

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengelasan

Pengelasan dengan metode *friction stir spot welding* pada dua buah material yang sama yaitu *polypropylene*, dengan melakukan beberapa percobaan pengelasan dengan beberapa variasi putaran dan rasio *tool*. Pada penelitian ini pengelasan menggunakan model sambungan material *lap joint*. Variasi putaran yang digunakan saat proses pengelasan 985 rpm, 1660 rpm, dan 2350 rpm, sedangkan yang digunakan dua variasi *tool*. Pada percobaan pertama menggunakan putaran 985 rpm dan menggunakan variasi *tool* yang pertama dengan bentuk *shoulder* rata. Hasilnya lapisan atas dan bawah material tidak melebur sempurna dikarenakan panas yang dihasilkan pada putaran 985 rpm kurang panas untuk membuat material *polypropylene* leleh. Percobaan kedua masih sama menggunakan *tool* yang pertama dengan bentuk *shoulder* rata, tetapi menaikkan putaran menjadi 1660 rpm. Hasilnya *polypropylene* mulai ada perubahan yaitu material mulai tercampur rata antara lapisan atas dan bawah. Kemudian percobaan yang ketiga masih sama menggunakan *tool* yang dengan bentuk *shoulder* yang sama yaitu rata, tetapi putaran *tool* ditambah lagi menjadi 2350 rpm. Diputaran ini *tool* menghasilkan sambungan yang sempurna dibandingkan dengan putaran 985 rpm dan 1660 rpm. Setiap kenaikan putaran saat proses pengelasan dengan metode FSSW, *nugget* yang dihasilkan dari sambungan semakin bertambah panjang. Secara visual atau dilihat hanya dengan pengelihatatan mata hasil pengelasan *friction stir spot welding* terlihat mirip, seperti pada gambar 4.1.

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

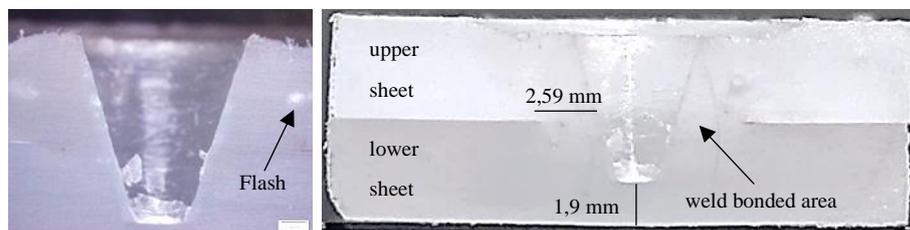
Gambar 4. 1 Pengelasan dengan metode FSSW

Berdasarkan dari gambar 4.1 saat pengelasan putaran yang digunakan searah jarum jam. Hasil pengelasan dengan menggunakan putaran *tool* 985 rpm, memiliki hasil pengelasan yang bagus dari kedua *tool* dan tidak terdapat cacat pada lasan. Pada hasil pengelasan dengan menggunakan putaran *tool* 1660 rpm, memiliki hasil pengelasan yang bagus dari kedua *tool* dan masih sama pada hasil pengelasan tidak terdapat cacat. Hasil pengelasan dengan putaran *tool* 2350 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.

4.1 Hasil Penelitian Struktur Makro

Hasil pengamatan pengelasan dengan metode *friction stir spot welding* dengan pengujian struktur makro dengan *shoulder angle* dan variasi putaran pada material *polypropylene*. Panjang *nugget* didapatkan dari pengukuran diameter luar *nugget* kemudian dikurangi diameter dalam *nugget*. Hasil pengujian seperti berikut :

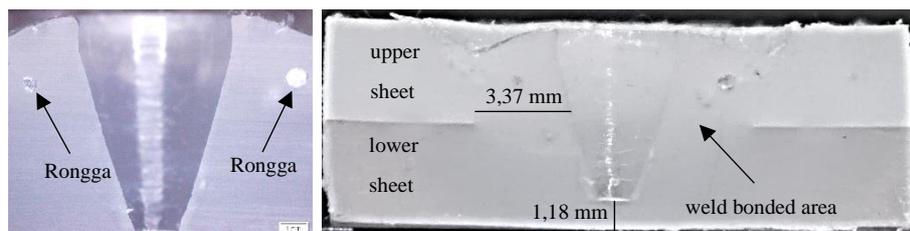
4.2.1 Hasil pengujian dengan parameter *tool 1 / 985 rpm*



Gambar 4. 2 Hasil struktur makro *tool 1 / 985 rpm*

Dari hasil pengamatan pengujian struktur makro pada gambar 4.2 dengan menggunakan *tool 1* dan putaran 985 rpm, menghasilkan *nugget* 2,59 mm dan area dari hasil lasan hampir tidak ada cacat.

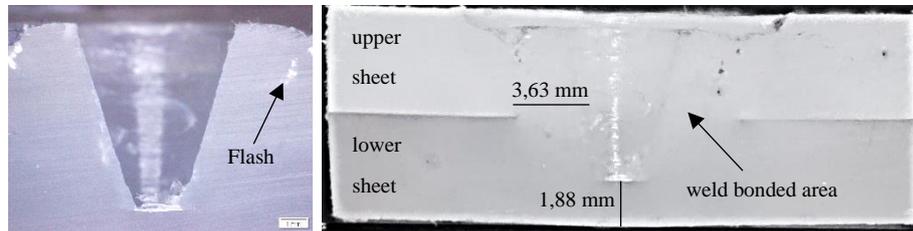
4.2.2 Hasil pengujian dengan parameter *tool 2 / 985 rpm*



Gambar 4. 3 Hasil struktur makro *tool 2 / 985 rpm*

Dari hasil pengamatan pengujian struktur makro pada gambar 4.3 dengan menggunakan *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.

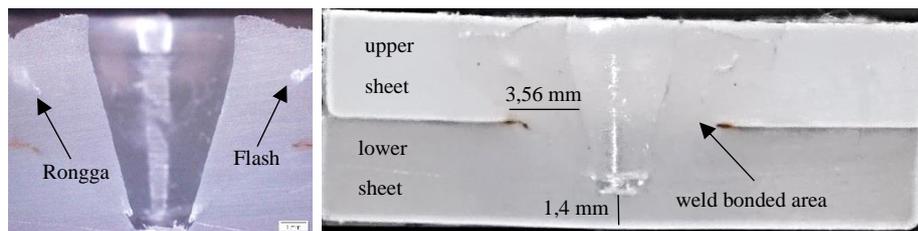
4.2.3 Hasil pengujian dengan parameter *tool 1* / 1660 rpm



Gambar 4. 4 Hasil struktur makro *tool 1* / 1660 rpm

Dari hasil pengamatan pengujian struktur makro pada gambar 4.4 dengan menggunakan *tool 1* dan putaran 1660 rpm, menghasilkan *nugget* 3,63 mm dan area dari hasil lasan hampir tidak ada cacat.

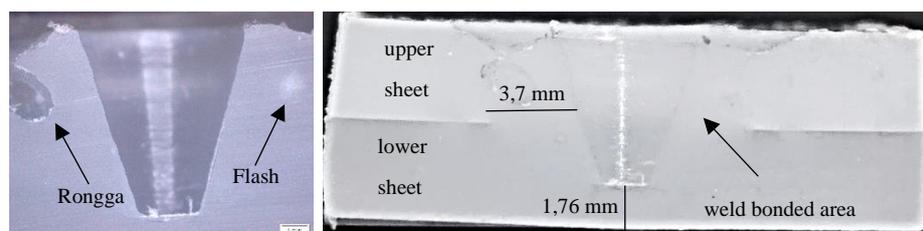
4.2.4 Hasil pengujian dengan parameter *tool 2* / 1660 rpm



Gambar 4. 5 Hasil struktur makro *tool 2* / 1660 rpm

Dari hasil pengamatan pengujian struktur makro pada gambar 4.5 dengan menggunakan *tool 2* dan putaran 1660 rpm, menghasilkan *nugget* 3,56 mm dan area dari hasil lasan terdapat cacat rongga.

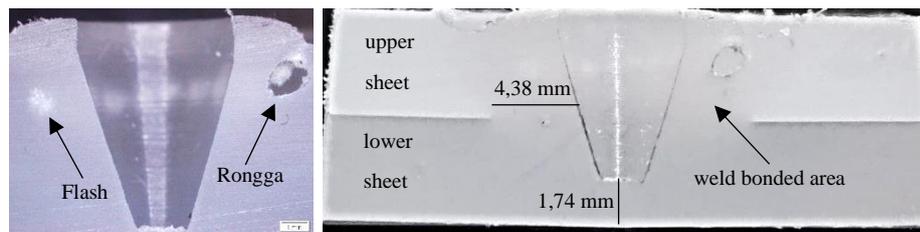
4.2.5 Hasil pengujian dengan parameter *tool 1* / 2350 rpm



Gambar 4. 6 Hasil struktur makro *tool 1* / 2350 rpm

Dari hasil pengamatan pengujian struktur makro pada gambar 4.6 dengan 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.

4.2.6 Hasil pengujian dengan parameter *tool 2* / 2350 rpm



Gambar 4. 7 Hasil struktur makro *tool 2* / 2350 rpm

Dari hasil pengamatan pengujian struktur makro pada gambar 4.7 dengan menggunakan *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.

Dari hasil analisa gambar 4.2 sampai 4.7 dapat disimpulkan yaitu 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. Karena semakin meningkatnya putaran *tool* udara disekitar *tool* menjadi vakum yang membuat terjadinya gelumbang-gelembung udara pada material yang dilas dan terbentuk rongga. Untuk kedalaman *tool* yang dihasilkan setelah melakukan proses pengelasan kedalaman yang dihasilkan *tool 1* dan *tool 2* berbeda. *Tool 1* mengalami penurunan ketebalan spesimen pada bagian yang terkenan ujung *pin tool*, sedangkan *tool 2* mengalami penambahan ketebalan spesimen pada bagian yang sama. Hal tersebut dikarenakan dari efek *shoulder angle*, *tool 1* yang tidak menggunakan *shoulder angle* pada saat putaran *tool* meningkat material yang keluar semakin cepat yang membuat ketebalan menurun sedangkan *tool 2* yang menggunakan *shoulder angle* 5° pada saat

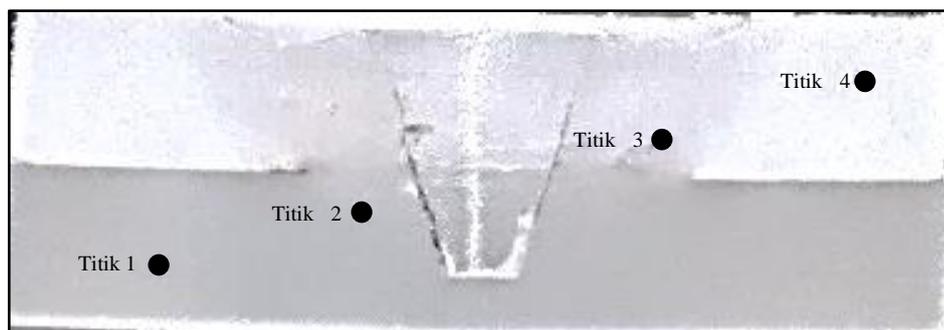
putaran *tool* meningkat material yang akan keluar akan ditahan *shoulder* dan ditekankan lagi kebawah yang membuat ketebalan bertambah.

4.3 Hasil Pengujian Kekerasan

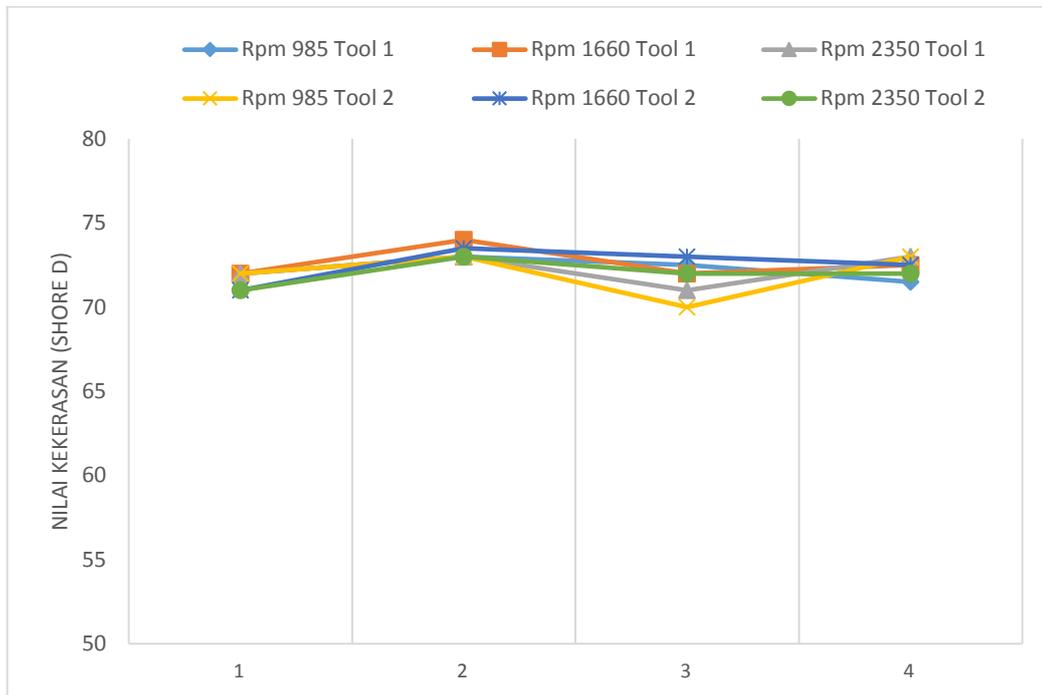
Hasil pengujian kekerasan pada penelitian ini dilakukan pada 6 spesimen dari hasil pengelasan. Setiap spesimen memiliki variasi yang berbeda yaitu tool 1 / 985 rpm, tool 2 / 985 rpm, tool 1 / 1660 rpm, tool 2 / 1660 rpm, tool 1 / 2350 rpm, dan tool 2 / 2350 rpm. Titik pengujian yang diambil dari 4 titik, yaitu : titik 1, titik 2, titik 3, dan titik 4. Pada tabel 4.1 menunjukkan hasil nilai kekerasan dengan menggunakan alat durometer digital.

Tabel 4. 1 Hasil pengujian kekerasan

Variasi	Kekerasan (Shore D)					
	Tool 1 (Rpm)			Tool 2 (Rpm)		
Titik	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. 8 Titik lokasi pengujian



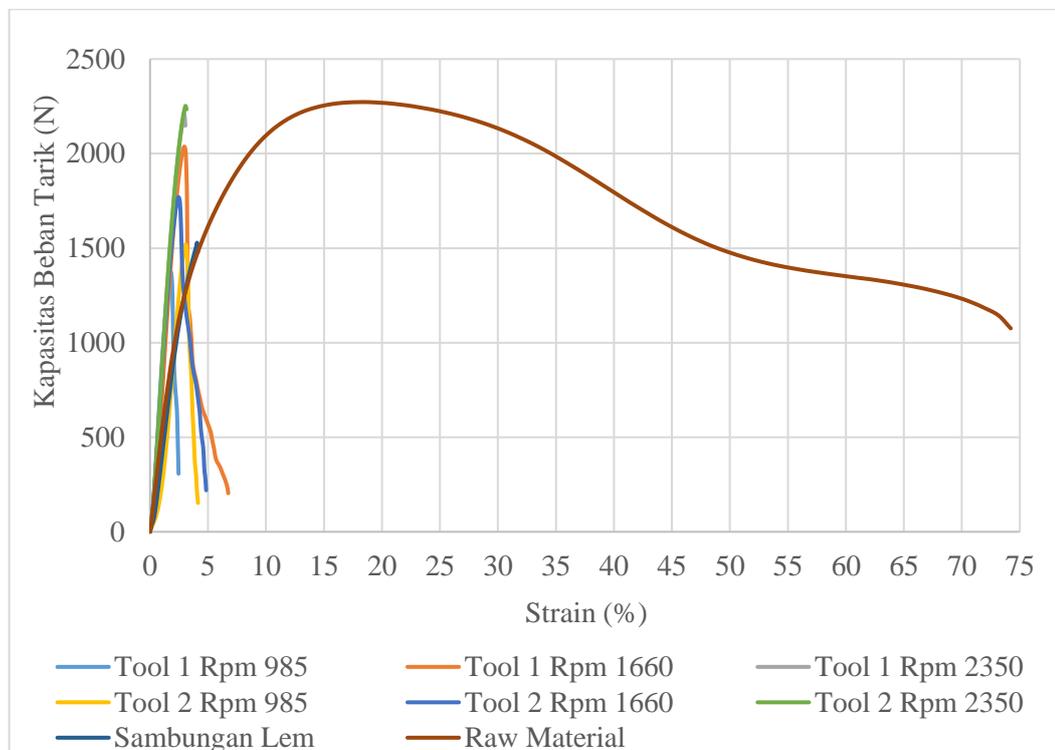
Gambar 4. 9 Grafik hasil uji kekerasan metode pengelasan FSSW

Pada gambar 4.9 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.

4.4 Hasil Pengujian 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 4. 10 Kurva beban tarik geser dan regangan

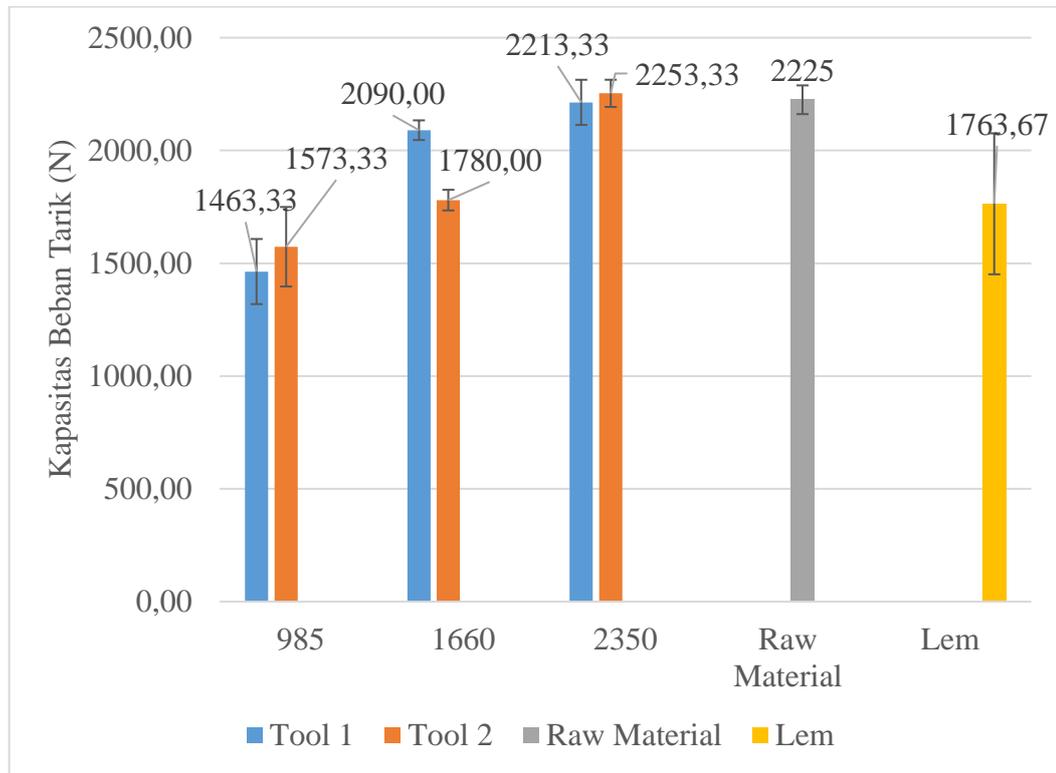
Pada gambar 4.10 menunjukkan kurva kapasitas beban tarik dan kurva regangan yang sudah mencakup nilai dari sambungan lem dan raw material. Untuk sambungan lem dihitung lagi karena luasan yang tersambung tidak sama, dengan rumus $\left(\frac{3560 N}{30 mm}\right) \times 13 mm = 1540,67 mm$. Dapat dilihat 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.

Tabel 4. 2 Hasil pengujian tarik nilai kapasitas beban tarik metode pengelasan FSSW

No.	Variasi	F Max (N)			Rata-rata F Max	Standar deviasi
		1	2	3		
1	Tool 1 / 985 rpm	1380	1380	1630	1463,33	144,34
2	Tool 2 / 985 rpm	1520	1770	1430	1570,33	176,16
3	Tool 1 / 1660 rpm	2040	2120	2110	2090	43,59
4	Tool 2 / 1660 rpm	1770	1830	1740	1780	45,83
5	Tool 1 / 2350 rpm	2220	2110	2310	2213,33	100,17
6	Tool 2 / 2350 rpm	2310	2260	2190	2252,33	60,28
7	Sambungan Lem	1984,67	1542,67	-	1763,67	312,54
8	Raw Material	2180	2270	-	2225	63,64



Gambar 4. 11 Grafik nilai rata-rata kapasitas beban tarik pada pengelasan FSSW

Hasil analisis dari tabel 4.2 didapat nilai kapasitas beban tarik geser untuk masing-masing spesimen dengan variasi yang sudah ditentukan. Setiap variasi putaran memiliki selisih nilai standar deviasi yang berbeda beda. Selisih nilai standar deviasi terrendah didapat pada variasi putaran 1660 dengan menggunakan tool 1 yaitu 43,59 N. Sedangkan selisih nilai standar deviasi tertinggi didapat pada variasi putaran 985 rpm dengan menggunakan *tool 2* yaitu 176,16 N. Hal ini dikarenakan tidak stabilnya kecepatan saat proses *tool plung rate*, karena saat proses ini dilakukan secara manual yang mengakibatkan lama waktu pengelasan setiap spesimen menjadi tidak sama. Daerah patahan yang terjadi saat pengujian tarik dari hasil pengelasan FSSW berbeda-beda, sebagian besar mengalami patahan pada daerah *heat effected zone* yang mana pada daerah tersebut terdapat cacat rongga yang mengurangi kepadatan hasil lasan dan kekuatan material tersebut. Sedangkan pada sambungan lem terjadi patahan ditengah sambungan begitu pula dengan raw material.

Pada gambar 4.11 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.

Tabel 4. 3 Hasil pengujian tarik nilai rata-rata F max dan nilai rata-rata luasan area pada tool 1 metode pengelasan FSSW

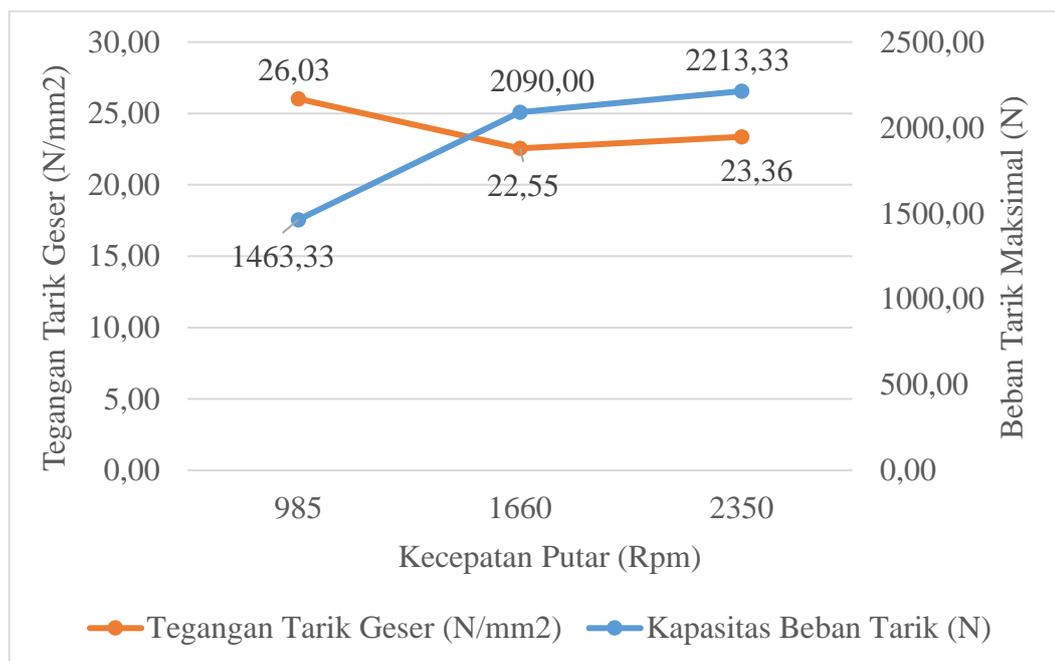
Putaran (Rpm)	F Max (N)	Rata-rata F Max	Diameter Luar (mm)	Diameter Dalam (mm)	Luas Area Sambungan	Rata-rata Luas Area (mm ²)
985	1380	1463,33	9,02	4,41	48,58	57,33
	1380		10,3	4,44	67,81	
	1630		9,5	4,41	55,60	
1660	2040	2090	11,96	4,52	96,25	92,98
	2120		11,98	4,50	96,77	
	2110		11,4	4,53	85,93	
2350	2220	2213,33	12,5	4,52	106,62	95,68
	2110		11,9	4,53	95,03	
	2310		11,36	4,50	85,41	

Pada tabel 4.3 dapat dilihat rata-rata F Max dan rata-rata luasan area lasan yang dihasilkan dengan menggunakan *tool 1* meningkat dengan seiring variasi putaran tool meningkat. Nilai F Max tertinggi didapat pada putaran 2350 rpm dengan *nugget* 3,7 mm yang menghasilkan kekuatan sebesar 2213,33 N dengan luasan lasan sebesar 95,68 mm². Sedangkan nilai F Max terendah didapat pada

putaran 985 rpm dengan *nugget* 2,59 mmyang menghasilkan kekuatan sebesar 1463,33 N dengan luasan lasan sebesar 57,33 mm². Karena pada putaran tersebut temperatur yang dihasilkan kurang optimal.

Tabel 4. 4 Nilai kapasitas beban tarik dan nilai tegangan tarik geser pada tool 1 metode pengelasan FSSW

RPM	Kapasitas Beban Tarik (N)	Tegangan Tarik Geser (N/ mm ²)
985	1463,33	26,03
1660	2090	22,55
2350	2213,33	23,36



Gambar 4. 12 Grafik perbandingan kapasitas beban tarik dengan tegangan tarik geser *tool 1* metode pengelasan FSSW

Pada gambar 4.12 merupakan grafik perbandingan antara nilai kapasitas beban tarik dengan nilai tegangan tarik geser yang dihasilkan oleh *tool 1* metode pengelasan FSSW. Grafik diatas menunjukkan nilai kapasitas beban tarik yang dihasilkan dari parameter *tool 1* dengan variasi putaran 985 rpm, 1660 rpm, 2350

rpm, nilai yang dihasilkan pada nilai tegangan tarik geser justru mengalami kenaikan diputaran tinggi. Pada kapasitas beban tarik nilai tertinggi diperoleh dari variasi putaran 2350 rpm dengan nilai 2213,33 N dengan nilai tegangan tarik gesernya 23,36 N/mm². Sedangkan untuk nilai tegangan tarik tertinggi di peroleh dari variasi putaran 985 rpm dengan nilai 26,03 N/mm² dan mempunyai nilai kapasitas beban tarik 1463,33 N. Hal ini dapat terjadi dikarenakan perbedaan luasan area dan pengaruh kedalaman lasan yang dihasilkan pada setiap variasi putaran yang digunakan.

Tabel 4. 5 Hasil pengujian tarik nilai rata-rata F max dan nilai rata-rata luasan area pada *tool 2* metode pengelasan FSSW

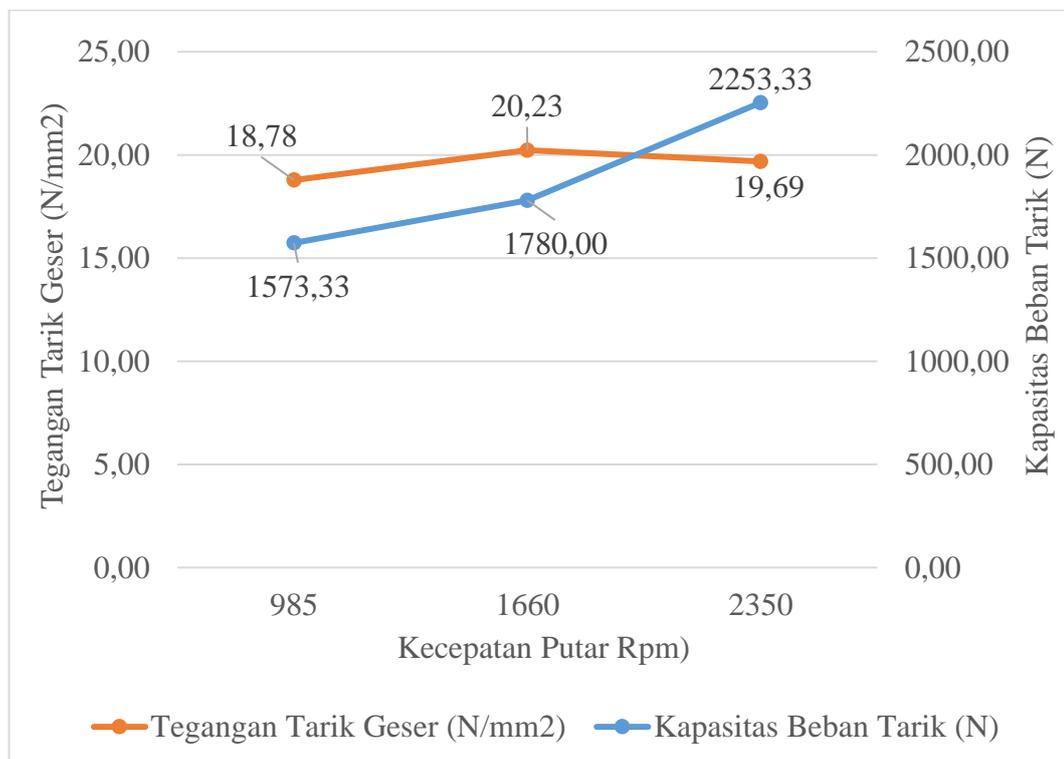
Putaran (Rpm)	F Max (N)	Rata-rata F Max	Diameter Luar (mm)	Diameter Dalam (mm)	Luas Area Sambungan	Rata-rata Luas Area (mm ²)
985	1520	1573,33	10,76	4,56	74,56	84,03
	1770		11,78	4,54	92,75	
	1430		11,34	4,54	84,77	
1660	1770	1780	11,48	4,31	88,90	88,08
	1830		11,66	4,32	92,08	
	1740		11,16	4,30	83,25	
2350	2310	2253,33	14,16	4,11	144,16	117,66
	2260		12,82	4,10	115,82	
	2190		11,64	4,12	93,03	

Pada tabel 4.5 dapat dilihat rata-rata F Max dan rata-rata luasan area lasan yang dihasilkan dengan menggunakan *tool 2* meningkat dengan seiring variasi putaran *tool* meningkat. Nilai F Max tertinggi didapat pada putaran 2350 rpm dengan *nugget* 4,38 mm yang menghasilkan kekuatan sebesar 2253,33 N dengan luasan lasan sebesar 117,66 mm². Sedangkan nilai F Max terendah didapat pada putaran 985 rpm dengan *nugget* 3,37 mm yang menghasilkan kekuatan sebesar

1573,33 N dengan luasan lasan sebesar 84,03 mm². Karena pada putaran tersebut temperatur yang dihasilkan kurang optimal.

Tabel 4. 6 Nilai kapasitas beban tarik dan nilai tegangan tarik geser pada tool 2 metode pengelasan FSSW

RPM	Kapasitas Beban Tarik (N)	Tegangan Tarik Geser (N/ mm ²)
985	1573,33	18,78
1660	1780	20,23
2350	2253,33	19,69



Gambar 4. 13 Grafik perbandingan kapasitas beban tarik dengan tegangan tarik geser *tool 2* metode pengelasan FSSW

Pada gambar 4.13 merupakan grafik perbandingan antara nilai kapasitas beban tarik dengan nilai tegangan tarik geser yang dihasilkan oleh *tool 2* metode pengelasan FSSW. Grafik diatas menunjukkan nilai kapasitas beban tarik yang

dihasilkan dari parameter *tool 2* dengan variasi putaran 985 rpm, 1660 rpm, 2350 rpm, nilai tegangan tertinggi terdapat pada nilai tegangan tarik geser diputaran 1660 rpm. Pada kapasitas beban tarik nilai tertinggi diperoleh dari variasi putaran 2350 rpm dengan nilai 2253,33 N dengan nilai tegangan tarik gesernya 19,69 N/mm². Sedangkan untuk nilai tegangan tarik tertinggi di peroleh dari variasi putaran 1660 rpm dengan nilai 20,23 N/mm² dan mempunyai nilai kapasitas beban tarik 1780 N. Hal ini dapat terjadi dikarenakan perbedaan luasan area dan pengaruh kedalaman lasan yang dihasilkan pada setiap variasi putaran yang digunakan.

Tabel 4. 7 Perbandingan hasil kapasitas beban tarik dengan peneliti terdahulu

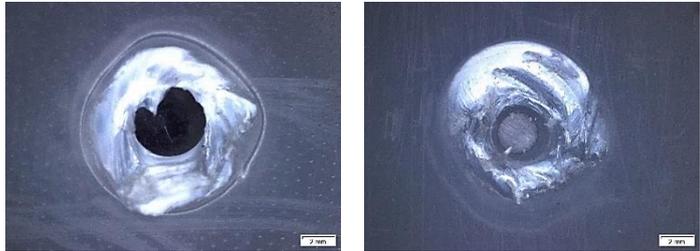
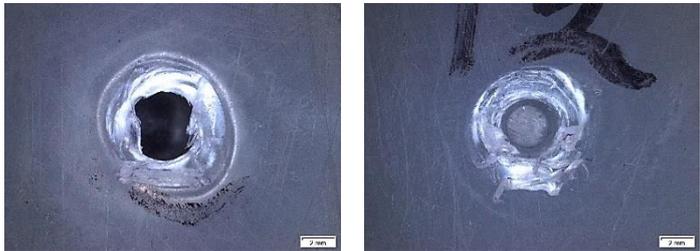
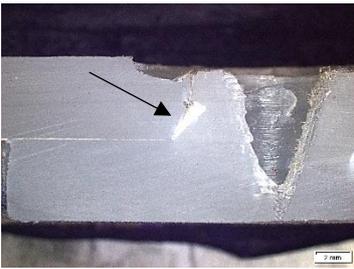
Arici dan Mert, (2008)			Penelitian Sekarang		
Material <i>Polypropylene Sheet 5 mm</i>			Material <i>Polypropylene Sheet 5 mm</i>		
Putaran (Rpm)	Diameter <i>Shoulder</i> (mm)	Nilai Kapasitas Beban Tarik (N)	Putaran (Rpm)	Diameter <i>Shoulder</i> (mm)	Nilai Kapasitas Beban Tarik (N)
1250	37	4100	985-2350	18	2253,33
Kurtulmus, (2012)					
Material <i>Polypropylene Sheet 4 mm</i>					
560-1120	30	4300			
Bilici, dkk (2014)					
Material <i>Polypropylene Sheet 4 mm</i>					
560-1400	30	4280			
Bilici, dkk (2016)					
Material <i>Polypropylene Sheet 4 mm</i>					
560-1400	30	4200			

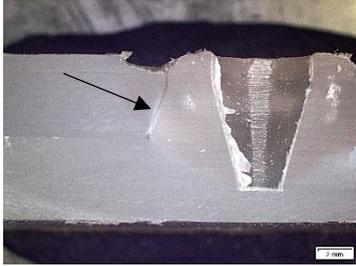
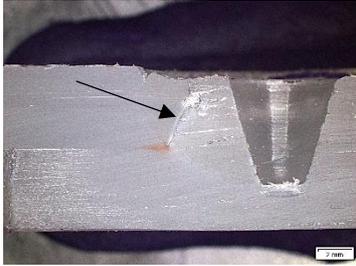
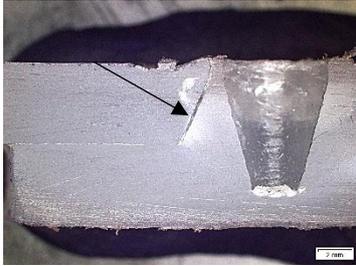
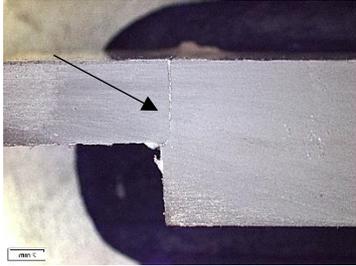
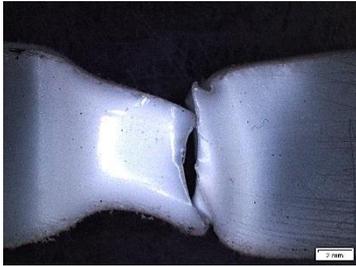
Tabel 4.7 menunjukkan perbandingan nilai kapasitas beban tarik maksimum peneliti terdahulu dengan penelitian sekarang. Dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai kapasitas beban tarik yang dilakukan pada penelitian sekarang. Pada penelitian sekarang nilai kapasitas beban tarik yang dihasilkan hanya

mencapai 55,3 % dari nilai rata-rata kapasitas beban tarik peneliti terdahulu. Parameter yang mempengaruhi dari hasil yang di peroleh pada penelitian sekarang yaitu terdapat pada diameter shoulder dan variasi kecepatan putar yang digunakan pada saat proses pengelasan dengan metode FSSW. Namun untuk cacat yang di hasilkan pada penelitian sekarang menjadi lebih kecil karena penggunaan shoulder yang kecil dan untuk panjang nugget yang dihasilkan mencapai 4,38 mm dengan variasi kecepatan putar 2350 rpm.

4.5 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 gambar 4.14.

Variasi	Hasil Patahan
Tool 1 / 985 rpm	
Tool 2 / 985 rpm	
Tool 1 / 1660 rpm	

Tool 2 / 1660 rpm	
Tool 1 / 2350 rpm	
Tool 2 / 2350 rpm	
Sambungan Lem	
Raw Material	

Gambar 4. 14 Mode kegagalan pada lasan

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 lasa. 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.