

PENGARUH KECEPATAN PUTAR PIN TOOL TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA PENGELASAN FRICTION STIR WELDING POLYPROPYLENE (PP)

Geriko Manabel Muhammad^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

^ageriko16@gmail.com, ^bnugrohoaris@gmail.com, ^cnurrahman.umy@yahoo.co.id

Abstrak

Pengelasan *friction stir welding* (FSW) adalah proses penyambungan yang dapat menyambung material dengan memanfaatkan energi panas yang berasal dari gesekan dan menghasilkan temperatur yang tinggi sehingga mampu melelehkan material dan membuat material tersambung. Material *Polypropylene* (PP) termasuk *material* paling ringan dan memiliki kelebihan yaitu kekuatan tarik, kekuatan lentur, dan kekakuan yang tinggi serta terhindar dari korosi. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan putaran *pin tool* yang optimal pada sambungan pengelasan FSW material PP yang memiliki tebal 5 mm dengan memvariasikan putaran *pin toolnya*. Penelitian ini menggunakan bahan dari plastik yaitu *polypropylene sheet* dengan ukuran dimensi 5 x 100 x 80 mm, dengan menggunakan silinder ulir berukuran M3 dan panjang *pin* 4,7 mm. Parameter yang digunakan untuk variasi kecepatan *pin tool* antara 588, 977, 1562, 2371 RPM dan laju pengelasan konstan sebesar 9,5 mm/min. Sambungan lasan menggunakan jenis *butt joint*. Penelitian ini menggunakan pengujian makro, pengujian kekerasan *shore durometer* dan pengujian tarik menggunakan standard ASTM D638 tipe I. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil uji tarik dimana hasil terbaik didapat pada putaran *tool* 977 RPM sebesar 28,69 MPa. Pada uji kekerasan *shore durometer* dimana juga hasil terbaik didapat pada putaran *tool* 977 RPM pada bagian *retreating* 60,5, *stir zone* 55 dan *advancing* 59,5. Hasil pengujian struktur makro didapat beberapa *defect* seperti *flash*, *porosity*, dan *void*.

Kata Kunci: *Friction stir welding*, *polypropylene*, struktur makro, pengujian kekerasan *shore Durometer*, pengujian tarik.

Abstract

Friction stir welding (FSW) welding is a joint process that can joint material by utilizing heat energy that comes from friction and produces high temperatures so that it can melt the material and make the material connected. Polypropylene (PP) materials are among the lightest materials and have advantages such as tensile strength, flexural strength, and high rigidity and avoid corrosion. This research was conducted with the aim of obtaining the optimal tool pin rotation on the FSW welding joint PP material that has a thickness of 5 mm by varying the pin rotation of the tool. This study uses materials from plastic, namely polypropylene sheet with dimensions of 5 x 100 x 80 mm, using M3 cylinders and 4.7 mm pin length. The parameters used for variations in pin tool speed are between 588, 977, 1562, 2371 RPM and constant welding rates of 9.5 mm / min. Welded joints use a type of butt joint. This study uses macro testing, shore durometer hardness test and tensile testing using ASTM D638 type I standard. From the results of the study indicate that the results of the tensile test where the best results are obtained at the tool rotation 977 RPM of 28.69 MPa. In the shore durometer hardness test where the best results were also obtained at the tool rotation 977 RPM in the *retreating* 60.5, *stir zone* 55 and *advancing* 59.5. The results of testing the macro structure obtained several defects such as flash, porosity, and void.

Keywords: Friction stir welding, polypropylene, macrostructure, shore hardness tester durometer, tensile stress testing.

1. Pendahuluan

Metode *friction stir welding* adalah teknik yang umumnya dilakukan untuk menyambung material jenis logam, akan tetapi dengan perkembangan teknik penyambungan atau pengelasan metode ini juga dikembangkan untuk menyambung material non logam seperti polimer dan komposit (Prasad dan Raghava, 2012). Metode pengelasan FSW ditemukan oleh seorang dari negara inggris di *the welding institute* (TWI) yang bernama Wayne Thomas pada tahun 1991. Pengelasan FSW adalah proses penyambungan yang dapat menyambung material yang sejenis atau tidak sejenis dengan memanfaatkan energi panas yang berasal dari gesekan antara material dan *pin tool* yang berputar dan menghasilkan temperatur yang tinggi sehingga mampu melelehkan material yang membuat material tersambung (Ashari, 2014).

Penelitian pada sambungan material *polypropylene* (PP) dengan memvariasikan kecepatan putar sebesar 950 RPM, 565 RPM, 360 RPM, pada *tool* temperatur memiliki variasi 130°, 150°, 170°, dan kecepatan pemakanan (*feed rate*) memiliki variasi 24 mm/min, 40 mm/min, 60 mm/min. Parameter pengelasan yang paling dominan mempengaruhi kekuatan tarik adalah temperatur alat dan untuk elongasi adalah kecepatan putar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik memiliki nilai yang antara 20 dan 26 MPa (74 hingga 96% dari kekuatan *base material*) dan panjang elongasi yang didapat berkisar dari 48 hingga 563% (8 hingga 99% dari elongasi *base material*). Hasil dari Panjang elongasi yang nilainya hingga 563% dikarenakan pengaruh kecepatan putar sebesar 950 RPM dan juga pengaruh temperatur yang menggunakan penambah pemanas sebesar 130° dan 150° akibatnya material menjadi ulet. Selain itu, hasil dari pengujian SEM menunjukkan bahwa sampel dengan elongasi terendah menghasilkan permukaan yang fraktur bergelombang disertai dengan *craze*, yang mungkin disebabkan dari hasil pencampuran bahan dalam zona pengelasan. merupakan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Mochani dkk (2018).

Penelitian tentang pengaruh kecepatan putaran *tool* dan pemanas tambahan terhadap kekuatan tarik mekanik PP hasil las FSW dengan memvariasikan kecepatan putar *tool* sebesar 204 RPM, 356 RPM, 602 RPM, 1140 RPM menggunakan pemanas tambahan. Variasi pengelasan yang paling optimal pada pengelasan FSW adalah variasi kecepatan putar *tool* sebesar 602 RPM dengan menggunakan penambah pemanas. Pada variasi tersebut kualitas visual dan kekuatan mekanik hasil lasan mencapai angka tertinggi yaitu 6,022 MPa untuk kekuatan *bending* dan 14,55 MPa untuk kekuatan tarik. Terjadi penurunan kualitas hasil las baik dari segi *visual* hasil lasan maupun kekuatan mekanik hasil lasan pada variasi kecepatan putar sebesar 1140 RPM yang disebabkan putaran *tool* yang terlalu tinggi sehingga banyak *molten* material yang terbuang keluar dari area sambungan lasan, sehingga akan muncul *void* pada sambungan las merupakan hasil penelitian dari yang dilakukan oleh Prabowo, dkk (2013).

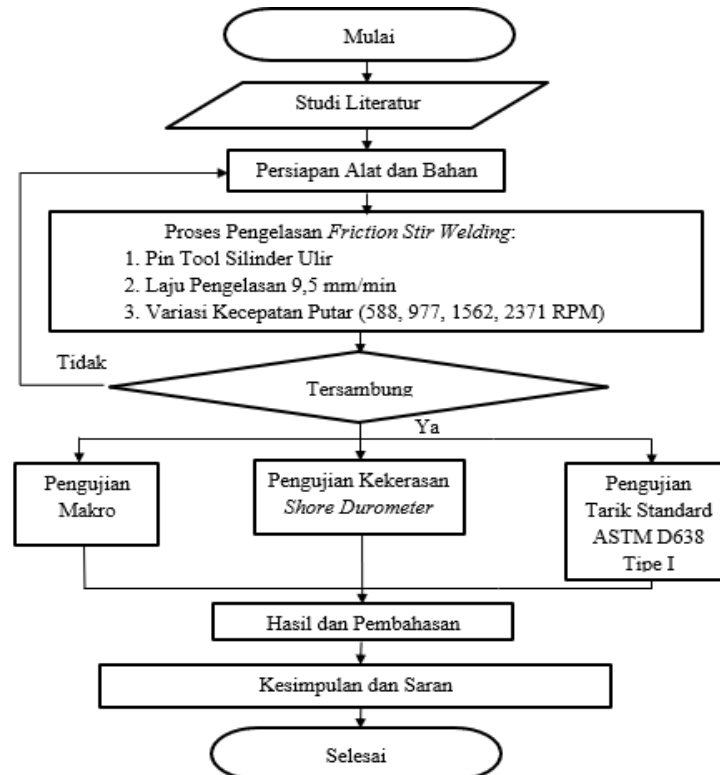
Penelitian tentang pengaruh kecepatan putar rotasi *tool* terhadap sifat mekanik sambungan *friction stir welding* material *polymide* dengan pemanas tambahan. Dimensi yang digunakan sebesar 210 x 85 x 6 mm. penelitian ini menggunakan pemanas tambahan dan tanpa pemanas. Penelitian ini menggunakan variasi kecepatan putar sebesar 204, 356, 620, 1140 RPM dan parameter *transverse speed* yang memiliki kecepatan konstan sebesar 7,3 mm/min. Hasil kekuatan mekanik pengujian tarik tertinggi sebesar 27,83 MPa pada kecepatan *tool* 620 RPM. Kenaikan kecepatan putar *tool* dengan penambah pemanas sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik hasil lasan, dimana hasil lasan putaran 620 RPM semakin tinggi putaran *tool* maka kekuatan mekanik hasil lasan akan semakin tinggi, akan tetapan pada kecepatan *tool* 1140 RPM akan mengalami penurunan. Pada hasil struktur makro dapat dijelaskan bahwa kenaikan pada kecepatan putar *tool* dengan alat penambah pemanas sangat berpengaruh terhadap sifat visual hasil lasan. Dimana semakin tinggi kecepatan putar *tool* maka kualitas struktur makro sambungan semakin baik tetapi pada kecepatan putar 1140 RPM memiliki bentuk *defect* berupa *defect tunnel*. Pada kecepatan putar 620 memiliki struktur makro terbaik. Hal ini dapat ditunjukkan bahwa tidak ada *defect* lasan yang dialami pada hasil sambungan merupakan hasil dari penelitian yang dilakukan oleh Diqi (2015)

Dari beberapa penelitian diatas menunjukkan bahwa masih banyak perlu diteliti pada sambungan pengelasan FSW menggunakan bahan dari polimer sejenis ataupun

yang tidak sejenis dengan variasi parameter-parameter seperti kecepatan putar *tool*, kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan, variasi *pin tool*, variasi *shoulder*, pengaruh pemanas tambahan. Pada setiap mesin frais pasti memiliki kecepatan putar yang berbeda. Penelitian ini penulis mengambil variasi parameter kecepatan sebesar 588, 977, 1562, 2371 RPM. Maka dari itu, penelitian ini menjadi sangat menarik dan perlu dilakukan penelitian.

2. Metode Penelitian

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



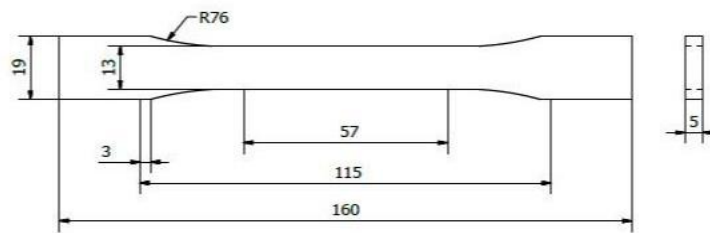
Gambar 1. Diagram alir penelitian

Pada penelitian ini material yang digunakan yaitu material sejenis polimer *polypropylene* dimana material memiliki ukuran yang sudah dipotong sebesar 100x80 mm dengan ketebal 5 mm dapat dilihat pada Gambar 2. Penelitian ini menggunakan kecepatan putar *tool* antara 588 RPM, 977 RPM, 1562 RPM dan 2371 RPM, laju pengelasan dibuat konstan sebesar 9,5 mm/min.



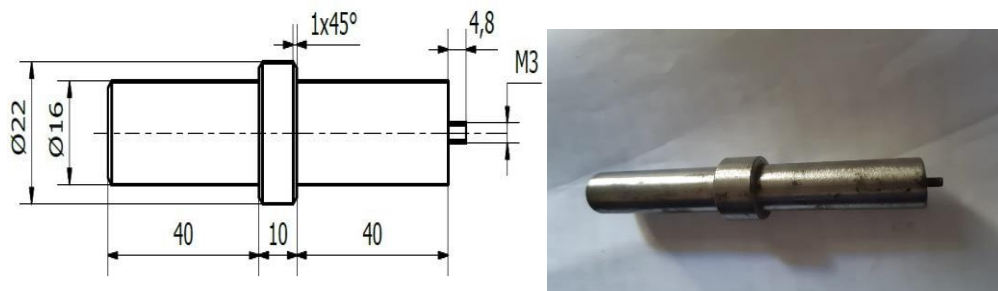
Gambar 2. Polypropylene sheet

Skema specimen menggunakan standard ASTM D638 tipe I uji tarik dengan ukuran dimensi bisa dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Skema spesimen uji tarik standard ASTM D638 dengan dimensi ukuran

Penelitian ini menggunakan *pin tool* yang berbentuk silinder ulir dengan ukuran dimensi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema alat *pin tool* dengan dimensi ukuran

2.1 Pengujian Struktur Makro

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hasil dari permukaan pengelasan menggunakan *microscope* yang hasil fotonya terintegrasi pada komputer yang dapat memeriksa permukaan lasan seperti celah dan lubang dalam permukaan pada specimen. Dan juga bertujuan untuk mengetahui bentuk dan batas antara daerah las, HAZ, las bagian luar dan las bagian dalam. Angka pembesaran pengujian makro kisaran 0,5 sampai 50 kali. Pengujian pada struktur makro memberikan informasi tentang bentuk struktur permukaan lasan, dan *defect* yang terjadi pada permukaan lasan.

2.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan merupakan suatu material masih sering digunakan untuk mengetahui gambaran sifat mekanis dari material tersebut. Pada penelitian ini, pengujian menggunakan alat uji kekerasan *shore durometer*. *shore durometer* merupakan salah satu instrumen yang dirancang untuk mengukur kekerasan pada material yang diuji. Kekerasan yang diuji didefinisikan sebagai resistensi bahan untuk indentasi permanen. Alat ini memiliki indenter yang dipasangkan pegas yang sudah terkalibrasi akan ditekan pada permukaan bahan. Kedalaman tekanan ini yang dikatakan nilai kekerasan. Selanjutnya akan terbaca nilai kekerasan *shore D* pada indikator *durometer*.

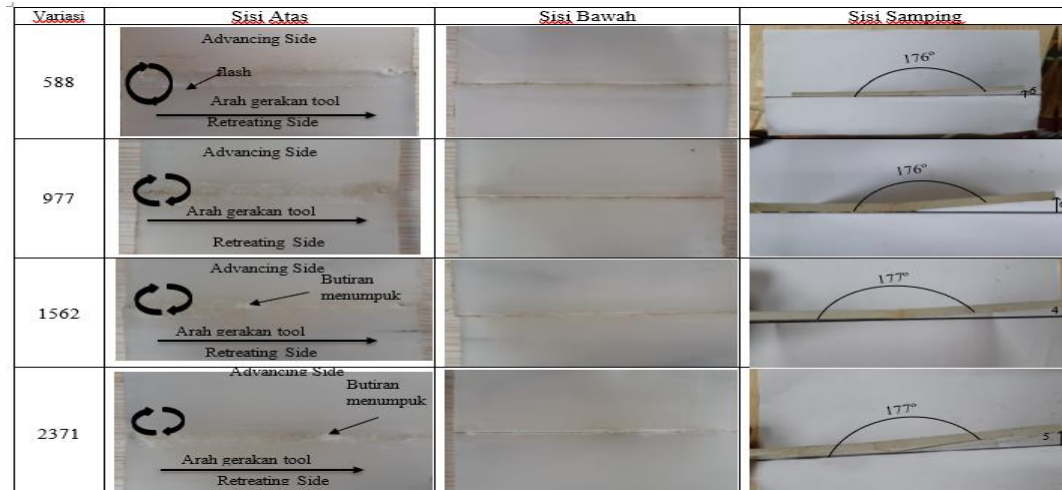
2.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan salah satu pengujian tegangan dan regangan mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan material terhadap gaya tarik. Pengujian tarik pada sambungan lasan yang sejenis material PP menggunakan mesin UTM (*Universal Testing Machine*).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengelasan FSW

Hasil pengelasan dengan menggunakan metode FSW pada material *polypropylene* dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini:

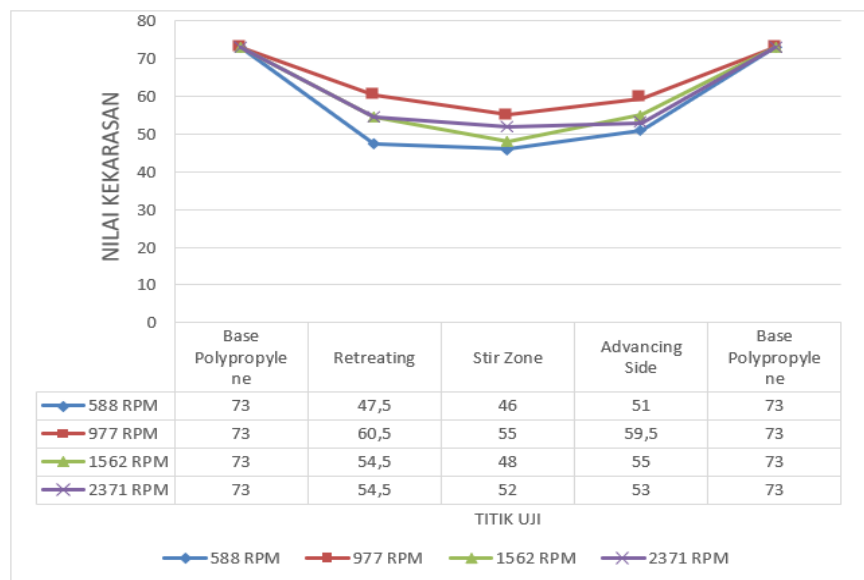


Gambar 5. Hasil Pengelasan pada setiap variasi putaran pin tool

Pada Gambar 5 diatas menunjukkan bahwa hasil lasan lumayan bagus secara visual dan terdapat *flash* pada putaran tool 588 RPM di bagian sisi shoulder dikarenakan masih membutuhkan putaran yang optimal. Spesimen mengalami distorsi pada gambar sisi samping pada setiap variasi, dari garis lurus ke ujung kemiringan spesimen sebesar 6-7 mm. Pada putaran tool 977 RPM menunjukkan bahwa hasil terlihat bagus dan rapi jika dilihat secara visual. spesimen mengalami distorsi dilihat pada gambar sisi samping pada setiap variasi dari garis lurus ke ujung kemiringan spesimen sebesar 6-7 mm. Pada putaran tool 1562 dan 2371 RPM menunjukkan bahwa hasil pengelasan mengalami butiran menumpuk disebabkan oleh pemakanan shoulder yang kurang dalam mengakibatkan butiran menjadi keluar. spesimen mengalami distorsi dilihat pada gambar sisi samping pada setiap variasi dari garis lurus ke ujung kemiringan spesimen sebesar 4-5,5 mm.

3.2 Pengujian Kekerasan

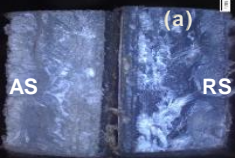
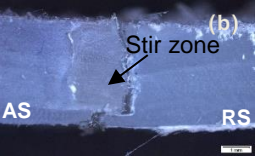
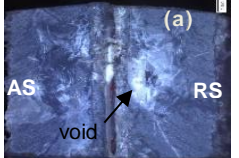
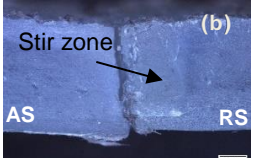
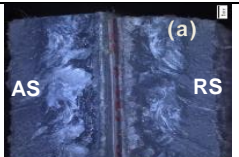
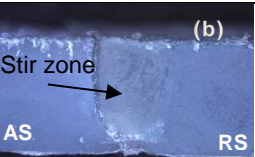
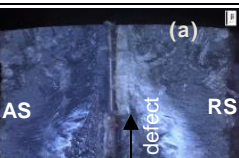
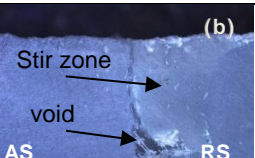
Pengujian dilakukan menggunakan 3 titik pada bagian *advancing side*, *stir zone*, dan *retrating side*. menggunakan tipe *shore* yaitu *shore D scale* karena material PP yang diuji bersifat keras dan kuat. Hasil pengujian kekerasan *shore* pada penelitian ini menunjukkan hasil berupa kurva atau grafik kekerasan *shore durometer*. Adapun hasilnya dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 6. Grafik hasil pengujian tarik setiap variasi kuat arus

Pada Gambar 6 terlihat bahwa hasil pengelasan FSW dari variasi kecepatan putar *tool* 977 RPM memiliki hasil kekerasan yang bagus dibanding dengan variasi kecepatan lainnya. Pada penelitian sebelumnya Kucukrendeci (2019) juga menjelaskan bahwa pada kecepatan putar *tool* 900 RPM juga mengalami peningkatan menggunakan *pin tool* silinder pada bagian *near zone* pengelasan. Pada hasil grafik menunjukkan bahwa kurva pada bagian *stir zone* hasil uji kekerasan mengalami penurunan pada setiap variasinya dan pada bagian *retreating* dan *advancing* menghasilkan nilai uji kekerasan yang tidak terlalu signifikan. Dimana pada kecepatan putar *tool* 588 dan 1562 RPM pada bagian *advancing* mengalami peningkatan sebesar 51 pada bagian 588 RPM dan 55 pada kecepatan 1562 RPM. Dibanding dengan kecepatan 977 dan 2371 RPM mengalami penurunan pada bagian *advancing*. Kemungkinan terjadi karena akibat dari cacat-cacat yang ditemukan seperti cacat *internal* yang terjadi di kecepatan putar 977 RPM dan cacat *void* di kecepatan putar 2371 RPM. Penelitian yang sebelumnya Panneerselvam dan Lennin (2013) dengan variasi bentuk *pin tool* dan kecepatan putar *tool*. Terdapat penurunan pada bagian *advancing* menggunakan metode pengujian kekerasan *Rockwell* pada material PP kecepatan putar *tool* 2250 RPM. Itu terjadi karena pengaruh dari temperatur di kedua sisi pada *pin* berbentuk *taper*. Jadi dapat disimpulkan penurunan kekerasan di bagian *advancing* bisa diakibatkan karena terdapat cacat dan pengaruh dari temperatur pada kedua sisi.

3.3 Hasil Pengujian Struktur Makro

Kecepatan putar tool (RPM)	Sisi Atas Patahan	Sisi Samping Patahan
588		
977		
1562		
2371		
Keterangan : AS = Advancing side, RS = Retreating Side		

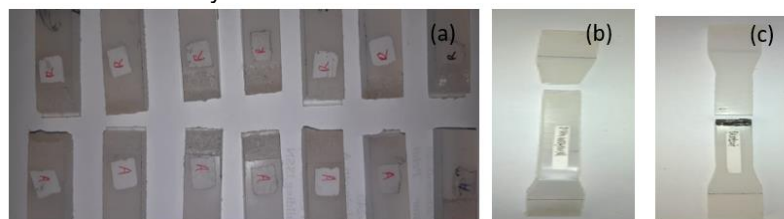
Gambar 7. Struktur makro patahan lasan FSW

Terlihat dimana pada Gambar 7 patahan pada kecepatan 2371 RPM yang terjadi pada daerah *interface* antara *stir zone* dengan *retreating side* dan terdapat *defect void* atau rongga. Ukuran panjang yang dimiliki *defect* tersebut hingga 7 mm. Cacat rongga atau void terbentuk karena kecepatan putar yang terlalu tinggi. Penelitian lain seperti yang dilakukan

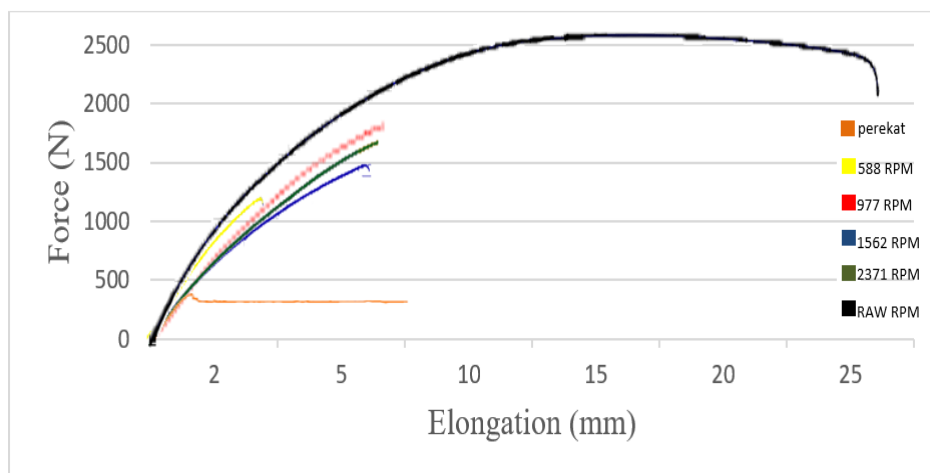
oleh Prabowo, (2014) yaitu pengaruh kecepatan putar *tool* dan pemanas tambahan terhadap kekuatan mekanik *polypropylene* hasil las FSW memiliki *defect void* pada sisi samping material. Hal itu terjadi karena pada putaran yang terlalu tinggi sebesar 1140 RPM serta juga ditambah pemanas tambahan akan meningkatkan temperatur material akibat gesekan yang terjadi antara material dengan *pin tool* dan *shoulder*. Sehingga mengakibatkan material menjadi terlalu lunak. Menurut penelitian Triyono (2015) menjelaskan *defect void* atau rongga terjadi karena kurangnya tekanan *tool* terhadap material dan mengakibatkan, gesekan panas dihasilkan tidak mampu melelehkan material secara optimal sehingga material yang meleleh tidak mampu mengisi rongga sambungan secara sempurna. Pada kecepatan putar *tool* 588 RPM fenomena yang terjadi pada sisi samping terlihat bahwa patahan berada di sisi *interface* antara *stir zone* dengan *retreating side* berbeda dari patahan yang lainnya yang berada pada sisi *interface* antara *stir zone* dengan *advancing side*. Hal ini terjadi karena putaran yang masih terbilang kurang optimal dan membutuhkan temperatur yang pas untuk mencapai pengelasan FSW yang bagus. Pada putaran 977 terdapat *defect void* yang posisinya di dalam pengelasan. *Defect* dapat dilihat pada saat setelah dilakukan pengujian tarik dan dilihat pada saat fenomena pengujian struktur makro patahan. Jadi dapat disimpulkan bahwa pengaruh putaran *tool* terhadap struktur makro terjadi pada pengelasan 588 RPM dimana patahan terjadi di daerah *interface* antara *stir zone* dengan *retreating side* berbeda dari variasi kecepatan *tool* lainnya yang patahannya berada di sisi *interface* antara *stir zone* dengan *advancing side* dan semakin tinggi kecepatan putaran *tool*, maka semakin tinggi pula temperatur akibat gesekan yang terjadi antara *tool* dengan material sehingga *tool* akan menjadi lunak.

3.3 Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik pada penelitian ini dilakukan pada hasil pengelasan FSW material yang sejenis yaitu *polypropylene*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari variasi kecepatan putar *tool* pada sambungan lasan terhadap tarik. Pada Gambar dibawah menunjukkan bentuk kurva dari beban (N) dengan elongasi (mm) berdasarkan sifat-sifatnya.

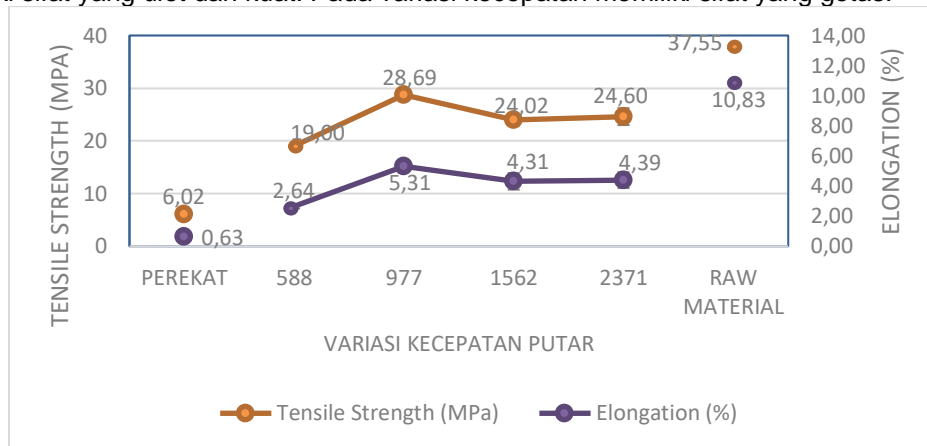


Gambar 8. Patahan setelah pengujian tarik hasil pengelasan FSW (a) patahan variasi kecepatan putar, (b) patahan raw material, (c) patahan perekat



Gambar 9. Kurva uji tarik nilai beban (F) tertinggi dan elongasi dari setiap variasi kecepatan putar *tool*

Pada Gambar 9 dijelaskan bahwa pada kurva warna hitam menunjukkan bahwa kurva berada pada puncak tertinggi dibanding dengan spesimen lainnya juga memiliki sifat yang kuat dan ulet pada raw material di kecepatan tarik sebesar 10 mm/min mengalami beban (N) sebesar 2441 N dan puncak elongasi sebesar 17,32 mm. pada kurva warna merah juga merupakan jenis hasil pengelasan yang paling kuat and ulet dibanding dengan variasi kecepatan putar lainnya. dimana hasil beban (N) sebesar 1875,8 N dan puncak elongasi sebesar 8,539 mm. pada jenis patahan yang getas dan kurang kuat ditunjukkan kurva warna kuning. Dimana hasil beban (N) sebesar 1240,8 N dan puncak elongasi sebesar 4,367 mm. disebabkan karena kecepatan yang kurang optimal atau terlalu rendah dari variasi kecepatan lainnya. Dapat disimpulkan bahwa sifat material dari raw material memiliki sifat yang ulet dan kuat. Pada variasi kecepatan memiliki sifat yang getas.



Gambar 10. Grafik tegangan (MPa) dan elongation (%) pada pengelasan FSW dengan variasi kecepatan tool

Dilihat pada Grafik pada Gambar 10 diatas menunjukkan bahwa dengan pengaruh kenaikan kecepatan putar *pin tool* akan mengalami kurva yang tidak terlalu signifikan pada kekuatan tarik dan elongasi, dimana dapat dilihat pada gambar diatas terdapat kekuatan tarik dan elongasi mengalami kenaikan dari kecepatan 588 RPM ke 977 RPM. Kecepatan 977 RPM merupakan kekuatan terbesar dari variasi kecepatan lainnya sebesar 28,69 MPa dan 5,31% untuk nilai elongasi. Dapat dilihat pada Tabel 4.5 bahwa kecepatan *tool* 977 merupakan beban (N) terbesar dari variasi kecepatan lainnya. Sedangkan penelitian lain seperti yang dilakukan oleh Mochani dkk, (2018) mengatakan bahwa nilai yang tertinggi yang didapat juga merupakan variasi dari kecepatan dari 565 ke 950 RPM sebesar 26 MPa. Sedangkan pada Kecepatan yang lebih tinggi dari kecepatan 977 RPM akan mengalami penurunan pada kekuatan tarik sebesar 24,02 MPa pada kecepatan 1562 RPM. Pada penelitian lain seperti yang dilakukan pada Prabowo dkk, (2013) mengatakan bahwa pada kecepatan putar dari 600 RPM ke kecepatan putar 1200 RPM mengalami penurunan pada kekuatan tarik sebesar 4,77 MPa Turunnya kekuatan tarik mungkin terjadi karena kecepatan yang terlalu tinggi atau sudah tidak optimal serta juga pengaruh dari penambah panas jika digunakan. Pada kecepatan 2371 RPM. Perubahan yang terjadi pada kekuatan tarik hanya mengalami kenaikan sebesar 0,6 dari 24,06 ke 24,60 MPa. Jadi dapat disimpulkan bahwa pengaruh kecepatan putar *tool* terhadap kekuatan tarik terjadi pada kecepatan 977 RPM merupakan nilai kekuatan tarik dan elongasi tertinggi. Apabila beban (N) meningkat maka kekuatan tarik juga meningkat. Kecepatan melebihi dari kecepatan 977 RPM akan mengalami penurunan dan tidak optimal. Kecepatan yang terbaik adalah kecepatan 977 RPM.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang sudah terlaksana pada sambungan *polypropylene* material sejenis menggunakan metode *friction stir welding* dengan variasi kecepatan putar *tool* 588, 977, 1562, 2371 RPM, menggunakan parameter konstan seperti kedalaman *shoulder tool* berkisar 0,2-0,4 mm, laju pengelasan 9,5 mm/min dan bentuk *pin tool* yakni *pin tool* silinder ulir, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada hasil pengujian kekerasan *shore durometer* menunjukkan bahwa nilai kekerasan pada variasi kecepatan *tool* 977 RPM dari daerah lasan memiliki kekerasan tertinggi dari variasi kecepatan lainnya pada titik uji *retreating side* sebesar 60,5 *stir zone* sebesar 55, dan *advancing side* sebesar 59,5 sedangkan bahan dasar memiliki kekerasan sebesar 73.
2. Pada hasil pengujian makro menunjukkan bahwa dari segi visual pada bagian permukaan lasan yang halus dan rata ditunjukkan pada kecepatan putar *tool* 977 RPM. Hasil yang memiliki *defect* terdapat beberapa *defect* seperti *flash*, *void*, dan *porosity*.
3. Pada hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa hasil tertinggi pada nilai kekuatan tarik terbaik terdapat pada kecepatan 977 RPM dengan nilai beban maximum mencapai 1864,7 N, tegangan maximum sebesar 28,69 MPa dengan nilai elongasi 5,31 %, sedangkan kekuatan tarik pada *base material* PP sebesar 37,55 MPa dengan nilai elongasi 10,83 %.

Hasil pengujian penelitian, dimana variasi kecepatan putaran *pin tool* yang digunakan adalah antara 588, 977 1562, dan 2371 RPM dapat disimpulkan bahwa hasil pengelasan pada putaran *tool* yang teroptimal terdapat pada putaran 977 RPM.

Daftar Pustaka

Journal :

- Ashari, F. (2014). Studi eksperimen pengaruh variasi kecepatan putar spindle dengan pin tirus terhadap impact strength dan metallography polyethylene dengan metode friction stir welding. Surabaya: Skripsi Institute Teknologi Sepuluh November.
- Diqi, M. (2015). Pengaruh kecepatan rotasi tool terhadap sifat mekanik sambungan friction stir welding material polyamide dengan pemanas tambahan. Surakarta: Skripsi Universitas Negeri Sebelas Maret.
- Kucukrendeci, I. (2019). The investigation of suitable welding parameters in polypropylene sheets joined with friction stir welding. *Bulletin of the polish academy of science*, Vol. 67, No. 1, pp 133-140.
- Moochani, A., Omidvar, H., Ghaffarian, SR., dan Goushegir, SM. (2018). Friction stir welding of thermoplastics with a new heat-assisted tool design: mechanical properties and microstructure. *International institute of welding*, Volume 63, Issue 1, pp 181–190.
- Panneerselvam, K., dan Lenin, K. (2013). Effect and defect of the polypropylene plate for different parameters in friction stir welding process. *Research scholar department of production engineering*, Volume: 2 Issue: 2, pp. 143 - 152.
- Prabowo, H., Triyono., dan Kusharjanta, B. (2013). Pengaruh kecepatan putaran tool dan pemanas tambahan terhadap kekuatan mekanik polypropylene hasil las friction stir welding. *Mekanika*, Volume 12 Nomor 1, pp 34-38.
- Prasad, RV dan Raghava, PM. (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, Issue 6, pp. 288-296.
- Triyono., Nugroho, B., dan Muhyat, N. (2015). Pengaruh plunge depth dan preheat terhadap sifat mekanik sambungan friction stir welding polyamide. *Proceeding seminar nasional tahunan teknik mesin*, volume 11, pp 77-82.