkat.

Kata kunci: las pengadukan gesek (fsw), polyamide , kedalaman, pemanasan

Abstract

Friction stir welding is a joining method that utilizes heat caused by the friction between workpiece material and pin. It employs several parameters such as tool rotational speed, welding speed, and plunge depth. The objective of this research is to investigate the effect of plunge depth and preheat on the mechanical properties of friction stir welding polyamide materials. This research used the plunge depths of 5.6 mm, 5.65 mm, 5.7 mm, and 5.75 mm. The parameters maintained to be constant were tool rotational speed of 620 rpm, welding speed of 7.3 mm/minutes, and tool tilt angle of 2⁰. Preheat of 170⁰C was done as well non preheat method to compare of both methods. The maximum tensile and bending strength was obtained at the tool plunge depth of 5.7 mm with preheat. The value of maximum tensile and bending is 27,3 Mpa, and 75,7 Mpa. The optimization of tool plunge depth and preheat made the stirring better so that the molten material could spread all over weld region. The spreading of the molten material minimized void or defect in the weld region. As a result, the mechanical characteristic of joint increased

Keywords: friction stir welding (fsw), polyamide , plunge depth, heater

1. Pendahuluan

Pengelasan merupakan salah satu proses penyambungan material dengan memanfaatkan energi panas. 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 [1]. [2] mempelajari aplikasi FSW pada material polimer

dan menyatakan bahwa teknologi FSW dapat diterapkan pada material polymer.

Proses FSW terdiri dari tiga fase yaitu *plunging*, *stirring* dan *retracting*[3]. 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 ditekankan 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 [4] 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 [1]. Menurut [5], hasil sambungan material non logam dengan metode FSW memiliki kekuatan yang lebih tinggi daripada sambungan dengan *adhesive bonding*.



Gambar 1. Plat polyamide

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. [6] mempelajari aplikasi FSW dalam material HDPE dan menyatakan bahwa material plastik memiliki nilai konduktivitas panas rendah yang menjadi kendala dalam proses FSW.

Pengelasan FSW dengan perlakuan *preheating* pada material memiliki homogenitas dan sifat mekanis yang lebih baik daripada tanpa *preheating* [7]. [5] 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 [8]. 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. Pemanasan tambahan berfungsi untuk memanaskan benda kerja atau *preheat*. Dengan adanya *preheat* pada benda kerja hasil lasan diharapkan menjadi lebih baik.

2. Metode

Bahan Penelitian

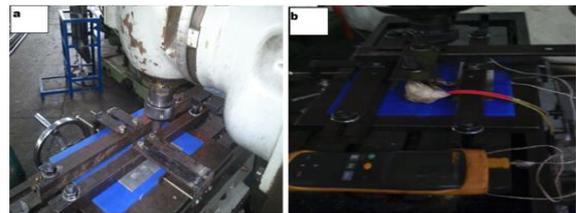
Bahan yang digunakan adalah plat *polyamide*. Bahan tersebut ditunjukkan dalam Gambar 1 berikut ini.

Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin *milling 57-3C*, *tool*, *thermocontroller*, *thermocouple*, pencekam spesimen, *Universal Testing Machine* (UTM) dan mikroskop makro.

Prosedur Penelitian

Proses pengelasan dilakukan di laboratorium proses produksi Universitas Sebelas Maret Surakarta. Pengelasan menggunakan mesin *milling 57-3C*. pengelasan menggunakan dua metode yaitu pengelasan tanpa pemanasan awal dan pengelasan dengan pemanasan awal.



Gambar 2 Proses *Friction stir welding* (a) tanpa pemanasan awal (b) dengan pemanasan awal

Proses pengelasan plat *polyamide* menggunakan mesin *milling* dengan mengatur *tool inclined* sebesar 2° . Kecepatan putar yang dipakai sebesar 620 rpm dan *transfer speed* 7,3 mm/min. Temperatur pada variasi pemanasan awal diatur sebesar 170°C menggunakan *thermocontroller*

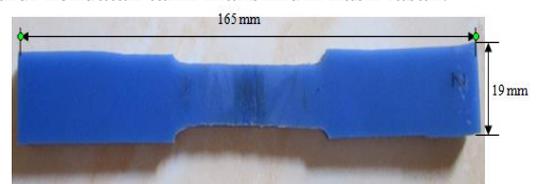
Metode Analisis Data

Pengamatan struktur makro

Pengamatan struktur makro sambungan dilakukan untuk mengetahui struktur makro sambungan hasil lasan FSW *polyamide*.

Uji Tarik

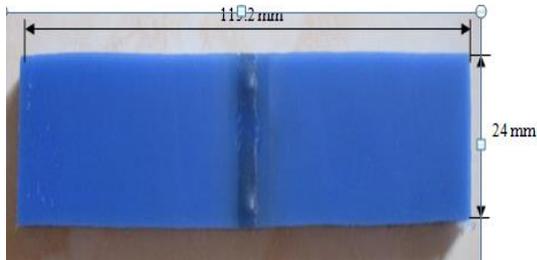
Pengujian tarik hasil lasan menggunakan standar ASTM D638. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik maksimum hasil lasan.



Gambar 3. Spesimen Uji Tarik ASTM D 638

Uji bending

Pengujian bending hasil lasan menggunakan standar ASTM D790. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan bending maksimum hasil lasan.

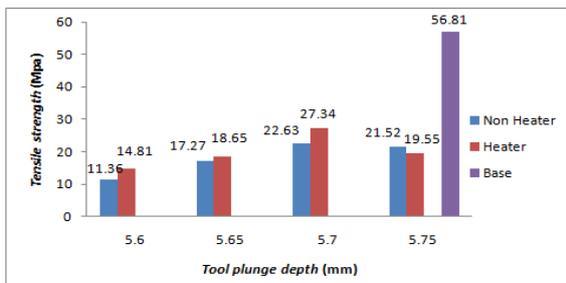


Gambar 4. Spesimen Uji Bending ASTM D 790

3. Hasil dan Pembahasan

Kekuatan tarik (Tensile Strength)

Pengujian tarik berfungsi untuk mengetahui kekuatan sambungan las FSW dalam menahan beban arah sejajar permukaan las. Beban yang diberikan adalah beban statik. Pengujian dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D 638 (Standart Test Method For Tensile Properties Of Plastic). Hasil penelitian menunjukkan bahwa Tool Plunge Depth dan pemanasan awal berpengaruh terhadap kekuatan tarik spesimen hasil las.



Gambar 5 Pengaruh Tool plunge depth dan pemanasan awal terhadap kekuatan tarik spesimen hasil las FSW polyamide.

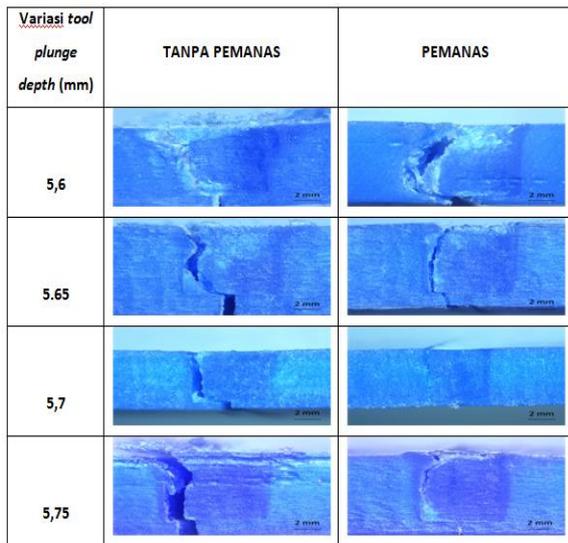
Gambar 5 menunjukkan hubungan antara tensile strength dengan tool plunge depth, dari gambar tersebut diketahui bahwa tool plunge depth akan berpengaruh terhadap kekuatan tarik sambungan. Hal ini dapat dilihat pada spesimen dengan variasi 5,6mm, 5,65mm, dan 5,7mm dimana seiring dengan penambahan kedalaman 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 tariknya 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.

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.

Kekuatan tarik tertinggi terjadi pada kedalaman tool 5,7 mm dengan pemanasan awal yaitu 27,3 Mpa. Hal tersebut dapat dilihat dari gambar 4.2 yang menunjukkan foto makro lasan, dimana pada kedalaman 5,7 mm dengan pemanasan awal memiliki hasil sambungan las yang paling baik. Namun kekuatan tarik material dengan variasi kedalaman tool 5,75mm mengalami penurunan yaitu 19,5Mpa. Turunnya kekuatan tarik tersebut terjadi karena adanya cacat berupa void pada lasan yang dapat dilihat dari gambar 4.3

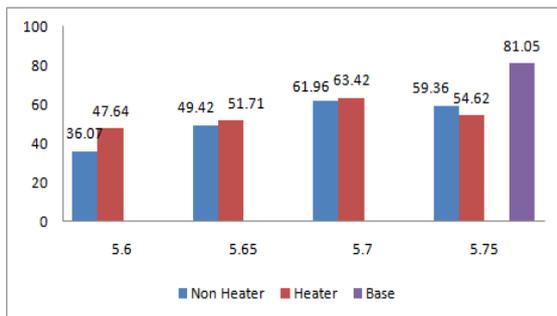
Jenis cacat yang terjadi pada pengelasan FSW berupa cacat rongga (void). Void terjadi karena kurangnya tekanan tool terhadap material benda kerja dan mengakibatkan friction heat dihasilkan tidak mampu untuk melelehkan material secara optimal sehingga jumlah material yang meleleh tidak dapat mengisi rongga 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 6 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 kedalaman tool yang sesuai akan mengurangi terjadinya cacat, sehingga kekuatan sambungan akan semakin meningkat.



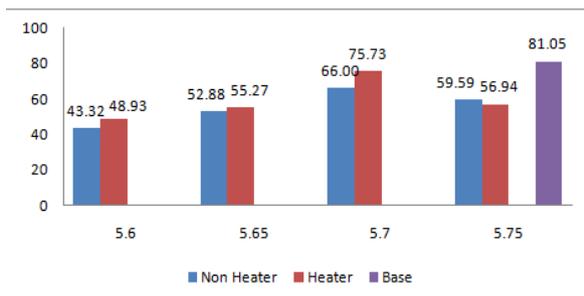
Gambar 6 Foto makro patahan spesimen tarik las FSW polyamide

Kekuatan bending (Bending Strength)

Pengujian *bending* berfungsi untuk mengetahui kekuatan sambungan las terhadap gaya yang bekerja secara tegak lurus terhadap permukaan sambungan. Beban yang digunakan dalam pengujian *bending* adalah beban statik. Pengujian dilakukan berdasarkan standar ASTM D 790. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *tool plunge depth* dan pemanasan awal berpengaruh terhadap kekuatan *bending* spesimen hasil las.



a. (Root Bending)



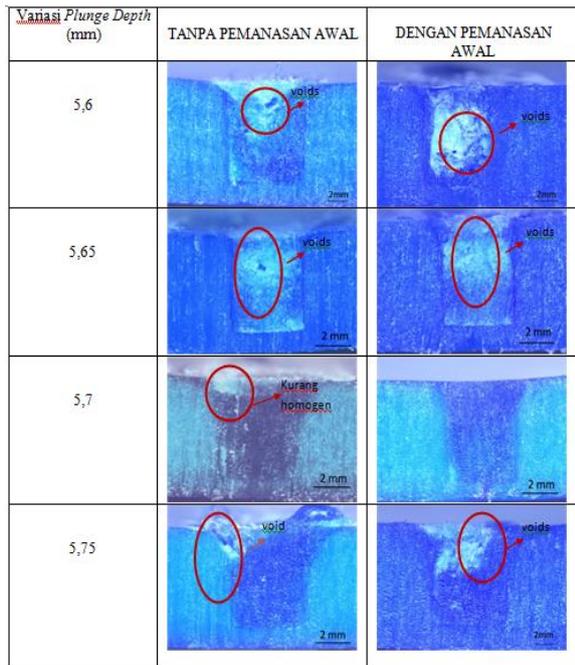
b. (Face Bending)

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 kedalaman 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.

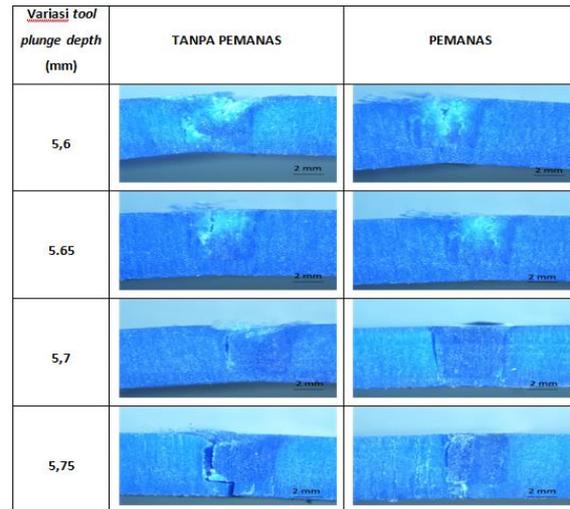
Nilai kekuatan *bending* terendah terjadi pada *root bending* dengan variasi kedalaman pemakanan 5,6 mm tanpa pemanasan awal yaitu 36,07 Mpa. Hal ini terjadi karena kurangnya tekanan yang diterima material, *friction heat* yang dihasilkan tidak mampu untuk melelehkan material secara sempurna. *Soft material* 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 [3] 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 8 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.



Gambar 8. Foto makro penampang melintang spesimen las FSW polyamide dengan variasi *tool depth plunge* dan pemanasan awal

Hasil patahan spesimen pengujian *bending* dapat dilihat pada gambar 9, dari gambar tersebut terlihat bahwa daerah cacat menjadi awal terjadinya patahan. Penambahan kedalaman pemakanan akan berpengaruh pada homogenitas sambungan. Hal ini dapat dilihat dari gambar 9 yang menunjukkan 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.



Gambar 9. Foto makro patahan spesimen *root bending* las FSW polyamide

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 9 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.

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.

4. Kesimpulan

Penelitian tentang pengaruh *plunge depth* dan pemanasan awal terhadap kekuatan mekanik polyamide hasil las *Friction Stir Welding* telah dilakukan. Berdasarkan analisis data dan pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Peningkatan kedalaman pemakanan sampai 5,7 mm menyebabkan *friction heat* meningkat, sehingga pengadukan material menjadi optimal dan mampu mengisi seluruh rongga sambunga, 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.
- [8] A. Setiawan, Y.S. Irawan, A. Purnowidodo. 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.

Daftar Pustaka

- [1] Mishra RS, Ma ZY. 2005, *Friction Stir Welding and Processing*. Material Science and Engineering, 50 : 1 – 78.
- [2] Z. Kiss, T Czigany. 2007, Applicability of Friction Stir Welding in Polymeric Materials. Per. Pol. Mech. Eng., 51 : 15 – 18.
- [3] MR. Dirhamsyah. 2011, Pengaruh Perubahan Parameter Terhadap Sifat Mekanik Material AC4CH Pada Proses FSW. Skripsi Universitas Indonesia.
- [4] K Lenin, 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.
- [5] L. Megantoro, W. Hendroprasetyo. 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.
- [6] K. Mustafa, I Ahmet. 2011, *Effect Of Welding Parameters On Friction Stir Spot Welding Of High Density Polyethylene Sheets*. Departemen Of Material Technology, Marmara University, Istanbul 34722, Turkey
- [7] GH Payganeh, A Mostafa, A. Dadgar, F. Ghasemi, BM. Saeidi. 2011, *Effects of Friction Stir Welding Process Parameters on Appearance and Strength of Polypropylene Composite Welds*. International Journal of Physical Sciences, 6 : 4595 – 4601.