

Analisis Kekuatan Tarik *Carbon/Epoksi Vs E-Glass/Epoksi Dan Kekuatan Bending Komposit Sandwich*

Lies Banowati¹, Rifqi Haj^{1*}, Djoko Sartono¹

¹ Program Studi Teknik Penerbangan, Fakultas Teknik, Universitas Nurtanio

*Email korespondensi : rifqihaj03@gmail.com

Received Feb 21, 2022; Accepted Feb 24, 2022; Published Mar 8, 2022

Abstrak. Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam industri telah mendorong peningkatan dalam permintaan terhadap material komposit. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui komposit mana yang lebih ringan, kuat dan juga mempunyai sifat termal yang baik untuk pembuatan *ribs* pesawat AerO-73K dan mengetahui kekuatan tarik dan bending sandiwch serat *Carbon/Epoksi vs E-glass/Epoksi* dengan mennggunakan serta dengan Metoda yang digunakan adalah menggabungkan *hand lay-up* dan *vacuum bag*. Hasil dari analisis pengujian dapat diketahui bahwa nilai kekuatan *tensile* dan *bending* maksimum dengan arah serat ($0,90^\circ$), rata-rata kekuatan *tensile* komposit serat *E-glass/Epoksi* sebesar 147,493 MPa dan *Carbon/Epoksi* 452,949 MPa, sedangkan nilai rata-rata untuk kekuatan *bending* komposit *sandwich* dengan menggunakan *core* EPS, XPS, Kayu Balsa serat *Carbon/Epoksi* lebih kuat yaitu sebesar 43,721 MPa dibandingkan dengan komposit *sandwich* dengan menggunakan *core* EPS, XPS, Kayu Balsa serat *E-glass/Epoksi* yaitu sebesar 36,680 MPa.

1. Pendahuluan

Material komposit sebagai pengganti material logam dalam bidang rekayasa sudah semakin meluas, baik dalam bidang properti, arsitektur dan juga transportasi. Berbagai keuntungan penggunaan komposit semakin dirasakan oleh industri karena ringan, tahan korosi, dan biaya perakitan yang lebih murah.

Geofoam adalah bahan geosintetik dengan bahan dasar polystyrene. Terdapat dua macam geofoam yaitu EPS (Expanded Polysterene) dan XPS (Extruded Polysterene) yang mempunyai properti berat yang rendah (Irpan Hidayat, 2011).

Kayu merupakan salah satu bahan *structural* yang paling banyak digunakan karena alami, murah, memiliki kekakuan aksial yang sangat baik terhadap rasio berat, dan memiliki kekuatan yang sangat baik untuk rasio berat dan memiliki kepadatan rendah, meningkatkan kekakuan geser, menjadikannya bahan inti alternative yang kompetitif (Kotlarewski, 2015).

Komposit *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari tiga lapisan yang terdiri dari *flat composite* dan atau *sheet metal* sebagai skin serta *core* di bagian tengahnya. Komposit *sandwich* dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Sehingga untuk mendapatkan karakteristik tersebut, pada bagian tengah diantara kedua *skin* dipasang *core*. Komposit *sandwich* merupakan jenis komposit yang sangat cocok untuk menahan beban lentur, *impact*, meredam geran dan suara (Schawrts, 1984).

Pada penelitian ini menggunakan serat *glass (E-Glass)*, serat *E-glass* memiliki berbagi keunggulan diantaranya adalah memiliki kekuatan tinggi, biaya rendah, ketahanan kimia yang tinggi, dan sifat isolasi yang baik (F.T Wallenberger, 2010). dan Serat *Carbon*, serat ini juga digunakan dalam penyaringan gas suhu tinggi, ringan, dan kuat, sebagai elektroda dengan luas permukaan yang tinggi dan ketahanan korosi yang sangat baik, dan sebagai komponen anti-statis (Hafiyyan Azmi, 2019).

Pada proses pembuatan dapat dilakukan dengan metode produksi *Hand lay-up*, dapat dikategorikan salah



satu metode produksi komposit yang sederhana dan Adapun Teknik *vacuum bagging* merupakan penyempurnaan dari *hand lay-up*, penggunaan dari proses vakum ini adalah untuk menghilangkan udara yang terperangkap dan kelebihan resin.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui material mana yang lebih kuat, ringan namun mempunyai sifat termal yang baik. Yang mana nanti akan di aplikasikan untuk pembuatan struktur *Stabilizer* pesawat AerO-73K di bagian *ribs* dengan menggunakan *structure core* EPS, XPS dan Kayu Balsa menggunakan serat *Carbon/Epoksi* dan *E-glass/Epoksi* untuk matriks menggunakan resin epoksi bakalite EPR 174.

Salah satu faktor penting yang mempengaruhi karakteristik dari komposit adalah perbandingan fraksi volume serat yang akan menentukan kekuatan, kekakuan dan keuletan material komposit. Fraksi volume serat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Hermawan Judawisastra, 2005):

$$V_c = V_f + V_m + V_v \tag{1}$$

$$1 = V_f + V_m + V_v \tag{2}$$

Dengan mensubstitusikan kedua persamaan diatas (1) dan (2), maka akan didapatkan persamaan fraksi volume sebagai berikut:

$$V_{voids} = 1 - \frac{w_f/\rho_f + \frac{w_{composite}-w_f}{\rho_m}}{w_{composite}/\rho_{composite}} \tag{3}$$

$$V_f = \frac{w_f/\rho_f}{w_f/\rho_f + (1-w_f/\rho_m)} \tag{4}$$

$$V_m = 1 - V_f - V_v \tag{5}$$

Dimana: V_v = Vraksi Voids

ρ_f = Densitas serat (gr/cm³)

W_c = Berat Komposit

ρ_m = Densitas matriks (gr/cm³)

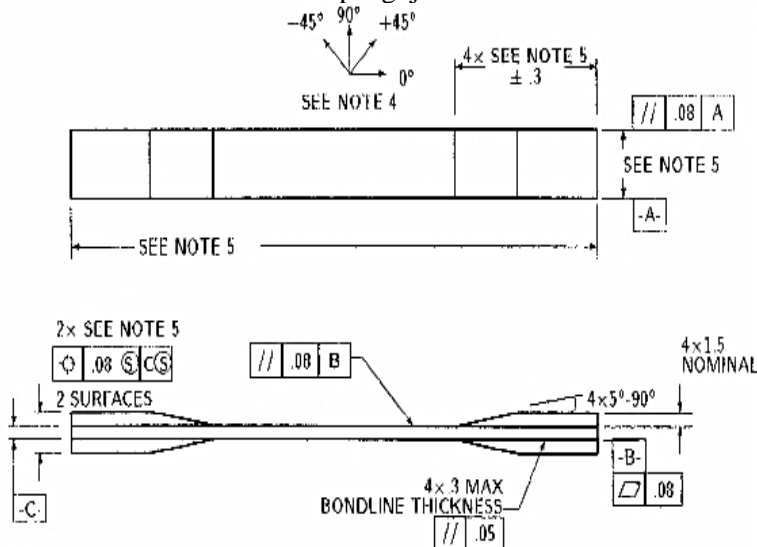
V_f = Vraksi fiber

V_m = Vraksi matriks

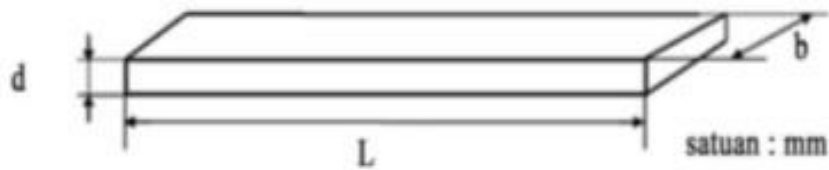
Dimana $w_{composite}$ adalah fraksi massa komposit, w_f adalah fraksi massa serat, $\rho_{composite}$ adalah densitas komposit (gr/cm³), ρ_f adalah densitas serat (gr/cm³), dan ρ_m adalah densitas matriks (gr/cm³).

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan pengujian uji tarik, uji *bending* dan uji densitas untuk material komposit sandwich dengan *structure core* EPS, XPS dan Kayu Balsa menggunakan serat *Carbon/Epoksi* dan *E-Glass/Epoksi* dengan arah serat (0,90°) dengan lapisan 4 *layers*. Pada spesimen uji tarik dibuat sesuai standart ASTM D3039, pengujian uji bending ASTM D 790 dan densitas menggunakan ASTM D792. Pada Gambar 1, dan 2 adalah dimensi ukuran standart pengujian.

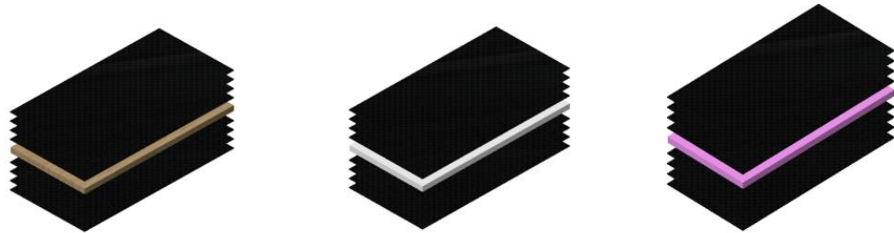


Gambar 1 Dimensi pengujian uji tarik Standart ASTM D 3039

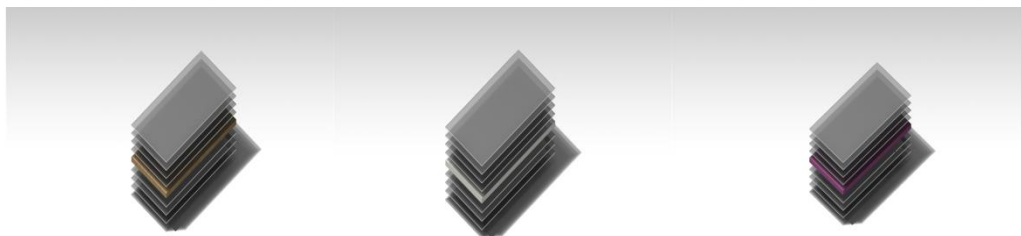


Gambar 2 Dimensi Pengujian Bending Standart ASTM D 790

Metode manufaktur yang digunakan adalah menggabungkan antara *hand lay-up* dan *vaccum bagging*. Proses dari pembuatan *hand lay-up* adalah dengan cara menuangkan resin kedalam serat berbentuk anyaman, rajutan atau kain dengan menggunakan kuas sekaligus meratakan resin. Proses tersebut dilakukan berulang-ulang hingga ketebalan yang diinginkan tercapai. Pada Gambar 3 dan 4 menunjukkan susunan *structure* dari spesimen komposit *sandwich* EPS, XPS dan Kayu Balsa menggunakan serat *Carbon/Epoksi* dan *E-Glass/Epoksi*.



Gambar 3 Komposit *Sandwich* EPS, XPS dan Kayu Balsa Serat *Carbon/Epoksi*



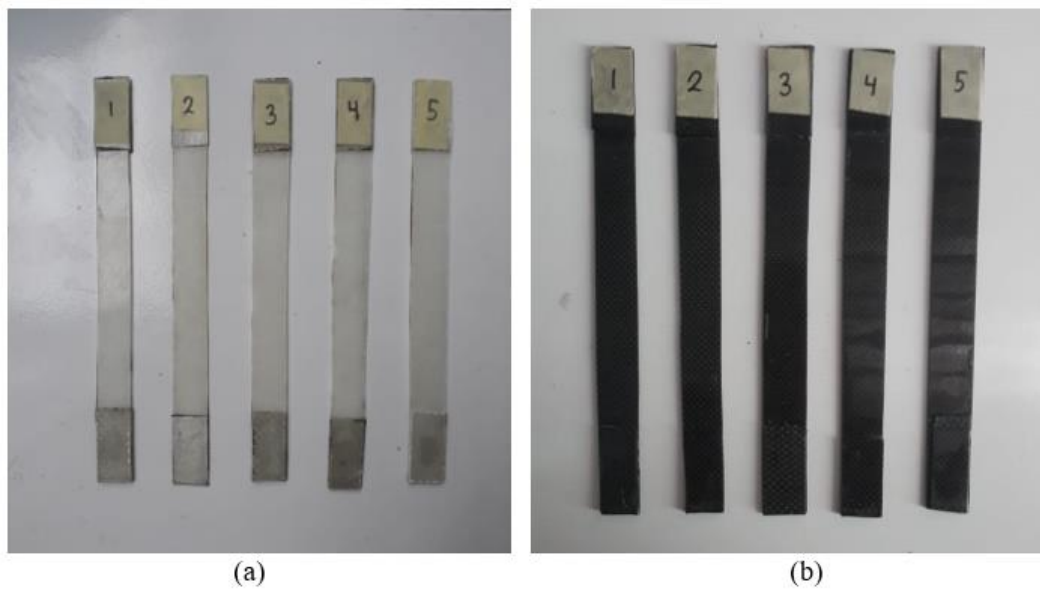
Gambar 4 Komposit *Sandwich* EPS, XPS dan Kayu Balsa serat *E-Glass/Epoksi*

Kemudian setelah dilakukan manufaktur *hand lay-up* dilanjutkan dengan metode *vacuum bagging*. Fungsi dari *vacuum bagging* tersebut adalah untuk menghilangkan udara yang terperangkap dan kelebihan resin. Pada proses ini merupakan meningkatkan sifat mekanik dengan cara meminimalisasi jumlah udara yang terperangkap dalam proses pembuatannya. Selain itu dengan berkurangnya tekanan di dalam *vacuum bag molding* maka tekanan udara atmosferik dari luar akan digunakan sebagai menghasilkan kelebihan resin yang ada dalam laminasi sehingga menghasilkan kandungan *fiber reinforcement* yang tinggi. Pada Gambar 5 Menunjukkan proses *vacuum bagging*.

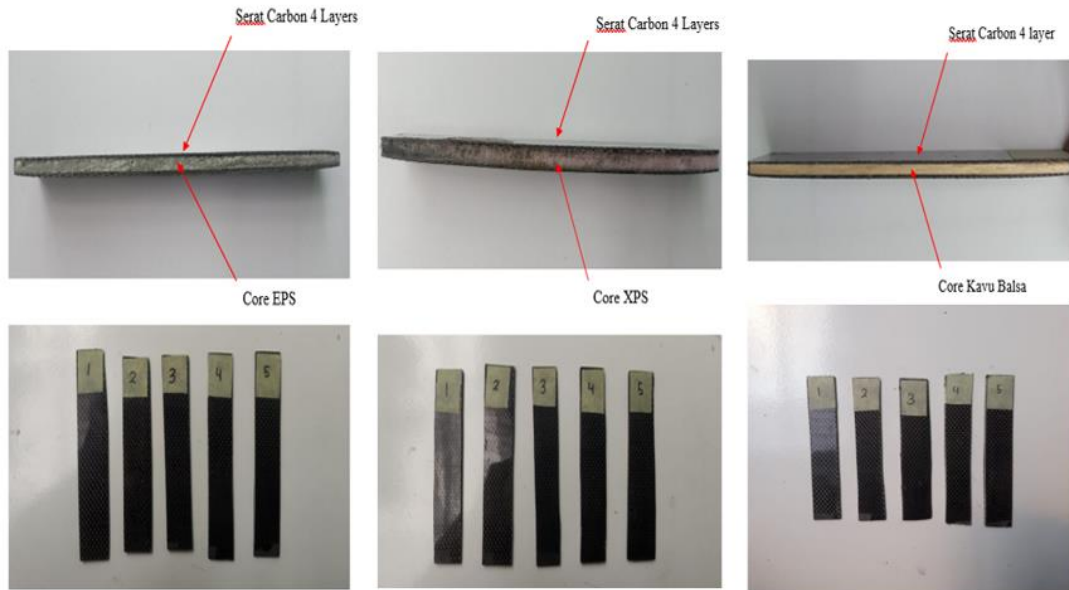


Gambar 5 Proses Vacuum Bagging

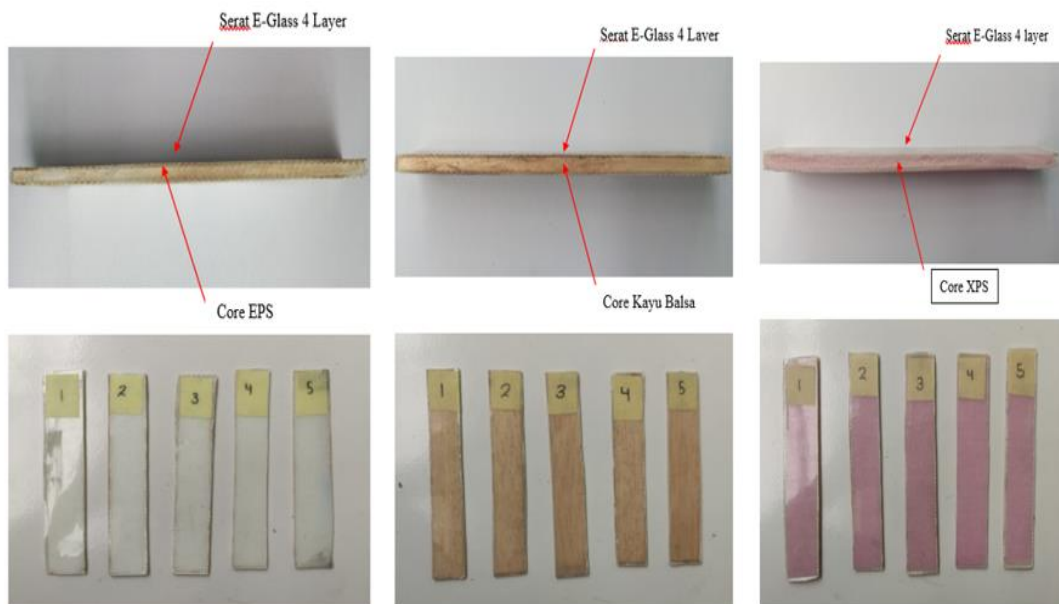
Setelah selesai proses manufaktur maka kemudian spesimen dipotong dengan sesuai standart dimensi pada pengujian. Pada Gambar 6, 7 dan 8 menunjukkan spesimen komposit uji tarik dan uji bending komposit *sandwich* dengan *structure core* EPS, XPS dan Kayu Balsa menggunakan serat *Carbon*/Epoksi dan *E-Glass*/Epoksi.



Gambar 6 Spesimen uji tarik komposit: (a) Serat *E-Glass*/Epoksi dan (b) Serat *Carbon*/Epoksi

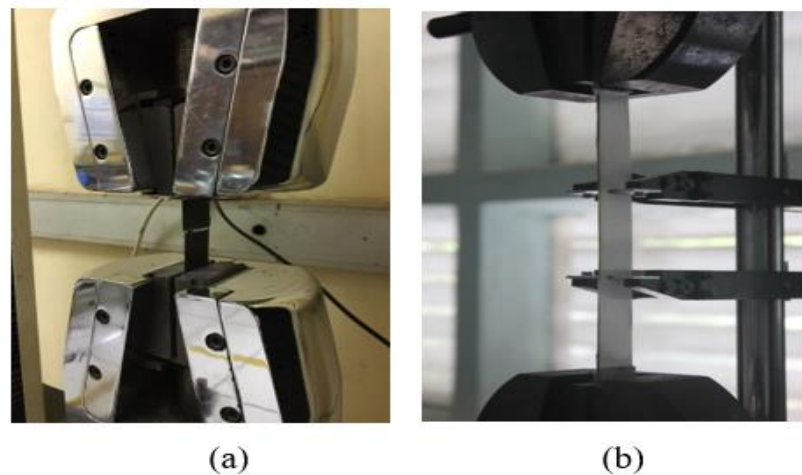


Gambar 7 spesimen uji *bending* komposit *sandwich* dengan *structure core* EPS, XPS dan Kayu Balsa serat *Carbon/Epoksi*



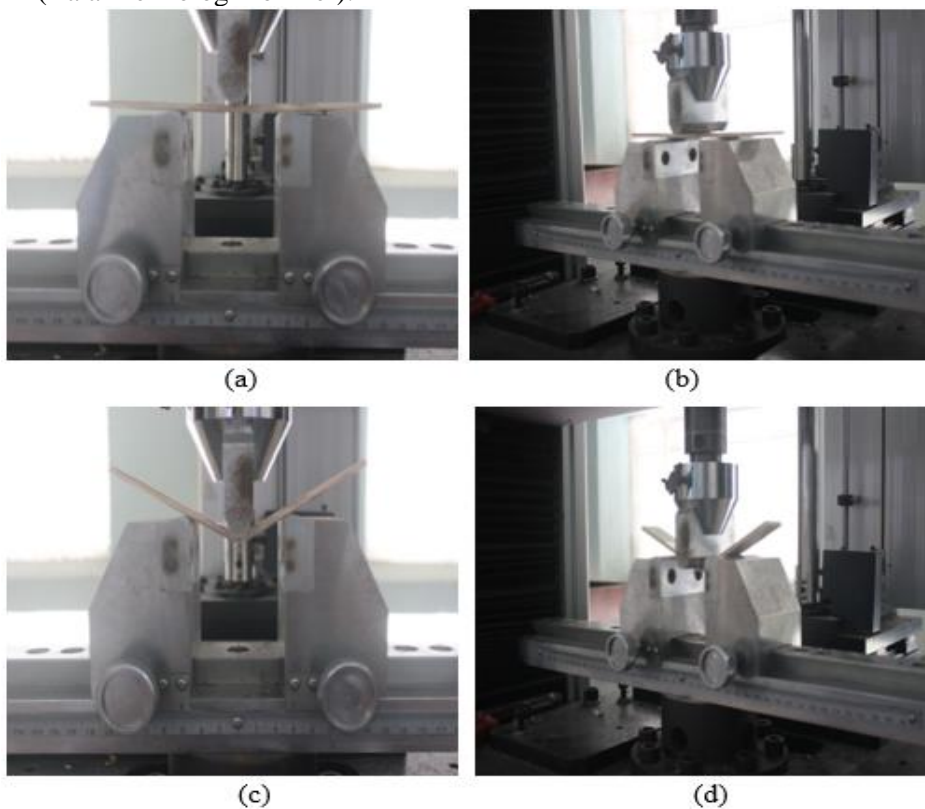
Gambar 8 spesimen uji *bending* komposit *sandwich* dengan *structure core* EPS, XPS dan Kayu Balsa serat *E-Glass/Epoksi*

Setelah spesimen selesai dibuat maka dilakukan pengujian tarik, bending dan uji densitas pada spesimen



Gambar 9 Pengujian Uji Tarik: (a) Serat *Carbon*/Epoksi dan (b) Serat *E-Glass*/Epoksi

Pengujian tarik dilakukan dilaboratorium Teknik produksi B4T (Balai Besar Bahan dan Barang Teknik) dan BTP (Balai Teknologi Polimer).



Gambar 10 Pengujian Uji *Bending*: (a) Tampak Depan, (b) Tampak Samping sebelum Pengujian, (c) Tampak Depan sesudah Pengujian, (d) Tampak Samping sesudah Pengujian.

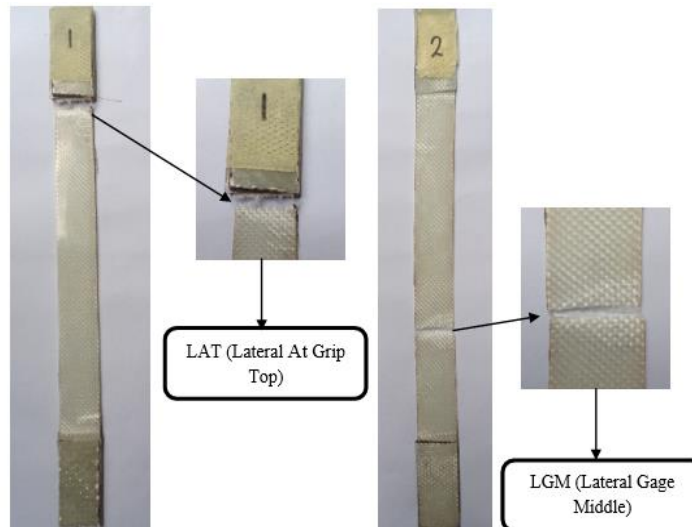
Pengujian *Bending* dilakukan dilaboratorium Teknik produksi B4T (Balai Besar Bahan dan Barang Teknik).



Gambar 11 Pengujian Densitas

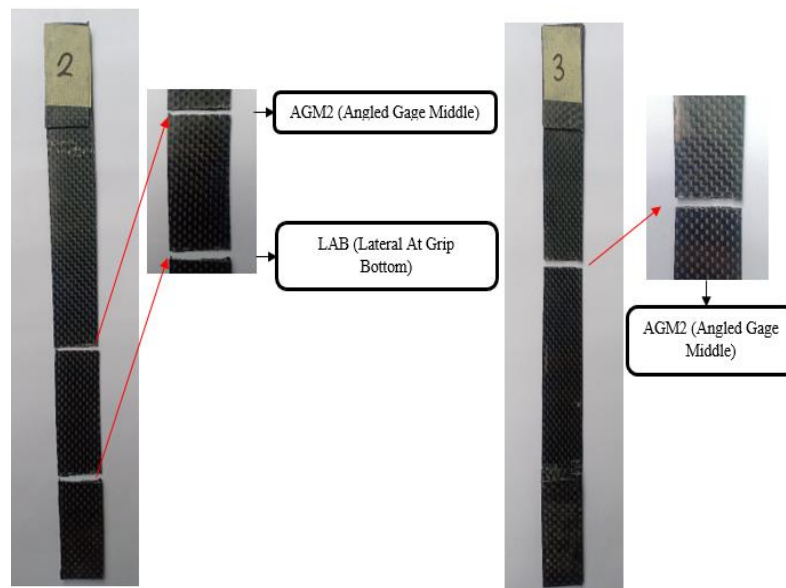
3. Hasil dan Pembahasan

Modus kegagalan spesimen hasil uji tarik serat E-glass/Epoksi dan serat Carbon/Epoksi ditunjukkan Pada Gambar 12 dan 13.



Gambar 12 Modus Kegagalan Uji Tarik Serat E-Glass/Epoksi

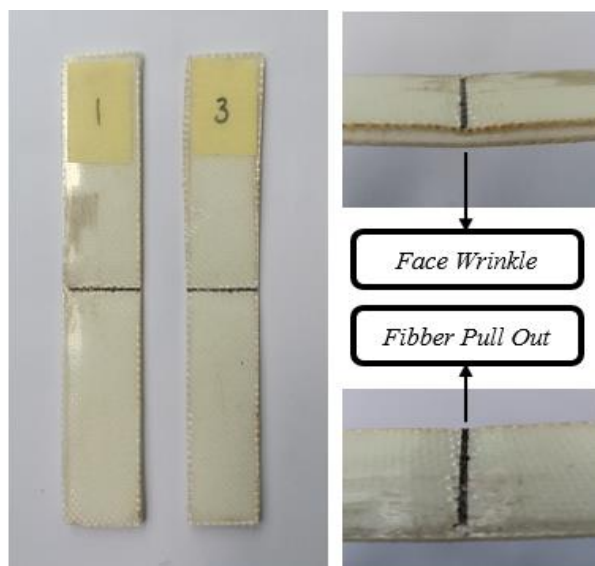
Pada Gambar 12 Jenis patahan yang terjadi yaitu LAT (Lateral At Grip Top). Modus kegagalan yang terdapat pada spesimen 1 adalah *brush type* dimana patahan serat terjadi di sembarang tempat, diiringi dengan kerusakan matriks dan tidak mampu menahan konsentrasi pada ujung serat sehingga serat dapat terlepas dari matriks (*debonding*), dan juga mengakibatkan *fiber pullout*, juga terjadi *delamination*. Dan jenis patahan yang terjadi LGM (Lateral Gage Middle). yang dimana kerusakan terjadi karena ketebalan resin yang kurang rata pada setiap sisinya, terdapat *void* yang terperangkap di dalam serat sehingga matriks dan serat tidak menempel.



Gambar 13 Modus Kegagalan Uji Serat *Carbon*/Epoksi

Pada Gambar 13 Jenis patahan yang terjadi LAB (Lateral At Grip Bottom) dan AGM 2 (Angled Gage Middle). Modus kegagalan yang terdapat pada spesimen adalah *debonding* dan *fiber pull out*, dimana matriks tidak mampu menahan konsentrasi beban yang timbul di ujung serat yang patah. Kerusakan yang ada pada spesimen 2 dikarenakan dari mesin uji tarik terlalu kencang menjepit Grip (tab) sehingga dapat terjadinya dua *fracture*.

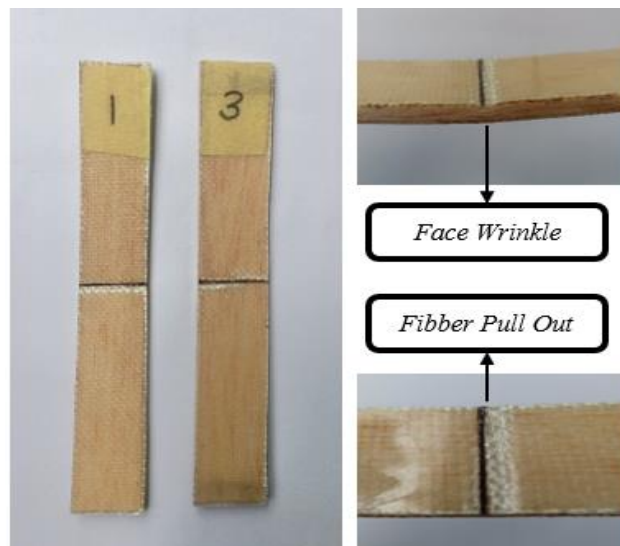
Modus kegagalan komposit sandwich EPS, XPS dan Kayu Balsa serat *E-glass*/Epoksi Pada Gambar 14, 15 dan 16.



Gambar 14 Komposit Sandwich EPS *E-Glass*/Epoksi Setelah Pengujian *Bending*



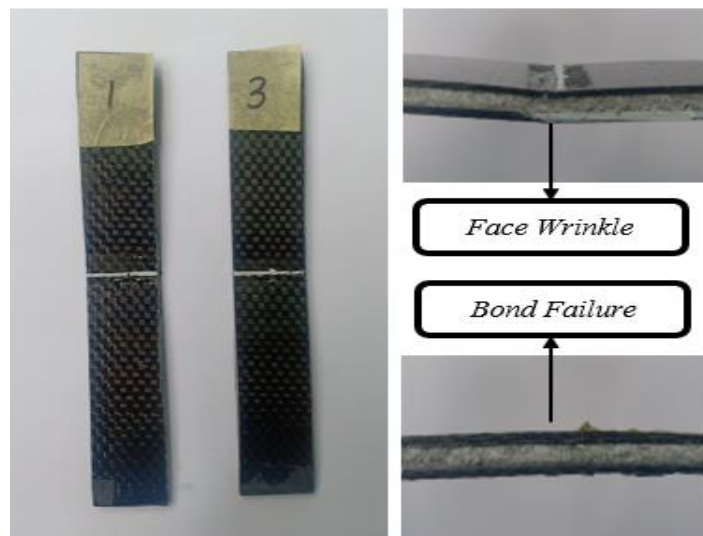
Gambar 15 Komposit *Sandwich* XPS *E-Glass/Epoksi* Setelah Pengujian *Bending*



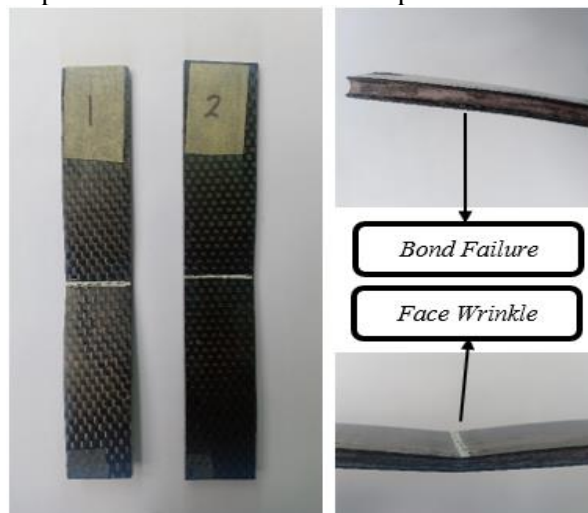
Gambar 16 Komposit *Sandwich* Kayu Balsa *E-Glass/Epoksi* Setelah Pengujian *Bending*

Terlihat Pada Gambar di atas menunjukkan bahwa spesimen uji ini rata-rata mengalami modus kegagalan kerusakan *fiber pullout* sehingga serat terlepas dari matriks serta kondisi serat tercabut dan serat bersih dari matriks nya, terjadi karena ketika ikatan antara matriks dan serat melemah seiring ketika beban yang diberikan bertambah. Kegagalan didominasi oleh lemahnya kekuatan *core* yang digunakan. Adapun juga modus kegagalan *indentation/face wrinkle* yang muncul pada komposit *sandwich* dengan *core* yang relatif tebal jika dibandingkan dengan ketebalan *skin* dan kekuatan *core* yang sangat rendah.

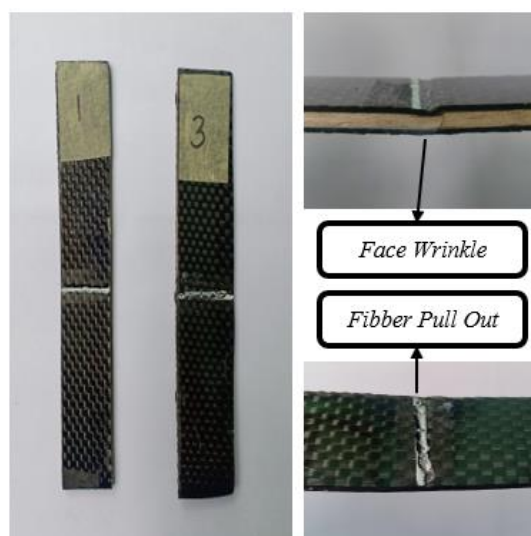
Modus kegagalan komposit sandwich EPS, XPS dan Kayu Balsa serat *Carbon/Epoksi* Pada Gambar 17, 18 dan 19.



Gambar 17 Komposit *Sandwich* EPS Carbon/Epoksi Setelah Pengujian *Bending*



Gambar 18 Komposit *Sandwich* XPS Carbon/Epoksi Setelah Pengujiang *Bending*



Gambar 19 Komposit *Sandwich* Kayu Balsa Carbon/Epoksi Setelah Pengujian *Bending*

Terlihat Pada Gambar di atas menunjukkan bahwa spesimen uji ini rata-rata mengalami modulus kegagalan kerusakan *fiber pullout* sehingga serat terlepas dari matriks serta kondisi serat tercabut dan serat bersih dari matriks nya, terjadi karena ketika ikatan antara matriks dan serat melemah seiring ketika beban yang diberikan bertambah. juga modulus kegagalan *bond failure* ditunjukkan oleh terlepasnya *core* dengan *skin* karena tidak mampu menahan beban geser pada *interface* dan juga modulus kegagalan *indentation/face wrinkle* yang muncul pada komposit *sandwich* dengan *core* yang relatif tebal jika dibandingkan dengan ketebalan *skin* dan kekuatan *core* yang sangat rendah. Kegagalan ini menyebabkan defleksi yang lebih besar dibandingkan dengan model kegagalan lainnya.

Pada Tabel 1 dan 2 menunjukkan hasil pengujian uji tarik spesimen serat *E-glass/Epoksi* dan serat *Carbon/Epoksi*.

Tabel 1 Rata-rata Maksimum Load dan *Tensile Strength* Komposit Serat *E- Glass/Epoksi*

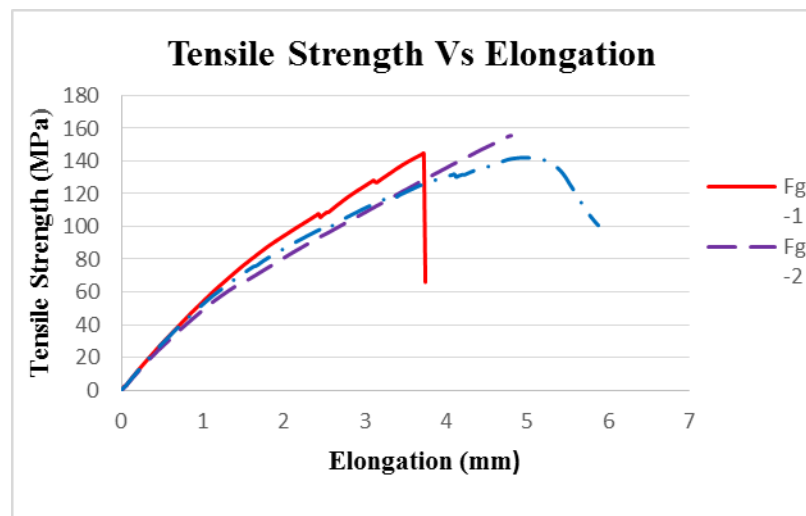
Spesimen Uji	Maksimum Load (N)	Luas Penampang (mm ²)	Elongation (mm)	Tensile Strength (MPa)
Fg-1	3,737	25,81	3,744	144,77
Fg-2	4,358	28	4,799	155,58
Fg-3	4,064	28,6	7,188	142,13
Rata-Rata				147,49

Tabel 2 Rata-rata Maksimum Load dan *Tensile Strength* Komposit Serat *Carbon/Epoksi*

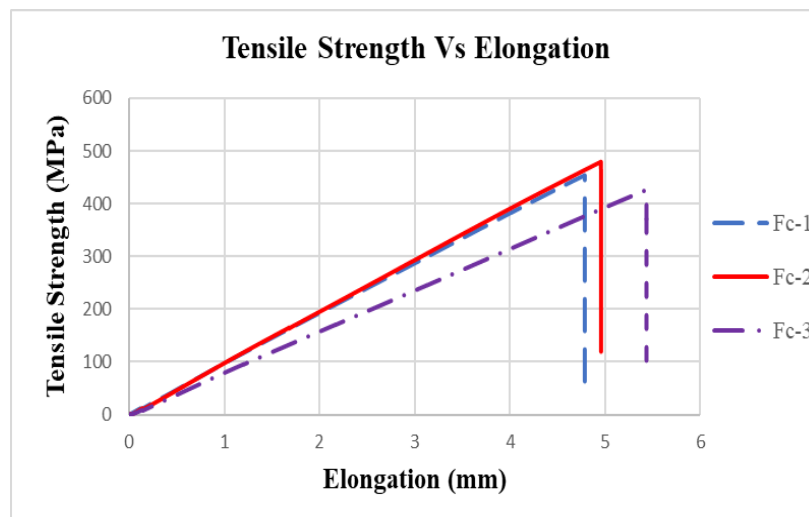
Spesimen Uji	Maksimum Load (N)	Luas Penampang (mm ²)	Elongation (mm)	Tensile Strength (MPa)
Fc-1	4,785	25,01	4,785	453,65
Fc-2	4,955	24,62	4,955	479,20
Fc-3	5,433	26,18	5,433	425,98
Rata-Rata				452,94

Pada Tabel 1. menunjukkan bahwa besarnya kekuatan tarik rata-rata pengujian tarik spesimen komposit serat *E-Glass/ Epoksi* sebesar, 147,49 MPa, kekuatan tarik minimum sebesar 142,13 MPa dan maksimum adalah 155,58 MPa. Sedangkan pada Tabel 2. menunjukkan bahwa besarnya kekuatan tarik rata-rata pengujian tarik spesimen komposit serat *Carbon/Epoksi* sebesar 452,94 MPa, kekuatan tarik minimum sebesar 425,98 MPa dan maksimum adalah 479,20 MPa.

Sedangkan pada Gambar 20, dan 21. Masing - masing menunjukkan grafik hasil pengujian tarik spesimen komposit serat *E-glass/Epoksi* dan *Carbon/Epoksi* dengan arah serat (0,90°).

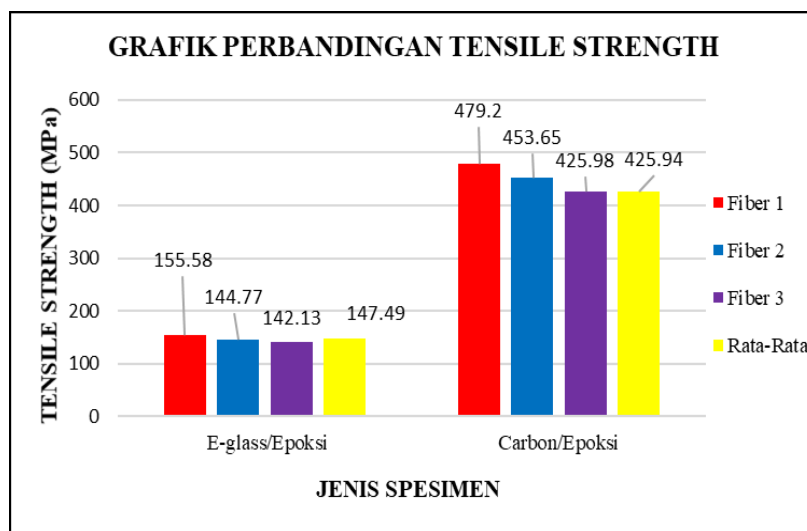


Gambar 20 Grafik Perbandingan *Tensile Strength* dan *Elongation* Komposit Serat *E-Glass*/Epoksi (0,90°)



Gambar 21 Grafik Perbandingan *Tensile Strength* dan *Elongation* Komposit Serat *Carbon*/Epoksi (0,90°)

Dari data diatas, maka didapatkan grafik perbandingan kekuatan tarik komposit serat *E-Glass*/epoksi dan serat *Carbon*/epoksi seperti yang di tunjukkan Pada Gambar 22 sebagai berikut:



Gambar 22 Grafik Perbandingan Tensile Strength Komposit Serat E-Glass/Epoksi dan Carbon/Epoksi

Berdasarkan Gambar 22 dapat dilihat grafik dari kedua pengujian *tensile* tersebut diatas maka dapat disimpulkan bahwa kekuatan *tensile* yang paling tinggi ada pada komposit serat *Carbon/epoksi*, jika dirata-ratakan yaitu sebesar 452,94 MPa dan hasil terendah ada pada komposit serat *E-glass/epoksi* jika dirata-ratakan yaitu sebesar 147,49 MPa. Dari grafik perbandingan diatas dapat dikatakan bahwa komposit serat *Carbon/epoksi* lebih kuat dibandingkan dengan serat *E-glass/epoksi*. Nilai kekuatan *tensile* dipengaruhi oleh maksimum beban (load) yang diberikan dan dimensi dari setiap spesimen, serta jenis dari *fibre orientation* yang digunakan menyebabkan peningkatan maupun penurunan ketahanan material komposit terhadap kekuatan *tensile*.

Pada Tabel 3, 4 dan 5 menunjukkan data hasil pengujian grafik load dan displacement komposit *sandwich* EPS, XPS dan Kayu Balsa serat *Carbon/epoksi*

Tabel 3 Hasil Pengujian *Bending* EPS Serat *Carbon/Epoksi*

Spesimen Uji	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Maksimum Load (N)	Bending Strength (MPa)
UBE 1	29,02	4,11	124,22	22,80
UBE 2	24,57	4,71	99,94	16,05
UBE 3	25,55	4,86	85,36	12,73
Rata-Rata	26,38	4,56	103,17	17,19

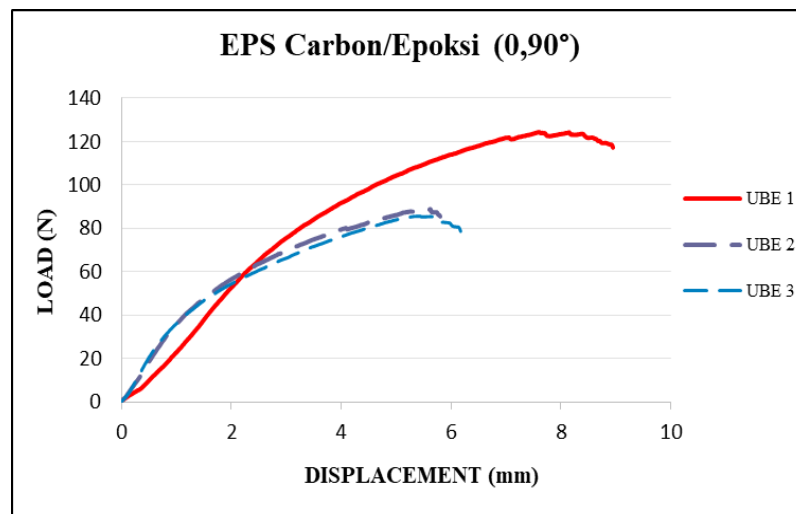
Tabel 4 Hasil Pengujian *Bending* XPS Serat *Carbon/Epoksi*

Spesimen Uji	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Maksimum Load (N)	Bending Strength (MPa)
UBE 1	25,53	3,98	66,04	14,69
UBE 2	29,49	4,61	81,37	11,68
UBE 3	29,35	4,83	115,68	15,20
Rata-Rata	28,12	4,80	87,70	13,86

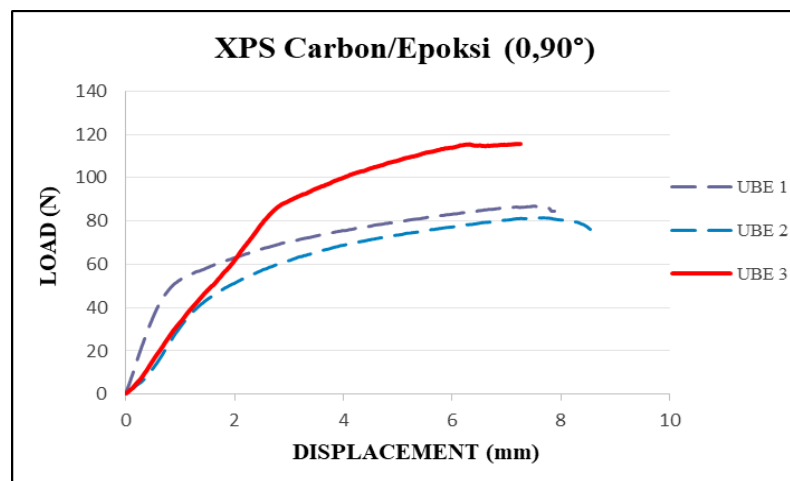
Tabel 5 Hasil Pengujian *Bending* Kayu Balsa Serat *Carbon/Epoksi*

Spesimen Uji	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Maksimum Load (N)	Bending Strength (MPa)
UBE 1	28,67	3,7	137,28	31,47
UBE 2	23,84	4,28	212,53	43,80
UBE 3	25,66	4,24	286,44	55,88
Rata-Rata	26,05	4,28	212,08	43,72

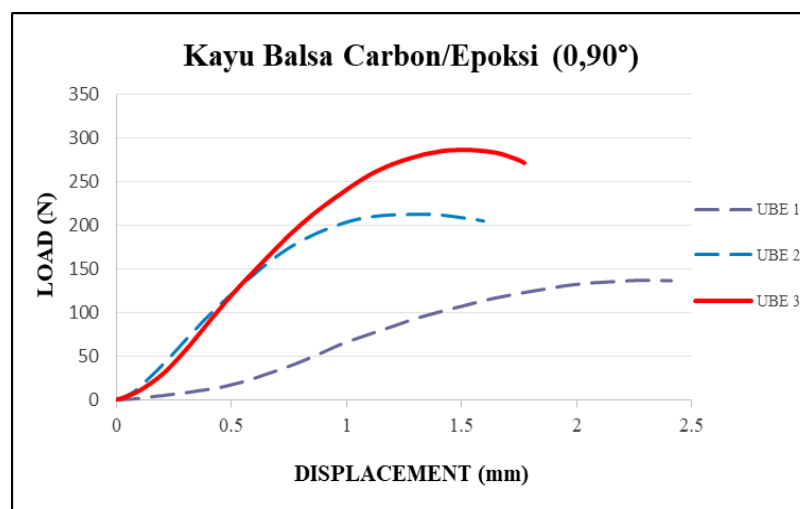
Pada Gambar 23, 24 dan 25 di bawah ini adalah grafik load dan displacement pada masing-masing spesimen komposit *sandwich Carbon/Epoksi* sebagai berikut:



Gambar 23 Load dan Displacement EPS *Carbon/Epoksi*

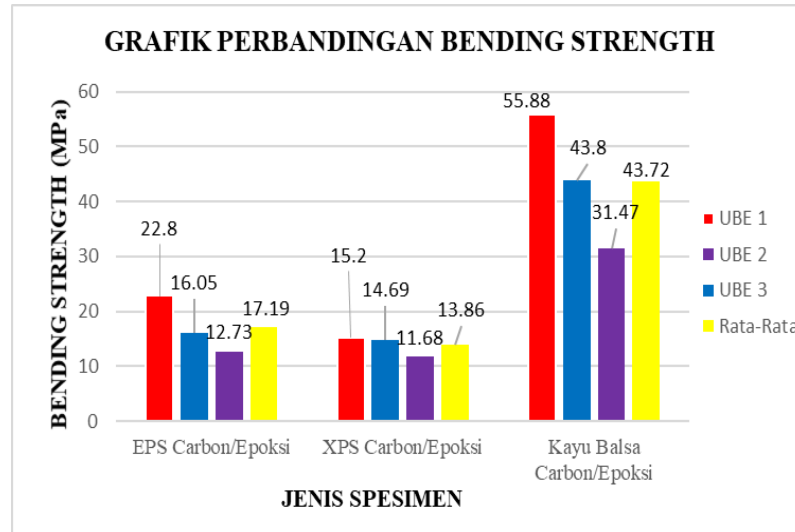


Gambar 24 Load dan Displacement XPS *Carbon/Epoksi*



Gambar 25 Load dan Displacement Kayu Balsa *Carbon/Epoksi*

Dari data diatas, maka didapatkan grafik perbandingan kekuatan *bending* komposit *sandwich* EPS, XPS dan Kayu Balsa serat *Carbon/Epoksi* pada Gambar 26 sebagai berikut:



Gambar 26 Grafik perbandingan kekuatan bending komposit *sandwich* EPS, XPS dan Kayu Balsa Serat *Carbon/Epoksi*

Pada Gambar 26 dapat dilihat grafik dari ketiga pengujian tersebut diatas maka dapat disimpulkan bahwa kekuatan *bending* yang paling tinggi ada pada komposit *sandwich* Kayu Balsa *carbon/epoksi* jika dirata-ratakan yaitu sebesar 43,72 MPa dan hasil terendah ada pada komposit *sandwich* XPS *carbon/epoksi* jika dirata-ratakan yaitu sebesar 13,86 MPa. Dari grafik perbandingan diatas dapat dikatakan bahwa komposit *sandwich* Kayu Balsa *carbon/epoksi* lebih kuat dibandingkan dengan komposit *sandwich* XPS *carbon/Epoksi* maupun EPS *carbon/epoksi*.

Pada Tabel 6, 7 dan 8 menunjukkan data hasil pengujian grafik load dan displacement komposit *sandwich* EPS, XPS dan Kayu Balsa serat *E-glass/Epoksi*

Tabel 6 Hasil Pengujian *Bending* EPS Serat *E-Glass/Epoksi*

Spesimen Uji	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Maksimum Load (N)	Bending Strength (MPa)
UBE 1	30,44	3,45	51,94	12,90
UBE 2	24,74	3,49	39,80	11,88
UBE 3	29,01	3,81	39,59	8,46
Rata-Rata	28,06	3,44	43,78	11,08

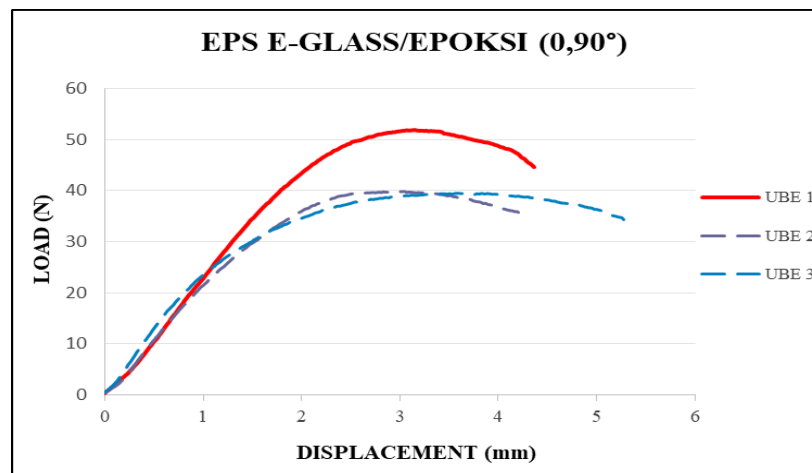
Tabel 1 Hasil Pengujian *Bending* XPS Serat *E-Glass/Epoksi*

Spesimen Uji	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Maksimum Load (N)	Bending Strength (Mpa)
UBE 1	26,32	4,57	41,81	6,84
UBE 2	27,35	5,08	45,04	5,74
UBE 3	26,03	4,02	36,67	7,41
Rata-Rata	26,56	4,55	41,17	6,66

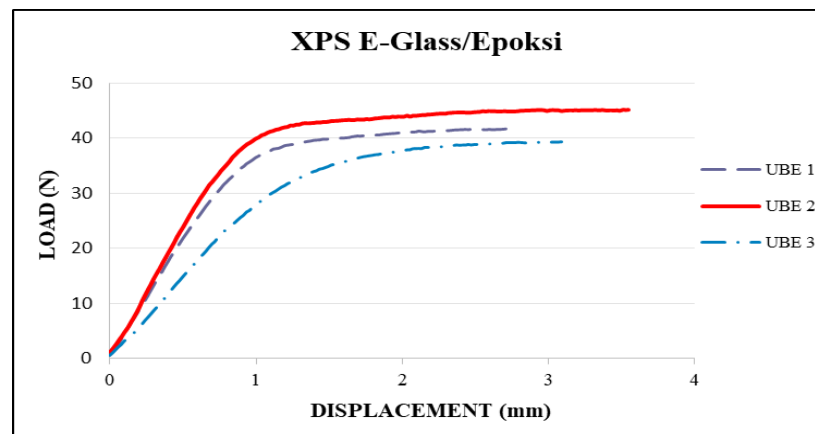
Tabel 2 Hasil Pengujian *Bending* Kayu Balsa Serat *E-Glass/Epoksi*

Spesimen Uji	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Maksimal Load (N)	Bending Strength (MPa)
UBE 1	24,59	3,81	123,68	31,18
UBE 2	26,32	3,57	122,74	32,93
UBE 3	25,79	3,89	199,13	45,92
Rata-Rata	25,56	3,75	148,52	36,68

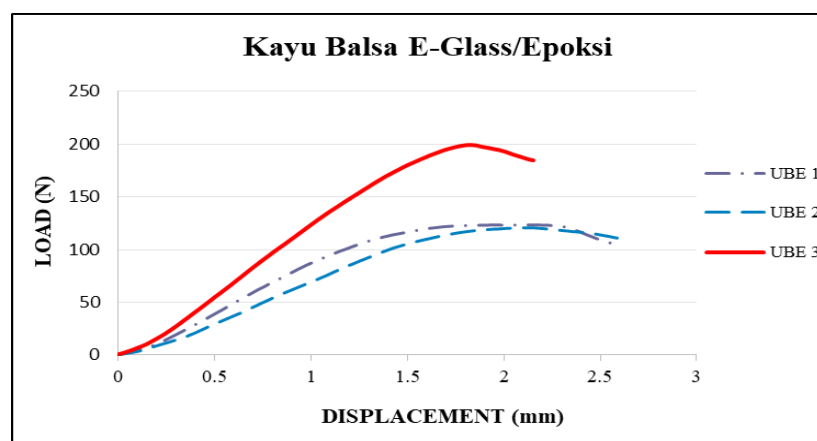
Pada Gambar 27, 28 dan 29 di bawah ini adalah grafik load dan displacement pada masing-masing spesimen komposit sandwich *E-glass*/Epoksi sebagai berikut:



Gambar 27 Load dan Displacement EPS *E-glass*/Epoksi

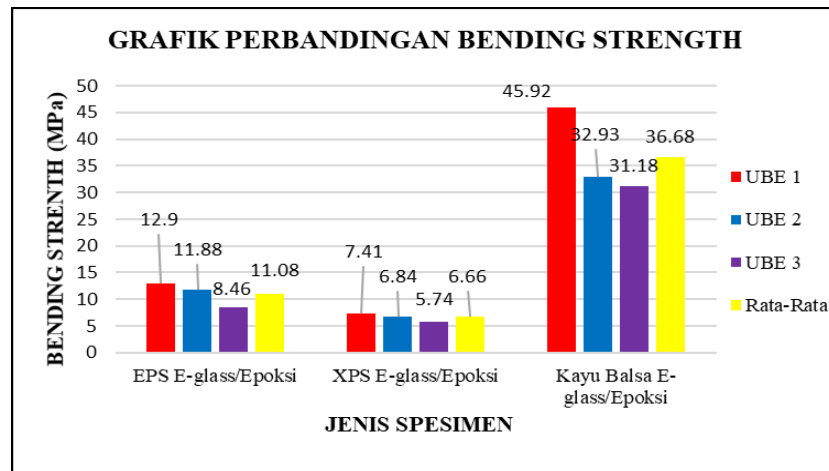


Gambar 28 Load dan Displacement XPS *E-glass*/Epoksi



Gambar 29 Load dan Displacement Kayu Balsa *E-glass*/Epoksi

Dari data diatas, maka didapatkan grafik perbandingan kekuatan *bending* komposit sandwich EPS, XPS dan Kayu Balsa *E-glass*/Epoksi seperti yang ditunjukkan Pada Gambar 30 sebagai berikut:



Gambar 30 Grafik perbandingan kekuatan *bending* komposit *sandwich* EPS, XPS dan Kayu Balsa Serat *E-glass/Epoksi*

Berdasarkan Gambar 30 dapat dilihat grafik dari ketiga pengujian tersebut diatas maka dapat disimpulkan bahwa kekuatan *bending* yang paling tinggi ada pada komposit *sandwich* Kayu Balsa *E-glass/epoksi* jika dirata-ratakan yaitu sebesar 36,68 MPa dan hasil terendah ada pada komposit *sandwich* XPS *E-glass/epoksi* jika dirata-ratakan yaitu sebesar 6,66 MPa. Dari grafik perbandingan diatas dapat dikatakan bahwa komposit *sandwich* Kayu Balsa *E-glass/epoksi* lebih kuat dibandingkan dengan komposit *sandwich* XPS *E-glass/epoksi* maupun EPS *E-glass/epoksi*.

Pada Tabel 9, 10 dan 11 menunjukkan data-data setelah pengujian densitas pada spesimen tersebut
 Pada Tabel 9 Komposit *Sandwich* EPS, XPS, dan Kayu Balsa Serat *Carbon/Epoksi*

Spesimen	Symbol	EPS	XPS	Kayu Balsa
Massa di Udara	$M_a = g$	1,33	0,89	0,91
Massa di Air	$M_1 = g$	1,04	1,08	0,70
water	g/cm^3	0,98	0,98	0,98
Density	g/cm^3	0,56	0,45	0,57

Pada Tabel 10 Komposit *Sandwich* EPS, XPS dan Kayu Balsa Serat *E-Glass/Epoksi*

Spesimen	Symbol	EPS	XPS	Kayu Balsa
Massa di Udara	$M_a = g$	0,89	1,19	1,30
Massa di Air	$M_1 = g$	0,84	1,20	0,84
water	g/cm^3	0,98	0,98	0,98
Density	g/cm^3	0,50	0,49	0,59

Pada Tabel 11 Komposit Serat *Carbon/Epoksi* dan *E-Glass/Epoksi*

Spesimen	Symbol	Carbon	E-Glass
Massa di Udara	$M_a = g$	1,60	1,11
Massa di Air	$M_1 = g$	0,38	0,36
water	g/cm^3	0,98	0,98
Density	g/cm^3	1,29	1,45

Berdasarkan penjelasan diatas dapat diambil kesimpulan, bahwa komposit serat Carbon/Epoksi lebih kuat dibandingkan dengan komposit serat E-glass/Epoksi untuk pengujian tarik dan bending. Penelitian ini digunakan sebagai material pengembangan dan diaplikasikan di bagian struktur *ribs* pesawat UAV AerO-73K yang memiliki misi untuk pengangkut obat-obatan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Proses manufaktur yang digunakan adalah menggabungkan metode *hand lay-up* dan *Vacuum bagging*. Dimana ketika proses manufaktur ukuran kaca harus sama dengan ukuran spesimen, agar kaca tidak pecah saat proses manufaktur.
2. Dari hasil perbandingan pengujian tarik kekuatan tertinggi ada pada komposit serat *Carbon/Epoksi* yaitu 479,20 MPa, untuk nilai terendah ada pada serat *E-glass/Epoksi* yaitu 155,58 MPa. Perbandingan kekuatan *bending* berbahan *Carbon/Epoksi* dan *E-glass/Epoksi* dengan menggunakan *sandwich structure*, nilai rata-rata tertinggi yang didapat ada pada spesimen Kayu Balsa *Carbon/Epoksi* sebesar 43,72 MPa dan yang terendah ada pada XPS *Carbon/Epoksi* yaitu 13,86 MPa, untuk nilai rata-rata tertinggi ada pada spesimen kayu Balsa *E-glass/Epoksi* adalah 36,68 MPa dan nilai yang terendah ada pada spesimen XPS *E-glass/Epoksi* yaitu 6,66 MPa.
3. Pada penelitian ini kerusakan yang terjadi pada komposit setelah dilakukannya uji tarik adalah *debonding* (terkelupasnya serat dari matriks), *fiber pull out* (serat tercabut dari matriks pada ujung patahan), *delaminasi* (terlepasnya lamina satu dengan lamina lainnya), dan *brush type* (ujung patahan yang terjadi berbentuk seperti sikat). Serta jenis patahan yang terjadi yaitu LGM (*Lateral Gage Middle*), LAT (*Lateral At Grip Top*), LAB (*Lateral At Grip Bottom*) dan AGM 2 (*Angeled Gage Middle*). Adapun penelitian untuk kerusakan uji *bending* adalah *fiber pull out* dan *indentation/face wrinkle*.
4. Hasil uji densitas yang didapat untuk spesimen komposit *Sandwich* EPS, XPS dan Kayu Balsa dengan serat *Carbon/Epoksi* yaitu 0,56, 0,45, 0,57 gr/cm³ dan untuk komposit *sandwich* EPS, XPS dan Kayu Balsa dengan serat *E-Glass/Epoksi* yaitu 0,50, 0,49, 0,59 gr/cm³.

5. Daftar Pusaka

- [1] Irpan hidayat, 2011. *Aplikasi Geofom Sebagai Material Timbunan Di Atas Tanah Lunak*.
- [2] Hafiyyan Azmi, 2019. *Kekuatan Tarik Serat Karbon Dibuat Menggunakan Proses No Oven No Autoclave Metode Ultraviolet Curing*. Universitas Islam Indonesia.
- [3] ASTM D 790-02, 2002. *Standart Test Method for Flexural Properties of Unreinforce and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*, an Amaerican National Standard
- [4] ASTM D 3039/3039 M. 2002. *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. Annual Book of ASTM Standards. United State* : ASTM International
- [5] Schwartz, Mel M. 1984. *Composite Materials Handbook. McGraw-Hill Book Company. United Stated of America*.
- [6] Hermawan Judawisastra, 2015. *The Basics Composite Design & Micromechanics Materials Engineering Study Program, Mechanical Engineering Department, ITB*.
- [7] Kotlarewski, Nathan J., dkk.. 2015. *Mechanical Properties of Papua New Guinea Balsa Wood. Eur. J. Wood Prod.* (2016) 74:83–89, Berlin.