

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

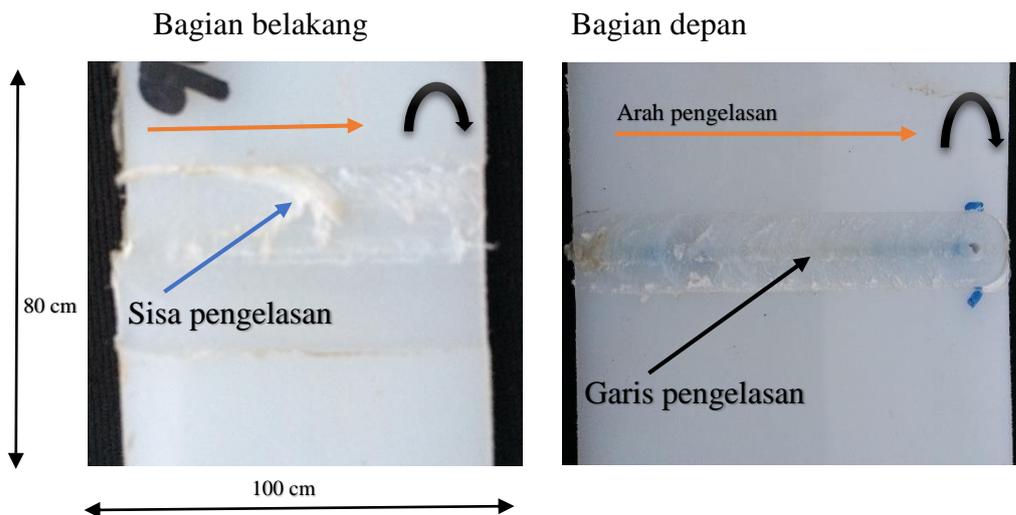
4.1 Hasil Pengelasan FSW dua sisi

Metode pengelasan FSW dua sisi dengan variasi putaran *pin tool* dan parameter pendukung yang dibuat sama seperti *feed rate* 5mm/menit dan *dept of plunge* dibuat 0,5 mm, kecepatan putaran yang digunakan 900, 1500 dan 2000rpm. Menghasilkan sambungan las yang berbeda-beda baik dari segi visual ataupun dari segi kekuatan material uji yang di las hasil pengelasan FSW dua sisi dibagi menjadi tiga dengan masing-masing parameter variasi pengelasan seperti yang akan dijelaskan dibawah ini.

4.1.1 Hasil pengelasan FSW dua sisi

1. Variasi putaran 900rpm

Pengelasan dengan variasi putaran *pin tool* 900rpm berhasil menyambung dengan *feed rate* 5mm/menit dengan dua sisi pengelasan atas menggunakan *pin tool* dengan suhu saat proses pengelasan 48°C, pengelasan bagian bawah hanya menggunakan soldernya saja tanpa *pin tool* dengan suhu 46°C, suhu pengelasan berpengaruh pada hasil sambungan pengelasan karena panas yang terjadi oleh gesekan tool dan material membuat bahan HDPE menyambung.



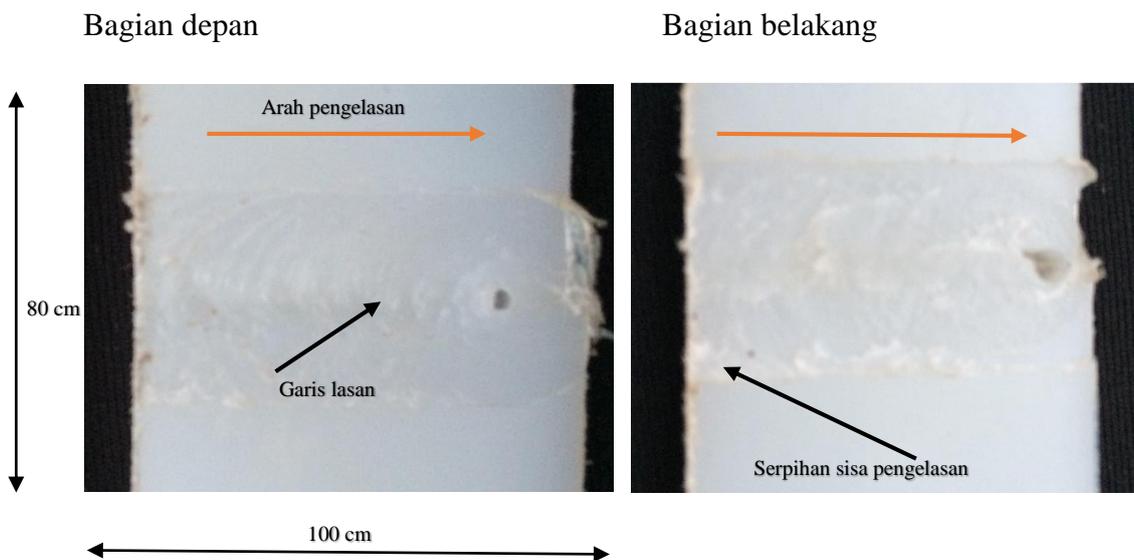
Gambar 4.1 hasil pengelasan 900 rpm

Hasil pengelasan dengan menggunakan rpm 900 bagian atas yang menggunakan *pin tool* dan yang menggunakan soldernya saja bagian bawah

seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.1, pada pengelasan rpm 900 ini menghasilkan lasan yang sedikit menimbulkan crack pada sisa pengelasan. variasi putaran 1500rpm

2. Variasi putaran 1500 rpm

Hasil pengelasan FSW dua sisi dengan variasi putaran 150rpm dengan *feed rate* sama 5menit di tunjukan pada gambar 4.2



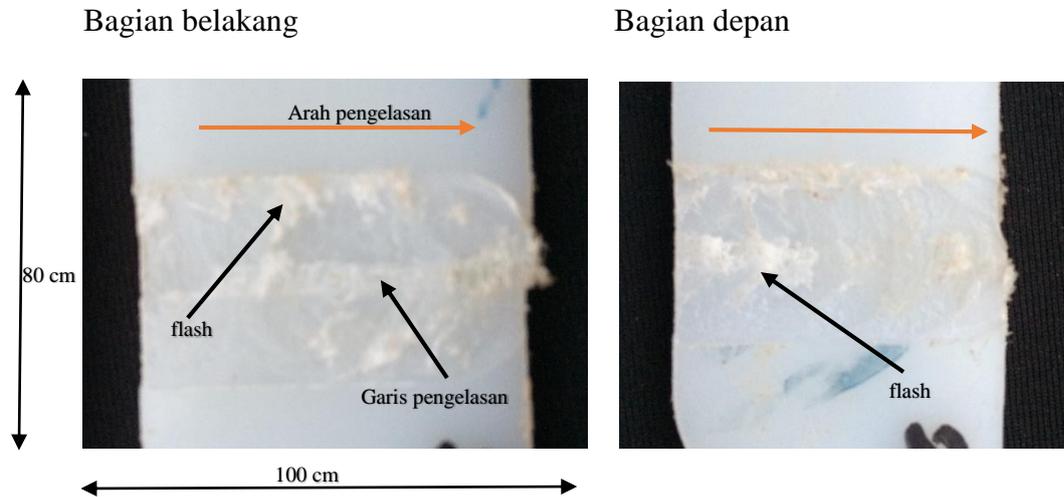
Gambar 4.2 hasil pengelasan 1500 rpm

Pada pengelasan rpm 1500 menghasilkan lasan yang hampir sama dengan rpm 900 dengan sedikit *crack* pada hasil pengelasan secara visual terlihat bagus dari suhu pengelasan pun variasi 1500 rpm tidak jauh berbeda 58°C pada pengelasan dengan menggunakan *pin tool* dan 54°C dengan menggunakan *sholder* saja.

3. variasi putaran 2000rpm

hasil pengelasan dengan menggunakan rpm 2000 dan *feed rate* 5menit ditunjukkan oleh gambar 4.3 pada hasil pengelasan dengan variasi putaran 2000rpm menghasilkan lasan yang secara visual kurang rapih terdapat banyak serpihan bekas pengelasan hal ini juga disebabkan oleh putaran *tool* yang cepat terlihat dari hasil pengukuran suhu mencapai 66°C sedangkan yang menggunakan

sholder saja 62°C suhu yang sangat tinggi membuat hasil pengelasan terlihat tidak rapih dan suhu ini sangat tinggi dibandingkan dengan variasi 900 dan 1500 rpm.

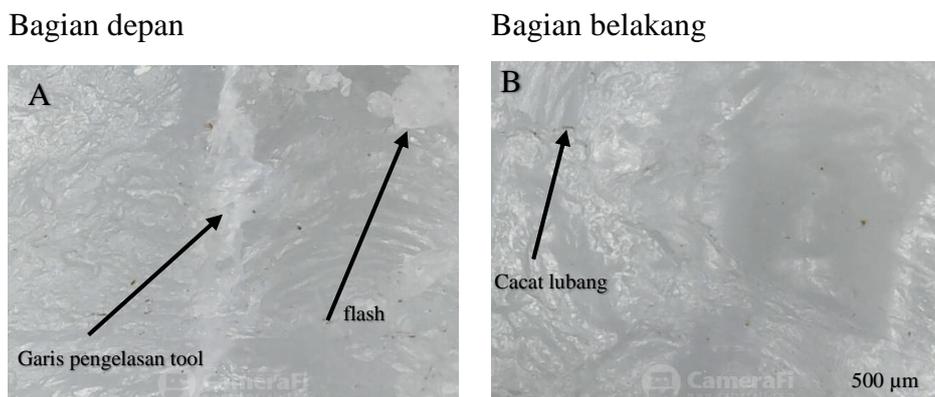


Gambar 4.3 hasil pengelasan 2000 rpm

4.2 Hasil Penelitian Struktur Makro

1. Variasi putaran 900 rpm

Hasil pengelasan dengan variasi putaran 900 rpm menghasilkan struktur lasan seperti pada gambar 4.4 bagian depan dan belakang dimana bagian belakang pengelasan dengan menggunakan *sholder* saja.





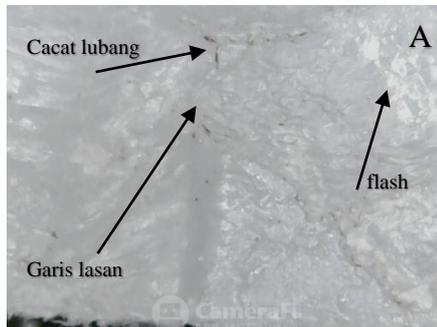
Gambar 4.4 hasil pengujian makro variasi peuatan 900 rpm

Pengambilan foto makro pada gambar 4.4 menunjukkan hasil pengelasan dengan variasi putaran 900 rpm, pada bagian gambar A yang pengelasan menggunakan *pin tool* terlihat jelas garis pengelasan dan menghasilkan lasan yang konstan, dari awal proses sampai akhir terdapat flash sedikit dibagian sisi pengelasan. Sedangkan dibagian gambar B pengelasan dilakukan dengan *sholder* nya saja dan terdapat cacat lubang di salahsatu sisi pengelasan pengelasan dibagian bawah dengan menggunakan sholdernya saja bertujuan untuk mendapatkan hasil pengelasan yang tidak terlalu melengkung(*distorsi*) sedangkan pada gambar C pengujian struktur makro dari bagian samping pengelasan terdapat cacat lubang dan *flash* yang cukup banyak. Dengan hasil ini pengelasan variasi 900 rpm tidak banyak menghasilkan cacat dikarenakan kecepatan yang tidak terlalu cepat dan *feed rate* yang stabil.

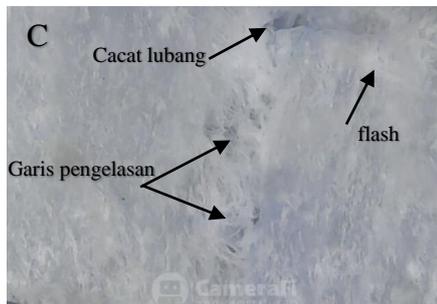
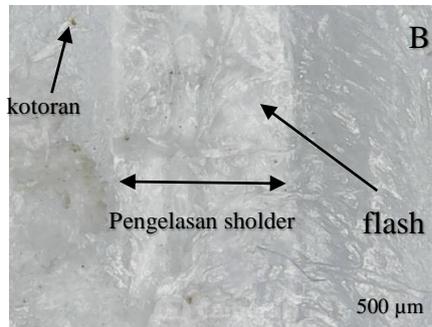
2. Variasi putaran 1500 rpm

Hasil pengelasan variasi putaran 1500 rpm pada gambar 4.5 pengujian makro dengan gambar A bagian pengelasan dengan *pin tool* bagian B menggunakan sholdernya saja dan bagian C pengujian makro dari samping pengelasan.

Bagian depan



Bagian belakang



Gambar 4.5 hasil pengujian makro variasi putaran 1500 rpm

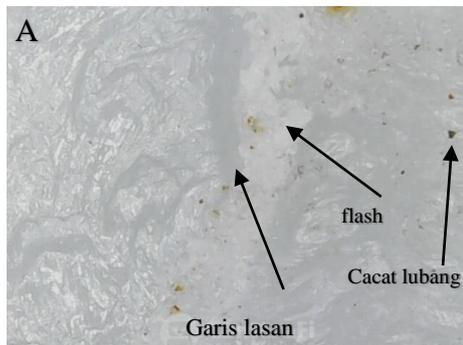
Pada gambar A terdapat cacat lubang pada garis pengelasan hal ini disebabkan oleh kecepatan putaran *tool* yang tinggi dan terdapat *flash* pada samping proses pengelasan, pada bagian gambar B yang di las menggunakan *sholder* terbentuk banyak *flash* pada bagian tengah pengelasan hasil pengelasan variasi 1500 rpm ini hasilnya hampir sama dengan variasi 900 rpm dari segi visual terlihat bagus pada bagian samping pengujian makro yang ditunjukkan oleh gambar C terlihat serat patahan pada garis pengelasan dan terdapat cacat lubang pada samping garis pengelasan.

3. Variasi putaran 2000 rpm

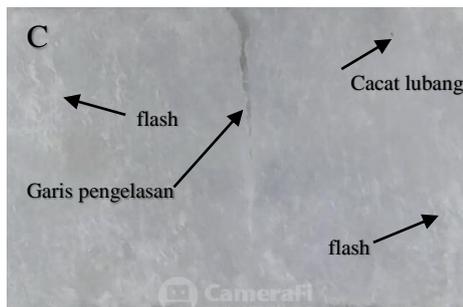
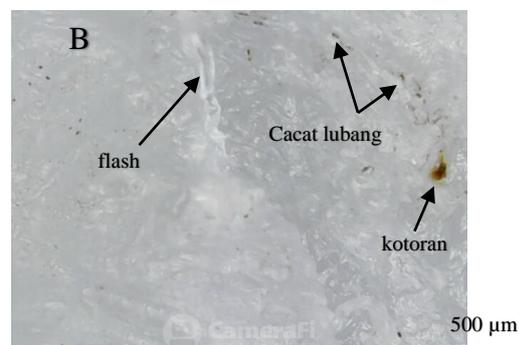
Hasil pengelasan variasi putaran 2000 rpm dengan *feed rate* sama dengan variasi 900 dan 1500 rpm menghasilkan lasan dari segi visual sangat banyak sisa pengelasan. Terlihat pada gambar 4.6 hasil pengujian makro terdapat banyak cacat pada variasi pengelasan 2000 rpm ini, salahsatunya cacat lubang yang terlihat pada gambar bagian A, B dan C. Pada bagian pengelasan menggunakan tool terdapat banyak cacat lubang dan di samping garis pengelasan terdapat *flash* hal ini disebabkan oleh kecepatan putaran yang kencang pada proses pengelasan dengan *feed rate* 5menit. Pada bagian gambar B pun sama pengelasan dengan

shoulder terdapat banyak *flash* pada hasil pengelasan, dari pengujian makro bagian samping yang ditunjukkan oleh gambar C terlihat garis pengelasan yang menunjukkan patahan getas dan terdapat cacat lubang terdapat juga *flash*.

Bagian depan



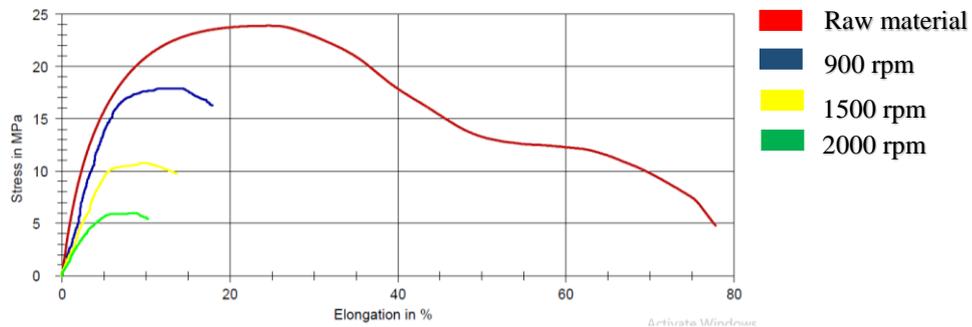
Bagian belakang



Gambar 4.6 hasil pengujian makro variasi peuatan 2000 rpm

4.3 Hasil Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik dari penelitian sambungan bahan HDPE dengan metode FSW dua sisi dalam bentuk kurva atau grafik tegangan-regangan berdasarkan sifat-sifatnya. Pada gambar grafik 4.7 menunjukkan bentuk kurva dari nilai tegangan tinggi dari setiap pengujian tarik pada variasi putaran pin *tool* dengan pengelasan dua sisi.



Gambar 4.7 grafik uji tarik

1. *Raw material*

Raw material atau bahan utama yang diuji dalam penelitian ini ikut diuji agar menjadi perbandingan dari hasil percobaan pengelasan FSW dua sisi.



Gambar 4.8 *raw material* tarik

Pada gambar 4.8 *raw material* memanjang tanpa putus pada saat pengujian tarik seperti yang ditunjukkan oleh gambar grafik 4.7 dengan menggunakan mesin, hal ini menandakan material HDPE memiliki sifat ulet yang bagus untuk bahan-bahan untuk dikembangkan kedepannya. Pada hasil pengujian *raw material* ini diambil satu spesimen karena hasil pengukuran sudah dianggap mewakili dari setiap spesimen uji.

2. Hasil bentuk pengelasan FSW dua sisi putaran tool 900 rpm untuk uji tarik

Pada pengujian tarik hasil pengelasan FSW dua sisi dengan variasi putaran *tool* 900rpm terlihat pada gambar 4.9 patahan tidak beraturan cenderung terlihat masih menyambung dan sebelum patah bahan sedikit memanjang sebelum patah seperti digambar.



a. Gambar spesimen setelah uji tarik



b. Patahan setelah uji tarik

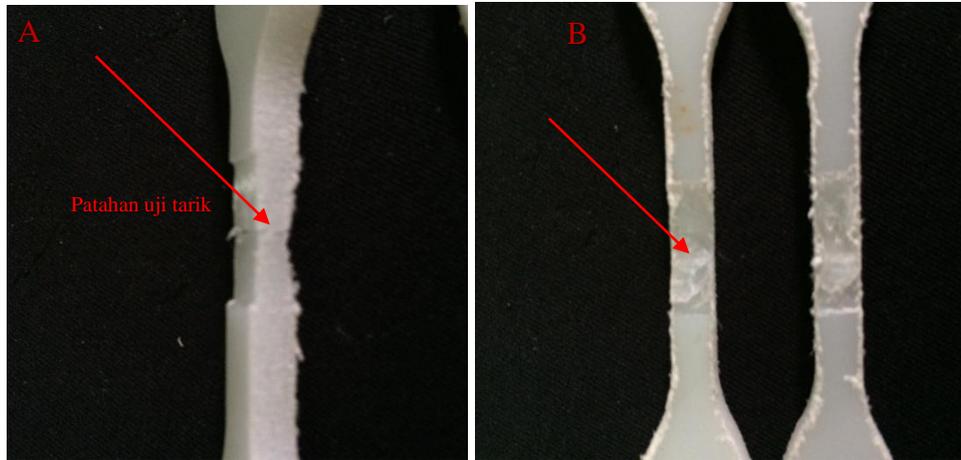
Gambar 4.9 patahan setelah uji tarik hasil pengelasan FSW dua sisi variasi putaran 900rpm

Patahan yang terjadi pada gambar 4.9 bisa dibilang bagus dibandingkan dengan patahan dari variasi lain karena terjadi perpanjangan terlebih dahulu sebelum terjadi patah, hal ini juga bisa dilihat dari gambar grafik 4.7 pengujian pada variasi putaran 900 rpm mendekati nilai kekuatan tarik dari *raw material*.

3. Hasil bentuk pengelasan FSW dua sisi putaran tool 1500 rpm untuk uji tarik

Pada pengujian tarik dengan rpm 1500 pada gambar 4.10 terlihat perpanjangan bahan tidak seperti yang terjadi pada variasi putaran 900rpm, divariasi 1500 ini hanya sedikit dan terus patah. Terlihat pada gambar grafik 4.7 menunjukkan hasil dari pengujian tarik variasi putaran 1500 rpm hasil bisa dibilang bagus walau nilai kekuatan tarik masih jauh dari standar *raw material* setidanya

variasi ini memiliki nilai tengah dari kekuatan tarik *raw material* dan dari segi visual bentuk rapih.



b. Gambar spesimen setelah uji tarik



c. Patahan setelah uji tarik

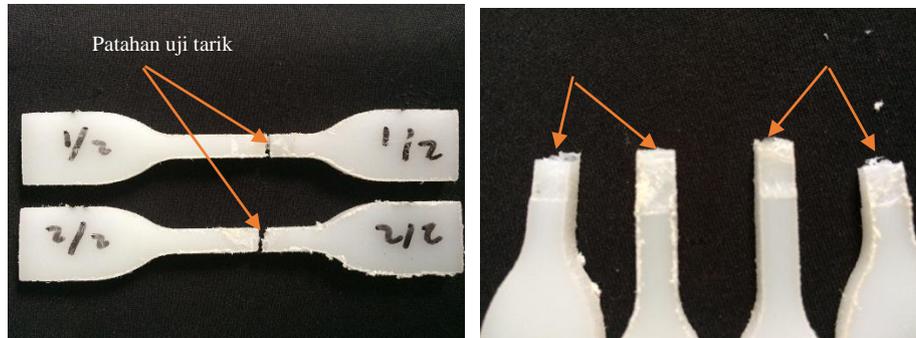
Gambar 4.10 hasil patahan uji tarik hasil pengelasan FSW dua sisi variasi putaran 1500rpm

Pada gambar 4.10 yang ditunjukkan panah pada gambar A terlihat patahan yang getas. Sedangkan pada gambar B menunjukkan jalur pengelasan *pin tool*.

4. Hasil bentuk pengelasan FSW dua sisi putaran *tool* 2000rpm untuk uji tarik

Hasil pengelasan dari variasi putaran 2000rpm pada gambar 4.11 terlihat spesimen uji tarik sampai putus dan terlihat pada gambar A patahan getas dan pada gambar B terlihat bahkan hampir tidak ada perpanjangan terlebih dahulu sebelum spesimen putus, dan dari grafik 4.7 perpanjangan yang terjadi pada saat

pengujian sangatlah sedikit spesimen uji sampai patah dan bentuk kurva pada grafik tidak bagus.



a. Gambar spesimen setelah uji tarik



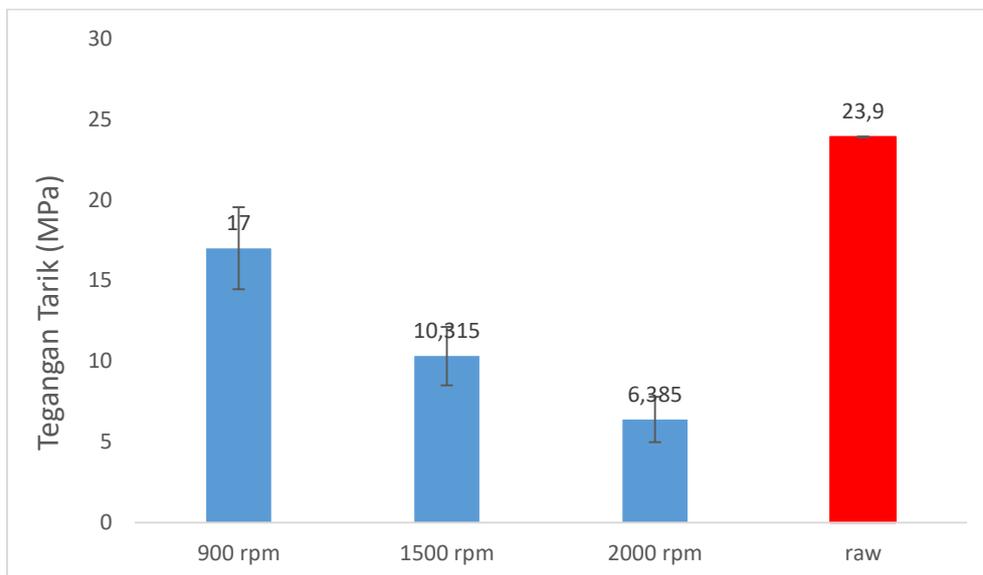
b. Patahan setelah uji tarik

Gambar 4.11 hasil patahan uji tarik hasil pengelasan FSW dua sisi variasi putaran 2000rpm

Dibandingkan dengan variasi 900rpm dan 1500rpm variasi 2000rpm terlihat sambungan yang sangat getas bahkan sambungan setelah diuji tarik sampai patah(terpisah) sisa pengelasan pada sambungan 2000 rpm banyak meninggalkan serpihan hal ini disebabkan oleh pengelasan dengan putaran yang tinggi dengan *feed rate* yang cepat .

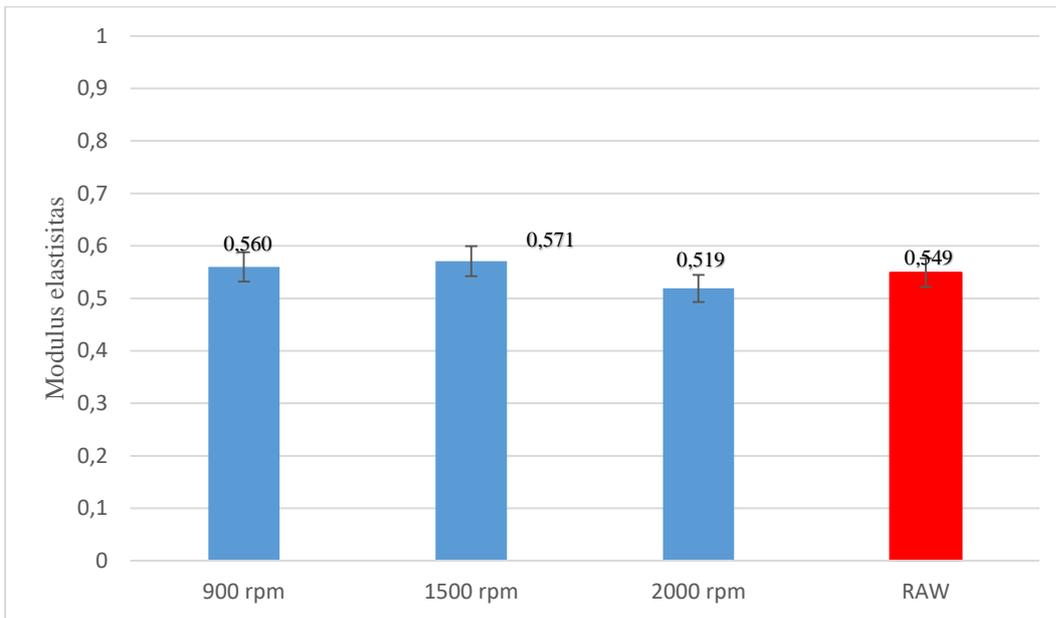
Tabel 4.1 hasil pengujian tarik pengelasan FSW dua sisi variasi putaran *pin tool*

Variasi putaran pin tool (rpm)	UTS		Regangan Maksimum (%)	Kekuatan tarik rata – rata (MPa)	Modulus elastisitas (GPa)
	Ke 1	Ke 2			
900	18,8	15,2	0,97	17,0 ± 2,55	0,560
1500	9,03	11,6	0,42	10,3 ± 1,82	0,571
2000	5,39	7,38	0,28	6,38 ± 1,41	0,519
raw	23,9		0,78	23,9	0,549

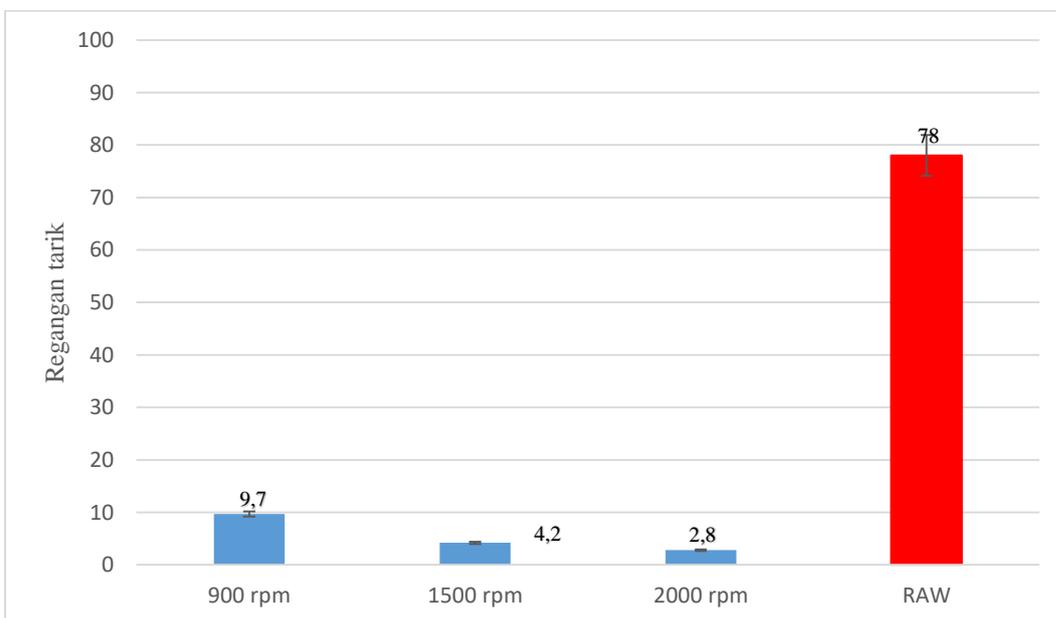


Gambar grafik 4.12 kekuatan tarik pengelasan FSW dua sisi variasi kecepatan putaran *tool*

Pada gambar grafik 4.12 hasil kekuatan tarik pada pengujian pengelasan FSW dua sisi terlihat variasi putaran 900 rpm yang sangat bagus dengan nilai rata-rata dari dua pengujian 17,0 MPa, sedangkan nilai dari variasi pengujian 1500 rpm dan 2000 rpm di bawahnya.



Grafik 4.13 *modulus elastisitas* pengelasan FSW dua sisi variasi kecepatan putaran tool



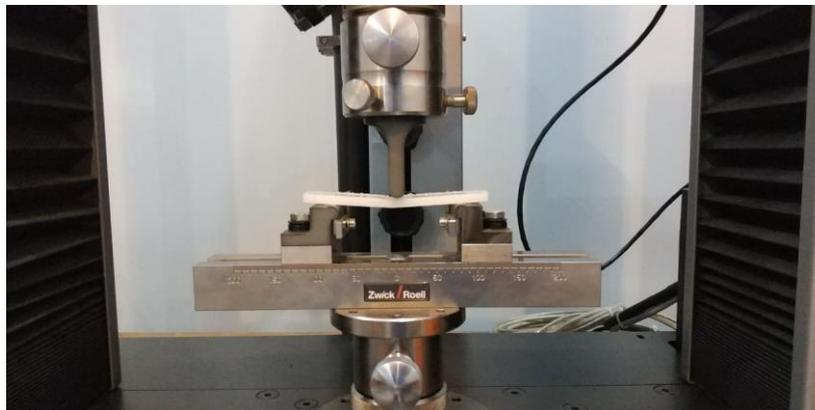
Grafik 4.14 regangan tarik pengelasan FSW dua sisi variasi kecepatan putaran *tool*

Pada grafik 4.14 adalah hasil dari kekuatan regangan dari material uji dan di hasil pengujian ini sama dengan hasil dari pengujian kekuatan tarik variasi putaran 900 rpm yang paling bagus, pada gambar 4.9 terlihat patahan yang terjadi setelah pengujian tarik

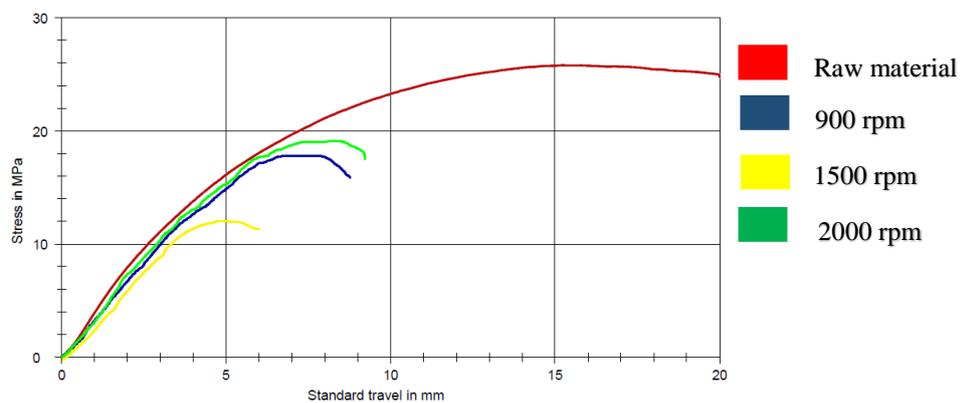
adalah patahan ulet sebelum terjadi patahan material mengalami pemanjangan terlebih dahulu. Sedangkan nilai yang paling rendah dari regangan adalah variasi 2000 rpm pada gambar 4.11 terlihat material pengujian sampai patah dan sebelum mengalami patahan material tidak mengalami perpanjangan yang signifikan bahkan cenderung getas.

4.4 Hasil Pengujian *Bending*

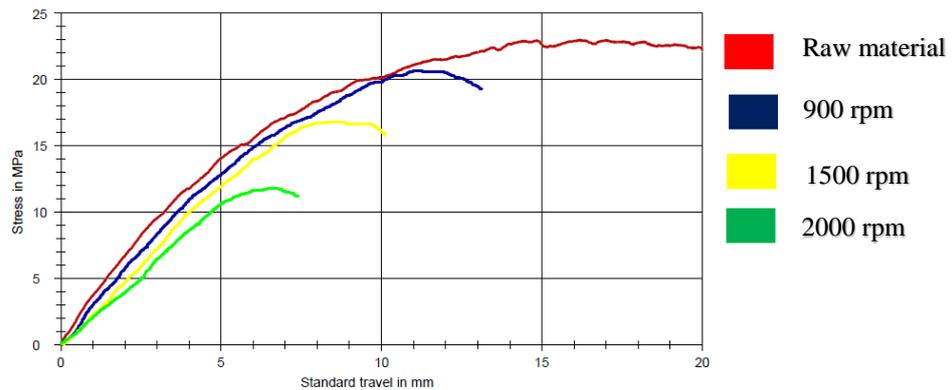
Pengujian *bending* pengelasan FSW dua sisi pada penelitian ini untuk mengetahui kekuatan lengkung pada material HDPE pengujian *bending* yang digunakan pada penelitian ini adalah 3 *point* seperti gambar 4.15.



Gambar 4.15 Mesin uji *bending* 3 *point*



Gambar 4.16 grafik *root* uji *bending*



Gambar 4.17 grafik *face* uji *bending*

Pada gambar grafik 4.16 menunjukkan grafik pengujian *bending* bagian *root* dengan hasil yang bagus pada setia variasinya, nilai yang mendekati dari *raw material* adalah variasi 2000 rpm dengan nilai rata-rata 18,90 MPa sedangkan nilai dari *raw material* adalah 25,8 MPa. Pada bagian *face* ditunjukkan oleh gambar 4.17 dengan hasil variasi yang mendekati dengan nilai *raw material* adalah variasi 900 rpm dengan nilai rata-rata 21,95 MPa. Hasil ini menunjukkan pengelasan yang bagus dengan hasil yang sangat mendekati nilai *raw material*.

1. *Raw material* uji *bending*

Pada pengujian *bending* ini diuji juga *raw material* untuk menjadi perbandingan hasil percobaan pengelasan FSW dua sisi agar hasil yang didapatkan maksimal, adapun gambar *raw material* pada gambar 4.18.



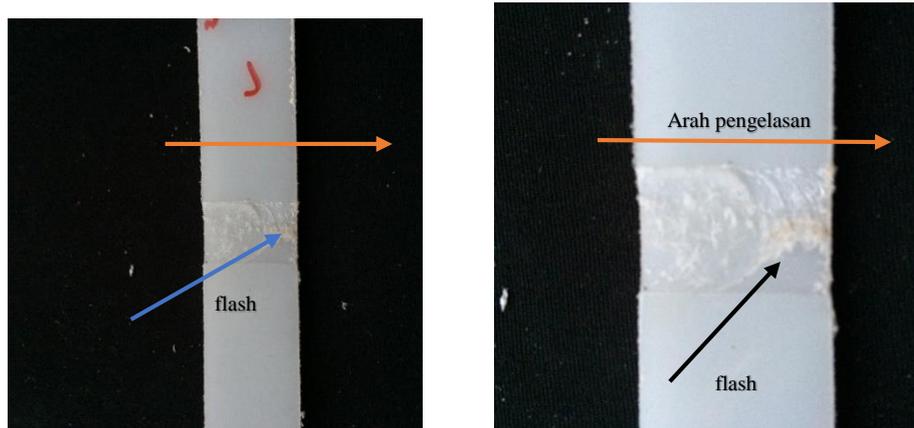
Gambar 4.18 *Raw material* uji *bending*

Pada gambar 4.18 *raw material* yang sudah diuji *bending* terjadi lengkungan hal itu disebabkan oleh mesin uji *bending* yang menekan sampai jarak

yang telah ditentukan agar mendapatkan data yang diinginkan untuk perbandingan dengan material yang telah disambung dengan proses FSW dua sisi.

2. Hasil bentuk pengelasan FSW dua sisi putaran *tool* 900rpm untuk uji *bending*

Pada uji bending material HDPE digunakan standar ASTM D 790 untuk bentuk dan ukuran pengujian.

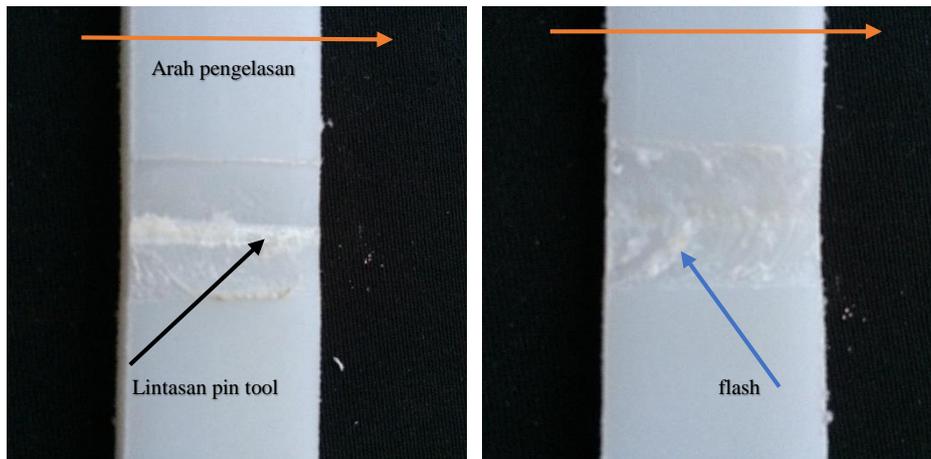


Gambar 4.19 patahan setelah uji tarik hasil pengelasan FSW dua sisi variasi putaran 900rpm

Pada gambar 4.19 menunjukkan hasil putaran rpm 900 dari hasil visual terlihat rapih, tetapi ada sedikit serpihan bekas pengelasan yang ditunjukkan oleh panah berwarna hitam yang digunakan adalah *tool* dengan soldernya saja, panah berwarna biru menunjukkan bekas lintasan *pin tool* dibagian atas pengelasan sedangkan panah berwarna orange menunjukkan arah pengelasan.

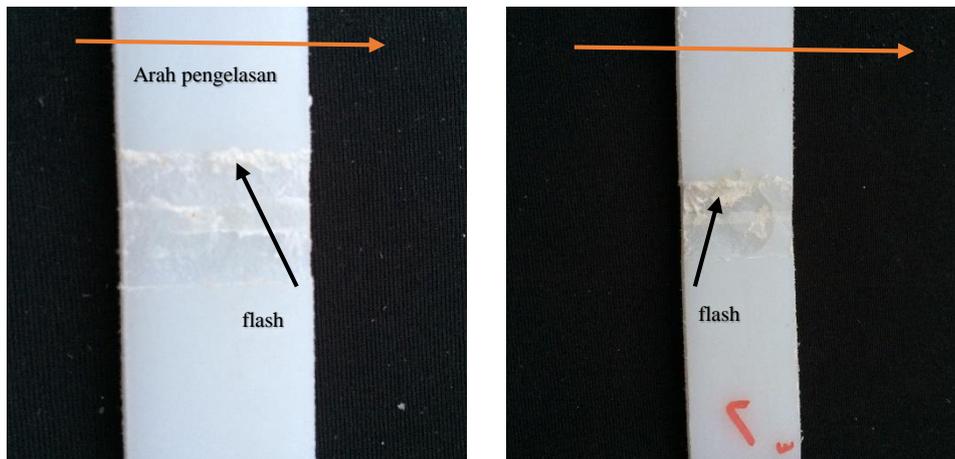
3. Hasil bentuk pengelasan FSW dua sisi putaran *tool* 1500rpm untuk uji *bending*

Hasil pengelasan FSW dua sisi dengan variasi putaran *tool* 1500rpm ditunjukkan pada gambar 4.20 hasil lasan terdapat serpihan- serpihan bekas pengelasan seperti yang ditunjukkan oleh panah berwarna biru sisa pengelasan lebih banyak dari pengelasan 900rpm, panah berwarna hitam menunjukkan bekas lintasan *pin tool*, sedangkan panah berwarna orange menunjukkan arah *pin tool*.



Gambar 4.20 patahan setelah uji tarik hasil pengelasan FSW dua sisi variasi putaran 1500rpm

4. Hasil bentuk pengelasan FSW dua sisi putaran *tool* 2000rpm untuk uji *bending*

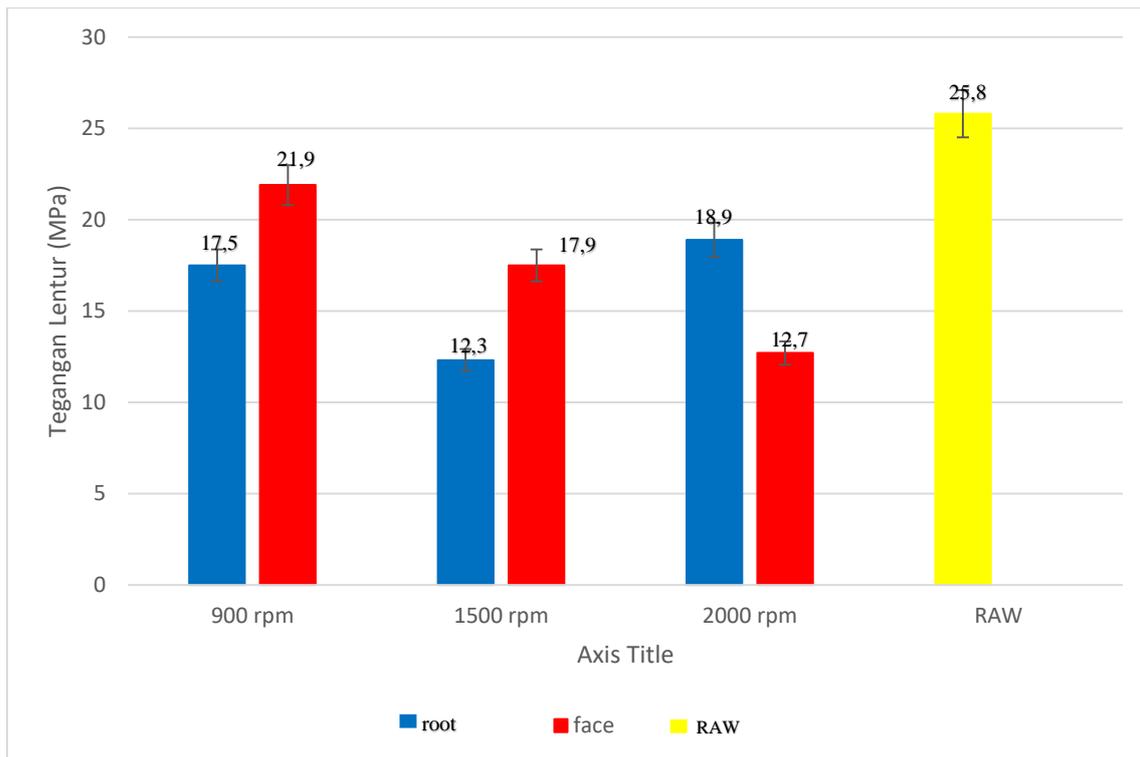


Gambar 4.21 patahan setelah uji tarik hasil pengelasan FSW dua sisi variasi putaran 2000rpm

Pada gambar 4.21 adalah gambar spesimen uji *bending* variasi putaran 2000 rpm terlihat dari hasil pengelasan terdapat banyak serpihan sisa pengelasan, hal ini disebabkan oleh kecepatan putaran *tool* yang sangat kencang mengakibatkan pemanasan yang sangat cepat pada spesimen pengujian dari bentuk visual variasi kecepatan putaran *tool* ini bisa dibilang paling jelek dari hasil pengelasan 900 dan 1500 rpm.

Tabel 4.2 Kekuatan lentur uji *bending* bagian *root* dan *face*

Variasi putaran pin tool (rpm)	Beban Maksimum (kN)		Rata-rata nilai kekuatan lentur (MPa)	
	root	face	root	face
900	0,070	0,020	17,5 ± 1,13	21,9 ± 1,91
1500	0,052	0,015	12,3 ± 0,92	17,5 ± 3,75
2000	0,065	0,010	18,9 ± 0,14	12,7 ± 1,63
RAW	0,142		25,8	



Gambar grafik 4.22 pengaruh variasi putaran *tool* pengelasan FSW dua sisi terhadap kekuatan lentur bagian *root* dan *face*

Pada grafik 4.22 pengaruh variasi putaran *tool* terhadap kekuatan lentur bagian *root* menunjukkan hasil yang paling tinggi dan mendekati dari nilai *raw* material adalah variasi

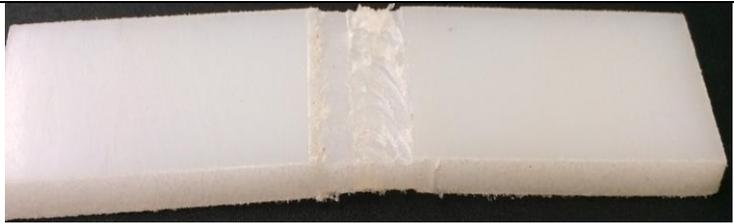
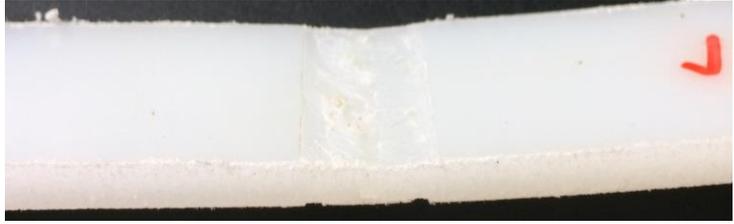
2000 rpm dengan nilai 18,90 MPa dan pada tabel 4.2 menunjukkan standar deviasi pada variasi 2000 rpm adalah 1,13. Pada gambar grafik 4.22 juga menunjukkan pengaruh variasi putaran *tool* pengelasan FSW dua sisi terhadap kekuatan lentur bagian *face*, dengan hasil tertinggi adalah variasi 900 rpm dengan nilai rata-rata 21,95 MPa hasil yang sangat mendekati nilai *raw material*. Dilihat dari tabel 4.4 dan 4.5 pengamatan visual hasil pengujian *bending* pengelasan FSW dua sisi tidak terdapat perubahan lengkungan setelah pengujian pengelasan.

Tabel 4.4 pengamatan visual uji *bending face*

Sisi bending	Parameter	Pengamatan visual
<i>Face</i>	900 rpm <i>feed rate</i> 5cm/ menit	
<i>Face</i>	1500 rpm <i>feed rate</i> 5cm/ menit	
<i>Face</i>	2000 rpm <i>feed rate</i> 5cm/ menit	

Dari hasil pengamatan visual pada tabel 4.4 yang diperoleh setelah pengujian bending daerah bawah pengelasan yang menggunakan *sholder* saja dapat dilihat pada semua spesimen mengalami retakan tidak mampu menahan beban yang terlalu besar.

Tabel 4.5 pengamatan visual uji *bending root*

Sisi bending	Parameter	Pengamatan visual
<i>Root</i>	900 rpm <i>feed rate</i> 5cm/ menit	
<i>Root</i>	1500 rpm <i>feed rate</i> 5cm/ menit	
<i>Root</i>	2000 rpm <i>feed rate</i> 5cm/ menit	

Dari hasil pengamatan visual pada tabel 4.5 pengujian kekuatan lentur bagian depan (*root*) sama seperti pengujian *face* di pengujian *root* pun tidak bisa menahan beban yang terlalu berat mungkin dikarenakan dari sifat plastik yang hanya menahan beban tidak terlalu berat dan sisa pengelasan gesekan juga mempengaruhi kekuatan lentur.

Tabel 4.6 pengamatan visual distorsi yang terjadi pada hasil pengelasan satu sisi

Variasi	Pengelasan	Pengamatan visual
900	Satu sisi	
1500	Satu sisi	
2000	Satu sisi	

Tabel 4.7 pengamatan visual distorsi yang terjadi pada hasil pengelasan dua sisi

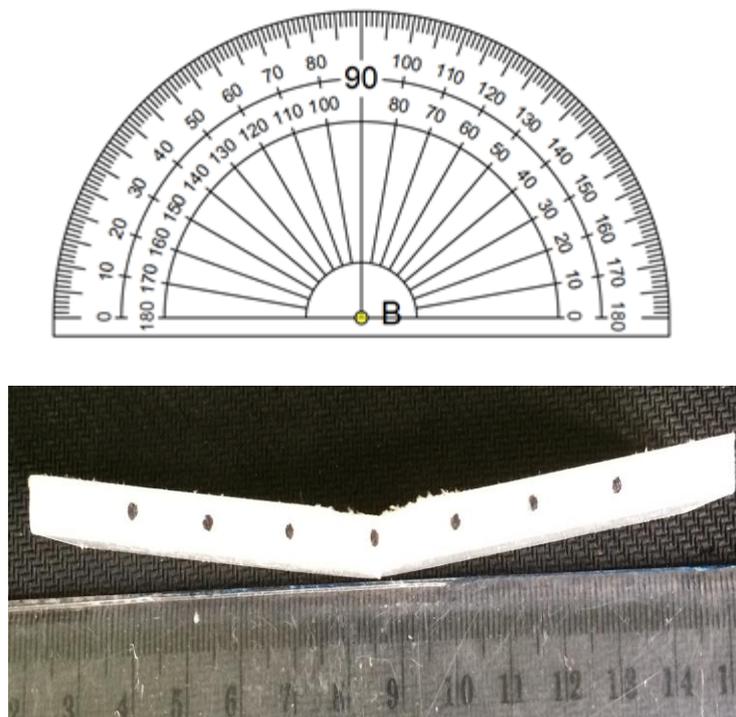
Variasi	Pengelasan	Pengamatan visual
900	Dua sisi	
1500	Dua sisi	
2000	Dua sisi	

Pada tabel 4.6 dan 4.7 adalah hasil pengamatan visual pengelasan dua sisi dan satu sisi dengan parameter variasi putaran *tool*, terlihat lengkungan yang terjadi setelah pengelasan dari pengelasan satu sisi lebih terlihat dibandingkan dengan hasil pengelasan dua sisi. Hal ini disebabkan karena pengelasan satu sisi hanya mendapatkan pemanasan disatu sisi saja sedangkan pengelasan dua sisi mendapatkan panas dari kedua bagiannya.

Pengelasan dua sisi memiliki keunggulan dari hasil pengelasan dilihat dari hasil uji tarik hasil mendekati nilai dari *raw material*, dari uji makro hasil pengelasan tidak banyak menunjukkan cacat pada hasil pengelasan dan dari uji bending memiliki nilai yang bagus didukung dengan hasil visual yang rapih.

Pada hasil pengamatan terdapat perbedaan sudut yang terjadi pada pengelasan FSW satu sisi dan dua sisi hal ini di tunjukan oleh tabel 4.8 hasil pengukuran sudut pada hasil pengelasan FSW.

Pengamatan lengkungan/ distorsi setelah pengelasan



Gambar 4.23 Pengukuran sudut

Tabel 4.8 hasil pengukuran sudut spesimen setelah pengelasan

kecepatan	Hasil pengukuran sudut pengelasan satu sisi (°)	Hasil pengukuran sudut pengelasan dua sisi (°)
900 rpm	4	3
	4	2
	5	3
1500 rpm	4	3
	6	4
	5	4
2000 rpm	5	5
	4	5
	6	4

Pada tabel 4.8 pengukuran sudut spesimen juga mendapatkan pengelasan dua sisi sudut yang terbentuk lebih kecil dari pada pengelasan yang dilakukan satu sisi saja hal ini disebabkan oleh pengelasan yang dilakukan kedua sisinya sehingga spesimen menjadi berkurang lengkungan/ distorsinya.

