

Analisis Sifat Termal Dan Kuat Impak *Green-Sandwich Composite* Berdasarkan Variasi Susunan Lapisan (*Stacking Sequence*)

Isep Abdul Rojak¹, Ilham Ary Wahyudie¹, Juanda¹

¹Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

*E-mail : isepar48@gmail.com

Received: 4 Agustus 2026; Received in revised form: 7 Agustus 2026; Accepted: 7 Agustus 2026

Abstract

The use of environmentally friendly composite materials has been increasingly developed as an alternative to conventional materials for automotive components. This study aimed to investigate the effect of stacking sequence variations on the thermal insulation performance and impact strength of Green Sandwich Composites reinforced with coconut coir fiber, woven fiberglass, a balsa wood core, and polyester resin. The specimens were fabricated using the hand lay-up method combined with vacuum bagging, followed by thermal insulation and Charpy impact testing. The data were analyzed using One-Way ANOVA. The results showed that the GF–NF–C–NF–GF configuration exhibited the best performance, achieving a thermal insulation efficiency of 40.65% and an impact strength of 198.98 kJ/m². However, the One-Way ANOVA results indicated that stacking sequence variations had no statistically significant effect on either parameter at a 5% significance level. Nevertheless, the GF–NF–C–NF–GF configuration is recommended as the optimum stacking sequence because it provides the best combination of thermal and mechanical performance for environmentally friendly automotive bumper applications.

Keywords: Green Material; Impact; Sandwich Composite; Thermal Insulation.

Abstrak

Penggunaan material komposit ramah lingkungan terus dikembangkan sebagai alternatif material konvensional pada komponen otomotif. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi stacking sequence terhadap daya redam panas dan kuat impak Green Sandwich Composite berbahan serat sabut kelapa, woven fiberglass, inti kayu balsa, dan resin polyester. Spesimen dibuat menggunakan metode hand lay-up yang dikombinasikan dengan vacuum bagging, kemudian diuji daya redam panas dan impak Charpy. Data dianalisis menggunakan uji One-Way ANOVA. Hasil menunjukkan konfigurasi GF–NF–C–NF–GF memiliki performa terbaik dengan daya redam panas 40,65% dan kuat impak 198,98 kJ/m². Namun, variasi stacking sequence tidak berpengaruh signifikan terhadap kedua parameter pada taraf signifikansi 5%. Meskipun demikian, konfigurasi GF–NF–C–NF–GF direkomendasikan sebagai susunan lapisan paling optimal untuk aplikasi bumper mobil ramah lingkungan.

Kata kunci: Green Material; Impak; Redam Panas; Sandwich Composite.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan Industri 5.0 mendorong pemanfaatan material yang tidak hanya memiliki performa tinggi, tetapi juga mendukung keberlanjutan lingkungan. Salah satu material yang berpotensi memenuhi kebutuhan tersebut adalah *Green Sandwich Composite*, yaitu komposit yang tersusun atas dua lapisan luar (*face sheet*) dan satu lapisan

inti (*core*). Dengan karakteristik ringan, kuat, dan ramah lingkungan, material ini berpotensi diaplikasikan sebagai alternatif bumper kendaraan yang memerlukan ketahanan terhadap benturan sekaligus paparan panas.

Pemilihan material penyusun berperan penting dalam menentukan performa komposit. Serat sabut kelapa dipilih sebagai penguat karena memiliki ketangguhan impak dan stabilitas termal yang

baik. Komposit dengan komposisi serat dan resin 50:50 menghasilkan ketangguhan impact sebesar 271.311,29 J/m² [1], pembahasan lain juga menunjukkan komposit berbasis serat sabut kelapa memiliki suhu dekomposisi hingga 354,90°C [2]. Sebagai lapisan inti, kayu balsa dipilih karena memiliki densitas rendah serta sifat mekanis yang baik, dengan modulus geser hingga 350 MPa dan kekuatan geser mencapai 5 MPa [3]. Selain itu, *woven fiberglass* digunakan untuk meningkatkan kekuatan struktural, sedangkan resin polyester berfungsi sebagai matriks yang mengikat seluruh lapisan komposit.

Selain material penyusun, penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa variasi susunan lapisan (*stacking sequence*) memengaruhi karakteristik termal material komposit [4]. Selain itu, metode fabrikasi juga dilaporkan memberikan pengaruh terhadap ketahanan impact komposit [5]. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih mengkaji pengaruh material, metode fabrikasi, atau *stacking sequence* secara terpisah. Hingga saat ini, kajian mengenai pengaruh variasi *stacking sequence* terhadap

karakteristik termal dan kuat impact secara bersamaan pada *Green Sandwich Composite (face sheet)* serat sabut kelapa, *woven fiberglass*, (*core*) kayu balsa, dan resin polyester untuk aplikasi bumper kendaraan masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi *stacking sequence* terhadap daya redam panas dan kuat impact *Green Sandwich Composite*.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan satu faktor perlakuan, yaitu variasi susunan lapisan (*stacking sequence*). Empat variasi yang digunakan meliputi variasi 1 (GF-NF-C-GF-NF), variasi 2 (GF-NF-C-NF-GF), variasi 3 (NF-GF-C-NF-GF), dan variasi 4 (NF-GF-C-GF-NF). Setiap variasi dibuat sebanyak tiga replikasi untuk setiap jenis pengujian. Dengan serat sabut kelapa sebagai *natural fiber* (NF), *woven fiberglass* sebagai *glass fiber* (GF) dan kayu balsa sebagai *core* (C). Desain eksperimen ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Desain Eksperimen.

REPLIKASI	PERLAKUAN			
	V1	V2	V3	V4
1	V1-1	V2-1	V3-1	V4-1
2	V1-2	V2-2	V3-2	V4-2
3	V1-3	V2-3	V3-3	V4-3

Sebelum digunakan, serat sabut kelapa diberi perlakuan alkali menggunakan larutan NaOH 5% selama 2 jam, kemudian dicuci, direndam dalam air bersih selama 15 menit, dikeringkan, dan dipotong menjadi serat pendek sepanjang ±2 mm sebelum digunakan sebagai bahan penguat *sandwich composite*. Perlakuan ini bertujuan untuk

mengurangi lignin, hemiselulosa, dan pengotor pada permukaan serat sehingga meningkatkan kekasaran permukaan, daya adhesi, dan *mechanical interlocking* antara serat dan matriks poliester. Akibatnya, ikatan antarmuka menjadi lebih kuat sehingga sifat mekanik komposit dapat meningkat [6]. Serat sabut kelapa ditunjukkan oleh Gambar 1.



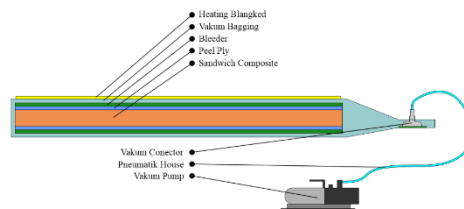
Gambar 1. Serat sabut kelapa.

Penyusunan setiap lapisan dilakukan menggunakan metode *hand lay-up* sesuai

desain eksperimen. Resin polyester dan katalis dengan perbandingan 100:1

diaplikasikan pada setiap lapisan, kemudian diratakan menggunakan rakel agar terdistribusi merata. Selanjutnya, sampel diproses menggunakan metode *vacuum bagging*, metode *vacuum bagging* dilakukan untuk memperoleh distribusi resin yang lebih merata dan mengurangi terbentuknya rongga (*void*) pada komposit [7]. Selama proses

tersebut, sampel dipanaskan menggunakan *heating blanket* selama 6 menit untuk mengoptimalkan proses *curing* resin *polyester* sehingga menghasilkan ikatan antar lapisan yang lebih baik dan kualitas komposit yang lebih optimal. Desain proses vakum sampel ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Desain Proses Vakum Sampel.

Performa material komposit pada studi ini ditunjukkan oleh daya redam panas dan kuat impact dari material *green sandwich composite* dengan serat sabut kelapa, *woven fiberglass* sebagai *face sheet* dan kayu balsa sebagai *core*. Kemampuan redaman panas pada komposit dapat dievaluasi berdasarkan besarnya penurunan suhu yang terjadi selama

proses pengujian. Semakin besar selisih atau penurunan suhu yang dihasilkan, maka semakin baik kemampuan komposit dalam menghambat perpindahan panas [8]. Besarnya redaman suhu yang terjadi pada proses pengujian dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan yang ditunjukkan berikut.

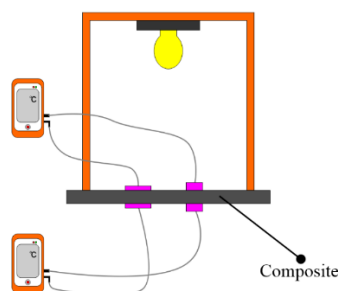
$$\eta_{th} = \frac{T_{hot} - T_{cold}}{T_{hot}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

η_{th} : efisiensi redam panas (*thermal damping efficiency*) (%)

T_{hot} : temperatur pada sisi panas (°C)

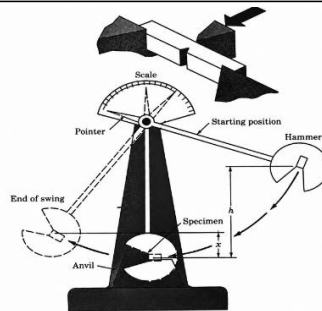
T_{cold} : temperatur pada sisi dingin (°C)



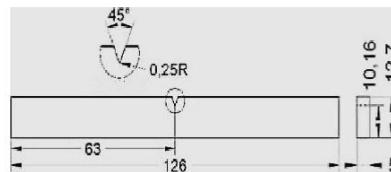
Gambar 3. Skema Peletakan Sampel Dan Sensor.

Pengujian impact *Charpy* berdasarkan standar ASTM D6110 dilakukan untuk mengevaluasi ketahanan material komposit terhadap beban impact melalui pengukuran energi yang diserap hingga spesimen bertakik (*notched specimen*) mengalami kegagalan [9]. Nilai kekuatan impact ditentukan berdasarkan perbandingan energi serap terhadap luas

penampang spesimen, di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan kemampuan material yang lebih baik dalam menyerap energi benturan sebelum mengalami patah [10]. Simulasi dan standar ukuran spesimen astm D6110 ditunjukkan oleh Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Alat Uji Impak Charpy [11].



Gambar 5. Standar Ukuran Sampel Astm D6110 [9].

Penentuan nilai Harga Impak (HI) dilakukan berdasarkan persamaan berikut:

$$HI = EIA \quad \dots\dots\dots (2)$$

dengan,

$$EI = m.g.R(\cos \theta - \cos \alpha)$$

Keterangan : EI = Energi Impak (J)

m = Massa (kg)

g = Gravitasi (m/s^2)

R = Jari – jari (m)

θ = Sudut Akhir ($^\circ$)

α = Sudut Awal ($^\circ$)

A = Luas Penampang (m^2)

HI = Harga Impak (J/mm^2)

Data hasil pengujian redam panas dan kuat impact dianalisis menggunakan uji *One-Way Analysis of Variance (One-Way ANOVA)* pada taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$). Sebelum

analisis dilakukan, data telah memenuhi asumsi normalitas dan homogenitas sehingga memenuhi persyaratan untuk dianalisis menggunakan uji parametrik [12]. Uji *One-Way ANOVA* digunakan untuk mengetahui pengaruh variasi *stacking sequence* terhadap nilai redam panas dan kuat impact [13].

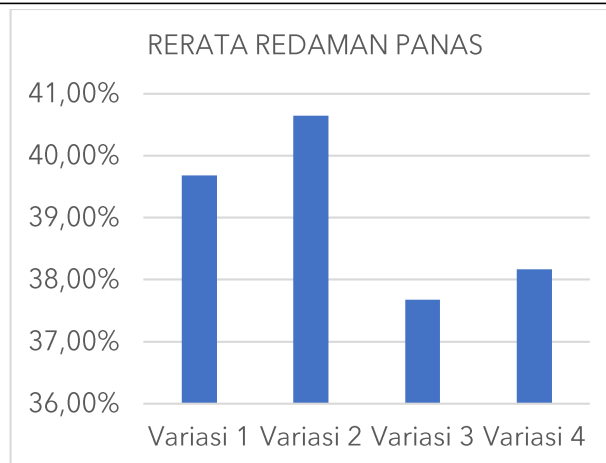
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Redam Panas

Pengujian peredaman panas dilakukan menggunakan lampu sorot sebagai sumber panas dengan suhu 60–65 $^\circ C$ selama 60 menit pada jarak 15 cm dari spesimen. Temperatur pada permukaan luar dan dalam spesimen direkam menggunakan GSP Temperature and Humidity Data Logger GSP-6. Hasil uji peredaman panas dapat dilihat pada tabel 2. Serta pada Gambar 6.

Tabel 2. Data Pengujian Redam Panas.

NO.		Replikasi	Variasi Susunan			
			Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3	Variasi 4
1	1	Dalam	62,70	62,60	62,48	62,61
		Luar	39,80	36,40	38,42	39,62
		Daya redam	36,52	41,85	38,51	36,72
2	2	Dalam	64,05	62,40	62,52	62,57
		Luar	38,26	37,54	38,96	37,54
		Daya redam	40,27	39,84	37,68	40,00
3	3	Dalam	62,64	62,54	62,42	62,57
		Luar	36,17	37,37	39,41	37,99
		Daya redam	42,26	40,25	36,86	39,28
		Rata-rata	39,68	40,65	37,69	38,67



Gambar 6. Grafik Rerata Uji Redam Panas.

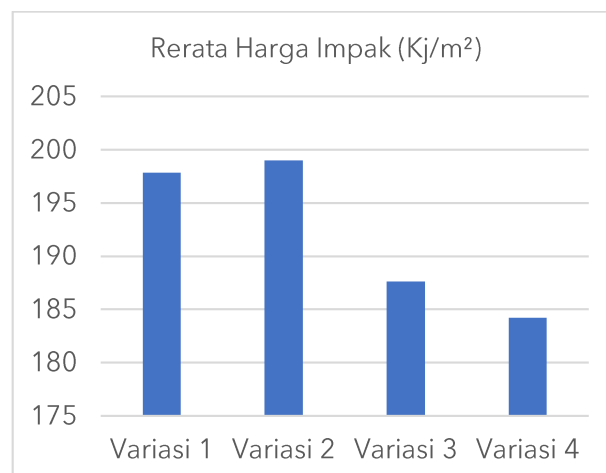
Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel 2, variasi susunan lapisan kedua, yaitu GF–NF–C–NF–GF, menghasilkan nilai peredaman panas rata-rata tertinggi sebesar 40,65%. Sementara itu, nilai peredaman panas rata-rata terendah diperoleh pada variasi ketiga, yaitu NF–GF–C–NF–GF, dengan nilai sebesar 37,69%.

3.2 Kuat Impak

Spesimen bertakik (*notched specimen*) dipasang padaudukan mesin dengan posisi takik berlawanan arah terhadap tumbukan pendulum. Pendulum kemudian dilepaskan hingga mematahkan spesimen, dan nilai kuat impact (kJ/m^2) dihitung berdasarkan energi yang diserap selama proses patah. Hasil pengujian impact disajikan pada Tabel 3, sedangkan visualisasi hasil pengujian tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 7.

Tabel 3. Data pengujian impact.

No.	Susunan lapisan	Kuat Impact			Rata-rata
		1	2	3	
1	GF-NF-C-GF-NF	184,21	204,66	204,66	197,84 kJ/m^2
2	GF-NF-C-NF-GF	187,63	204,66	204,66	198,98 kJ/m^2
3	NF-GF-C-NF-GF	184,21	187,63	191,05	187,63 kJ/m^2
4	NF-GF-C-GF-NF	177,35	194,47	180,78	184,2 kJ/m^2



Gambar 7. Grafik rerata uji impact.

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 3, variasi susunan lapisan kedua, yaitu GF–NF–C–NF–GF, menghasilkan nilai ketangguhan impact rata-rata tertinggi sebesar 198,98 kJ/m². Sementara itu, nilai ketangguhan impact rata-rata terendah diperoleh pada variasi keempat, yaitu NF–GF–C–GF–NF, dengan nilai sebesar 184,20 kJ/m².

3.3 One-Way ANOVA

Hasil uji *One-Way ANOVA* disajikan pada Tabel 4. Data telah memenuhi asumsi normalitas dan homogenitas sehingga dianalisis menggunakan *One-Way ANOVA*. Pengaruh variasi *stacking sequence* terhadap peredaman panas dan kuat impact ditentukan berdasarkan nilai signifikansi (*p-value*), dengan *p-value* < 0,05 menunjukkan pengaruh signifikan dan *p-value* > 0,05 menunjukkan tidak terdapat pengaruh signifikan.

Tabel 4. *One way anova.*

Parameter	F	Sig.
Redam panas	1,613	,292
Kuat impact	2,285	,197

Berdasarkan hasil uji *One-Way ANOVA* pada Tabel 4, nilai signifikansi peredaman panas sebesar 0,292 dan kuat impact sebesar 0,197, yang keduanya lebih besar dari 0,05. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi *stacking sequence* tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai peredaman panas maupun kuat impact *Green Sandwich Composite*.

4. SIMPULAN

Dari penelitian yang sudah dilakukan, variasi kedua (GF–NF–C–NF–GF) menunjukkan performa terbaik dengan nilai daya redam panas sebesar 40,65% dan kuat impact sebesar 198,98 kJ/m², sedangkan nilai terendah masing-masing diperoleh pada variasi ketiga (37,69%) dan variasi keempat (184,20 kJ/m²). Penelitian ini menghasilkan performa yang lebih baik dibandingkan penelitian sebelumnya, ditunjukkan dengan peningkatan nilai daya redam panas dari 37,87% [8] menjadi 40,65% serta kuat impact dari 157 kJ/m² [5] menjadi 198,98 kJ/m². Selain itu, seluruh variasi memenuhi persyaratan minimum SNI untuk kuat impact, yaitu 35 kJ/m². Oleh karena itu, variasi kedua direkomendasikan sebagai konfigurasi *stacking sequence* terbaik pada *Green Sandwich Composite*.

Variasi *stacking sequence* pada *Green Sandwich Composite* tidak berpengaruh signifikan terhadap daya redam panas maupun kuat impact berdasarkan hasil uji *One-Way ANOVA* pada taraf signifikansi 5%. Hasil ini berbeda dengan penelitian sebelumnya, yang diduga disebabkan oleh perbedaan sistem material. Kombinasi serat

sabut kelapa, *woven fiberglass*, inti kayu balsa, dan resin polyester menghasilkan distribusi beban serta perpindahan panas yang relatif seragam, sehingga perubahan urutan lapisan tidak memberikan pengaruh yang signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Nurfatihayati, C. D. Alfarisi, D. Drastinawati, K. Khairat, M. Akbar, And C. Maharani, "Pembuatan Komposit Dari Serat Sabut Kelapa dan Resin Polyester Sebagai Material Untuk Helm," *J. Bioprocess, Chem. Environ. Eng. Sci.*, Vol. 4, No. 2, Pp. 57–64, 2023, Doi: 10.31258/Jbchees.4.2.57-64.
- [2] T. D. Pambudi, N. Wahyudi, And K. Nur, "Analisis Ketahanan Panas Komposit Serat Sabut Buah Kelapa Bermatriks Epoxy Menggunakan Pengujian *Thermogravimetric Analysis*," Vol. 9, No. 1, Pp. 9–11, 2024.
- [3] M. Borrega And L. J. Gibson, "Mechanics Of Balsa (*Ochroma Pyramidale*) Wood," *Mech. Mater.*, Vol. 84, Pp. 75–90, 2015, Doi: <https://doi.org/10.1016/J.Mechmat.2015.01.014>.
- [4] P. Pratiwi And M. Perdana, "Pengaruh Variasi Urutan Lapisan Terhadap Sifat Akustik Dan Termal Komposit Ramah Lingkungan Berpenguat Serat Ampas Tebu Dan Getah Pinus," Vol. 12, No. 02, Pp. 273–284, 2023.
- [5] M. F. Ardiansyah And F. Y. Utama,

- "Pengaruh Metode Fabrikasi Terhadap Ketahanan Impak Komposit *Sandwich* Serat Karbon," *J. Ilmu Ekon. Pendidik. Dan Tek.*, Vol. 03, Pp. 149–154, 2026.
- [6] A. Sanjaya, Juanda, And Yulidarta, "Pengaruh Fraksi Volume Dan Varias Perendaman Naoh Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impak Komposit Berpenguat Serat Ampas Tebu," *Pros. Semin. Nas. Inov. Teknol. Terap.*, Vol. 02, No. 1, Pp. 120–129, 2022.
- [7] E. Widodo And I. Iswanto, *Buku Ajar Mekanika Komposit dan Bio-Komposit*, 2022nd Ed. Sidoarjo, Jawa Timur: Umsida Press, 2022. Doi: 10.21070/2022/978-623-464-042-7.
- [8] I. A. Wahyudie, S. Rachmadini, And M. Riva, "Analisis Pengaruh Penambahan Serbuk Pelepah Kelapa Sawit Pada Komposit Berbasis Semen Untuk Peredam Panas," Vol. 15, No. 02, Pp. 362–369, 2024, Doi: 10.35970/Infotekmesin.V15i2.2216.
- [9] D. Agam Widhiansyah And Widjanarko, "Effect Of Alkali Treatment And Volume Fraction On The Impact Strength Of Coconut Fiber Composite (Cocofiber)-Epoxy," *J. Tek. Mesin J-Meeg*, Vol. 4, No. 1, Pp. 359–364, 2024, [Online]. Available: [Http://Jurnal.Polinema.Ac.Id/Index.Php/J-Meeg](http://Jurnal.Polinema.Ac.Id/Index.Php/J-Meeg)
- [10] F. Y. Utama, "Perbandingan Variasi Matriks Resin *Epoxy* Dan Resin *Polyester* Pada Komposit *Carbon Fiber* Terhadap Kekuatan Uji Impak Dengan Standar," Vol. 03, Pp. 60–68, 2026.
- [11] I. S. Barkah, Y. Yuliyanto, And M. Haritsah Amrullah, "Pengaruh Web Tarantula Sebagai Filler Bio Komposit Pada Pengujian Impak," *J. Inov. Teknol. Terap.*, Vol. 2, No. 1, Pp. 170–178, 2024, Doi: 10.33504/Jitt.V2i1.131.
- [12] J. Gemanial, R. Napitupulu, And J. Juanda, "Analisis Pemanfaatan Serbuk Gergaji Kayu dan *Egg Tray* Sebagai Bahan Alternatif Peredam Suara Pada Genset," *J. Inov. Teknol. Terap.*, Vol. 3, No. 2, Pp. 424–433, 2025, Doi: 10.33504/Jitt.V3i2.276.
- [13] N. A. Dwi Ramadina, Y. Yuliyanto, And M. Subhan, "Analisis Kekuatan Lentur Komposit Berbasis Serat Daun Alam Sebagai Alternatif Material Bilah Turbin," *J. Inov. Teknol. Terap.*, Vol. 4, No. 1, Pp. 37–45, 2026, Doi: 10.33504/Jitt.V4i1.393.