

Studi Literatur: Evaluasi Sifat Mekanik dan Termal Komposit Berbasis Poliester Dengan Penguat Serat Alam dan Pengisi Anorganik

M Lord Yoshikawa Prasojo^{1*}, Nathania Levinawati Prasojo¹, Tamara Eka Lestari², Ummu Habibah³, Vera Pangni Fahrani⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang
Jl. HS.Ronggo Waluyo, Puseurjaya, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat 41361.

Email: 2110631230041@student.unsika.ac.id^{1*}, 2310631230043@student.unsika.ac.id¹,
2310631230049@student.unsika.ac.id², 2310631230063@student.unsika.ac.id³,
vera.pangni@ft.unsika.ac.id⁴

*Corresponding Email

Abstrak

Komposit berbasis poliester merupakan material rekayasa yang banyak digunakan dalam industri manufaktur karena efisiensi biaya dan kemudahan fabrikasinya. Namun, sifat getas pada poliester mendorong perlunya penambahan penguat untuk meningkatkan performa mekanisnya. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh penggunaan serat alam dan pengisi anorganik terhadap sifat mekanik dan termal komposit berbasis poliester melalui studi literatur sistematis. Data dikumpulkan dari sembilan penelitian eksperimental terpilih yang mencakup berbagai jenis serat alam seperti serat jagung, nanas, sabut kelapa, kenaf, jute, dan sisal, serta pengisi anorganik seperti kaolin, pumice powder, dan nanofiller. Analisis dilakukan terhadap parameter kekuatan tarik, kekuatan lentur, ketahanan impak, serta stabilitas dan konduktivitas termal dengan mempertimbangkan variabel komposisi, metode fabrikasi, dan perlakuan permukaan serat. Hasil kajian menunjukkan bahwa setiap jenis serat dan pengisi memiliki titik komposisi optimum yang menghasilkan performa terbaik, perlakuan permukaan serat berpengaruh terhadap kualitas ikatan antarmuka, dan pengisi anorganik berkontribusi signifikan terhadap peningkatan sifat termal komposit.

Kata kunci: komposit poliester, pengisi anorganik, serat alam, sifat mekanik, sifat termal.

Abstract

Polyester-based composites are widely used engineering materials in manufacturing industries because of their cost-effectiveness and ease of fabrication. However, the inherent brittleness of polyester necessitates the incorporation of reinforcement materials to improve its mechanical performance. This study aimed to evaluate the effects of natural fibers and inorganic fillers on the mechanical and thermal properties of polyester-based composites through a systematic literature review. Data were collected from nine selected experimental studies covering various natural fibers, including corn, pineapple, coconut coir, kenaf, jute, and sisal fibers, as well as inorganic fillers such as kaolin, pumice powder, and nanofillers. The analysis focused on tensile strength, flexural strength, impact resistance, thermal stability, and thermal conductivity while considering variations in composition, fabrication methods, and fiber surface treatments. The findings indicate that each type of fiber and filler has an optimum composition at which the best performance is achieved. Fiber surface treatment substantially influences the quality of interfacial bonding between the reinforcement and polyester matrix, whereas inorganic fillers contribute significantly to improving the thermal properties of the resulting composites. Overall, the appropriate selection of reinforcement type, composition, and surface treatment is essential for optimizing the performance of polyester-based composite materials.

Keywords: polyester composites; inorganic fillers; natural fibers; mechanical properties; thermal properties

1. PENDAHULUAN

Teknologi material maju saat ini sangat bergantung pada pengembangan struktur komposit, yakni sebuah sistem material hasil rekayasa yang memadukan dua atau lebih konstituen fase berbeda guna menciptakan sinergi properti yang tidak dimiliki oleh masing-masing komponen murninya. Dalam ranah

teknik kimia dan industri manufaktur, resin poliester menempati posisi krusial sebagai matriks utama. Popularitasnya didorong oleh efisiensi biaya produksi, kemudahan dalam fabrikasi, serta karakteristik inert terhadap berbagai zat kimia korosif (Muhammad dan Putra, 2017).

(Prasojo dkk.)

Secara struktural, poliester merupakan polimer termoset yang mengandalkan ikatan silang (*cross-linking*) untuk mempertahankan rigiditas dan stabilitas geometri yang presisi. Kendati demikian, kerentanan terhadap patah getas (*brittle*) menjadi tantangan utama, sehingga integrasi agen penguat (*reinforcement*) menjadi mutlak diperlukan guna mengoptimalkan performa mekanisnya (Manurung dkk., 2015).

Tren riset saat ini mulai beralih pada pemanfaatan serat lignoselulosa atau serat alam seperti serat pandan duri, palem saray, hingga sabut kelapa sebagai alternatif penguat yang berkelanjutan. Selain aspek ekonomis dan ketersediaannya yang masif, material organik ini menawarkan densitas rendah serta kemampuan degradasi alami. Guna melengkapi fungsionalitasnya pada kondisi ekstrem, penambahan *filler* anorganik layaknya serat keramik sering diaplikasikan untuk mendongkrak ketahanan termal serta mengatur konduktivitas panas material (Ageng dkk., 2021).

Salah satu contoh nyata adalah penggunaan nanopartikel seng oksida (ZnO) dalam matriks poliester tak jenuh. Putra Ginting dan Maulida (2019), menunjukkan bahwa penambahan ZnO pada komposisi optimal 3% (b/b) mampu meningkatkan kekuatan tarik hingga 55,12 MPa, didukung oleh sifat ZnO yang terjangkau, stabil, dan tidak beracun. Namun, penambahan berlebih justru memicu aglomerasi dan menurunkan kekuatan, menegaskan bahwa pemilihan jenis, komposisi, dan parameter proses pengisian anorganik merupakan aspek kritis yang perlu dikaji melalui studi literatur sistematis.

2. METODOLOGI

Metodologi yang diterapkan dalam kajian ini berbasis pada studi literatur sistematis dengan mengevaluasi beragam temuan terkini mengenai teknologi komposit poliester. Langkah awal dimulai dengan mengkurasi literatur hasil eksperimen laboratorium untuk mendapatkan data primer yang akurat. Data tersebut kemudian dipilah menurut jenis *reinforcement* yang digunakan, guna melihat bagaimana variasi serat memengaruhi karakteristik material. Analisis dilakukan secara multidimensi, di mana sifat

mekanis seperti kekuatan tarik, lentur, dan dampak dibedah secara mendetail.

Inti dari analisis ini terletak pada evaluasi komprehensif terhadap parameter mekanis, yang mencakup kekuatan tarik (*tensile*), ketahanan lentur (*flexural*), serta energi serap dampak. Selain aspek mekanis, profil termal material seperti konduktivitas dan stabilitas panas juga menjadi fokus penelaahan. Seluruh data yang diperoleh kemudian disintesis melalui teknik perbandingan antar-studi guna memetakan korelasi antara variabel penyusun dengan performa akhir material komposit yang dihasilkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Teori Komposit Poliester

Material komposit pada dasarnya merupakan gabungan dari dua komponen utama, yaitu matriks dan penguat, yang bekerja secara sinergis untuk menghasilkan sifat yang lebih baik dibandingkan dengan masing-masing material penyusunnya. Pada komposit berbasis poliester, resin poliester berperan sebagai matriks yang mengikat seluruh komponen serta mendistribusikan beban ke serat penguat. Sementara itu, serat berfungsi sebagai elemen utama yang menahan tegangan mekanik.

Poliester termasuk dalam kelompok polimer termoset yang memiliki struktur ikatan silang permanen setelah proses curing. Struktur ini memberikan kekakuan dan kestabilan dimensi yang baik, tetapi di sisi lain menyebabkan material cenderung getas. Oleh karena itu, penambahan penguat menjadi penting untuk meningkatkan ketahanan terhadap beban mekanik. Kinerja komposit tidak hanya ditentukan oleh jenis material, tetapi juga oleh beberapa faktor lain seperti distribusi serat, orientasi serat, serta kualitas ikatan antara matriks dan penguat. Ikatan antarmuka yang baik akan memungkinkan transfer tegangan berlangsung secara efektif sehingga meningkatkan kekuatan material secara keseluruhan (Muhammad dan Putra, 2017).

3.2 Karakteristik Serat Alam sebagai Penguat Komposit

Serat alam tersusun dari komponen utama berupa selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Kandungan selulosa yang tinggi umumnya berkorelasi dengan kekuatan tarik yang baik,

sehingga menjadikan serat alam sebagai kandidat potensial untuk penguat komposit. Namun demikian, serat alam memiliki karakteristik hidrofilik, yaitu mudah menyerap air, sedangkan matriks poliester bersifat hidrofobik. Perbedaan sifat ini sering menimbulkan permasalahan pada daerah antarmuka, di mana adhesi antara serat dan matriks menjadi kurang optimal (Arsyad dkk., 2022).

Untuk meningkatkan kompatibilitas tersebut, biasanya dilakukan perlakuan kimia seperti alkalisasi menggunakan larutan NaOH. Perlakuan ini mampu menghilangkan lapisan lignin, minyak, dan kotoran pada permukaan serat sehingga permukaan menjadi lebih kasar. Kondisi ini akan meningkatkan mekanisme interlocking antara serat dan matriks, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan komposit.

3.3 Pengaruh Fraksi Serat terhadap Sifat Mekanik

Berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan fraksi serat alam secara umum berkontribusi terhadap peningkatan sifat mekanik, terutama kekuatan tarik dan lentur. Namun, peningkatan tersebut hanya terjadi hingga titik optimum, setelah itu, terjadi penurunan akibat distribusi serat yang tidak merata dan terbentuknya porositas. Selain itu, perlakuan kimia seperti alkalisasi terbukti mampu meningkatkan kualitas ikatan antara serat dan matriks sehingga menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi. Di sisi lain, penambahan pengisi anorganik seperti serat keramik memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan sifat termal, terutama ketahanan terhadap suhu tinggi dan konduktivitas panas.

Tabel 1. Perbandingan Hasil Penelitian Komposit Poliester

Jenis Serat/ Filler	Komposisi	Metode	Sifat yang Diuji
Serat Pandan Duri	40 sampai 60% Serat	<i>Hand lay-up</i>	Tarik
Serat Palem Seray	Variasi fraksi serat	<i>Hand lay-up</i>	Lentur, <i>impact</i>
Serat Sabut Kelapa	10%, 15%, 20%	<i>Hand lay-up</i>	Lentur
Serat Sabut Kelapa + NaOH	5% dan 10% perlakuan	<i>Hand lay-up</i>	Lentur
Serat Keramik (Filler)	Komposit sandwich	Laminasi	<i>Impact</i> , termal

Komposit <i>Hybrid</i> (Serat Alam + Filler)	Kombinasi	Variatif	Mekanik dan termal
--	-----------	----------	--------------------------

Serat pandan duri sebagai penguat dengan variasi fraksi dalam matriks poliester menggunakan metode *hand lay-up*. Pengujian yang dilakukan adalah uji tarik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan fraksi serat hingga komposisi tertentu mampu meningkatkan kekuatan tarik komposit. Hal ini disebabkan oleh serat yang berfungsi sebagai elemen utama menahan beban tarik. Namun, peningkatan ini hanya terjadi sampai batas optimum, setelah itu kekuatan cenderung menurun akibat distribusi serat yang tidak merata (Muhammad dan Putra, 2017).

Komposit dengan serat palem saray menunjukkan bahwa peningkatan kandungan serat memberikan pengaruh positif terhadap kekuatan lentur dan ketahanan terhadap beban tumbukan (*impact*). Fenomena ini terjadi karena serat mampu menyerap energi saat terjadi pembebanan dinamis, sehingga mampu memperlambat propagasi retak pada material komposit (Manurung dkk., 2015). Pada penelitian komposit serat sabut kelapa dengan variasi komposisi 10%, 15%, dan 20%, diperoleh bahwa kekuatan lentur tertinggi terjadi pada komposisi 20%, yaitu sekitar 41×10^6 N/m². Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah serat meningkatkan kemampuan komposit dalam menahan beban lentur. Namun, apabila jumlah serat terlalu tinggi, kekuatan dapat menurun akibat kurangnya matriks untuk mengikat serat secara optimal (Arsyad dkk., 2022).

Perlakuan kimia menggunakan NaOH pada serat sabut kelapa terbukti meningkatkan kekuatan mekanik komposit. Proses alkalisasi mampu menghilangkan lignin dan kotoran pada permukaan serat, sehingga meningkatkan kekasaran permukaan dan memperbaiki adhesi antara serat dan matriks. Dengan demikian, transfer tegangan menjadi lebih efektif (Arsyad dkk., 2022). Penambahan pengisi anorganik seperti serat keramik dalam komposit sandwich menunjukkan peningkatan sifat termal dan ketahanan terhadap suhu tinggi. Selain itu, nilai kekuatan *impact* juga meningkat. Hal ini disebabkan oleh sifat dasar material keramik yang memiliki stabilitas termal tinggi serta mampu mempertahankan struktur pada kondisi suhu ekstrem (Ageng dkk., 2021).

Tabel 2. Identitas Literatur, Jenis Serat, dan Pengisi Anorganik

Penulis	Tahun	Jenis Serat Alam	Pengisi Anorganik	Jenis Poliester
Sari et al.	2022	Corn Husk Fiber (CHF)	Pumice Powder (SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃)	UPR
Nurunnabi et al.	2024	Pineapple Leaf Fibre (PALF)	Graphitic Carbon Nitride (g-C ₃ N ₄)	UPR
Yaro et al.	2021	Luffa cylindrica Fiber (LCF)	Kaolin particulate (KF)	UPR
Trivedi et al.	2024	Bagasse (serat ampas tebu)	Eggshell (CaCO ₃) + E-glass fiber	UPR
Sari et al.	2022	Cornhusk Fiber (CHF)	Pumice powder (SiO ₂)	Polyester resin
Mustapha et al.	2023	Kenaf Core Fiber (KCF)	CNC + Graphene Nanoplatelet (GNP)	UPE
Mohit et al.	2023	Nanas, sabut kelapa, eceng gondok, jute, flax	MWCNT + TiC + Boron Nitride (BN)	UV-resistant polyester
Kumar	2020	Sisal + Jute + Sorghum bicolor	(tanpa pengisi anorganik)	UPR (Denverpoly 754)
Praveena et al.	2022	Jute fiber + E-glass fiber	Cloisite 20 Nanoclay (MMT)	Polyester + hardener

Tabel 3. Komposisi dan Metode Fabrikasi

Perlakuan Permukaan	Fraksi Serat	Fraksi Pengisi	Metode Fabrikasi	Komposisi Optimal
Water retting 10 hari	CHF:SBA = 5–30%	SBA: 5–30%	Compression molding	5% CHF + 30% SBA
Tidak disebutkan	6 wt% PALF	0–1,0 wt% g- C ₃ N ₄	Hand lay-up	0,75 wt% g- C ₃ N ₄
NaOH 5%	0, 5, 10, 15 wt% LCF	Kaolin konstan 6 wt%	Hand lay-up	5 wt% LCF + 6 wt% KF (tarik) 15 wt% LCF + 6 wt% KF (lentur)
NaOH 24 jam	E-glass: ±7,4 wt%	Eggshell+bagasse: 3–12 wt%	Hand lay-up	6 wt% filler
Perendaman 10 hari	CHF konstan ±30%	PP: 0–30 wt%	Hot press (105°C, 5 MPa)	15–20% Pumice Powder
Tidak disebutkan	Tidak disebutkan	Total nanofiller 3 wt% (kombinasi CNC+GNP)	Hand lay-up + Hot compression	UKC1G2 (1%CNC+2%GNP) Tmax tertinggi ~387,8°C
Tidak disebutkan	0,75–3 wt%	MWCNT, TiC, BN: 0,75–3 wt%	Wet lay-up + Sonikasi + Vakum	BfWTMPR: Tensile & interlaminar tertinggi
Tidak disebutkan	Variasi wt%: sisal/jute/sorghum (total 5 layer)	Tidak disebutkan	Hand lay-up	Komposit D: 40% sisal / 40% jute / 20% sorghum
UV treatment (terindikasi)	Jute: 10–20 wt%	Nanoclay: 2–6 wt%	Hand lay-up (sandwich glass/jute/glass)	S8: 20% jute + 20% glass + 2% nanoclay
	E-glass: 10–30 wt%			

Tabel 4. Sifat Mekanik Komposit Poliester dari Literatur

Kekuatan Tarik (MPa)	Modulus Young (GPa)	Kekuatan Lentur (MPa)	Kekuatan Impak (kJ/m ²)	Kekerasan	SEM (Y/N)
18,61 MPa (5% CHF : 30% SBA)	3,23–3,39	36,12	16,89 (10% CHF:25% SBA)	—	Y
33,88 MPa (optimum 0,75 wt%)	—	Menurun dgn filler	Menurun dgn filler	—	Y
Mono: 12,11–9,17	—	Maks 101,25	0,15–0,5 J/m	79,37 HVN	N
Hybrid: 15,32–11,46	—	38,24 sampai 58,50 (maks 6%)	0,29 sampai 0,113 J/mm (menurun)	13–17 BHU	N
43,78 sampai 47,56 (maks 6%)	—	—	16,18 kJ/m ² (PP ~20%)	—	Y
Maks ±19,89 (PP 15%)	Maks ~42 MPa (PP 20%)	—	—	—	Y
Tidak disebutkan	Tidak disebutkan	Tidak disebutkan	Tidak disebutkan	Tidak disebutkan	N
Maks 213,91 (BfWTMPR)	Maks 5367,4 MPa (BfTMPR)	Maks 601,13 (BfWTMPR)	Maks ~8,04 (IITCaPPR)	41,53–68,33 Shore D	Y
Maks 241,2 (Komposit D)	Maks 8,2 (Komposit D)	Maks 96,8 (Komposit D)	Maks 26,3 J/m ² (Komposit F)	86,3 Shore D (Komposit F)	Y
69,7 (S8)	3816,43 MPa (S8)	Strength: 90,22 (S9) Modulus: 275,15 MPa	178,62 J/m ² (S8)	Tidak disebutkan	Y

Pada komposit hybrid, kombinasi antara serat alam dan filler anorganik menghasilkan peningkatan sifat mekanik sekaligus sifat termal. Serat alam berperan dalam meningkatkan kekuatan mekanik, sedangkan filler anorganik meningkatkan ketahanan terhadap suhu tinggi. Kombinasi ini menghasilkan material dengan performa yang lebih seimbang dan optimal (Muhammad dan Putra, 2017).

Selain itu, perlakuan kimia seperti alkalisasi terbukti mampu meningkatkan kualitas ikatan antara serat dan matriks sehingga menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi. Di sisi lain, penambahan pengisi anorganik seperti serat keramik memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan sifat termal, terutama ketahanan terhadap suhu tinggi dan konduktivitas panas. Kombinasi antara serat alam dan filler anorganik menghasilkan komposit hibrida yang memiliki keseimbangan antara sifat mekanik dan termal, sehingga lebih potensial untuk aplikasi industri yang membutuhkan kedua karakteristik tersebut secara bersamaan.

3.4 Matriks Literatur Review

Berikut ini disajikan matriks literatur komprehensif yang merangkum data dari 9 studi eksperimental terpilih mengenai komposit poliester dengan serat alam dan pengisi anorganik. Data mencakup identitas publikasi, jenis material, komposisi, metode fabrikasi, sifat mekanik, sifat termal, dan temuan utama.

3.5 Analisis dan Sintesis Lintas Studi

Berdasarkan matriks literatur di atas, teridentifikasi beberapa pola konsisten. Pertama, mayoritas studi (7 dari 9) menggunakan metode *hand lay-up* sebagai teknik fabrikasi, yang menandakan kepraktisan dan aksesibilitasnya di level laboratorium. Kedua, semua studi mengonfirmasi adanya titik optimum fraksi serat/pengisi — penambahan berlebih justru menurunkan performa akibat aglomerasi, *void*, dan lemahnya ikatan antarmuka.

Studi Mohit et al. (2023) dan Kumar (2020) mencatat kekuatan tarik tertinggi masing-masing 213,91 MPa dan 241,2 MPa, jauh melampaui studi lain. Hal ini disebabkan oleh kombinasi serat berkekuatan tinggi (sisal, jute, dan serat karbon) serta optimasi orientasi serat. Sebaliknya, studi yang berfokus pada pengisi anorganik tunggal (seperti pumice atau kaolin) cenderung menghasilkan kekuatan tarik yang lebih rendah namun memberikan kontribusi signifikan pada sifat termal.

Dari aspek termal, studi Mustapha et al. (2023) menonjol dengan T_{max} tertinggi 387,8°C menggunakan kombinasi *hybrid nanofiller* CNC dan GNP. Efek sinergis kedua nanofiller ini menghasilkan ketahanan termal yang jauh melebihi pengisi tunggal, membuka peluang aplikasi pada komponen yang terpapar suhu tinggi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan studi literatur terhadap sembilan penelitian eksperimental, komposit berbasis poliester dengan penguat serat alam dan pengisi anorganik menunjukkan bahwa peningkatan fraksi serat mampu meningkatkan sifat mekanik hingga titik komposisi optimum, setelah itu, performa menurun akibat distribusi tidak merata dan lemahnya ikatan antarmuka. Perlakuan alkalisasi NaOH terbukti memperbaiki adhesi serat-matriks sehingga transfer tegangan lebih efektif, sementara pengisi anorganik seperti serat keramik, kaolin, dan nanofiller berkontribusi signifikan terhadap peningkatan ketahanan termal, dengan kombinasi hibrida CNC dan GNP menghasilkan temperatur degradasi tertinggi hingga 387,8 °C. Secara keseluruhan, pendekatan komposit hybrid yang memadukan serat alam dan pengisi anorganik menghasilkan keseimbangan sifat mekanik dan termal yang paling optimal, menjadikannya kandidat material yang potensial untuk aplikasi industri yang menuntut performa tinggi secara bersamaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ageng, K.S., Putra, I.R., and Sehonu, (2021), Pengembangan Material Komposit Tahan Panas dengan Menggunakan Metode 3D Printing dan Hand Lay Up, *Warta Ardhia: Jurnal Perhubungan Udara*, 47(1).
- Arsyad, M., Kondo, Y., Arman, Saparuddin, M.R., and Saparuddin, M., (2022), Analisa Pengaruh Komposisi Serat Sabut Kelapa Terhadap Kekuatan Lentur Komposit Serat Sabut Kelapa, *Prosiding 6th Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat 2022*, Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Arsyad, M., Kondo, Y., Arman, Saparuddin, M.R., and Saparuddin, M., (2022), Analisa Pengaruh Komposisi Serat Sabut Kelapa Terhadap Kekuatan Lentur Komposit Serat Sabut Kelapa, *Prosiding 6th Seminar Nasional Penelitian &*

(Prasojo dkk.)

-
- Pengabdian Kepada Masyarakat 2022, Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Mohit, H., Sanjay, M.R., Srisuk, R., Siengchin, S., Althomali, R.H., Alzahrani, K.A., Asiri, A.M., and Khan, A., (2023), Effect of MWCNT/ Al₂O₃/boron nitride fillers based natural/carbon/innegra fabrics/SS-WM/iron-WM reinforced UV resistant polyester composites, *Materials Chemistry and Physics*, 10.1016/j.matchemphys.2023.128383.
- Muhammad, and Putra, R., (2017), Uji Mekanik Komposit Berpenguat Serat Pandan Duri dan Resin Polyester Dengan Variasi Komposisi Metoda Fraksi Berat, *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 6(2), 63-72.
- Mustapha, N.I., Mohamed, M., Abu Bakar, M.B., and Sobri, S.A., (2023), Thermal Properties of Unsaturated Polyester Reinforced Kenaf Core Fiber with Hybrid Nanofillers of Cellulose Nanocrystal and Graphene Nanoplatelet, *BJOST*, <http://doi.org/10.35370/bjost.2023.5.1-09>.
- Nurunnabi, Md., Belal, S.A., Uddin, B., and Khan, R.A., (2024), Influence of Graphitic Carbon Nitride (g-C₃N₄) on Mechanical and Thermal Properties of Pineapple Leaf Fibre Reinforced Polyester Resin Composites, 10.31881/TLR.2024.001.
- Putra Ginting, R.A., dan Maulida, (2019), Pengaruh Komposisi Pengisi serta Tekanan Hot Press terhadap Kekuatan Tarik Komposit Poliester Berpengisi Nano Partikel Zinc Oxide (ZnO), *Jurnal Teknik Kimia USU*, Vol. 8, No. 1, hal. 32–36.
- Praveena, B.A., Santhosh, N., Archana, D.P., Buradi, A., Raj, E.F.I., Chanakyan, C., Elfasakhany, A., and Basheer, D., (2022), Influence of Nanoclay Filler Material on the Tensile, Flexural, Impact, and Morphological Characteristics of Jute/E-Glass Fiber-Reinforced Polyester-Based Hybrid Composites, 10.1155/2022/1653449.
- Sari, N.H., Setyawan, P.Y., Thiagamani, S.M.K., Suteja, S., Tamimi, N.L., Rangappa, S.M., and Siengchin, S., (2022), Evaluation of mechanical, thermal and morphological properties of corn husk modified pumice powder reinforced polyester composites, *Polymer Composites*, 10.1002/pc.26495.
- Sari, N.H., Suteja, Lokantara, I.P., and Wibowo, T.G., (2022), Influence of Pumice Particles on the Mechanical and Morphology Properties of Polyester-Cornhusk Fiber Composites, *JFPC*, 10.55043/jfpc.v1i2.54.
- Sathees Kumar, S., (2020), Effect of Natural Fiber Loading on Mechanical Properties and Thermal Characteristics of Hybrid Polyester Composites for Industrial and Construction Fields, *Fibers and Polymers*, 10.1007/s12221-020-9853-4.
- Trivedi, D.N., Munezero, F., and Rachchh, N., (2024), Mechanical Characterization of Hybrid Bagasse/Eggshell/E-glass Fiber-based Polyester Composite, *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 10.3311/PPme.22963.
- Yaro, A., Kuburi, L., and Moshood, M.A., (2021), Influence of Kaolin particulate and Luffa cylindrica fiber on the mechanical properties polyester matrix, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 10.1007/s00170-021-07442-3.