



## KARAKTERISTIK TERMAL PAPAN KOMPOSIT YANG DIPERKUAT DENGAN PARTIKEL CANGKANG TELUR

Arinda FajarAmrillah<sup>1</sup>, Shofiatul Ula<sup>1</sup>, Agung Sudrajad<sup>1</sup>, Iman Saefuloh<sup>1</sup>, Sunardi Sunardi<sup>1a</sup>

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Korespondensi:

<sup>a</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
sunardi@untirta.ac.id

### ABSTRAK

Limbah cangkang telur ayam memiliki potensi digunakan sebagai material penyusun komposit. Cangkang telur merupakan salah satu produk sampingan pabrik pengolahan dan pembuatan makanan. Pembuatan komposit dilakukan dengan menggunakan metode kompaksi dingin dan curing. Komposisi papan partikel disusun dengan menggunakan fraksi volume yang terdiri dari 10% resin epoksi, 25% perekat PVAc, 25% partikel kayu sengon, dan 40% rasio antara partikel cangkang telur dan partikel bambu dengan perbandingan masing-masing dalam fraksi volume adalah (0:40)%, (20:20)%, dan (40:0)%. Kemudian komposit papan partikel diuji analisis thermogravimetri (TGA) untuk mengetahui stabilitas termal komposit. Untuk mengetahui performa komposit terhadap panas maka diberikan paparan panas pada suhu 100 °C dan 200 °C. Hasil pengujian TGA menunjukkan bahwa penambahan partikel cangkang telur dapat meningkatkan stabilitas termal dan kekerasan komposit.

**Kata kunci:** limbah cangkang telur, partikel kayu sengon dan bambu, papan partikel, stabilitas panas.

### ABSTRACT

*Chicken eggshell waste has the potential to be used as a composite material. Eggshells are a by-product of food processing and manufacturing factories. The composite was manufactured using cold compaction and curing methods. The composition of the particle board was prepared using a volume fraction consisting of 10% epoxy resin, 25% PVAc adhesive, 25% sengon wood particles, and a 40% ratio between eggshell particles and bamboo particles with the respective ratios in volume fraction being (0:40)%, (20:20)%, and (40:0)%. The composite board was then tested using thermogravimetric analysis (TGA) to determine its thermal stability when exposed to heat at temperatures of 100°C and 200°C. The TGA test results show that the addition of eggshell particles can increase the thermal stability and hardness of the composite.*

**Keywords:** eggshell waste, sengon wood, bamboo particle, particle board, thermal stability.

### 1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan limbah sangat menarik bagi para peneliti pada hari ini hingga di masa mendatang. Langkah ini merupakan upaya untuk menurunkan pencemaran lingkungan [1]. Limbah cangkang telur ayam sangat potensial sebagai salah satu bahan untuk meningkatkan sifat mekanik seperti bahan komposit resin [2].

Bello et al. [3] menggunakan partikel cangkang telur sebagai penguat pada komposit polyethylen untuk aplikasi kendaraan bermotor. Penambahan 10% partikel cangkang telur dapat meningkatkan kekuatan tarik, sedangkan kekuatan lentur dan kekerasan komposit meningkat pada penambahan 12% partikel cangkang telur. Dengan menggunakan *response surface method* dan *central composite design*, Lubis et al. [4] menunjukkan bahwa komposisi filler dan matriks dengan rasio 50:50 menghasilkan performa yang paling optimum pada papan partikel tandan kosong kelapa sawit.

Papan partikel yang mengalami delaminasi dengan lembaran veneer yang dikompresi secara termal dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik papan komposit. densitas panel *sandwiched* meningkat seiring dengan peningkatan tekanan kompaksi dan menurun seiring dengan meningkatnya suhu kompaksi [5]. Panel *sandwiched* yang delaminasi dengan lembaran veneer dan dikompresi pada tekanan 4 MPa pada suhu 150 °C memiliki nilai MOR dan MOE tertinggi. Kekuatan papan partikel dari bambu memiliki nilai yang setara dengan papan partikel kayu konvensional [6]. Bambu yang mengalami perlakuan *water retting* dapat menurunkan kekerasan dan ketahanan aus pada komposit [7].

Pemakaian papan partikel untuk keperluan eksterior memerlukan stabilitas termal dan *modulus of rupture* yang lebih tinggi. Tongkol jagung sebagai limbah pertanian dapat dimanfaatkan sebagai papan partikel. Sebuah studi menunjukkan bahwa papan partikel dari tongkol jagung dapat digunakan sebagai bahan isolasi karena menghasilkan transmisi termal dan konduktivitas termal yang rendah, serta ketahanan termal yang lebih tinggi [8].

Panel komposit ringan bio-polimer hibrida berbahan dasar *fly ash* dan partikel cangkang telur yang diperkuat jerami padi memiliki potensi sebagai isolasi termal. Penambahan partikel cangkang telur dapat meningkatkan kekuatan kompresi dan lenturnya [2]. Dalam review literatur, Sunardi et al menunjukkan bahwa partikel cangkang telur memiliki potensi sebagai salah satu penyusun material komposit, utamanya pada material gesek [9].

Beberapa studi menunjukkan bahwa paparan panas dapat menurunkan performa komposit secara signifikan. Penambahan partikel cangkang telur diharapkan dapat meningkatkan stabilitas termal komposit papan partikel. Pada studi ini akan didiskusikan pengaruh paparan panas pada performa komposit yang diperkuat dengan partikel cangkang telur. Studi ini bermanfaat untuk mengetahui bagaimana pengaruh panas ini dapat mempengaruhi performa komposit papan partikel.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Bahan

Papan partikel pada studi ini tersusun atas partikel kayu sengon, partikel cangkang telur, dan partikel bambu dengan matriks hybrid resin epoksi dan PVAc.

#### 2.1.1 Partikel Cangkang Telur

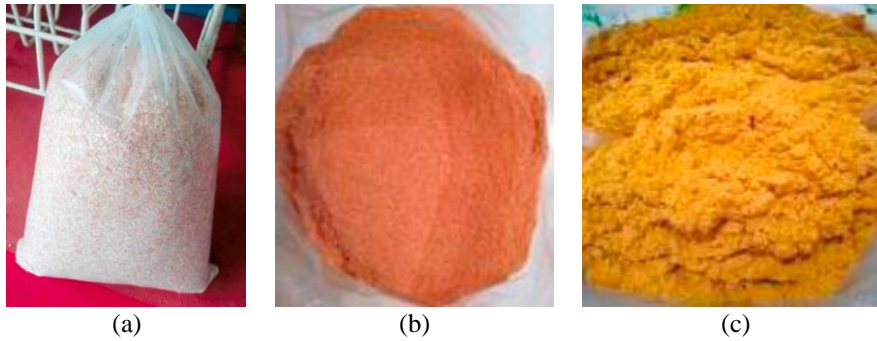
Partikel cangkang telur memiliki fasa kalsium karbonat. Partikel cangkang telur diperoleh dari limbah rumah tangga. Sebelum digunakan sebagai filler komposit, cangkang telur dibersihkan untuk menghilangkan bahan-bahan organiknya lalu dikeringkan di bawah terik sinar matahari selama 5 sampai 7 hari. Cangkang telur kemudian dibuat bubuk dengan ukuran mesh 80. Bahan baku partikel cangkang telur ditunjukkan oleh Gambar 1(a).

#### 2.1.2 Partikel Kayu Sengon

Partikel kayu sengon diperoleh dari industri pengolahan kayu di wilayah Cilegon. Ukuran partikel kayu sengon yang digunakan dalam studi ini adalah mesh 35. Sebelum digunakan sebagai komposit, partikel kayu diberikan perlakuan alkali dengan konsentrasi 5% selama 2 jam [10]. Bahan baku kayu sengon ditunjukkan oleh Gambar 1(b).

#### 2.1.3 Partikel Bambu

Bambu diperoleh dari Pandeglang. Ekstraksi serat bambu pendek diperoleh dengan melakukan pengikisan batang bambu. Untuk memperoleh ukuran serat yang sama digunakan ayakan partikel bambu dengan mesh 50. Serat bambu pendek diberikan perlakuan awal berupa perendaman di dalam larutan alkali dengan konsentrasi 5% selama 2 jam [10]. Partikel bambu ditunjukkan oleh Gambar 1(c).



Gambar 1. Bahan baku pembuatan papan partikel: (a) partikel cangkang telur, (b) partikel kayu sengon, dan (c) partikel bambu.

### 2.1.4 Matriks

Matriks yang digunakan dalam studi ini adalah hybrid antara resin epoksi dan perekat PVAc. Pemakaian PVAc didasari oleh sifatnya yang aman, tidak beracun, tidak terbakar, mudah dibersihkan, tidak polutif, tangguh setelah curing, dan memiliki kekuatan adhesi yang tinggi terhadap unsur kayu [11]. Komposisi resin epoksi sebesar 10%. Pembatasan kandungan resin epoksi dimaksudkan untuk membuat papan partikel yang bersifat *biodegradable* dan lebih ramah terhadap lingkungan.

## 2.2 Karakterisasi Material

Kualitas komposit papan partikel dicirikan dengan densitas, stabilitas dimensi, kekerasan dan stabilitas termal.

### 2.2.1 Densitas

Densitas merupakan salah satu faktor penting yang menentukan kualitas papan partikel. Dalam standar SNI 03-2015-2006, densitas harus berada pada rentang nilai 0.4-0.9 g/cm<sup>3</sup>. Densitas papan partikel dapat meningkatkan karakteristik kekuatan, seperti MOE dan MOR [12].

### 2.2.2 Porositas

Porositas adalah ukuran ruangan yang kosong pada sebuah material. Besarnya porositas dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (1), yaitu [13]:

$$n = 1 - \frac{\rho}{\rho_{th}} \quad (1)$$

Di mana,  $n$  adalah porositas,  $\rho$  adalah densitas riil yang dihitung dengan membagi berat dan volume,  $\rho_t$  adalah densitas teoritis.

### 2.2.3 Stabilitas Dimensi

Stabilitas dimensi dinyatakan dalam bentuk *volumetric swelling coefficient* (VSC) atau koefisien pengembangan volumetris. Untuk menentukan VSC dapat digunakan persamaan 2 [14].

$$S(\%) = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100 \quad (2)$$

Di mana,  $V_1$  dan  $V_2$  adalah volume sebelum dan sesudah menerima paparan panas.

### 2.2.4 Kekerasan

Kekerasan permukaan komposit sangat dipengaruhi oleh tekanan kompaksi yang diberikan saat pembuatan papan partikel [15]. Pada studi ini, pengukuran kekerasan permukaan komposit dilakukan dengan menggunakan Durometer Shore D ASTM D2240.

### 2.2.5 Sifat Termal

Sifat termal menunjukkan respon material terhadap panas yang diterimanya. Karakteristik termal diamati dengan menggunakan *thermogravimetric analysis* (TGA) berupa pengukuran perubahan berat suatu bahan sebagai fungsi suhu.

Spesimen dipanaskan dari suhu kamar hingga 600 °C dengan laju pemanasan 10 °C/ menit. Pengujian TGA dilakukan berdasarkan standar ASTM E1131.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

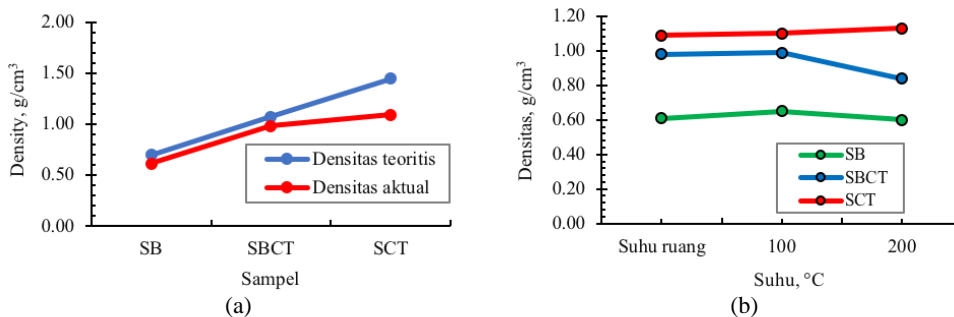
### 3.1 Densitas

Gambar 2 menunjukkan bahwa densitas papan partikel tertinggi dimiliki oleh komposit yang tersusun dari partikel kayu sengon dan cangkang telur. Tingginya densitas ini disebabkan oleh densitas dari masing-masing material penyusun komposit, di mana densitas kayu sengon, cangkang telur, dan bambu masing-masing adalah 0.25 g/cm<sup>3</sup> [16], 2.25 g/cm<sup>3</sup> [17], 0.53 g/cm<sup>3</sup> [18].

Gambar 2(a) menunjukkan bahwa penambahan partikel cangkang telur dapat menyebabkan peningkatan densitas komposit papan partikel, baik secara teoritis maupun aktualnya. Peningkatan densitas ini disebabkan oleh densitas dari partikel cangkang telur yang lebih tinggi daripada partikel kayu sengon dan bambu. Nilai densitas ini masih berada dalam rentang yang dipersyaratkan oleh SNI 03-2015-2006.

Ketika komposit papan kayu diberikan paparan panas pada suhu 100 °C dan 200 °C, ternyata densitas komposit tidak mengalami perubahan secara signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa paparan panas hingga suhu 200 °C belum menyebabkan terjadinya kerusakan material-material organik dalam komposit papan partikel. Data TGA menunjukkan bahwa serat dan partikel kayu sengon dan bambu akan terdegradasi pada suhu di atas 225 °C.

Secara teoritis, densitas dari masing-masing komposit adalah 0.70 g/cm<sup>3</sup>, 1.07 g/cm<sup>3</sup>, dan 1.44 g/cm<sup>3</sup> untuk komposit yang tersusun atas SB, SBCT, dan SCT. Sedangkan densitas aktual memiliki nilai masing-masing 0.61 g/cm<sup>3</sup>, 0.98 g/cm<sup>3</sup>, dan 1.09 untuk SB, SBCT, dan SCT. Densitas yang disyaratkan oleh SNI 03-2015-2006 adalah 0.40-0.90 g/cm<sup>3</sup>. Penambahan partikel cangkang telur dapat meningkatkan stabilitas termal, tetapi bobot komposit menjadi lebih besar.



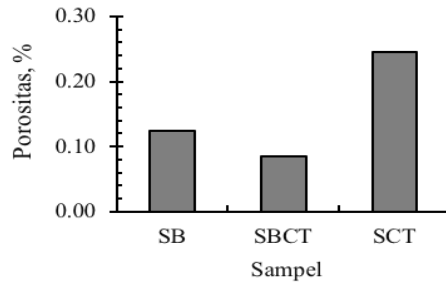
Gambar 2. (a) Densitas teoritis dan aktual komposit, (b) densitas komposit sebelum dan sesudah menerima paparan panas

Densitas komposit SB yang tersusun atas partikel kayu sengon dan partikel bambu memiliki nilai yang paling rendah. Hal ini disebabkan oleh densitas partikel kayu sengon dan bambu yang rendah. Densitas komposit cenderung menurun seiring dengan semakin tingginya suhu paparan panas. Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin tinggi paparan panas, maka kandungan air, lignin atau pengotor lainnya yang menguap atau terbakar juga semakin banyak.

### 3.2 Porositas

Kecenderungan yang dapat dicermati dalam studi ini adalah komposit yang memiliki kandungan cangkang telur cenderung memiliki porositas yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh sifat keras partikel

cangkang telur jika dibandingkan dengan partikel kayu sengon maupun bambu. Merujuk pada Persamaan (1), besarnya porositas pada ketiga variasi komposit ditunjukkan oleh Gambar 3.

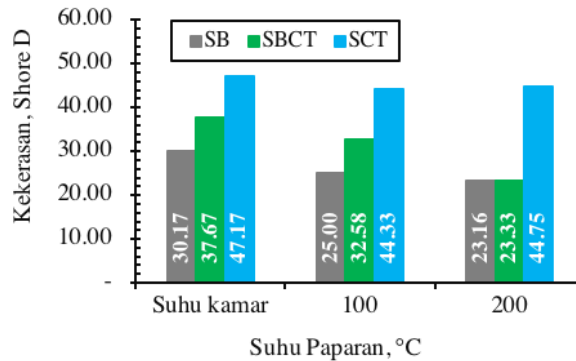


Gambar 3. Porositas komposit pada berbagai variasi fraksi volume filler

Gambar 3 menunjukkan bahwa komposit yang tersusun hybrid antara kayu sengon dan partikel cangkang telur (SCT) memiliki porositas tertinggi, diikuti oleh SB dan SBCT. Sifat keras partikel cangkang telur menjadi penyebab tingginya porositas, karena partikel cangkang telur lebih kaku sehingga pada saat kompaksi tidak mengalami elastisitas. Hal ini berbeda dengan sampel SB dan SBCT.

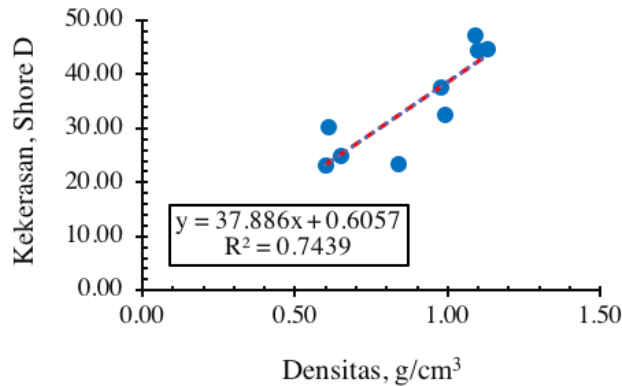
### 3.3 Kekerasan Komposit

Salah satu karakteristik mekanik dari suatu bahan adalah kekerasan. Kekerasan menggambarkan kemampuan material untuk menahan deformasi plastis. Gambar 4 menunjukkan perubahan kekerasan permukaan saat sebelum dan sesudah mengalami paparan panas. Kekerasan permukaan komposit pada berbagai kondisi lingkungan tidak mengalami perubahan yang signifikan. Sedangkan pada komposit tanpa partikel cangkang telur dan 20% partikel cangkang telur mengalami penurunan kekerasan seiring dengan peningkatan suhu paparan panas.



Gambar 4. Kekerasan komposit setelah menerima paparan panas

Penurunan kekerasan permukaan komposit berkorelasi dengan densitas papan kompositnya. Korelasi antara densitas papan partikel dan kekerasannya ditunjukkan oleh Gambar 5. Mukaka [19] menunjukkan nilai korelasi antar dua variabel. Koefisien korelasi antara densitas dan kekerasan sebesar 0.7439. Hal ini menunjukkan korelasi yang tinggi antara dua variabel.



Gambar 5. Korelasi antara densitas dan kekerasan permukaan komposit

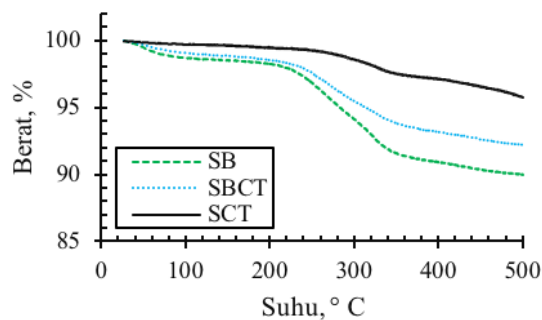
Semakin tinggi densitas komposit maka semakin tinggi nilai kekerasan permukaan papan partikel. Hasil studi ini bersesuaian dengan publikasi yang dilakukan oleh Greco dkk. [20]. Kekerasan papan partikel yang berbasis partikel cangkang telur cenderung tinggi dengan densitas yang tinggi pula. Peningkatan kekerasan papan partikel disebabkan oleh distribusi partikel cangkang telur yang seragam pada matriks [21].

### 3.4 Stabilitas Termal

Perilaku termal komposit berbasis partikel cangkang telur diinvestigasi dengan analisis DTA-TGA. Gambar 6 menunjukkan perbandingan perilaku termal pada komposit dengan adanya penambahan partikel cangkang telur. Total kehilangan berat terbesar terjadi pada komposit tanpa tambahan partikel cangkang telur.

Penurunan total berat pada SCT, SB dan SBCT masing-masing adalah 4.26%, 10.06%, dan 7.79%. Komposit yang tersusun dari 25% kayu sengon dan 40% partikel cangkang telur paling sedikit mengalami penurunan berat. Kecilnya penurunan berat ini disebabkan oleh sifat partikel cangkang telur yang sedikit mengandung atau menyerap air, sehingga kandungan air yang terlepas dari komposit juga rendah.

Komposit yang terdiri dari 25% partikel kayu sengon dan 40% partikel bambu mengalami penurunan berat yang sangat signifikan, yaitu sebesar 10.06%. Penurunan berat ini disebabkan oleh terlepasnya kandungan air dan terdekomposisinya serat alam. Sedangkan komposit dengan kandungan 20% partikel cangkang telur dan 20% partikel bambu mengalami penurunan sebesar 7.79%. Penurunan berat komposit ini seiring dengan semakin meningkatnya kandungan partikel cangkang telur.

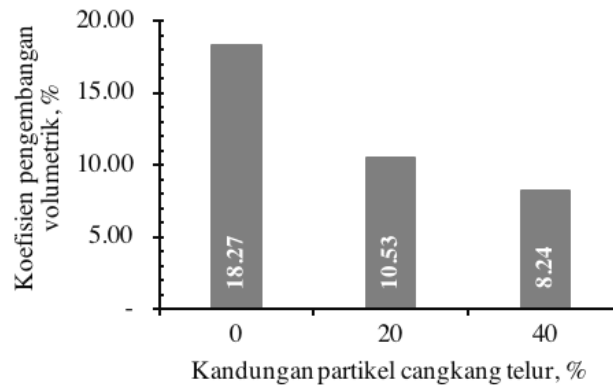


Gambar 6. Grafik *thermogravimetric analysis* komposit berbasis partikel cangkang telur

Panas yang diterima oleh komposit hingga suhu 100 °C, pelepasan air yang terkandung di dalam komposit sebesar 0.13%, 1.26%, dan 0.90% untuk SCT, SB, dan SBCT. Ketika komposit dipanaskan hingga suhu 350 °C terjadi penurunan berat masing-masing sebesar 2.27%, 7.53%, dan 5.30% untuk SCT, SB, dan SBCT. Penurunan berat ini disebabkan oleh terjadinya dekomposisi lignin dan hemiselulosa yang menyertai material organik.

### 3.5 Stabilitas Dimensi

Stabilitas dimensi komposit dapat dinyatakan dengan nilai koefisien pengembangan volumetrik. Evaluasi VSC didasarkan pada standar ASTM D1758-06. Hasil pengukuran dimensi yang memperoleh paparan panas pada suhu 100 °C dan 200 °C selama 1 jam ditunjukkan oleh Gambar 7.



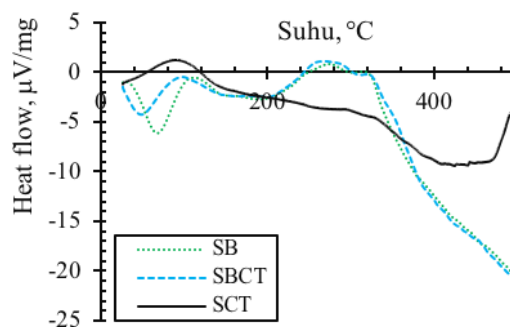
Gambar 7. Pengaruh kandungan partikel cangkang telur terhadap VSC

Paparan panas pada suhu 100 °C tidak menyebabkan perubahan dimensi papan partikel. Dimensi papan partikel mengalami perubahan setelah komposit dipanaskan pada suhu 200.°C.

Penambahan partikel cangkang telur ke dalam komposit papan partikel dapat meningkatkan stabilitas dimensi secara signifikan. Penambahan 20% partikel cangkang telur, stabilitas dimensi meningkat sebesar 42.36% pada komposit SCBT. Sedangkan pada penambahan 40% partikel cangkang telur, stabilitas dimensi meningkat sebesar 54.90%.

Peningkatan stabilitas dimensi papan partikel SCT dan SBCT disebabkan oleh sifat keras partikel cangkang telur. Hasil studi ini bersesuaian dengan laporan yang dipublikasikan oleh Yong dkk. [22]. Gambar 8 adalah kurva DTA yang menunjukkan laju kehilangan massa sebagai laju degradasi termal maksimum.

Suhu transisi gelas pada komposit SBCT adalah 43.65 °C, sedangkan pada komposit SB adalah 73.24 °C. Suhu transisi gelas mengalami pergeseran yang signifikan pada 271.91 °C pada komposit SCT yang terdiri dari 40% partikel cangkang telur. Kristalisasi pada komposit SCT terjadi pada suhu 96.81 °C. Sedangkan, pada komposit SB dan SBCT terjadi pada suhu 280 °C.



Gambar 8. Grafik DTA pada komposit berbasis partikel cangkang telur

## 4. KESIMPULAN

Pemanfaatan partikel cangkang telur merupakan upaya penanggulangan limbah pangan sekaligus sebagai bentuk pemberdayaan ekonomi sirkular. Partikel cangkang merupakan material yang ramah lingkungan dan murah. Berdasarkan uraian di atas maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kehadiran partikel cangkang telur dapat meningkatkan densitas dan kekerasan papan partikel.

2. Stabilitas dimensi dan stabilitas termal dapat diperbaiki dengan pemakaian partikel cangkang telur. Semakin tinggi kandungan partikel cangkang telur, semakin tinggi stabilitas termal dan stabilitas dimensi papan partikel.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu jalannya penelitian ini, khususnya kepada Program Studi Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bhatia, L. et al., 2023. Food Waste Utilization for Reducing Carbon Footprints towards Sustainable and Cleaner Environment: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 20(2318), 1-20.
- [2] Rathinavel, N. et al., 2023. Impact of Eggshell Powder on the Mechanical and Thermal Properties of Lightweight Geopolymer. *Advances in Civil Engineering* 2023, 1-11.
- [3] Bello, S. A. et al., 2023. Eggshell nanoparticle reinforced recycled low-density polyethylene: A new material for automobile application. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences* 35, 406–414.
- [4] Lubis, M. R. et al., 2018. Characterizing Particle Board Made of Oil Palm Empty Fruit Bunch Using Central Composite Design. *Makara Journal of Science* 22 (01), 17-28.
- [5] Buyuksari, U., 2012. Physical and Mechanical Properties of Particleboard Laminated with Thermally Compressed Veneer. *BioResources* 07(01), 1084-1091.
- [6] Gauss, C. et al., 2019. Bamboo particleboards: recent developments. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 49, 1-9.
- [7] Sunardi, S. et al., 2023. Pengaruh perendaman bambu dengan air laut terhadap kekerasan dan laju keausan komposit kampas rem. *TURBO* 12(01), 80-87.
- [8] Ramos, A. et al., 2021. Thermal performance and life cycle assessment of corn cob particleboards. *Journal of Building Engineering* 44, 1-13.
- [9] Sunardi, S. et al., 2023. Assessment of eggshell-based material as a green-composite filler: Project milestones and future potential as an engineering material. *Journal of the Mechanical behavior of Materials* 32, 1-22.
- [10] Sunardi, S. et al., 2018. Perlakuan Alkali pada Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit terhadap Mutu Papan Partikel. *Seminar Nasional Sains dan Terapan IV, Manado*.
- [11] Iždinský, J., 2021. Bonding of Selected Hardwoods with PVAc Adhesive. *Applied Sciences* 11(67), 1-15.
- [12] Amali, N. W. A. b., 2021. Mechanical Properties of Commercial Particleboard from Rubberwood (*Hevea brasiliensis*) and Recycle Mix- Tropical Wood with Different Board Density. *International Journal of Engineering Trends and Technology* 69(07), 86-91.
- [13] Cerny, M., 2023. The Influence of Porosity on Mechanical Properties of PUR-Based Composites: Experimentally Derived Mathematical Approach. *Polymers* 15(1960), 1-19.
- [14] Islam, M. S. et al., 2012. Dimensional stability and water repellent efficiency measurement of chemically modified tropical light hardwood. *BioResources* 07(01), 1221-1231.
- [15] Putra, R. K. et al., 2023. Study of Particleboard Characteristics Based on Sengon Wood Particle and Oil Palm Empty Fruit Bunches. *TiMER: Trends in Mechanical Engineering Research* 01(01), 21-26.
- [16] Sunardi, S. et al., 2020. Particleboard characterization using sawdust from sengon wood, mahogany wood, bayur wood, and rice husk ash as composite fillers. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 909, 1-10.
- [17] Tangboriboon, N., 2019. Enhancing Physical, Thermal, Mechanical Properties of Fired Clay Bricks by Eggshell as a Bio-Filler and Flux. *Science of Sintering* 51, 1-13.



- [18] Bazzetto, J. T. d. L. et al. 2019. Effect of Particle Size on Bamboo Particle Board Properties. *Floresta e Ambiente* 26(02), 1-8.
- [19] Mukaka, M. M., 2012. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. *Malawi Medical Journal* 24(03), 69-71.
- [20] Greco, S. et al., 2020. Selective laser melting (SLM) of AISI 316L - impact of laser power, layer thickness, and hatch spacing on roughness, density, and microhardness at constant input energy density. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 108, 1551–1562.
- [21] Ismail, A. et al., 2018. Effects of Eggshell Powder on Mechanical Properties and Morphology of Nr/Hdpe-Mengkuang Fiber Hybrid Composites. *Journal of Polymer Science and Technology* 03(02), 29-34.
- [22] Yong, T. H. et al., 2022. Dimensional Stability of Lightweight Foamed Concrete Containing Eggshell Powder and Calcium Stearate. *International Journal of Integrated Engineering* 14(01), 260-268.