

Contents list available at [Sinta](https://sinta)

ARMATUR

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>

Studi Karakteristik Porositas dan Sifat Termal pada Komposit Styrofoam

Bima Kusuma Ary Prastianto¹, Gatut Rubiono², Ikhwanul Qiram^{3*}^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Banyuwangi, Jl. Ikan Tongkol No. 22 Banyuwangi

ARTICLE INFO

Keywords:
Styrofoam food packaging, Composite, Porosity, thermal conductivity

ABSTRACT

Styrofoam food packaging waste is plastic waste that can have a negative impact on the environment. The processing of Styrofoam food packaging waste into heat-absorbing composites is rife because it is a heat insulator and porous. This study aims to determine the porosity characteristics of the thermal properties of styrofoam composites. The process of testing composite morphology using a digital camera is then analyzed using Image-J Software. Composite heating rate and thermal conductivity testing using an electric heater with a temperature of 50°C for 20 minutes. Composites with the lowest heating rate and thermal conductivity values are produced by porous composites of 0.173 mm² with 0.52°C/min and 13.086 W/m.K.

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kedua setelah Cina penyumbang sampah styrofoam terbesar dengan jumlah 3,2 juta metrik ton per tahun [1]. Karena penggunaannya yang praktis, ekonomis, ringan, dan tidak mudah bocor dapat meningkatkan jumlah penggunaan kemasan makanan berbahan styrofoam yang dapat berdampak terhadap lingkungan [2]. Sampah styrofoam kemasan makanan merupakan sampah plastik berbahaya ke-5 di dunia. Hal ini dikarenakan proses pembakaran sampah styrofoam dapat menghasilkan zat kimia yang dapat

merusak lapisan atmosfer bumi [3], [4]. Sampah styrofoam membutuhkan waktu hingga ratusan tahun untuk dapat terurai secara alami [5]. Hal ini dikarenakan styrofoam kemasan makanan merupakan material berjenis polimer termoplastik berbahan polystirene [6] yang diproduksi dengan metode ekstrusi (*Ekstruded Polystirene*) [7].

Beberapa upaya dalam pengurangan persentase sampah styrofoam dengan memanfaatkan sebagai material peredam suara [8]–[11] dan insulator panas [11]–[13]. Sifat fisik styrofoam yang kedap air, lentur/elastis, ringan [14], berdensitas

*Corresponding author: ikhwanulqiram@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.24127/armatur.v5i2.5359>

Received 24 Maret 2024; Received in revised form 03 Agustus 2024; Accepted 24 September 2024

Available online 30 September 2024

rendah [15], berpori [9], [16], tahan dan isolator terhadap suhu panas [16], [17] dapat meningkatkan kemampuannya dalam meredam panas [16]. Sifat konduktivitas termal styrofoam dalam menghantarkan panas adalah 0,025 sampai 0,035 W/m²K [18].

Pengembangan material isolator panas dilakukan dengan memanfaatkan material berbahan alami [19], [20], kombinasi antara material termoplastik dan termoset karena sifat konduktivitas termalnya yang rendah [21], dan menggunakan variasi ukuran partikel penyusunnya untuk mendapatkan sifat isolator panas yang baik karena porositas material [22]. Pada komposit isolator panas, porositas berperan penting dalam menghambat laju perpindahan panas [16]. Hal ini dikarenakan porositas dapat mempengaruhi ukuran luas permukaan bidang sentuh pada suatu material sehingga berpengaruh terhadap laju perpindahan panas [23].

Berdasarkan uraian diatas, perlu dilakukan penelitian tentang karakteristik porositas terhadap sifat termal pada komposit berbahan styrofoam.

Tinjauan Pustaka

Komposit

Komposit adalah penggabungan dari dua atau lebih material dan memiliki sifat mekanik yang berbeda sehingga setiap materialnya berfungsi sebagai penguat dan perekat [24]. Hal-hal yang dapat mempengaruhi sifat mekanis komposit adalah beban [25], waktu, dan temperatur pengepresan [26], komposisi komposit [27] ukuran partikel komposit [22] dan densitas komposit [28].

Matrik komposit yang biasa digunakan adalah berbahan keramik, logam, dan polimer. Berdasarkan penguatnya, komposit juga dibagi menjadi tiga yaitu; komposit serat (*Fiber composites*), *flake composites*, komposit partikel (*Partikulat composites*). Sedangkan berdasarkan metode pembuatannya, komposit dapat dibagi menjadi dua yaitu; metode *fraksi massa* dan metode *fraksi volume* [29].

Perpindahan panas pada material padat

Perambatan panas pada material padat dapat disebut dengan *heat transfer* dari suhu tinggi ke suhu yang lebih rendah. Perpindahan panas pada benda padat tergolong dalam perpindahan panas secara konduksi dan erat hubungannya dengan konduktivitas termal material. Konduktivitas termal material dipengaruhi oleh densitas dan porositas material [23].

Perpindahan panas secara konduksi merupakan perpindahan panas melalui zat perantara tanpa adanya partikel yang berpindah. Hal-hal yang dapat mempengaruhi laju perpindahan panas konduksi adalah; luas permukaan (A), tebal/panjang, dan beda suhu disetiap permukaan (ΔT). Konduktivitas termal (k), merupakan kemampuan zat dalam menghantarkan panas. Semakin besar nilai (k), maka perpindahan panas akan semakin cepat. Nilai (k) dipengaruhi oleh suhu (T) [30]. Semakin tinggi nilai konduktivitas termalnya maka material tersebut cenderung bersifat sebagai konduktor panas, sedangkan semakin rendah konduktivitas termalnya maka material tersebut cenderung bersifat sebagai isolator panas. Material isolator panas yang baik memiliki nilai konduktivitas termal sekitar 0,1 W/m.K [31].

Porositas material

Porositas merupakan ukuran dari ruang kosong diantara partikel material, dan merupakan fraksi dari volume ruang kosong terhadap total volume yang bernilai antara 0-1, atau sebagai persentase antara 0-100%. Porositas bergantung pada jenis bahan, distribusi pori, ukuran bahan, sementasi, riwayat diagenetik, dan komposisinya. Porositas material dapat dibedakan menjadi dua yaitu tidak teratur dan teratur. Porositas tidak teratur biasa terbentuk secara alami dengan contoh pori-pori pada pasir pantai, kapur, kayu, batu pasir, dan paru-paru manusia. Sedangkan porositas teratur biasa terbentuk oleh aktivitas manusia dengan contoh porositas pada keramik, busa logam tinggi porositas, dan bahan komposit [32].

Porositas sangat berkaitan dengan permeabilitas. Permeabilitas merupakan kemampuan suatu material dalam meloloskan fluida. Semakin tinggi porositas material, maka nilai permeabilitas juga akan semakin tinggi. Permeabilitas dapat dipengaruhi oleh ukuran, bentuk, dan hubungan antara butir suatu material [32]

Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan tahap sebagai berikut:

Prosedur pembuatan komposit

Filler komposit menggunakan partikel *styrofoam* kemasan makanan yang dipotong menjadi 5 mm². Sedangkan matrik komposit menggunakan resin epoksi yang dicampur dengan hardener untuk proses pengeringan. Komposisi resin dengan hardener adalah 1:1 yang dihitung berdasarkan persentase volume.

Proses pencetakan dilakukan pada wadah plastik dengan kapasitas volume sebesar 0,256 liter dan dimensi sebesar 16×16×1cm. Proses selanjutnya adalah menentukan densitas bahan, dimana hasil pengukuran menunjukkan bahwa densitas limbah *styrofoam* (ρ_s) sebesar 0.05 g/cm³ dan densitas resin epoksi (ρ_{re}) adalah 1,2 g/cm³.

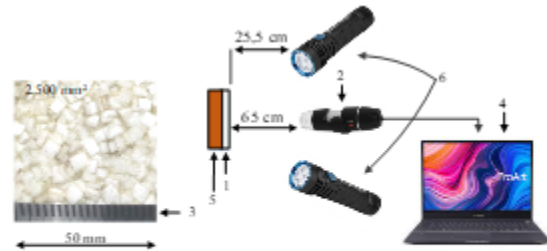
Berdasarkan parameter volume cetakan dan densitas bahan dia atas, selanjutnya dilakukan pembuatan media dengan komposisi antara partikel *styrofoam* dan resin epoksi berdasarkan fraksi volume cetakan dengan prosentase sebesar 96% : 4% ; 94% : 6% dan 91% : 9%. Setelah campuran bahan ditung pada cetakan, media dikeringkan selama 1 jam pada suhu ruang. Setelah 1 jam berlalu, campuran komposit di lepas dari cetakan kemudian dikeringkan Kembali selama 24 jam pada suhu ruang.

Variabel penelitian

Variabel bebas pada penelitian ini adalah komposisi antara partikel *styrofoam* dan resin epoksi sebesar 96% : 4% ; 94% : 6% dan 91% : 9%. Sedangkan variabel terikat dalam penelitian ini meliputi uji

karakteristik morfologi, *heating rate* dan konduktivitas termal pada komposit.

Pengujian morfologi komposit

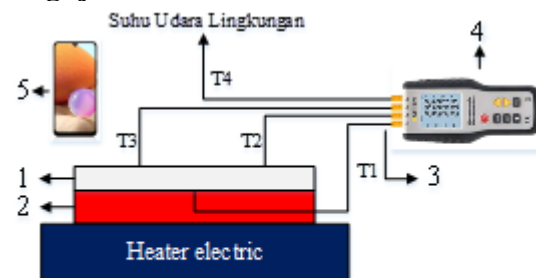


Keterangan: 1. Komposit, 2. Kamera digital, 3. Garis skala, 4. Laptop, 5. Papan kayu penyangga komposit

Gambar 1. Skema alat uji morfologi komposit

Pengambilan data morfologi komposit seperti pada gambar 1 dengan menggunakan kamera digital USB tipe 2.0 beresolusi gambar hingga 1920*1080. Luas pengambilan gambar sebesar 2.500 mm². Untuk mendapatkan kualitas gambar yang baik, digunakan dua *flashlight* pembantu untuk mempermudah pengkondisian pencahayaan dengan masing-masing intensitas cahaya sebesar 190 Lux. Proses analisis morfologi komposit menggunakan *software Image-J* tipe ij153-win-java8.

Pengujian konduktivitas termal



Keterangan: 1. Komposit, 2. Plat pemanas elektrik, 3. Termokopel tipe K (T1, T2, T3, T4), 4. Termometer, 5. Stopwatch.

Gambar 2. Skema alat penghantar panas

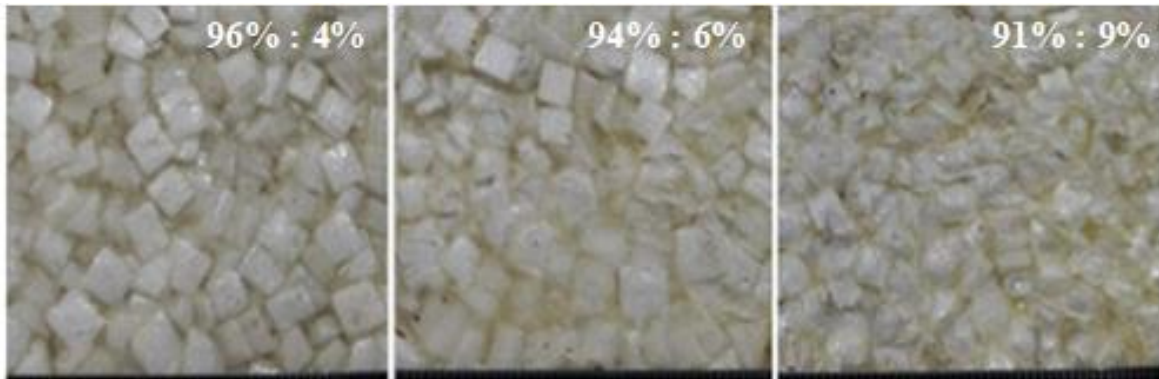
Proses pengujian *heating rate* dan konduktivitas termal dilakukan seperti pada gambar 2 dengan menggunakan pemanas elektrik yang diatur pada suhu 50° C dengan pengambilan data selama 20 menit. Untuk pengukuran suhu dilakukan menggunakan empat sensor termokopel tipe K. Sensor termokopel (1) untuk mengukur suhu plat pemanas, (2 dan 3) untuk mengukur suhu spesimen uji yang tidak diberi perlakuan panas, dan (4) untuk

mengukur suhu ruang. Pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali pada setiap variasi yang kemudian dirata-rata peningkatan temperatur per-menit.

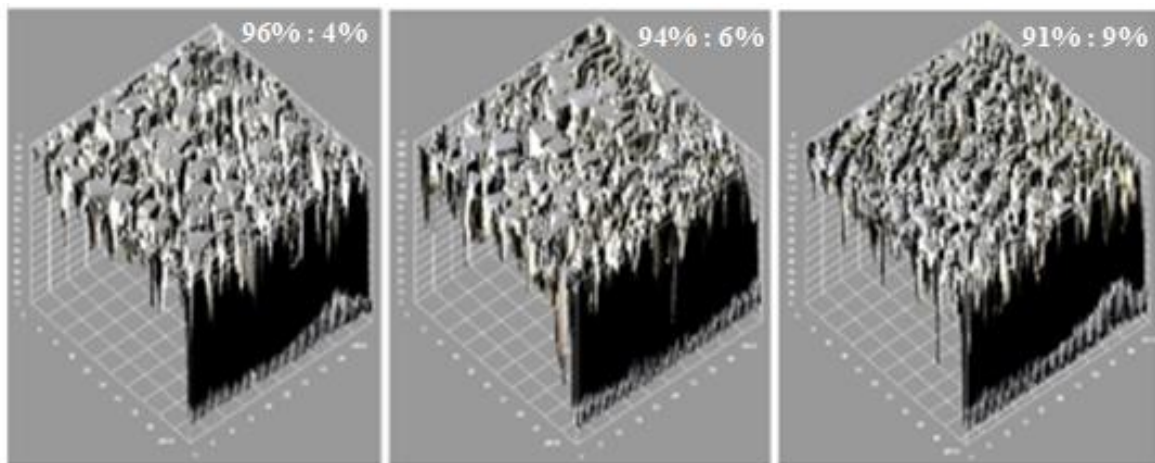
Pengambilan data dilakukan setelah temperatur pemanas sesuai dengan suhu ruang kembali.

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Pori Komposit



Gambar 3. Hasil foto menggunakan kamera digital



Gambar 4. Hasil analisis porositas komposit menggunakan *Software Image-J 3D*

Tabel 1. Hasil analisis pori

Komposisi (%)	Total area (mm ²)	Average size (mm ²)	% Area
96% : 4%	124,098	0,594	4,964
94% : 6%	82,704	0,465	3,027
91% : 9%	46,922	0,173	1,717

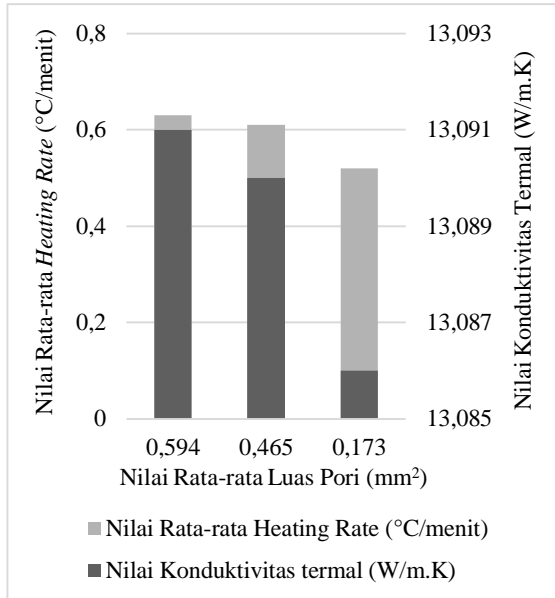
Pada tabel 1. menunjukkan semakin bertambahnya komposisi komposit, menjadikan nilai rata-rata luas pori komposit semakin kecil. Nilai rata-rata luas pori terbesar dihasilkan oleh komposit dengan komposisi 96%:4% yaitu 0,594

mm². Sedangkan nilai rata-rata luas pori terkecil dihasilkan oleh komposit dengan komposisi 91% : 9% yaitu 0,173 mm².

Porositas yang tinggi menunjukkan kerapatan bahan yang rendah dan sebaliknya. Perbedaan rata-rata ukuran pori komposit di setiap variasi komposisi disebabkan karena prosentase volume styrofoam yang digunakan juga berbeda. Semakin besar prosentase volume matrik styrofoam terhadap resin epoxy memicu celah antar partikel semakin sempit. Kondisi ini menyebabkan ruang kosong

antar pori dapat terisi secara optimal oleh resin epoxy.

Heating rate dan konduktivitas termal komposit



Gambar 5. Grafik pengaruh ukuran pori-pori terhadap nilai *heating rate* dan konduktivitas termal komposit

Pada gambar 5 menunjukkan semakin menurunnya nilai rata-rata luas pori komposit, nilai *heating rate* dan konduktivitas termal juga semakin menurun. Nilai rata-rata *heating rate* dan konduktivitas termal tertinggi dihasilkan oleh komposit dengan nilai rata-rata luas pori 0,594 mm² yaitu 0,63°C/menit dan 13,091 W/m.K. Sedangkan nilai rata-rata *heating rate* dan konduktivitas termal terendah dihasilkan oleh komposit dengan nilai rata-rata luas pori 0,173 mm² yaitu 0,52°C/menit dan 13,086 W/m.K.

Penurunan nilai rata-rata *heating rate* dan konduktivitas termal pada komposit disebabkan karena semakin kecil struktur pori-pori, perubahan ukuran dan bentuk partikel styrofoam akibat beban pengepresan dapat mempengaruhi luas kontak antara permukaan komposit dengan plat pemanas. Semakin kecil kontak langsung antara pemanas dengan permukaan komposit, dapat memperkecil rambatan energi panas di bagian

permukaan komposit sebelum dirambatkan secara keseluruhan pada komposit. Hambatan rambatan energi panas akibat struktur dan ukuran pori-pori komposit yang tidak beraturan dan mengalami perubahan bentuk akibat proses pengepresan disebabkan karena perubahan fisik partikel material dapat berpotensi dalam merubah sifat material.

Ukuran porositas material juga berpengaruh terhadap permeabilitas material. Semakin kecil ukuran pori-pori maka permeabilitas pada suatu material cenderung semakin kecil. Sehingga pada ukuran rata-rata luas pori 0,173 mm² memiliki nilai *heating rate* dan konduktivitas termal yang rendah. Permeabilitas pada material padat dapat berpotensi dalam mengakumulasi energi panas dikarenakan pada area permeabilitas energi panas dapat berinteraksi dengan partikel yang lainnya [33]. Sehingga ukuran pori-pori yang semakin kecil dapat menghambat perpindahan panas secara radiasi [16].

Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan rasio antara styrofoam dan resin epoxy berpengaruh pada porositas permukaan komposit. Semakin kecil prosentase fraksi styrofoam terhadap resin epoxy maka semakin rendah ukuran pori-pori komposit. Perbedaan porositas ini berakibat pada sifat termal yang berbeda-beda. Rata-rata *heating rate* dan konduktivitas termal tertinggi dihasilkan oleh rasio 96%:4% sebesar 0,63°C/menit dengan nilai konduktivitas sebesar 13,091 W/m.K. Sedangkan nilai rata-rata *heating rate* dan konduktivitas termal terendah dihasilkan oleh komposit dengan rasio 91%:9% sebesar 0,52°C/menit dengan nilai konduktivitas sebesar 13,086 W/m.K. Perbedaan nilai porositas pada komposit styrofoam berhubungan luas kontak permukaan komposit dengan plat pemanas yang ditandai dengan perbedaan nilai *heating rate* dan konduktivitas termal komposit styrofoam.

Daftar Pustaka

- [1] Sari, Y., & Magfirah, A. (2022). Faktor Yang Berhubungan Dengan Penggunaan Wadah Styrofoam Sebagai Kemasan Makanan Pada Penjual Jajanan Di Pasar Simpang Tiga Kecamatan Bukit Kabupaten Bener Meriah. *Serambi Sainia: Jurnal Sains dan Aplikasi*, 10(1), 50-55. [Online]. Available: <https://indok3ll.com/peraturan-menteri-kesehatan-no-472-tahun-1996/>
- [2] R. Rizal, L. M. Tua, and S. B. Ginting, (2020) "Husk as a Substitute for Styrofoam Plastic Products Manufacturing Packaging," in *Journal of Physics: Conference Series*, , vol. 1569, no. 3, pp. 1–13. doi: 10.1088/1742-6596/1569/3/032016.
- [3] Sumardiono, S., Pudjihastuti, I., Amalia, R., & Yudianto, Y. A. (2021, February). Characteristics of biodegradable foam (bio-foam) made from Cassava flour and Corn fiber. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1053, No. 1, p. 012082). IOP Publishing.
- [4] C. Irawan, Aliah, and Ardiansyah, (2018.) "Biodegradable Foam dari Bonggol Pisang dan Ubi Nagara sebagai kemasan makanan yang ramah lingkungan," *J. Ris. Ind. Has. Hutan*, vol. 10, no. 1, pp. 33–42,
- [5] E. Melyna, (2021.) "Hidrokarbon Hasil Perengkahan Sampah Polystyrene Foam," *Quim. J. Kim. Sains dan Terap.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–5,
- [6] E. Indirawati, Sukmawati, and Y. Soerachmad, (2019). "Hubungan Pengetahuan dan Sikap Penjual Makanan Online Terhadap Penggunaan Wadah Styrofoam di Wonomulyo," *J. Kesehat. Masy.*, vol. 5, no. 1, pp. 60–70, , doi: 10.35329/jkesmas.v5i1.310.
- [7] F. N. Minah, S. Astuti, and E. K. Rastini,(2017.) "Karakterisasi Material Komposit Polimer Polistyrene dan Serat Tebu," *Inst. Teknol. Nas. Malang Repos.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–6,
- [8] Febrian, S. (2020, February). Performance study between polyurethane and styrofoam as diesel engine sound insulating materials on the traditional passenger ship. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1469, No. 1, p. 012140). IOP Publishing.
- [9] Siti, H., & Zulfiana, I. S. (2018). Efektifitas Material Akustik Pengendali Kebisingan pada Ruang Genset di Pusat Perbelanjaan di Gorontalo. *JST (Jurnal Sains Terapan)*, 4(2), 116-121.
- [10] Rohman, A. S., Yulianto, A., & Nurbaiti, U. (2022). Aplikasi Styrofoam Sebagai Absorpsi Bunyi. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 1-10.
- [11] E. G. De Moraes *et al.*, (2019) "Innovative thermal and acoustic insulation foam by using recycled ceramic shell and expandable styrofoam (EPS) wastes," *Waste Manag.*, vol. 89, no. 2019, pp. 336–344, , doi: 10.1016/j.wasman.2019.04.019.
- [12] F. Flores (2020), *Thermal Insulation of Rice Hull and Waste Polystyrene Foam as a Composite Material*, no. August., pp. 1–6. doi: 10.13140/RG.2.2.21893.58082.
- [13] A. Blazejczyk, C. Jastrzebski, and M. Wierzbicki, (2020) "Change in Conductive-Radiative Heat Transfer Mechanism Forced by Graphite Microfiller in Expanded Polystyrene Thermal Insulation-Experimental and Simulated Investigations," *Materials (Basel)*., vol. 13, no. 11, pp. 1–26, , doi: 10.3390/ma13112626.

- [14] Herol, A. Pratama, and I. M. M. Putri, "Sifat Fisik Batako dengan Penambahan Limbah Styrofoam," *Pros. Sains dan Teknol.*, vol. 1, no. 1, pp. 43–47, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.pelitabangsa.ac.id/index.php/SAINTEK/article/view/1098>
- [15] W. Z. Manthining, F. Sarie, and O. Hendri, "Pengaruh Penambahan Kapur, Abu Terbang (Fly Ash), dan Styrofoam Terhadap Nilai Kepadatan dan CBR Tanah Gambut," *J. TRANSUKMA*, vol. 04, no. 1, pp. 69–75, 2022.
- [16] M. Aksit, C. Xhao, B. Klose, K. Kreger, H.-W. Schmidt, and V. Altstadt, "Extruded Polystyrene Foams with Enhanced Insulation and Mechanical Properties by a Benzene-Trisamide-Based Additive," *Polymers (Basel)*, vol. 11, no. 2, pp. 1–10, 2019, doi: 10.3390/polym11020268.
- [17] A. Zikri, Zurohaina, and D. Anggareni, "Pemanfaatan Lensa Fresnel Sebagai Kolektor Panas Surya Dengan Menggunakan Mesin Stirling," *J. Kinet.*, no. November 2017, pp. 8–15, 2017.
- [18] M. Syukur and E. Kusumawati, "Sintesis dan Karakterisasi Foamy Geopolymer Berbahan Dasar Abu Layang Batubara," *Indones. J. Chem. Sci.*, vol. 7, no. 1, pp. 83–90, 2015.
- [19] L. K. Mangalla and B. Sudia, "Studi Material Isolator Panas Berbahan Dasar Serat Ijuk," *Pist. J. Teknol.*, vol. 6, no. 2, pp. 1–5, 2021, doi: <https://doi.org/10.55679/pistonjt.v6i2.31>.
- [20] Yulian Hanif and Agus Riyanto, "Studi Eksperimental Sekam Padi sebagai Zat Campuran pada Komposit Termoplastik untuk Meningkatkan Sifat Isolator," *J. Asimetri J. Ilm. Rekayasa Inov.*, vol. 4, no. 2, pp. 117–124, 2022, doi: 10.35814/asiimetri.v4i1.3382.
- [21] P. He, H. Ruan, C. Wang, and H. Lu, "Mechanical Properties and Thermal Conductivity of Thermal Insulation Board Containing Recycled Thermosetting Polyurethane and Thermoplastic," *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 24, p. 4411, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/polym13244411>.
- [22] N. Pratama, D. Djamas, and Y. Darvina, "Pengaruh Variasi Ukuran Partikel Terhadap Nilai Konduktivitas Termal Papan Partikel Tongkol Jagung," *Pillar Phys.*, vol. 7, no. April, pp. 25–32, 2016, doi: <http://dx.doi.org/10.24036/2044171074>.
- [23] M. I. Alim, D. Mardiana, A. D. A, and D. Anggoro, "Uji Konduktivitas Material Non Logam," *J. Ilm.*, no. Januari, pp. 1–4, 2017.
- [24] M. Syaukani, F. Paundra, F. Qalbina, I. D. Arirohman, P. Yunesti, and S. Sabar, "Desain dan Analisis Mesin Press Komposit Kapasitas 20 Ton," *J. Sci. Technol. Vis. Cult.*, vol. 1, no. 1, pp. 29–34, 2021.
- [25] R. Waluyo, A. R. Ahmad, and A. Nurrachmad, "Pengaruh Tekanan Pengepressan Terhadap Sifat Mekanis Wood Plastic Composite (WPC) Campuran Recycle HDPE dan Serbuk Gergaji Kayu," *Prosiding. Has. Penelit. Dosen Univ. IBN Khaldun Bogor*, pp. 98–106, 2020.
- [26] H. R. Fao, J. U. Jasron, W. Bunganaen, and K. Boimau, "Pengaruh Perlakuan Temperatur

- terhadap Sifat Mekanik Komposit Hibrid Polyester Berpenguat Serat Buah Lontar dan Serat Kaca,” *Univ. nusa cendana*, vol. 03, no. 01, pp. 27–36, 2016.
- [27] W. Hidanto and M. Mora, “Analisis Pengaruh Komposisi Serbuk terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Papan Partikel Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit, Serbuk Kayu dan Tempurung Kelapa,” *J. Fis. Unand*, vol. 8, no. 2, pp. 106–112, 2019, doi: 10.25077/jfu.8.2.106-112.2019.
- [28] D. P. Putra, S. T. Wicaksono, A. Rasyida, and R. Bayuaji, “Studi Pengaruh Penambahan Binder Thermoplastic LDPE dan PET Terhadap Sifat Mekanik Komposit Partikulat untuk Aplikasi Material Bangunan,” *J. Tek. ITS*, vol. 7, no. 1, pp. 26–31, 2018, doi: 10.12962/j23373539.v7i1.28337.
- [29] M. Yani and F. Lubis, “Pembuatan Dan Penyelidikan Perilaku Mekanik Komposit Diperkuat Serat Limbah Plastik akibat Beban Lendutan,” *Tek. Mesin ITM*, vol. 4, no. 2, pp. 77–84, 2018, [Online]. Available: <http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1279382&val=17049&title=PEMBUATAN DAN PENYELIDIKAN PERILAKU MEKANIK KOMPOSIT DIPERKUAT SERAT LIMBAH PLASTIK AKIBAT BEBAN LENDUTAN>
- [30] L. Hakim, “Analisa Teoritis Laju Aliran Kalor pada Ketel Uap Pipa Api Mini Industri Tahu Ditinjau dari Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh,” *Surya Tek.*, vol. 1, no. 4, pp. 49–54, 2016.
- [31] R. A. Setiawan, D. D. Laksana, and H. Sutjahjono, “Konduktivitas Termal Komposit Dengan Matrik Polyester Eterset 2504 Apt,” *J. ROTOR*, vol. 9, no. April, pp. 55–59, 2016.
- [32] J. W. Gulo, “Investigasi Solusi Analitis Unsteady Free Convection pada Media Berpori,” Institute Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2016.
- [33] A. Sugianto, I. Takodama, and T. Rahadinata, “Identifikasi Struktur Sistem Panas Bumi Pantar Berdasarkan Analisis Gradien Horizontal Dan Pemodelan 3D Data Gaya Berat,” *Bul. Sumber Daya Geol.*, vol. 12, no. 2, pp. 135–143, 2017.