

PENGARUH BENTUK *PIN TOOL* TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA PENGELASAN *FRICITION STIR WELDING POLYPROPYLENE (PP)*

Muhammad Rudito^a, Aris Widyo Nugroho^b, Muh. Budi Nur Rahman^c

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
 Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183

[a](mailto:ruditomuhammad1@gmail.com)[b](mailto:Nugrohoaris@gmail.com)[c](mailto:nurrahmanumy@yahoo.co.id)

Abstrak

Pengelasan *friction stir welding (FSW)* adalah salah satu metode pengelasan *solid state* yang digunakan untuk penyambungan material logam maupun non logam dengan memanfaatkan panas akibat dari *pin tool* yang berputar disepanjang garis sambungan. Kurangnya penelitian metode pengelasan jenis ini dengan parameter variasi bentuk profil *pin tool*, karena masih banyak yang meragukan dari segi kekuatan sambungannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sambungan las terhadap uji struktur makro, uji kekuatan tarik dan uji kekerasan dari hasil sambungan. Penelitian ini menggunakan parameter variasi bentuk profil *pin tool* yaitu pin segitiga, pin silinder ulir, silinder runcing dengan diameter *shoulder* 16 mm dan diameter *pin* 4/2 untuk silinder runcing, 3 mm untuk ukuran sisi pin segitiga dan silinder ulir berdiameter 3 mm dengan ukuran ulir M3. Sedangkan bahan yang digunakan ialah *polypropylene (PP)*, kecepatan putaran *tool* dan *dept of plunge* dibikin konstan yaitu 1562 rpm dan 0,2 mm dengan laju pengelasan 8 mm/menit. Berdasarkan hasil sambungan yang sudah dilakukan pengujian sifat mekanik, bentuk profil *pin tool* sangat berpengaruh terhadap hasil visual, nilai kekerasan dan kekuatan sambungan. Hasil dari uji durometer shore D dari variasi pin segitiga, silinder ulir dan silinder runcing memiliki rata-rata nilai kekerasan 60,8 SHD; 54,3 SHD; 60 SHD dan raw materialnya 73,2 SHD. Sedangkan dari hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa dari pengujian tarik terlihat semakin luas area pengadukan pada profil *pin tool* semakin meningkat hasil kekuatan tarik sambungan las yang dihasilkan yaitu pada variasi bentuk pin segitiga mencapai 1736,6 N dan tegangan maksimum 26,72 MPa.

Kata kunci: *Friction stir welding, Polypropylene (PP), Struktur Makro, Kekerasan, Kekuatan tarik*

Abstract

Friction stir welding (FSW) welding is one of the solid state welding methods used for connecting metal and non-metal materials by utilizing heat due to the rotating pin tool along the joint line. The lack of research on this type of welding method with parameter variations in the shape of pin tool profiles, because there are still many who doubt in terms of the strength of the connection. This study aims to determine the ability of weld joints to test macro structure, tensile strength test and hardness test from the results of the joint. This study uses the variation parameters of pin tool profile, namely the pin pin, screw cylinder pin, pointed cylinder with shoulder diameter 16 mm and pin diameter 4/2 for cylindrical pointed, 3 mm for triangular pin side size and screw thread 3 mm in diameter with screw size M3. While the material used is polypropylene (PP), the rotation speed of the tool and dept of plunge are made constant at 1562 rpm and 0.2 mm with a welding rate of 8 mm / minute. Based on the results of the connection that has been tested for mechanical properties, the shape of the pin tool profile greatly influences the visual results, hardness value and joint strength. The results of the Durometer shore D test from variations of triangular pins, screw cylinders and pointed cylinders have an average hardness value of 60.8 SHD; 54.3 SHD; 60 SHD and raw material is 73.2 SHD. Whereas the tensile test results show that from the tensile test it is seen that the stirring area on the pin tool profile shows that the resulting tensile strength of the weld joint is increased, namely the variation of the shape of the triangle pin reaches 1736.6 N and the maximum stress is 26.72 MPa.

Keywords: *Friction stir welding, Polypropylene (PP), Macro Structure, Hardness, Tensile Strength*

1. Pendahuluan

Penyambungan dengan metode *friction stir welding* merupakan penyambungan *solid state* dimana dari *pin tools* yang berputar dimakamkan disepanjang garis sambungan. Penelitian ini sudah banyak dilakukan baik menggunakan material logam maupun non logam tetapi yang menggunakan material *polypropylene* (PP) dengan parameter variasi bentuk profil pin tool masih sedikit yang melakukan riset. Pengelasan dengan material polimer tergolong lebih sulit dibanding material logam hal ini disebabkan karena polimer adalah isolator murni yang mempunyai konduktivitas termal yang rendah (Sercer dan Raos, 2007). Proses penyambungan dengan metode FSW terjadi ketika *pin tool* yang menghasilkan panas akibat bergesekkan saat proses mengaduk material pada area sambungan benda kerja.

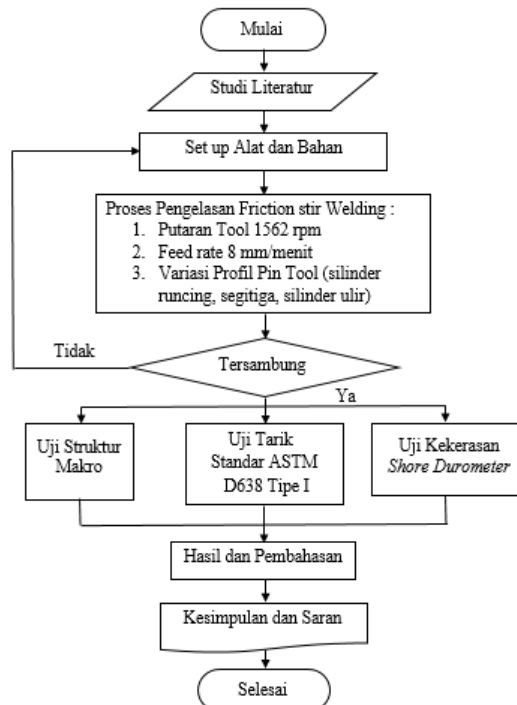
Penelitian telah dilakukan oleh Jaiganesh dkk, (2014) mengenai pengaruh variasi bentuk profil *pin tool* dengan laju pengelasan, kecepatan putaran tool dan kemiringan yang berbeda terhadap sifat mekanik sambungan lasan *friction stir welding* material *polypropylene*. Variasi pin yang digunakan silinder, silinder runcing, silinder ulir dengan kecepatan putaran tool 900 rpm; 1000 rpm; 1200 rpm dan variasi laju pengelasan ialah 5; 10; 12 mm/menit. Pada hasil dari pengujian sifat mekanik menyatakan hasil struktur makro patahan kerusakan terjadi dimulai pada titik bawah sambungan las yang mungkin disebabkan pengadukan yang tidak mencapai daerah bawah. Sedangkan dari kemampuan kekuatan tarik tertinggi mencapai 10 MPa yang masih hampir 45 % dari base materialnya yaitu 22,2 MPa terdapat pada variasi pin silinder runcing, kecepatan putaran tool 1000 RPM, feed rate 10 mm/menit dengan kemiringan 1° tilt. Terjadi penurunan kualitas uji tarik seringin dengan semakin besarnya nilai laju pengelasan dan bentuk profil pin yang berbeda dapat mempengaruhi kualitas pengadukan saat proses penyambungan.

Penelitian tentang pengaruh sambungan lasan *polypropylene* (PP) terhadap pengujian sifat mekanik dengan variasi bentuk profil pin tool, kecepatan putaran tool, *feed rate* dan sudut kemiringan. Variasi pin tool yang digunakan ialah silinder runcing beralur, segitiga beralur, segitiga tanpa alur, silinder beralur diameter pin 5mm dan menggunakan kecepatan putaran tool 400 rpm; 630 rpm; 1000 rpm dengan laju pengelasan 8; 16; 20 mm/menit dan kemiringan yang dipakai 0; 1; 2° tilt. Dari hasil pengujian sifat mekanik dengan uji tarik mendapatkan hasil tertinggi mencapai 9 MPa dengan menggunakan bentuk pin silinder runcing beralur dengan campuran partikel *fiberglass* 30 % tetapi masih jauh dibawah kekuatan tarik raw materialnya yaitu 36 MPa merupakan hasil penelitian yang dilakukan oleh Payganesh dkk, (2011).

Penelitian mengenai penyambungan *polypropylene* dengan metode *friction stir welding* juga dilakukan oleh Prabowo dkk, (2013) tentang pengaruh variasi kecepatan putaran tool dengan penambahan chasing pemanas. Variasi kecepatan putaran tool yang digunakan yaitu 204 rpm; 356 rpm; 602 rpm; 1140 rpm dengan. Hasil sambungan las yang paling bagus dari segi visualnya yaitu pada putaran 602 rpm dengan penambahan pemanas dimana juga menghasilkan kemampuan dalam menerima kekuatan tarik tertinggi daripada variasi yang lain yaitu sebesar 14,55 MPa dan untuk kekuatan bending sekitar 6,022 MPa. Penurunan nilai kekuatan tarik pada spesimen terjadi pada variasi putaran tool 1140 rpm, hal ini disebabkan oleh putaran yang tinggi mengakibatkan panas yang berlebihan pada pin dan shoulder yang dapat menimbulkan adanya *flash* dan cacat rongga (*voids*) didalam maupun permukaan luar sambungan las.

Dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan mengenai penyambungan metode *friction stir welding*. Dimana dari penelitian diatas menunjukkan bahwa kekuatan tarik paling tinggi didapat sekitar 10 MPa masih hampir 45 % dari kekuatan tarik base materialnya yaitu 22,2 MPa. Dengan demikian perlu dilakukan penelitian mengenai penyambungan material *polypropylene* dengan metode *friction stir welding* supaya mendapatkan hasil yang lebih baik daripada penelitian sebelumnya. Dengan parameter variasi bentuk pin tool (segitiga, silinder runcing, silinder ulir) dengan kecepatan putaran tool dan laju pengelasan dibuat konstan kemudian dilakukan pengujian struktur makro, uji kekerasan dan uji tarik.

1. Metode Penelitian



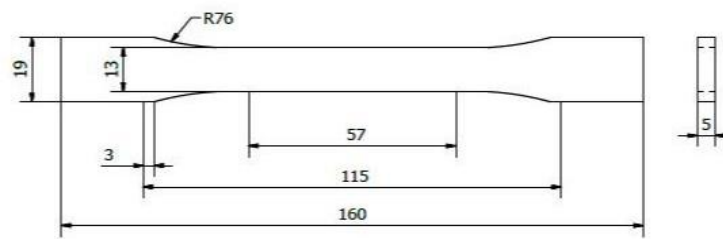
Gambar 1. Diagram alir penelitian

Penelitian ini menggunakan parameter variasi bentuk profil *pin tool* yakni pin segitiga, silinder ulir, silinder runcing dengan *dept of plunge* 0,2 mm dengan laju pengelasan 8 mm/menit dan kecepatan putaran tool yang dibuat konstan 1562 rpm. Material yang digunakan ialah polypropylene (PP) dengan dimensi 100 mm x 80 mm x 5 mm. Dimana skema spesimen uji tarik dan *pin tool* dapat dilihat pada Gambar dibawah ini.



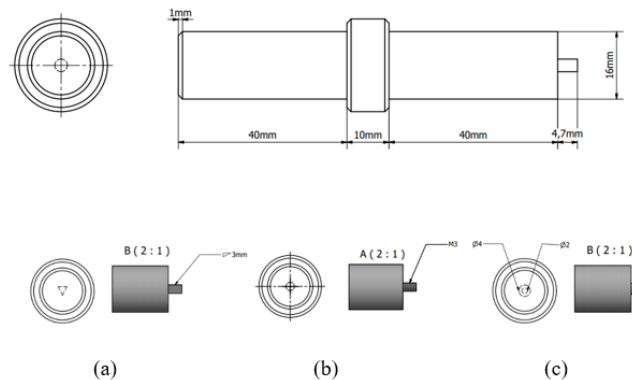
Gambar 2. (a) Polypropylene sheet

Skema spesimen uji tarik dengan menggunakan standar ASTM D638 tipe I seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. (b) Skema spesimen Uji Tarik

Penelitian ini menggunakan variasi bentuk *pin tool* dengan dimensi yang sudah dipaparkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema *Pin Tools* (a) Pin segitiga, (b) Pin silinder ulir, (c) pin silinder runcing

2.1 Pengujian struktur Makro

Pengujian struktur makro ini dilakukan untuk melihat karakteristik material *polypropylene* (PP) yang terkena panas akibat gesekan antara adukan pin tool dengan material dan melihat hasil visual pada sambungan las apakah terindikasi adanya cacat lubang pada permukaan lasan maupun bagian dalam sambungan dengan melihat dari sisi samping. Selain itu bertujuan untuk melihat adakah perbedaan antara diameter pin dan area stir zone yang dihasilkan.

2.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian Kekerasan atau *Durometer shore D* dilakukan karena ditujukan untuk mengetahui perbedaan nilai kekerasan antara *base material* dengan sambungan lasan. Pengujian *durometer shore D* ini dilakukan pada permukaan sambungan *polypropylene* (PP) dari hasil pengelasan yang menggunakan metode *friction stir welding* dilakukan pada tiga titik yaitu daerah *advancing side*, *stir zone* dan *retreating side*. Dimana dari pengujian *durometer shore D* ini dapat mengetahui nilai kekerasan yang ditampilkan pada alat uji kekerasan polimer tersebut.

2.3 Pengujian Tarik



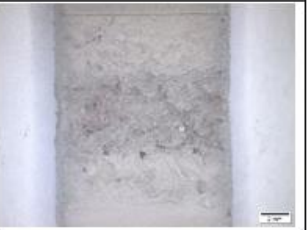
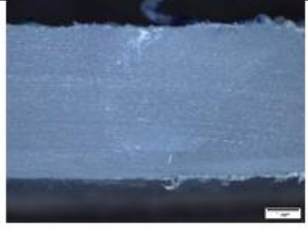
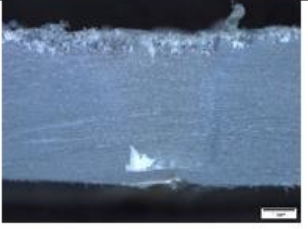
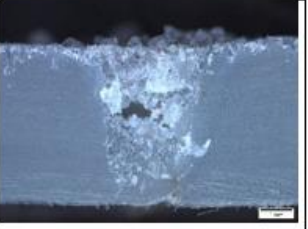



Pada penelitian ini pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui kemampuan sambungan las *polypropylene* (PP) dalam menerima beban tarik dengan waktu kecepatan tarik 10 mm/menit. Dari pengujian ini dapat diketahui variasi bentuk profil pin tool terbaik yang menghasilkan sambungan lasan dengan diketahuinya tegangan tarik tertinggi pada grafik yang dihasilkan.

2. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Struktur Makro

Hasil dari pengujian struktur makro terlihat bahwa dari patahan hasil pengujian tarik terdapat *flash* dipermukaan sambungan, cacat rongga (*voids*) maupun cacat crack. Dimana pada bagian bawah sambungan lasan sekitar 0,1 mm tidak mengalami

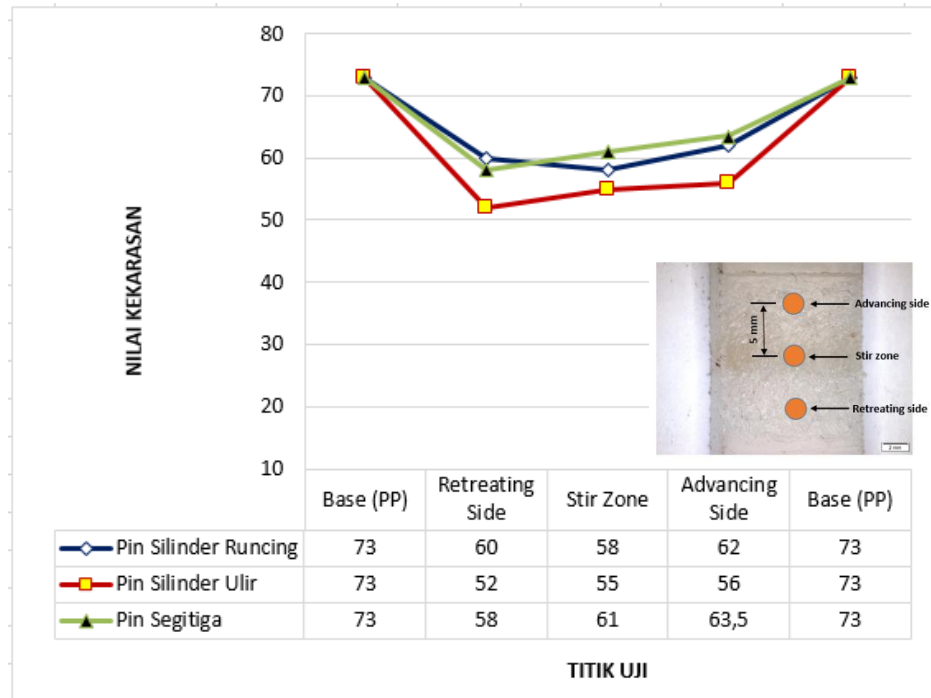
pengadukan yang disebabkan oleh panjang pin ialah 4,7 mm dan *dept of plunge* 0,2 mm, karena jika panjang pin tersebut melebihi tebal benda kerja maka *pin tool* tersebut akan bergesekkan dengan meja mesin milling yang mengakibatkan panas yang berlebih diarea adukan. Penelitian yang sudah dilakukan oleh Prabowo dkk, (2014) menyatakan bahwa kecepatan putaran tool yang tinggi 1140 rpm serta penambahan chasing pemanas sangat rentan terjadinya cacat rongga didalam maupun dipermukaan sambungan las yang disebabkan oleh temperatur yang tinggi saat proses pengadukan, sehingga material menjadi sangat lunak. Dimana hasil struktur makro sambungan las dari berbagai variasi bentuk pin dapat dilihat pada Gambar 4.

Posisi	Pin Segitiga	Pin Silinder Ulir	Pin Silinder Runcing
Sa			
Ss			
Sb			

Gambar 4. Foto struktur makro sambungan lasan sisi atas, sisi samping dan sisi bawah

3.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian durometer shore D dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan pada area *advancing side*, *stir zone* dan *retreating side* dibagian permukaan sambungan las dan base materialnya.



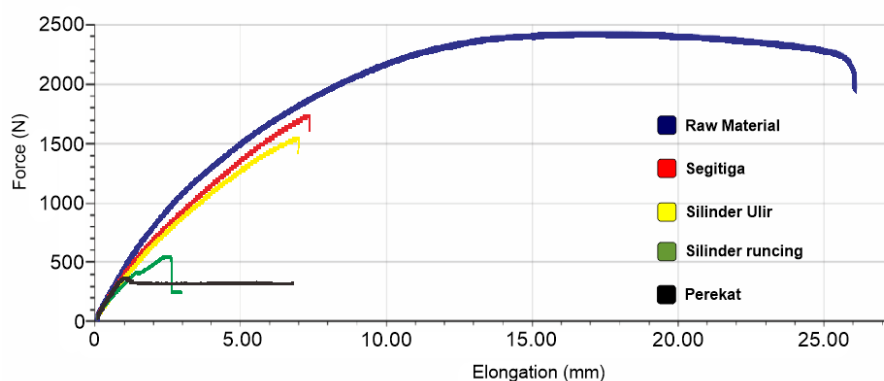
Gambar 5. Grafik nilai kekerasan permukaan sambungan las FSW
 Tabel 3.1 Rata-rata nilai kekerasan dan standar deviasi pada setiap variasi

Bentuk Pin	Retreating Side	Stir Zone	Advancing Side	Rata-rata	Std Deviasi
Silinder Runcing	60	58	62	60	2
Silinder Ulir	52	55	56	54,3	2,1
Silinder Segitiga	58	61	63,5	60,8	2,8
Raw Material	73	73,5	73	73,2	0,3

Dilihat pada Gambar 5. pengujian durometer *shore D* yang telah dilakukan menunjukkan bahwa dari hasil sambungan las semua variasi bentuk pin, nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah *advancing side*. Sedangkan penelitian yang dilakukan Panneerselvam dan Lenin (2013) dengan parameter variasi bentuk pin dan kecepatan putar tool metode penyambungan FSW *polypropylene* (PP) mengatakan bahwa pada pengujian kekerasan rockwell pada daerah *advancing side* mengalami penurunan nilai kekerasan, hal ini disebabkan oleh pengaruh temperatur dari dua sisi pin yang membentuk *taper*. Dari penelitian ini variasi pin segitiga memiliki keunggulan nilai rata-rata kekerasan yakni 60,8 SHD masih 83 % dari nilai kekerasannya dari base material yang mencapai 73,2 SHD.

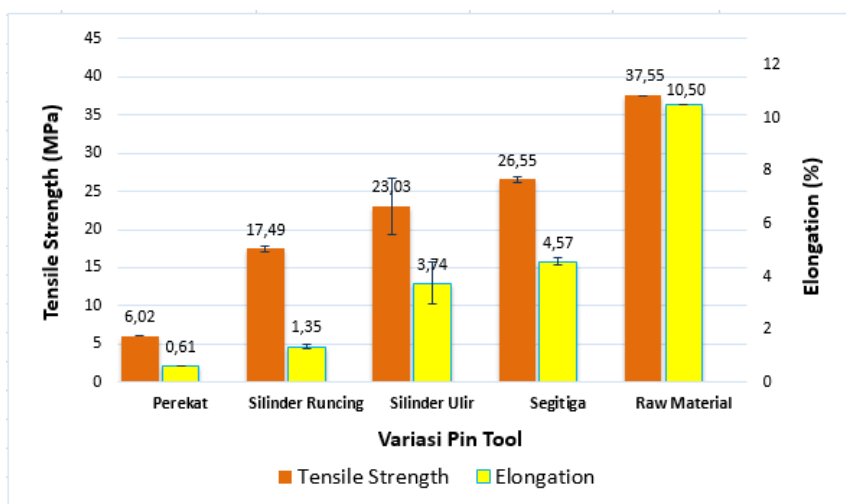
3.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik ini dilakukan karena ditujukan untuk mengetahui seberapa kuat sambungan *polypropylene* (PP) mampu menerima pembebanan tarik dari hasil pengelasan dengan metode *friction stir welding*. Dimana untuk mencari hasil yang terbaik perlu dilakukan perbandingan dari hasil pengujian tarik yang dilakukan pada setiap variasi bentuk pin dengan masing-masing dua spesimen uji.



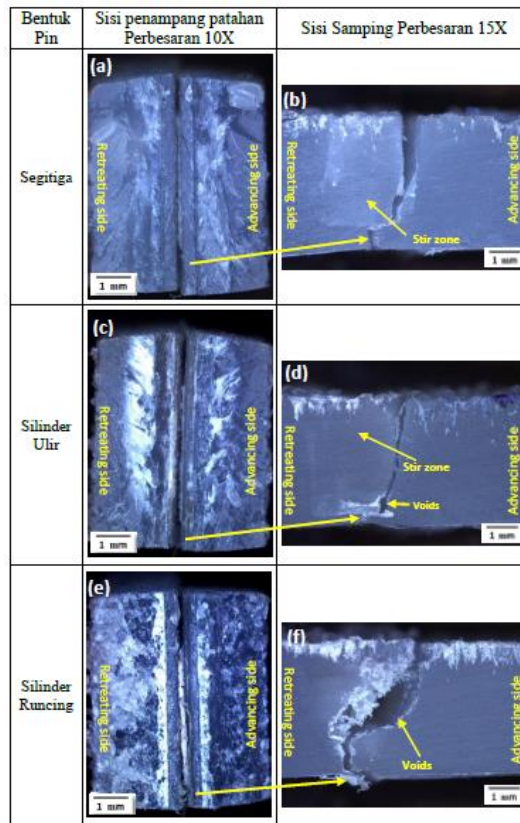
Gambar 6. Grafik Pembebanan dan perpanjangan dari hasil pengujian tarik

Pada Gambar diatas terlihat bahwa luas area pengadukan pada bentuk profil *pin tool* sangat berpengaruh terhadap kemampuan dalam menerima beban tarik maksimum. Dibuktikan pada kurva diatas bahwa pengelasan menggunakan bentuk pin segitiga (merah) dengan laju pengelasan 8 mm/menit mengalami patah brittle pada sambungan las dimana mampu menerima beban maksimum sebesar 1736,6 N dengan pertambahan panjang 7,5 mm dan 2241 N beban maksimum yang dialami base materialnya dengan pertambahan panjang 17,3 mm dan terbukti bahwa material induknya memiliki sifat yang kuat dan ulet. Pengelasan dengan bentuk pin silinder runcing dengan laju pengelasan 8 mm/menit mempunyai kapasitas yang sangat minim dalam menerima beban tarik maksimum yaitu 576,6 N dengan pertambahan panjang 2,24 mm, hal ini mungkin disebabkan oleh cacat rongga didalam sambungan lasan yang menyebabkan luas penampangnya menjadi kecil. Dapat disimpulkan bahwa raw material memiliki karakteristik sifat yang ulet dan kuat, sedangkan pada sambungan las dengan parameter variasi bentuk pin memiliki sifat yang getas.



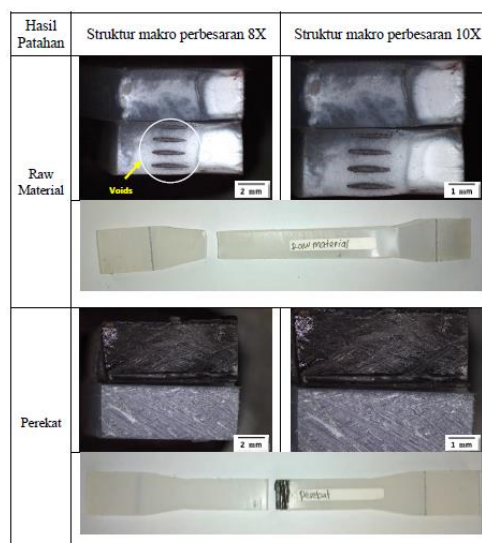
Gambar 7. Grafik Tegangan dan Regangan terhadap variasi bentuk pin

Gambar 7. Menunjukkan grafik batang *tensile strength* (MPa) dan *elongation* (%) mengalami kenaikan seiring perbedaan bentuk *pin tool*, dapat dilihat bahwa semakin luas area pengadukan pada bentuk profil *pin tool* semakin besar juga tegangan dan elongasi yang dihasilkan berdasarkan bentuk pin. Berdasarkan grafik yang tertera diatas pin segitiga dengan laju pengelasan 8 mm/menit unggul dibandingkan bentuk pin yang lain dengan rata-rata nilai tegangan 26,55 MPa, namun masih dibawah raw materialnya yaitu 37,55 MPa. Sedangkan penelitian yang sudah dilakukan Jaiganesh dkk, (2014) dan Payganeh dkk, (2011) mengatakan bahwa hasil tegangan tertinggi diperoleh pada hasil penyambungan yang menggunakan pin silinder runcing beralur.



Gambar 8. Patahan spesimen pada sambungan lasan dari hasil pengujian tarik, (a) sisi penampang patahan, (b) sisi patahan dari samping, (c) sisi penampang patahan, (d) sisi patahan dari samping, (e) sisi penampang patahan, (f) sisi patahan dari samping

Dari hasil uji tarik terdapat patahan benda uji, dimana semua spesimen dari hasil pengelasan dengan parameter variasi bentuk pin terputus dengan sempurna. Hampir semua spesimen uji tarik mengalami patah pada bagian (*interface*) antara *advancing side* dengan *stir zone*, hal ini disebabkan pada daerah *advancing side* menerima penekanan material dari putaran tool dan menerima panas yang sempurna sehingga molten tersebut menjadi padat, keras dan mempunyai sifat *brittle*.



Gambar 8. Foto struktur makro patahan raw material dan sambungan memaikai metode adhesive setelah di uji tarik

Sedangkan patahan spesimen pada raw material mengalami patah yang kurang sempurna karena pada spesimen mengalami lengkungan dan hanya 1 sisi yang mengalami pembebanan besar yang diakibatkan oleh pemasangan spesimen miring dan Voids didalam material saat pengujian tarik dan pada sambungan yang menggunakan perekat mengalami patah yang sempurna.

3. Kesimpulan

Penelitian tentang pengaruh variasi bentuk profil *pin tool* seperti, *pin* segitiga, silinder ulir dan silinder runcing terhadap sifat mekanik yang menggunakan material *polypropylene* (PP) dengan memakai metode penyambungan *friction stir welding* maka dari itu penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil pengujian struktur makro terlihat bahwa disetiap sambungan las terdapat cacat *flash*, *distorsi angular*, *incomplete fusion*, *crack* didalam sambungan las maupun dipermukaan sambungan las dan hampir semua spesimen putus saat di uji tarik pada daerah (*interface*) antara *advancing side* dengan *stir zone*.
2. Pengujian *durometer shore D* menunjukkan bahwa rata-rata nilai kekerasan tertinggi pada sambungan las dari daerah *advancing side*, *stir zone* dan *retreating side* terdapat pada pengelasan yang menggunakan variasi bentuk pin segitiga sekitar 60,8 SHD masih hampir 83,3 % nilai kekerasannya dari base materialnya yaitu 73,2 SHD. Dimana nilai kekerasan terendah dari semua spesimen terlihat pada daerah *retreating side*.
3. Hasil dari pengujian tarik menyatakan bahwa variasi bentuk pin tool sangat berpengaruh terhadap sambungan lasan yang dihasilkan setelah proses pengelasan. Nilai beban maksimumnya tertinggi diperoleh pada pengelasan yang menggunakan bentuk pin segitiga yaitu mencapai 1736,6 N dengan pertambahan panjang 7,5 mm dan tegangan maksimum sebesar 26,72 MPa yang masih hampir 71,7 % dari tegangan tarik raw materialnya 37,55 MPa.

Daftar Pustaka

Journal :

- Jaiganesh, V., Maruthu, B., dan Gopinath, E. (2014). Optimization of process parameters on friction stir welding of high density polypropylene plate. *ScienceDirect*, 1957 – 1965.
- Panneerselvam, K., dan Lenin, K. (2013). Effects and Defects Of The Polypropylene Plate For Different Parameters In Friction Stir Welding Proces. *PANNERSELVAM* et al*, 143 - 152.
- Paoletti, A., Lambiase, F., dan Dillio, A. (2015). Optimization of friction stir welding of thermoplastics. *ScienceDirect*, 562 – 567.
- Payganeh, GH., Arab, NBM., Asl, YD., Ghasemi, FA., dan Boroujeni, MS. (2011). Effects of friction stir welding process parameters on appearance and strength of polypropylene composite welds. *International Journal of the Physical Sciences*, 4595 - 4601.
- Prabowo, H., Triyono., dan Kusharjanta, B. (2013). Pengaruh Kecepatan Putaran Tool dan Pemanas Tambahan Terhadap Kekuatan Mekanik Polypropylene Hasil Las Friction Stir Welding. *MEKANIKA*, 34 - 38.