



Analisis Ketangguhan Impak dan Foto Makro Komposit *Sandwich* Serat *Hybrid* dengan Variasi Susunan Lapisan Sebagai Material Dinding Rumah

Tardho Hakim¹⁾, Sri Hastuti²⁾, Adityo Noor Setyo Hadi Darmo³⁾

^{1,2,3)} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Jl. Kapten Suparman 39 Potrobangsari, Magelang Utara, Jawa Tengah 56116.

e-mail: hastutisrimesin@untidar.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan material komposit dalam industri konstruksi mendorong inovasi material dinding alternatif yang lebih ringan, kuat, dan ramah lingkungan dibandingkan beton konvensional atau GRC. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik mekanik komposit *sandwich hybrid* berbasis serat sabut kelapa, serat rami, serat *E-glass*, serta core kayu balsa. Komposit dibuat dengan metode *hand lay-up* dalam tiga variasi susunan lapisan *skin*. Pengujian dilakukan menggunakan uji impak (ASTM D6110), dan pengamatan foto makro dengan pembesaran 1x. Hasil uji impak, spesimen dengan susunan S-R-E-C-E-R-S menunjukkan nilai energi serap tertinggi sebesar 4,457 J dan ketangguhan impak 0,060 J/mm². Hasil pengamatan foto makro memperlihatkan kerusakan berupa *fiber pull out*, *void*, yang paling sedikit dijumpai pada spesimen S-R-E-C-E-R-S. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi susunan lapisan berpengaruh terhadap kekuatan mekanik komposit *sandwich hybrid*. Secara keseluruhan, variasi S-R-E-C-E-R-S efektif meredam tumbukan dan menjaga integritas struktur. Dengan demikian, komposit *sandwich hybrid* berpotensi sebagai material alternatif dinding bangunan yang ringan, kuat, efisien, dan ramah lingkungan.

Kata Kunci: komposit *sandwich*, serat sabut kelapa, serat rami, *E-glass*, kayu balsa.

ABSTRACT

The development of composite materials in the construction industry has driven innovation in alternative wall materials that are lighter, stronger, and more environmentally friendly than conventional concrete or GRC. This study aims to investigate the mechanical characteristics of a hybrid sandwich composite reinforced with coconut fiber, ramie fiber, E-glass, and a balsa wood core. The composites were fabricated using the hand lay-up method with three variations of skin layer configurations. Testing included impact testing (ASTM D6110) and macrostructural observations at 1× magnification. Impact test results showed that the S-R-E-C-E-R-S configuration exhibited the highest energy absorption of 4.457 J and the greatest impact strength of 0.060 J/mm². Macrostructural observations revealed damage such as fiber pull-out, voids, with the fewest defects found in the S-R-E-C-E-R-S specimen. These results indicate that the variation in layer configuration significantly affects the mechanical strength of the hybrid sandwich composite. Overall, the S-R-E-C-E-R-S configuration was effective in absorbing impact and maintaining structural integrity. Therefore, hybrid sandwich composites show potential as alternative wall materials that are lightweight, strong, efficient, and environmentally friendly.

Keywords: sandwich composite, coconut fiber, ramie fiber, E-glass, balsa wood.

1. Pendahuluan

Glassfiber Reinforced Concrete (GRC) merupakan salah satu material populer untuk dinding bangunan karena memiliki kekuatan yang cukup baik dan tampilan yang menarik [1]. Namun, material ini memiliki sejumlah keterbatasan seperti berat yang tinggi, proses produksi yang kompleks, serta biaya pemasangan yang relatif mahal [1]. Kondisi tersebut memunculkan kebutuhan akan material

alternatif yang lebih efisien, ringan, dan mudah diaplikasikan, terutama dalam konstruksi perumahan.

Salah satu material alternatif yang menjanjikan adalah komposit *sandwich*, yaitu struktur tiga lapis yang terdiri dari dua lapisan kulit (*skin*) dan satu inti (*core*). Material ini telah banyak digunakan dalam aplikasi bangunan ramah lingkungan sebagai dinding komposit [2]. Karakteristik mekanik dari komposit ini sangat bergantung pada jenis

material penyusunnya. Penggunaan serat sabut kelapa, rami, dan *E-glass* sebagai penguat *skin* mampu meningkatkan kekuatan komposit secara signifikan [3], sementara *core* dari kayu balsa memberikan rasio kekuatan terhadap berat yang baik serta kemudahan dalam proses fabrikasi.

Meskipun berbagai penelitian telah dilakukan terhadap masing-masing bahan tersebut, penelitian mengenai kombinasi serat alam dan sintetis dalam satu sistem *sandwich hybrid* untuk aplikasi dinding pengganti GRC masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sifat mekanik dan struktur makro dari komposit *sandwich hybrid* berpenguat serat sabut kelapa, rami, dan *E-glass* dengan *core* kayu balsa, untuk mengkaji potensi aplikasinya sebagai material alternatif pengganti GRC pada dinding rumah.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik mekanik dan struktur makro komposit *sandwich* berpenguat serat sabut kelapa, serat rami, dan serat *E-glass*, dengan *core* berbahan kayu balsa.

Pembuatan spesimen dilakukan dengan metode *hand lay-up* dan pembuatan komposit dilakukan dengan membuat 4 variasi yang berbeda pada susunan lapisan *skin*, yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Susunan Lapisan Komposit *Sandwich*

Nomor Urut Lapisan Serat, (1 paling atas, 7 paling bawah)	Susunan Lapisan		
	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3
1	<i>E-Glass</i>	Rami	Sabut Kelapa
2	Sabut Kelapa	<i>E-Glass</i>	Rami
3	Rami	Sabut Kelapa	<i>E-Glass</i>
4	<i>Core</i>	<i>Core</i>	<i>Core</i>
5	Rami	Sabut Kelapa	<i>E-Glass</i>
6	Sabut Kelapa	<i>E-Glass</i>	Rami
7	<i>E-Glass</i>	Rami	Sabut Kelapa

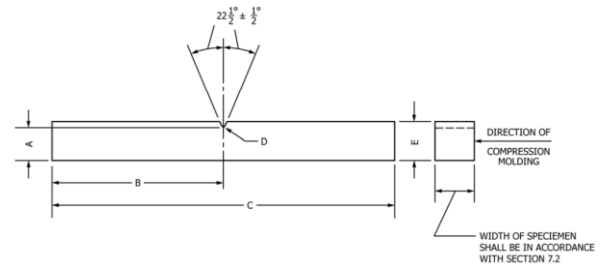
Keterangan:

- Serat Sabut Kelapa untuk kode S
- Serat Rami untuk kode R
- *E-Glass* untuk Kode E
- *Core* (Kayu Balsa) untuk Kode C

Hasil pembuatan komposit akan dihasilkan sesuai dengan standar ASTM D6110 untuk pengujian impact, dan pengamatan foto makro dilakukan dengan pembesaran 1x.

2.1 Uji Impact

Metode pengujian impact yang digunakan adalah impact *charpy* dengan mengacu standar ASTM D6110. Dengan massa pendulum 1,357 kg dan panjang lengan ayun sebesar 0,3948 m. Sudut awal (α) berada pada posisi 155°. Seluruh spesimen mempunyai dimensi panjang 127 mm, lebar 13 mm dan tebal 7 mm. Dimensi spesimen uji impact berdasarkan standar ASTM D6110 dapat dilihat pada Gambar 1.



	mm	in.
A	10.16 ± 0.05	0.400 ± 0.002
B	63.5 max 61.0 min	2.50 max 2.40 min
C	127.0 max 124.5 min	5.00 max 4.90 min
D	0,25R ± 0.05	0.010R ± 0.002
E	12.70 ± 0.15	0.500 ± 0.006

Gambar 1. Dimensi Uji Impact ASTM D6110

Tahapan Pengujian Impact:

- a. Mempersiapkan spesimen uji yang telah dibuat sesuai standar ASTM D6110.
- b. Menggunakan jangka sorong untuk mengukur ketebalan, lebar, dan kedalaman takik spesimen yang akan diuji.
- c. Memposisikan spesimen pada dudukan dengan takik menghadap ke arah datangnya palu bandul.
- d. Mengatur palu bandul pada sudut awal 155°, lalu mengunci posisinya.
- e. Melepaskan kunci palu bandul untuk memukul spesimen dan mencatat energi impact yang terserap.
- f. Mengambil kembali spesimen yang telah patah dan mencatat hasil pengujian.
- g. Menganalisis data yang diperoleh untuk menentukan karakteristik ketangguhan impact material.

2.2 Foto Makro

Pengamatan foto makro dilakukan dengan pembesaran 1x. Pengujian makro dilakukan untuk memperlihatkan cacat pada permukaan patahan hasil uji impact. Dokumentasi visual diperoleh melalui pengambilan gambar menggunakan kamera digital dengan lensa makro. Dari foto tersebut, dapat diamati adanya kerusakan atau ketidaksempurnaan pada spesimen yang kemudian dianalisis lebih lanjut.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Impact

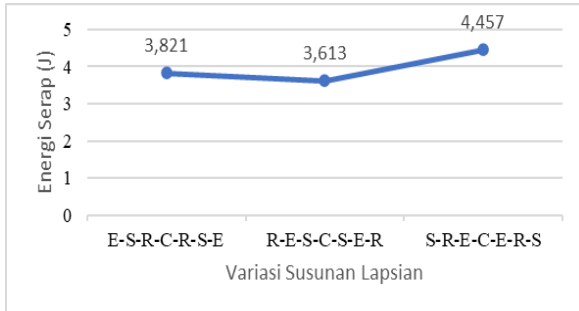
Berdasarkan hasil pengujian impact *charpy* menunjukkan bahwa konfigurasi susunan serat berpengaruh signifikan terhadap kemampuan komposit dalam menyerap energi tumbukan. Spesimen dengan variasi S-R-E-C-E-R-S mencatat nilai energi serap tertinggi sebesar 4,457 J dan ketangguhan impact 0,60 J/mm². Hasil ini berasal dari kombinasi serat sabut kelapa sebagai lapisan terluar yang lentur dan serat *E-glass* di bagian tengah yang kuat secara mekanik. Kombinasi tersebut memungkinkan terjadinya penyebaran gaya tumbukan yang merata, sehingga meningkatkan ketahanan material terhadap impact. Temuan ini sejalan dengan Das *et al.* (2020), yang menyatakan bahwa susunan lapisan dengan glass fiber dilapisan dalam dan

natural fiber sebagai skin menghasilkan ketangguhan impact lebih tinggi pada komposit hybrid epoxy [4]. Data hasil pengujian impact ditunjukkan pada Tabel 2.

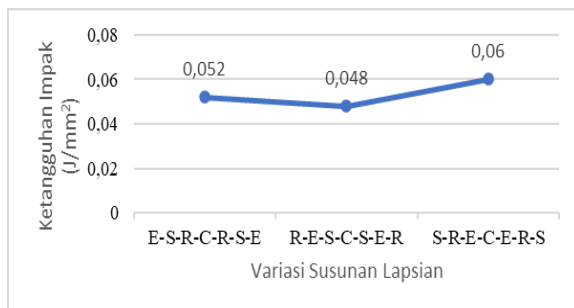
Tabel 2. Hasil Pengujian Impact

Variasi	Rata-rata Energi Serap (J)	Rata-rata Ketangguhan Impact (J/mm ²)
E-S-R-C-R-S-E	3,821	0,052
R-E-S-C-S-E-R	3,613	0,048
S-R-E-C-E-R-S	4,457	0,060

Dari hasil pengujian tersebut, kemudian disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 2 dan gambar 3.



Gambar 2. Grafik Nilai Energi Serap



Gambar 3. Grafik Nilai Ketangguhan Impact

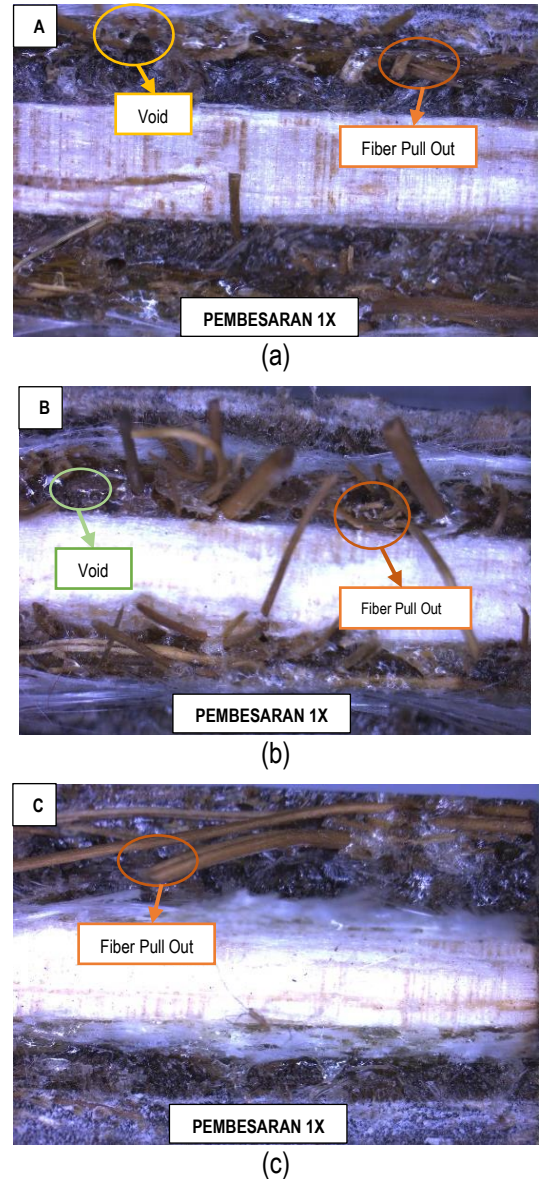
Spesimen dengan variasi R-E-S-C-S-E-R menunjukkan nilai energi serap terendah sebesar 3,613 J dan ketangguhan impact hanya 0,048 J/mm². Hal ini disebabkan oleh penempatan serat rami sebagai lapisan luar, yang meskipun memiliki kekuatan tarik baik, namun cenderung getas dan kurang efektif dalam menyerap serta menyebarkan energi benturan. Akibatnya, gaya tumbukan tidak dapat diredam secara optimal, sehingga menurunkan kemampuan serap energi. Data hasil pengujian impact dapat dilihat pada tabel 2.

Perbandingan antar variasi menunjukkan bahwa penempatan jenis dan posisi serat sangat memengaruhi ketangguhan komposit. Perbandingan serat yang tinggi dalam komposit, maka semakin tinggi juga energi yang dapat diserap, karena interaksi antara matriks dan serat menjadi lebih kuat sehingga meningkatkan kemampuan material dalam menyerap energi tumbukan [5]. Hal ini juga sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh Mawardi (2018) yang menyatakan bahwa susunan lapisan *hybrid* sangat berpengaruh terhadap kekuatan mekanik komposit. Dalam hal ini, nilai ketangguhan impact meningkat secara signifikan karena kombinasi antara kelenturan serat alam dan kekakuan

dari serat sintesis mampu meredam gaya benturan secara efisien [6].

3.2 Hasil Pengamatan Foto Makro

Penampang patahan spesimen hasil uji ketangguhan impact dengan nilai tertingginya pada setiap variasi diamati dengan foto makro untuk dianalisis penyebab patahannya. Spesimen foto dilakukan dengan pembesaran 1x. Gambar 3. Menunjukkan hasil foto makro penampang patahan hasil uji impact setiap variasi.



Gambar 4. (a) Foto Makro Penampang Patahan Hasil Uji Impact Variasi E-S-R-C-R-S-E, (b) Foto Makro Penampang Patahan Hasil Uji Impact Variasi R-E-S-C-S-E-R (c), Foto Makro Penampang Patahan Hasil Uji Impact Variasi S-R-E-C-E-R-S

Pada gambar 3. (a) pengamatan foto makro penampang patahan variasi E-S-R-C-R-S-E pengujian impact terlihat adanya dua jenis kegagalan utama, yaitu *void* dan *fiber pull out*. *Void* (rongga udara) terjadi karena ketidaksempurnaan

proses peresapan resin, yang kemungkinan terjadi akibat pencampuran resin yang tidak merata atau tekanan saat proses laminasi yang kurang optimal. *Void* dapat mengurangi kekuatan meknaik komposit. Hubungan antara kekuatan komposit dan void bersifat terbalik, di mana peningkatan jumlah void akan menyebabkan komposit menjadi lebih rapuh, sedangkan semakin sedikit void, maka kekuatan komposit akan meningkat [7]. Selain itu, tampak juga fenomena *fiber pull out*, terutama pada lapisan serat sabut kelapa. Kegagalan ini menunjukkan lemahnya ikatan antara serat dan matriks, sehingga saat pembebanan, serat tertarik keluar dari matriks tanpa mengalami patah [8].

Pada gambar 3. (b) pengamatan foto makro penampang patahan variasi R-E-S-C-S-E-R pengujian impak terlihat adanya dua jenis kegagalan, yaitu *void*, dan *fiber pull out*. Udara yang tidak dapat keluar pada saat proses pencetakan menyebabkan *void* dan *fiber pull out* [9]. *Void* menunjukkan ketidaksempurnaan proses laminasi, seperti tekanan yang tidak merata atau kurangnya peresapan resin. Sementara itu, *fiber pull out* mengindikasikan ikatan antarmuka serat-matriks yang lemah, yang menyebabkan serat tertarik keluar saat spesimen diberi beban. Selain itu *fiber pull out* juga terjadi karena penyusunan serat yang searah dan menumpuk, yang memperlemah daya rekat antar material [10]

Pada gambar 3. (c) pengamatan foto makro penampang patahan variasi S-R-E-C-E-R-S pengujian impak terlihat kegagalan berupa *fiber pull out*. Fenomena ini menunjukkan ikatan antar muka serat dan matriks yang kurang kuat, sehingga saat spesimen menerima beban, terjadi pelepasan serat dari permukaan matriks.

4. Kesimpulan

Variasi susunan serat berpengaruh signifikan terhadap ketangguhan komposit *sandwich*. Berdasarkan hasil uji impak dan pengamatan foto makro, variasi S-R-E-C-E-R-S menunjukkan performa paling optimal, dengan nilai energi serap rata-rata sebesar 4,457 J dan kekuatan impak tertinggi yaitu 0,060 J/mm². Hal ini menunjukkan bahwa variasi ini efektif dalam meredam energi tumbukan serta memperkuat struktur komposit. Variasi E-S-R-C-R-S-E dan R-E-S-C-S-E-R menunjukkan performa yang lebih rendah, ditunjukkan oleh nilai impak dan energi serap yang lebih kecil, serta tampilan kerusakan makro seperti *fiber pull out*, *void*, dan *microcrack* yang lebih dominan. Dengan demikian, konfigurasi S-R-E-C-E-R-S dinilai paling sesuai untuk diaplikasikan sebagai material alternatif dinding bangunan ringan yang memerlukan ketahanan terhadap tumbukan.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Bahan Fakultas Teknik Universitas Tidar atas dukungan fasilitas, serta kepada dosen pembimbing atas arahan selama penelitian. Penghargaan juga disampaikan kepada orang tua atas doa dan dukungan yang tiada henti.

Daftar Pustaka

- [1] Lisa Khusna Hendrawati, Roudotul Magfiroh Ariada, and Denny Oktavina R, "Glass Reinforced Concrete (GRC)," *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*, vol. 2, no. 2, pp. 209–218, Apr. 2024, doi: 10.61132/venus.v2i2.281.
- [2] S. Hastuti, C. Pramono, and J. Sudarto, "Peningkatan Kekuatan Mekanik Komposit Sandwich Serat Kenaf dengan Core Kayu Albizzia Falcataria untuk Material Dinding Komposit," *Rekayasa Mesin*, vol. 17, no.2, pp. 1-14, Agt 2022. doi: 10.32497/jrm.v17i2.3216
- [3] L. Banowati, M. Firdaus, and H. Hartopo, "Analisis pengaruh jumlah layer skin pada komposit sandwich carbon fiber core kayu balsa terhadap karakteristik kekuatan bending dan kekuatan impact," *Senatik*, vol. 7, no. 1, pp. 57-67, Feb 2022. doi: 10.28989/senatik.v7i1.464.
- [4] S. C. Das *et al.*, "Effect of stacking sequence on the performance of hybrid natural/synthetic fiber reinforced polymer composite laminates," *Compos Struct*, vol. 276, p. 114525 Nov. 2021, doi: 10.1016/j.compstruct.2021.114525.
- [5] N. Nurfatihayati and C. Maharani, "Pembuatan Komposit dari Serat Sabut Kelapa dan Resin Polyester sebagai Material untuk Helm," *jumal jbchees*, vol.4, no.2, pp. 57-64, Nov. 2023. doi: 10.31258/jbchees.4.2.57-64
- [6] I. Mawardi, "Sifat Mekanis Komposit Polimer Hibrid Diperkuat Serat Sabut Kelapa-E-Glass," *Ethos*, Vol. 6, no. 2 pp. 297-304 Jun. 2018. Doi: 10.29313/ethos.v6i2.3783
- [7] Martijanti, Ronald Sukwadi, and Marsellinus Bachtiar Wahyu, Karakteristik Sifat Mekanik Komposit Epoksi Berpenguat Serat Jute Dan Serat Gelas. 2023. Seminar Nasional Keinsinyuran.
- [8] Dicky Fachrizal Rochman, "Pengaruh Konsentrasi Larutan Koh Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Komposit Hibrid Serat Rami Dan Serat Bambu," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 08, no. 2, pp. 111–118, Jun 2020.
- [9] Tito Arif Sutrisno, I Komang Astana Widi, and M. I. F Rochim, "Analisa Kekuatan Tarik dan Foto Makro Patahan Komposit Serat Eceng Gondok Berpenguat ZnO," *JURNAL FLYWHEEL*, vol. 13, pp. 35–40, Sep. 2022. doi: 10.36040/flywheel.v13i2.5561

- [10] R. W. Wijaya, W. T. Putra, M. Malyadi, and Y. Winardi, "Analisa Hasil Pengujian Bending Dan Struktur Mikro Komposit Sandwich Dengan Penguat Skin Carbon Core Serat ALAM." *Jurnal AutoMech*, vol. 03, No. 01, pp. 08-14, Mei 2023. doi: <http://doi.org/10.24269/jtm.v3i01.6790>