

Effect of Bamboo Fiber Volume Fraction on The Density, Bending and Compressive Strength of Sandwich Composite With Opened Cell Bamboo-Polyurethane Foam Core

Paryanto Dwi Setyawan^{1,*}, Sugiman¹ dan Agus Setiawan²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram - Mataram

²Program Sarjana, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

**Corresponding author: paryanto.ds@unram.ac.id

Abstract. Polyurethane foam has been used as a core of composite sandwich. However, it is possible to incorporate natural fibers into the foam core to improve some mechanical properties. The objective of this paper is to determine the effect of volume fraction of bamboo fibers on density, bending strength and compressive strength of sandwich composite with bamboo-polyurethane opened cell foam core. To manufacture opened cell bamboo-polyurethane foam core, the volume fraction of bamboo fiber were varied from 2%, 4%, and 6%. The fiber length was kept constant at 10 mm. Polyurethane was used as a binder of bamboo fibers. Around 3 mm in thickness of plywood was used as skins of the sandwich composite. The physical and mechanical testing were carried out such as density (ASTM C271), bending test (ASTM C392), edgewise compressive test (ASTM C364-99) and flatwise compressive test (ASTM C365-05). The results showed that the density of sandwich composite tends to increase with increasing volume fraction of bamboo fiber, up to 0.21 g/cm³ at 6% volume fraction of bamboo fiber. On the other hand, the bending strength of sandwich composite tends to decrease with increasing volume fraction of bamboo fiber. The edgewise compressive strength and flatwise compressive strength tends to increase with increasing volume fraction of bamboo fiber. However, the compressive strength of sandwich composites with bamboo-polyurethane foam core is still lower compared to the compressive strength of sandwich composites with polyurethane core.

Abstrak. *Foam polyurethane* telah lama digunakan sebagai inti dari komposit *sandwich*. Namun, penambahan serat alami ke dalam inti *foam polyurethane* sangat mungkin dilakukan untuk meningkatkan beberapa sifat mekanik kompositnya. Tujuan dari makalah ini adalah untuk mengetahui pengaruh fraksi volume serat bambu terhadap densitas, kekuatan *bending* dan kekuatan tekan komposit *sandwich* dengan inti bambu-*polyurethane opened cell foam*. Untuk memproduksi inti bambu-*polyurethane opened cell foam*, fraksi volume serat bambu divariasikan 2%, 4%, dan 6%. Panjang serat bambu dijaga konstan pada 10 mm. *Polyurethane* digunakan sebagai pengikat serat bambu. Kayu lapis (*plywood*) dengan ketebalan sekitar 3 mm digunakan sebagai kulit komposit *sandwich*. Pengujian fisik dan mekanis yang dilakukan adalah pengujian densitas (ASTM C271), pengujian *bending* (ASTM C392), pengujian tekan arah tepi (*edgewise*) (ASTM C364-99) dan pengujian tekan arah ketebalan (*flatwise*) (ASTM C365-05). Hasil penelitian menunjukkan bahwa densitas komposit *sandwich* cenderung meningkat dengan meningkatnya fraksi volume serat bambu, hingga 0,21 g/cm³ pada 6% fraksi volume serat bambu. Di sisi lain, kekuatan *bending* komposit *sandwich* cenderung menurun dengan meningkatnya fraksi volume serat bambu. Kekuatan tekan arah tepi (*edgewise*) dan kekuatan tekan arah ketebalan (*flatwise*) cenderung meningkat dengan meningkatnya fraksi volume serat bambu. Namun, kekuatan tekan dari komposit *sandwich* dengan inti bambu-*polyurethane opened cell foam* masih lebih rendah dibandingkan dengan kekuatan tekan dari komposit *sandwich* dengan inti *polyurethane*.

Kata kunci : Komposit *sandwich*, bambu-*polyurethane opened cell foam*, densitas, kekuatan *bending*, kekuatan tekan arah tepi (*edgewise*) dan kekuatan tekan arah ketebalan (*flatwise*).

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Bambu merupakan alternatif yang menarik karena bambu mempunyai pertumbuhan yang cepat, dan dapat dipanen 3-4 tahun [1]. Ketersediaan bambu di Indonesia melimpah dan terutama di Nusa Tenggara Barat tersebar di semua wilayah. Dengan demikian, perlu dilakukan rekayasa teknologi terhadap bambu agar

menghasilkan produk material yang mampu menggantikan material dari logam. Salah satu upaya tersebut adalah dengan menjadikan bambu sebagai bahan utama serat pada komposit *sandwich*. Dari segi sifat mekanik, serat bambu setara dengan kekuatan tarik baja ringan dimana mempunyai kekuatan tarik yang tinggi (140-800 MPa), dan modulus elastisitas yang tinggi (140 GPa) [2].

Strip bambu telah menjadi objek penelitian dalam mengembangkan material baru yang ramah lingkungan dengan digabungkan dengan polimer untuk membentuk material komposit laminat [3,4] dan komposit *sandwich* [5]. Sedangkan serat bambu telah dikembangkan dalam penelitian untuk memperkuat resin *unsaturated polyester* yang telah dimodifikasi [6-8] dan dikembangkan dalam bentuk *opened cell foam* yang digunakan sebagai inti (*core*) komposit *sandwich* [9,10]. Dalam makalah serat bambu bersama dengan *polyurethane* dikembangkan sebagai *opened cell foam*. Bambu-*polyurethane opened cell foam* ini selanjutnya digunakan sebagai inti (*core*) pada komposit *sandwich*.

Metode Penelitian

Pembuatan Serat Bambu. Bambu apus dipotong menjadi serpihan-serpihan dan direndam dalam ember yang berisi air selama kurang lebih satu minggu. Kemudian bambu di pukul menggunakan palu hingga diperoleh serat bambu. Serat yang dihasilkan kemudian di potong sesuai dengan ukuran yang di inginkan (10 mm).

Perlakuan Serat Bambu. Serat bambu direndam dalam larutan NaOH dengan konsentrasi 12% (berat) pada suhu kamar selama 1 jam [11]. Selanjutnya, serat bambu dibilas sampai bersih. Serat bambu dikeringkan dengan cara dijemur dibawah sinar matahari beberapa hari dan selanjutnya dipanaskan dalam oven pada temperatur 80 °C selama 24 jam.

Pembuatan Bambu-Polyurethane Opened Cell Foam. Untuk memproduksi bambu-*polyurethane opened cell foam*, fraksi volume serat bambu divariasikan 2%, 4%, dan 6%. Panjang serat bambu dijaga konstan pada 10 mm. *Polyurethane* digunakan sebagai pengikat serat bambu. Serat bambu disiapkan dalam wadah plastik, kemudian *polyurethane* dimasukkan ke dalam wadah sedikit demi sedikit sambil terus diaduk hingga serat bambu terbasahi semua oleh *polyurethane*. Kemudian serat tersebut dimasukkan dalam cetakan secara acak. Bambu-*polyurethane opened cell foam* dibiarkan mengeras selama kurang lebih 30 menit pada suhu kamar sejak penuangan dalam cetakan.

Pembuatan Komposit Sandwich. Komposit *sandwich* terdiri dari dua *skin* dan satu inti. Inti *sandwich* terbuat dari bambu-*polyurethane opened cell foam*, sedangkan sebagai *skin sandwich* digunakan kayu lapis (*plywood*) dengan ketebalan 3 mm. Inti bambu-*polyurethane opened cell foam* direkatkan ke *skin* dengan menggunakan resin *epoxy*.

Pengujian fisik dan mekanis yang dilakukan adalah pengujian densitas (ASTM C271), pengujian

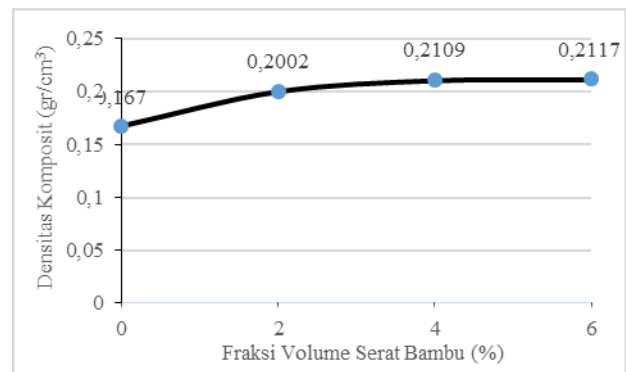
bending (ASTM C392), pengujian tekan arah tepi (*edgewise*) (ASTM C364-99) dan pengujian tekan arah ketebalan (*flatwise*) (ASTM C365-05).

Hasil dan Pembahasan

Densitas. Uji densitas merupakan suatu indikator penting suatu komposit *sandwich* karena sangat mempengaruhi sifat dari material komposit tersebut. Pengujian densitas komposit dilakukan mengacu pada standard ASTM C271.

Dari hasil pengujian densitas terhadap serat bambu sebelum dan sesudah perlakuan permukaan dengan NaOH diketahui bahwa densitas rata-rata serat bambu setelah perlakuan NaOH (0,79 gr/cm³) lebih tinggi dibandingkan dengan densitas rata-rata serat bambu sebelum perlakuan dengan NaOH (0,58 gr/cm³). Hal ini menunjukkan proses perlakuan serat bambu berlangsung dengan baik dimana lapisan lignin pada permukaan serat dapat dihilangkan sehingga diharapkan akan menghasilkan ikatan antara serat dan matrik yang baik [11]. Densitas kayu lapis (*plywood*) yang digunakan sebagai kulit (*skin*) komposit *sandwich* adalah 0,33 gr/cm³.

Hubungan antara fraksi volume serat bambu dengan densitas komposit *sandwich* yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 1.



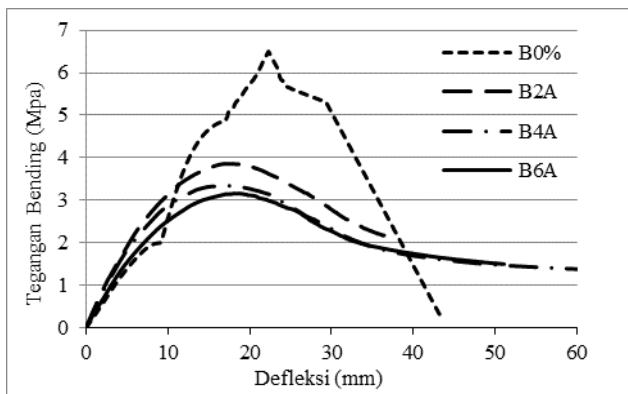
Gambar 1. Hubungan antara densitas komposit *sandwich* dengan fraksi volume serat bambu.

Dari Gambar 1 diketahui bahwa peningkatan jumlah fraksi volume serat bambu pada inti bambu-*polyurethane opened cell foam* akan diikuti dengan peningkatan densitas pada komposit *sandwich*nya.

Peningkatan nilai densitas komposit *sandwich* ini disebabkan karena densitas serat bambu yang lebih tinggi dibandingkan dengan densitas *polyurethane*, sehingga dengan meningkatnya fraksi volume serat bambu akan meningkatkan densitas komposit *sandwich*nya. Selain itu, semakin bertambahnya fraksi volume serat bambu akan menimbulkan terjadi pemadatan pada bambu-*polyurethane opened cell foam*. Peningkatan kerapatan partikel dalam komposit menyebabkan

rongga di antara partikel-partikel pada komposit semakin kecil. Semakin kecil rongga pada komposit berakibat pada semakin tinggi nilai densitas yang di hasilkan.

Kekuatan Bending. Pengujian *bending* dilakukan di Laboratorium Fisika Fakultas MIPA Universitas Mataram dengan prosedur sesuai standar ASTM C-392 dan menggunakan mesin TENSILON RTG-1310, dengan kecepatan beban *bending* yang 4 mm/menit. Grafik hasil pengujian *bending* dengan variasi fraksi volume serat bambu dapat dilihat pada Gambar 2.



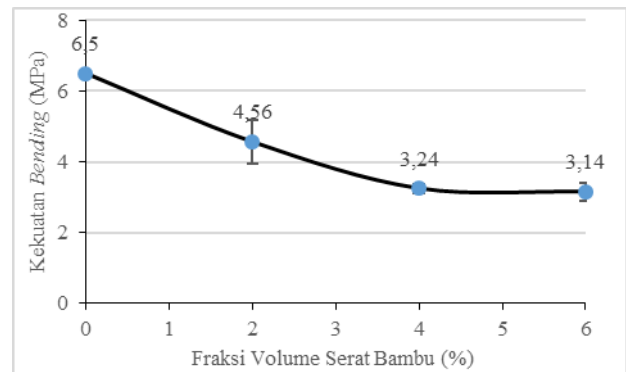
Gambar 2. Grafik hubungan antara tegangan *bending* terhadap defleksi komposit *sandwich* dengan variasi fraksi volume serat bambu.

Gambar 2 menunjukkan bahwa ada perubahan perilaku grafik dengan meningkatnya fraksi volume serat bambu. Dengan meningkatnya fraksi volume serat bambu, setelah tegangan *bending* maksimum tercapai, tegangan turun dengan perlahan. Pada komposit *sandwich* tanpa serat bambu, tegangan turun dengan drastis setelah tegangan maksimum tercapai. Hal ini disebabkan karena serat bambu dapat menahan dan meneruskan beban yang diberikan pada komposit *sandwich* lebih baik.

Berdasarkan hasil pengujian *bending* diperoleh grafik hubungan antara kekuatan *bending* komposit *sandwich* dengan variasi fraksi volume serat bambu yang dapat dilihat pada Gambar 3.

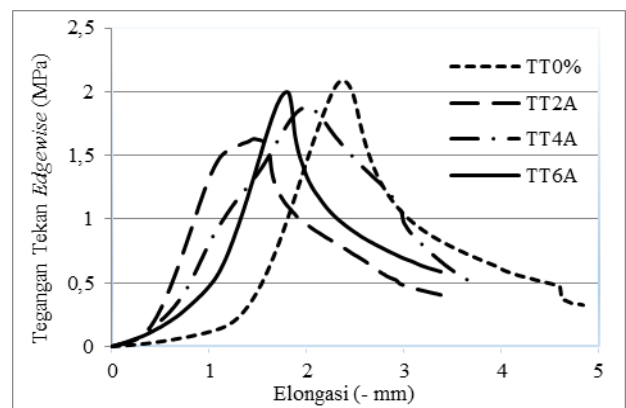
Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai kekuatan *bending* komposit *sandwich* cenderung menurun dengan bertambahnya fraksi volume serat bambu. Penurunan kekuatan *bending* ini disebabkan karena semakin besar fraksi volume serat bambu akan mempersulit matrik *polyurethane* untuk masuk kesela-sela serat secara sempurna sehingga *polyurethane* tidak dapat mengikat bagian serat secara sempurna. Pada fraksi volume serat bambu 2% memiliki nilai rata-rata kekuatan *bending* komposit *sandwich* sebesar 4,56 MPa, sedangkan kekuatan *bending* komposit *sandwich* dengan fraksi serat bambu 0% yaitu sebesar 6,50 MPa.

Rekomendasi untuk penelitian berikutnya, perlu dilakukan penelitian pengaruh fraksi volume serat bambu yang lebih kecil dari 2%.



Gambar 3. Grafik hubungan antara tegangan *bending* komposit *sandwich* dengan fraksi volume serat bambu.

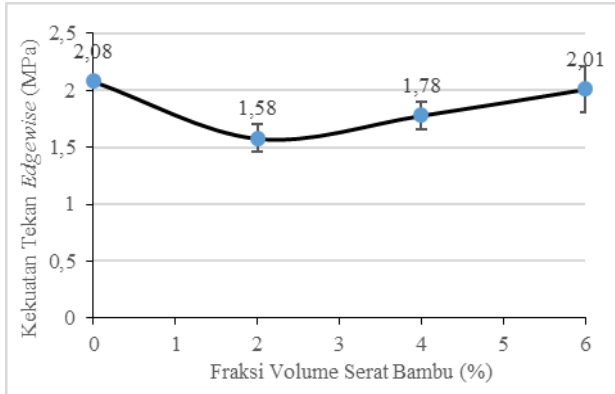
Kekuatan Tekan Tepi (*edgewise*). Pengujian tekan tepi (*edgewise*) dilakukan mengacu pada standard ASTM C 364-99 dan menggunakan mesin TENSILON RTG-1310 dengan kecepatan pembebanan 2 mm/menit. Grafik hubungan antara tegangan tekan tepi (*edgewise*) terhadap elongasi dengan variasi fraksi volume serat bambu dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik hubungan antara tegangan tekan tepi (*edgewise*) terhadap elongasi dengan variasi fraksi volume serat bambu.

Dari Gambar 4 diketahui bahwa grafik hubungan antara tegangan tekan tepi (*edgewise*) terhadap elongasi dengan variasi fraksi volume serat bambu mempunyai karakteristik yang sama. Hal ini disebabkan karena pada pengujian tekan tepi (*edgewise*) komposit *sandwich* sangat dipengaruhi oleh jenis kulit (*skin*) yang digunakan, karena kekuatan kulit (*skin*) jauh lebih besar dibandingkan dengan kekuatan inti (*core*) komposit *sandwich*. Pada komposit *sandwich* dengan inti bambu-*polyurethane opened cell foam*, jenis kulit (*skin*) yang digunakan sama, yaitu kayu lapis (*plywood*) dengan ketebalan 3 mm.

Berdasarkan data yang didapatkan dari hasil pengujian tekan tepi (*edgewise*) komposit *sandwich* diperoleh grafik hubungan antara kekuatan tekan tepi (*edgewise*) dengan variasi fraksi volume serat bambu yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik hubungan antara kekuatan tekan tepi (*edgewise*) komposit *sandwich* dengan variasi fraksi volume serat bambu pada inti (*core*).

Dari grafik pada Gambar 5 diketahui bahwa nilai kekuatan tekan tepi (*edgewise*) komposit *sandwich* meningkat seiring dengan bertambahnya fraksi volume serat bambu. Kekuatan tekan tepi (*edgewise*) tertinggi sebesar 2,01 MPa ditunjukkan pada fraksi volume serat bambu 6%. Namun kekuatan tekan tepi (*edgewise*) ini masih sedikit lebih rendah dibandingkan dengan kekuatan tekan tepi (*edgewise*) dari komposit *sandwich* dengan inti *polyurethane* (tanpa serat bambu) yaitu sebesar 2,08 MPa.

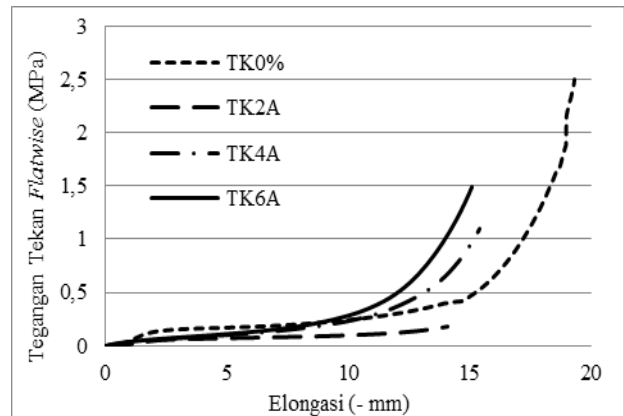
Kegagalan yang dihubungkan dengan beban puncak pada kurva tegangan-elongasi adalah kegagalan kulit (*skin*) komposit *sandwich* yang kemudian diikuti dengan proses *buckling* dan kemudian kegagalan pada inti (*core*).

Kekuatan Tekan Arah Ketebalan (*flatwise*).

Pengujian tekan arah ketebalan (*flatwise*) dilakukan dengan mengacu pada standard ASTM C 365-05 dan menggunakan mesin TENSILON RTG-1310 dengan kecepatan pembebanan 3 mm/menit.

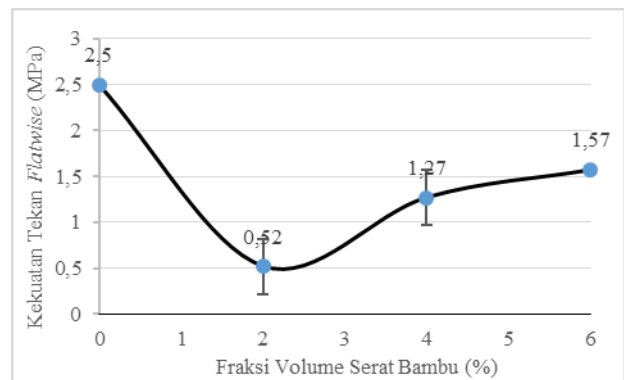
Grafik hubungan antara tegangan tekan arah ketebalan (*flatwise*) terhadap elongasi dengan variasi fraksi volume serat bambu hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 6. Dari Gambar 6 dapat diketahui bahwa grafik hubungan antara tegangan tekan arah ketebalan (*flatwise*) terhadap elongasi dengan variasi fraksi volume serat bambu mempunyai karakteristik hampir sama. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan serat bambu untuk meningkatkan kekuatan tekan arah ketebalan (*flatwise*) tidak diimbangi dengan penurunan kekuatan tekan arah ketebalan (*flatwise*) yang

ditimbulkan oleh ikatan serat bambu dan *polyurethane* yang kurang baik.



Gambar 6. Grafik hubungan antara tegangan tekan arah ketebalan (*flatwise*) terhadap elongasi dengan variasi fraksi volume serat bambu.

Berdasarkan data hasil pengujian tekan arah ketebalan (*flatwise*) didapatkan grafik hubungan antara kekuatan tekan arah ketebalan (*flatwise*) komposit *sandwich* dengan variasi fraksi volume serat bambu seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik hubungan antara kekuatan tekan arah ketebalan (*flatwise*) komposit *sandwich* dengan variasi fraksi volume serat bambu.

Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai kekuatan tekan arah ketebalan (*flatwise*) komposit *sandwich* meningkat seiring dengan bertambahnya fraksi volume serat bambu. Peningkatan ini ditimbulkan karena semakin tinggi fraksi volume serat bambu. Disamping itu, dengan semakin tinggi fraksi volume serat bambu maka kepadatan komposit *sandwich* juga semakin meningkat. Kekuatan tekan arah ketebalan (*flatwise*) tertinggi sebesar 1,57 MPa ditunjukkan pada fraksi volume serat bambu 6%. Namun kekuatan ini masih lebih rendah dibandingkan dengan kekuatan tekan arah ketebalan (*flatwise*) dari komposit *sandwich* dengan inti *polyurethane* (tanpa serat bambu) yaitu sebesar 2,5 MPa.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian pengaruh fraksi volume serat bambu (2%, 4% dan 6%) pada komposit *sandwich* dengan inti bambu-*polyurethane opened cell foam* yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan antara lain:

1. Semakin besar fraksi volume serat bambu pada inti bambu-*polyurethane opened cell foam* maka densitas komposit *sandwich* yang peroleh semakin tinggi. Densitas tertinggi 0.2117 g/cm³ didapat pada fraksi volume serat bambu 6%.
2. Kekuatan *bending* komposit *sandwich* cenderung menurun dengan bertambahnya fraksi volume serat bambu pada inti bambu-*polyurethane opened cell foam*. Kekuatan *bending* tertinggi sebesar 4,56 MPa ditunjukkan pada fraksi volume serat bambu 2%.
3. Kekuatan tekan arah tepi (*edgewise*) dan kekuatan tekan arah ketebalan (*flatwise*) cenderung meningkat dengan meningkatnya fraksi volume serat bambu. Kekuatan tekan arah tepi (*edgewise*) tertinggi sebesar 2,01 MPa dan kekuatan tekan arah ketebalan (*flatwise*) tertinggi sebesar 1,57 MPa ditunjukkan pada fraksi volume serat bambu 6 %. Namun, kekuatan tekan dari komposit *sandwich* dengan inti bambu-*polyurethane opened cell foam* masih lebih rendah dibandingkan dengan kekuatan tekan dari komposit *sandwich* dengan inti *polyurethane*.

Referensi

- [1] Amada, S., et al., 1997. Fiber texture and mechanical graded structure of bamboo. Composites Part B 28, pp. 13–20.
- [2] Defoirdt N, et al., 2010. Assessment of the tensile properties of coir, bamboo and jute fibre, composites : Part A 41, pp. 588-595.
- [3] Kalapaksi G, dkk., 2014. Kekuatan Tarik dan Tekan Komposit Laminat Hibrid Aluminium-Fiberglass-Bambu. Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke 20, UGM Jogjakarta.
- [4] Zaen U, dkk., 2014. Investigasi Kekuatan Bending Komposit Laminat Aluminium-Fiberglass-Bambu. Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke 20, UGM Jogjakarta.
- [5] Setyawan PD, dan Sugiman, 2013. Pengaruh Densitas Honeycomb Bambu Sebagai Inti Komposit Sandwich Terhadap Kekuatan Bending Komposit Sandwich. Jurnal REFORMA Vol.2 No.2.
- [6] Sugiman S., et al., 2018. Effect of Fiber Length on the Mechanical Properties and Water Absorption of Bamboo Fiber/Polystyrene-Modified Unsaturated Polyester Composites. The 4TH International Conference on Science, Technology and Interdisciplinary Research (IC – STAR) 2018.
- [7] S. Sugiman, et al., 2018. Effect of alkali treatment on the flexural strength of bamboo fibers reinforced styrofoam-modified polyester resin. AIP Conference Proceedings 1983, 050005 (2018); doi: 10.1063/1.5046278.
- [8] S. Sugiman, et al., 2018. Water absorption and impact strength of bamboo fiber/polystyrene-modified unsaturated polyester composites: Effects of alkali treatment. IJASEIT, Submitted for publication.
- [9] Setyawan PD, et al., 2015. Characterization of Compressive and Short Beam Shear Strength of Bamboo Opened Cell Foam Core Sandwich Composites. The 4th International Conference and Exhibition on Sustainable Energy and Advanced Materials 2015 (ICE-SEAM 2015), Solo.
- [10] Setyawan PD, et al., 2018. Effect of Bamboo Fiber Length in Opened Cell Foam Core Sandwich Composite on Water Absorption and Their Mechanical Properties. AIP Conference Proceedings 1977, 030021 (2018); doi ; 10.1063/1.5042941
- [11] Setyawan PD, and Sugiman, 2009. Effect Of Surface Treatment On The Physical And Mechanical Characteristic Of Balinese Pineapple Fiber. International Conference on Materials and Metallurgical Technology (INCOMMET), ITS Surabaya.