

PENGARUH KOMPOSISI SKIN TERHADAP KEKUATAN BENDING PADA KOMPOSIT SANDWICH SERAT AREN-POLYESTER DENGAN SERBUK KAYU SENGON-POLYESTER

Fajar Nugroho¹ Nurfi Ahmadi²

^{1,2}Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Kedirgantaraan, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto

¹fajarnugroho@itda.ac.id

Abstract

Sandwich composite is a type of composite that has a high strength when used as a primary or secondary structure. Composites also have advantages from its mechanical properties, corrosion resistance, small density and a relative simple manufacturing process. This study aimed to investigate the effect of volume fraction variations at sugar palm tree fiber skin and 'sengon laut' wood saw waste core on the bend strength sandwich composite with polyester matrix. The materials of this study were sugar palm tree fiber, unsaturated polyester resin 157 BQTN-EX, 'sengon laut' wood saw waste and urea formaldehyde. This specimen was made by press printing method with 2 mm skin thickness and 10 mm core thickness. This sandwich composite bending test refers to ASTM standard D-790-03. The method used in the composite manufacturing process was hand lay-up method. The results of this study showed that bending strength increased from volume fraction 20%:80% variations to volume fraction of 40%:60% variations, with the highest maximum stress value of 54,87 N/mm² was at 40%:60% variations. Based on this, it could be concluded that the addition of fiber affects the value of the bending strength. The result from morphology test shown that void was found at the specimen surface at 30%:70% variation which could happen because of the imperfection manufacture process.

Keywords: composite, sandwich, bending

1. Pendahuluan

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material, dimana sifat mekanik dari material pembentuknya berbeda-beda. Karakteristik pembentuknya berbeda-beda, maka akan dihasilkan material baru yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material-material pembentuknya.

Dewasa ini pemanfaatan serat alam dalam rekayasa material komposit telah banyak dikembangkan. Serat alam jumlahnya cukup melimpah dan memiliki kekuatan yang spesifik yang baik, serta berat jenis rendah. Serat alam lebih ramah terhadap lingkungan dan merupakan sumber daya alam yang diolah kembali dan harganya jauh lebih murah dibandingkan dengan serat sintetis.

Pengolahan tepung aren dalam proses produksinya akan menghasilkan limbah cair dan limbah padat berupa ampas serat aren dan kulit kayu aren. Pemanfaatan limbah padat biasanya hanya digunakan sebagai bahan bakar atau dimanfaatkan oleh industri budidaya jamur. Padahal ampas serat aren tersebut bisa dimanfaatkan untuk rekayasa material sebagai bahan alternatif penguat pada material komposit. Limbah ampas aren mengandung serat kasar sekitar

50% sehingga potensi serat ini memiliki prospek untuk dikembangkan sebagai penguat panel komposit, seperti serat alam yang lainnya. (kenaf, rami, rosella, abaca dll).

Begitu juga dengan pemanfaatan limbah gergaji kayu sengon juga banyak dikembangkan dan diaplikasikan dalam teknologi komposit. Massa jenis kayu sengon adalah $0,33 \text{ g/cm}^3$. Dengan massa jenis yang ringan, pemanfaatan serbuk gergaji kayu sengon lebih sesuai sebagai bahan *core* pada struktur panel *sandwich*. Setiap industri penggergajian dapat menghasilkan limbah serbuk gergaji kayu sengon sekitar 40-60 kg/hari. Limbah serbuk gergaji kayu sengon tersebut belum dimanfaatkan secara optimal atau hanya dijadikan bahan bakar jika sudah mengering. Eksistensi limbah serbuk gergaji dengan menambahkan perekat yang murah mempunyai potensi yang tinggi untuk direkayasa menjadi produk *core* fleksibel untuk pembuatan panel komposit *sandwich*.

Bahan *urea formaldehyde* (UF) merupakan jenis salah satu resin yang dapat digunakan sebagai perekat dalam pembuatan *core* dari limbah serbuk gergaji kayu sengon karena harganya yang murah. Bahan UF ini cocok digunakan sebagai perekat produk *core* mengingat komponen *core* di dalam struktur panel komposit *sandwich* mengalami pembebanan tidak langsung.

Namun demikian perlu dipertimbangkan jenis resin yang digunakan sebagai pembuat komposit *skin* agar dihasilkan komposit yang memiliki kekuatan tinggi, fluiditas tinggi dan murah. Salah satu jenis resin yang dapat digunakan adalah *unsaturated polyester* yang harganya cukup terjangkau

Komposit *sandwich* dengan *skin* yang terdiri dari beberapa lapisan penyusun dapat memberikan keuntungan dan meningkatkan ketahanan komposit *sandwich* terhadap kegagalan delaminasi yang disebabkan oleh beban yang diterima (Xie dkk., 2009).

Bahan *core* SG-KSL-UF memiliki kekuatan tertinggi pada kandungan serbuk gergaji 60%, kekuatan bending tertinggi pada kandungan serbuk gergaji 60%, kekuatan impak tertinggi pada kandungan serbuk gergaji 60%, kekuatan geser tertinggi pada kandungan serbuk gergaji 70%, dan kekuatan buckling tertinggi pada kandungan serbuk gergaji 60%. Berdasarkan analisis diatas, maka dapat disimpulkan bahwa *core* serbuk gergaji kayu sengon laut urea formaldehyde memiliki sifat mekanis tertinggi pada kandungan serbuk gergaji sebesar 60-70% (Diharjo., 2008).

Nurhidayat (2016) menyelidiki pengaruh ketebalan *core* dan jumlah siklus beban bending dinamis terhadap penurunan kekuatan. Komposit *sandwich* berpenguat serat aren acak bermatrik *polyester* dengan *core* serbuk gergaji kayu sengon laut. Komposit *sandwich* tersusun dari dua lamina komposit dengan *core* ditengahnya dan fraksi volume serat 30%. *Core* yang digunakan adalah serbuk gergaji kayu sengon laut dengan variasi ketebalan 5 mm, 10 mm, 15 mm dan 20 mm dan tebal lamina 2 mm serta perlakuan alkali (5% NaOH) selama 4 jam. Pengujian dilakukan dengan beban bending dinamis dan pada siklus tertentu dicatat kenaikan defleksinya. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa harga bending tertinggi terjadi pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 5 mm. Penurunan kekuatan terjadi pada semua variasi tebal *core* seiring dengan peningkatan jumlah siklus beban bending dinamis. Kekakuan panel komposit *sandwich* berpenguat serat aren acak menurun seiring dengan bertambahnya jumlah siklus beban bending dinamis. Persentase penurunan kekakuan terbesar terjadi pada komposit *sandwich* pada tebal *core* 5 mm (19,04%), sedangkan yang terendah terjadi pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 20 mm yaitu sebesar (11,42%).

Catur (2014), meneliti tentang komposit sandwich berpenguat serat bambu fiberglass dengan *core polyurethane rigid foam*. Komposit Sandwich terdiri dari lapisan skin pada bagian luar dan sebuah inti atau core. Jumlah serat lapisan dan jenis *sandwich* komposit bervariasi dalam penelitian ini. Tidak ada perbedaan mencolok dalam nilai kekuatan tekan komposit *sandwich* dengan variasi jumlah lapisan penguat kulit. Kekuatan tekan pada area tepi menunjukkan bahwa jumlah dan lapisan pada kulit akan menentukan kuat tekan. Lamina bambu memberikan kekuatan tekan yang lebih baik dari pada lamina fiberglass. Kepadatan komposit sandwich lebih rendah dari pada kepadatan rata-rata kayu, berkisar antara 97,1 kg/m³ hingga 392,1 kg/m³. Uji lentur dilakukan dengan menggunakan tekukan empat titik untuk menentukan kekuatan lentur. Kekuatan lentur tertinggi dari komposit diperoleh pada 785N/cm³. Nilai ini dihasilkan oleh varian komposit dengan kulit terdiri dari dua lapisan bambu anyaman dikombinasikan dengan 1 (satu) lapisan fiberglass.

Wulantika (2017), meneliti tentang kekuatan dan modulus bending bahan komposit lingkungan berpenguat serat ampas tebu dengan matrik asam polilaktat. Penelitian bahan komposit ramah lingkungan berpenguat serat ampas tebu dengan matrik asam polilaktat bertujuan untuk mengetahui kekuatan bending dan modulus bending bahan komposit, mengetahui pengaruh orientasi arah serat searah dan acak terhadap kekuatan bending dan modulus bending dari bahan komposit. Adapun orientasi arah serat yang digunakan adalah orientasi arah serat searah dan orientasi arah serat acak dengan komposisi serat ampas tebu sebesar 20%, 40% dan 60%. Bahan komposit hasil sintesis akan dilakukan tiga buah pengujian yaitu pengujian bending, pengujian morfologi dan pengujian biodegradasi. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan besar orientasi dengan arah serat yang diperoleh pada fraksi massa 20%, 40% dan 60% berturut-turut sebesar (6,56 ± 1,43)Mpa, (10,70 ± 1,62) MPa dan (17,84 ± 2,62) MPa. Besar kekuatan bending dengan orientasi arah serat acak yang diperoleh pada fraksi massa 20%, 40% dan 60% berturut-turut sebesar (4,16 ± 1,67) MPa, (10,06 ± 1,62) Mpa dan (7,98 ± 0,13) MPa.

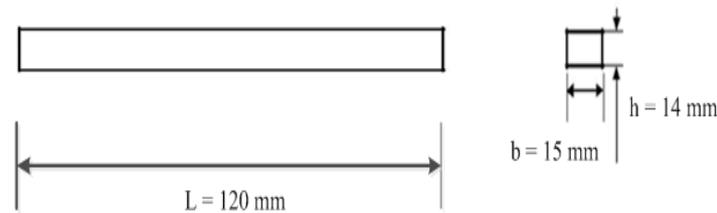
2. Metode Penelitian

Material bahan komposit yang telah mengering atau jadi dilepas dari cetakan, selanjutnya diukur dan dibentuk sesuai bentuk standar benda uji ASTM.

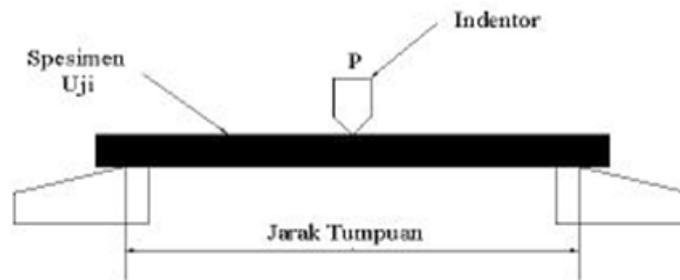
a. Uji Bending

Kekuatan bending atau kekuatan lentur adalah tegangan bending terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar atau kegagalan. Besar kekuatan bending tergantung pada jenis material dan pembebanan. Akibat pengujian bending, bagian atas spesimen mengalami tekanan, sedangkan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik. Dalam material komposit kekuatannya lebih tinggi dari pada kekuatan tariknya. Karena tidak mampu menahan tegangan tarik yang diterima, spesimen tersebut akan patah, hal tersebut mengakibatkan kegagalan pada pengujian komposit. Kekuatan bending pada sisi bagian atas sama nilai dengan kekuatan bending pada sisi bagian bawah. Pengujian dilakukan three point bending.

Material komposit dibuat mengikuti standar ASTM D790-03 dengan panjang 120 mm, lebar 15 mm dan tebal 14 mm, 16 mm dan 18mm.



Gambar 1. Spesimen Bending ASTM D790-03



Gambar 2. Pemasangan Benda Uji

Pada perhitungan kekuatan bending ini, digunakan persamaan yang ada pada standar ASTM D790-03, sama seperti pada persamaan di atas, yaitu:

$$S = \frac{3PL}{2b \cdot h^2}$$

Dimana;

S = Tegangan bending (MPa)

P = Beban /Load (N)

L = Panjang Span / Support span (mm)

b = Lebar/ Width (mm)

h = Tinggi / high (mm)

b. *Morfologi Komposit*

Pengamatan morfologi komposit dilakukan dengan tujuan dapat memeriksa celah dan lubang dalam permukaan bahan. Pengamatan dilakukan pada permukaan struktur yang patahan.

3. Hasil dan Pembahasan

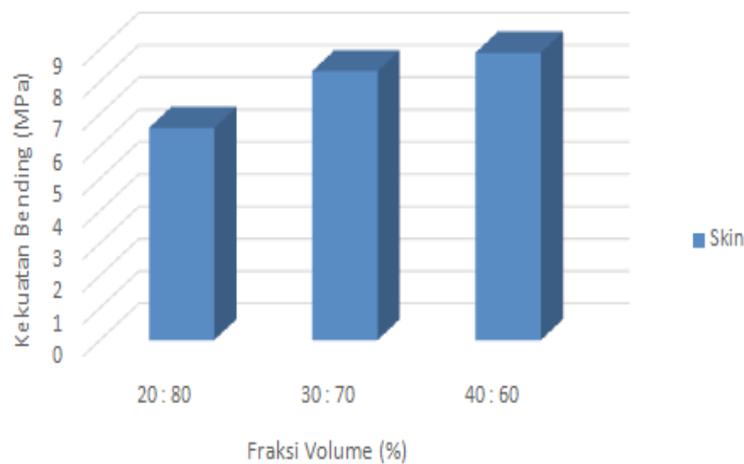
a. *Hasil Uji Tarik*

Pengujian bending merupakan suatu pengujian yang dilakukan untuk menguji ketangguhan suatu spesimen bila diberikan beban secara tiba-tiba atau langsung melalui tumbukan sehingga benda uji mengalami deformasi. Pengujian kekuatan bending komposit dengan penguat serbuk gergaji kayu sengon laut (*core*) fraksi volume 40% : 60% dan serat aren (*skin*) yang bermatrik polyester dilakukan pengujian dengan variasi fraksi volume 20% : 80%, 30% : 70% dan 40% : 60%. Berikut data hasil dari pengujian bending tiap struktur dapat dilihat dari tabel 1 berikut.

Tabel 1. Kekuatan Bending Struktur

| Spesimen | Fraksi Volume (%) | | | |
|------------------------|-------------------|---------|---------|---------|
| | | 20 : 80 | 30 : 70 | 40 : 60 |
| Kekuatan Bending (MPa) | Skin | 6,57 | 8,33 | 8,90 |
| | Core | | | 11,42 |

Tegangan Bending vs Fraksi Volume Tiap Struktur



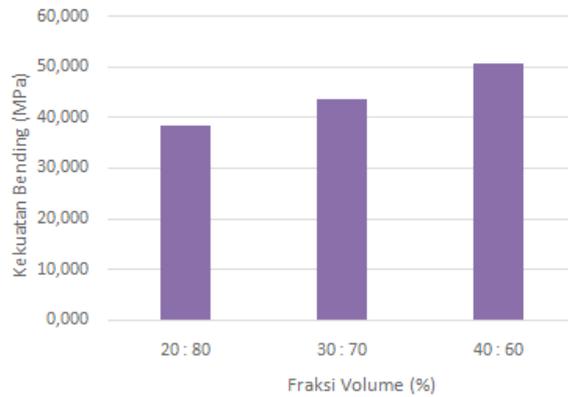
Gambar 3. Kekuatan Bending Struktur

Dari Tabel 1 dan Gambar 3 dapat diketahui nilai tegangan maksimum yang diperoleh dari skin fraksi volume 20% : 80% sebesar 6,57 MPa, dari fraksi volume 30% : 70% sebesar 8,33 MPa dan dari skin fraksi volume 40% : 60% adalah sebesar 8,90 MPa. Nilai tegangan maksimum yang diperoleh dari core dengan komposisi fraksi volume 40% : 60% sebesar 11,42 MPa.

Pengujian kekuatan bending tidak hanya dilakukan pada spesimen benda uji, tetapi dilakukan juga pada papan partikel yang ada di pasaran dimana pengujian pada papan partikel dilakukan untuk mengkomparasikan hasil kekuatan bending dengan komposit sandwich berpenguat serat aren (skin) dan serbuk gergaji kayu sengon (core). Berikut data hasil dari pengujian bending dapat dilihat dari Tabel.2 yang masing-masing hasilnya didapat dari rata-rata.

Tabel 2. Pengujian Kekuatan Bending

| Spesimen | Fraksi Volume (%) | | | |
|------------------------|-------------------|---------|---------|---------|
| | | 20 : 80 | 30 : 70 | 40 : 60 |
| Kekuatan Bending (MPa) | 1 | 37,62 | 41,30 | 50,24 |
| | 2 | 38,60 | 43,44 | 50,43 |
| | 3 | 38,79 | 46,74 | 51,18 |
| Rata-Rata | | 38,337 | 43,827 | 50,617 |



Gambar 4 Kekuatan Bending Spesimen

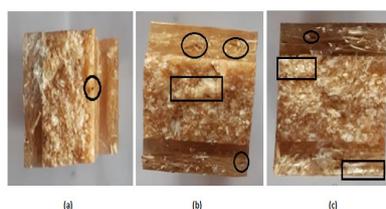
Dari Tabel 2 dan Gambar 4 diketahui nilai tegangan maksimal dari komposisi fraksi volume 20% : 80% sebesar 37,62 MPa, 38,60 MPa dan 38,79 MPa, sehingga diperoleh nilai tegangan maksimum rata-rata dari fraksi volume 20% : 80% adalah 38,34 MPa. Selanjutnya untuk nilai tegangan maksimum pada komposisi fraksi volume 30% : 70% sebesar 41,30 MPa, 43,44 MPa dan 46,74 MPa, maka nilai tegangan maksimum rata-rata dari fraksi volume 30% : 70% adalah 43,83 MPa. Nilai tegangan maksimum dari fraksi volume 40% : 60% sebesar 50,24 MPa, 50,43 MPa dan 51,18 MPa, maka nilai tegangan maksimum rata-rata dari fraksi volume 40% : 60% adalah 50,62 MPa.

Dari Gambar 4 diketahui bahwa tegangan maksimum tertinggi dicapai pada komposisi fraksi volume 40% : 60%. Penambahan fiber pada *skin* fraksi volume 20% sampai dengan fraksi volume 40% akan meningkatkan tegangan bending. Faktor lain yang perlu dipertimbangkan adalah penggunaan zat adesif/ lem perekat yang kurang banyak atau kurang merata pada saat penggabungan komposit mengakibatkan antara *skin* dan *core* tidak dapat mengikat dengan kuat. Hal tersebut akan berpengaruh terhadap kemampuan komposit untuk menahan beban, sehingga tegangan yang diberikan pada spesimen tidak akan terdistribusi secara merata. Hal inilah yang bisa menyebabkan turunnya kekuatan lentur pada komposit.

Hasil dari data pengujian di atas, menunjukkan bahwa hasil kekuatan bending komposit sandwich berpenguat serat aren (*skin*) dan serbuk gergaji kayu sengon (*core*) lebih tinggi dari pada hasil kekuatan bending papan partikel yang ada di pasaran (21,89 MPa).

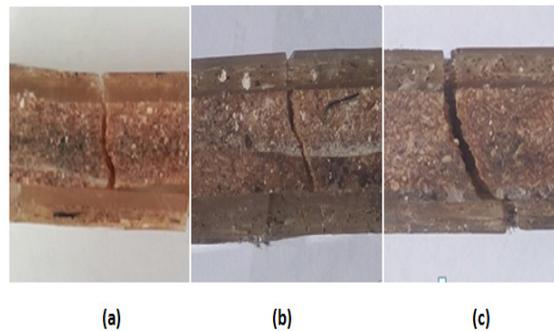
b. Morfologi Komposit Sandwich

Foto makro dari komposit dapat memberikan sebagian informasi yang mendukung sifat dari komposit tersebut. Adapun hasil foto makro Komposit Sandwich dengan Fraksi Volume Skin (a) 20% : 80%, (b) 30% : 70% dan (c) 40% : 60% yang dihasilkan dari pengamatan yang dilakukan sebagai berikut



Gambar 5 Foto Makro Komposit Sandwich

Pada Gambar 5, merupakan struktur makro dari komposit yang menunjukkan adanya void dan aglomerasi/gumpalan dari unsur penyusun komposit. Pada Gambar 5(a) terlihat bahwa struktur makro spesimen dengan fraksi volume *skin* 20% : 80% memiliki komposisi matrik pada *skin* yang lebih banyak dan dominan. Pada bagian *core* tampak serbuk gergaji lebih yang lebih jelas. Kemudian pada Gambar 5(b) spesimen dengan fraksi volume 30% : 70%, terlihat adanya *void* pada patahan spesimen maupun aglomerasi penyusun komposit laminasi. Selanjutnya Gambar 5(c) spesimen komposit dengan fraksi volume 40% : 60% serat aren menunjukkan bahwa *skin* lebih menyatu dengan matrik. *Skin* dan *core* tersebut menyatu kuat karena adanya adesif yang cukup dan penekanan pada saat penggabungan.



Gambar 6 Foto Makro kegagalan Komposit

Pada Gambar 6 terlihat adanya pola kegagalan komposit sandwich pada pengujian bending. Pada Gambar 6(a) spesimen dengan fraksi volume 20% : 80% terlihat adanya kegagalan tarik *skin* pada sisi bawah, kegagalan tekan *skin* pada sisi atas, kegagalan geser *core*, delaminasi struktur *skin* komposit sisi bawah dengan *core* pada ikatan *interfacial* dan adanya kegagalan serat terlepas atau *fiber pull out* pada *skin* komposit baik pada sisi atas maupun sisi bawah. Selanjutnya pada Gambar 6(b) terlihat adanya pola kegagalan retakan pada spesimen dengan fraksi volume 30% : 70%. Terdapat kegagalan tarik *skin* pada sisi bawah, kegagalan geser *core* dan delaminasi struktur *skin* komposit sisi bawah dengan *core* pada ikatan *interfacial*. Kemudian pada Gambar 6(c) spesimen komposit sandwich dengan fraksi volume 40% : 60% juga terdapat pola kegagalan yang serupa adanya kegagalan tarik *skin* pada sisi bawah dan kegagalan geser *core*.

Berdasarkan pengujian pada struktur komposit sandwich berdasarkan berbagai variasi yang telah ditentukan maka dapat diketahui bahwa:

1) Fraksi volume 20% : 80%

Pada spesimen dengan fraksi volume 20% : 80% yang telah diujikan, dapat diketahui bahwa dari pengamatan struktur mikro spesimen dengan fraksi volume *skin* 20% : 80%, dimana matrik pada *skin* lebih dominan. Pada *core* tampak serbuk gergaji lebih jelas. *Skin* dan *core* tersebut kurang menyatu kuat karena kekurangan zat adesif yang cukup dan penekanan pada saat penggabungan. Terlihat juga pola kegagalan komposit *sandwich* pada pengujian bending dengan fraksi volume 20% : 80% seperti halnya kegagalan tarik *skin* pada sisi bawah, kegagalan tekan *skin* pada sisi atas, kegagalan geser *core*, dan delaminasi struktur *skin* komposit sisi bawah dengan *core* pada ikatan *interfacial*.

b) Fraksi volume 30% : 70%

Pada spesimen dengan fraksi volume 30% : 70% yang telah diujikan, dapat diketahui bahwa dari pengamatan struktur mikro, serat aren pada spesimen dengan fraksi volume

skin 30% : 70% lebih menyatu dengan matrik, namun terlihat juga masih adanya beberapa *void* yang terdapat pada skin tersebut. Terlihat juga pola kegagalan komposit *sandwich* pada pengujian bending dengan fraksi volume 30% : 70% seperti halnya kegagalan tekanskin pada sisi atas, kegagalan geser *core*, dan delaminasi struktur skin komposit sisi atas dengan *core* pada ikatan *interfacial*. Pada saat penggabungan komposit *sandwich*, zat adesif yang digunakan kurang banyak atau kurang merata. Mengakibatkan antara *skin* dan *core* tidak dapat mengikat dengan kuat, akhirnya beban atau tegangan yang diberikan pada spesimen tidak akan terdistribusi secara merata. Hal ini juga bisa menyebabkan turunnya kekuatan bending pada komposit *skin* dan *core* tersebut menyatu kuat karena adanya zat adesif yang cukup dan penekanan disaat penggabungan.

3) Fraksi volume 40% : 60%

Pada spesimen dengan fraksi volume 40% : 60% yang telah diujikan, dapat diketahui bahwa dari pengamatan struktur mikro, serat aren pada spesimen dengan fraksi volume *skin* 40% : 60% lebih menyatu dengan matrik. Pada *core* tampak serbuk gergaji lebih jelas. *Skin* dan *core* tersebut menyatu kuat karena adanya adesif yang cukup dan penekanan disaat penggabungan. Pada ketiga spesimen tidak hanya mengalami keretakan. Terlihat juga pola kegagalan komposit *sandwich* pada pengujian bending dengan fraksi volume 40% : 60% seperti halnya kegagalan tarik skin pada sisi bawah dan kegagalan geser *core* untuk seluruh spesimen, kegagalan tekan skin pada sisi atas untuk spesimen 2 dan spesimen 3, dan delaminasi struktur skin komposit sisi bawah dengan *core* pada ikatan *interfacial* untuk spesimen 2.

Secara umum, pola kegagalan komposit sandwich serat aren dengan *core* limbah gergaji kayu sengon laut diawali dengan retakan pada komposit *skin* yang mengalami tegangan tarik. Beban bending tersebut didistribusikan pada *core* sehingga *core* mengalami kegagalan. *Skin* yang semula menderita beban tekan akhirnya mengalami kegagalan seiring dengan gagalnya *core*. Disamping itu juga terdapat kegagalan tarik pada komposit *skin* bagian bawah, kegagalan geser pada *core*, kegagalan tekan pada komposit *skin* bagian atas, delaminasi skin dan *core* pada ikatan *interfacial*. Delaminasi yang terjadi pada ketiga fraksi volume dikarenakan adanya penggunaan zat adesif yang kurang banyak atau kurang merata pada saat penggabungan komposit *sandwich*, sehingga mengakibatkan antara *skin* dan *core* tidak dapat mengikat dengan kuat. Selanjutnya dari pengamatan foto makro patahan dapat diketahui bahwa kegagalan yang terjadi adalah adanya serat terlepas atau *fiber pull out* pada *skin* akibat ikatan yang lemah antara matriks dan serat. Adanya peningkatan fraksi volume turut mempengaruhi kegagalan fiber pull out dimana kegagalan fiber pull out lebih banyak dialami komposit *sandwich* dengan perbandingan fraksi volume 20% : 80% dan seiring dengan peningkatan fraksi volume kegagalan tersebut menjadi tidak dapat dikurangi dengan proses manufaktur yang tepat.

KESIMPULAN

1. Kekuatan lentur material meningkatkan dengan bertambahnya fraksi volume pada serat. Komposit sandwich dengan fraksi volumeskin 40% memiliki rata-rata kekuatan bending paling tinggi yaitu 50,62 MPa.
2. Pola patahan pada spesimen didominasi oleh kegagalan tarik pada skin bagian bawah dan delaminasi yang diakibatkan oleh kurangnya zat adesif pada waktu penggabungan *core* dan *skin*.
3. Berdasarkan komparasi hasil pengujian dengan komposit yang ada di pasaran dapat memenuhi persyaratan kekuatan bending yaitu sama atau lebih besar dari 21,89 MPa.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami ucapkan kepada LP2M Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto yang telah mendanai penelitian ini melalui skema dana penelitian internal ini, Sdr. Bagus Wicaksono serta semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian tersebut.

Daftar Pustaka

- [1] Catur, A.D, dkk., (2014). Sifat Mekanik Komposit Sandwich Berpenguat Serat Bambu-Fiberglass dengan CorePolyurethan Rigid Foam, Jurnal Rekayasa Mesin Volume 5, No.1 Tahun 2014 51-57.
- [2] Catur, A.D, dkk., (2017). Kekuatan Bending dan Berat Jenis Komposit Sandwich Yang diperkuat Z-Pin Bambu. Simposium Nasional –RAPI XVI, FT-UMS.
- [3] Hariyanto, A., dan Apriandana, R., 2109. Komposit Sandwich Berpenguat Hybrid Serat Bambu Ori dan Serat Rami pada Skin dan Berpenguat Serbuk Kayu Sengon Laut serta Serbuk Tempurung Kelapa pada Core dengan Matrik Polyester. Simposium Nasional – RAPI XVIII, FT-UMS.
- [4] Nurhidayat, A., (2016). Pengaruh Ketebalan Core Terhadap Sifat Mekanik Komposit Sandwich Cantuta- HDPE Daur Ulang Sebagai Bahan Penutup Lantai Ramah Lingkungan. Prosiding SNATIF, 159- 166.
- [5] Wulantika, N. (2014). Kekuatan dan ModulusBending Bahan Komposit Ramah Lingkungan Berpenguat Serat Ampas Tebu dengan Matrik Asam Polilaktat.
- [6] Xie, D., (2009). Kekuatan impak komposit sandwich berpenguat serat aren.
- [7] F. Abdurrachman. (2017). Analisa Teknis Komposit Berpenguat Serat Daun Nanas (*Smooth Cayenne*) Dan Serat Ampas Tebu (*Saccharum Officinarum L*) Sebagai alternatif Komponen Kapal Ditinjau Dari Kekuatan *Bending* Dan Impack.
- [8] Umbara, N.A.A., (2011). Pengaruh Ketebalan Core Dan Jumlah Siklus Beban *Bending* Dinamis Terhadap Penurunan Kekuatan Komposit Sandwich Serat Aren Dengan CoreSerbuk Gergaji Kayu Sengon Laut.
- [9] Munandar,I., Savetlana, S., (2013). Kekuatan Tarik Serat Ijuk (*Arenga Pinnata Merr*).
- [10] Diharjo, K., (2006). Karakteristik Alkali Terhadap Sifat Tarik Bahan Komposit Serat Rami-Polyester.