

## I148 - KEKUATAN BENDING DAN BERAT JENIS KOMPOSIT SANDWICH YANG DIPERKUAT Z-PIN BAMBUN

Agus Dwi Catur<sup>1</sup>, Salman<sup>1</sup>, Paryanto Dwi Setyawan<sup>1</sup>, Ikhlas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit no 62 Mataram 83125

Telp. (0370) 636087

Email: agus\_dc1@yahoo.co.id

### Abstrak

Penggunaan komposit sandwich lebih dimaksudkan untuk mengurangi berat material, dan mempunyai kekakuan dan kekuatan yang memadai. Inti komposit yang terbuat dari polyurethane rigid foam mempunyai kekuatan rendah. Penguatan inti komposit sandwich dengan Z-pin berbahan bambu dibahas pada tulisan ini. Z-pin bambu terbuat dari batang bambu yang dibuat menjadi batang silinder dengan diameter 2 mm. Z-pin ditusukkan pada polyurethane rigid foam pada jarak bervariasi yaitu 10 mm, 15 mm, 20 mm dengan membentuk sudut bervariasi 60<sup>0</sup>, 75<sup>0</sup>, dan 90<sup>0</sup>. Polyurethane rigid foam kemudian dilapisi dengan kulit komposit berbahan resin polyester diperkuat anyaman E-fiberglass dengan fraksi volume 25%. Pelapisan dilakukan pada satu sisi sampai terjadi curing selama 10 jam kemudian dilanjutkan pelapisan pada sisi yang lain. Ukuran spesimen uji bending dan pengujiannya dilakukan berdasarkan standar ASTM C393 dengan jenis long beam dan konfigurasi pembebanan single point. Berat komposit diukur dengan analitical balance untuk menguji berat jenis komposit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin kecil jarak antara z-pin dan semakin kecil sudut penyisipan z-pin terhadap horizontal menyebabkan kekuatan bending dan berat jenis komposit sandwich meningkat. Berat jenis komposit sandwich tanpa pin 0,276 gr/Cm<sup>3</sup> sedangkan dengan diperkuat z-pin berat jenisnya berkisar antara 0,315 – 0,384 gr/Cm<sup>3</sup>. Kekuatan bending komposit sandwich tanpa z-pin 18,5 MPa sedangkan dengan diperkuat z-pin kekuatan bendingnya 19-32,6 Mpa. Kekuatan bending dan berat jenis terbesar dimiliki oleh komposit sandwich yang dilakukan penyisipan z-pin bambu dengan jarak antar pin 10 mm dan sudut penyisipan 60<sup>0</sup>.

**Kata kunci:** bambu; bending; sandwich; z-pin

### Pendahuluan

Komposit resin saat ini telah banyak menggantikan material logam karena komposit resin mempunyai keunggulan antara lain mudah dibentuk pada cetakan sesuai dengan kebutuhan, mempunyai kekuatan dan kekakuan yang cukup baik, ringan, tahan terhadap korosi. Komposit resin telah digunakan secara luas dalam beberapa industri yang membutuhkan suatu konstruksi yang ringan dan kaku antara lain konstruksi pada interior bangunan gedung furniture, kendaraan darat, kendaraan laut, maupun pesawat udara. Salah satu jenis komposit menurut strukturnya adalah komposit sandwich.

Core komposit sandwich terbuat dari foam logam maupun polymer foam seperti aluminum foam, ferro foam, styrofoam, poly vinyl clorida foam, polyurethane rigid foam dan lain-lain. Core dari foam tersebut bersifat ringan sehingga memperkecil berat jenis komposit sandwich. Core komposit sandwich yang berbahan foam mempunyai kekuatan dan kekakuan yang kecil, sehingga komposit sandwich mengalami gagal saat menerima tekanan ataupun tabrakan arah sumbu-z walaupun gaya itu sangat kecil. Kekuatan tekan komposit sandwich dengan inti polyurethane rigid foam tanpa penguatan arah tegak lurus permukaan kulit (arah-z) sangat kecil yaitu 0,475 N/mm<sup>2</sup>(Catur, A.D., 2014). Kekuatan ini hanya ditentukan oleh gaya maksimal yang dapat ditahan oleh polyurethane rigid foam saat aktuator ditekan permukaan kulit komposit. Gaya tekan diteruskan ke polyurethane rigid foam oleh lapisan kulit komposit, kekuatan tekan core yang kecil menyebabkan kekuatan tekan komposit sandwich arah sumbu-z kecil.

Penguatan inti komposit sandwich telah banyak dilakukan dengan tujuan memperkuat komposit sandwich secara keseluruhan. Komposit sandwich dengan inti berupa polyurethane rigid foam diperkuat dengan square cells kertas buffalo yang telah dikeraskan dengan polyester mempunyai kekuatan tekan dan bending yang lebih besar daripada yang tidak dikuatkan (Catur, A.D., 2015). Penguatan inti komposit sandwich terbuat dari polymethacrylimid foam.dengan z-pin yang terbuat dari T300 carbon/bismaleimide berdiameter 0,28 mm. Uji kompresi arah flat pada komposit sandwich menghasilkan kekuatan tabrakan. Modulus elastisitas dan kapasitas

penyerapan energi meningkat 260 – 300 % dibanding sebelum dikuatkan dengan *z-pin*. ( Nanayakkara, A., dkk 2012).

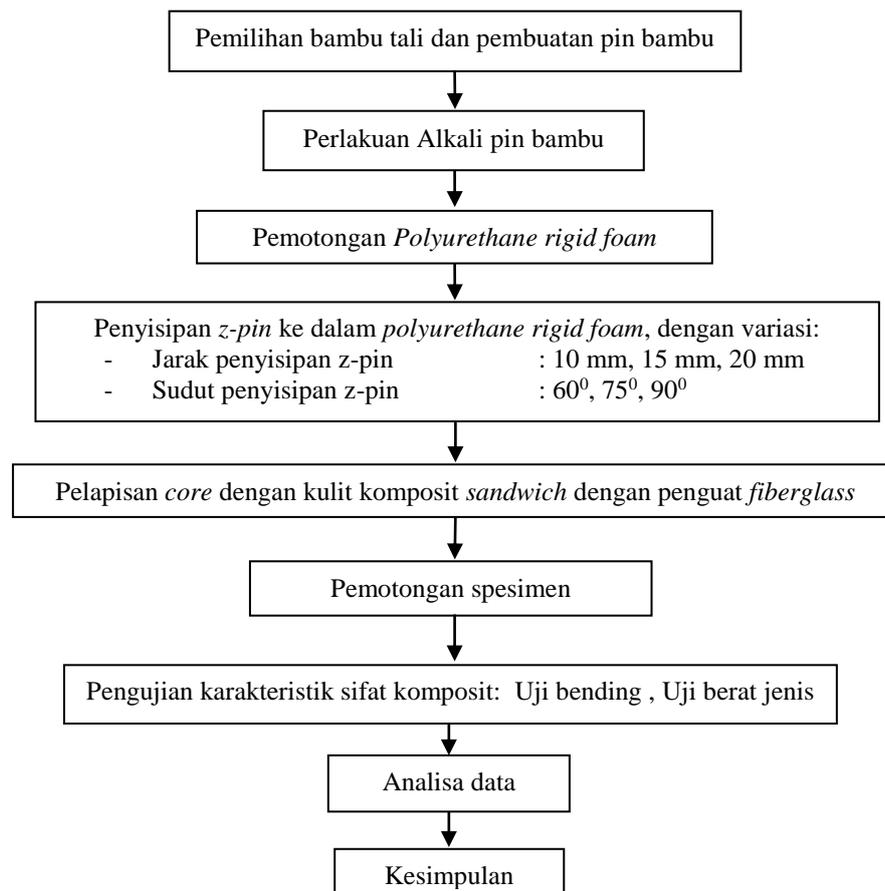
*Impact* pada komposit *sandwich* dengan *core* yang belum dikuatkan, gaya penabrak dapat konstan pada rentang *displacement* yang sangat terbatas. Setelah *core* dikuatkan dengan lapisan tipis tegak *graphite fiber – epoxy*, gaya yang ditahan oleh komposit menjadi meningkat sangat bervariasi terhadap *displacement* melintang komposit *sandwich*. Demikian juga jika *core* dikuatkan dengan *graphite fiber – epoxy*, struktur *sandwich* menyerap energi normal dengan lebih meningkat. ( Laurin,F. 2005).

Penggunaan serat tumbuhan pada komposit polimer memiliki keuntungan seperti kekuatan spesifik yang tinggi, berat jenis rendah, dapat terurai, mempunyai modulus yang baik dan berat jenis yang rendah (Mathur,2005). Serat tumbuhan tersedia dari sumber alam, dan mempunyai harga yang rendah. (Acharya, 2007; Bismarck, A., dkk, 2006). Batang bambu merupakan sumber serat alam yang banyak digunakan. Pembuatan barang dari bambu sudah dilakukan dari zaman dahulu, karena sifat-sifat bambu yang mampu dibelah menjadi sangat tipis. Bambu mempunyai kekuatan tekan arah longitudinal yang tinggi dan modulus elastisitas bending mencapai 7,7 – 19,6 GPa (Xiaobo Li, 2004).

Penggunaan *z-pin* berbahan bambu sebagai bahan penguat *core* pada komposit *sandwich* merupakan solusi kreatif untuk mendukung perkembangan teknologi komposit *sandwich* yang ramah lingkungan. Penambahan *z-pin* berbahan bambu pada *polyurethane rigid foam* sebagai *core* komposit *sandwich* telah dilakukan. Komposit *sandwich* dengan *core* diperkuat *z-pin* bambu telah dibuat dan sifat fisik mekaniknya diperoleh dan dibahas pada tulisan ini.

### Metode Penelitian

Metode penelitian ditunjukkan pada diagram alir gambar 1, meliputi: persiapan bahan, pembuatan spesimen, pengujian berat jenis dan kekuatan *bending* komposit *sandwich*, menganalisa data dan menyimpulkan hasil bahasan.



Gambar 1. Diagram alur penelitian

Bambu yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah bambu apus. Pemilihan bambu dengan keseragaman bambu harus dilakukan agar kekuatan *z-pin* komposit *sandwich* menjadi sama. Untuk memperoleh hasil pengujian

yang baik maka harus digunakan bambu-bambu dalam kondisi atau kualitas baik yaitu yang sudah tua dan kering. Bagian bambu yang diambil adalah bagian pangkal dan tengah batang.

Pembuatan pin bambu dimulai dengan membelah bambu-bambu tersebut dibuat menjadi bilah-bilah bambu. Dari bilah bambu kemudian dibuat menjadi stik bambu. Kulit luar dan kulit dalam dikupas dan dibuang. Bagian tengah bambu diirai menjadi stik, proses mengirai bambu dilakukan harus dengan hati-hati sehingga stik yang diperoleh mempunyai diameter yang seragam yaitu 2 mm dengan panjang 150 mm. Kemudian stik bambu dipotong pendek menjadi *pin* bambu dengan panjang 45 mm gambar 2a.



Gambar 2. a. *pin* bambu



b. Pemotongan *Polyurethane rigid foam*

Pin bambu kemudian dipotong dengan panjang sesuai sudut dan struktur *z-pin*nya sehingga ketika sudah terselipkan ke *core* dapat tepat setebal *core* dan membentuk sudut yang direncanakan. Ukuran panjang *z-pin* dipotong sesuai perhitungan pada tabel 1. di bawah.

Tabel 1. Ukuran panjang *z-pin*

Tebal <i>sandwich</i> (mm)	Sudut <i>z-pin</i> $\Theta$ ( $^{\circ}$ )	$\sin \Theta$	Panjang <i>z-pin</i> (mm)
29	60	0,87	33,5
29	75	0,97	30,0
29	90	1,00	29,0

Tujuan diperlakukan alkali pada *z-pin* adalah agar bahan tersebut dapat menyatu dengan resin. Perlakuan alkali *z-pin* bambu dilakukan dengan merendamnya dalam larutan 4% NaOH selama 2 jam untuk menghilangkan lapisan lilin yang menempel pada permukaan pin bambu. *Z-Pin* kemudian dicuci dalam air mengalir untuk menghilangkan NaOH. Pengeringan dilakukan dengan menjemur pin di terik matahari selama satu hari.

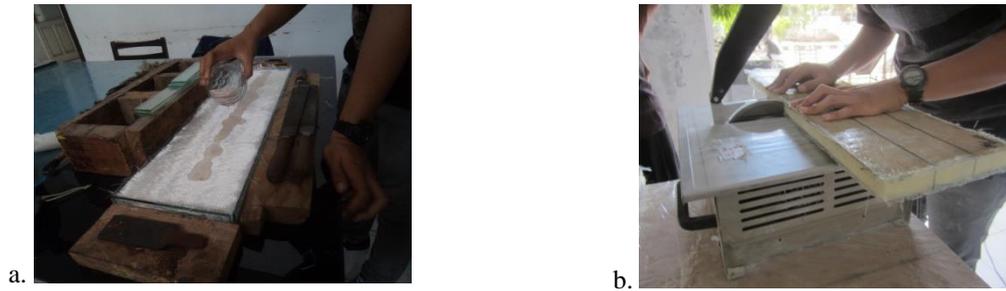
*Polyurethane rigid foam* dipotong dengan *foam cutter* bertenaga listrik gambar 2b. Ukuran pemotongan merupakan ukuran untuk spesimen uji bending dan uji berat jenis. Penyisipan *z-pin* dilakukan ke dalam *polyurethane rigid foam* seperti terlihat pada gambar 3a. *Z-pin* ditusukkan ke dalam *polyurethane rigid foam* membentuk sudut  $\Theta$  terhadap horizontal sesuai dengan variasi sudut *z-pin* yaitu  $60^{\circ}$ ,  $75^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$  dan jarak antara *z-pin* divariasikan  $a = 10$  mm, 15 mm dan 20 mm. Gambar 3b menunjukkan penyisipan *z-pin* dengan jarak antar *z-pin* sebesar 10 mm dan dengan sudut  $75^{\circ}$  terhadap horisontal.



Gambar 3. a. Penyisipan *z-pin* ke dalam *polyurethane rigid foam*

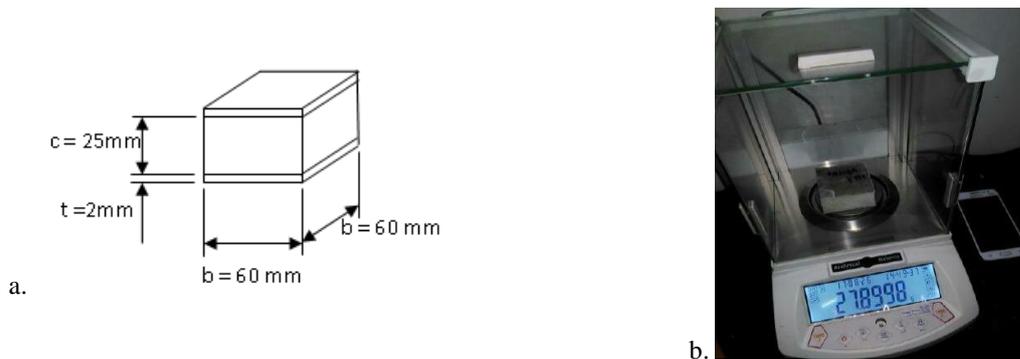
Pembuatan kulit komposit *sandwich* dilakukan dengan teknik *hand lay up* di atas *polyurethane rigid foam* dengan ukuran panjang 70,5 Cm lebar 18,7 Cm dan tebal 25 Cm. Sembilan lapis anyaman *fiberglass* 200 gr/m<sup>2</sup> *e-fiberglass* merek FANTALON dibentangkan di atas *polyurethane rigid foam*. Di atas *fiberglass* (gambar 4a) kemudian dioleskan *hardened polyester* merek YUCALAC 157 BTQN-EX sejumlah 274 ml agar fraksi volume *fiberglass* menjadi 25 % dan asumsi penyusutan resin 1 % . *Curing* selesai setelah 10 jam agar lapisan dapat

mengering dengan sempurna. Kulit komposit pada sisi yang lain juga dibuat dengan cara yang sama sehingga terbentuk panel komposit *sandwich* yang simetris.



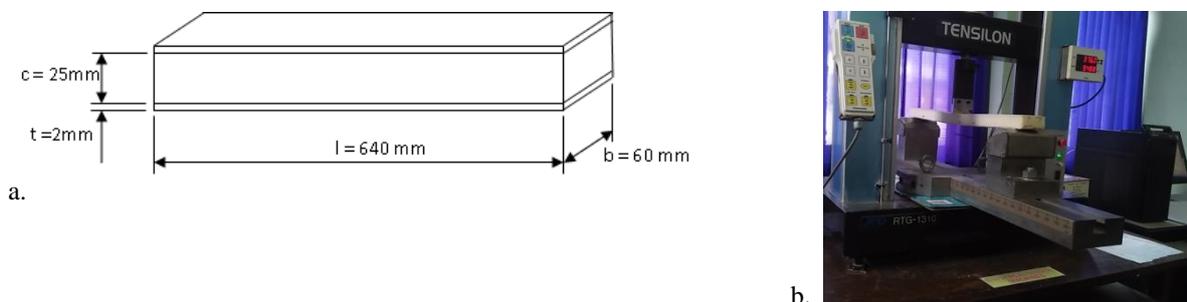
Gambar 4. a. Pencetakan kulit di atas *polyurethane rigid foam* b. Pemotongan spesimen

Karakterisasi sifat fisik komposit *sandwich* didasarkan pada ASTM D792-91 untuk mengukur berat jenis komposit. Komposit *sandwich* dipotong sesuai ukuran pada gambar 5 a dan kemudian diukur dengan penggaris. Volume komposit merupakan perkalian antara panjang, lebar dan tebal komposit hasil pengukuran. Spesimen ditimbang dengan *analitical balance* digital dengan ketelitian 0,0001 gram seperti pada gambar 5 b. Berat jenis komposit adalah berat komposit dibagi dengan volume komposit.



Gambar 5. a. Dimensi spesimen berat jenis komposit b. Penimbangan dengan *digital analitical balance*

Pengujian bending dilakukan pada komposit *sandwich* untuk mengetahui pengaruh penyisipan pin terhadap tegangan bending komposit *sandwich* yang terjadi ketika diberi beban bending. Uji bending dilakukan dengan prosedur ASTM C 393-00. Spesimen yang diuji merupakan tipe panjang, adapun ukurannya sebagaimana gambar 6a. Pengujian bending dilakukan dengan *universal testing machine* merk TENSILON tipe RTG 1310 buatan Japan dengan kapasitas 10 ton. Kecepatan pemberian defleksi adalah 0,5 mm / menit dengan panjang *span* 550 mm.



Gambar 6 a. Dimensi spesimen uji bending b. Pengujian bending dengan *universal testing machine*

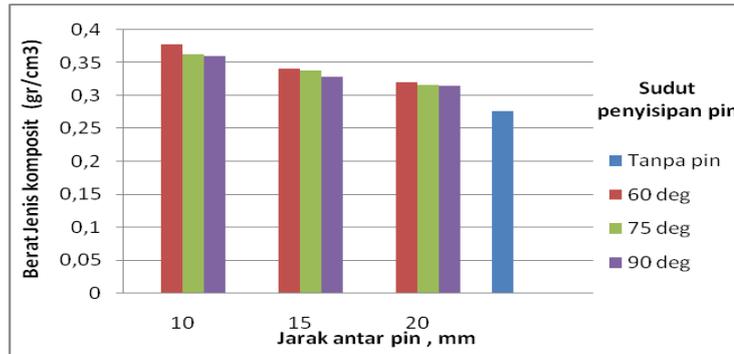
Kekuatan *bending* komposit *sandwich* merupakan tegangan rata-rata yang terjadi pada kulit komposit dengan persamaan seperti pada persamaan 1.

$$\sigma_b = \frac{P.L}{2t(d+c)b} \tag{1}$$

**Hasil dan Pembahasan**

**Berat jenis komposit sandwich**

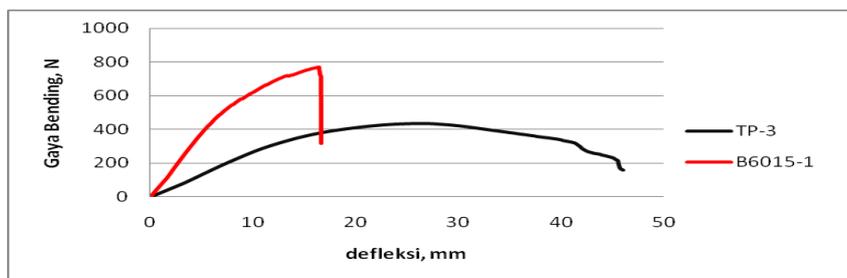
Berat jenis komposit *sandwich* tanpa diperkuat dengan penyisipan *z-pin* pada *core* adalah 0,276 gr/Cm<sup>3</sup>. sedangkan berat jenis komposit *sandwich* dengan diperkuat *z-pin* berat jenisnya berkisar antara 0,315 gr/Cm<sup>3</sup> sampai dengan 0,384 gr/Cm<sup>3</sup>. Dengan adanya penyisipan *z-pin* menambah berat komposit tanpa menambah volume komposit. Ketika *z-pin* disisipkan, sel *polyurethane foam* pada tempat penyisipan pecah dan mampat sehingga volumenya tidak bertambah. Hal ini menyebabkan berat jenisnya bertambah. Berat jenis tertinggi dimiliki oleh komposit *sandwich* dengan penyisipan *z-pin* pada *core*nya pada jarak antar *z-pin* 10 mm dan dengan sudut penyisipan 60 derajat.



Gambar 7. Grafik berat jenis komposit *sandwich* terhadap jarak antar *z-pin* pada sudut penyisipan 60<sup>0</sup>, 75<sup>0</sup>, 90<sup>0</sup>.

Terlihat pada gambar 7 bahwa semakin kecil jarak antar *z-pin* maka semakin besar berat jenis komposit *sandwich*. Dengan semakin rapat jarak antar *z-pin* maka jumlah *z-pin* persatuan luas juga semakin banyak sehingga berat komposit semakin meningkat tanpa menambah volume komposit, akibatnya berat jenis komposit *sandwich* semakin besar. Dengan kata lain variasi jarak antar *z-pin* mempunyai pengaruh terhadap berat jenis komposit *sandwich*.

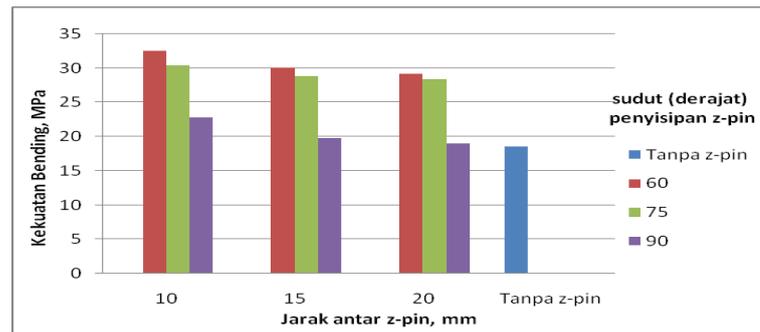
Gambar 7 juga memperlihatkan bahwa semakin kecil sudut penyisipan *z-pin* pada *core* terhadap horizontal maka semakin besar berat jenis komposit *sandwich*. Dengan semakin kecil sudut penyisipan maka semakin panjang *pin* yang disisipkan seperti tercantum pada tabel 1. *Z-pin* yang lebih panjang menambah berat yang lebih pada komposit *sandwich* sehingga berat jenisnya meningkat. Dengan kata lain variasi sudut penyisipan *z-pin* mempunyai pengaruh terhadap berat jenis komposit *sandwich*.



Gambar 8. Grafik gaya bending komposit *sandwich* tanpa dan dengan penyisipan *z-pin*.

Pengujian bending telah dilakukan pada komposit *sandwich* dengan disisipi *z-pin* maupun tidak. Data hasil uji berupa grafik gaya bending terhadap defleksinya. Contoh grafik hasil pengujian seperti pada gambar 8. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa gaya bending maksimum yang terjadi lebih besar pada spesimen dengan disisipkan pin pada *core*nya daripada tanpa disisipi pin. Spesimen tanpa penyisipan pin yang ke-3 (TP-3) menghasilkan gaya bending maksimum 435 N. Sedangkan spesimen ke-1 (B6015-1) dengan penyisipan *z-pin* jarak antar *z-pin* 15 mm sudut penyisipan 60<sup>0</sup> mencapai 770 N. Sudut kemiringan yang ditunjukkan oleh grafik juga menunjukkan lebih besar pada spesimen dengan penyisipan *z-pin*. Hal ini berarti bahwa penyisipan pin menambah kekakuan komposit *sandwich*. Namun jika dilihat dari defleksi yang ditimbulkan akibat pembebanan bending terlihat bahwa defleksi tanpa *z-pin* lebih panjang, hal ini berarti penyisipan *z-pin* mengurangi keuletan komposit *sandwich*.

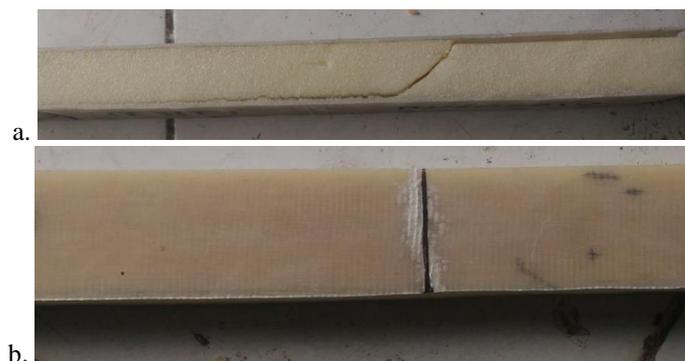
Data-data dari hasil pengukuran dimensi spesimen serta gaya maksimum hasil pengujian *three point bending* digunakan untuk menghitung kekuatan bending dalam persamaan (1) sehingga diperoleh besarnya kekuatan *bending* komposit *sandwich* dengan variasinya seperti ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9. Grafik kekuatan bending komposit terhadap jarak antar z-pin pada sudut penyisipan 60°, 75°, 90°.

Terlihat dari gambar 9 bahwa kekuatan *bending* komposit *sandwich* dengan beberapa variasi jarak antar z-pin yaitu 10 mm, 15 mm, dan 20 mm dan dengan sudut 60°, 75°, 90° dan tanpa penyisipan z-pin menghasilkan kekuatan bending terbesar 32,6 MPa. Sedangkan kekuatan *bending* komposit *sandwich* dimiliki oleh *bending* komposit *sandwich* tanpa disisipkan z-pin pada *core*-nya yaitu 18,5 MPa. Gambar 9 tersebut juga menunjukkan bahwa kekuatan *bending* komposit *sandwich* bertambah dengan semakin rapatnya jarak antar z-pin. Z-pin yang terbuat dari bambu memberi kontribusi yang baik terhadap kekuatan komposit daripada hanya *polyurethane foam* sebagai *core*.

Begitu juga dengan sudut penyisipan z-pin mempengaruhi kekuatan *bending* komposit *sandwich*. Pada gambar 9 juga menunjukkan bahwa kekuatan *bending* komposit *sandwich* naik dengan semakin kecilnya sudut penyisipan z-pin terhadap horisontal. Kontribusi z-pin terhadap kekuatan *bending* komposit *sandwich* semakin terlihat disini, dengan sudut terhadap horisontal yang lebih kecil maka panjang z-pin yang berada di *core* semakin panjang seperti ditunjukkan pada tabel 1.



Gambar 10. Kegagalan spesimen uji *bending* a. tampak samping b. tampak atas

Ketika komposit *sandwich* dikenai beban maka pada material penyusunnya terjadi tegangan. Jika beban yang dikenakan menyebabkan tegangan yang melampaui kekuatan material penyusunnya maka terjadi kegagalan pada material yang bersangkutan. Kegagalan pada komposit *sandwich* menurut tempatnya terbagi menjadi tiga yaitu kegagalan di kulit, kegagalan bagian *core* dan kegagalan diantara keduanya (delaminasi). Jenis kegagalan spesimen uji *bending* untuk semua variasi *core* komposit *sandwich* dapat dilihat pada gambar 10.

Pada gambar 10 a terlihat terjadinya kegagalan delaminasi antar kulit atas dan *core* kemudian dilanjutkan terjadi kegagalan geser pada *core* dan diikuti delaminasi terjadi pada kulit bawah terpisah dari *core*. Sedangkan gambar 10.b menunjukkan kegagalan terjadi pada *skin* komposit *sandwich* bagian atas yaitu terjadi di daerah tempat pembebanan di *midspan*.

## Kesimpulan

Komposit *sandwich* berhasil dibuat dengan kulit berupa komposit laminat *polyester* dengan serat penguat woven *e-fiberglass* dan *core* berupa *polyurethane rigid foam* yang dikuatkan dengan penyisipan z-pin bambu. Beberapa kesimpulan dapat ditulis berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan, yaitu:

1. Berat jenis komposit *sandwich* tanpa z-pin 0,276 gr/Cm<sup>3</sup> sedangkan dengan diperkuat z-pin berat jenisnya berkisar antara 0,315 – 0,384 gr/Cm<sup>3</sup>.
2. Jarak antara z-pin dan sudut penyisipannya berpengaruh terhadap berat jenis komposit *sandwich*. Semakin rapat z-pin yang diselipkan pada *core* maka semakin besar berat jenisnya dan semakin kecil sudut penyisipan z-pin terhadap horisontal maka semakin besar berat jenisnya.

3. Kekuatan bending komposit meningkat dengan penyisipan z-pin pada inti komposit *sandwich*. Jarak antara z-pin dan sudut penyisipannya berpengaruh terhadap kekuatan bending komposit *sandwich*. Semakin kecil jarak antar z-pin yang diselipkan pada *core* maka semakin besar kekuatan bendingnya dan semakin kecil sudut penyisipan pin terhadap horisontal maka semakin besar kekuatan bendingnya.
4. Kekuatan bending komposit *sandwich* tanpa z-pin 18,5 MPa sedangkan dengan diperkuat z-pin kekuatan bendingnya 19-32,6 MPa.
5. Kekuatan bending dan berat jenis terbesar dimiliki oleh komposit *sandwich* yang dilakukan penyisipan z-pin bambu dengan jarak antar pin 10 mm dan sudut penyisipan  $60^{\circ}$ .

#### Daftar notasi

- $\sigma_b$  = Kekuatan *bending* komposit *sandwich*, Mpa
- P = Beban maksimum *bending*, N
- L = Panjang *span*, mm
- t = Tebal *skin*, mm
- p = Panjang komposit *sandwich*, mm
- d = Tebal komposit *sandwich*, mm
- c = Tebal *core*, mm
- b = Lebar komposit *sandwich*, mm
- l = Panjang spesimen, mm
- $\Theta$  = sudut penyisipan z-pin terhadap horizontal, derajat

#### Daftar Pustaka

- Acharya, S.K. dan Mishra, S.C. (2007), *Weathering Behavior of Fly-ash Jute Polymer Composite*, Journal of Reinforced Plastics and Composites, vol.26, hal. 1201
- Bansal, Arun K. Zoolagud, S.S. (2002), *Bamboo composites: Material of the future*, Journal of Bamboo and Rattan, Volume 1, Number 2, pp. 119-130(12)
- Bismarck, A., Baltazar, Y.-J. and Sarlkakis, K. (2006), *Green Composites as Panacea? Socio-Economic Aspects of Green Materials*, Environment, Development and Sustainability
- Catur A.D. (2014), *Sifat Mekanik Komposit Sandwich berpenguat serat bambu-fiberglass dengan core polyurethane rigid foam*, Jurnal Rekayasa Mesin, Universitas Brawijaya, Vol .5 no.1,hal. 51-57
- Catur A.D. (2015), *Pengaruh Penguatan Polyurethane Rigid Foam Dengan Square Cells Terhadap Tegangan Bending Dan Tekan Panel Sandwich Sebagai Bahan Lambung Haluan Perahu*, *Simposium Nasional RAPI XIV FT UMS, ISSN 1412-9612*
- Laurin F., and Vizzini A.J. (2005), *Energy Absorption of Sandwich Panels with Composite-Reinforced Foam core*, *Journal of Sandwich Structures and Materials* vol 7, Maret, hal 113-132
- Mathur, V.K. (2005), *Composite Materials from Local Resources*, *Construction and Building Materials*, vol 20(7), hal. 470–477
- Nanayakkara A., Feih S., Mouritz A.P. (2012), “Experimental impact damage study of a z-pinned foam core sandwich composit”, *Journal of Sandwich Structures and Materials*, 14, halaman 469
- 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