G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan
Vol. 8, No. 3, Juli 2024, hlmn. 1533-1543
E-ISSN: 2623-064X | P-ISSN: 2580-8737

Pengujian Kekuatan Bending dan Impak Komposit *Sandwich* Serat Gelas dengan Inti Kayu Balsa

Agus Dani[1], Nurlia Pramita Sari[2]✉, Fauzan Baananto[3], Sulistyono[4]

[1, 2, 3, 4] Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 18-05-2024
Direvisi : 30-05-2024
Diterima : 03-06-2024

ABSTRAK

Kekuatan komposit *sandwich* dipengaruhi oleh sifat mekanis, tebal, kekuatan ikatan *skin* dan *core*. Kayu balsa adalah bahan *core* yang sesuai untuk aplikasi komposit *sandwich* karena rasio kekuatan dan kekakuan terhadap beratnya tinggi. Keunggulan lain adalah banyak ditemukan dan harganya murah. Pada penelitian ini, komposit *sandwich* dengan *skin* serat gelas dan *core* kayu balsa dibuat menggunakan metode *hand lay-up* menggunakan resin epoxy. Variasi arah serat anyam miring (45°/45°) dan lurus (0°/90°) serta variasi berat anyam 200 GSM, 400 GSM, dan 600 GSM diuji. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui *mechanical bonding* serat *sandwich* dengan menggunakan metode *three-point bending* dan penguiian impak. Hasilnya orientasi serat mempengaruhi tegangan lentur dan impak komposit *sandwich*. Orientasi serat lurus memiliki tegangan dan harga impak lebih besar daripada pada orientasi serta miring. Nilai tegangan tertinggi pada 400 GSM variasi orientasi serat lurus dengan nilai tegangan lentur 149,53MPa serta memiliki harga impak tertinggi yaitu 0,052 Joule/mm.

Kata Kunci:

Hand lay-up, Kayu balsa, Komposit Sandwich

Keywords **:**

Hand layup, Balsa wood, Sandwich composite

ABSTRACT

The strength of the sandwich composite structure is influenced by the mechanical properties, thickness, and bond strength of the skin and core. Balsa wood is a suitable core material for sandwich composite applications due to its high strength and stiffness-to-weight ratio. Another advantage of balsa wood is that it is a widely found material and is relatively cheap. In this research, a sandwich composite with glass fiber skin and balsa wood core was made using the hand lay-up method, using epoxy resin. Variations in the direction of the woven fibers at an angle (45°/45°) and straight (0°/90°) as well as variations in woven weights of 200 GSM, 400 GSM and 600 GSM were tested to determine mechanical bonding. This research was conducted to determine the mechanical bonding of sandwich fibers using the three-point bending test method and impact testing. As a result, fiber orientation affects the bending stress and impact of sandwich composites. The straight fiber orientation has greater stress and impact values than the inclined orientation. The highest stress value at 400 GSM varies in straight fiber orientation with a bending stress value of 149.53MPa and has the highest impact value, namely 0.052 Joule/mm.

Corresponding Author **:**
Nurlia Pramita Sari
Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Indonesia
Jl. Soekarno Hatta No 9, Malang, Jawa timur
Email: nurlia_ps@polinema.ac.id

This is an open access article under the CC BY license

PENDAHULUAN

Komposit *sandwich* telah digunakan di banyak bidang seperti pesawat terbang, lambung kapal, bilah turbin angin, anjungan minyak lepas pantai, dek jembatan, dan lain-lain. Ini dikarenakan sifat komposit sanwich yang unggul dalam menahan beban melintang, kekakuan lentur yang unggul, bobot yang rendah, dan insulasi termal yang sangat baik. Komposit *sandwich* biasanya terdiri dari lapisan kulit (*skin*) dan lapisan inti (*core*) yang ringan. Tugas utama lapisan kulit dalam komposit sandwich adalah menahan beban transversal atau momen lentur sementara lapisan inti (*core*) menahan beban geser melintang, serta mengemban tugas struktural atau fungsional lainnya seperti toleransi benturan, perisai radiasi, dll.(Agus, 2012)

Kandungan serat dapat meningkatkan hingga 60-70% selain jenis, orientasi, geometri, dan distribusi menurut teori *Rule of Mixture* (ROM) (Sanadi et al., 1986). Serat sebagai penguat komposit harus memiliki panjang sekurang kurangnya 100 kali diameter atau lebarnya untuk memperoleh penguatan yang optimal. (Hariyanto, 2016)

Sifat mekanis skin dan core, tebalnya, serta kekuatan ikatan antara core dan skin komposit *sandwich* dapat mempengaruhi kekuatan dari struktur komposit *sandwich*. Jenis material *skin* dan *core*, ketebalan *skin* maupun *core*, jenis materialnya, orientasi serat, fraksi volume dapat menjadi perbedaan antara satu dengan yang lainnya. (ASTM International, 2020). Kayu balsa adalah bahan inti yang sesuai untuk aplikasi komposit sandwich karena rasio kekuatan dan kekakuan terhadap beratnya yang tinggi. Keunggulan lain dari kayu balsa adalah bahan yang banyak ditemukan dan harganya relatif murah.(Teguh M. W. et al., 2017)

Studi tentang pengaruh orientasi serat terhadap kekuatan lentur komposit GFRP (*Glass Fiber Reinforced Plastic*) dan pengaruh banyaknya laminasi dan ketebalan inti untuk sifat lentur GFRP komposit sandwich dengan inti divinycell-PVC tipe H-60 telah dilakukan. Hasilnya menunjukkan bahwa orientasi serat (0/90), memiliki kekuatan lentur tertinggi (226,62 MPa) dibandingkan dengan yang lain, dan kegagalannya didominasi oleh delaminasi interlaminasi. Untuk komposit *sandwich* dengan ketebalan inti 10 mm, kapasitas momen maksimum meningkatkan panjang dengan bertambahnya jumlah laminasi. Namun, kekuatan bending tertinggi dicapai pada komposit *sandwich* dengan 4 laminasi serat kaca. Peningkatan ketebalan inti juga meningkatkan kapasitas momen secara konsisten, tetapi menurunkan kekuatan lentur secara signifikan. (Diharjo, 2011)(Astika et al., 2016)

Penelitian tentang kekuatan impak komposit *sandwich* dengan inti sekam padi dan *skin* serat rami dengan poliester sebagai matriks telah diselidiki. Penelitian ini meneliti tentang fraksi volume inti terhadap kekuatan impaknya. Hasilnya semakin tinggi fraksi volume *core* dapat menurunkan energi serap dan impaknya. Kegagalan komposit *sandwich* adalah komposit kulit bagian tarik, kemudian dilanjutkan dengan sisi inti (*core*) yang mengalami gagal geser, dan gagal di sisi tekan. Sedangkan kegagalan deliminasi ditunjukkan pada bagian batas antara inti dan kulit. (Hariyanto, 2017)

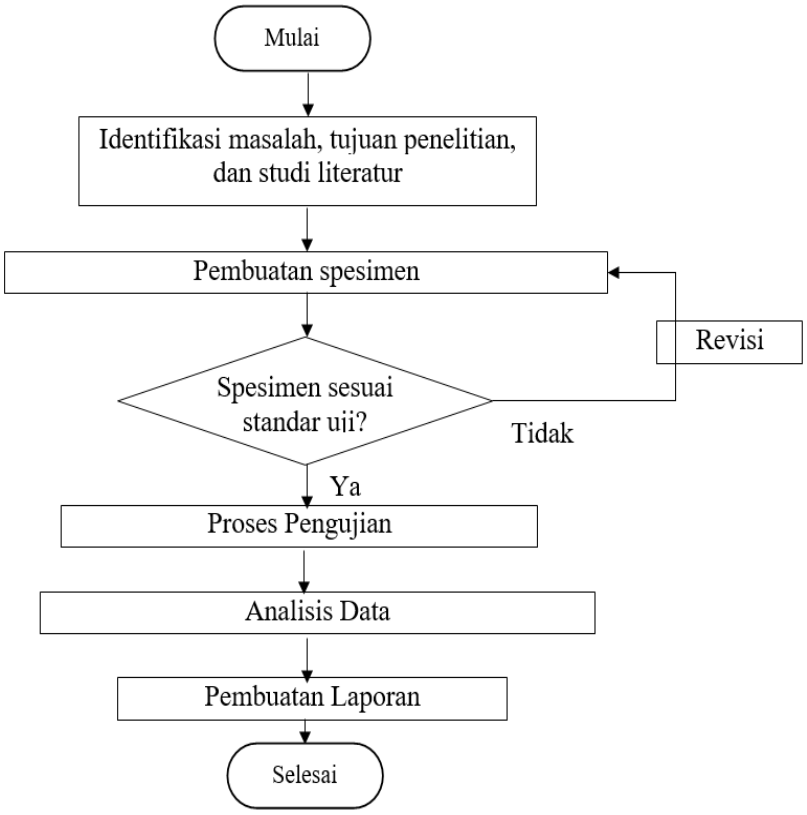
Penelitian yang lain adalah komposit *sandwich* yang terbuat dari *core* serbuk gergaji kayu sengon laut dengan serat daun nanas sebagai *skin*. Selanjutnya dilakukan pengujian tekuk dengan hasil sebesar 27,7 MPa , sedangkan tegangan lentur *skin*nya adalah 32,83 MPa dan 43,26 MPa untuk hasil pengujian lentur *core*nya. Sedangkan hasil pengujian impak dari komposit *sandwich* tersebut adalah 0,465 Joule/mm^2, untuk dengan harga impak dari *skin*nya sebesar 0,65 Joule/mm^2, dan untuk harga impak *core* nya adalah 0,65 Joule/mm^2. (Hidayat, 2016)

Kayu balsa telah digunakan untuk aplikasi struktural selama berabad-abad; Peru menggunakannya sedini 500 era umum untuk membangun kapal. (Easterling et al., 1982) Balsa menjadi bahan inti yang populer, dan tersedia secara komersial dengan nama dagang yang berbeda Banova. Pasokan global kayu balsa secara historis berasal dari perkebunan di Ekuador, meskipun rantai pasokan telah terdiversifikasi dan sekarang ada perkebunan komersial di negara lain termasuk Papua Nugini (PNG), Indonesia, Sri Lanka, Afrika Barat dan Kepulauan Solomon (Pertiwi et al., 2017)(Jenkin et al., 2018). Balsa (*Ochroma pyramidale*) adalah kayu tropis asli Selatan Amerika yang sekarang tumbuh di banyak negara, dan merupakan kayu paling ringan yang tersedia secara komersial yang digunakan dalam struktur *sandwich*. Kepadatannya rendah (biasanya antara 50 kg/m^3 dan 350 kg/m^3), yang ditentukan oleh usia, kondisi dan habitat pohon

sumber. Struktur material dengan *core* kayu balsa memiliki sifat mekanik spesifik yang tinggi dibandingkan dengan banyak bahan inti konvensional lainnya. Struktur mikro balsa yang unik juga menciptakan peluang untuk desain struktur *sandwich* penyimpanan energi multifungsi masa depan yang mengintegrasikan baterai dan perangkat penyimpanan energi lainnya. (Galos et al., 2022)(Galos et al., 2021). Beberapa penelitian lainnya meneliti tentang struktur komposit dan mengidentifikasi area penelitian baru yang potensial untuk melanjutkan aplikasi rekayasa baru yang ramah lingkungan. Ulasan terbaru lainnya memiliki kemajuan penelitian terperinci tentang struktur sandwich dengan busa atau inti prismatic (Chen & Das, 2021) (Xiong et al., 2018), tetapi bukan kayu balsa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variabel anyaman yaitu orientasi serat dan berat serat terhadap kekuatan lentur pada komposit *sandwich* serat kaca dengan inti kayu balsa.

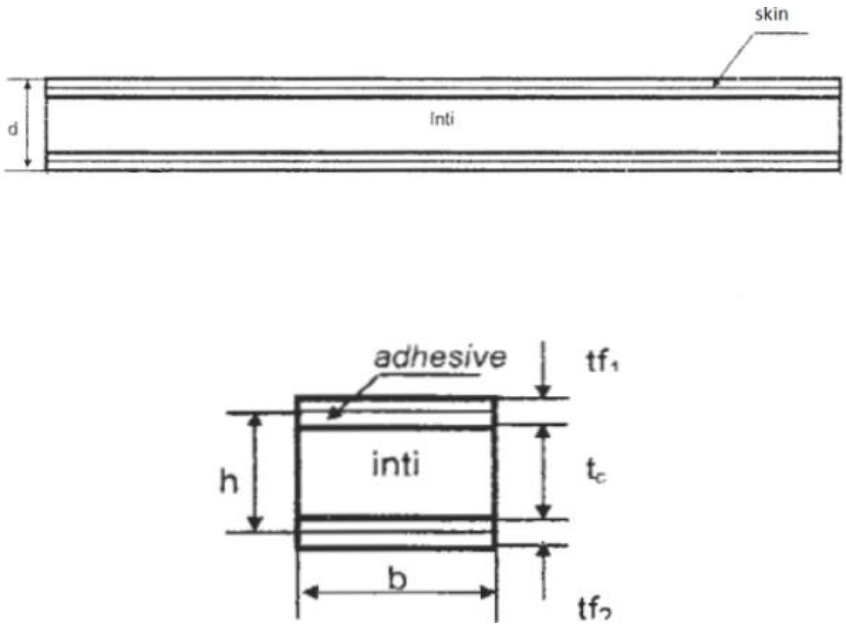
METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, menggunakan metode eksperimental dengan membuat komposit *sandwich* serat gelas dan inti kayu balsa. *Hand-Layup* dengan bantuan cetakan digunakan sebagai metode pembuatan komposit *sandwich*, dengan menggunakan resin epoxy. Variasi yang digunakan adalah orientasi arah serat yaitu lurus (0/90) dan miring (45/45). Selanjutnya variasi yang digunakan adalah berat anyaman (200 GSM, 400 GSM, dan 600 GSM). Pada gambar berikut dijabarkan alur penelitian yang dilakukan



Gambar 1. Alur Penelitian

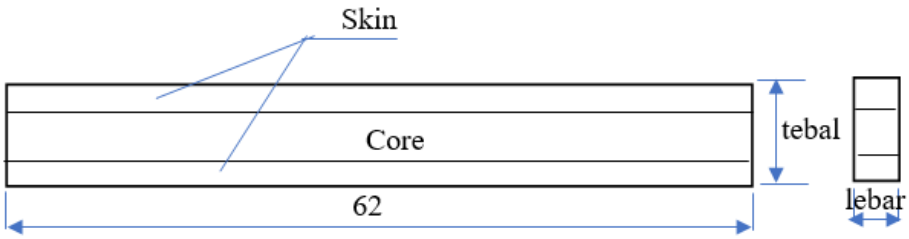
Pengujian dilakukan dengan menggunakan uji bending tiga poin (*three-point bending*) dan penguiian *impact*. Pengujian bending dilakukan dengan menggunakan standar ASTM C-393-94 untuk *sandwich* komposit.



Gambar 2. ASTM C-393-94 Pengujian *bending* komposit sandwich

Ket :
L : panjang (200 mm)
b : lebar 20mm
d : tebal *core* dan *skin* (4mm)
t : tebal *core* (2mm)
h : jarak antarara pusat *skin* atas dan bawah
tf : ketebalan kulit (*skin*)

Sedangkan pengujian impak dilakukan berdasarkan ASTM D5942-96



Gambar 3. ASTM D5942-96 Pengujian impak komposit sandwich

Ket :
Tebal : 10mm
Lebar : 10 mm

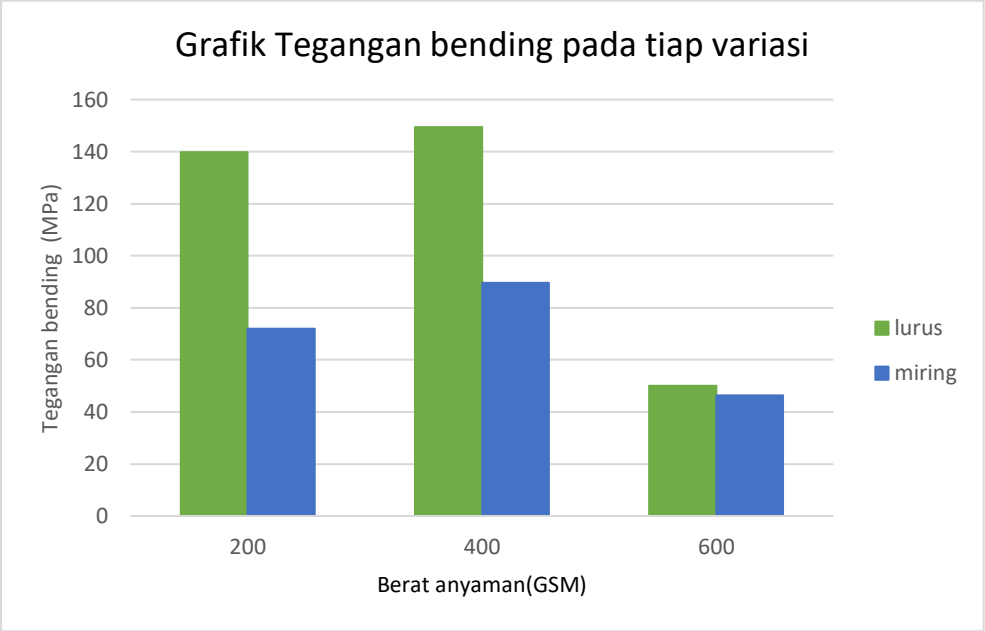
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil spesimen komposit tampak melintang disajikan pada gambar 4 dan hasil uji *bending* disajikan pada tabel 1 berikut.

Gambar 4. Tampak melintang spesimen

Tabel 1. Hasil Uji Tegangan

No	variasi	F (kg)	Tegangan bending (Mpa)	Tegangan bending rata-rata (Mpa)
1	200L	15.2	130.2891	139.786
2		13.6	273.5953	
3		16	96.35995	
4		14.8	58.89949	
5	200 M	14	44.79896	71.95432
6		14	57.76842	
7		9.8	92.64841	
8		10.2	92.60149	
9	400L	31.8	113.7176	149.5317
10		22	245.638	
11		25.8	84.03989	
12		19.4	154.7314	
13	400M	11	80.23392	89.68217
14		17.8	110.6201	
15		12.2	88.28969	
16		14.2	79.58497	
17	600L	12.6	53.39676	50.08685
18		13.2	52.53198	
19		10.6	42.29211	
20		12.4	52.12654	
21	600M	10.2	42.99355	46.28283
22		13.4	50.08527	
23		11.4	47.79465	
24		12.4	44.25785	



Gambar 5. Grafik tegangan bending pada tiap variasi

Orientasi serat mempengaruhi tegangan lentur komposit *sandwich* kayu balsa-serat gelas. Orientasi serat lurus (0°/90°) memiliki momen dan tegangan lebih besar daripada pada orientasi serat miring (45°/45°). Ini terjadi karena di sepanjang bagian tengah atau daerah yang dikenai beban mengalami pelemahan transfer tegangan antar matriks dan serat.

Gambar 6. variasi 200 GSM orientasi serat miring setelah diuji lentur

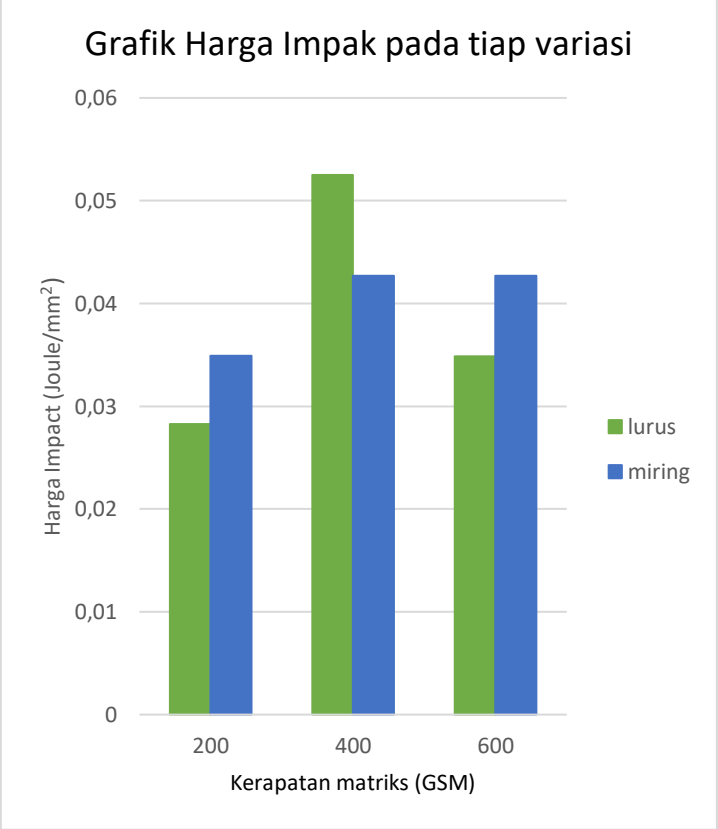
Gambar 7. variasi 400 GSM orientasi serat lurus setelah diuji lentur

Pada gambar 6, komposit dengan orientasi serat miring terjadi kegagalan matriks (matriks retak atau patah), *fiber pull out*, delaminasi (pelapasan antara matriks dan *core*), dan kegagalan *core*. Hal ini terjadi karena pada saat terjadinya lendutan (peregangan) diikuti oleh pelepasan matriks dan serat. Ini terjadi karena pada saat beban mengenai komposit *sandwich*, bagian atas spesimen akan menerima beban tekan, namun bagian bawahnya akan mengalami beban tarik. Sehingga pelemahan transfer tegangan terjadi pada daerah tersebut yang mengakibatkan nilai tegangan lenturnya lebih rendah dibandingkan dengan komposit dengan orientasi serat lurus yang minim *fiber pull out* dan delaminasi (gambar 7)

Variasi berat anyam mempengaruhi nilai tegangan. Nilai tegangan naik dari 200 GSM ke 400 GSM dan turun lagi pada 600 GSM. Nilai tegangan tertinggi adalah pada 400 GSM variasi orientasi serat lurus dengan nilai tegangan lentur 149,53MPa. Hal ini bisa disebabkan karena pada variasi berat anyam 400 GSM lebih luasan penampang serat lebih banyak dari pada variasi berat 200 GSM sehingga ikatan yang terjalin antara matriks dan serat lebih besar. Akan tetapi pada variasi 600 GSM karena luas penampang serat yang terlalu besar, matriks tidak dapat masuk diantara celah-calah serat sehingga ikatan antara matriks dan serat kurang. Hal ini dapat menyebabkan kecacatan pada komposit. Pada berat anyam 600 GSM banyak terjadi kecacatan berupa masuknya udara (*porosity*) pada komposit sandwich.

Tabel 2 Hasil Uji Impak

No	Variasi	HI (joule/mm^2)	HI rata-rata(joule/mm^2)
1	200L	0.043848	0.028273
2		0.01604	
3		0.024931	
4	200M	0.051989	0.034928
5		0.028086	
6		0.024708	
7	400L	0.05134	0.052481
8		0.044643	
9		0.06146	
10	400M	0.08431	0.04267
11		0.032899	
12		0.0108	
13	600L	0.044328	0.034873
14		0.032572	
15		0.027719	
16	600M	0.045552	0.042704
17		0.042271	
18		0.04029	



Gambar 8. Grafik harga impak pada tiap variasi

Data pengujian tertinggi terdapat pada variasi berat anyaman 400 GSM dengan orientasi serat lurus memiliki harga impak yaitu 0,052 Joule/mm. Hal ini dapat disebabkan karena pada

berat anyam 400 GSM ikatan antara matriks dan serat lebih baik dari pada 200 GSM dan 600GSM. Pada 200 GSM serat yang terlalu kecil menyebabkan kurangnya luasan ikatan yang terjalin antara matriks dan serat.

Gambar 9. spesimen uji impak variasi 400 GSM miring

Semakin berat serat anyam, maka luasan matriks semakin besar. Pada 400 dan 600 GSM luasan matriks yang terlalu besar menyebabkan jarak antar serat kecil, sehingga cairan/larutan matriks resin tidak bisa meresap dan masuk menjangkau seluruh bagian serat. Hal ini menyebabkan timbulnya porositas/ gelembung udara pada spesimen (terlihat pada gambar 8) hal ini menyebabkan harga impaknya menurun.

Gambar 10. spesimen setelah diuji impak

Pada gambar 10, komposit yang diuji impak terjadi kegagalan matriks berupa *fiber pull out* dan delaminasi (pelapasan antara matriks dan *core*). Hal ini terjadi karena pada saat terjadinya hentakan/pukulan, terjadi pelepasan matriks dan serat. Ini terjadi karena pada saat beban mengenai komposit *sandwich*, bagian atas spesimen akan menerima beban kejut, sehingga pelemahan transfer tegangan terjadi pada daerah tersebut.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa orientasi serat mempengaruhi tegangan lentur, dan variasi berat anyam mempengaruhi nilai tegangan lentur. Orientasi serat lurus ($0^o/90^o$) memiliki momen dan tegangan lebih besar daripada pada orientasi serta miring ($45^o/45^o$). Nilai

tegangan dan momen naik dari 200 GSM ke 400 GSM dan turun lagi pada 600 GSM. Nilai tegangan tertinggi adalah pada 400 GSM variasi orientasi serat lurus dengan nilai tegangan lentur 149,53MPa, tegangan geser core 1,8 MPa, dan Momen 6791.4 Nmm. Sedangkan variasi berat anyam mempengaruhi harga impak dengan data pengujian tertinggi terdapat pada variasi berat anyaman 400 GSM dengan orientasi serat lurus memiliki harga impak yaitu 0,052 Joule/mm

Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai kekuatan komposit sandwich kayu balsa ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh dana DIPA Politeknik Negeri Malang. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih.

REFERENSI

Agus. (2012). Rekayasa komposit sandwich berpenguat serat kelapa bermatrik epoxy dan gypsum. *Simposium Nasional RAPI XI FT UMS*, 35–41.

Astika, I. M., Gusti, I., & Dwijana, K. (2016). Kekuatan Lentur Komposit Sandwich Serat Tapis Kelapa Dengan Core Kayu Albasia. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, *9*(1), 29–32.

ASTM International. (2020). Standard test method for core shear properties of sandwich constructions by beam flexure (ASTM C393/C393M-20). *ASTM International*, 1–7. https://doi.org/10.1520/C0393

Chen, Y., & Das, R. (2021). A review on manufacture of polymeric foam cores for sandwich structures of complex shape in automotive applications. *Journal of Sandwich Structures & Materials*, *24*(1), 789–819. https://doi.org/10.1177/10996362211030564

Diharjo, K. (2011). Kekuatan Bending Komposit Sandwich Serat Gelas Dengan Core Divinycell-Pvc H-60 (Pengaruh Orientasi Serat, Jumlah Laminat Dan Tebal Core Terhadap Kekuatan Bending). *Mekanika*, *9*, 313–319.

Easterling, K. E., Harrysson, R., Gibson, L. J., & Ashby, M. F. (1982). On the Mechanics of Balsa and Other Woods. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, *383*(1784), 31–41. http://www.jstor.org/stable/2397348

Galos, J., Das, R., Sutcliffe, M. P., & Mouritz, A. P. (2022). Review of balsa core sandwich composite structures. *Materials & Design*, *221*, 111013. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.111013

Galos, J., Pattarakunnan, K., Best, A. S., Kyratzis, I. L., Wang, C.-H., & Mouritz, A. P. (2021). Energy Storage Structural Composites with Integrated Lithium-Ion Batteries: A Review. *Advanced Materials Technologies*, *6*. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:234828133

Hariyanto, A. (2016). Pengaruh ketebalan core melintang pada rekayasa dan manufaktur bahan komposit hybrid sandwich terhadap peningkatan kekuatan bending. *Simposium Nasional RAPI XV*, 335–340.

Hariyanto, A. (2017). Rekayasa Komposit Sandwich Berpenguat Serat Ramie Dengan Core Sekam Padi. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, *10*(1), 37–42. https://doi.org/10.23917/mesin.v10i1.3190

Hidayat, A. (2016). Analisa Teknis Komposit Sandwich Berpenguat Serat Daun Nanas Dengan Core Serbuk Gergaji Kayu Sengon Laut Ditinjau Dari Kekuatan Tekuk Dan Impak. *Jurnal Teknik Perkapalan*, *4*(1), 265–273.

Jenkin, B., Minimulu, J., & Kanowski, P. (2018). Improving the smallholder balsa value chain in East New Britain Province, Papua New Guinea. *Australian Forestry*, *82*, 1–9.

https://doi.org/10.1080/00049158.2018.1537541

Pertiwi, Y. A. B., Ishiguri, F., Aiso, H., Ohshima, J., & Yokota, S. (2017). Wood properties of 7-year-old balsa (Ochroma pyramidale) planted in East Java. *International Wood Products Journal*, *8*, 227–232. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:139250787

Sanadi, A. R., Prasad, S. V, & Rohatgi, P. K. (1986). Sunhemp fibre-reinforced polyester. *Journal of Materials Science*, *21*(12), 4299–4304. https://doi.org/10.1007/BF01106545

Teguh M. W., Ali Awaludin, & Suprapto Siswosukarto. (2017). Analisis Perkuatan Lentur Balok Kayu Sengon Dengan Sistem Komposit Balok Sandwich (Lamina Dan Plate). *Analisis Perkuatan Lentur Balok Kayu Sengon Dengan Sistem Komposit Balok Sandwich (Lamina Dan Plate)*, *13*(2), 129–140. https://doi.org/10.21831/inersia.v13i2.17176

Xiong, J., Du, Y., Mousanezhad, D., Eydani, M., Norato, J., & Vaziri, A. (2018). Sandwich Structures with Prismatic and Foam Cores: A Review. *Advanced Engineering Materials*, *21*, 1800036. https://doi.org/10.1002/adem.201800036