

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Hasil Pengelasan FSW**

Sambungan pengelasan menggunakan metode *friction stir welding* yang memiliki variasi kecepatan putaran *pin tool* dan parameter pendukung lainnya seperti *pin tool* berbentuk silinder ulir, laju pengelasan 9,5 mm/min, kedalaman *shoulder tool* sebesar 0,2-0,4 mm, dan sampel tambahan menggunakan bahan dari perekat untuk membandingkan hasil dari pengelasan FSW dengan perekat dimana untuk membandingkan hasil yang mana yang terbilang kuat dan yang mana yang terbilang lemah akibat dari pengaruh dari sifat mekanis yang terjadi dan bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik, kekerasan, dan permukaan struktur makro pada suatu material. Data yang dihasilkan akan di analisa dan di disimpulkan untuk mendapatkan kesimpulan yang jelas guna untuk mendapatkan tujuan dari penelitian ini.

Penelitian ini menggunakan *pin tool* berbentuk ulir, dimana *pin tool* yang sudah di ulir dengan ukuran M3 dan panjang *pin* sebesar 4,7 mm, dan variasi putaran *tool* yang digunakan pada penelitian ini adalah (588, 977, 1562, 2371) RPM. Peneliti menggunakan *pin tool* jenis silinder ulir ini disebabkan pada penelitian sebelumnya menggunakan *pin tool* jenis ini dengan menggunakan material yang sama yaitu *polypropylene* dan hasilnya terbilang bagus. Hasil pengelasan dengan menggunakan metode FSW pada material *polypropylene* dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini:

Variasi	Sisi Atas	Sisi Bawah	Sisi Samping
588	<p>Advancing Side flash Arah gerakan tool Retreating Side</p>		<p>176° 6 ↑</p>
977	<p>Advancing Side Arah gerakan tool Retreating Side</p>		<p>176° 6 ↑</p>
1562	<p>Advancing Side Butiran menumpuk Arah gerakan tool Retreating Side</p>		<p>177° 4 ↑</p>
2371	<p>Advancing Side Butiran menumpuk Arah gerakan tool Retreating Side</p>		<p>177° 5 ↑</p>

**Gambar 4. 1** Hasil Pengelasan pada setiap variasi putaran pin *tool*

Pada Gambar 4.1 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.

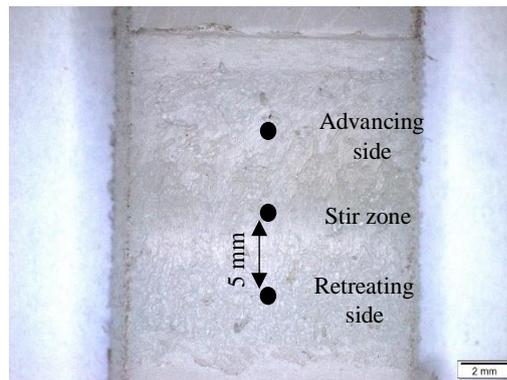
**Tabel 4. 1** Kemiringan sudut distorsi pada setiap spesimen

Putaran <i>Tool</i>	NO	Sudut Distorsi (°)	Rata-rata	St.Dev
588 RPM	1	176	175,3333	0,57735
	2	175		
	3	175		
977 RPM	1	176	175,6667	0,57735
	2	175		
	3	176		
1562 RPM	1	177	176,5	0,5
	2	176		
	3	176,5		
2371 RPM	1	177	176,8333	0,288675
	2	176,5		
	3	177		

Tabel 4.1 diatas menunjukkan hasil sudut distorsi spesimen yang berbeda-dari setiap variasi. Distorsi terjadi dikarenakan lembaran spesimen pada dimensi ketebalan yang terlalu tipis akibat dari tekanan *shoulder*. Sahu dkk (2018) menjelelaskan bahwa distorsi terjadi karena ukuran diameter *shoulder* yang terlalu besar dan juga pencekam meja yang tidak terlalu kuat.

## 4.2. Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan ini dilakukan menggunakan metode kekerasan *Shore hardness tester*. Kekerasan material polimer sering digunakan menggunakan metode *shore durometer* dan pengujian kekerasan *rockwell*. Kedua metode mengukur resistensi polimer terhadap lekukan dan memberi nilai kekerasan yang tidak selalu berkorelasi dengan baik dengan sifat-sifat lain. Uji kekerasan *shore* menggunakan *shore A* atau *shore D scale* adalah metode yang sering digunakan untuk karet/ elastomer dan juga biasa digunakan untuk plastik.

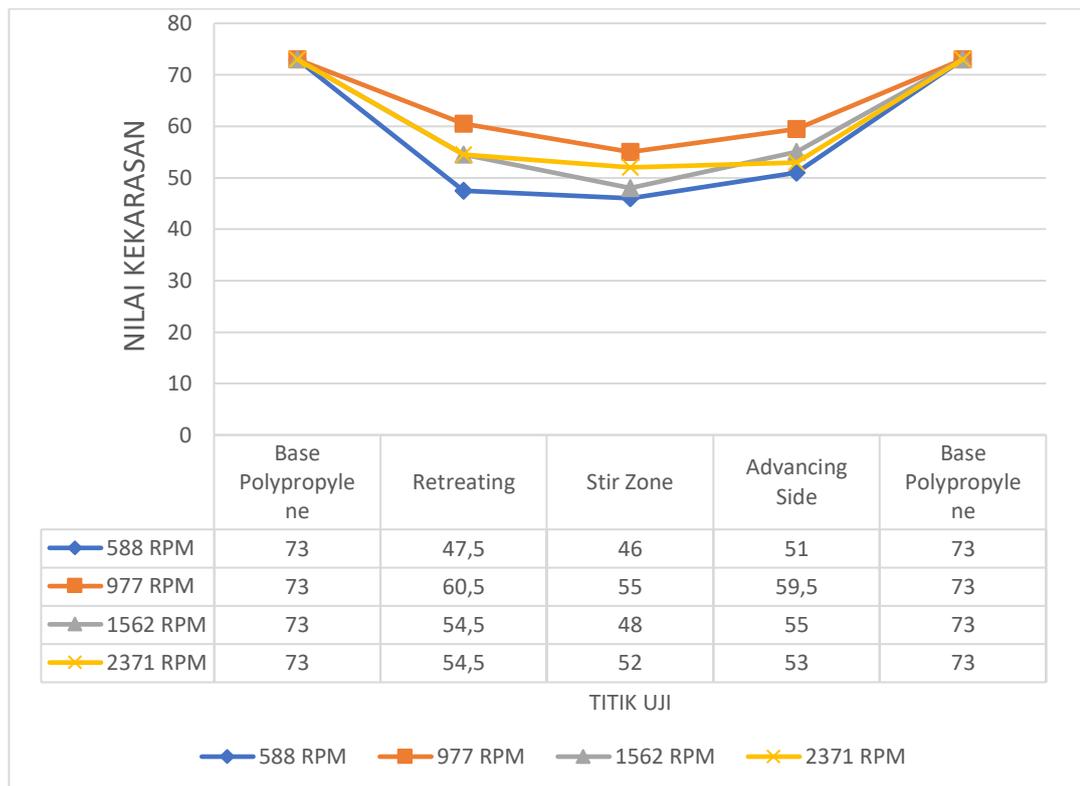


**Gambar 4. 2** Posisi titik pada pengujian kekerasan

Pengujian dilakukan menggunakan 3 titik pada bagian *advancing side*, *stir zone*, dan *retrating side* dapat dilihat pada Gambar 4.2 menggunakan tipe *shore* yaitu *shore D scale* karena material PP yang diuji bersifat keras dan kuat. Pada penelitian ini menunjukkan hasil berupa kurva atau grafik kekerasan *shore durometer*. Pada Tabel 4.2 menunjukkan hasil kekerasan pada posisi titik *retrating*, *stir zone*, *advancing*. Adapun hasilnya dapat dilihat sebagai berikut:

**Tabel 4. 2** Hasil pengujian kekerasan *shore durometer* pada pengelasan FSW

Variasi Kecepatan <i>Tool</i> (RPM)	Posisi titik pengujian		
	Retreating Side	Stir Zone	Advancing Side
588	47,5	46	51
977	60,5	55	59,5
1562	54,5	48	55
2371	54,5	52	53



**Gambar 4.3** Grafik nilai kekerasan *shore durometer* pada lasan FSW

Pada Gambar 4.3 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 Gambar 4.6 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 *void* pada putaran 977 dan 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.

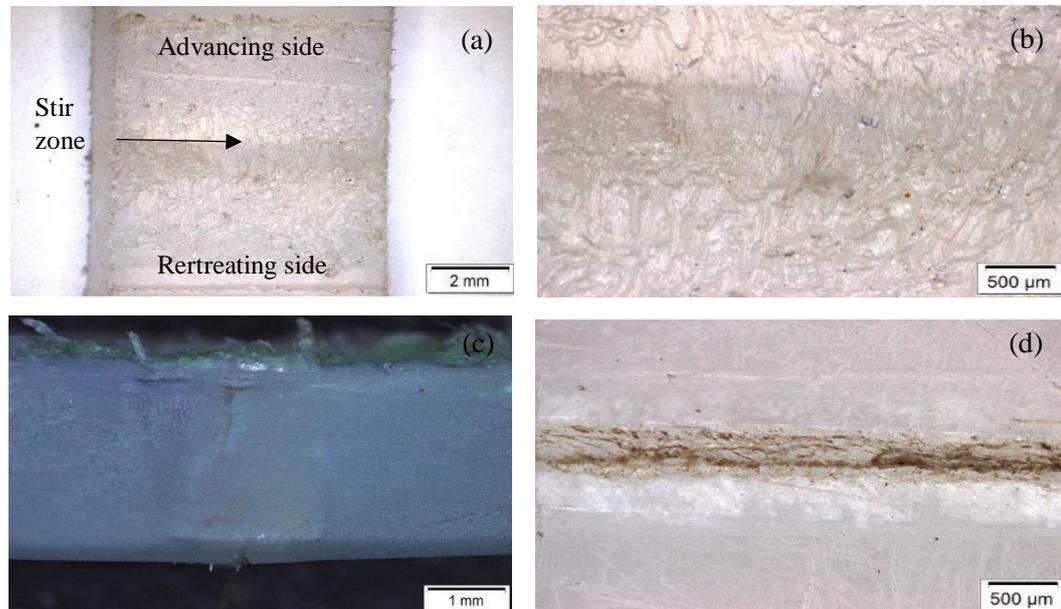
### **4.3. Hasil Penelitian Struktur Makro**

Pada pengujian struktur makro ini merupakan penelitian yang bertujuan untuk mencari tahu bagaimana hasil permukaan yang terjadi pada pengaruh kecepatan *tool* sambungan pengelasan FSW menggunakan material *polypropylene* (PP) sebelum dan sesudah diuji tarik. Adapun hasilnya dapat dijelaskan sebagai berikut:

#### **4.3.1. Hasil Struktur Makro Sebelum Uji Tarik**

Pada percobaan ini menggunakan silinder ulir pin yang berukuran M3 pada sisi atas dan sisi samping menghasilkan bentuk permukaan yang terlihat pada Gambar 4.7 dengan perbesaran yang sudah ditentukan yaitu perbesaran 6,7X dan perbesaran 20X.

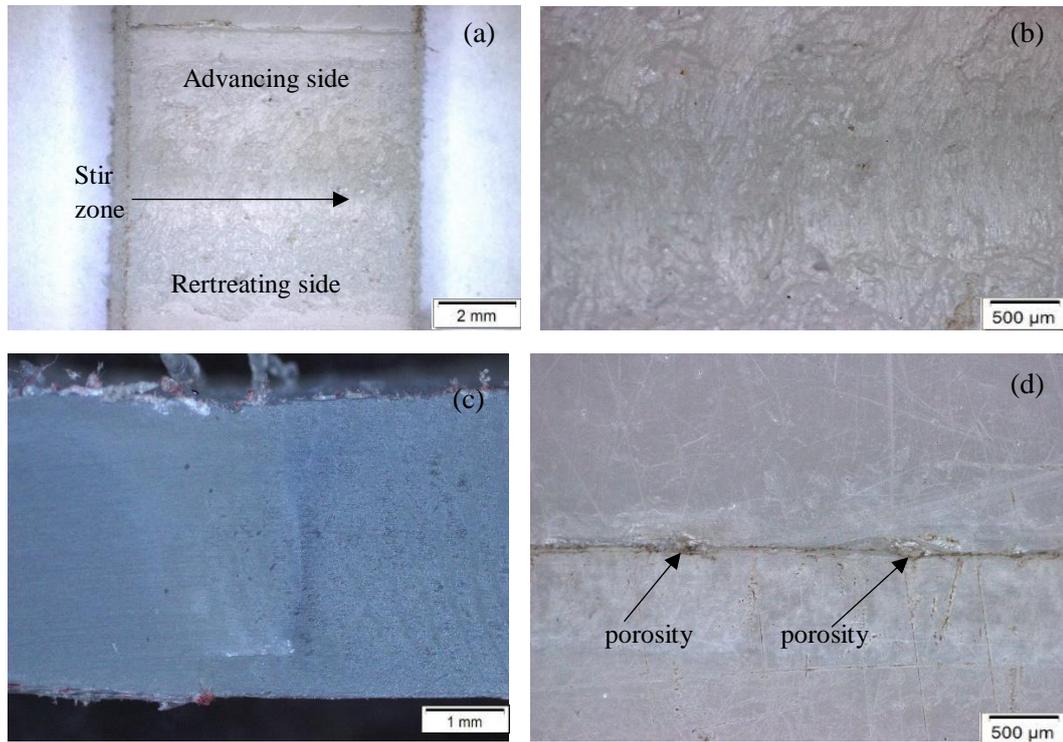
### 1. Struktur makro sambungan las FSW menggunakan kecepatan 588 RPM



**Gambar 4. 4** Hasil struktur makro pada lasan FSW dengan kecepatan 588 RPM, (a) sisi atas perbesaran 6,7X, (b) sisi atas perbesaran 20X, (c) sisi samping perbesaran 15X, (d) sisi bawah perbesaran 20X

Pada Gambar 4.4 diatas menunjukkan bahwa hasil pengelasan FSW yang cukup bagus pada sisi atas dan samping (a), (b) dan (c) karena tidak terdeteksi cacat-cacat yang ada pada permukaan material PP. Akan tetapi terdapat fraktur lasan yang kurang bagus akibat dari lelehan material yang belum sempat menempel dan langsung membeku karena panas yang dihasilkan masih kurang. Oleh sebab itu diperlukan pengujian kekuatan tarik, apakah pada kecepatan 588 RPM terbilang kuat atau lemah.

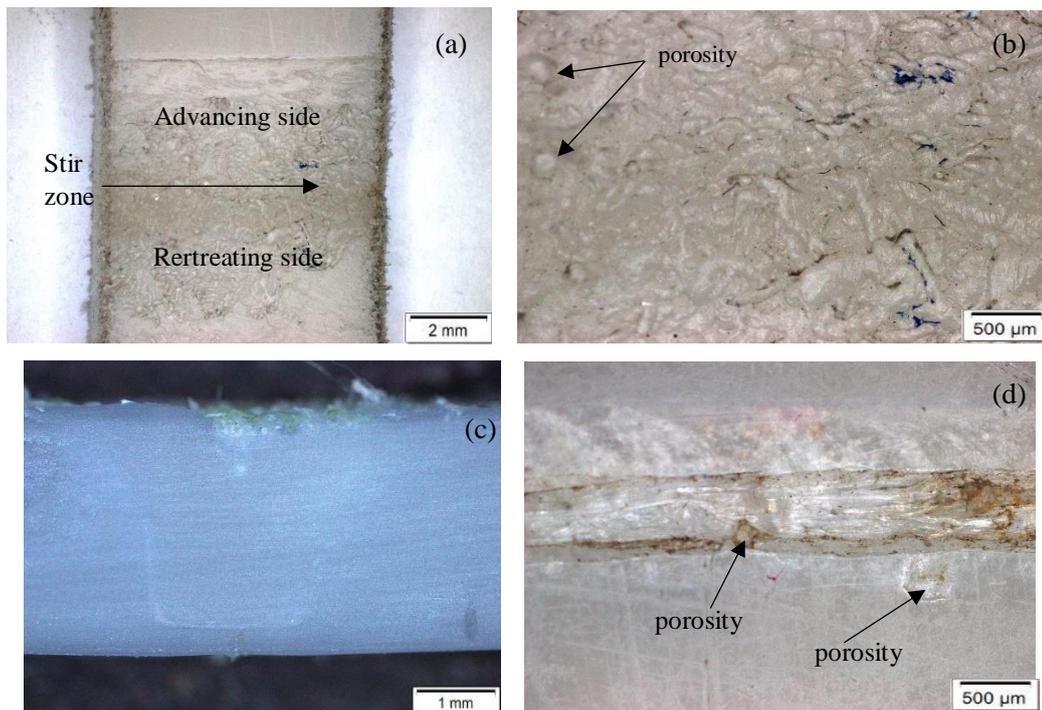
## 2. Struktur makro sambungan las FSW menggunakan kecepatan 977 RPM



**Gambar 4. 5** Hasil struktur makro pada lasan FSW dengan kecepatan 977 RPM, (a) sisi atas perbesaran 6,7X, (b) sisi atas perbesaran 20X, (c) sisi samping perbesaran 15X, (d) sisi bawah perbesaran 20X

Dilihat pada Gambar 4.5 (a) diatas hasil lasan FSW bisa dibilang pengelasan yang terlihat bagus, rapi dan teratur pada lelehan sisi atas (a) dan samping (c). hasil lasan pada sisi atas (a) dan (b) hampir sama dengan putaran *tool* 588 RPM tidak memiliki cacat pada lasan akan tetapi bentuk permukaan pada lasan berbeda. Kecepatan putar *tool* 977 RPM lebih baik dibandingkan dengan kecepatan putar *tool* 588 RPM. Ini terjadi karena temperatur dan kecepatan pemakanan yang sesuai. meskipun terdapat dua cacat porositas di permukaan pada sisi bawah (d) lasan. Cacat tersebut bisa dicegah dengan cara diampelas hingga cacat hilang pada permukaan spesimen.

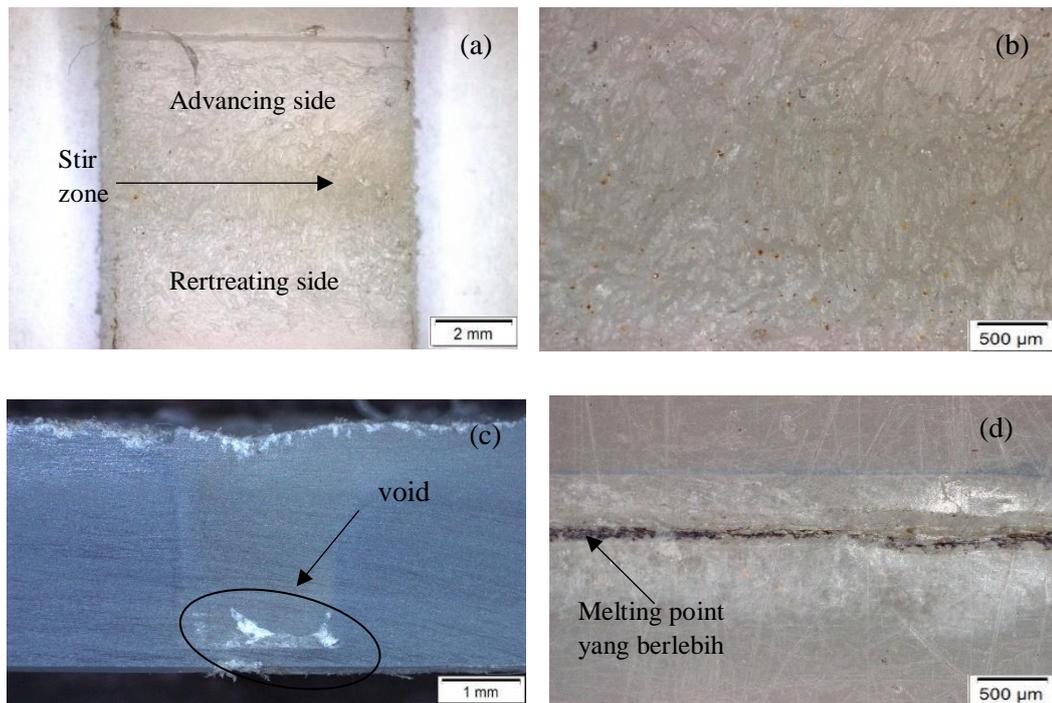
### 3. Struktur makro sambungan las FSW menggunakan kecepatan 1562 RPM



**Gambar 4. 6** Hasil struktur makro pada lasan FSW dengan kecepatan 1562 RPM, (a) sisi atas perbesaran 6,7X, (b) sisi atas perbesaran 20X, (c) sisi samping perbesaran 15X, (d) sisi bawah perbesaran 20X

Pada Gambar 4.6 diatas dapat dijelaskan bahwa menghasilkan bentuk lelehan yang berlebih pada las terlihat pada sisi atas (b) dan menghasilkan permukaan lasan yang kurang bagus dan terdapat porositas pada permukaan spesimen pada bagian sisi atas (a) dan sisi bawah (d) yang dihasilkan pada penyambungan. Ini terjadi kemungkinan material lelehan belum sempat menempel pada spesimen sudah membeku. kecepatan putar *tool* 1562 mendapatkan hasil panas yang sesuai akan tetapi hasil panas dengan kecepatan laju pengelasan tidak sesuai karena pengaruh dari motor penggerak sumbu X yang tidak konstan mengakibatkan lasan menjadi kurang bagus.

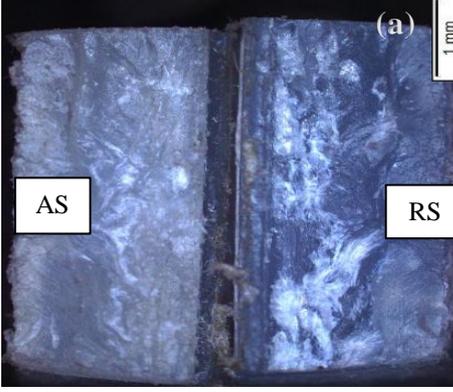
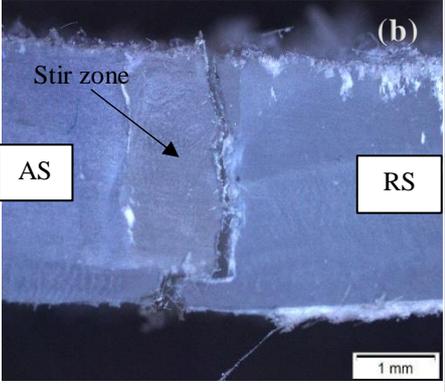
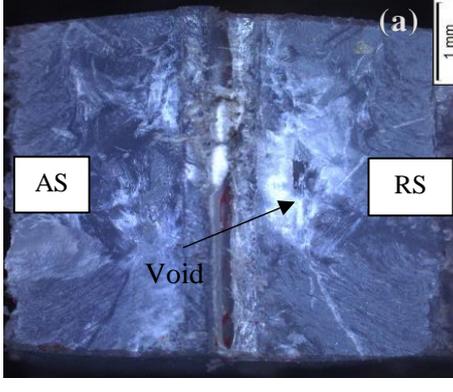
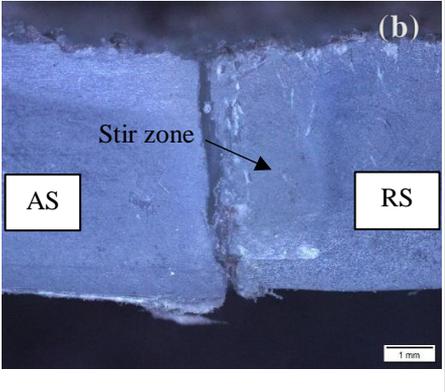
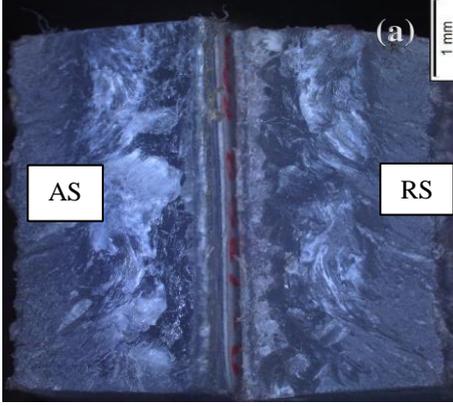
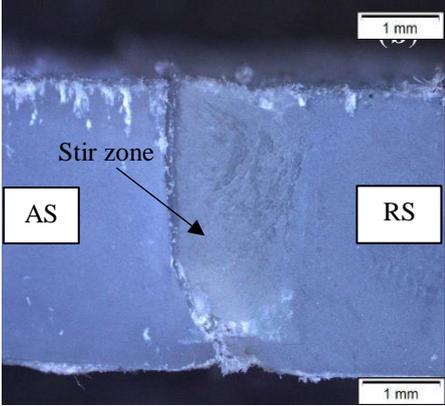
#### 4. Struktur makro sambungan las FSW menggunakan kecepatan 2371 RPM

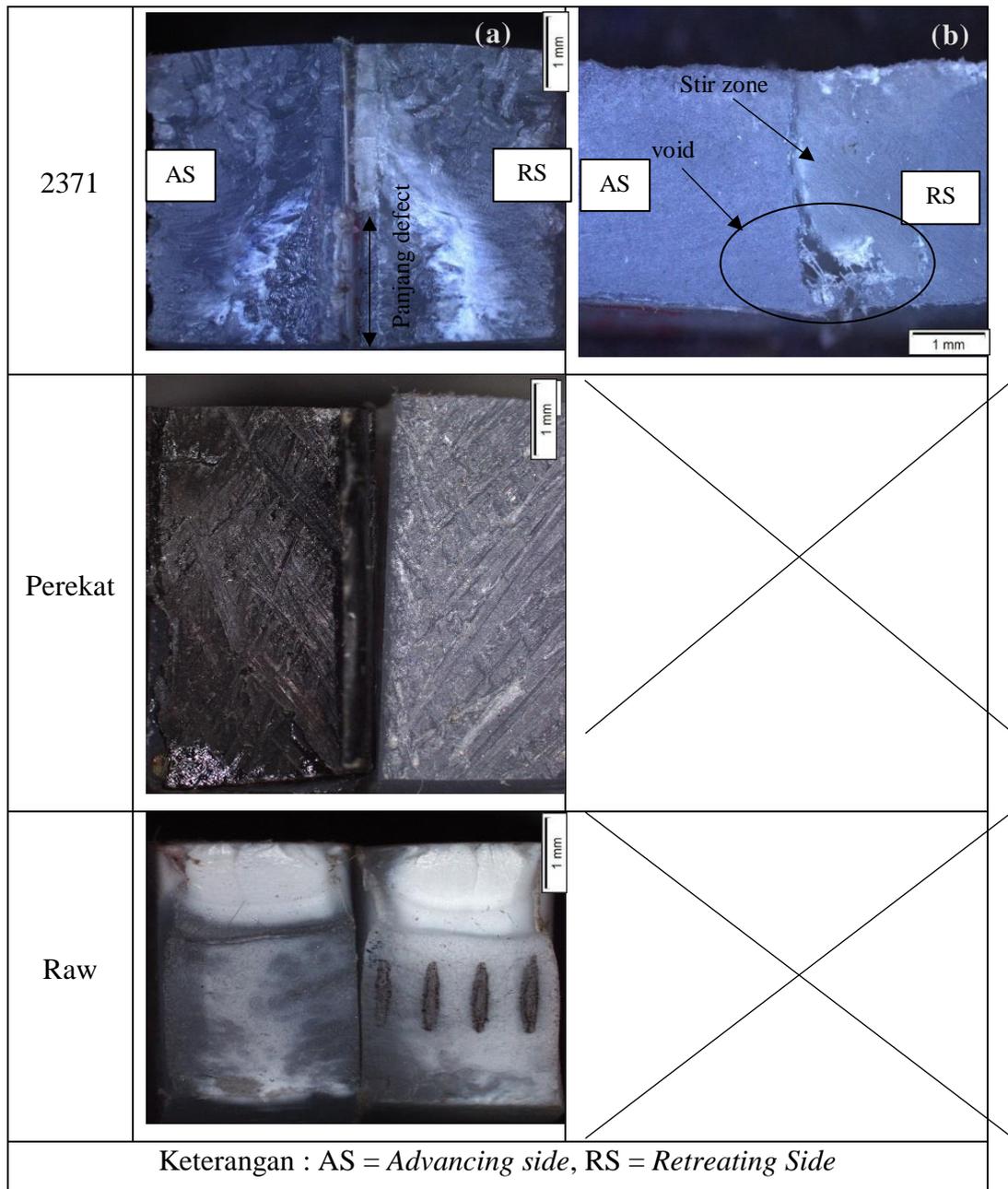


**Gambar 4. 7** Hasil struktur makro pada lasan FSW dengan kecepatan 2371 RPM, (a) sisi atas perbesaran 6,7X, (b) sisi atas perbesaran 20X, (c) sisi samping perbesaran 15X, (d) sisi bawah perbesaran 20X

Pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa hasil pengelasan didapat bentuk permukaan lasan yang lumayan bagus dan rata. Pada permukaan sisi atas (a) dan (b) tidak terdapat *defect*. Pada sisi samping (c) terdapat *defect void* dimana *defect* masi dalam keadaan tertutup tidak kelihatan. *Defect* akan kelihatan pada saat pengujian tarik berlangsung dan mengalami patahan. Pada sisi bawah (d) terdapat *melting point* berlebih disebabkan oleh kecepatan putar *tool* yang berlebih sehingga temperatur akan mengalami peningkatan akibat gesekan antara material dan *tool* akibatnya muncul garis gosong akibat kecepatan yang berlebih serta kenaikan temperatur yang terjadi.

### 4.3.2. Hasil Struktur Makro Setelah Uji Tarik

Kecepatan putar tool (RPM)	Sisi Penampang Patahan 10X	Sisi Samping Patahan 15X
588		
977		
1562		



**Gambar 4. 8** Struktur makro patahan lasan FSW

Terlihat dimana pada Gambar 4.8 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

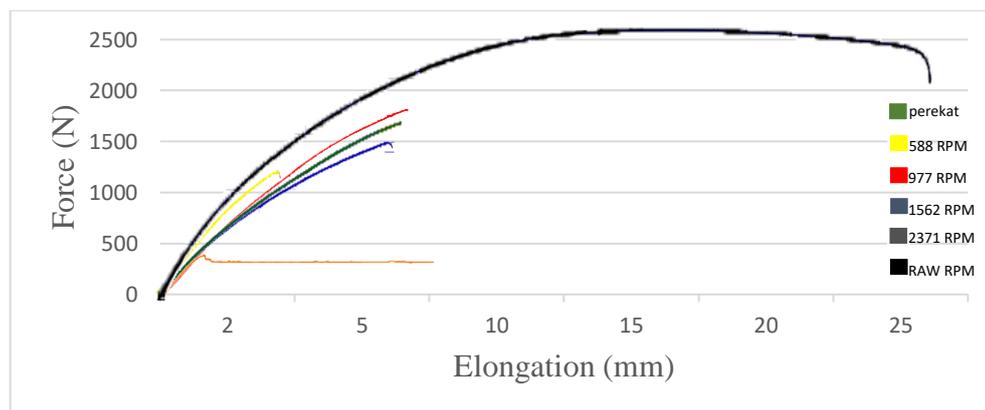
*polypropylene* hasil las FSW memiliki *defect void* pada sisi samping material. Hal itu terjadi karena pada putaran yang terlalu tinggi sebesar 1140 RPM serta juga ditambah pemanasan tambahan akan meningkatkan temperatur material akibat gesekan yang terjadi antara material dengan *pin tool* dan *shoulder*. 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.

#### **4.4. Hasil Pengujian Tarik**

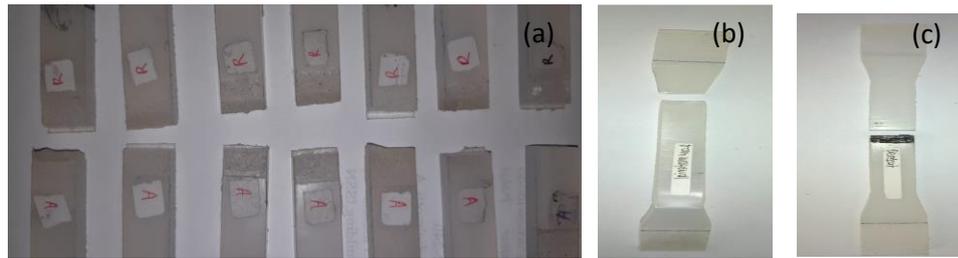
Hasil pengujian tarik pada penelitian ini dilakukan pada hasil pengelasan FSW material yang sejenis yaitu *polypropylene*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari variasi kecepatan putar *tool* pada sambungan lasan terhadap kekuatan tarik. Pada Tabel 4.3 merupakan hasil rata-rata semua pengujian tarik dari setiap spesimen. Pada Gambar 4.9 menunjukkan bentuk kurva dari beban (F) dengan elongasi berdasarkan sifat-sifatnya.

**Tabel 4. 3** Hasil pengujian tarik pada pengelasan FSW dengan nilai beban (N)

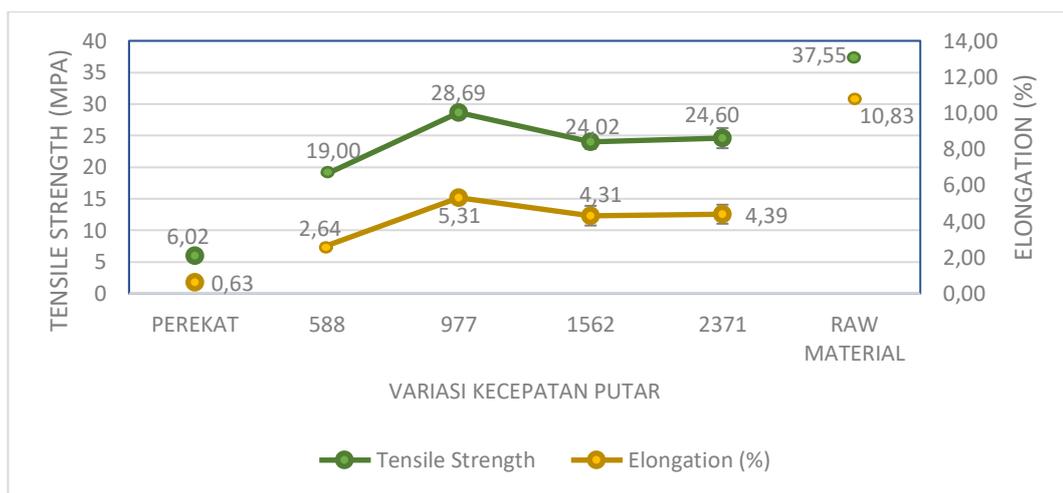
Variasi kecepatan (RPM)	Beban (N)			Keterangan
	1	2	Rata-rata	
588	1240,8	1228,7	1234,8	Patahan di sisi <i>interface stir zone retreating</i>
977	1853,6	1875,8	1864,7	Patahan di sisi <i>interface stir zone advancing</i>
1562	1611,7	1510,3	1561,0	Patahan di sisi <i>interface stir zone advancing</i>
2371	1525,8	1672,6	1599,2	Patahan di sisi <i>interface stir zone advancing</i>
Perekat	391,3	-	-	-
Raw	2441	-	-	-

**Gambar 4. 9** Kurva uji tarik nilai beban (F) tertinggi dan elongasi dari setiap variasi kecepatan putar *tool*

Pada Gambar 4.9 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 4. 10** Patahan setelah pengujian tarik hasil pengelasan FSW (a) patahan variasi kecepatan putar, (b) patahan raw material, (c) patahan perekat



**Gambar 4. 11** Grafik tegangan (MPa) dan elongation (%) pada pengelasan FSW dengan variasi putaran tool

**Tabel 4. 4** Hasil pengujian tarik pada pengelasan FSW dengan variasi kecepatan putar

Variasi kecepatan tool (RPM)	Ke-1	Ke-2	Kekuatan tarik rata2 (MPa)	Elongation rata2 (%)
588	19,09	18,90	19,00 ± 0,13	2,64 ± 0,12
977	28,52	28,86	28,69 ± 0,24	5,31 ± 0,04
1562	24,80	23,24	24,02 ± 1,10	4,31 ± 0,55
2371	23,47	25,73	24,60 ± 1,60	4,39 ± 0,53
Perekat	6,02	-	6,02	0,63
Raw	37,55	-	37,55	10,83

Pada Tabel 4.4 merupakan hasil dari kekuatan tarik dan elongasi dari setiap variasi kecepatan. Dilihat pada Grafik pada Gambar 4.11 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 4.4 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.