

The Effect of Mixing Composition of Coffee and Tea Waste on Tensile Strength

[Pengaruh Komposisi Pencampuran Limbah Kopi Dan Teh Untuk Pemanfaatan Limbah Terhadap Kekuatan Uji Tarik]

Muhammad Aziz Ardhani¹⁾, Ali Akbar ^{*,2)}

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: aliakbar@umsida.ac.id

Abstract. *The increasing amount of organic waste from coffee and tea consumption creates environmental issues while also offering an opportunity to be utilized as reinforcement in biocomposites. Coffee and tea waste contain natural fibers that can function as fillers; however, differences in particle size affect mechanical performance. This study analyzes the effect of varying compositions of coffee waste (coarse fiber) and tea waste (fine fiber as a void filler) on the tensile properties of biocomposites. Four compositions were tested: 70:30, 50:50, 100% coffee, and 100% tea. Specimens were fabricated using hand lay-up and compression molding, then tensile-tested according to ASTM D3039. Stress-strain curves were used to obtain yield strength and ultimate tensile strength (UTS). The results show that the 50% coffee:50% tea composition provides the best performance (UTS $\approx$ 28 MPa and the highest fracture strain). This balanced combination produces a denser structure and more uniform stress distribution, and is therefore recommended for non-structural biocomposite applications.*

Keywords - coffee waste, tea waste, polymer composite, tensile strength, biocomposite.

Abstrak. *Peningkatan limbah organik dari konsumsi kopi dan teh memicu masalah lingkungan sekaligus peluang pemanfaatan sebagai penguat biokomposit. Limbah kopi dan teh mengandung serat alami yang dapat berfungsi sebagai filler, namun perbedaan ukuran partikel memengaruhi performa mekanik. Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi komposisi limbah kopi (serat kasar/coarse fiber) dan teh (serat halus/fine fiber sebagai void filler) terhadap sifat tarik biokomposit. Empat komposisi diuji: 70:30, 50:50, 100% kopi, dan 100% teh. Spesimen dibuat dengan hand lay-up dan compression molding, lalu diuji tarik sesuai ASTM D3039. Kurva tegangan-regangan digunakan untuk memperoleh yield strength dan UTS. Hasil menunjukkan komposisi 50% kopi:50% teh memberikan performa terbaik (UTS $\pm$ 28 MPa dan regangan putus terbesar). Kombinasi seimbang menghasilkan struktur lebih padat dan distribusi tegangan lebih merata, sehingga direkomendasikan untuk biokomposit non-struktural.*

Kata Kunci - limbah kopi, limbah teh, komposit polimer, kekuatan tarik, biokomposit.

I. PENDAHULUAN

Dalam menghadapi tantangan global terkait isu lingkungan dan keberlanjutan, pemanfaatan limbah organik sebagai bahan baku alternatif telah menjadi fokus penting dalam pengembangan material baru yang ramah lingkungan[1]. Salah satu jenis limbah organik yang sangat melimpah namun belum dimanfaatkan secara optimal adalah ampas kopi dan teh[2]. Limbah ini biasanya hanya dibuang atau dimanfaatkan sebagai kompos dalam skala kecil, padahal mengandung komponen serat alami seperti selulosa, hemiselulosa, lignin, dan polifenol yang memiliki potensi sebagai bahan penguat dalam pembuatan material komposit berbasis polimer[3]. Melalui pendekatan yang tepat, ampas kopi dan teh dapat diolah menjadi produk material baru yang tidak hanya memiliki kekuatan mekanik yang baik, tetapi juga mendukung upaya pengurangan limbah dan memperkuat ekonomi berbasis sumber daya lokal[4], [5].

Material komposit yang berbasis limbah kopi dan teh memiliki peluang besar untuk dikembangkan sebagai alternatif bahan konvensional yang lebih ramah lingkungan[6]. Dalam proses pembuatannya, limbah kopi dan teh dapat dicampurkan ke dalam matriks polimer seperti Bio Adhesive Glue atau epoxy resin[7]. Salah satu sifat mekanik yang penting untuk dievaluasi dari material hasil pencampuran ini adalah kekuatan tarik atau tensile strength, yaitu kemampuan material untuk menahan gaya tarik sebelum mengalami kerusakan atau patah[8]. Dalam konteks penelitian ini, kekuatan tarik menjadi indikator utama untuk menilai seberapa efektif partikel limbah dapat berkontribusi terhadap performa struktural dari komposit yang dihasilkan[9], [10].

Penelitian ini secara khusus difokuskan untuk mencari komposisi campuran terbaik antara limbah kopi dan teh dengan polimer, guna mengetahui rasio mana yang menghasilkan kekuatan tarik paling tinggi. Tidak seperti pendekatan multivariabel yang kompleks, penelitian ini memusatkan perhatian hanya pada satu variabel bebas, yaitu rasio campuran limbah terhadap polimer, sementara variabel lainnya seperti jenis polimer dan metode pencampuran tetap dibuat konstan. Metode pencampuran yang digunakan adalah hand lay-up dan compression molding, yang dipilih

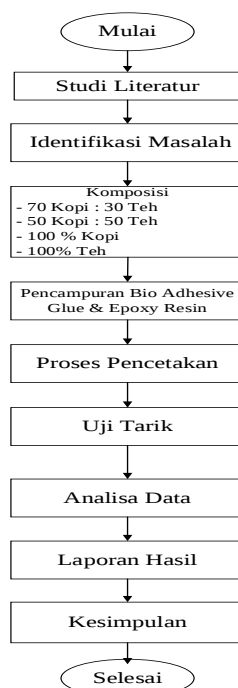
karena kemudahan dan efisiensinya dalam produksi skala laboratorium. Seluruh sampel yang dihasilkan kemudian diuji tarik menggunakan alat uji mekanik standar untuk mengukur nilai maksimum beban tarik yang mampu ditahan sebelum material mengalami kegagalan[11].

Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu mengidentifikasi komposisi rasio limbah kopi dan teh yang paling optimal dari segi kekuatan tarik. Selain memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi material, penelitian ini juga memiliki dampak ekonomi yang nyata, yaitu meningkatkan nilai tambah dari limbah kopi dan teh yang sebelumnya dianggap tidak bernilai. Dengan demikian, limbah tersebut tidak hanya menjadi bahan baku alternatif, tetapi juga produk yang memiliki potensi ekonomi dan pasar. Pemanfaatan ini secara langsung dapat mendukung prinsip ekonomi sirkular, membuka peluang bagi sektor industri kecil dan menengah (IKM), serta memperkuat inisiatif pembangunan berkelanjutan yang berbasis pada sumber daya lokal.

II. METODE

A. Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini, langkah-langkah proses penelitian akan dijelaskan dalam diagram alir (flow chart), Diagram alir (flow chart) dapat dilihat gambar tersebut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

B. Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini diawali dengan proses penyiapan bahan baku utama berupa ampas kopi dan teh. Bahan limbah tersebut dikeringkan terlebih dahulu menggunakan sinar matahari hingga kadar airnya mencapai tingkat yang optimal, guna menghindari potensi degradasi atau pertumbuhan mikroorganisme yang dapat mempengaruhi hasil pengujian. Proses pengeringan dilakukan secara alami hingga bahan dinyatakan siap untuk digunakan dalam proses selanjutnya.



Gambar 2 Ampas Kopi



Gambar 3 Ampas Teh

Setelah proses pengeringan selesai, setiap bahan ditimbang dengan massa sebesar 30 gram untuk masing-masing variasi komposisi yang akan diuji. Penimbangan dilakukan secara presisi untuk menjamin konsistensi antar spesimen dan memastikan bahwa setiap variabel berada dalam kondisi yang setara dengan komposisi seperti Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Variabel Komposisi Pengujian

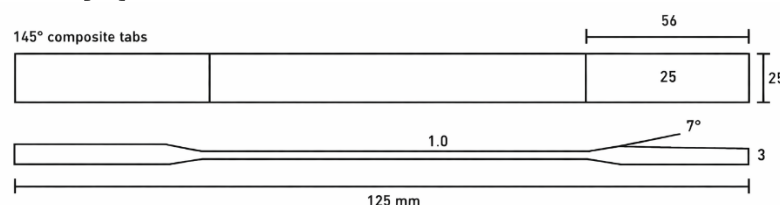
No	Komposisi	
	Kopi (X%)	Teh (Y%)
1	70	30
2	50	50
3	100	0
4	0	100

Penggunaan variasi komposisi limbah kopi dan teh dalam proporsi X:Y seperti 70:30 dan 50:50, serta komposisi ekstrem 100% kopi dan 100% teh bertujuan untuk mengetahui pengaruh proporsi masing-masing limbah terhadap kekuatan tarik material komposit yang dihasilkan. Setiap jenis limbah memiliki karakteristik fisik dan kimiawi berbeda, seperti kandungan serat, selulosa, lignin, dan polifenol, yang dapat memengaruhi sifat mekanik komposit.

Table 2. Komposisi Perbandingan

No.	Perbandingan	Bahan		
		Bioadhesive glue (Gram)	Komposisi (Gram)	Resin (Gram)
1.	2:2:1	15	15	7
2.	2:2:1	15	15	7
3.	2:2:1	15	15	7
4.	2:2:1	15	15	7

Langkah berikutnya adalah pencampuran bahan. Ampas kopi dan teh dicampurkan dengan polimer bio-adhesive glue dalam proporsi tertentu sesuai dengan variasi komposisi yang telah ditentukan. Proses pencampuran dilakukan hingga diperoleh material komposit yang homogen, guna menjamin distribusi partikel pengisi secara merata di dalam matriks polimer. Material yang telah tercampur secara homogen dicetak menjadi spesimen pengujian tarik komposite sesuai standar ASTM D3039[12].





Gambar 4. Bentuk Spesimen Uji Tarik

Pencetakan menggunakan cetakan khusus agar ukuran dan bentuk spesimen seragam. Selanjutnya, spesimen dikeringkan pada suhu ruang selama 3–4 hari tanpa terkena sinar matahari langsung, guna mencegah deformasi seperti pembengkokan (*Bending*) yang dapat memengaruhi hasil uji. Setelah kering, setiap spesimen dilapisi resin sebanyak 12 ml sebagai pelindung agar tidak mudah rusak saat pengujian. Terakhir, dilakukan uji tarik untuk mengetahui kekuatan tarik masing-masing komposisi dan menentukan formulasi terbaik.



Gambar 5. Pengujian Tarik Pada Spesimen

Sebagai tahap akhir, komposisi terbaik yang menunjukkan kekuatan tarik tertinggi digunakan untuk pembuatan produk aplikatif dan sesuai dengan hasil uji tarik berupa meja belajar. Produk ini menjadi bentuk pemanfaatan limbah ampas kopi dan teh yang bernilai guna tinggi, sekaligus memperlihatkan potensi aplikatif material komposit ramah lingkungan yang dihasilkan dalam penelitian ini.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Uji Tarik



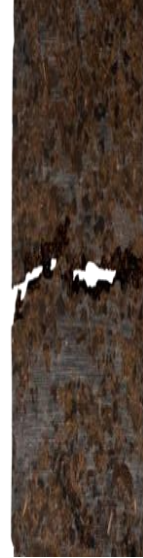
Gambar 6. Sampel 1



Gambar 7. Sampel 2



Gambar 8. Sampel 3



Gambar 9. Sampel 4

Hasil uji tarik (*tensile test*) komposit berbasis limbah kopi dan teh dengan variasi komposisi fraksi berat tertentu. Pengujian dilakukan pada spesimen yang dicetak seragam sesuai standar pengujian, sehingga perbandingan antarsampel dapat dilakukan secara objektif. Parameter utama yang dianalisis meliputi kuat tarik maksimum (*ultimate tensile strength/UTS*), tegangan luluh (*yield strength*), dan regangan putus (*elongation at break*), disertai pengamatan kurva tegangan–regangan untuk mengidentifikasi perilaku elastis–plastis serta mode kegagalan. Hasil awal menunjukkan bahwa perubahan rasio campuran limbah kopi–teh memengaruhi kemampuan transfer beban dalam matriks, yang tercermin pada pergeseran nilai UTS dan elongasi; komposisi dengan dispersi partikel lebih merata dan ikatan antarmuka (*interfacial bonding*) lebih baik cenderung menghasilkan peningkatan kekuatan hingga titik optimum, sedangkan kelebihan salah satu filler berpotensi menurunkan performa akibat aglomerasi, void, atau ketidakselarasan serat/partikel. Temuan ini menjadi dasar untuk pembahasan lebih lanjut mengenai mekanisme penguatan (*reinforcement*), efisiensi pemanfaatan limbah, serta implikasinya terhadap desain komposisi yang menyeimbangkan kekuatan dan keuletan material.

Spesimen dibuat dengan empat variasi komposisi, yaitu X:Y = 70:30, X:Y = 50:50, kopi 100% (X=100%, Y=0%), dan teh 100% (X=0%, Y=100%). Pengujian tarik dilakukan untuk memperoleh parameter mekanik utama—kekuatan tarik maksimum (UTS), batas luluh (YS), modulus elastisitas (E), dan elongasi putus sehingga dapat dianalisis pengaruh perbandingan kopi dan teh terhadap respon mekanik material. Hasil pengujian tiap komposisi disajikan pada Grafik dibawah, yang menjadi dasar pembahasan perbandingan performa serta identifikasi komposisi paling optimal untuk pemanfaatan limbah sebagai material komposit.

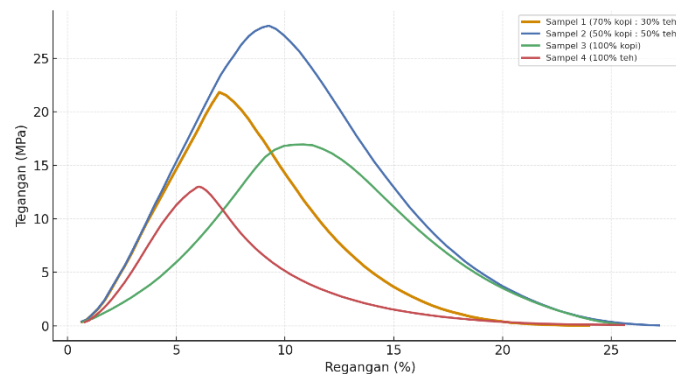
Setelah dilakukan uji tarik pada seluruh variasi komposisi biokomposit berbasis limbah kopi dan teh, data hasil pengukuran tegangan, regangan, yield strength, dan tensile strength masing-masing sampel kemudian diolah dan dirangkum sehingga diperoleh nilai karakteristik mekanik utama, yang secara lengkap disajikan pada tabel di bawah ini sebagai dasar untuk analisis dan perbandingan performa tarik antar sampel.

Tabel 3. Hasil Uji Tarik

No.	Komposisi	Hasil Uji Tarik		
		Yield Strength (MPa)	Regangan YS ϵ_y (%)	UTS (MPa)
1	70% kopi : 30% teh	5,65	2,65	21,82
2	50% kopi : 50% teh	5,60	2,6	28,00
3	100% kopi	5,30	4	16,90
4	100% teh	1,88	1,78	12,39

Untuk memudahkan analisis, perbandingan respon tegangan–regangan keempat variasi komposisi disajikan pada gambar grafik di bawah ini. Grafik tersebut memperlihatkan kurva uji tarik Sampel 1, Sampel 2, Sampel 3, dan Sampel

dalam satu plot, sehingga kecenderungan perubahan tegangan terhadap regangan, posisi tegangan maksimum (UTS), serta perilaku softening pasca-puncak dapat dibandingkan secara langsung antar-sampel.



Gambar 710. Grafik Perbandingan Setiap sample

Hasil pengujian tarik pada keempat variasi komposisi biokomposit menunjukkan bahwa perbedaan rasio limbah kopi dan teh memberikan pengaruh yang signifikan terhadap respon mekanik material. Perbedaan ini dapat dijelaskan berdasarkan karakteristik fisik masing-masing filler, di mana limbah kopi berperan sebagai serat kasar (coarse fiber), sedangkan limbah teh berperan sebagai serat halus (fine fiber) yang berfungsi sebagai pengisi dan penutup celah (void filler).

Sampel 1 dengan komposisi 70% kopi dan 30% teh menunjukkan kombinasi kekuatan dan keuletan yang cukup baik. Dominasi serat kopi yang berukuran lebih kasar berkontribusi sebagai elemen utama penahan beban, sehingga material mampu mencapai nilai yield strength dan *ultimate tensile strength* (UTS) yang relatif tinggi. Keberadaan serat teh halus dalam jumlah terbatas berfungsi mengisi celah di antara partikel kopi dan matriks polimer, sehingga membantu memperbaiki distribusi tegangan dan menunda terjadinya kegagalan antarmuka. Namun demikian, karena proporsi serat kasar masih lebih dominan, potensi terbentuknya void dan konsentrasi tegangan lokal masih cukup besar, sehingga performa mekanik belum mencapai kondisi optimum.

Pada Sampel 2 dengan komposisi seimbang 50% kopi dan 50% teh, diperoleh performa mekanik terbaik dibandingkan sampel lainnya. Nilai UTS tertinggi dan regangan putus terbesar pada sampel ini menunjukkan bahwa kombinasi serat kasar dan serat halus yang proporsional mampu menghasilkan struktur komposit yang lebih padat dan homogen. Serat kopi berfungsi sebagai penguat utama yang menahan beban tarik, sedangkan serat teh yang lebih halus secara efektif mengisi ruang antarpartikel, mengurangi void, serta meningkatkan kualitas ikatan antarmuka antara filler dan matriks. Kondisi ini menghasilkan distribusi tegangan yang lebih merata dan meningkatkan kemampuan material dalam menahan deformasi plastis sebelum mengalami kegagalan. Fenomena ini sesuai dengan konsep hybrid filler effect, di mana kombinasi filler dengan ukuran berbeda dapat meningkatkan efisiensi transfer beban dan ketahanan mekanik komposit.

Sampel 3 yang hanya mengandung serat kopi (100% kopi) menunjukkan penurunan kekuatan tarik dibandingkan Sampel 1 dan Sampel 2. Meskipun serat kopi berperan sebagai penguat utama, ketiadaan serat halus menyebabkan struktur komposit cenderung kurang rapat dan memiliki lebih banyak void. Kondisi ini mengakibatkan ikatan antarmuka yang kurang efektif serta meningkatkan konsentrasi tegangan di sekitar partikel kopi, sehingga material mengalami kegagalan pada tegangan yang lebih rendah. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan serat kasar saja tidak cukup untuk menghasilkan biokomposit dengan performa mekanik yang optimal.

Sebaliknya, Sampel 4 dengan komposisi 100% teh menunjukkan nilai kekuatan tarik dan yield strength terendah. Serat teh yang berukuran lebih halus memang mampu membentuk struktur yang relatif homogen, namun secara mekanik kurang efektif sebagai elemen penahan beban utama. Karakter serat teh yang lebih rapuh dan kurang kaku menyebabkan material lebih cepat mengalami kegagalan ketika menerima beban tarik. Hal ini menegaskan bahwa serat halus berperan lebih efektif sebagai filler pendukung dan penutup celah, bukan sebagai penguat utama dalam biokomposit.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa performa mekanik biokomposit berbasis limbah kopi dan teh sangat dipengaruhi oleh sinergi antara serat kasar dan serat halus. Kombinasi seimbang antara serat kopi sebagai penguat utama dan serat teh sebagai filler penutup menghasilkan struktur komposit yang lebih padat, distribusi tegangan yang lebih merata, serta kombinasi kekuatan dan keuletan yang optimal. Dengan demikian, komposisi 50% kopi dan 50% teh dapat direkomendasikan sebagai formulasi paling efektif untuk aplikasi biokomposit non-struktural berbasis limbah organik.

IV. SIMPULAN

Komposisi kopi–teh terbukti sangat memengaruhi sifat tarik biokomposit. Sampel 2 (50% kopi–50% teh) memberikan kinerja terbaik dengan UTS tertinggi dan deformasi pasca-puncak yang tetap daktail karena serat kasar kopi dan serat halus teh saling mengisi dan memadatkan struktur. Sampel 1 (70% kopi–30% teh) masih kuat dan ulet, tetapi sedikit di bawah Sampel 2, sedangkan Sampel 3 (100% kopi) hanya menghasilkan kekuatan tarik sedang akibat banyaknya void dan konsentrasi tegangan. Sampel 4 (100% teh) memiliki kekuatan dan kelenturan paling rendah, sehingga lebih cocok untuk aplikasi biokomposit non-struktural ringan; secara umum, komposisi seimbang kopi–teh memberikan kompromi terbaik antara kekuatan dan keuletan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Ayah dan Ibu atas dukungan, kasih sayang, dan doa tak pernah putus selama studi Teknik Mesin. Semoga Allah membalas kebaikan kalian dengan kebahagiaan berlimpah. Terima kasih juga kepada teman-teman seangkatan Teknik Mesin atas persahabatan, diskusi mesin, dan dukungan yang membuat kuliah lebih menyenangkan. Khususnya, Bhima, terima kasih atas bantuan proyek dan motivasi.

REFERENSI

- [1] M. Eka Hermiansyah, S. Junus, I. Sholahuddin, D. Dwi Laksana, and Y. Alditya Nugraha, “PENGARUH JUMLAH LAMINA FIBERGLASS TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT SPENT COFFEE GROUND DENGAN METODE VACUUM MOLDING,” 2018.
- [2] E. Sholichah, R. Apriani, D. Desnilasari, M. A. Karim, and H. Hervelly, “BY-PRODUCT KULIT KOPI ARABIKA DAN ROBUSTA SEBAGAI SUMBER POLIFENOL UNTUK ANTIOKSIDAN DAN ANTIBAKTERI,” *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*, vol. 14, no. 2, p. 57, Dec. 2019, doi: 10.33104/jihp.v14i2.5195.
- [3] N. Sumadewi, D. Puspaningrum, and N. Adisanjaya Fakultas Ilmu Kesehatan Sains dan Teknologi Universitas Dhyana Pura, “PKM PEMANFAATAN LIMBAH KOPI DI DESA CATUR KABUPATEN BANGLI,” 2020.
- [4] A. M. Kusumah, W. Christian, T. Marsilam Siregar, M. Cornelia, and K. Natania, “Pembuatan Kemasan Biokomposit Berbasis PVA (Polyvinyl Alcohol) dan Limbah Kulit Kopi,” *TEKNOTAN*, vol. 17, no. 3, 2023, doi: 10.24198/jt.vol17n3.10.
- [5] R. Z. S. Ella Melyna, “Pengaruh Perlakuan Ekstraksi Limbah Ampas Kopi terhadap Sifat Mekanis Komposit Bermatriks Polipropilena,” *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, vol. 6, no. 2, Sep. 2023, doi: 10.30596/rmme.v6i2.14920.
- [6] A. Maghfirah, H. Meilanda, E. Marlianto, D. Mulkan, and I. Nst, “PEMANFAATAN SERAT CANGKANG KULIT KOPI DALAM PEMBUATAN BETON POLIMER DENGAN RESIN POLYESTER SEBAGAI PEREKAT,” vol. 3, no. 2, pp. 51–61, 2019.
- [7] J. L. Ferracane, “Resin composite - State of the art,” Jan. 2011. doi: 10.1016/j.dental.2010.10.020.
- [8] D. Dwi Laksana, A. Syuhri, H. Nurdiansyah, and M. Abduh, “PENGARUH UKURAN PARTIKEL LIMBAH KOPI TERHADAP KARAKTERISASI SIFAT MEKANIK PADA PANEL KOMPOSIT,” 2017.
- [9] F. A. Spitznagel, S. D. Horvath, P. C. Guess, and M. B. Blatz, “Resin bond to indirect composite and new ceramic/polymer materials: A review of the literature,” Nov. 01, 2014. doi: 10.1111/jerd.12100.
- [10] E. Melyna and A. Rais Jibalautada Hamidatu Rabbi, “Penambahan Limbah Ampas Kopi dengan Perlakuan Alkalisasi KOH pada Komposit Bermatriks Polipropilena,” *J Teknol*, vol. 11, no. 2, May 2024, doi: 10.31479/jtek.v11i2.310.
- [11] Anne Peutzfeldt, “Resin composites in dentistry: the monomer systems,” 2017.
- [12] Misbakh, E. Widodo, I. Siti Aisyah, Syahrudin, and N. H. Ariffin, “effect of tapioca starch concentration on mechanical properties of Sansevieria Trifasciata fiber-reinforced composites,” *Journal of Energy, Mechanical, Material, and Manufacturing Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 27–40, Sep. 2024, doi: 10.22219/jemmm.v9i1.32657.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.