



## **Kajian stabilitas termal bahan baku material insulasi panas berbasis serat alam: kayu kelapa sawit dan serat rami**

**Indra Mawardi<sup>1,2</sup>, Samsul Rizal<sup>1,3\*</sup>, Sri Aprilia<sup>1,4</sup>, Muhammad Faisal<sup>1,4</sup>**

<sup>1</sup> Program Doktor Ilmu Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 23111, Indonesia

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe, 24301, Indonesia

<sup>3</sup> Jurusan Teknik Mesin, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 23111, Indonesia

<sup>4</sup> Jurusan Teknik Kimia, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 23111, Indonesia

\*Corresponding author: [samsul.rizal@unsyiah.ac.id](mailto:samsul.rizal@unsyiah.ac.id)

### **Abstrak**

Pemakaian material insulasi termal pada bangunan menjadi topik penting dalam upaya efisiensi konsumsi energi listrik. Material insulasi termal berbasis serat alam menjadi alternatif dari serat sintetis yang banyak digunakan sekarang ini. Kestabilan termal material pembentuk menjadi penting untuk diketahui sebagai dasar kelayakan sebagai material insulasi termal. Kayu kelapa sawit (KKS) dan serat rami (SR) mempunyai potensi sebagai bahan baku material insulasi termal dari serat alam. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji stabilitas termal kayu kelapa sawit dan serat rami sebagai bahan baku material insulasi termal berbasis serat alam. Partikel kayu kelapa sawit dan serat rami mendapat perlakuan sebelum diuji. Kayu kelapa sawit direndam dalam air panas 100°C selama 30 menit dan serat rami dalam larutan NaOH 5% dengan waktu yang sama. Pengujian *thermogravimetric analysis* (TGA) dan *diferensial scanning calorimetry* (DSC) dilakukan untuk mendapatkan karakteristik termal kedua bahan baku. Pengujian dilakukan untuk kedua serat, tanpa, dan dengan perlakuan. Pengujian TGA menghasilkan KKS dan SR dengan perlakuan memiliki kestabilan termal yang lebih baik dibandingkan KKS dan SR tanpa perlakuan. KKS dan SR dengan perlakuan memiliki kestabilan termal maksimal temperatur 377°C dan 399°C. Analisis DSC dari KKS dan SR dengan perlakuan memperlihatkan temperatur puncak pada 409°C dan 408°C. Stabilitas termal serat akan meningkat dengan perlakuan dibandingkan serat tanpa perlakuan.

**Kata kunci :** Material insulasi termal, kayu kelapa sawit, serat rami, TGA, DSC

### ***Study of the thermal stability of raw materials for thermal insulation materials based on natural fibers: palm wood and ramie fiber***

#### **Abstract**

*The use of thermal insulation materials in buildings is an important topic in an effort to increase the efficiency of electrical energy consumption. Natural fiber-based thermal insulation material is an alternative to the synthetic fibers that are widely used today. It is important to know the thermal stability of the materials as the basis for its feasibility as a thermal insulation material. Palm wood (OPW) and ramie fiber (RF) have potential as raw materials for thermal insulation from natural fibers. This study aims to assess the thermal stability of oil palm wood and ramie fibers as raw materials for thermal insulation materials based on natural fibers. Oil palm wood particles and rami fiber were treated before being tested. Oil palm wood is soaked in hot water 100°C for 30 minute and ramie fibers in 5% NaOH solution at the same time. Thermogravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC) tests were carried out to obtain the thermal characteristics of the two raw materials. Tests were carried out for both fibers, untreated and treated. TGA testing resulted in OPW and RF with treatment having better thermal stability than OPW and RF without treatment. OPW and FR with treatment have maximum thermal stability at temperatures of 377°C and 399°C. DSC analysis showed that OPW and FR with treatment produced peak temperatures at 409°C and 408°C respectively. The thermal stability of fibers will increase with treatment compared to untreated fibers.*

**Keywords:** Thermal insulation material, palm wood, ramie fiber, TGA, DSC

#### **1. Pendahuluan**

Emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh aktivitas manusia telah memberi konstribusi terhadap terjadinya pemanasan global. Industri, transportasi, dan bangunan adalah sektor-sektor penyumbang emisi CO<sub>2</sub> terbesar akibat penggunaan energi yang

besar [1]. Bertambahnya bangunan secara tidak langsung mempersempit ruang hijau dan peningkatan konsumsi energi akibat aktivitas manusia baik di dalam maupun di luar ruangan. Konsumsi energi pada bangunan didominasi penggunaan energi untuk penerangan, penyejuk udara, pemanas ruangan, dan penggunaan alat

elektronik lainnya. Bangunan mengkonsumsi energi sebesar 47,6% dan menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 44,6% [2].

Saat ini, efisiensi energi pada bangunan adalah salah satu perhatian utama dalam pembangunan sosial dan ekonomi [3][4]. Salah satu teknik efisiensi energi pada bangunan adalah dengan penerapan material insulasi ke bangunan [5]. Penggunaan tersebut dilakukan dengan menyelubungi bangunan dengan material isolasi.

Bahan-bahan sintetis atau anorganik seperti; *glasswool*, *rockwool*, *polyurethane foam*, *extruded polystyrene (XPS)*, dan *expanded polystyrene (EPS)* telah banyak digunakan sebagai material insulasi termal [5]. Bahan-bahan sintetis tersebut memiliki konduktivitas termal dan densitas yang rendah. Akan tetapi, penggunaan bahan-bahan tersebut berefek buruk terhadap lingkungan, tidak terbarukan, proses produksinya tinggi, dan tidak dapat didaur ulang. Oleh karena itu, penggunaan bahan organik seperti serat alam sebagai material insulasi bangunan menjadi salah satu faktor penting dalam dalam penciptaan lingkungan yang lebih sehat dan berkelanjutan.

Serat rami dan batang kelapa sawit adalah serat alam yang mempunyai potensi besar dan menjanjikan sebagai bahan baku material insulasi termal yang ramah lingkungan. Ketersediaan yang berlimpah dan mudah terbiodegradasi menjadi keunggulan yang dimiliki serat alam. Sejumlah peneliti telah mempublikasi hasil penelitian material insulasi menggunakan material organik/serat alam sebagai pengganti bahan sintetis.

Wei, et al. [6] telah mengembangkan material insulasi baru dari jerami padi. Penelitian dilakukan dengan melihat pengaruh beberapa variabel seperti pemanasan frekuensi tinggi, kepadatan papan, ukuran partikel dan suhu sekitar pada sifat mekanis dan fisis material isolasi jerami padi. Hasil menunjukkan bahwa sifat mekanik dan mekanis papan yang optimal diperoleh dengan kadar air 14%, kepadatan papan 250 kg / m<sup>3</sup>, dan ukuran partikel tipe-L. Selain itu, papan insulasi termal memiliki konduktivitas termal yang sangat rendah, berkisar antara 0,051 hingga 0,053 W / (m K).

Zhou, et al. [7] telah mempublikasi material insulasi termal ramah lingkungan dari serat alam. Papan insulasi dibentuk dari serat tangkai kapas tanpa perekat (BCSF) dan dibentuk dengan pengepresan panas. Papan insulasi diproduksi pada kepadatan 150-450 kg /m<sup>3</sup> dan memiliki nilai konduktivitas termal mulai dari 0,0585 hingga 0,0815 W / mK. Nilai konduktivitas termal memiliki korelasi linier yang kuat dengan kepadatan papan.

Panyaekaw et al. [8] telah mengembangkan papan isolasi termal dari sabut kelapa dan ampas tebu. Material insulasi dibentuk tanpa menggunakan bahan pengikat kimiawi dan dengan kepadatan rendah. Hasil eksperimental mereka menunjukkan bahwa papan insulasi dari sabut kelapa dan ampas

tebu memiliki nilai konduktivitas termal berkisar 0,046 hingga 0,068 W/mK. Hasil tersebut mendekati bahan isolasi konvensional seperti serat selulosa dan wool mineral.

Korjenic, et al. [9] telah mempublikasi penggunaan rami, flax, dan hemp untuk digunakan dalam pengembangan bahan isolasi baru yang terbuat dari sumber daya terbarukan. Spesimen dibentuk menggunakan perekat polystyrene (EPS). Hasil ekperimental menunjukkan menunjukkan bahwa kombinasi bahan alami yang optimal memiliki sifat termal dan mekanik yang sebanding dengan bahan isolasi konvensional seperti poliuretan, polistiren, dan wol mineral. Cetiner et al. [10] telah meneliti penggunaan limbah kayu sebagai bahan alternatif material insulasi termal untuk bangunan. Penelitian ini menggunakan limbah kayu tanpa menggunakan pengikat. Limbah kayu berasal dari sumber produksi primer tanpa dilakukan perlakuan. Ukuran partikel berkisar 1-4 mm. Hasil penelitian menunjukkan nilai konduktivitas termal dari limbah kayu dengan kepadatan berbeda, berkisar antara 0,048 hingga 0,055 W / mK.

Penelitian material insulasi berbahan alam terbarukan terus berkembang, tidak hanya penggunaan serat alam tetapi juga biomass seperti pohon kurma telah diteliti. Penggunaan pohon kurma dengan perekat gipsium sebagai material insulasi termal berkelanjutan. Hasil penelitiannya menyimpulkan bahwa pohon kurma dengan perekat gipsium sebanding dengan material insulasi konvensional [11][12]. Selain memanfaatkan bahan limbah, material insulasi pohon kurma dengan perekat gipsium aman bagi manusia. Opoku, et al. [13] dalam studinya telah mencampurkan bahan lokal berbasis bio material, serbuk gergajian dan serat kelapa sawit sebagai campuran balok beton. Serbuk gergaji dan serat kelapa yang diolah untuk membentuk komposit blok bangunan. Eksperimen dilakukan untuk menentukan konduktivitas termal, kekuatan tekan dan kepadatan campuran beton pasir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa memasukkan bahan berbasis bio ke dalam beton mengurangi kepadatan dan konduktivitas termal sehingga mengurangi beban transmisi panas dinding. Penggunaan serat alam lainnya juga telah diteliti sebagai bahan baku material bio komposit [14]–[16].

Selain serat alam yang telah dikaji di atas, batang kelapa sawit memiliki potensi yang sangat besar untuk dikembangkan sebagai bahan baku material insulasi. Indonesia pada tahun 2019 memiliki luas perkebunan sawit 14,67 juta Ha [17]. Tingkat peremajaan rata-rata 4% per tahun dilakukan dari total area perkebunan. Hasil peremajaan dapat menghasilkan volume kayu kelapa sawit (KKS) sekitar 200 m<sup>3</sup>/ha. Potensi kayu kelapa sawit yang cukup besar tersebut belum termanfaatkan secara optimal. Loh et al. [18] telah mempublikasikan potensi biomassa kelapa sawit Malaysia sebagai sumber energi terbarukan. Secara

keseluruhan, biomassa kelapa sawit memiliki potensi besar sebagai salah satu sumber energi alternatif terbesar untuk eksploitasi komersial. Pemanfaatan batang kelapa sawit menjadi suatu produk bernilai ekonomis seperti papan partikel telah dikembangkan. Papan partikel dan pellet dari kayu kelapa sawit dengan menggunakan bahan perekat urea *formaldehyde* (UP) maupun tanpa perekat (*binderless*) telah dikembangkan [19][20][21].

Pengembangan material untuk papan insulasi termal dipengaruhi oleh karakteristik termal material penyusunnya. Karakteristik termal dari batang kelapa sawit dan serat rami sebagai raw material bioboard material insulasi diperlukan untuk mendapatkan data degradasi serat terhadap panas yang terjadi. Analisis degradasi termal dan uji struktur mikro untuk berbagai serat lokal dari pohon yang berbeda telah dilakukan [22]. Kabir et al. [23] telah melaporkan komposisi struktural dan dekomposisi termal serat yang terbuat dari rami yang diperlakukan secara kimia. Analisis termogravimetrik diferensial (DTGA) menunjukkan bahwa degradasi utama serat terjadi pada suhu antara 250 C dan 375 C. Karakteristik termal serat sabut kelapa yang diberi perlakuan alkali serat telah dilaporkan [24]. Mereka menggunakan diferensial kalorimetri dan spektroskopi inframerah. E Ali et al [25] juga telah melaporkan karakteristik termal dari serat pohon kurma. Analisis *termogravimetri* (TGA dan DTGA) menunjukkan bahwa degradasi dan dekomposisi serat dimulai pada 232 C dengan sampel kehilangan hanya sekitar 8,5% dari massa aslinya. Analisis *differential scanning calorimetry* (DSC) dilakukan dan menunjukkan bahwa transisi endotermik dimulai pada sekitar 243-382 C dengan puncaknya pada 369 C. Selain serat alam, analisis termogravimetri dan analisis *differential scanning calorimetry* untuk bulu domba, kambing, dan ekor kuda telah dilaporkan [26].

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji stabilitas termal kayu kelapa sawit dan serat rami sebagai bahan baku material insulasi termal berbasis serat alam.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Materials

Kayu kelapa sawit dan serat rami digunakan sebagai bahan baku pembentuk material insulasi termal berbasis serat alam.



KKS Serat rami  
**Gambar 1.** KKS dan serat rami

Kayu kelapa sawit diambil dari batang kelapa sawit yang telah berumur 25-30 tahun dan berasal dari kabupaten Aceh Utara, Aceh. Batang kelapa sawit yang dipotong berdasarkan pada posisi ketinggian batang (pangkal, tengah, ujung) dan kedalaman batang (tepi, tengah, pusat). Kayu kelapa sawit yang digunakan diambil pada bagian tengah, baik berdasarkan posisi maupun kedalaman batang. Kayu kelapa sawit dipotong dan dihancurkan menjadi partikel. Partikel kayu kelapa sawit ditreatment di dalam air panas dengan temperatur 100°C selama 30 menit. Partikel kayu kelapa sawit kemudian dikeringkan mencapai kadar air 10-15%. Sedangkan serat rami berasal dari Sleman, Yogyakarta. Serat rami ditreatment dalam larutan NaOH 5% selama 30 menit kemudian dibilas dengan aquades dan kemudian dikeringkan hingga mencapai kadar air 10-15%.

Pengujian *Thermogravimetric Analysis* (TGA) dan *Diferensial Scanning Calorimetry* (DSC) dilakukan untuk mengetahui karakteristik termal dari kedua material pembentuk tersebut. Variabel pengujian adalah serat yang tanpa perlakuan dan mendapat perlakuan

### 2.2. Thermogravimetric Analysis (TGA)

Metode analisis termal yang paling sering digunakan adalah analisis termogravimetri (TGA). TGA adalah suatu teknik analitik untuk menentukan stabilitas termal suatu material dan fraksi dalam hal penurunan massa yang terjadi antara lain akibat terdekomposisi atau terbakar. Bahan yang terdekomposisi pada temperatur tinggi dikatakan memiliki stabilitas termal yang tinggi dan begitu pula sebaliknya. *Thermogravimetric analyzer* menggunakan Shimadzu DTG-60. Pengujian TGA mengikuti standar ASTM E1131-08. TGA mengukur jumlah perubahan massa suatu material sebagai fungsi kenaikan suhu atau secara eksotermis sebagai fungsi waktu pada atmosfer nitrogen. Berat sampel yang digunakan adalah 2,0 mg dan dipanaskan mulai 40°C hingga 1000°C dengan laju pemanasan 40 °C/menit. Temperatur dekomposisi T 50% merupakan temperatur dengan material kehilangan 50% dari berat aslinya.

### 2.3. Diferensial Scanning Calorimetry (DSC)

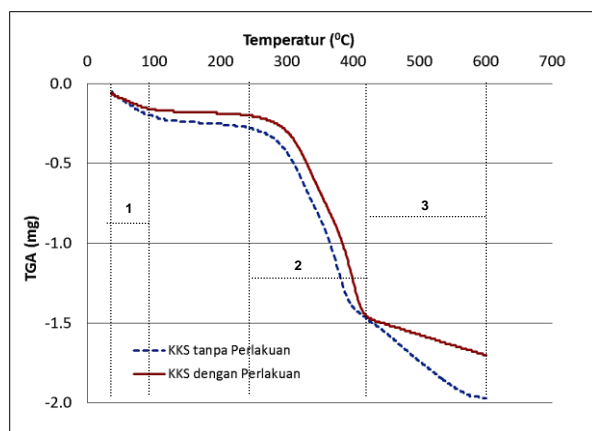
Metode lain untuk menganalisis sifat bahan secara termal adalah *diferensial scanning calorimetry* (DSC). DSC mengukur perubahan entalpi pada sampel akibat perubahan properti fisik dan kimianya sebagai fungsi suhu atau waktu. Pengujian DSC akan memperlihatkan stabilitas termal yang terkait dengan perubahan fasa, dalam hal ini pelelehan. Bahan yang meleleh pada temperatur lebih tinggi dikatakan memiliki stabilitas termal yang tinggi dan begitu pula sebaliknya. Pengujian DSC dilakukan dengan menggunakan Shimadzu DSC-60. Analisis ini dilakukan mengikuti standar ASTM D3418-08. Berat sampel yang

digunakan adalah 2,0 mg. Sampel dipanaskan dalam oven DSC di dalam wadah aluminium pada tekanan udara atmosfer nitrogen. Pemanasan dilakukan hingga temperatur 600°C dengan laju pemanasan sebesar 40 °C/menit.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Metode analisis termogavimetrik (TGA) dan *differential scanning calorimetry* (DSC) banyak digunakan untuk menganalisis sifat termal suatu material. Analisa thermal bertujuan untuk mengetahui proses termodinamika bahan dasar karena produksi material insulasi termal nantinya menggunakan tekanan panas (*hotpress*) yang dapat mempengaruhi kualitas material khususnya sifat mekanik. Oleh karena itu, sifat termal pada bahan dasar perlu dianalisis untuk mengetahui kemampuan bahan dasar terhadap beban panas yang diberikan, baik sebelum maupun setelah proses produksi. Gambar 2 dan 3 memperlihatkan kurva TGA dari KKS dan SR. Kurva TGA dibagi dalam tiga tahapan degradasi, yaitu tahap pertama, tahap kedua, dan tahap ketiga.

Gambar 2 memperlihatkan kurva TGA KKS tanpa perlakuan dan KKS dengan perlakuan perendaman dalam air panas. Degradasi tahap pertama terjadi dalam kisaran temperatur 40-92°C untuk KKS tanpa perlakuan dan 40-90°C untuk KKS dengan perlakuan.

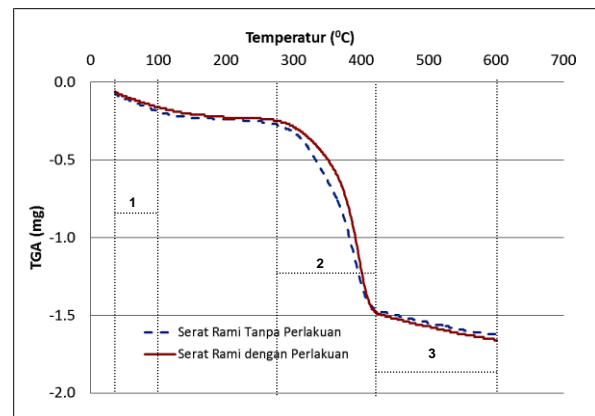


**Gambar 2.** TGA serat KKS tanpa perlakuan dan dengan perlakuan

Kehilangan sejumlah massa pada tahap pertama disebabkan oleh hilangnya air dari sampel. Tahap kedua yang merupakan tahap utama terjadi pada temperatur 235-377°C untuk KKS tanpa perlakuan dan 248-404°C untuk KKS dengan perlakuan. Pada tahap ini, terjadi kerusakan serat dan mikrofibril struktur serat. Pada daerah ini dekomposisi terjadi karena dekomposisi *hemiselulosa* dan disertai dengan hilangnya massa KKS. Temperatur awal terjadinya penurunan drastis pada tahap kedua menunjukkan kestabilan termal dari material tersebut. Kestabilan termal dikatakan tinggi apabila penurunan massa terjadi pada

temperatur yang lebih tinggi. Dari gambar 2, inisiasi kestabilan termal terjadi pada temperatur 235°C untuk KKS tanpa perlakuan dan 248°C untuk KKS dengan perlakuan. Degradasi kehilangan massa KKS tersisa pada tahap ketiga, pada temperatur 377-580°C untuk KKS tanpa perlakuan dan 404-600°C untuk KKS dengan perlakuan. Hasil TGA KKS ini didukung dengan hasil penelitian [27] yang menunjukkan inisial temperatur degradasi untuk serat buah kelapa sawit pada temperatur 260 °C. dan komposit hybrid serat buah kelapa sawit/jute pada 288-271°C.

Fitur penting dari termogram TGA SR menyerupai serat KKS (Gambar 3). Kehilangan sejumlah massa SR pada tahap pertama membutuhkan waktu yang lebih lama. Tahap pertama degradasi SR tanpa perlakuan berkisar pada temperatur 40-115°C dan 40-135°C untuk SR dengan perlakuan. Pada tahap kedua, degradasi terjadi pada temperatur 272-395°C untuk SR tanpa perlakuan dan 280-399°C untuk serat rami dengan perlakuan. Tahapan ketiga yang merupakan sisa kehilangan massa serat terjadi pada pada temperatur 395-600°C untuk SR tanpa perlakuan dan 399-600°C untuk SR dengan perlakuan. Pada gambar 3, kestabilan termal maksimal pada temperatur 395°C untuk SR tanpa perlakuan terjadi dan 399°C untuk SR dengan perlakuan.

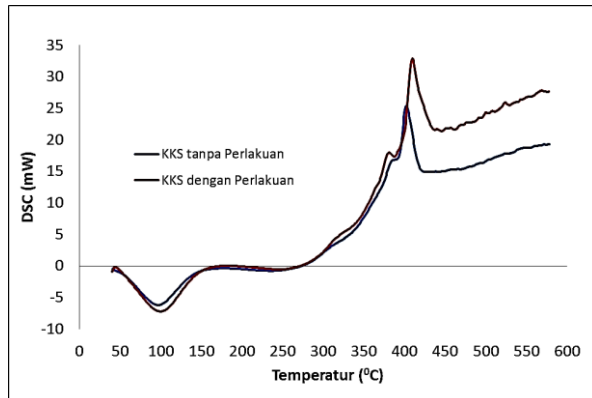


**Gambar 3.** TGA SR tanpa perlakuan dan dengan perlakuan

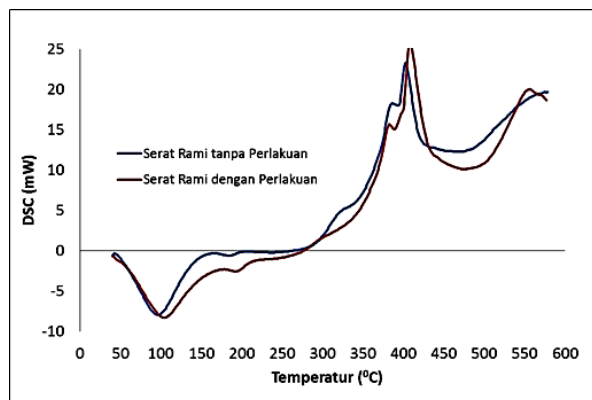
Pengujian DSC akan memperlihatkan stabilitas termal yang terkait dengan perubahan fasa, dalam hal ini pelelehan. Bahan yang meleleh pada temperatur lebih tinggi dikatakan memiliki stabilitas termal yang tinggi dan begitu pula sebaliknya. *Diferensial Scanning Calorimetry* (DSC) untuk serat KKS dan SR ditunjukkan pada gambar 4 dan 5.

Gambar 4 menunjukkan kurva DSC dari KKS tanpa perlakuan dan dengan perlakuan dengan air panas 100°C. Reaksi endotermis (menyerap kalor) terjadi pada temperatur 40-150°C untuk KKS tanpa perlakuan dan 40-153°C untuk KKS dengan perlakuan. Reaksi eksotermis menyatakan bahan sudah terdegradasi terjadi pada temperatur 390-

420°C untuk KKS tanpa perlakuan, dengan temperatur puncak 402°C dan 385-438°C dengan temperatur puncak 409°C untuk KKS dengan perlakuan. Fenomena endotermis dan eksotermis yang dihasilkan sedikit lebih tinggi dari hasil pengujian [28] yang menunjukkan temperatur puncak endotermis pada ~70 dan eksotermis pada temperatur ~350°C.



**Gambar 4.** DSC serat KKS tanpa perlakuan dan dengan perlakuan



**Gambar 5.** DSC SR tanpa perlakuan dan dengan perlakuan

Bentuk kurva DSC SR menyerupai kurva DSC serat KKS (Gambar 5). Endotermis untuk SR tanpa perlakuan terjadi pada temperatur 55-150°C dan 60-160°C untuk SR dengan perlakuan NaOH 5%. Sedangkan eksotermis terjadi pada temperatur 395-425°C untuk SR tanpa perlakuan dan 390-435°C untuk SR dengan perlakuan. Temperatur puncak eksotermis SR tanpa perlakuan dan dengan perlakuan NaOH 5%, masing-masing pada 402°C dan 408°C.

#### 4. Kesimpulan

Analisis TGA menunjukkan KKS tanpa perlakuan akan mengalami degradasi awal pada temperatur yang lebih rendah, 235°C dibandingkan dengan serat

KKS yang telah mengalami perlakuan pada air panas (248°C). SR dengan perlakuan NaOH 5% dan tanpa perlakuan yang mengalami degradasi awal, masing-masing pada temperatur 272°C dan 280°C. Penggunaan serat di atas temperatur degradasi maksimum tidak dianjurkan. Analisis DSC memperlihatkan serat KKS yang telah mengalami perlakuan pada air panas dan SR dengan perlakuan NaOH 5% menghasilkan temperatur puncak yang lebih tinggi dibandingkan serat tanpa perlakuan, masing-masing pada temperatur 409°C dan 408°C. Kedua hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa KKS dan SR yang telah mengalami perlakuan pada air panas dan NaOH 5% memiliki stabilitas termal yang lebih baik dibandingkan tanpa perlakuan. Degradasi termal kedua serat merupakan informasi awal yang sangat penting dalam pengembangan material insulasi termal berbasis serat alam.

#### Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih kepada KEMENRISTEK-DIKTI, yang telah mendanai penelitian ini melalui program Beasiswa Pendidikan Pascasarjana dalam Negeri (BPP-DN) Tahun 2019.

#### Referensi

- [1] H. Umar, "Penggunaan material berubah fasa sebagai penyimpan energi termal pada bangunan gedung," *J. POLIMESIN*, vol. 18, no. 2, pp. 105–115, 2020.
- [2] I. Florea and D. L. Manea, "Analysis of thermal insulation building materials based on natural fibers," *Procedia Manuf.*, vol. 32, pp. 230–235, 2019.
- [3] Y. Geng, W. Ji, B. Lin, J. Hong, and Y. Zhu, "Building energy performance diagnosis using energy bills and weather data," *Energy Build.*, vol. 172, pp. 181–191, 2018.
- [4] H. Viot, A. Sempey, L. Mora, J. C. Batsale, and J. Malvestio, "Model predictive control of a thermally activated building system to improve energy management of an experimental building: Part I—Modeling and measurements," *Energy Build.*, vol. 172, pp. 94–103, 2018.
- [5] L. Aditya *et al.*, "A review on insulation materials for energy conservation in buildings," *Renew. Sustain. energy Rev.*, vol. 73, pp. 1352–1365, 2017.
- [6] K. Wei, C. Lv, M. Chen, X. Zhou, Z. Dai, and D. Shen, "Development and performance evaluation of a new thermal insulation material from rice straw using high frequency hot-pressing," *Energy Build.*, vol. 87, pp. 116–122, 2015.
- [7] X. Zhou, F. Zheng, H. Li, and C. Lu, "An environment-friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers," *Energy Build.*, vol. 42, no. 7, pp. 1070–1074, 2010.

- [8] S. Panyakaew and S. Fotios, "New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse," *Energy Build.*, vol. 43, no. 7, pp. 1732–1739, 2011.
- [9] A. Korjenic, V. Petránek, J. Zach, and J. Hroudová, "Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources," *Energy Build.*, vol. 43, no. 9, pp. 2518–2523, 2011.
- [10] I. Cetiner and A. D. Shea, "Wood waste as an alternative thermal insulation for buildings," *Energy Build.*, vol. 168, pp. 374–384, 2018.
- [11] A. Braiek, M. Karkri, A. Adili, L. Ibos, and S. Ben Nasrallah, "Estimation of the thermophysical properties of date palm fibers/gypsum composite for use as insulating materials in building," *Energy Build.*, vol. 140, pp. 268–279, 2017.
- [12] A. Oushabi, S. Sair, Y. Abboud, O. Tanane, and A. El Bouari, "An experimental investigation on morphological, mechanical and thermal properties of date palm particles reinforced polyurethane composites as new ecological insulating materials in building," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 7, pp. 128–137, 2017.
- [13] R. Opoku, G. Y. Obeng, J. Darkwa, and S. Kwofie, "Minimizing heat transmission loads and improving energy efficiency of building envelopes in sub-Saharan Africa using bio-based composite materials," *Sci. African*, p. e00358, 2020.
- [14] I. Mawardi, "Effect of fiber fibrillation on impact and flexural strength of coir fiber reinforced epoxy hybrid composites," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 334, no. 1, p. 12079.
- [15] I. Mawardi, M. N. M. Zubir, J. Bakri, and A. Jannifar, "Development of a hybrid coir fiber composites as ballistic material," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 268, no. 1, p. 12130.
- [16] I. Mawardi, "Development of a Hybrid Coconut Fibre and Multi Reinforcement Epoxy Composite for High Impact Strength," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 536, no. 1, p. 12013.
- [17] D. J. P. K. Pertanian, *Statistik Perkebunan Indonesia 2017 - 2019 (kelapa sawit)*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian, 2018.
- [18] S. K. Loh, "The potential of the Malaysian oil palm biomass as a renewable energy source," *Energy Convers. Manag.*, vol. 141, pp. 285–298, 2017.
- [19] M. Baskaran, N. A. C. H. Azmi, R. Hashim, and O. Sulaiman, "Properties of binderless particleboard and particleboard with addition of urea formaldehyde made from oil palm trunk waste," *J. Phys. Sci.*, vol. 28, no. 3, pp. 151–159, 2017.
- [20] I. Mawardi, "Mutu Papan Partikel dari Kayu Kelapa Sawit (KKS) Berbasis Perekat Polystyrene," *J. Tek. Mesin*, vol. 11, no. 2, pp. 91–96, 2009.
- [21] A. Ginting, I. Mawardi, A. Jannifar, S. S. Hasyim, and M. R. Anzieb, "Effectiveness of die hole on wood pellet density quality improvement," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 268, no. 1, p. 12166.
- [22] K. Bilba, M.-A. Arsene, and A. Ouensanga, "Study of banana and coconut fibers: Botanical composition, thermal degradation and textural observations," *Bioresour. Technol.*, vol. 98, no. 1, pp. 58–68, 2007.
- [23] M. M. Kabir, "Effects of chemical treatments on hemp fibre reinforced polyester composites." University of Southern Queensland, 2012.
- [24] D. N. Mahato, B. K. Mathur, and S. Bhattacharjee, "DSC and IR methods for determination of accessibility of cellulosic coir fibre and thermal degradation under mercerization," 2013.
- [25] M. E. Ali and A. Alabdulkarem, "On thermal characteristics and microstructure of a new insulation material extracted from date palm trees surface fibers," *Constr. Build. Mater.*, vol. 138, pp. 276–284, 2017.
- [26] A. Ahmed, A. Qayoum, and F. Q. Mir, "Investigation of the thermal behavior of the natural insulation materials for low temperature regions," *J. Build. Eng.*, vol. 26, p. 100849, 2019.
- [27] H. P. S. A. Khalil, M. Jawaid, A. Hassan, M. T. Paridah, and A. Zaidon, "Oil palm biomass fibres and recent advancement in oil palm biomass fibres based hybrid biocomposites," 2012.
- [28] R. N. Komariah *et al.*, "High-performance binderless particleboard from the inner part of oil palm trunk by addition of ammonium dihydrogen phosphate," *Ind. Crops Prod.*, vol. 141, p. 111761, 2019.