

Pengaruh Penambahan *Bio-filler* Serbuk Pelepah Pisang pada Sifat Termal, Reologi, dan Mekanik Komposit Termoplastik Berbasis Polipropilena

The Effect of Addition of Banana Stem Powder Bio-filler on the Thermal, Rheological, and Mechanical Properties of Polypropylene-Based Thermoplastic Composites

Khadijah Sayyidatun Nisa*, Fitria Ika Aryanti, Ariya Wedian

Program Studi Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta, Jl. Letjen Suprpto No. 26, Jakarta Pusat, 10510, Indonesia

*Email: khadijahnisa@stmi.ac.id

Article history:

Diterima : 26 Mei 2025
Direvisi : 18 Juli 2025
Disetujui : 6 Agustus 2025
Mulai online : 27 September 2025

E-ISSN: 2337-4888

How to cite:

Khadijah Sayyidatun Nisa, Fitria Ika Aryanti, Ariya Wedian. (2025). Pengaruh Penambahan *Bio-filler* Serbuk Pelepah Pisang pada Sifat Termal, Reologi, dan Mekanik Komposit Termoplastik Berbasis Polipropilena. Jurnal Teknik Kimia USU, 14(2), 38-46.

ABSTRAK

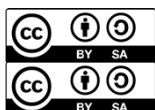
Penelitian ini mengkaji pengaruh penambahan serbuk pelepah pisang (SPP) terhadap sifat termal, reologi, dan mekanik komposit polipropilena (PP) dengan penambahan asam stearat. Komposit dibuat dengan variasi PP:SPP sebesar 100:0%, 98:2%, 96:4%, dan 94:6% berat. Pengujian *Differential Scanning Calorimetry* menunjukkan temperatur leleh tertinggi 165,4°C pada 4% SPP, sementara kristalinitas tertinggi 42,64% diperoleh pada 2% SPP. Laju alir tertinggi diperoleh pada 2% SPP yaitu sebesar 8,83 g/10 menit, dan terjadi penurunan laju alir pada variasi 4% dan 6% SPP. Pada pengujian kekuatan tarik, terjadi penurunan dari 30,10 MPa pada PP murni menjadi 23,40 MPa pada 2% SPP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa SPP dapat meningkatkan sifat termal dan reologi komposit dalam batas tertentu, namun penambahan berlebih menurunkan kekuatan mekanik.

Kata kunci: polipropilena, serbuk pelepah pisang, komposit

ABSTRACT

This study examines the effect of banana stem powder (SPP) addition on the thermal, rheological, and mechanical properties of polypropylene (PP) composites with the addition of stearic acid. The composites were made with variations of PP:SPP of 100:0%, 98:2%, 96:4%, and 94:6% by weight. Differential Scanning Calorimetry testing showed the highest melting temperature of 165.4°C at 4% SPP, while the highest crystallinity of 42.64% was obtained at 2% SPP. The highest flow rate was obtained at 2% SPP of 8.83 g/10 min, and there was a decrease in the flow rate at 4% and 6% SPP. The tensile strength test results showed a decrease, from 30.10 MPa in pure PP to 23.40 MPa at 2% SPP. The results indicate that SPP can improve the thermal and rheological properties of the composite within certain limits, but excessive addition decreases the mechanical strength.

Keyword: polypropylene, banana sheath powder, composite



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International.
<https://doi.org/10.32734/jtk.v14i2.20963>

1. Pendahuluan

Pemanfaatan sumber daya alam secara berkelanjutan menjadi tantangan dan peluang dalam pengembangan material ramah lingkungan, khususnya dalam bidang komposit. Komposit merupakan kombinasi dari dua atau lebih material yang berbeda, sehingga dapat memberikan keunggulan dalam hal kekuatan mekanik, kekakuan, dan efisiensi biaya dibandingkan dengan material konvensional [1]. Polipropilena (PP) merupakan salah satu polimer semi-kristalin termoplastik yang memiliki ketahanan kimia dan termal yang tinggi, sehingga sering dijadikan matriks pada komposit [2]. Namun, pengembangan sifat komposit bermatriks polipropilena lebih lanjut seringkali membutuhkan modifikasi melalui penambahan pengisi (*filler*) dan agen kompatibilitas (*compatibilizer*).

Salah satu pendekatan yang menarik dalam pengembangan komposit adalah pemanfaatan limbah biomassa sebagai pengisi alami (*bio-filler*). Pelepah pisang merupakan limbah pertanian yang sangat melimpah di wilayah tropis seperti Indonesia, namun belum banyak dimanfaatkan secara optimal. Serbuk pelepah pisang dipilih sebagai bahan pengisi material komposit karena memiliki beberapa keunggulan: (1) ketersediaannya tinggi dan berkelanjutan, (2) mudah terurai secara hayati (*biodegradable*), (3) harga yang murah, dan (4) kandungan selulosa yang tinggi yang berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan mekanik komposit [3][4][5]. Selain itu, penggunaannya juga mendukung upaya pengurangan limbah organik dan pengembangan material berbasis sumber daya lokal.

Penambahan serbuk pelepah pisang (SPP) sebagai *bio-filler* menunjukkan pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik dan termal komposit. Dalam penelitian berbasis matriks selulosa, variasi kadar SPP antara 5–25% berat menunjukkan peningkatan *tensile strength* dan stabilitas termal seiring bertambahnya fraksi pengisi, dengan performa optimum pada kadar 20% SPP. Penurunan kekuatan tarik mulai terlihat pada 25% SPP akibat terjadinya aglomerasi partikel, meskipun *inflection temperature* tertinggi tercapai pada kadar ini, yaitu sebesar 334,43°C [6]. Sementara itu, pada komposit berbasis polipropilena (PP), penambahan SPP hingga 40% tanpa *compatibilizer* meningkatkan modulus tarik secara signifikan, namun disertai penurunan *tensile strength* karena lemahnya ikatan antarmuka. Penggunaan *maleic anhydride grafted polypropylene* (PP-g-MA) sebagai *compatibilizer* berhasil memperbaiki dispersi *filler* dan adhesi antarmuka, menghasilkan peningkatan *tensile strength* hingga 32,8 MPa pada komposit dengan 40% SPP. Selain itu, terjadi peningkatan *heat deflection temperature* (HDT) dengan nilai mencapai 137°C pada komposit dengan perlakuan kimia menggunakan kalium permanganat (KMnO₄), yang mengindikasikan adanya peningkatan stabilitas termal [7].

Namun, penggunaan *filler* alami dalam matriks polimer non-polar seperti PP seringkali menghadapi kendala ketidakcocokan antarfasa akibat perbedaan sifat kimia [8]. Hal ini menyebabkan dispersi yang buruk dan lemahnya ikatan antar komponen, yang berdampak pada penurunan performa komposit. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan penambahan *compatibilizer*. Salah satu senyawa yang dapat dijadikan bahan untuk *compatibilizer* adalah asam stearat.

Asam stearat dipilih sebagai *compatibilizer* karena kemampuannya dalam meningkatkan interaksi antarmuka antara *filler* alami dan matriks polimer. Sifat amphipatik asam stearat memungkinkan pengikatan baik terhadap gugus hidrofilik serat maupun permukaan hidrofobik PP [9], [10]. Selain itu, asam stearat juga berperan sebagai pelumas dan *dispersant*, yang memperbaiki aliran pencampuran dan homogenitas distribusi *filler* dalam matriks [11]. Dalam penelitian oleh Santiagoo dkk. (2021), penggunaan asam stearat untuk memodifikasi serat tandan kosong kelapa sawit (OPEFB) dalam komposit berbasis polipropilena (PP) dan karet nitril daur ulang (NBRr) menunjukkan peningkatan signifikan pada sifat mekanik. Pada variasi 5–30 phr OPEFB, *tensile strength* dan modulus elastisitas meningkat secara konsisten dibandingkan dengan sampel tanpa asam stearat. Peningkatan ini dikaitkan dengan interaksi hidrogen antara gugus karboksil asam stearat dan gugus hidroksil serat, serta afinitas rantai hidrokarbon terhadap matriks polimer, yang menghasilkan adhesi antarmuka yang lebih baik dan morfologi komposit yang lebih padat [12].

Penelitian Martins dkk. (2016) mendukung temuan tersebut, dengan menunjukkan bahwa penambahan asam karboksilat rantai panjang, termasuk asam stearat, dalam sistem polietilena (PE) dan polietilen glikol (PEG) menyebabkan terbentuknya struktur viskoelastik yang lebih kohesif, yang

berasal dari interaksi fungsional antara gugus polar asam stearat dan matriks polimer. Efek ini juga berkontribusi terhadap peningkatan stabilitas termal, sebagaimana ditunjukkan oleh pergeseran suhu transisi ke arah lebih tinggi [13].

Selanjutnya, Nguyen dkk. (2020) menunjukkan bahwa pelapisan *filler* CaCO_3 dengan asam stearat dalam komposit *high-density polyethylene* (HDPE) menghasilkan dispersi partikel yang lebih baik, mengurangi aglomerasi, serta meningkatkan kekuatan tarik dan *elongation at break*. Komposit dengan 30 phr CaCO_3 berlapis asam stearat menunjukkan stabilitas termal yang lebih tinggi berdasarkan hasil TGA, dengan onset degradasi yang tertunda dibandingkan filler tanpa pelapis [14].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penambahan serbuk pelepah pisang dan asam stearat terhadap sifat termal (temperatur leleh dan kristalinitas), laju alir, serta kekuatan tarik pada komposit berbasis polipropilena. Metode yang digunakan dalam pencetakan komposit adalah *manual forming*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada potensi pengembangan material komposit untuk komponen otomotif.

2. Metode

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta. Bahan utama yang digunakan meliputi polipropilena (PP) homopolimer merk Trilene HI10HO sebagai matriks, serbuk pelepah pisang sebagai pengisi dengan variasi 2%, 4%, dan 6% berat, serta asam stearat sebesar 1% berat komposit sebagai *compatibilizer*. Serbuk pelepah pisang (SPP) diperoleh dari lapisan kedua pelepah pisang kepok (*Musa paradisiaca*), yang kemudian direndam dalam air selama 24 jam, dikeringkan di bawah sinar matahari selama 24 jam, lalu dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan 80 mesh. Proses pencampuran bahan dilakukan dengan menggunakan mesin *compounder* ZK 25×24 D untuk menghasilkan kompon polimer dengan variasi komposisi PP:SPP sebesar 100:0%, 98:2%, 96:4%, dan 94:6% berat. Kompon yang diperoleh kemudian dicetak menjadi spesimen uji menggunakan alat *manual forming machine* [15].

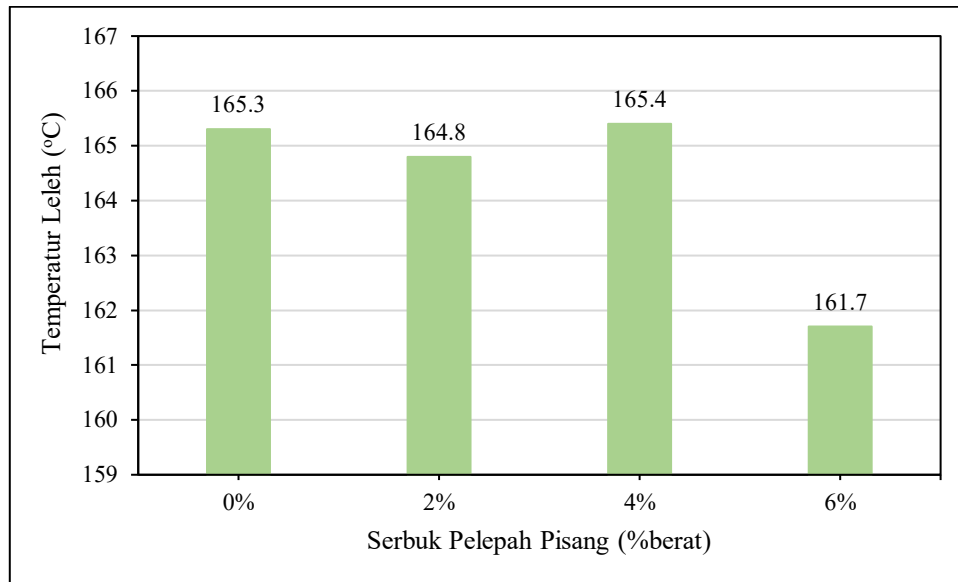
Pengujian sifat termal dilakukan dengan menggunakan alat *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) untuk mengukur temperatur leleh dan derajat kristalinitas. Sifat reologi komposit dianalisis melalui pengujian laju alir dengan metode A pada alat *Melt Flow Indexer* (MFI). Sementara itu, sifat mekanik komposit dianalisis melalui uji tarik menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) sesuai standar ASTM D638 tipe IV. Seluruh data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh penambahan serbuk pelepah pisang terhadap karakteristik termal, reologi, dan mekanik komposit berbasis polipropilena [15].

3. Hasil

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serbuk pelepah pisang (SPP) dalam matriks polipropilena (PP) memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat termal, reologi, dan mekanik komposit.

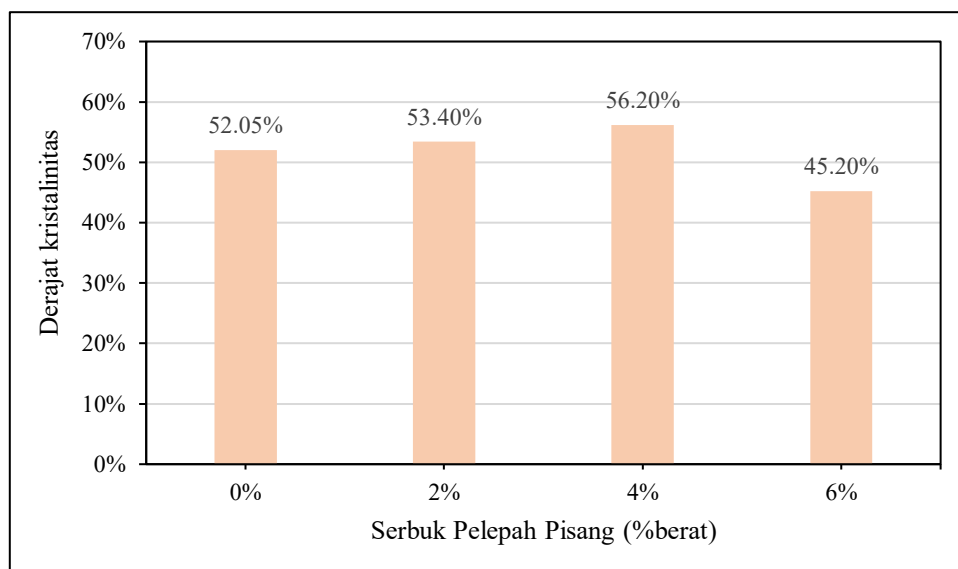
3.1. Pengaruh Serbuk Pelepah Pisang (SPP) terhadap Sifat Termal

Hasil pengujian temperatur leleh pada komposit PP/SPP/asam stearat disajikan pada Gambar 1. Pada pengujian temperatur leleh menggunakan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC), terjadi peningkatan titik leleh pada penambahan SPP sebesar 4%, yaitu sebesar 165,4°C dibandingkan dengan PP murni (161,7°C). Fenomena ini mengindikasikan bahwa pada komposisi tersebut terjadi interaksi yang cukup baik antara matriks PP dan partikel SPP, yang dibantu oleh peran asam stearat sebagai *compatibilizer*. Peningkatan ini juga menunjukkan terbentuknya struktur kristal yang lebih teratur karena adanya partikel pengisi yang berperan sebagai pusat nukleasi [16]. Namun, saat konsentrasi SPP sebesar 6%, temperatur leleh cenderung menurun. Hal ini disebabkan oleh gangguan dispersi dan distribusi *filler* dalam matriks yang menyebabkan ketidakaturan struktur kristal serta potensi terbentuknya *void* atau aglomerasi partikel, yang menghambat pertumbuhan kristal polimer secara optimal [16].



Gambar 1. Temperatur leleh komposit PP/SPP/asam stearat

Hasil pengujian derajat kristalinitas yang disajikan pada Gambar 2 juga menunjukkan adanya pengaruh dari penambahan serbuk pelepah pisang. Nilai derajat kristalinitas tertinggi tercatat pada 4% SPP, yaitu sebesar 56,20%, dan menurun pada kadar yang lebih tinggi. Serbuk pelepah pisang dapat bertindak sebagai agen nukleasi, yaitu zat yang memfasilitasi pembentukan inti kristal [16]. Hal ini dapat mengarah pada pembentukan kristal polipropilena yang lebih banyak atau lebih cepat, sehingga meningkatkan derajat kristalinitas seperti yang terjadi pada variasi 2% dan 4% SPP. Penurunan derajat kristalinitas pada variasi 6% SPP dapat disebabkan karena penambahan serbuk pelepah pisang pada konsentrasi pengisi tinggi menyebabkan interaksi antara *filler* berlebih sehingga menyebabkan gangguan keteraturan struktur rantai polimer dan menurunkan kemampuan kristalisasi [15], [16].



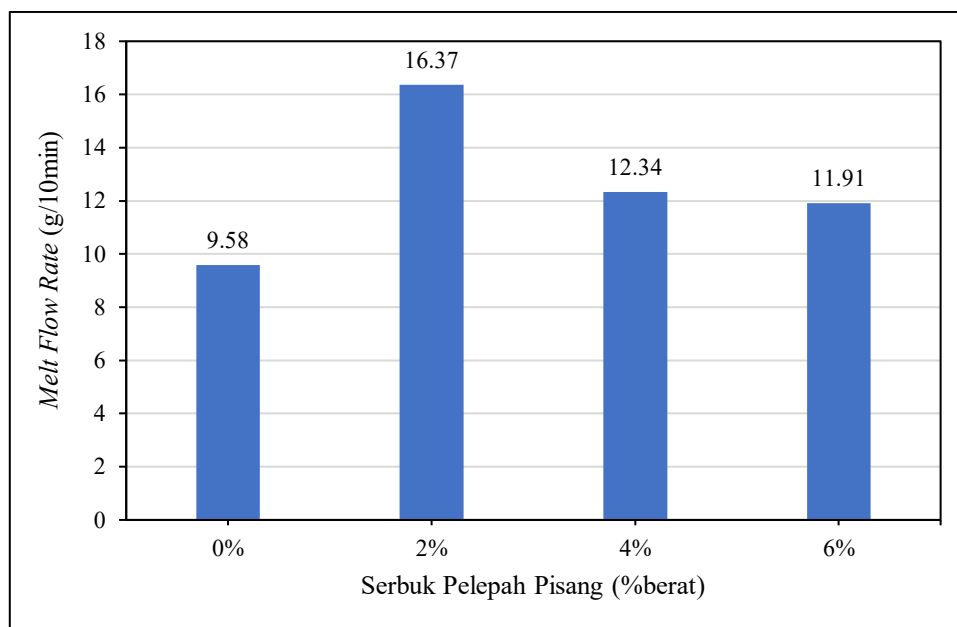
Gambar 2. Derajat kristalinitas komposit PP/SPP/asam stearat

3.2. Pengaruh Serbuk Pelepah Pisang (SPP) terhadap Sifat Reologi

Melt Flow Rate yang menjadi indikator aspek reologi komposit PP/SPP/asam stearat disajikan pada Gambar 3. Nilai *Melt Flow Rate* sangat menentukan kemudahan pemrosesan suatu polimer, terutama dalam proses manufaktur seperti *injection molding*, *extrusion*, *blow molding*, dan *thermoforming* [17]. Polimer dengan *Melt Flow Rate* tinggi lebih mudah mengalir, cocok untuk

injeksi ber dinding tipis, sedangkan *Melt Flow Rate* rendah lebih sesuai untuk produk yang membutuhkan kekakuan dimensi tinggi, seperti pipa atau lembaran [18].

Pada aspek reologi, nilai laju alir lelehan meningkat secara signifikan dari 9,58 g/10 menit (tanpa *filler*) menjadi 16,37 g/10 menit pada komposisi PP/SPP 98:2%. Peningkatan ini dikaitkan dengan efek pelumas dari asam stearat sebagai *compatibilizer*, yang mampu menurunkan viskositas lelehan melalui pengurangan gesekan antarmolekul polimer serta peningkatan homogenitas campuran [11]. Pada konsentrasi rendah, serbuk pelepah pisang juga berperan sebagai pusat nukleasi yang mendukung keteraturan rantai polimer dan pembentukan struktur semi-kristalin yang stabil [19].

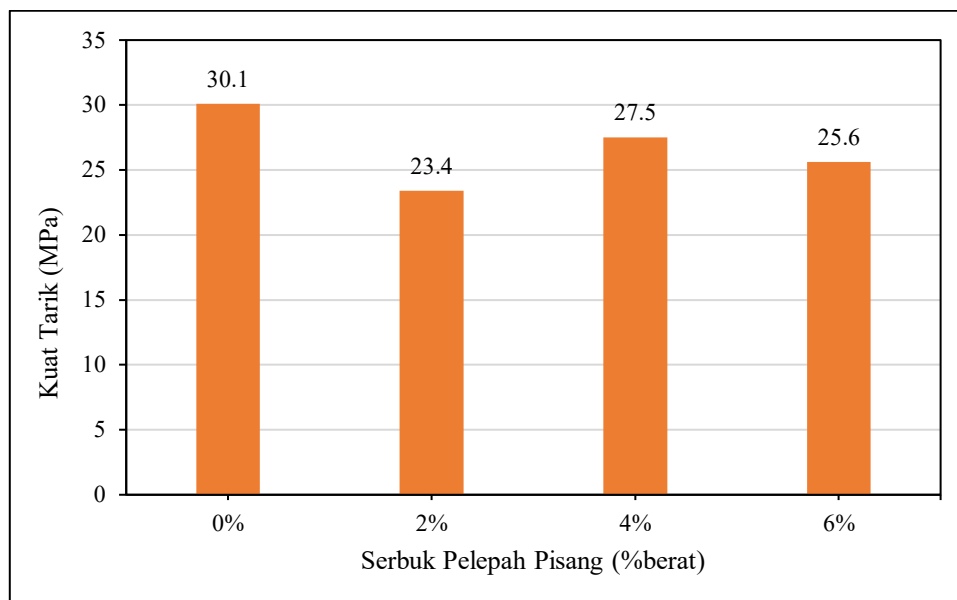


Gambar 3. *Melt Flow Rate* komposit PP/SPP/asam stearat

Namun, pada kadar SPP yang lebih tinggi (4% dan 6%), nilai laju alir lelehan menurun menjadi 12,34 g/10 menit dan 11,91 g/10 menit secara berturut-turut. Fenomena ini diasosiasikan dengan terbentuknya aglomerasi partikel pengisi, meningkatnya viskositas lelehan, serta gangguan pada keteraturan struktur kristal akibat dispersi *filler* yang tidak merata [16]. Penurunan efektivitas asam stearat pada kadar *filler* tinggi juga berkontribusi terhadap penurunan kemampuan alir lelehan. Penelitian ini menunjukkan bahwa laju alir optimal dicapai pada komposisi SPP 2%, sedangkan penggunaan *filler* di atas batas tersebut dapat menurunkan performa reologi akibat aglomerasi partikel dan menurunnya interaksi *interface*.

3.3. Pengaruh Serbuk Pelepah Pisang (SPP) terhadap Sifat Mekanik

Data kekuatan tarik dari komposit PP/SPP/asam stearat disajikan pada Gambar 4. Pada aspek mekanik, nilai kekuatan tarik menurun seiring meningkatnya kadar SPP. Nilai kekuatan tarik tertinggi tercatat pada komposit tanpa *filler* (30,10 MPa), sementara nilai terendah tercatat pada komposisi PP/SPP 98:2% sebesar 23,40 MPa. Penurunan ini terjadi karena dispersi *filler* yang belum optimal sehingga memicu pembentukan titik lemah akibat distribusi tidak merata dan potensi terbentuknya *void* antar fase [16]. Peningkatan kekuatan tarik pada 4% SPP (27,50 MPa) menunjukkan bahwa distribusi *filler* menjadi lebih homogen, sehingga transfer tegangan dari matriks ke *filler* lebih efektif. Namun, penurunan kembali pada 6% SPP (25,60 MPa) memperkuat dugaan terjadinya aglomerasi partikel pengisi dan keterbatasan fungsi asam stearat sebagai *compatibilizer* tunggal dalam melapisi seluruh permukaan *filler* secara merata [20], [21].



Gambar 4. Kuat tarik komposit PP/SPP/asam stearat

Data pada Gambar 2 dan Gambar 4 menunjukkan bahwa hubungan antara sifat mekanik (kuat tarik) dan termal (derajat kristalinitas) pada komposit PP/SPP/asam stearat tidak sepenuhnya bersifat linier, namun memperlihatkan tren yang saling terkait pada komposisi tertentu. Kuat tarik tertinggi tercatat pada sampel tanpa penambahan *filler* (0% SPP), yaitu sebesar 30,10 MPa, dengan derajat kristalinitas 52,05%. Pada kondisi ini, tidak adanya partikel pengisi memungkinkan struktur PP mempertahankan integritas fasa kontinu tanpa gangguan antarmuka, sehingga transfer tegangan berlangsung secara efisien di sepanjang matriks [22].

Namun, pada penambahan 2% SPP, terjadi penurunan tajam kuat tarik menjadi 23,40 MPa, meskipun kristalinitas meningkat menjadi 53,4%. Fenomena ini menunjukkan bahwa peningkatan kristalinitas tidak serta-merta memperbaiki kekuatan tarik apabila dispersi partikel *filler* tidak optimal. Kemungkinan besar, pada kadar ini terjadi agregasi partikel dan terbentuknya zona lemah akibat buruknya interaksi antara *filler* dan matriks, yang menghambat efisiensi transfer tegangan [23].

Pada komposisi 4% SPP, terjadi peningkatan simultan pada kuat tarik (27,50 MPa) dan kristalinitas (56,2%). Hal ini mengindikasikan bahwa pada kadar tersebut, serbuk pelepah pisang dapat berfungsi sebagai pusat nukleasi yang efektif, mendukung pembentukan struktur semi-kristalin yang lebih teratur. Kombinasi antara distribusi *filler* yang lebih homogen dan peningkatan keteraturan kristal memberikan kontribusi positif terhadap kekuatan tarik. Peningkatan kristalinitas yang signifikan ini sejalan dengan peran *filler*. Kristalinitas yang tinggi turut memperkuat jaringan molekular dalam fasa padat [23].

Sebaliknya, pada kadar 6% SPP, derajat kristalinitas menurun drastis menjadi 45,2% disertai dengan penurunan kuat tarik menjadi 25,60 MPa. Penurunan ini dapat dikaitkan dengan terbentuknya aglomerasi partikel pengisi akibat kelebihan filler, yang mengganggu keteraturan kristal dan menghasilkan struktur amorf yang lebih dominan [24]. Aglomerasi ini juga menyebabkan berkurangnya efisiensi ikatan antar fasa serta meningkatkan tegangan sisa, sehingga berkontribusi terhadap menurunnya kekuatan tarik [25].

Modulus elastisitas dari komposit PP/SPP/asam stearat disajikan pada Tabel 1. Modulus elastisitas menunjukkan seberapa besar material mampu menahan deformasi elastis di bawah beban tarik. Data hasil pengujian menunjukkan adanya peningkatan nilai modulus elastisitas seiring dengan penambahan serbuk pelepah pisang (SPP) ke dalam matriks polipropilena (PP). Nilai modulus meningkat dari 1886,21 MPa (0% SPP) menjadi 2004,59 MPa (2%), 2047,80 MPa (4%), dan mencapai 2188,22 MPa (6%).

Tabel 1. Modulus elastisitas komposit PP/SPP/asam stearat

Variasi (%berat SPP)	Modulus Elastisitas (MPa)
0%	1886,21
2%	2004,59
4%	2047,80
6%	2188,22

Peningkatan ini menunjukkan bahwa penambahan serbuk pelepah pisang secara umum memberikan kontribusi terhadap peningkatan kekakuan komposit. Hal ini disebabkan oleh sifat alami serat atau partikel biomassa seperti SPP yang memiliki modulus lebih tinggi dibandingkan dengan matriks termoplastik seperti PP. Serat lignoselulosa dapat bertindak sebagai penguat (*reinforcement*) yang membatasi mobilitas rantai polimer dan menambah resistensi terhadap deformasi elastis [26].

Meskipun kuat tarik sempat menurun pada kadar SPP tertentu akibat aglomerasi atau ketidaksempurnaan ikatan antarmuka, tren peningkatan modulus elastisitas menunjukkan bahwa kontribusi penguatan secara struktural tetap terjadi. Pada kadar 6% SPP, meskipun kuat tarik mengalami penurunan dibandingkan 4%, modulus justru mencapai nilai tertinggi, yang dapat dijelaskan oleh meningkatnya fraksi padat (*solid loading*) dan distribusi pengisi yang secara geometris membatasi deformasi matriks, walaupun adhesi antarfasa mungkin tidak optimal [17], [27].

4. Kesimpulan

Penambahan serbuk pelepah pisang (SPP) ke dalam matriks polipropilena (PP) dengan asam stearat sebagai *compatibilizer* memengaruhi sifat termal, reologi, dan mekanik komposit. SPP berperan sebagai pusat nukleasi yang dapat meningkatkan kristalinitas dan temperatur leleh hingga kadar 4%. Sifat reologi terbaik diperoleh pada 2% SPP dengan nilai laju alir tertinggi. Namun, penambahan SPP di atas 4% menyebabkan penurunan kekuatan tarik akibat aglomerasi partikel dan terbatasnya efektivitas *compatibilizer*. Secara keseluruhan, kadar SPP 4% menunjukkan keseimbangan terbaik antara sifat termal dan mekanik, sehingga potensial untuk pengembangan komposit biofiller berbasis PP.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik STMI Jakarta yang telah memberikan dukungan fasilitas sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.

6. Konflik Kepentingan

Semua penulis tidak memiliki konflik kepentingan (*conflict of interest*) pada publikasi

Daftar Pustaka

- [1] F. I. Aryanti and D. A. Maghfira, "Pengaruh penambahan filler talc terhadap sifat termal dan massa jenis komposit polipropilena/masterbatch black," *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, vol. 6, no. 2, pp. 72–77, 2022.
- [2] P. Simamora, J. Simanjuntak, K. Sinulingga, and A. D. Laksono, "Mechanical properties of polypropylene composites with different reinforced natural fibers – a comparative study," *Journal of Ecological Engineering*, vol. 24, no. 7, pp. 311–317, 2023.
- [3] B. L. Rao, Y. Makode, A. Tiwari, O. Dubey, S. Sharma, and V. Mishra, "review on properties of banana fiber reinforced polymer composites," in *Materials Today Proceeding*, vol. 47, no. 1, 2021.
- [4] D. Kusić, U. Božić, M. Monzón, R. Paz, and P. Bordón, "Thermal and mechanical characterization of banana fiber reinforced composites for its application in injection molding," *Materials*, vol. 13, no. 16, pp. 3581–3598, 2020.

- [5] H. R. Nehete, “A Review on mechanical performance of banana fiber reinforced epoxy composites,” *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, vol. 4, no. 12, pp. 112–114, 2020.
- [6] S. M. Kumar T., Rajini N., Alavudeen A., S. Siengchin, V. Rajulu A., and N. Ayrilmis, “Development and analysis of completely biodegradable cellulose/banana peel powder composite films,” *Journal of Natural Fibers*, vol. 18, no. 1, pp. 151–160, 2021.
- [7] P. Luthra, R. Singh, and G. S. Kapur, “Development of polypropylene/banana peel (treated and untreated) composites with and without compatibilizer and their studies,” *Materials Research Express*, vol. 6, no. 9, 2019.
- [8] Y. Liang, B. Liu, B. Zhang, Z. Liu, and W. Liu, “Effects and mechanism of filler surface coating strategy on thermal conductivity of composites: a case study on epoxy/SiO₂-coated BN composites,” *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 164, p. 120533, 2021.
- [9] S. C. Shi and Y. Q. Peng, “Hydrophobicity and Macroscale Tribology behavior of stearic acid/hydroxypropyl methylcellulose dual-layer composite,” *Materials*, vol. 14, no. 24, 2021.
- [10] A. Patti, H. Lecocq, A. Serghei, D. Acierno, and P. Cassagnau, “The universal usefulness of stearic acid as surface modifier: applications to the polymer formulations and composite processing,” *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 96, pp. 1–33, 2021.
- [11] C. Del Angel et al., “Mechanical and rheological properties of polypropylene/bentonite composites with stearic acid as an interface modifier,” *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 132, no. 30, 2015.
- [12] R. Santiagoo, N. Kasmuri, S. Ramasamy, R. Ahmad, A. A. Ghani, and N. Zahari, “Characterization and comparison of oil palm empty fruit bunch fiber composite with and without stearic acid as compatibilizer in polypropylene/recycled acrylonitrile butadiene rubber matrices,” in *AIP Conference Proceeding*, 2021, vol. 2347, no. 1.
- [13] A. B. Martins and R. M. C. Santana, “Effect of carboxylic acids as compatibilizer agent on mechanical properties of thermoplastic starch and polypropylene blends,” *Carbohydrate Polymers*, vol. 135, pp. 79–85, 2016.
- [14] D. M. Nguyen et al., “Synergistic influences of stearic acid coating and recycled PET microfibers on the enhanced properties of composite materials,” *Materials*, vol. 13, no. 6, pp. 1–16, 2020.
- [15] T. B. Santoso, F. I. Aryanti, and T. D. A. Sitanggang, “Characterization of mechanical, thermal, and physical properties of polypropylene composites with rice husk filler using coupling agent maleic anhydride,” *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, vol. 12, no. 2, pp. 216–230, 2023.
- [16] D. Kusić, U. Božić, M. Monzón, R. Paz, and P. Bordón, “Thermal and mechanical characterization of banana fiber reinforced composites for its application in injection molding,” *Materials*, vol. 13, no. 16, p. 3581-3598, 2020.
- [17] S. N. M. F. Han, M. M. Taha, M. R. Mansor, and M. A. A. Rahman, “investigation of tensile and flexural properties of kenaf fiber-reinforced acrylonitrile butadiene styrene composites fabricated by fused deposition modeling,” *Journal of Engineering and Applied Science*, vol. 69, no. 1, 2022.
- [18] P. S. Minh and M.-T. Le, “Improving the melt flow length of acrylonitrile butadiene styrene in thin-wall injection molding by external induction heating with the assistance of a rotation device,” *Polymers*, vol. 13, no. 14, pp. 2288-2306, 2021.
- [19] B. Kumar Singh, U. Kumar Komal, Y. Singh, S. Singh Banwait, and I. Singh, “Development of banana fiber reinforced composites from plastic waste,” in *Materials Today Proceeding*, 2021, vol. 44, no. 1.
- [20] K. B. Prakash et al., “Influence of fiber volume and fiber length on thermal and flexural properties of a hybrid natural polymer composite prepared with banana stem, pineapple leaf, and s-glass,” *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2021, no. 1, 2021.
- [21] Y. Hernández et al., “Stearic acid as interface modifier and lubricant agent of the system: polypropylene/calcium carbonate nanoparticles,” *Polymer Engineering & Science*, vol. 59, no. s2, 2019.

- [22] U. C. Mark, I. C. Madufor, H. C. Obasi, and U. Mark, “Influence of filler loading on the mechanical and morphological properties of carbonized coconut shell particles reinforced polypropylene composites,” *Journal of Composite Materials*, vol. 54, no. 3, pp. 397–407, 2020.
- [23] G. George, A. P. Dev, N. N. Asok, M. S. Anoop, and S. Anandhan, “Dispersion analysis of nanofillers and its relationship to the properties of the nanocomposites,” in *Material Today Proceeding*, 2021, vol. 47, no. 15.
- [24] T. A. Nguyen and T. H. Nguyen, “Study on mechanical properties of banana fiber-reinforced materials poly (lactic acid) composites,” *International Journal of Chemical Engineering*, vol. 2022, no. 1, 2022.
- [25] Y. Zare, K. Y. Rhee, and D. Hui, “Influences of nanoparticles aggregation/agglomeration on the interfacial/interphase and tensile properties of nanocomposites,” *Composite Part B: Engineering*, 2017, vol. 122, pp. 41–46.
- [26] B. O. Ogunsile and T. G. Oladeji, “Utilization of banana stalk fiber as reinforcement in low density polyethylene composite,” *Matéria*, 2016, vol. 21, no. 4, pp. 953–963.
- [27] P. Venkateshwar Reddy, P. Rajendra Prasad, D. Mohana Krishnudu, and P. Hussain, “Influence of fillers on mechanical properties of *prosopis juliflora* fiber reinforced hybrid composites,” in *Materials Today Proceedings*, 2019, vol. 19, no. 1, pp. 384–387.