

## **BENDING AFTER IMPACT KOMPOSIT SANDWICH BERPENGUAT SERAT BAMBU-FIBERGLASS DENGAN CORE POLYURETHANE RIGID FOAM**

**Agus Dwi Catur<sup>1)</sup>, Sinarep<sup>2)</sup>, Paryanto D.S.<sup>3)</sup>, Achmad Zainuri<sup>4)</sup>, Supriyadi<sup>5)</sup>**  
<sup>1,2,3,4,5</sup>Fakultas Teknik Universitas Mataram, Jl Majapahit 62 Mataram 83000  
email: agus\_dc1@yahoo.co.id

### **ABSTRACT**

*Impact of the composite sandwich made of materials that become defect, how defects after impact in material need to be examined. Is that defected composites and wick still has the strength to remain in use?, then the bending after impact strength testing must be done to answer these questions. Composite sandwich with bamboo fiber-fiber glass reinforcement and with a core of 25mm rigid polyurethane foam sheet was produced. Composite sandwich made with two composite sandwich laminate as skin flanking the core. Laminated composite sandwich in this study varied number of layers of reinforcing fibers and type of fiber. Specimens subjected to drop weight impact with varying energy then defect researched and bending after impact strength tested.*

*Defects formed on the composite experiencing a drop weight impact loads are: delamination, basin and through hole. The more layers of reinforcing fibers in the composite skin causing more shallow basin formed by the residual impact. The greater the impact energy causes greater depth of residual basin. Composite sandwich still has the bending strength after impact. Residual bending strength decreases with increasing impact energy imposed on the composite.*

**Keywords:** composite sandwich, bamboo, bending after impact, polyurethane.

### **PENDAHULUAN**

Bahan konstruksi untuk perahu dibutuhkan bahan yang ringan setara dengan kayu atau lebih ringan daripada kayu tetapi tetap kuat dan kaku seperti komposit *polyester-fiberglass*. Sifat bahan yang demikian diperoleh pada komposit dengan struktur sandwich atau lebih dikenal dengan nama komposit *sandwich*. Konstruksi sandwich yang konsisten diterapkan terdiri dari material *core* yang diapit oleh sepasang kulit. Konstruksi ini diterapkan ketika diharapkan kekakuan bending yang memadai dengan berat yang relatif ringan.

Prinsip struktur *sandwich* adalah menggabungkan kulit komposit dengan modulus elastisitas tinggi dengan *core* komposit yang ringan sehingga diperoleh kombinasi bahan yang kaku, kuat tetapi ringan.

Komposit *polyester-fiberglass* yang tipis dapat digunakan sebagai kulit komposit *sandwich*. Namun demikian *fiberglass* yang merupakan serat sintetis mempunyai kelemahan, selain berat jenisnya lebih tinggi juga tidak baik untuk kesehatan. *Fiberglass* yang terlepas dan terhirup dapat menyebabkan iritasi di hidung, tenggorokan, kesulitan bernapas, batuk, dan suara serak. *Fiberglass* juga dapat menyebabkan iritasi kulit dan mata [1].

Bambu merupakan salah satu alternatif yang cocok untuk mengurangi atau bahkan menggantikan serat buatan seperti *fiberglass* dan banyak tersedia di Indonesia. Strip bambu dapat didesain menjadi bentuk yang mempunyai kekuatan yang lebih tinggi dengan membuat menjadi kompositnya. Dengan merekatkan strip-strip bambu menjadi bentuk komposit ini diharapkan mampu memberikan kekuatan yang tinggi dan mempunyai kenampakan yang menarik, sehingga dapat menggantikan peran komposit *polyester-fiberglass* untuk kulit komposit *sandwich*.

Umumnya perahu nelayan tidak dilengkapi dengan peralatan canggih pendeteksi karang. Saat beroperasi di laut dangkal mungkin saja terjadi benturan antara lambung perahu dengan karang yang menyebabkan lambung menjadi bocor. Apabila perahu terbuat dari komposit *fiberglass* saja maka dapat dipastikan perahu akan penuh dengan air laut dan tenggelam.

Komposit *fiberglass* perlu digabungkan dengan suatu material yang sangat ringan sehingga menjadi material dengan berat jenis yang lebih kecil daripada berat jenis air. Komposit *sandwich* dalam hal ini merupakan komposit yang terdiri dari *core* yang diapit oleh dua kulit yang kuat, *core* inilah yang membuat komposit memiliki berat jenis yang kecil.

Sebuah perahu yang melaju mempunyai energi kinetik. Ketika lambung perahu membentur maka energi yang dimilikinya diubah menjadi energi tumbukan yang merusak bagian yang terbentur. Benturan pada bahan membuat bahan itu menjadi cacat, seberapa cacat bahan pasca benturan perlu diteliti. Apabila bahan perahu mempunyai berat jenis lebih kecil daripada air laut maka perahu yang telah terbentur tetap akan terapung. Namun permasalahannya adalah apakah bahan yang sudah cacat masih mempunyai kekuatan untuk tetap dipakai, maka pengujian kekuatan bending pasca benturan harus dilakukan untuk menjawab pertanyaan tersebut.

### TINJAUAN PUSTAKA

Bambu merupakan tanaman yang mempunyai laju pertumbuhan yang cepat sehingga ketersediaannya dapat dipenuhi secara cepat. Bambu juga mampu menyerap karbon dioksida yang cepat sehingga dapat mengurangi polusi udara, di samping itu kandungan karbon cukup besar di dalam kayunya dapat memberikan kekuatan. Kekuatan bambu - dalam bentuk strip lebih kuat daripada dalam bentuk bambu utuh [2,3]. sehingga pemanfaatan bambu dari strip perlu lebih dioptimalkan.

Pembuatan barang dari strip bambu sudah dilakukan dari zaman dahulu, karena sifat-sifat bambu yang mampu dibelah menjadi sangat tipis atau sesuai keinginan dengan kekuatan yang tinggi. Bambu mempunyai kekuatan tekan yang tinggi 47 – 93,6 MPa pada arah longitudinal dan modulus elastisitas bending (MOE) dapat mencapai 7,7 - 19,6 GPa [4].

Penggunaan bambu yang mempunyai nilai seni adalah produk dari strip yang biasanya dibuat anyaman untuk berbagai macam barang rumah tangga, dinding, dan furniture. Anyaman bambu tersebut mulai disukai karena mempunyai nilai seni, ramah lingkungan juga ramah terhadap manusia [5]. Komposit polimer yang diperkuat dengan anyaman bambu adalah bahan yang terdiri dari lapisan-lapisan strip anyaman bambu yang disatukan dengan resin.

Komposit *sandwich* yang umum diterapkan pada komposit matrik *polymer* adalah konsep struktur panel yang terdiri dari dua laminat paralel tipis mengapit *core*. Prinsip struktur *sandwich* adalah menggabungkan kulit komposit dengan modulus elastisitas tinggi dengan *core*

komposit yang ringan sehingga diperoleh kombinasi bahan yang kaku, kuat tetapi ringan. Konstruksi *sandwich* dipilih ketika diharapkan struktur mempunyai kekakuan tinggi dengan berat yang relatif lebih ringan dibandingkan komposit laminat monolit [6].

Ketersediaan kayu dengan kualitas sangat baik untuk bahan bodi perahu mulai berkurang dan harganya menjadi semakin mahal. Usaha mencari penggantinya perlu dilakukan dengan bahan alam lain dengan ketersediaannya yang cepat dan berlimpah, namun kurang diperhatikan. Bambu merupakan bahan yang sesuai dengan kriteria tersebut dan pemanfaatannya harus diteliti lebih lanjut.

Komposit *sandwich* dengan penguat serat bambu harus diteliti sehingga dapat menjadi pengganti kayu sebagai bahan bodi perahu yang ramah lingkungan dan ramah terhadap manusia sehingga tidak membebani lingkungan. Bahan yang dikembangkan ini nantinya pada penelitian tahun-tahun berikutnya akan diaplikasikan sebagai bahan bodi perahu nelayan maupun perahu wisata.

*Impact* dengan metode *drop weight* diterapkan pada *honeycomb sandwich composite* dengan kulit carbon-epoxy oleh Zhou, G. Spesimen komposit dijepit dengan penjepit membentuk lingkaran dengan diameter area tumbukan 100mm. Impaktor berupa baja hemispherical diameter 20 mm 1,5 kg dijatuhkan dari ketinggian tertentu sehingga energi potensialnya bervariasi sampai dengan 55 joule. Impaktor menumbuk komposit tepat di tengah area tumbukan. Cacat yang terjadi setelah komposit ditumbuk adalah berupa core yang hancur, delaminasi pada kulit, dan patah pada kulit [6].

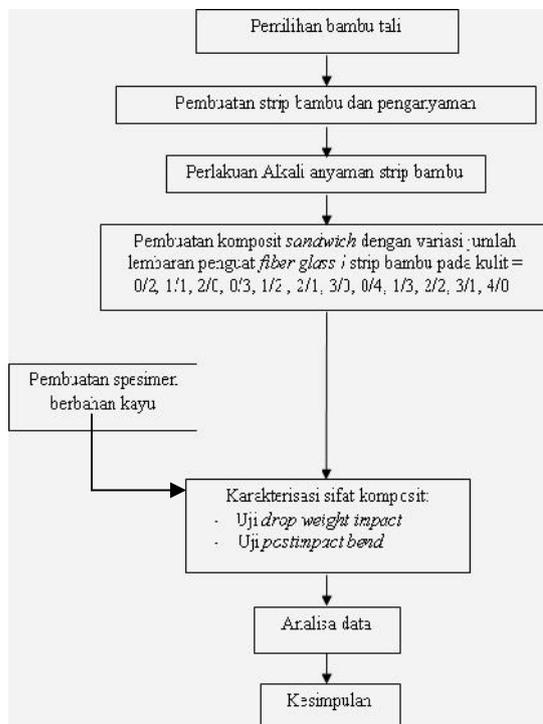
IM De Rosa dkk, 2011, mempelajari sifat komposit hibrid serat kaca dengan serat basalt pasca impact. Fraksi volume kedua serat tersebut 0,38 dengan konfigurasi simetris dan nonsimetris diproduksi dengan teknik resin transfer moulding (RTM). Energi impact divariasikan sampai dengan 22,5 joule. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi simetris laminasi E-glass sebagai core untuk skin laminasi serat basalt menunjukkan pola degradasi paling menguntungkan [7].

Dalam studi Mehmet Aktas dkk, pengaruh impact dan sifat pasca *impact* komposit *E-glass/epoxy* memiliki lapisan yang berbeda diselidiki dengan mempertimbangkan diagram profil energi dan kurva beban - lendutan yang terkait. Energi

impact yang berbeda (5 J - 60 J) diterapkan pada delapan lapisan tenunan polos (1D), ganda (2D) dan tiga (3D) lapisan kain. Setelah spesimen terkena impact, sampel tersebut kemudian dipasang ke dalam alat kompresi untuk menentukan kekuatan tekan setelah impact (*compression after impact/CAI*). Hasil dari tes *impact* dan pasca *impact* menunjukkan bahwa gaya kontak yang terjadi antara proyektil dan spesimen komposit meningkat dan kekuatan CAI menurun dengan meningkatnya energi benturan [8].

## METODE PENELITIAN

Komposit *sandwich* dibuat dengan metode *hand lay up*. Diagram alir penelitian dapat dilihat di gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Penelitian diawali dengan pemilihan bambu. Jenis bambu yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah bambu apus. Untuk memperoleh hasil pengujian yang baik maka harus digunakan bambu dalam kondisi atau kualitas baik yaitu bambu yang sudah tua dan kering. Bagian bambu yang diambil adalah bagian tengahnya yaitu 50 cm dari pangkal sampai dengan bagian tengah dengan ukuran 4-5 m dari potongan tersebut. Selanjutnya bambu-bambu tersebut dibuat menjadi strip-strip bambu.

Batang bambu yang telah kering dipotong sepanjang ruas 1 m. Potongan tersebut dibelah menjadi beberapa bagian,

kulit luar dan kulit dalam dikupas dan dibuang. Bagian tengah bambu diiris menjadi strip, proses *mengiris* bambu dilakukan harus dengan hati-hati sehingga strip yang diperoleh mempunyai ketebalan yang seragam yaitu 1 mm dan lebar 10 mm. Strip bambu kemudian dianyam tegak lurus. Anyaman bambu kemudian diperlakukan alkali, tujuannya adalah agar strip bambu dapat menyatu dengan resin.

Anyaman bambu direndam dalam larutan 4% NaOH selama 2 jam didalam wadah terbuat dari plastik untuk menghilangkan lapisan lilin serat bambu. Anyaman bambu kemudian dicuci dalam air mengalir untuk menghilangkan NaOH yang masih membasahi serat-serat bambu. Pengeringan dilakukan dengan menjemur anyaman bambu di terik matahari selama 3 jam.

Pembuatan laminat diawali dengan mengoleskan *mold release* ke permukaan cetakan agar mudah dalam mengambil hasil cetakan. Satu anyaman serat ditata di dalam cetakan kemudian dioleskan *hardened polyester*, lapisan serat berikutnya ditata diatas lapisan yang kedua dan kemudian dioleskan *hardened polyester*. Demikian juga pada lapisan selanjutnya sampai jumlah lapisan sesuai dengan yang direncanakan. Fraksi volume penguat bambu pada lapisannya 21%, sedangkan fraksi volume fiberglass pada lapisannya 15%. Pencetakan selesai setelah 10 jam *curing* agar lapisan dapat merata sempurna dan mengering dengan baik. Komposit yang telah mengering dikeluarkan dari cetakan. Pembuatan kulit komposit *sandwich* (komposit laminat) dilakukan dengan 12 variasi jumlah lembaran penguat *fiber glass* (F) - strip bambu (B) adalah sebagai berikut: 0F-2B, 1F-1B, 2F-0B, 0F-3B, 1F2B, 2F1B, 3F0B, 0F-4B, 1F-3B, 2F-2B, 3F-1B, 4F-0B.

Core diperoleh dengan memotong *polyurethane rigid foam sheet* dengan ukuran sesuai dengan ukuran spesimen. Langkah selanjutnya adalah merekatkan core berupa *polyurethane rigid foam* tebal 2,5 mm ke komposit laminat dengan *polyester*. Kedua laminat direkatkan mengapit core kemudian dibiarkan perekat mengering (*curing*) di ruangan selama 12 jam. Komposit *sandwich* telah jadi dan siap dilakukan pemotongan dengan menggunakan gerinda kecepatan tinggi untuk dibuat menjadi spesimen.

Komposit *sandwich* yang telah dibuat dengan semua variasinya diuji sifatnya. Uji *low impact* dilakukan dengan metode *drop*

*weight impact*, dimana sebuah massa *impactor* 2,6 kg dengan ketinggian tertentu dijatuhkan dan kemudian menumbuk spesimen yang diletakkan dibawahnya. *Impactor* berupa silinder baja dengan ujung berupa setengah bola dengan diameter 25,4 mm.

Uji *lowimpact* dilakukan dengan metode *drop weight impact*, dimana sebuah massa *impactor* 2,6 kg dengan ketinggian tertentu dijatuhkan dan kemudian menumbuk spesimen yang diletakkan dibawahnya. *Impactor* berupa silinder baja dengan ujung berupa setengah bola dengan diameter 25,4 mm. Pada penelitian ini energi penumbukan divariasikan 5 J, 15 J, 25 J, 35 J dan 45 joule. Jika berat *impactor* 2,6 kg maka untuk menghasilkan energi tersebut ketinggian *impactor* terhadap spesimen adalah masing-masing 19,6 cm, 58,7 cm, 97,9 cm, 137,1 cm dan 176,2 cm. Spesimen diletakkan pada tumpuan dengan jarak tumpuan 100 mm. Besaran yang diukur pada spesimen pasca benturan adalah kedalaman cekungan dan *mode* kegagalannya.

Prosedur ASTM C 393-00 digunakan untuk menguji kekuatan bending komposit. Pada pengujian bending diketahui sejauh mana mampu bending komposit tersebut mampu menahan beban hingga komposit tersebut patah atau beban lengkung menurun. Spesimen bending ditempatkan pada penopang *universal testing machine* dan diuji secara bending tiga titik dengan kecepatan simpangan 5 mm/menit.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Uji Drop Weight Impact

Ketika komposit *sandwich* diberi *impact drop weight* maka terjadi kerusakan padanya, seberapa kerusakannya diukur dengan dalamnya cekungan yang dibentuk oleh *impactor* terhadap komposit ketika *impactor* dijatuhkan. Cekungan yang terbentuk diukur dengan jangka sorong dan penggaris baja. Ketika *impactor* menghantam komposit maka beberapa *mode* kegagalan terjadi yaitu: delaminasi, putusya serat, retaknya matrik, cekungan, bahkan berlubang atau tembus. Mode kegagalan tergantung pada parameter-parameter *impact* seperti bentuk dan massa *impactor*, energi *impact*, dan ukuran komposit. Performa *impact* dipengaruhi oleh jumlah serat bambu. Kedalaman cekungan bekas injakan *impactor* makin dangkal dengan bertambahnya jumlah lembaran serat bambu. Kedalaman cekungan dan jenis kerusakan

komposit *sandwich* karena *drop weight impact* dapat dilihat pada tabel 1.

Berdasarkan urutan energi *impact* dari yang paling kecil pada tabel 1,, delaminasi sudah terjadi pada komposit yang dikenai *impact* dengan energi 5J pada variasi komposit tertentu.

Tabel 1 Kedalaman cekungan dan jenis kerusakan pada komposit *sandwich* karena *drop weight impact*.

VarianKomposit	Energi Impact (J)	kedalaman rata <sup>2</sup> cekungan (mm)	Mode Kegagalan Impact
0F 2B	5	0	tidak ada
	15	9,5	putusnya serat, delaminasi dan cekungan
	25	12,9	putusnya serat, delaminasi dan cekungan
	35	31	Tembus
	45	31	Tembus
1F 1B	5	0	tidak ada
	15	15,1	putusnya serat, delaminasi dan cekungan
	25	21,2	putusnya serat, delaminasi dan cekungan
	35	28,5	Tembus
	45	28,5	Tembus
2F 0B	5	5,9	delaminasi, terbentuk cekungan
	15	13,2	putusnya serat, delaminasi dan cekungan
	25	17,3	putusnya serat, delaminasi dan cekungan
	35	26,0	Tembus
	45	26,0	Tembus
0F 3B	5	0,0	tidak ada
	15	2,6	putusnya serat, delaminasi dan cekungan
	25	8,4	putusnya serat, delaminasi dan cekungan
	35	20,3	putusnya serat, delaminasi dan cekungan
	45	34,0	Tembus
1F 2B	5	0,0	tidak ada
	15	3,7	putusnya serat, delaminasi dan cekungan
	25	9,5	putusnya serat, delaminasi dan cekungan

2F 1B	35	31,5	Tembus	4F 0B	45	27,0	Tembus
	45	31,5	Tembus		5	16,1	putusnya serat, delaminasi dan cekungan
	5	0,0	tidak ada		15	21,4	putusnya serat, delaminasi dan cekungan
	15	13,3	putusnya serat, delaminasi dan cekungan		25	25,4	putusnya serat, delaminasi dan cekungan
	25	21,5	putusnya serat, delaminasi dan cekungan		35	27,0	Tembus
	35	29,0	Tembus		45	27,0	Tembus
3F 0B	45	29,0	Tembus	Kayu Bae	5	1,2	cekung di daerah tumbukan
	5	0,0	tidak ada		15	5,7	cekung di daerah tumbukan
	15	25,3	putusnya serat, delaminasi dan cekungan		25	16,5	cekung di daerah tumbukan
	25	25,5	putusnya serat, delaminasi dan cekungan		35	19,3	cekung di daerah tumbukan
	35	26,5	Tembus		45	24,1	cekung di daerah tumbukan
	45	26,5	Tembus		komposit polyester-50% fiberglass tebal 10 mm	5	0
5	0,0	tidak ada	15	2		cekung di daerah tumbukan	
15	2,6	putusnya serat, delaminasi dan cekungan	25	3		cekung di daerah tumbukan	
25	7,3	putusnya serat, delaminasi dan cekungan	35	4		cekung di daerah tumbukan	
35	26,1	putusnya serat, delaminasi dan cekungan	45	6		cekung di daerah tumbukan	
45	30,4	putusnya serat, delaminasi dan cekungan					
1F 3B	5	0,0	tidak ada				
	15	4,4	putusnya serat, delaminasi dan cekungan				
	25	7,7	putusnya serat, delaminasi dan cekungan				
	35	24,8	putusnya serat, delaminasi dan cekungan				
	45	34,5	Tembus				
	5	0,0	tidak ada				
2F 2B	15	6,7	putusnya serat, delaminasi dan cekungan				
	25	8,1	putusnya serat, delaminasi dan cekungan				
	35	22,7	putusnya serat, delaminasi dan cekungan				
	45	32,0	Tembus				
	5	0,0	tidak ada				
	15	14,2	putusnya serat, delaminasi dan cekungan				
3F 1B	25	21,4	putusnya serat, delaminasi dan cekungan				
	35	27,0	Tembus				

Pada energi *impact* kecil yaitu 5 Joule, tumbukan *impactor* tidak memberikan kerusakan pada kulit komposit kecuali pada komposit dengan kulit komposit yang diperkuat oleh dua lembar *fiber glass* (2F0B) pada bagian atas. Terlihat pada komposit 2F0B tersebut terjadi delaminasi, terjadi pemisahan antara *fiber* dan matrik di daerah tumbukan, serta terbentuknya residu cekungan akibat tumbukan.

Sementara pada variasi komposit selain 2F0B tidak terjadi perubahan pada permukaan komposit. Pada kulit komposit hanya terlihat sedikit warna putih, ini menunjukkan retak-retak mikro terjadi pada matrik di permukaan saja tempat *impactor* menumbuk. Tidak terbentuk residu cekungan delaminasi maupun putusnya serat penguat di kulit komposit daerah sekitar tumbukan, hal ini mengindikasikan energi *impact* 5 J hanya memberikan tekanan elastis kulit komposit.



Gambar 2 Cekungan yang dibentuk oleh *impactor* pada komposit *sandwich* 2F1B beban *impact* 25 J.

Pada energi *impact* sedang 15 J dan 25 J menyebabkan kulit komposit semua variasi yang terkena *impactor* mengalami kerusakan seperti ditunjukkan pada gambar 2. Kerusakan yang terjadi adalah adanya putusannya serat-serat penguat kulit komposit, delaminasi, dan terbentuknya cekungan. Ketika *impactor* mengenai kulit komposit maka gaya diteruskan ke *core*, namun karena kekuatan *core* yang rendah menyebabkan gaya lebih banyak ditahan oleh kulit komposit. Kulit komposit bagian atas menahan gaya yang besar sehingga terbentuk cekungan, dan *impactor* dapat melubangi kulit bagian atas komposit jika kulit tidak mampu menyerap semua energi *impact*.

*Impactor* dengan energi tinggi 35 J dan 45 J mampu merusak kulit bagian atas komposit. Kulit komposit bagian atas tidak mampu menyerap semua energi *impact* tersebut sehingga *impactor* masih mempunyai energi untuk masuk lebih ke dalam komposit dan menekan *core* selanjutnya menekan kulit bagian bawah.

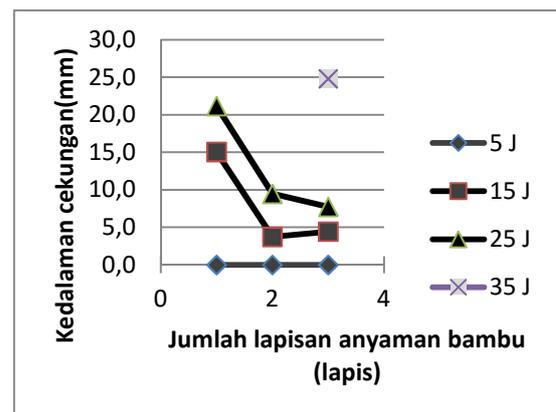


Gambar 3 Komposit *sandwich* dengan kulit dua lapis anyaman *fiberglass* dan satu lembar anyaman bambu (2F1B) dapat ditembus oleh *impactor* dengan energi 35J

Jika energi *impactor* cukup maka kulit bagian bawahpun dapat ditembus. Pada kebanyakan komposit *sandwich* yang dibuat pada penelitian ini, *impactor* mampu menembus komposit dengan energi 35 J dan 45 J seperti terlihat pada gambar 3.

Komposit *sandwich* yang tidak bisa ditembus oleh *impactor* dengan energi 35 J dan 45 J mempunyai lapisan kulit yang berpenguat lebih tebal. Komposit *sandwich* yang tidak bisa ditembus oleh *impactor* dengan energi 35 J ada 4 variasi yaitu komposit *sandwich* dengan kulit berpenguat tiga lapis anyaman bambu (0F3B), berpenguat tiga lapis anyaman bambu dan satu lapis anyaman *fiberglass* (1F3B), berpenguat dua lapis anyaman bambu dan dua lapis anyaman *fiberglass* (2F2B) serta komposit *sandwich* dengan kulit berpenguat empat lapis anyaman bambu (0F4B). Sedangkan komposit yang tidak bisa ditembus oleh *impactor* dengan energi 45 J adalah hanya komposit *sandwich* dengan kulit berpenguat empat lapis anyaman bambu (0F4B). *Impactor* meninggalkan residu cekungan pada komposit yang tidak bisa ditembusnya.

Kedalaman residu cekungan yang dibentuk oleh injakan *impactor* pada komposit bervariasi tergantung pada energi *impact*nya dan jumlah lapisan kulitnya. Semakin besar energi *impact* maka semakin besar kedalaman residu cekungannya. Terlihat pada gambar 4 grafik residu kedalaman cekungan komposit *sandwich* berpenguat satu anyaman *fiberglass* dan anyaman bambu terhadap energi *impact* dan jumlah lapisan anyaman bambu.



Gambar 4 Grafik residu kedalaman cekungan komposit *sandwich* berpenguat satu anyaman *fiberglass* dan anyaman bambu terhadap energi *impact* dan jumlah lapisan anyaman bambu.

Kedalaman residu cekungan yang dibentuk oleh injakan *impactor* pada komposit juga tergantung pada jumlah serat atau jumlah lapisan penguat pada kulit komposit. Kekuatan serat-serat penguat kulit komposit menahan laju pergerakan *impactor*, semakin banyak jumlah serat penguat maka semakin banyak energi yang dibutuhkan untuk memutuskannya. Ketika energi kinetik *impactor* telah habis untuk memutuskan dan menggesek kulit komposit maka *impactor* akan berhenti dan pembentukan cekungan pada kompositpun terhenti, sehingga terbentuk kedalaman residu cekungan yang berbeda-beda untuk jumlah serat penguat yang berbeda. Semakin banyak serat penguat pada kulit komposit semakin dangkal residu cekungan yang terbentuk karena *impact* seperti terlihat pada gambar 4.

### Kekuatan Bending After Impact

Uji bending dilakukan dengan *universal testing machin* merek control seri C08020/C. Jenis uji bending adalah *three point bending* dengan jarak antar tumpuan 20 kali tebal spesimen komposit. batang penumpu dan penekan berbentuk silinder berdiameter 20 mm. Kecepatan defleksi beban bending sebesar 5 mm / menit (ASTM C393). Kekuatan *bending* dihitung sejauh mana mampu *bending* komposit tersebut mampu menahan beban hingga komposit tersebut patah atau beban lengkung menurun. Pengujian *bending after impact* dilakukan dengan cekungan injakan *impact* berada di atas tepat dibawah penetrator bending seperti terlihat pada gambar 5.



Gambar 5 Pengujian bending *after impact* tiga titik

Hasil uji kekuatan bending *after impact* komposit ditunjukkan pada tabel 5.2. Kekuatan bending komposit sandwich *semula* diperoleh pada pengujian bending sebelum *impact*. Sedangkan kekuatan bending *after impact* diperoleh setelah komposit *sandwich* dibebani *impact* kemudian diuji bending.

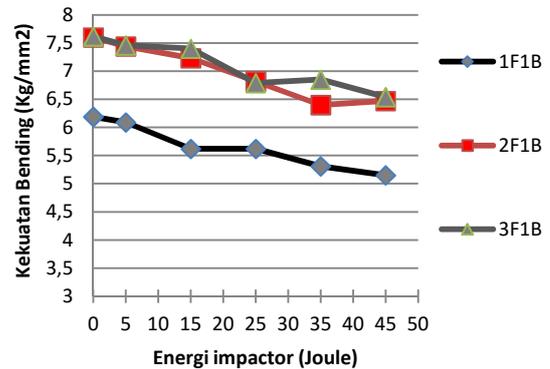
Tabel 2 Kekuatan bending komposit *sandwich* dan material pembanding

Varian Komposit	Kekuatan Bending Semula sebelum impact (Kg/mm <sup>2</sup> )	Energi Impact (J)	Kekuatan Bending After Impact rata <sup>2</sup> (Kg/mm <sup>2</sup> )
0F 2B	6,92	5	7,10
		15	6,62
		25	6,25
		35	5,30
		45	5,11
1F 1B	6,19	5	6,09
		15	5,62
		25	5,62
		35	5,31
		45	5,15
2F 0B	5,7	5	6,27
		15	5,23
		25	4,18
		35	4,71
		45	4,71
0F 3B	7,48	5	7,49
		15	6,83
		25	6,44
		35	6,11
		45	6,30
1F 2B	8	5	8,71
		15	8,71
		25	8,27
		35	7,35
		45	7,30
2F 1B	7,6	5	7,44
		15	7,23
		25	6,82
		35	6,40
		45	6,47
3F 0B	5,77	5	5,81
		15	5,63
		25	4,75
		35	4,40
		45	4,22
0F 4B	7,8	5	7,78
		15	7,75
		25	7,34
		35	6,53

		45	5,76
		5	7,51
		15	7,54
1F 3B	7,57	25	7,17
		35	6,45
		45	6,29
		5	7,40
		15	6,91
2F 2B	7,39	25	6,42
		35	5,63
		45	5,51
		5	7,46
		15	7,40
3F 1B	7,62	25	6,79
		35	6,85
		45	6,54
		5	6,26
		15	5,86
4F 0B	6,23	25	5,72
		35	4,93
		45	5,19
		5	40,92
		15	38,46
Kayu Bae	41,8	25	35,38
		35	28,79
		45	27,65
		5	83
		15	80,2
Komposit polyester - 50% fiber glass	83	25	74,6
		35	68,4
		45	50,1

Kekuatan bending komposit *sandwich* mengalami penurunan setelah cacat karena beban *impact*. Gambar 5.5 adalah grafik kekuatan *bending after impact* beberapa variasi komposit *sandwich* terhadap besarnya energi *impact*. Terlihat pada gambar 5.5 bahwa semakin besar energi *impact* yang diterapkan pada komposit maka kekuatan *bending after impact* komposit semakin kecil. Hal ini sesuai dengan kedalaman residu cekungan komposit karena *impact*. *Impactor* dengan energi *impactnya* membuat komposit menjadi cacat seperti delaminasi, putusya serat penguat, terbentuk residu cekungan bahkan tertembus. Kecacatan pada komposit inilah

yang menyebabkan kemampuan komposit menahan gaya bending berkurang dari pada kemampuannya saat masih utuh.



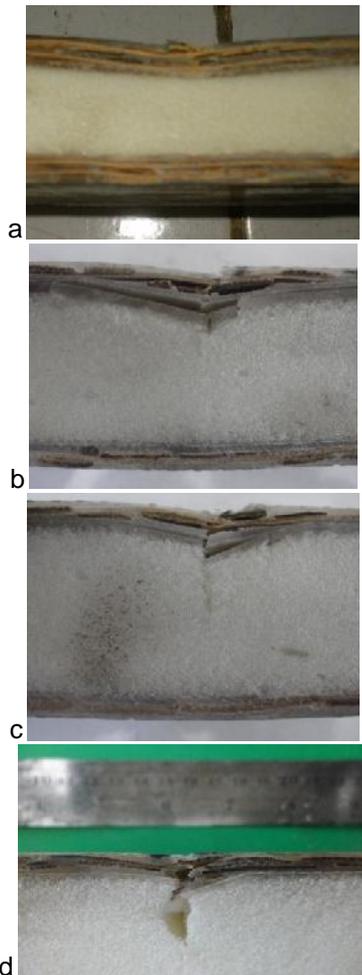
Gambar 6 Kekuatan *bending after impact* komposit *sandwich* terhadap besarnya energi *impact*.

Kekuatan bending komposit *sandwich* dengan kulit diperkuat dua lapis anyaman fiberglass dan satu lapis anyaman bambu (2F1B) sebelum dibebani *impact* adalah 7,6 Kg/mm<sup>2</sup>, namun setelah mengalami *impact* 5 J kekuatan bendingnya turun menjadi 7,44 Kg/mm<sup>2</sup>, setelah mengalami *impact* 15 J kekuatan bendingnya turun menjadi 7,23 Kg/mm<sup>2</sup>, setelah mengalami *impact* 25 J kekuatan bendingnya turun menjadi 6,82 Kg/mm<sup>2</sup>, setelah mengalami *impact* 35 J kekuatan bendingnya turun menjadi 6,40 Kg/mm<sup>2</sup>, setelah mengalami *impact* 45 J kekuatan bendingnya turun menjadi 6,47 Kg/mm<sup>2</sup>.

Kekuatan bending komposit setelah mengalami *impact* menurun seiring dengan bertambahnya energi *impact* kecuali untuk *impact* 5 J, *impact* cenderung tidak mempengaruhi kekuatan bendingnya. Sedangkan penurunan kekuatan bending rata-rata dari semua variasi komposit setelah mengalami *impact* 15 J adalah 3,8%, penurunan kekuatan bending rata-rata dari semua variasi komposit setelah mengalami *impact* 25 J adalah 10,6%, penurunan kekuatan bending rata-rata dari semua variasi komposit setelah mengalami *impact* 35 J adalah 17,2%, dan penurunan kekuatan bending rata-rata dari semua variasi komposit setelah mengalami *impact* 45 J adalah 18,8%.

Pada gambar 7 a menunjukkan mode kegagalan *bending after impact* komposit *sandwich* 0F4B, tampak pada kulit komposit terjadi lengkungan di kulit bawah dan terjadi sedikit delaminasi antar lapisan di kulit atas. Kulit atas tidak putus walaupun patah terkena gaya bending ini menunjukkan keuletan kulit

komposit. Gaya kemudian diteruskan dari kulit ke *core*, pada *core* terjadi pemampatan tetapi tidak terjadi keretakan pada *core*.



Gambar 7 Mode kegagalan *bending after impact* beberapa komposit sandwich

Gambar 7 b menunjukkan mode kegagalan *bending after impact* komposit sandwich 3F1B, tampak pada kulit komposit terjadi lengkungan di kulit bawah dan terjadi sedikit delaminasi antar lapisan di kulit bawah tetapi di bagian atas terjadi putus kulit dan delaminasi. Mode kegagalan pada gambar 7 c terjadipada komposit 3F1B yaitu kegagalan *core sheare* ditandai retak dan patahnya *core* dengan delaminasi *skin*. Hal ini disebabkan karena *skin* komposit tersebut jauh lebih kuat dengan *core* yang relatif lemah. Akibatnya *core* tidak mampu meneruskan gaya sampai ke *skin* bawah yang mendapat gaya tarik.

Pada gambar 7 d mode kegagalan yang ditimbulkan tidak dengan retaknya *core* yang menyebar melainkan terjadi retak pada pusat pembebanan bending saja, kegagalan delaminasi pada *skin* terjadi dengan sedikit retak pada *core*. Hal ini disebabkan karena

*matrik pengikat* antara *core* dengan *skin* kurang kuat dalam menerima gaya pembebanan bending. Retak *core* pada pusat pembebanan dan terjadi delaminasi pada *skin*. Pembebanan *impact* pada komposit dengan *skin* 1F1B menyebabkan cacat awal yang bertambah pada saat pemberian gaya bending di daerah injakan bending.

## KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan dapat ditarik kesimpulan yaitu:

1. Komposit *sandwich* masih mempunyai kekuatan *bending after impact*. Kekuatan bending sisa menurun dengan bertambahnya energi *impact* yang dikenakan pada komposit. *Impact* 15 J cenderung tidak mempengaruhi kekuatan bending setelahnya. Sedangkan penurunan kekuatan bending rata-rata dari semua variasi komposit setelah mengalami *impact* 15 J adalah 3,8%, *impact* 25 J menurunkan kekuatan bending 10,6%, *impact* 35 J menurunkan kekuatan bending 17,2%, dan penurunan kekuatan bending rata-rata dari semua variasi komposit setelah mengalami *impact* 35 J adalah 18,8%.
2. Cacat terbentuk pada komposit yang mengalami beban *drop weight impact* yaitu: delaminasi, cekungan dan lubang tembus. Semakin banyak serat penguat pada kulit komposit semakin dangkal residu cekungan yang terbentuk karena *impact*. Semakin besar energi *impact* maka semakin besar kedalaman residu cekungannya.
3. Serat bambu sangat potensial digunakan sebagai komponen penyusun komposit *sandwich* sebagai pengganti *fiberglass*. Walaupun kekuatan bending komposit sandwich ini lebih kecil dibanding dengan kekuatan bending komposit polyester-50% fiberglass dan kayu bae namun penurunan kekuatan bending komposit sandwich setelah mengalami beban *impact* lebih landai

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Labor(2005), United States Department of Occupational Safety & Health Administration, Chemical Sampling Information, CAS Registry Number: 65997-17-3 (Fibrous Glass).
- [2] Shukla, K. S., and Janardhan Prasad. "Reconstituted wood from bamboo for

- structural uses." *Journal of the Indian Academy of Wood Science*, volume 19, issue 1 (1988): 19-27.
- [3] Shukla, N.K.; Singh, R.S.; Sanyal, S.N, "Strength properties of eleven bamboo species and study of some factors affecting strength" of *the Indian Academy of Wood Science*, ISSN: 0379-5497, volume 19, issue 2 (1988): 63-80.
- [4] Xiaobo Li, 2004, Physical, Chemical, and Mechanical Properties of Bamboo and Its Utilization Potential for Fiberboard Manufacturing, A Thesis, Graduate Faculty of the Louisiana State University and Agriculture and Mechanical College.
- [5] Bansal, Arun K. Zoolagud, S.S., Bamboo composites: Material of the future, *Journal of Bamboo and Rattan*, Volume 1, Number 2, 2002 , pp. 119-130(12).
- [6] Zhou, G, 2009, Impact Damage and Energy-absorbing Characteristics and Residual In-plane Compressive Strength of Honeycomb Sandwich Panels, *Journal of Sandwich Structures and Materials*; 11; 329.
- [7] I. M. De Rosa, F. Marra, G. Pulci, C. Santulli, F. Sarasini, J. Tirillò, M. Valente, 2011, *Post-impact mechanical characterisation of E-glass/basalt woven fabric interply hybrid laminates*, eXPRESS Polymer Letters Vol.5, No.5 (2011) 449–459.
- [8] Mehmet Aktas, H. Ersen Balcioglu, Alaattin Aktas, Erkan Turker, M. Emin Deniz, 2012, *Impact and post impact behavior of layer fabric composites*, *Composite Structures*, 94, 2809–2818.