

# PENGARUH SHOULDER ANGLE DAN VARIASI PUTARAN PADA SAMBUNGAN FRICTION STIR SPOT WELDING PADA MATERIAL POLYPROPYLENE

Dhadhang Dika Oktobe Hendarto<sup>a</sup>, Aris Widyo Nugroho<sup>b</sup>, Cahyo Budiyanoro<sup>c</sup>

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
 Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183  
<sup>a</sup>dikaoktobe10@gmail, <sup>b</sup>ariswidyo@umy.ac.id, <sup>c</sup>cahyo\_budi@umy.ac.id

## Abstrak

*Friction stir spot welding (FSSW)* merupakan metode penyambungan sebuah material yang memanfaatkan panas dari gesekan *tool* bagian *pin* dan *shoulder*. Salah satu material yang digunakan adalah *polypropylene*. *Polypropylene* banyak digunakan di dunia industri karena memiliki kekuatan yang tinggi dan ringan. Bentuk geometri *tool* mempengaruhi hasil dari proses penyambungan material dari sifat mekanik serta struktur makro. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan putar dan bentuk geometri *tool* terhadap sifat mekanik dan struktur makro dari material *polypropylene* dengan menggunakan metode FSSW.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah lembaran *polypropylene* dengan panjang 150 mm, lebar 30 mm dan tebal 5 mm. Proses penyambungan dilakukan pada variasi kecepatan putar 985, 1660, 2350 rpm. Terdapat 2 tipe *tool* yang digunakan antara lain *tool* dengan *shoulder angle* 5° dan *tool* tanpa *shoulder angle* atau datar parameter lain seperti *tool plunge rate*, *dwelt time*, *delay time* dianggap konstan. Pada penelitian ini dilakukan 3 pengujian, seperti pengujian tarik, pengujian kekerasan dan pengujian struktur makro.

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa dari penggunaan *pin tool angle* 15° dengan *shoulder angle* 5° memiliki kapasitas beban tarik maksimum dengan parameter *tool 2 / 2350 rpm* dengan hasil 2253,33 N. Penggunaan variasi kecepatan putar 2350 rpm memiliki hasil pada luasan area yang dihasilkan paling panjang. Berdasarkan hasil yang diperoleh diatas bentuk geometri *tool* yang mempunyai *pin tool angle* 15° dengan *shoulder angle* 5° lebih di rekomendasikan karena memiliki nilai kapasitas beban tarik 2253,33 N dan luasan area 117,66 mm<sup>2</sup> hasil tersebut paling baik di bandingkan variasi lainnya.

**Kata kunci:** FSSW, Polypropylene, Sudut Shoulder, Uji tarik, Uji Kekerasan

## Abstract

*Friction stir spot welding (FSSW)* is a method of connecting a material that utilizes heat from the friction of the pin and shoulder parts. One of the materials used is *polypropylene*. *Polypropylene* is widely used in the industrial world because it has high strength and light weight. The shape of the tool geometry influences the results of the material joining process from mechanical properties and macro structure. This research was conducted to determine the effect of variations in rotational speed and geometric shape of the tool on the mechanical properties and macro structure of *polypropylene* material using the FSSW method.

The material used in this study has *polypropylene* sheets with a length of 150 mm, width 30 mm and thickness of 5 mm. The connection process has carried out at variations of rotational speed 985, 1660, 2350 rpm. There are 2 types of tools used, including tools with a shoulder angle of 5° and tools without shoulder angle or other flat parameters such as *tool plunge rate*, *dwelt time*, *delay time* are considered constant. In this study 3 tests were conducted, such as tensile testing, hardness testing and macro structure testing.

The results of the study show that the use of a 15° pin tool angle with a shoulder angle of 5° has a maximum tensile load capacity with a tool parameter of 2/2350 rpm with a result of 2253.33 N. The use of a variation of rotational speed of 2350 rpm has the result of the longest area produced. Based on the results obtained above the geometry of the tool which has a pin tool angle of 15° with a shoulder angle of 5° is more recommended because it has the value of the strength and area of the area produced the best compared to other variations

**Keywords:** FSSW, Polypropylene, Shoulder Angle, Tensile test, Hardness test

## 1. Pendahuluan

*Polypropylene* merupakan polimer kristalin yang dihasilkan dari proses polimerisasi gas propilena. *Polypropylene* memiliki pengaplikasian yang luas karena mudah dalam pengolahannya, baik dalam dunia industri otomotif dan barang-barang yang digunakan keseharian manusia. Polimer ini serba guna dan banyak ditemukan dalam kehidupan sehari-hari. *Polypropylene* memiliki titik leleh yang cukup tinggi yaitu 190°C-200°C dibandingkan dengan jenis plastik lainnya dan daya regang yang tinggi (Mujiarto., 2005).

Teknik penyambungan baru dengan biaya yang sedikit disebut *friction stir spot welding* (FSSW) atau *friction spot join* (FSJ) telah dikembangkan. Teknik ini memiliki keuntungan yang sama dengan *friction stir welding* (FSW) seperti proses kondisi padat, kemudahan penanganan, penyambungan bahan yang berbeda dan bahan yang sulit untuk dilas mekanik, distorsi rendah, sifat mekanik yang sangat baik, dan sedikit limbah atau polusi (Aliasghari, dkk., 2019).

FSSW berbeda dengan FSW karena sambungan yang digunakan FSW menggunakan sambungan *butt joint*. FSSW dilakukan pada lembaran logam dengan menggunakan sambungan tumpang atau *lap joint* tanpa menggunakan alat las. *Tool* berputar kemudian turun dengan arah vertikal, *tool* mulai bergesekan dengan spesimen bagian atas menuju spesimen bagian bawah dengan ukuran kedalaman pengelasan yang telah ditentukan. *Shoulder* merupakan bagian yang paling dekat dengan spesimen bagian atas (Yang, dkk., 2010). *Tool* tersebut yang dicekam berputar secara vertikal ke dalam lembaran logam, *tool* dibiarkan untuk waktu yang singkat sebelum pencabutannya. Sejumlah kecil bahan yang dilas dengan metode FSSW yang ditekan akan keluar dari *shoulder* untuk membentuk tonjolan melingkar pada lembaran atas.

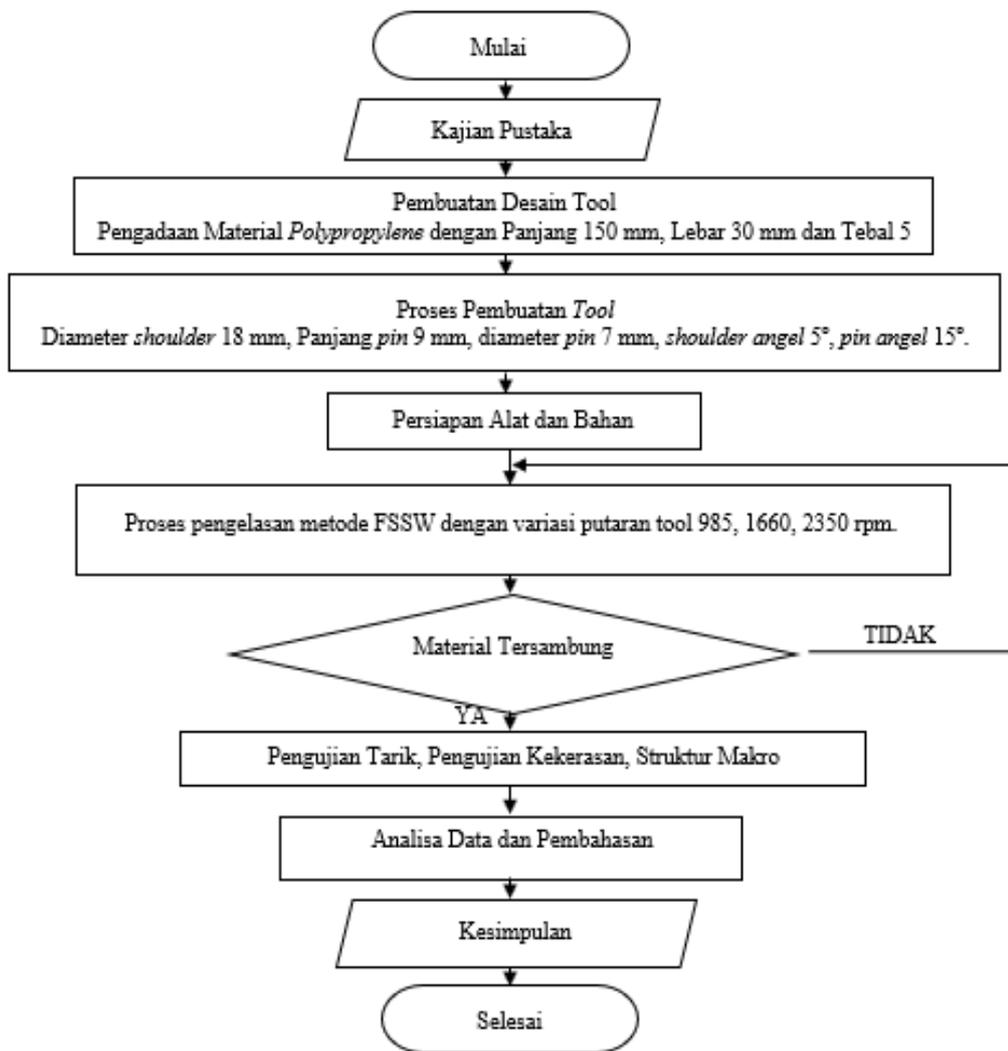
Bilici dan Yukler (2012) meneliti tentang pengaruh geometri *tool* dengan parameter struktur makro dan kekuatan statis pada *polyethelene*. Material tersebut memiliki tebal 4 mm dengan dimensi 60 mm x 150 mm dengan luas area tumpang 60 mm x 60 mm. *Tool* menggunakan material baja SAE 1040 yang dipanaskan dan mempunyai kekerasan 40 HRC. Diperoleh nilai maksimal tensile load pada kecepatan putar 710 rpm yaitu 3600 N dengan menggunakan desain pin *tool* silinder runcing sedangkan desain pin *tool* silinder lurus memperoleh nilai tensile load terendah yaitu 2800 N dengan putaran yang sama dan nilai minimal. Karena pada pin *tool* silinder runcing memiliki kekuatan pengelasan yang tinggi menciptakan panas yang tinggi dari gesekan di sekitar pin. Panas gesekan yang tinggi menyebabkan suhu material meningkat di area pengelasan dan nugget yang tebal disebabkan oleh gaya pengelasan yang tinggi.

Bilici, dkk., (2014) melakukan penelitian tentang geometri *tool* dan parameter pengelasan terhadap kekuatan pengelasan. Peneliti menggunakan material *polypropylene* dengan tebal 4 mm, dengan dimensi specimen 60 mm x 150 mm dan luas area tumpang 60 mm x 60 mm. *Tool* menggunakan material baja SAE 1040 memiliki kekerasan 35 HRC. Beban fraktur maksimum (900 rpm) diperoleh dengan pin silinder meruncing (4280 N) dan pin silinder berulir menghasilkan beban fraktur terendah (3305 N). Pada pin silinder lurus, panas yang dihasilkan dari gesekan di area lasan redah yang membuat daerah ikatan las kecil dan diperoleh kekuatan yang sangat rendah. Dan pin yang meruncing menciptakan nugget yang lebih tebal dan area ikatan las yang lebih besar daripada pin yang lurus berbentuk silinder.

Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Arici dan Mert (2008) mengenai efek waktu tinggal, ketebalan, dan semakin lama waktu tinggal meningkatkan kekuatan tarik yang cukup signifikan pada uji tarik geser. Apabila waktu tinggal kurang, akan berpengaruh pada hasil lasan dan kekuatan sambungan. Panas gesekan yang dihasilkan antara bahan dan *tool* yang berputar meningkatkan kekuatan sambungan dengan meningkatnya waktu tinggal. Meningkatkan waktu tinggal dari 30 hingga 60 detik menghasilkan kemajuan yang signifikan pada kekuatan lasan. Dari 60 hingga 120 detik waktu tinggal, ada sedikit peningkatan kekuatan lasan.

## 2. Metode Penelitian

Dalam melakukan proses pengelasan atau penyambungan menggunakan metode FSSW (*Friction Stir Spot Welding*) ada beberapa tahapan yang dapat dilihat pada gambar 1.



**Gambar 1** Diagram alir penelitian

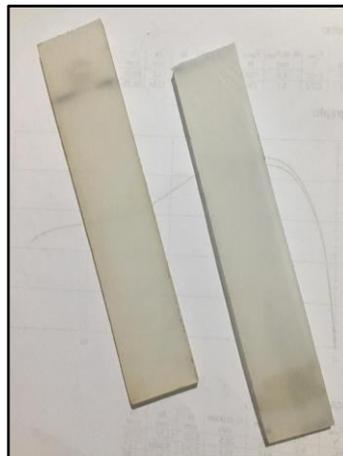
Mesin milling merupakan alat utama yang digunakan pada penelitian kali ini. Prinsip kerja mesin milling yaitu mengubah energi listrik menjadi putaran yang dapat diatur kecepatan putarnya dengan menggunakan variasi ukuran pulley yang tersedia. Pada penelitian ini menggunakan tipe mesin milling FM–2SK Chevalier Vertikal.

Mesin milling berperan penting dalam proses pengelasan FSSW ini dikarenakan mesin milling alat yang berfungsi untuk memutar *tool* yang akan mengalami gesekan langsung dengan spesimen. Spindel pada mesin milling ini berguna untuk mencekam dan memutar *tool* yang akan menghasilkan putaran. Putaran pada *tool* ini selanjutnya ditekan pada material yang telah dicekam dan akan menghasilkan panas yang berfungsi untuk melunakkan material dan terjadilah proses penyambungan. Pada gambar 2 merupakan mesin milling yang digunakan untuk proses pengelasan FSSW.



**Gambar 2** Mesin *milling*

Pada penelitian ini material yang digunakan yaitu *polypropylene* dengan ukuran 150mm x 30 mm x 5 mm yang ditunjukkan pada gambar 3 dibawah ini.



**Gambar 3** Lembaran *polypropylene*

### 2.1 Pengujian Makro

Pengujian struktur makro adalah peroses pengamatan permukaan pada suatu material yang memiliki struktur kristal yang tergolong kasar dan besar dengan menggunakan mikroskop. Umumnya pada pengujian struktur makro memiliki angka kevalidan antara 0,5 sampai 50 kali. Pengujian ini berfungsi untuk menunjukkan daerah seperti panjang *nugget*, *heat effected zone*, *weld bonded area* dan juga cacat pada hasil pengelasan. Pengujian foto makro ini menggunakan alat optik usb bermerek Olympus yang hasil gambarnya tersambung langsung dengan unit komputer.

### 2.2 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan guna mengetahui nilai kekuatan tarik dari suatu material dan dapat digunakan untuk memperkirakan karakteristik dari sebuah material yang digunakan. Sehingga ketika melakukan perencanaan dapat memilih jenis material yang digunakan sesuai kebutuhan. Pelaksanaan pengujian material *polypropylene* dilakukan dengan cara menjepit kedua ujung spesimen dengan kecepatan tarik yang telah ditentukan sampai dengan material tersebut mengalami patahan hingga putus. Standar pengujian untuk material polypropylene yaitu EN 12814-2. Kecepatan uji tarik menggunakan alat Zwick/Roel Z020 dan kecepatan uji tarik yang digunakan yaitu 20 mm/menit.

### 2.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besar nilai kekerasan atau sifat mekanik sambungan menggunakan metode FSSW pada material *polypropylene*. Satuan yang dipakai untuk pengujian kekerasan pada alat *shore D* ini adalah HD karena pada jenis pengujian kekerasan nilai empiris atau perbandingan yang berkisar 0 – 100 HD.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Hasil Pengelasan

Hasil pengelasan dengan metode FSSW menggunakan parameter pengaruh kecepatan putar dan *shoulder angle*. Dibawah ini merupakan hasil pengelasan yang terdapat pada parameter *tool 1* dan *tool 2*.

**Table 1** Hasil pengelasan dengan metode FSSW menggunakan *tool 1* dan *tool 2*

Variasi	Tampak Atas		Tampak Samping
	Tool 1	Tool 2	
985 Rpm			
1660 Rpm			
2350 Rpm			

Berdasarkan dari tabel 1 saat pengelasan putaran yang digunakan searah jarum jam. Hasil pengelasan dengan menggunakan putaran *tool 1* 985 rpm, memiliki hasil pengelasan yang bagus dari kedua *tool* dan tidak terdapat cacat pada lasan. Pada hasil pengelasan dengan menggunakan putaran *tool 2* 985 rpm, memiliki hasil pengelasan yang bagus dari kedua *tool* dan masih sama pada hasil pengelasan tidak terdapat cacat. Hasil pengelasan dengan putaran *tool 1* 1660 rpm, hasil dari putaran ini mulai timbul cacat pada pengelasan. Pada putaran ini, *tool 1* memiliki cacat pada pengelasan yang paling besar dibandingkan dengan hasil pengelasan dengan *tool 2* cacat yang terjadi berupa cacat rongga.

### 3.2 Hasil Foto Makro

Hasil dari pengujian struktur makro dari hasil pengelasan dengan menggunakan metode *friction stir spot welding* pada material *polypropylene* dengan variasi kecepatan putar dan bentuk *shoulder angle* terdapat pada table 1 yang mana pada gambar menunjukkan adanya cacat yang terjadi pada area lasan dan menunjukkan panjang *nugget* serta area lasan yang dihasilkan adapun hasilnya dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 2 Hasil foto makro dari pengelasan dengan metode FSSW

Variasi	Gambar	
Tool 1 985 rpm		
Tool 2 985 rpm		
Tool 1 1660 rpm		
Tool 2 1660 rpm		
Tool 1 2350 rpm		
Tool 2 2350 rpm		

Dari hasil pengelasan pengujian struktur makro table 2 dengan tool 1 dan putaran 985 rpm, menghasilkan nugget 2,59 mm dan area dari hasil lasan hampir tidak ada cacat. Hasil pengelasan tool 2 dan putaran 985 rpm, menghasilkan nugget 3,37 mm dan area dari hasil lasan mulai timbul cacat gelembung udara yang terperangkap tetapi masih kecil-kecil dan tidak pengaruh pada hasil lasan. Hasil pengelasan tool 1 dan putaran 1660 rpm, menghasilkan nugget 3,63 mm dan area dari hasil lasan hampir tidak ada cacat. Hasil pengelasan tool 2 dan putaran 1660 rpm, menghasilkan nugget 3,56 mm dan area dari hasil lasan terdapat cacat rongga. menggunakan tool 1 dan putaran 2350 rpm, menghasilkan nugget 3,70 mm dan area dari hasil lasan terdapat cacat yang besar yang berupa cacat rongga. Hasil pengelasan tool 2

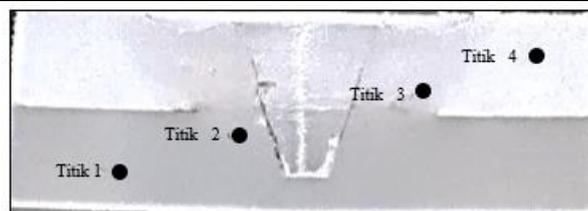
dan putaran 2350 rpm, menghasilkan nugget yang paling panjang dari beberapa hasil lasan yaitu sebesar 4,38 mm dan area dari hasil lasan terdapat cacat, tetapi cacat rongga tidak sebesar tool 1 dengan putaran yang sama. Cacat pada hasil pengelesan mulai terjadi dengan seiring meningkatnya putaran tool seperti pada gambar tersebut dapat dilihat pada putaran tinggi cacat yang terjadi dari hasil pengelasan kedua tool semakin membesar, cacat yang terjadi berupa cacat rongga.

### 3.3 Hasil Uji Kekerasan

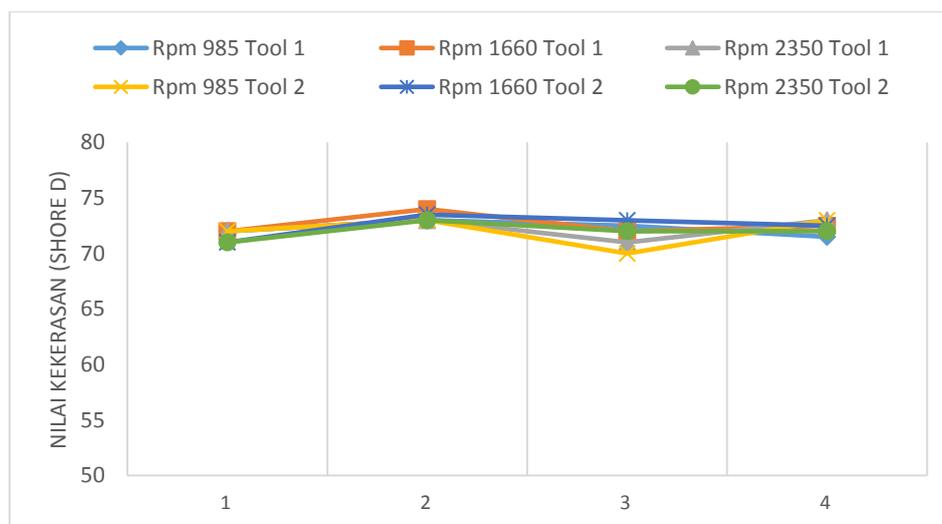
Hasil pengujian kekerasan pada penelitian ini dilakukan pada 6 spesimen. Setiap spesimen memiliki parameter yang berbeda yaitu *tool 1 / 985 rpm*, *tool 2 / 985 rpm*, *tool 1 / 1660 rpm*, *tool 2 / 1660 rpm*, *tool 1 / 2350 rpm*, dan *tool 2 / 2350 rpm*. Titik pengujian diambil dari 4 titik, yaitu : titik 1, titik 2, titik 3, titik 4. Pada tabel 3 menunjukkan hasil nilai kekerasan dengan menggunakan alat durometer.

**Tabel 3** Hasil pengujian kekerasan

Variasi	Tool 1			Tool 2		
	Putaran (Rpm)			Putaran (Rpm)		
Titik (Shore D)	985	1660	2350	985	1660	2350
1	72	72	72	72	71	71
2	73	74	73	73	73,5	73
3	72,5	72	71	70	73	72
4	71,5	72,5	73	73	72,5	72



**Gambar 4** Titik lokasi pengujian kekerasan



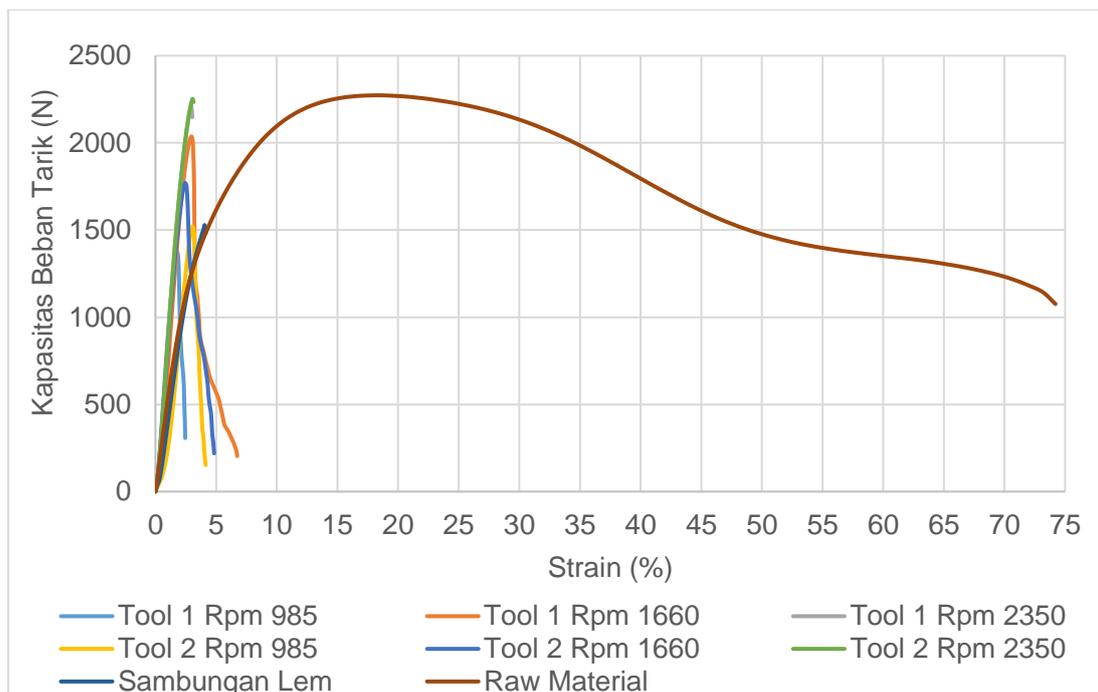
**Gambar 5** Grafik hasil uji kekerasan pengelasan FSSW

Pada gambar 5 merupakan grafik hasil pengujian kekerasan dengan metode pengelasan FSSW. Dari grafik diatas dapat dilihat nilai kekerasan yang paling baik terdapat pada

spesimen yang menggunakan variasi tool 2 / 1660 rpm. hal ini dilihat dari nilai yang terdapat pada titik 2 dan titik 3 yang mana menghasilkan nilai kekerasan yang paling tinggi dengan selisih nilai paling sedikit yaitu 0,5 Shore D. Titik 2 dan titik 3 merupakan titik dimana lembaran material polypropylene bagian atas dengan bagian bawah tersambung dengan temperatur yang hampir merata saat proses pengelasan dengan metode FSSW. Sedangkan nilai kekerasan yang kurang baik dihasilkan oleh spesimen yang menggunakan variasi tool 2 / 985 rpm nilai yang didapatkan dari titik 2 dan titik 3 memiliki selisih yang paling banyak yaitu dengan nilai 73 Shore D dan 70 Shore D. Hal ini dapat terjadi karena putaran terlalu pelan untuk Panjang pin 9 mm yang digunakan sehingga material mengalami perubahan struktur yang mengakibatkan nilai kekerasannya menurun. Pada titik 3 lembaran material menerima panas yang lebih besar dibandingkan pada titik 2 karena posisi lembaran material berada diatas dan merupakan bagian yang mengalami kontak langsung dengan tool yang digunakan. Dari grafik diatas juga dapat terlihat bahwa kenaikan kecepatan putar sangat berpengaruh dengan nilai kekerasan yang dihasilkan dan panjang pin juga berpengaruh pada nilai kekerasan.

### 3.4 Hasil Uji Tarik

Hasil pengujian tarik ini menggunakan standar EN 12814-2 untuk ukuran dimensi spesimen dan menggunakan material polypropylene dengan ketebalan 5 mm. Grafik hasil pengujian sebagai berikut :

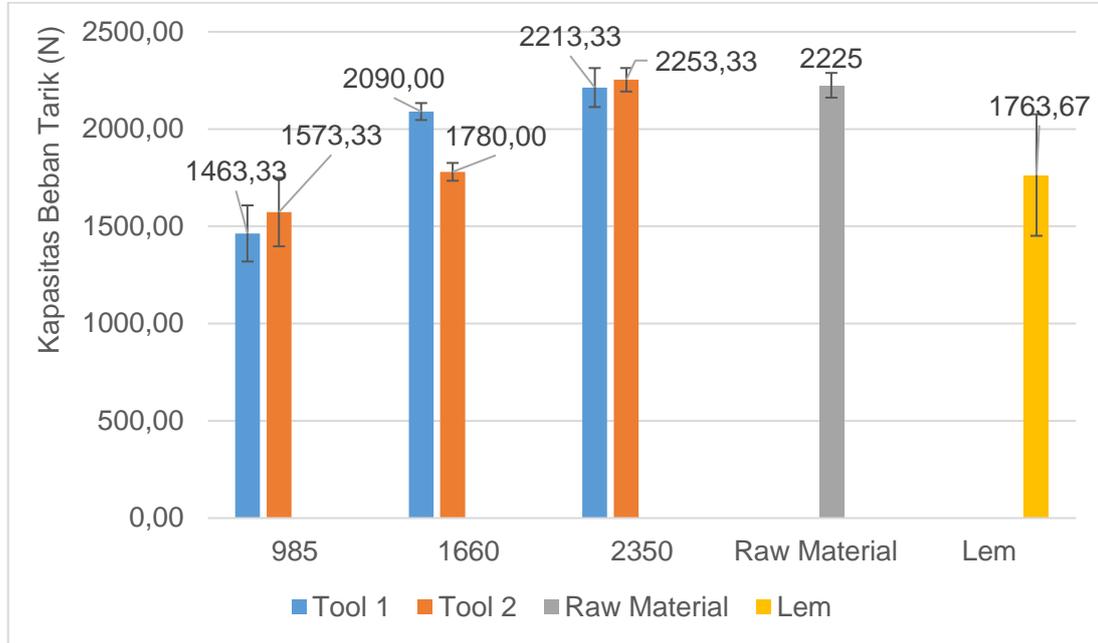


**Gambar 6** Kurva kapasitas beban tarik dan regangan FSSW

Pada gambar 6 menunjukkan kurva beban tarik geser dan kurva regangan yang sudah mencakup nilai dari sambungan lem dan raw material. Dapat dilihat pada grafik hasil pengujian tarik diatas bahwa pada spesimen raw material, tool 1 / 985 rpm, tool 2 / 985 rpm, tool 1 / 1660 rpm, dan tool 2 / 1660 rpm terjadi proses necking sebelum mengalami patah. Hal ini menunjukkan bahwa material pada spesimen yang digunakan tersebut mempunyai sifat ulet akan tetapi sifat ulet yang terjadi hanya sebatas ulet sebagian saja.

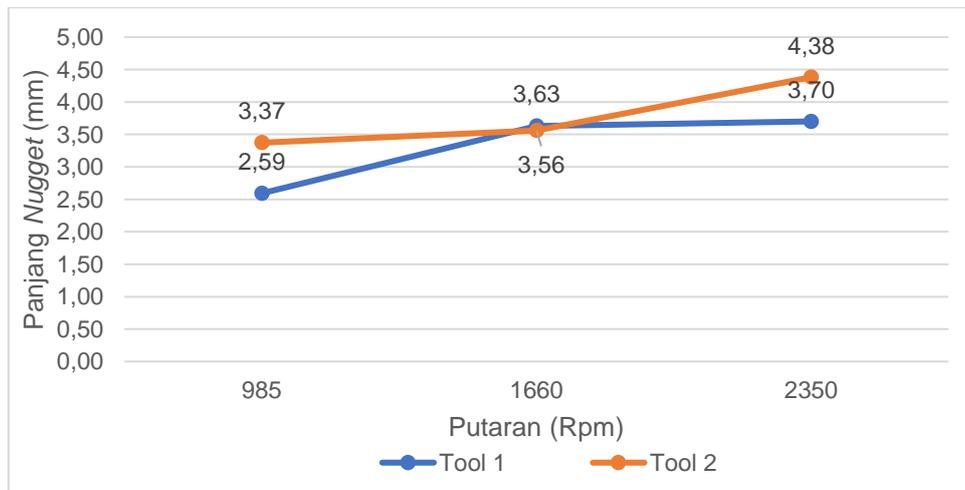
Hasil pengujian tarik dengan parameter tool 2 / 2350 memiliki nilai beban tarik geser yang paling tinggi, hal ini menunjukkan bahwa kekuatan sambungan dari parameter tersebut hampir sama dengan nilai beban tarik dari raw material. Hal ini ditunjukkan pada gambar 4.7 dengan

nugget yang paling panjang yaitu 4,38 mm yang dihasilkan dari pengelasan dengan parameter tool 2 / 2350 rpm sehingga menghasilkan luasan lasan yang besar. Sedangkan uji tarik yang memiliki nilai beban tarik geser terendah dimiliki yang sambungan dengan parameter tool 1 / 985 rpm, nilai dari hasil sambungan tersebut cenderung mendekati nilai beban tarik geser dari hasil sambungan lem.



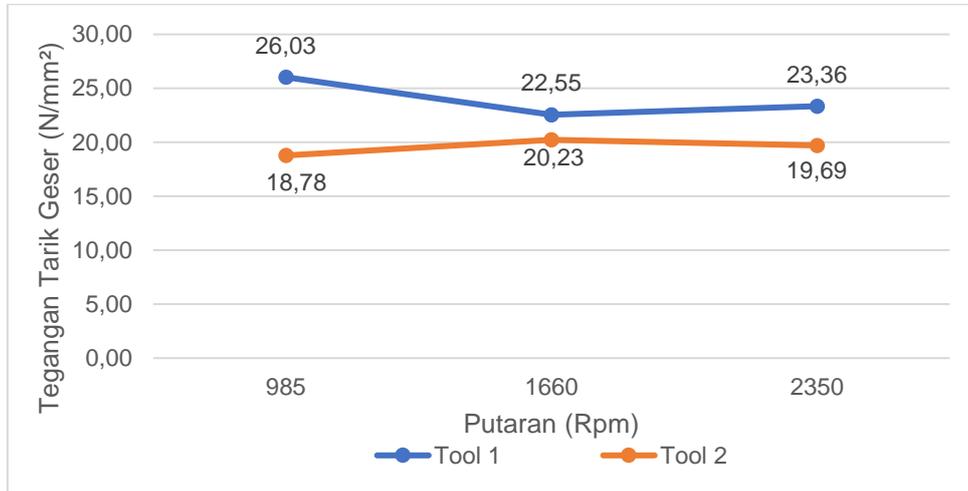
**Gambar 7** Grafik nilai rata-rata kapasitas beban tarik pada pengelasan FSSW

Pada gambar 7 dapat dilihat pada grafik bahwa nilai rata-rata kapasitas beban tarik geser berbeda-beda. Nilai kapasitas beban tarik tertinggi terdapat pada variasi putaran 2350 rpm dengan menggunakan *tool 2* yaitu dengan nilai beban 2253,33 N, nilai tersebut melebihi kapasitas beban tarik dari raw material dengan selisih 28,33 N lebih besar. Hal tersebut terjadi dikarenakan efek dari panjang *tool* yaitu 9 mm dengan putaran 2350 rpm yang membuat hasil lasan lebih padat dibantu dengan bentuk *shoulder* menggunakan *shoulder angle* 5°. Sedangkan untuk rata-rata kapasitas beban tarik terendah terdapat pada variasi putaran 985 rpm dengan menggunakan *tool 1* dengan nilai 1463,33 N. Hal ini disebabkan karena suhu panas yang dihasilkan pada putaran tersebut kurang optimal karena putaran yang rendah. Karena hal tersebut berefek pada luasan nugget pada hasil pengelasan.



**Gambar 8** Grafik efek putaran tool terhadap panjang nugget

Gambar 8 menunjukkan panjang *nugget* yang dihasilkan *tool 1* dan *tool 2*. Dari grafik diatas dimana *shoulder angle* sangat berpengaruh pada panjang *nugget* dengan seiring bertambahnya putaran tool. Tool 2 memiliki *nugget* yang paling panjang pada putaran 2350 rpm dengan panjang 4,38 mm dibandingkan dengan *tool 2* pada putaran yang sama hanya didapatkan *nugget* 3,70 mm. Untuk panjang *nugget* paling pendek didapat dengan *tool 1* pada putaran *tool* 985 rpm yaitu hanya 2,59 mm.



**Gambar 9** Grafik efek putaran tool terhadap tegangan tarik geser

Gambar 8 menunjukan nilai tegangan tarik geser yang dihasilkan dari *tool 1* dan *tool 2*. Dari grafik diatas menunjukkan nilai tegangan tarik geser pada *tool 1* lebih tinggi dari pada nilai tegangan tarik geser dari *tool 2*. Sementara untuk pengaruh *shoulder angle* yang digunakan, *tool 2* dengan *shoulder angle* 5° menghasilkan nilai tegangan tarik yang rendah. Nilai tegangan tarik paling tinggi diperoleh dari parameter *tool 1* dengan menggunakan variasi putaran 985 rpm dengan nilai 26,03 N/mm² sedangkan untuk nilai tegangan tarik paling terendah diperoleh dari parameter *tool 2* dengan menggunakan variasi putaran 985 rpm dengan nilai 18,78 N/mm².

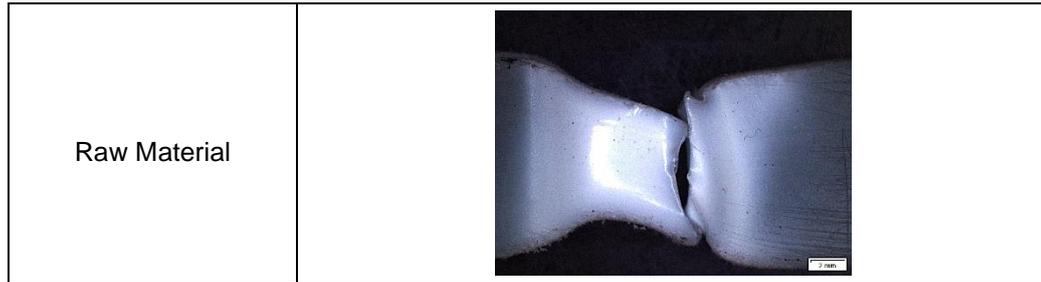
### 3.5 Fraktografi

Pada penelitian ini terdapat juga fraktografi yang merupakan foto setelah dilakukannya pengujian tarik. Fraktografi bertujuan untuk mengetahui hasil bagaimana bentuk patahan yang dihasilkan dari pengujian tarik. Fraktografi pengelasan dengan material *polypropylene* setelah dilakukan pengujian tarik seperti pada tabel 4.

**Tabel 4** Mode kegagalan

Variasi	Hasil Patahan	
Tool 1 / 985 rpm		

<p>Tool 2 / 985 rpm</p>	
<p>Tool 1 / 1660 rpm</p>	
<p>Tool 2 / 1660 rpm</p>	
<p>Tool 1 / 2350 rpm</p>	
<p>Tool 2 / 2350 rpm</p>	
<p>Sambungan Lem</p>	



Pada gambar 4.14 merupakan mode kegagalan setelah melakukan uji tarik. Tool 1 dan dengan putaran 985 rpm mengalami mode kegagalan *pullout* yaitu mode kegagalan yang berbentuk sobekan pada daerah las. Hal ini dikarenakan luasan nugget yang dihasilkan pada putaran 985 rpm kecil. Untuk tool 1 dan 2 pada putaran 1660 rpm dan 2350 rpm mengalami mode kegagalan *one side partial* yaitu mode kegagalan patahan yang terjadi pada satu sisi yang mengalami patahan pada daerah lasan. Pada sambungan lem terjadi patahan getas yang dikarenakan perbedaan ketebalan yang signifikan. Pada raw material terjadi proses penyusutan dimensi sebelum terjadi patahan saat proses pengujian tarik.

### 3.6 Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian mengenai karakteristik sambungan *friction stir spot welding* untuk material *polypropylene* dengan variasi kecepatan putar dan panjang *pin* dan mengkaji hasil penelitian berdasarkan dari hasil pengujian tarik, pengujian kekerasan dan pengujian struktur makro maka dapat disimpulkan bahwa kapasitas beban tarik maksimum didapat dari parameter *tool 2 / 2350 rpm* dengan hasil 2253,33 N. Variasi kecepatan putar yang di gunakan yaitu 985 rpm, 1660 rpm, dan 2350 rpm dengan menggunakan 2 bentuk geometri *tool* yang berbeda terutama pada bagian *shoulder angle* untuk diameter *shoulder*, diameter *pin tool*, panjang *pin tool*, dan bentuk *profil pin tool* mempunyai kesamaan antara *tool 1* dan *tool 2*. Untuk parameter seperti *tool plunge rate*, *tool depth*, *dwell time*, *delay time*, dibuat konstan. Maka dari itu dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada hasil pengujian foto makro dapat di ketahui bahwa semakin tinggi variasi kecepatan putaran yang di gunakan maka akan menghasilkan panjang nugget yang semakin baik. Panjang nugget yang paling baik diperoleh dari variasi kecepatan putar 2350 rpm dengan panjang 4,38 mm. Dapat dilihat juga perbedaan antara *tool 1* dan *tool 2* dimana pada *tool 2* dapat menghasilkan panjang nugget yang lebih tinggi dibanding *tool 1* pada tiap variasi kecepatan putar yang digunakan. Untuk cacat yang terjadi pada tiap variasi kecepatan putar rata - rata berupa cacat rongga.
2. Pada hasil pengujian kekerasan dapat diketahui nilai kekerasan yang paling optimal diperoleh dari parameter *tool 2 / 1660 rpm*. Hal ini dilihat dari nilai yang terdapat pada titik 2 dan titik 3 yang mana menghasilkan nilai kekerasan yang paling tinggi dengan selisih yang nilai yaitu 0,5 shore D. Titik 2 dan titik 3 merupakan titik dimana lembaran material *polypropylene* bagian bawah dan bagian atas tersambung akibat proses pengelasan dengan metode FSSW.
3. Pada hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa nilai tegangan tarik geser tertinggi didapatkan dengan parameter *tool 1 / 985 rpm* dengan nilai 26,03 N/mm<sup>2</sup>. Sementara itu untuk nilai kapasitas beban tarik tertinggi diperoleh dengan parameter *tool 2 / 2350 rpm* dengan nilai 2253,33 N. Dapat dilihat dari hasil uji tarik bahwa pengaruh dari penggunaan *tool 1* dan *tool 2* dimana hasil pengujian menunjukkan nilai kapasitas beban tarik mengalami peningkatan pada setiap variasi kecepatan putar yang di gunakan, *tool 2* memiliki nilai kapasitas beban tarik paling optimal dari pada *tool 1*.

### 3.6 Daftar Pustaka

- Aliasghari, S., Skeldon, P., & Ghorbani, M. (2019). Influence of PEO and mechanical keying on the strength of AA 5052 alloy/polypropylene friction stir spot welded joints . *International Journal of Adhesion and Adhesives*, XIX, 0143-7496.

- Arici , A., & Mert, S. (2008). Friction Stir Spot Welding of Polypropylene. *Journal of Reinforced Plastics And Composites*, XXVII(18), 2001-2004.
- Bilici, M. K., & Yukler, A. I. (2012). Influence of tool geometry and process parameters on macrostructure and static strength in friction stir spot welded polyethylene sheets. *Materials and Design*(33), 145-152.
- Bilici, M. K., Yukler, A. I., & Kastan, A. (2014). Effect Of The Tool Geometry And Welding Parameters On The Macrostruktüre, Fracture Mode And Weld Strenght Of Friction Stir Spot welded Polypropylene Sheets. *Materials and technology*, XLVIII(5), 705-711.
- Bilici, M. K., Yukler, A. I., & Kurtumulus, M. (2016). Pin Profile and Shoulder Geometry Effects in Friction Stir Spot Welded Polymer Sheets. *The International Journal Of Engineering And Science (IJES)*, V(6), 29-36.
- Jambhale, S., Kumar, S., & Kumar, S. (2015). Effect of Process Parameters & Tool Geometries on Properties of Friction Stir Spot Welds: A Review . *Universal Journal of Engineering Science*, III(1), 6-11.
- Kurtumulus, M. (2012). Friction stir spot welding parameters for polypropylene sheets. *Department of Materials Technology*, VII(8), 947-956.
- Mert, S., & Arici, A. (2011). Design of optimal joining for friction stir spot welding of polypropylene sheets. *Science and Technology of Welding and Joining*, XVII(6), 522-527.
- Mujiarto, I. (2005). Sifat Dan Karakteristik Material Plastik Dan Bahan Aditif. *Traksi*, III(2), 65.
- Prasad, P. V., & Raghava, P. M. (2012). Fsw Of Polypropylene Reinforced With Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nano Composites, Effect On Mechanical And Microstructural Properties. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, II(6), 288-296.
- Tozaki , Y., Uematsu, Y., & Tokaji, K. (2007). Effect of tool geometry on microstructure and static strength in friction stir spot welded aluminium alloys. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*(47), 2230-2236.
- Yang, Q., Mironov, S., Sato, Y. S., & Okamoto, K. (2010). Material flow during friction stir spot welding. *Materials Science and Engineering* (527), 4389-4398.