

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

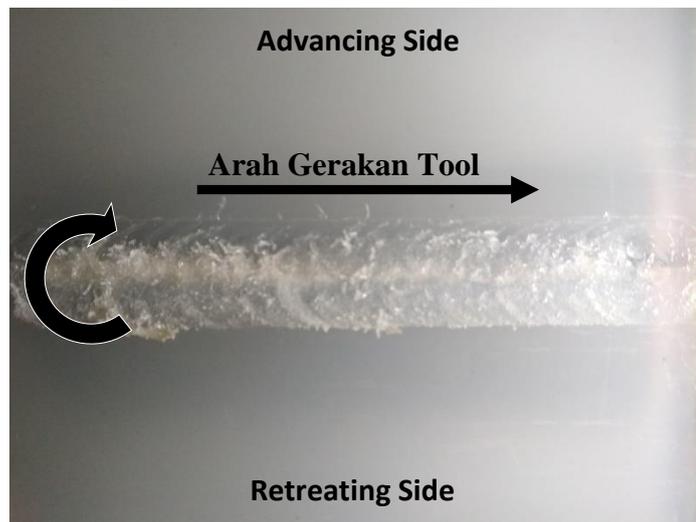
4.1. Hasil Pengelasan *Friction Stir Welding*

Dari sambungan material *polypropylene* dengan metode pengelasan *friction stir welding* dengan memakai parameter variasi bentuk *pin tool* seperti pin segitiga ukuran sisi 3 mm, pin silinder ulir diameter 3 mm, pin silinder runcing diameter 4/2 mm dengan laju pengelasan 8 mm/menit. Kecepatan putarnya disetting pada puli nomer tiga dari atas dengan nilai 1562 rpm dan pembenaman *shoulder (dept of plunge)* 0,2 mm. Pada penelitian ini menghasilkan sambungan lasan yang berbeda-beda, dilihat dari segi kekuatan sambungan material maupun segi visual.

1. Hasil Pengelasan dengan Pin Segitiga

Hasil pengelasan dengan menggunakan bentuk profil *pin tool* segitiga, laju pengelasan 8 mm/menit dan kecepatan putaran tool sekitar 1562 rpm yang dapat dilihat pada Gambar 4.1.

a. Hasil Visual Permukaan Sambungan Las

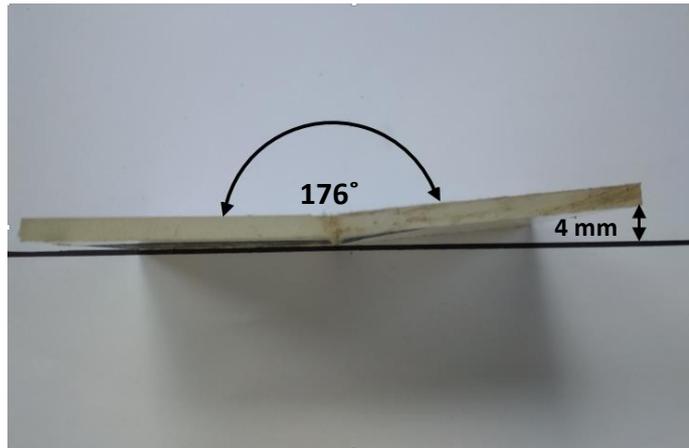


Gambar 4.1 Hasil pengelasan pin segitiga

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa dari segi visual hasil lasan terdapat banyak *flash* dipermukaan sambungan las dan lelehan yang terbuang disisi sambungan di akibatkan oleh gesekkan antara *shoulder* dengan benda kerja, dimana meja kerja

bergerak kurang konstan (*smooth*) disaat proses pengadukan disepanjang garis sambungan. Hal ini bisa terjadi dikarenakan kurangnya panas pada shoulder saat bergesekan dengan benda kerja. Karena hasil sambungan lasan di akhir pengelasan terlihat cukup bagus dan rata dan panas yang dihasilkan sekitar 39 °C.

b. Hasil Visual dari bagian samping



Gambar 4.2 Hasil visual dari bagian samping dengan pin segitiga

Gambar 4.2 setelah dilakukan penyambungan terlihat bahwa pada sambungan lasan mengalami *distorsi angular*, dimana sudutnya sudah tidak 180° tetapi menjadi 176° yang disebabkan oleh perubahan bentuk yang diakibatkan oleh temperatur tinggi dan tekanan yang berlebih pada saat proses pengekanan spesimen. Dari nilai sudut distorsi dari tiga spesimen hasil pengelasan dapat dilihat Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Sudut Distorsi pada spesimen variasi pin segitiga

No	Variasi Pin	Feed Rate (mm/menit)	Sudut Distorsi	Rata-rata	St.Dev
1	Segitiga	8	$180^\circ - 176^\circ = 4^\circ$	11,5	0,29
2		8	$180^\circ - 176,5^\circ = 3,5^\circ$		
3		8	$180^\circ - 176^\circ = 4^\circ$		

2. Hasil Pengelasan dengan Pin Silinder Ulir

Hasil pengelasan menggunakan bentuk profil *pin tool* silinder ulir dengan laju pengelasan 8 mm/menit dan kecepatan putaran tool 1562 rpm seperti pada Gambar 4.3.

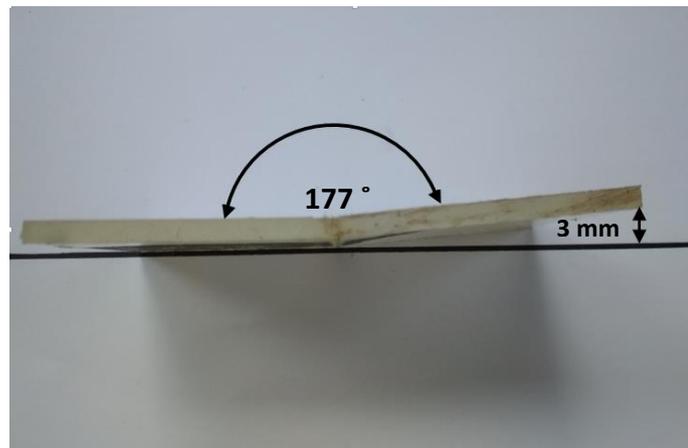
a. Hasil Visual Permukaan Sambungan las



Gambar 4.3 Hasil pengelasan pin silinder ulir

Gambar 4.3 menampilkan hasil visual permukaan sambungan lasan bahwa terlihat cukup bagus dan rapi, karena hanya sedikit *flash* yang dihasilkan dan sedikit lelehan yang terbuang disisi sambungan. Dimungkinkan hal itu terjadi karena gerakan meja kerja yang tidak konstan, gesekan antara *shoulder* dan benda kerja juga menghasilkan panas yang cukup merata disepanjang alur sambungan. Hal ini dibuktikan oleh hasil lasan yang memiliki permukaan yang rata dari awal sampai akhir pengelasan dengan panas yang dihasilkan pin tool mencapai 42 °C.

b. Hasil visual keseluruhan dari bagian samping



Gambar 4.4 Hasil visual dari bagian samping dengan pin silinder ulir

Gambar 4.4 Dari hasil penyambungan terlihat bahwa pada sambungan mengalami *distorsi angular* dimana sudutnya sudah tidak 180° tetapi menjadi 177° karena perubahan bentuk yang diakibatkan oleh panas dan tekanan dari pencekam yang cukup tinggi, diantaranya akibat proses pengelasan. Dari Tabel 4.2 dapat dilihat perbedaan distorsi pada spesimen hasil pengelasan.

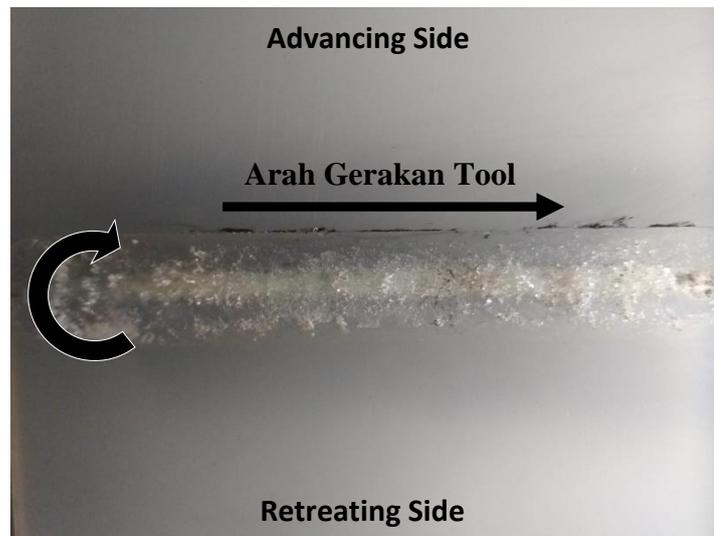
Tabel 4.2 Sudut Distorsi pada spesimen variasi pin silinder ulir

No	Variasi Pin	Feed Rate (mm/menit)	Sudut Distorsi	Rata-rata	St.Dev
1	Silinder Ulir	8	$180^\circ - 177^\circ = 3^\circ$	15	2
2		8	$180^\circ - 175^\circ = 5^\circ$		
3		8	$180^\circ - 173^\circ = 7^\circ$		

3. Hasil Pengelasan dengan Pin Silinder Runcing

Dari hasil pengelasan dengan menggunakan bentuk pin silinder runcing yang menggunakan laju pengelasan 8 mm/menit dan kecepatan putaran tool 1562 rpm seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.5.

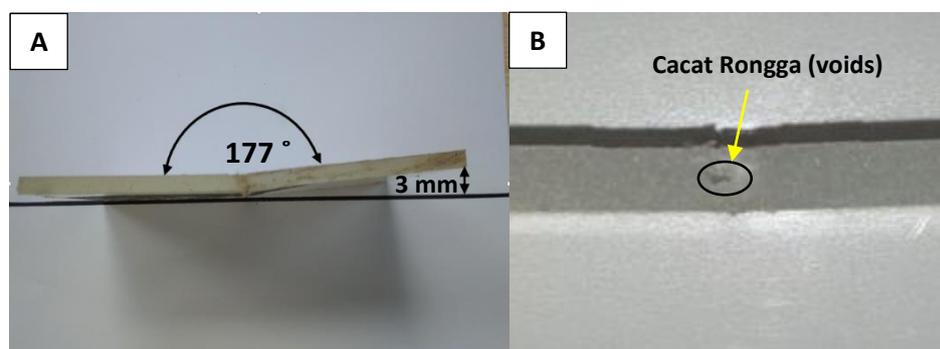
a. Hasil Visual Permukaan Sambungan Las



Gambar 4.5 Hasil pengelasan pin silinder runcing

Pada Gambar 4.5 yang dipaparkan diatas bahwa dari segi visual permukaan sambungan las terlihat cukup rata tetapi banyak flash dipermukaan maupun didalam sambungan yang disebabkan oleh kecepatan putaran tool yang tinggi dan pengadukan pin tool yang kurang sempurna. Setelah melakukan pemotongan spesimen ternyata terdapat cacat rongga (*voids*) didalam sambungan las yang disebabkan temperatur pin yang tinggi sehingga mengakibatkan molten tersebut menempel didinding pin saat proses pengadukan dengan ukuran cacat rongga sekitar 2,5 mm , suhu yang dicapai sekitar 39 °C.

b. Hasil visual keseluruhan dari bagian samping



Gambar 4.6 Hasil visual dari bagian samping dengan pin silinder runcing

Pada Gambar (A) setelah dilakukannya penyambungan terlihat terjadi *distorsi angular* diketahui dari sudutnya yang sudah tidak 180° tetapi menjadi 177°

diakibatkan oleh perubahan bentuk yang disebabkan dari panas dan tekanan pada pencekam diantaranya akibat proses pengelasan. Gambar (B) menunjukkan bahwa saat dilakukan pemotongan spesimen terlihat bahwa ada cacat rongga (*voids*) yang terdapat dibagian dalam sambungan las. Nilai rata-rata dari distorsi dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Sudut Distorsi pada spesimen variasi pin silinder runcing

No	Variasi Pin	Feed Rate (mm/menit)	Sudut Distorsi	Rata-rata	St.Dev
1	Silinder Runcing	8	$180^\circ - 177^\circ = 3^\circ$	4	1
2		8	$180^\circ - 176^\circ = 4^\circ$		
3		8	$180^\circ - 175^\circ = 5^\circ$		

4. Hasil Visual disisi bawah pada sambungan Lasan

Hasil disisi bawah pada sambungan lasan dari semua bentuk profil *pin tool* (pin silinder ulir, pin segitiga, pin silinder runcing), terlihat dari segi visualnya hampir semuanya sama.



Gambar 4.7 Hasil dibalik sambungan lasan

Gambar diatas menunjukkan bahwa hasil dari pengelasan sedalam 0,1 mm dari tebal *polypropylene* 5 mm tidak mengalami pengadukan oleh *pin tool*, dimungkinkan penyebabnya yaitu panjang pin yang hanya berukuran 4,7 mm dan *dept of plunge* sekitar 0,2 mm. Karena jika *pin tool* bergesekan dengan meja kerja pada mesin *milling* akan mengakibatkan panas yang berlebih pada *pin tool* yang

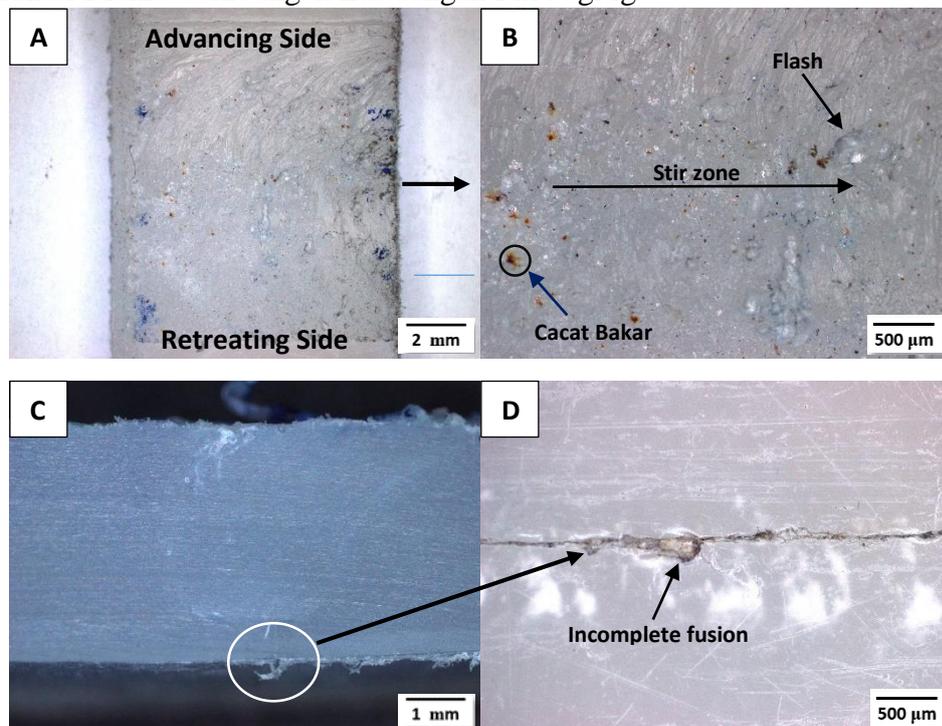
akan berpengaruh pada kegagalan pada saat proses penyambungan dan material tersebut akan meleleh.

4.2. Hasil Penelitian Struktur Makro

Hasil pengamatan struktur makro dari penelitian ini pada penyambungan material *polypropylene* dengan metode pengelasan *friction stir welding* yang menggunakan variasi bentuk profil *pin tool*. Hasil dari pengujian struktur makro dalam satu spesimen, pengambilan gambarnya dibagi menjadi tiga yaitu bagian sisi atas, bawah dan samping berdasarkan hasil lasan dengan variasi bentuk *pin tool* tersebut.

500 μ m

1. Struktur Makro Sambungan Las dengan Pin Segitiga

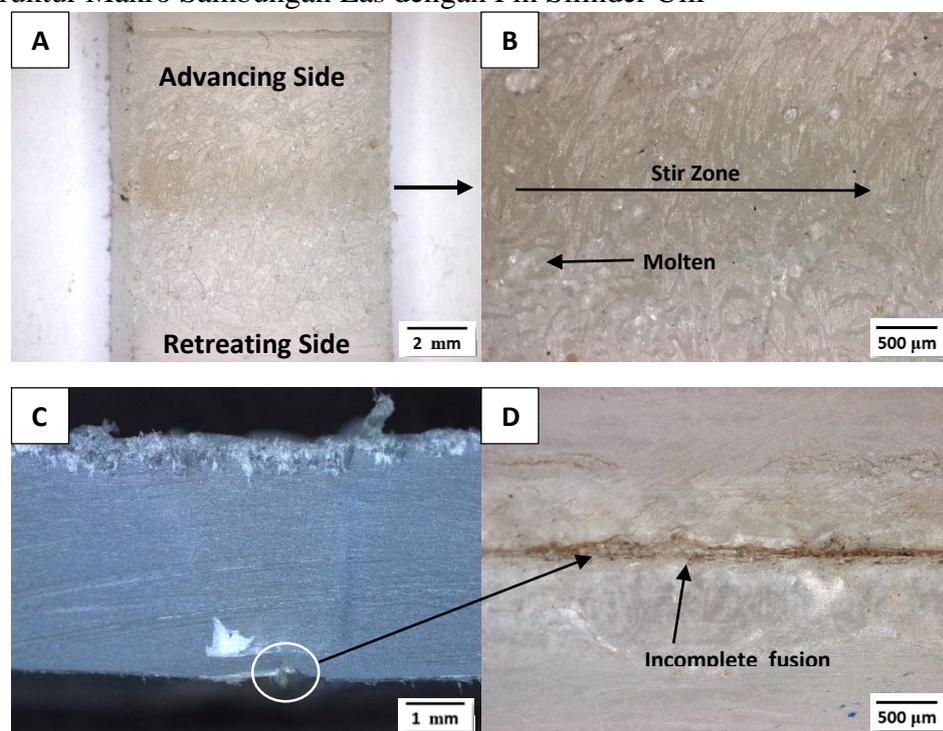


Gambar 4.8 Hasil struktur makro pada lasan dengan pin segitiga, (a) Sisi atas perbesaran 6,7X, (b) Sisi atas perbesaran 20X, (c) Sisi samping perbesaran 15X, (d) Sisi Bawah perbesaran 20X

Dapat dilihat pada Gambar 4.8 dari empat gambar yang dilampirkan diatas adalah hasil sambungan las dengan metode *friction stir welding* dengan material *polypropylene* yang menggunakan bentuk profil *pin* segitiga dengan ukuran sisi pin 3 mm, laju pengelasan 8 mm/menit dan kecepatan putaran tool 1562. Terlihat pada

Gambar (a) nampak jelas terlihat alur putaran *pin tool* dipermukaan sambungan lasan dan setelah di uji struktur makro dengan perbesaran 20X Gambar (b) bahwa terdapat *flash* dan cacat bakar akibat *molten* material yang menerima panas dari *pin tool* dan laju pengelasan yang berbeda. Dimana dari sisi samping Gambar (c) perbesaran 20X tidak terdapat cacat dan di Gambar (d) sisi bawah sambungan las terdapat cacat *incomplete fusion* yang disebabkan oleh panas yang dihasilkan oleh pin tidak merata sampai permukaan bawah sambungan las.

2. Struktur Makro Sambungan Las dengan Pin Silinder Ulir

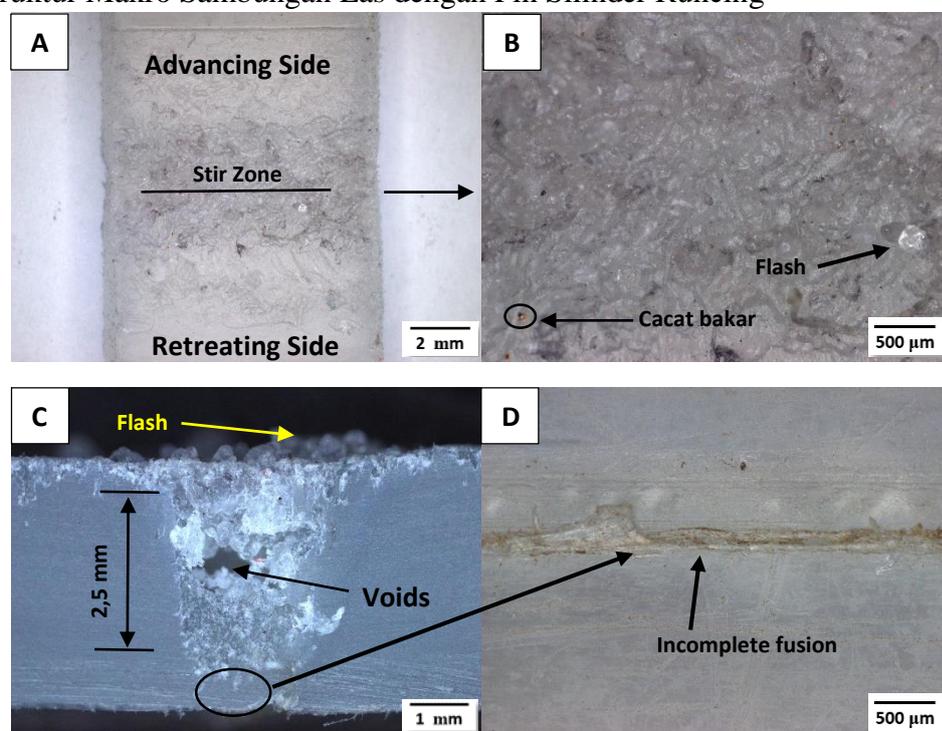


Gambar 4.9 Hasil struktur makro pada lasan dengan pin silinder ulir, (a) Sisi atas perbesaran 6,7X, (b) Sisi atas perbesaran 20X, (c) Sisi Samping perbesaran 15X, (d) Sisi bawah perbesaran 20X

Dilihat dari Gambar 4.9 menunjukkan struktur makro pada permukaan sambungan lasan dari bagian atas, bawah dan samping. Hasil pengelasan dengan menggunakan *pin tool* silinder ulir berdiameter 3 mm, laju pengelasan 8 mm/menit dengan kecepatan putaran tool 1562 rpm ternyata mempunyai hasil yang cukup bagus, terlihat dari Gambar (b) yang tidak menghasilkan flash yang banyak dan pada sisi samping Gambar (c) hasilnya juga bagus tanpa adanya cacat *voids* didalam sambungan las. Tetapi pada bagian bawah sambungan las seperti ada cacat

incomplete fusion disepanjang alur sambungan lasan yang disebabkan oleh zona aduk yang tidak merata sampai bawah. Pada penelitian Sahu dkk, (2018) mengatakan bahwa pada penyambungan dengan metode *friktion stir welding* terjadi *distorsi angular*, pada material yang sudah dilakukan pengelasan disebabkan oleh daerah zona aduk yang menyempit dengan diameter *shoulder* yang kecil sedangkan penyusutan *thermal* terjadi dengan nilai diameter yang lebih tinggi dalam kasus *thermoplastic*.

3. Struktur Makro Sambungan Las dengan Pin Silinder Runcing



Gambar 4.10 Hasil struktur makro pada lasan dengan pin silinder runcing, (a) Sisi atas perbesaran 6,7X, (b) Sisi atas perbesaran 20X, (c) Sisi samping perbesaran 15X, (d) Sisi Bawah perbesaran 20X

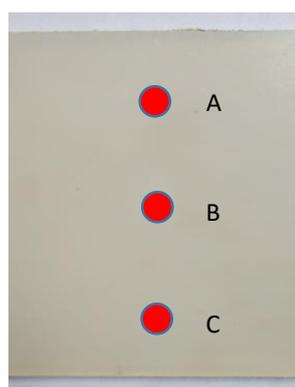
Seperti yang terlihat pada Gambar 4.10 bahwa pada Gambar (b) menunjukkan permukaan sambungan las yang bagus dan tidak terdapat banyak *flash* yang terbang disisi luar sambungan. Tetapi dilihat dari sisi samping Gambar (c), menunjukkan hasil yang kurang baik karena terdapat *voids* didalam sambungan lasan dengan lebar 2 mm dan tinggi 2,5 mm berbentuk oval. Pada penelitian yang dilakukan oleh Payganeh dkk, (2011) mengatakan bahwa hasil struktur makro terbaik diperoleh menggunakan *pin tool* silinder runcing beralur (*groove*). Cacat

lubang terjadi mungkin karena pin yang digunakan tidak beralur yang mengakibatkan molten menempel di dinding pin dan lelehan tersebut tidak teraduk secara optimal disepanjang sambungan las. Namun di bagian sisi bawah sambungan las Gambar (d) meli­hat­kan adanya cacat *incomplete fusion* yang disebabkan oleh pengaruh panas dari pin dengan adukan pin yang tidak merata.

4.3. Hasil Pengujian Kekerasan

Dari hasil empat spesimen yang sudah dilakukan pengujian kekerasan dibandingkan hasil kekerasannya antara *raw material* dengan sambungan lasan material *polypropylene*. Dimana tiga spesimen hasil dari pengelasan yang memakai parameter variasi bentuk profil *pin tool* diantaranya pin segitiga, silinder ulir, silinder runcing dengan laju pengelasan 8 mm/menit dan kecepatan putaran *tool* dibikin konstan 1562 rpm. Pengujian kekerasan dilakukan pada permukaan hasil pengelasan dan setiap satu spesimen dilakukan tiga titik pengujian, yaitu pada daerah *advancing side*, *stir zone* dan *retreating side* dengan jarak tiap titik ialah 5 mm. Penelitian ini menunjukkan sifat kekerasan dari *raw material* maupun pada sambungan lasan *polypropylene* dengan metode *friction stir welding* dalam bentuk grafik kekerasan *shore D*.

1. Raw Material



Gambar 4.11 Titik pengujian kekerasan shore D raw material

Dari hasil pengujian kekerasan shore D pada *raw material* meli­hat­kan bahwa dipermukaan spesimen uji terlihat tingkat kekerasan paling tinggi didapat pada point B atau pada bagian tengah dengan nilai 73,5 SHD

sedangkan pada point A dan C menunjukkan nilai kekerasan yang sama yaitu 73 SHD. Raw material dilakukan pengujian kekerasan karena digunakan sebagai pembanding dengan uji kekerasan pada permukaan sambungan lasan *polypropylene*.

2. Pin Segitiga laju pengelasan

Hasil dari pengujian kekerasan pada permukaan sambungan lasan yang memakai pin segitiga ukuran sisi 3 mm dengan laju pengelasan 8 mm/menit. Hasil kekerasan paling tinggi terdapat pada bagian *advancing side* dengan nilai 63,5 SHD masih hampir 86,4 % dari raw materialnya sekitar 73,5 SHD. Dimana nilai kekerasan pada bagian *stir zone* yaitu 61 SHD dan kekerasan terendah terdapat pada bagian *retreating side* 58 SHD. Hal ini disebabkan oleh *pin tool* yang mempunyai tiga sisi berpengaruh terhadap pengadukan material yang mana pada bagian *advancing side* menerima panas yang optimal jadi mengalami penguatan yang mendekati *base* materialnya.

3. Pin Silinder Ulir laju pengelasan

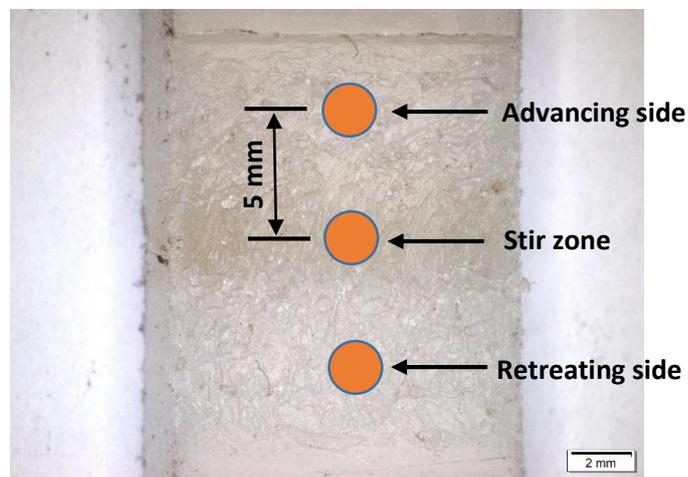
Hasil uji kekerasan pada permukaan sambungan *polypropylene* menggunakan pin silinder ulir dengan diameter 3 mm dan laju pengelasan 8 mm/menit. Uji kekerasan dari pin silinder ulir pada bagian *advancing side* dengan nilai 56 SHD kurangnya cenderung turun dibandingkan pada pin segitiga dan pada bagian *retreating side* mendapatkan nilai sebesar 52 SHD. Hal ini mungkin terjadi karena pada sambungan material *polypropylene* pada bagian *retreating side* kurang menerima panas yang optimal.

4. Pin Silinder Runcing laju pengelasan

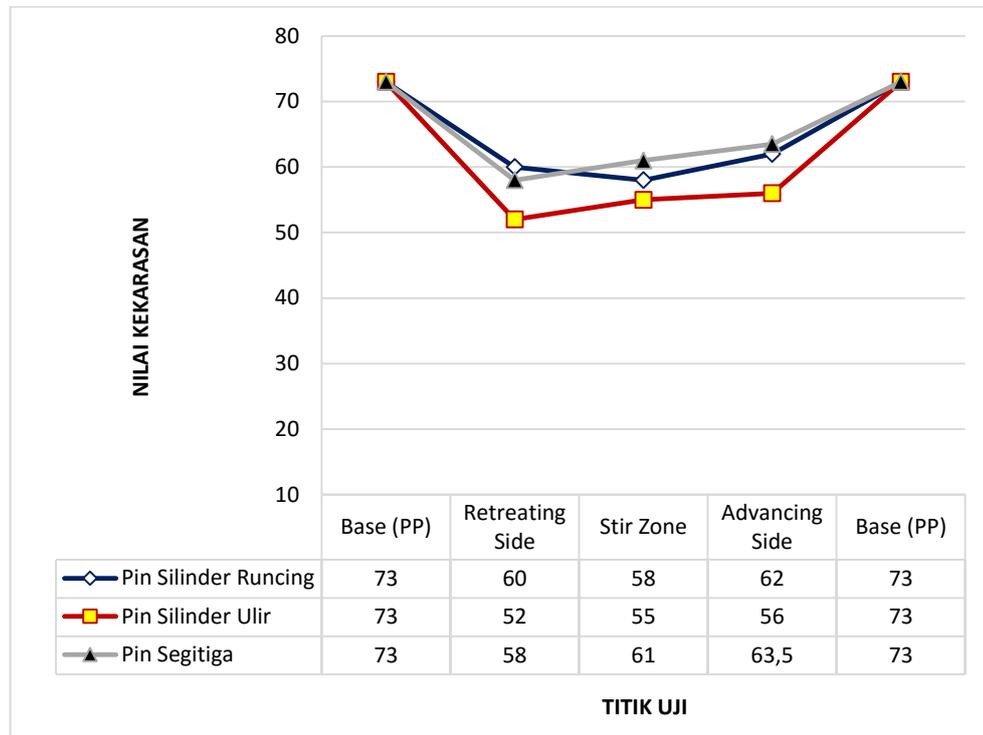
Pada hasil pengujian kekerasan yang menggunakan *pin tool* silinder runcing berdiameter depan 2 mm belakang 4 mm mempunyai nilai kekerasan tertinggi pada permukaan lasan dibagian *advancing side* yaitu 62 SHD dan nilai kekerasan terkecil terdapat pada *stir zone* yang hanya mencapai 58 SHD. Hal ini bisa jadi disebabkan adanya cacat lubang pada

bagian dalam sambungan lasan jadi nilai kekerasan pada bagian *stir zone* menurun.

Pembahasan : Dalam pengujian kekerasan shore D yang sudah dilakukan dan sudah dijelaskan diatas dibuatlah nilai rata-rata kekerasan pada bagian *advancing side*, *stir zone* dan *retreating side* pada sambungan lasan dengan variasi bentuk profil *pin tool*. Dari nilai rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4. 4 dan Gambar 4.12, menunjukkan jarak pengujian antar titik uji kekerasan shore D.



Gambar 4.12 Posisi titik uji kekerasan pada permukaan sambungan lasan



Gambar 4.13 Grafik Perbandingan nilai hasil Uji Kekerasan *shore D* pada permukaan lasan di tiga titik

Tabel 4.4 Hasil Uji Kekerasan Shore D

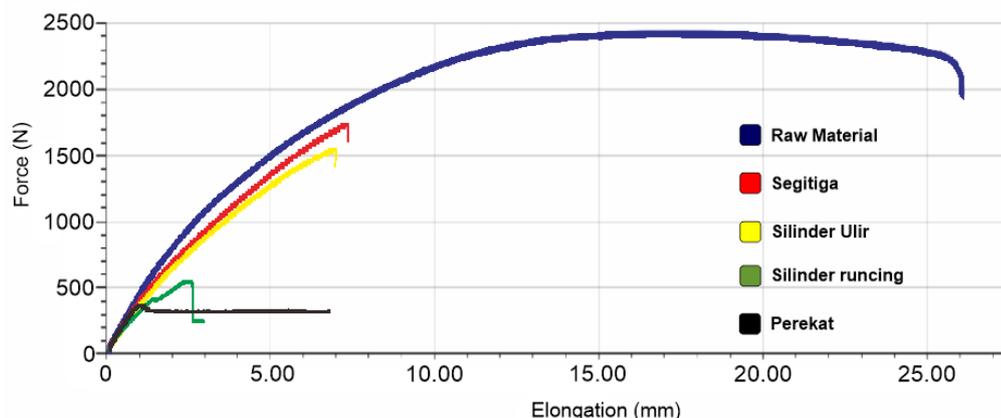
Bentuk Pin	Retreating Side	Stir Zone	Advancing Side
Silinder Runcing	60	58	62
Silinder Ulir	52	55	56
Silinder Segitiga	58	61	63,5
Raw Material	73	73	73

Pada Gambar 4.13 menunjukkan bahwa grafik nilai kekerasan dari bagian *advancing side*, *stir zone* dan *retreating side* pada permukaan sambungan lasan dengan metode penyambungan *friction stir welding* menggunakan parameter variasi bentuk profil *pin tool*. Dapat dilihat bahwa nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada pin segitiga laju pengelasan 7 mm/menit dengan nilai rata-rata 60,8 SHD masih hampir 83,3 % dari nilai kekerasan raw materialnya yaitu 73 SHD. Pada bagian *advancing side* selalu mendapatkan nilai kekerasan tertinggi daripada bagian

stir zone maupun *retreating side*, mungkin dikarenakan pada bagian *advancing side* menerima panas yang optimal dan molten tersebut mengalami pengerasan yang menyerupai material dasarnya. Tetapi walaupun hasil visual lasan dari pin silinder runcing terdapat lubang dibagian dalam sambungan tetapi masih unggul daripada nilai kekerasan yang menggunakan pin silinder ulir sebesar 54,3 SHD.

4.4. Hasil Pengujian Tarik

Hasil dari pengujian tarik ini menunjukkan tegangan maksimal dan perpanjangan (*elongation*) pada sambungan *polypropylene* dengan metode pengelasan *friction stir welding* yang sudah melalui pengujian tarik. Dimana sudah dipaparkan pada Gambar 4.14 melihat bentuk kurva dari nilai pembebanan dan pertambahan panjang tertinggi sampai terendah pada spesimen yang di uji tarik, terdapat hasil yang berbeda dari setiap variasi bentuk profil *pin tool*.



Gambar 4.14 Grafik Perbandingan nilai pembebanan maksimal dan pertambahan panjang dari hasil uji tarik dengan tiap variasi bentuk Pin Tool

Dilihat Gambar 4.14 pada kurva warna biru menunjukkan bahwa Raw material berada pada puncak tertinggi dan mengalami deformasi plastis yang cukup panjang dan juga memiliki sifat yang ulet dan kuat dengan kecepatan tarik 10 mm/menit menerima pembebanan maksimum sebesar 2441 N dan mengalami pertambahan panjang sebesar 17,33 mm. Dimana pada kurva warna merah juga merupakan jenis hasil pengelasan yang sangat kuat dan ulet dibanding dengan

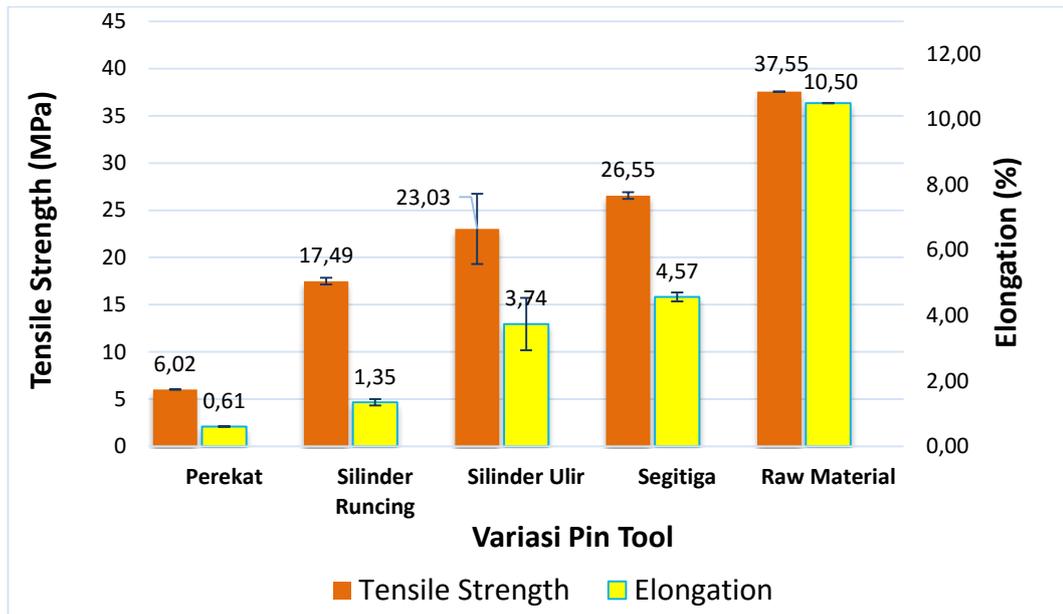
variasi bentuk profil *pin tool* yang lain, dengan hasil beban maksimal yaitu 1736,6 N dan pertambahan panjang sebesar 7,5 mm. Sedangkan kurva warna kuning mengalami beban maksimal hampir menyerupai dari kurva warna merah dengan beban sebesar 1667,3 N dengan pertambahan panjang yaitu 6,89 mm. Pada kurva warna hijau mengalami beban maksimal yang cenderung sangat rendah yang disebabkan oleh cacat rongga dibagian dalam sambungan las sehingga luas penampang menjadi kecil dengan beban sebesar 576,6 N dan pertambahan panjang sebesar 2,2 mm. Pada sambungan yang menggunakan perekat pada kurva warna hitam menerima beban maksimal sebesar 391,3 N dengan pertambahan panjang sebesar 1,01 mm. Dapat disimpulkan bahwa raw material memiliki karakteristik sifat yang ulet dan kuat, sedangkan pada sambungan las dengan parameter variasi bentuk pin memiliki sifat yang getas.

Tabel 4.5 Hasil Uji Tarik Pembebanan Maksimum

Bentuk Pin	Nilai Pembebanan (N)			
	S 1	S 2	Rata- rata	Stdev
Segitiga	1715,5	1736,6	1726,05	14,9
Silinder Ulir	1667,3	1326,2	1496,75	241,2
Silinder Runcing	560,2	576,6	568,4	11,6
Perekat	391,3		-	-
Raw material	2441		-	-



Gambar 4.15 Patahan spesimen setelah pengujian tarik



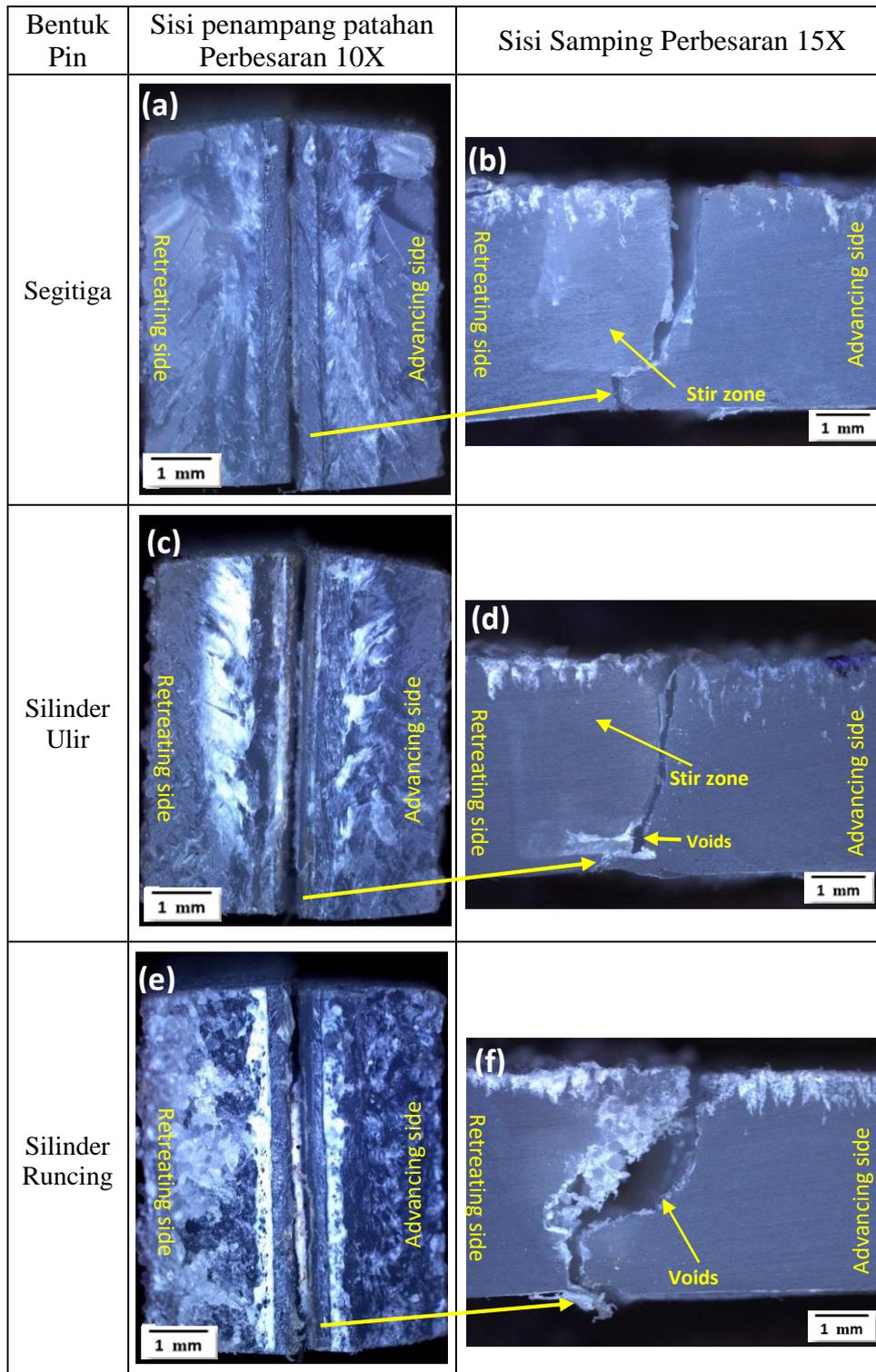
Gambar 4.16 Grafik Tensile strength (MPa) dan Elongation (%) dari setiap variasi bentuk profil pin tool

Tabel 4.6 Hasil rata-rata Uji Tarik tegangan dan standar deviasi

Bentuk Pin	Tegangan (MPa)				Keterangan
	S 1	S 2	Rata-rata	Stdev	
Segitiga	26,39	26,72	26,55	0,23	Patah diantara Advancing Side dan stir zone (<i>interface</i>)
Silinder Ulir	25,65	20,40	23,03	3,71	Patah diantara Advancing Side dan stir zone (<i>interface</i>)
Silinder Runcing	17,24	17,74	17,49	0,36	Patah diantara Advancing Side dan stir zone (<i>interface</i>)

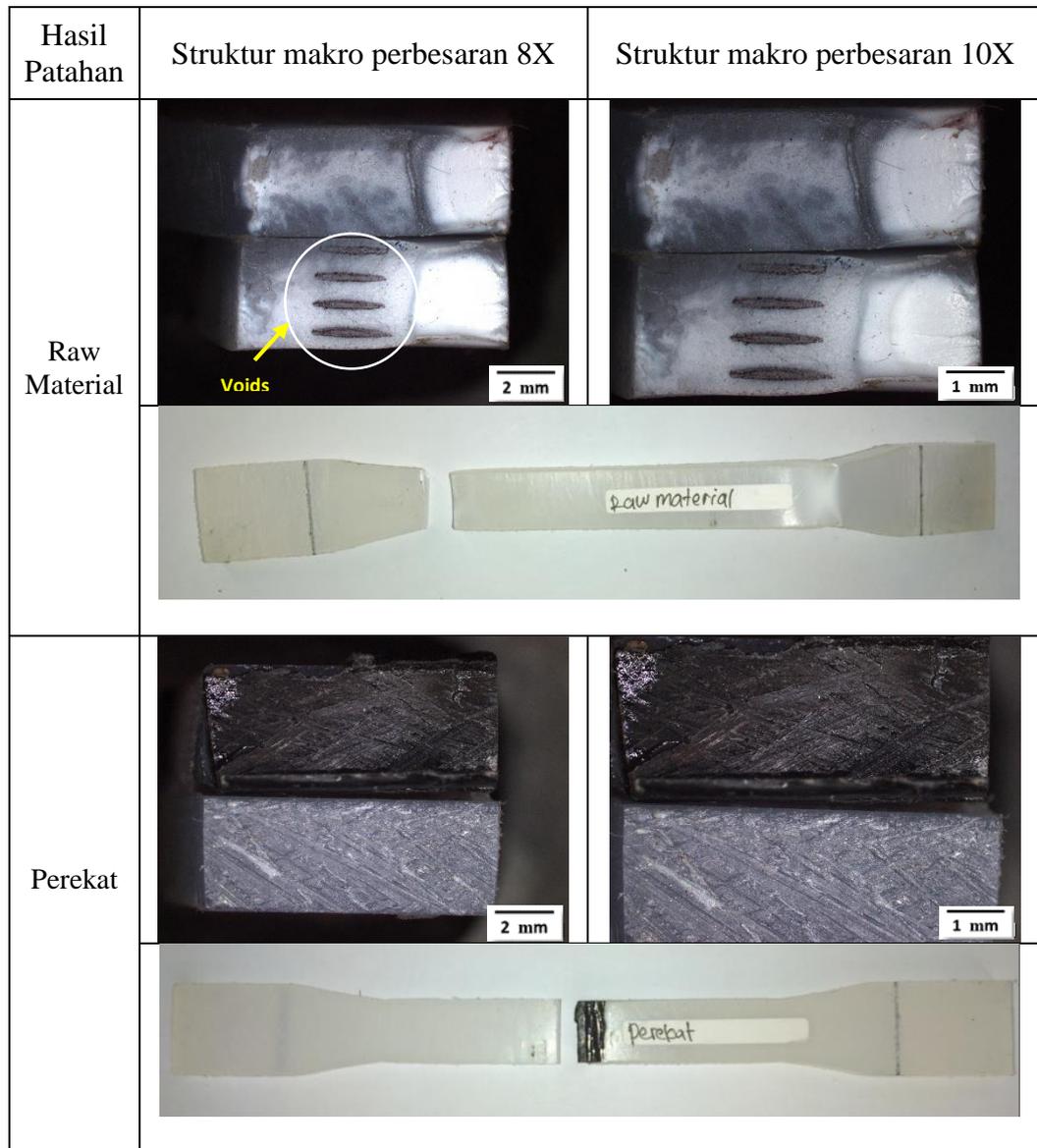
Dapat dilihat pada Gambar 4.15 diatas menunjukkan bahwa dengan variasi bentuk profil *pin tool* sangat berpengaruh terhadap hasil kekuatan tarik maupun elongasi pada spesimen uji. Terlihat pada grafik batang diatas menunjukkan suatu kurva yang mengalami kenaikan dimulai dari sambungan dengan perekat ke sambungan las yang menggunakan pin segitiga seiring dengan bentuk pin yang berbeda. Dimana dari penelitian ini menghasilkan kekuatan tarik dan elongasi

tertinggi dari spesimen dengan penyambungan yang menggunakan bentuk pin segitiga sebesar 26,55 MPa dengan nilai elongasi 10,5 % yang masih hampir 70,7 % dari kekuatan tarik raw materialnya sekitar 37,55 MPa. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Jaiganesh dkk, (2014) tentang studi pengaruh variasi bentuk profil *pin tool* pada penyambungan material *polypropylene*, menyatakan bahwa hasil kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada pengelasan yang menggunakan pin silinder runcing beralur yaitu 10 Mpa masih 45% dari raw materialnya 22,2 MPa dengan kecepatan putaran *tool* 1000 rpm, laju pengelasan 0,16 mm/s. Pada penelitian yang dilakukan Payganeh dkk, (2011) Sama seperti penelitian Jaiganesh dkk, (2014) mengenai pengaruh bentuk variasi bentuk pin tetapi dengan penambahan partikel GF (*glass fiber*) dalam proses penyambungannya, dari data yang didapat menunjukkan bahwa hasil pengelasan yang menggunakan pin silinder runcing namun beralur, kecepatan putar *tool* 500 rpm dan laju pengelasan mendapatkan kekuatan tarik tertinggi sekitar 9 MPa masih hampir 25 % dari *base material* yaitu 36 MPa dan permukaannya tidak terdapat cacat. Dimana dari penelitian ini pada *pin tool* silinder runcing mengalami penurunan kekuatan tarik dengan nilai 17,49 MPa. Jadi dapat disimpulkan bahwasanya hasil dari pengujian tarik terlihat bahwa semakin luas area pengadukan pada profil *pin tool* semakin meningkat hasil kekuatan tarik sambungan las yang dihasilkan.



Gambar 4.17 Patahan spesimen pada sambungan lasan dari hasil pengujian tarik, (a) sisi penampang patahan, (b) sisi patahan dari samping, (c) sisi penampang patahan, (d) sisi patahan dari samping, (e) sisi penampang patahan, (f) sisi patahan dari samping

Pada Gambar 4.16 menunjukkan hasil patahan pada spesimen setelah dilakukan pengujian tarik. Dimana hampir semua spesimen dari pengelasan yang menggunakan bentuk pin segitiga, silinder ulir dan silinder runcing yang sudah di uji tarik mengalami putus didaerah (*interface*) diantara *advancing side* dan *stir zone*, diakibatkan nilai kekerasan yang tinggi dibanding pada daerah *retreating side* sehingga menyebabkan molten hasil pengadukan menjadi brittle (getas). Menurut Jaiganesh dkk, (2014) mengatakan bahwa kekuatan yang lebih rendah adalah dibagian sisi bawah sambungan las, jadi kerusakan saat diuji tarik dimulai dari titik bawah pada sambungan. Terlihat dari sisi samping Gambar (b), (d), (f) setelah di uji makro nampak terlihat 0,1 mm tidak terkena adukan *pin tool* disepanjang sambungan, hal ini disebabkan oleh panjang pin yang hanya berukuran 4,7 mm, *deep of plunge* 0,2 mm dan tebal *polypropylene* 5 mm, karena jika panjang pin sesuai dengan tebal material maka pin tersebut akan bergesekan dengan meja pada mesin *milling* yang akan mengakibatkan kegagalan akibat temperatur yang tinggi pada *pin tool*. Pada Gambar (f) menunjukkan bahwa ada cacat yang dihasilkan setelah proses pengelasan yaitu terdapat *voids*, *flash* dan *incomplete fusion* didalam sambungan las dengan ukuran lebar 2 mm tinggi 2,5 mm yang disebabkan oleh kecepatan putaran tool yang terlalu tinggi, laju pengelasan relatif lambat mengakibatkan sambungan las tersebut berlubang. Sedangkan penelitian yang dilakukan Payganeh dkk, (2011) mengatakan pembentukan cacat las yang dihasilkan dapat disebabkan oleh kecepatan putaran tool yang tinggi sehingga input panas yang berlebihan dan aliran yang tidak memadai menyebabkan cacat *crack* dan cacat terowongan (*voids*) disepanjang sambungan.



Gambar 4.18 Patahan spesimen hasil uji tarik pada Raw material dan Perekat

Dilihat pada Gambar 4.17 bahwa patahan spesimen pada raw material mengalami patah yang kurang sempurna karena pada spesimen mengalami lengkungan dan hanya 1 sisi yang mengalami pembebanan besar yang diakibatkan oleh pemasang spesimen miring dan *voids* didalam material pada saat proses pengujian tarik dan sedangkan hasil dari sambungan yang menggunakan perekat mengalami patah yang sempurna.