



Perbaikan Sifat Mekanik dan Penyerapan Air Komposit Polyester Diperkuat Serat Timoho – PVA Coating

Suteja ^{*1}, Syarif Hidayatullah ²

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Universitas Mataram, Indonesia

* Corresponding Author: E-mail: ^{*1}suteja@unram.ac.id

ABSTRACT

Investigasi ini memaparkan metode efektif perbaikan performa serat timoho sebagai penguat komposit polyester yaitu dengan perlakuan NaOH + PVA coating. Serat timoho sebagai penguat komposit polyester dibagi menjadi dua tipe yaitu serat timoho tanpa perlakuan dan serat diperlakukan NaOH + PVA coating. Komposit polyester – serat timoho difabrikasi dengan metode *hand lay up*. Performa komposit yang dikembangkan kemudian diuji karakteristik mekanik, penyerapan air, ketahanan termal dan morfologinya. Hasil pengujian memaparkan bahwa kekuatan tarik komposit mengalami peningkatan secara signifikan setelah perlakuan NaOH + PVA coating. Perlakuan PVA coating menurunkan persentase elongasi komposit, akan tetapi meningkatkan modulus elastisitas komposit. Hal serupa juga terjadi pada ketahanan termal dan ketahanan terhadap air yang meningkat secara signifikan. Pengamatan morphology foto SEM komposit polyester - timoho PVA coating menunjukkan ikatan *interface* yang lebih baik dengan matrik dibandingkan dengan komposit polyester – serat timoho tanpa perlakuan. Dari keseluruhan hasil pengujian menunjukkan bahwa perlakuan PVA coating serat timoho merupakan metode efektif dalam memperbaiki karakteristik komposit sebelum diaplikasikan pada lingkungan dengan kondisi berfluktuatif.

Keyword

Komposit Polyester,
Serat Timoho,
PVA Coating,
Sifat Mekanik,
Penyerapan Air

1. PENDAHULUAN

Performa serat *glass*, karbon atau kevlar masih lebih baik dibandingkan serat alam sehingga condong digunakan sebagai penguat komposit. Dikarenakan sifatnya yang tangguh, tahan abrasi dan durabilitas serta sifat ketahanan penyerapan air yang baik (Erdoğan et al., 2019). Namun terdapat sifat penting yang tidak dimiliki oleh serat sintesis yaitu sifat *biodegradable*, sehingga menjadi masalah pada lingkungan (Gapsari et al., 2021) serta biaya produksi bahan sintesis yang terus meningkat. Serat alam menjadi kandidat utama pengganti serat sintesis. Penguat dari sumber bio *renewable* bahan penguat komposit terus menarik perhatian peneliti dan rekayasawan material untuk mengembangkannya. Hal ini karena jumlah yang melimpah, murah, kuat dan ramah bagi lingkungan (Sari et al., 2021).

Pohon tanaman timoho terutama serat batangnya dapat menjadi sumber serat selulosa yang potensial dan menyediakan keuntungan ekonomi serta ekologi yang dapat

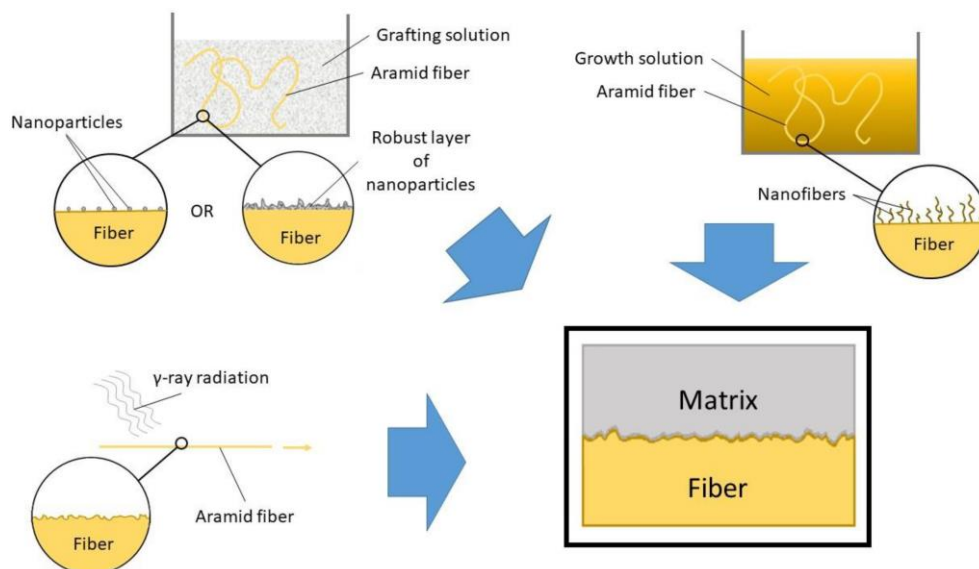
mudah tumbuh dimanapun (Randis et al., 2024). Kulit timoho merupakan jenis serat alam pada batang kulit yang umumnya digunakan sebagai tali tradisional dan mudah didapat, jumlah yang melimpah, murah serta kuat. Hal inilah yang menarik minat para peneliti untuk menginvestigasi serat timoho sebagai penguat komposit polimer. (Gapsari et al., 2022) telah menginvestigasi karakteristik serat timoho dengan variasi perlakuan NaOH. Mereka melaporkan bahwa serat timoho sangat potensial untuk dikembangkan sebagai penguat komposit polimer. Dengan kekuatan serat timoho maksimal didapat sebesar 454.127 MPa, selulosa sebesar 42.75% dan indeks kekeristalan sebesar 84.197%. oleh karena itu, serat timoho memiliki potensi sebagai bahan penguat dalam komposit ramah lingkungan. Serat timoho ini juga dapat dikembangkan untuk aplikasi konstruksi ringan. Perbaikan sifat komposit polyester diperkuat serat timoho dengan menambahkan serbuk juga telah dilakukan oleh (Gapsari, Andoko, et al., 2024). Penambahan pengisi berupa serbuk cangkang telur dan serbuk aluminium mampu meningkatkan modulus elastisitas, ketangguhan, dan resistansi termal. Pengisi serbuk cangkang telur dan serbuk aluminium memberikan resistansi termal terbaik karena konduktivitas termal yang relatif tinggi yaitu sebesar ± 1700 °C dibandingkan dengan komposit tanpa pengisi.

Perlakuan kimia dengan NaOH pada serat alam terbukti dapat menghilangkan hemiselulosa dan mengurangi kandungan lignin, namun sifat hidrofilik serat tetap tidak dapat dihilangkan sehingga masih mudah menyerap kelembaban. Peneliti terus berupaya meningkatkan ikatan antarmuka antara serat dan matriks dengan metode pelapisan. Salah satu bahan pelapis potensial untuk permukaan serat alam adalah PVA. Polimer alami ini memiliki dua kelompok fungsi utama: ikatan rangkap (C=C) yang dapat berpolimerisasi sendiri maupun bersama komponen lain, serta gugus hidroksil (AOH) yang mampu bereaksi dengan berbagai bahan kimia aktif seperti amina, anhidrida, dan isosianat. Metode pelapisan dengan PVA pada serat kenaf terbaru dilaporkan oleh (Abdul Kader et al., 2024). Mereka melaporkan bahwa serat kenaf yang diperlakukan dengan NaOH mampu meningkatkan ketahanan terhadap kelembaban, kekuatan dan kelenturan. Kemudian pelapisan PVA pada serat kenaf mampu meningkatkan kelenturan dan kekuatan benturan, namun mengurangi ketahanan terhadap kelembaban dan sifat mekanik.

Berdasarkan review di atas, perbaikan sifat penyerapan air, termal dan mekanik komposit serat timoho sangat penting untuk terus dilakukan. Metode yang ditawarkan ini yaitu dengan perlakuan alkali (NaOH) kemudian dilanjutkan dengan *coating* menggunakan polimer alami PVA. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi dan memberikan pemahaman yang rinci tentang perilaku mekanik, penyerapan air dan ketahanan termal komposit polyester diperkuat serat timoho akibat pelapisan PVA.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Metode pelapisan yang bertujuan untuk meningkatkan adhesi dan menciptakan ikatan mekanis dengan matriks dan serat timoho akan dibahas. Istilah “pelapisan” dalam konteks ini merujuk pada metode yang menambahkan jumlah material yang signifikan sebagai lapisan seragam atau semi-seragam pada permukaan serat. Pengikatan permukaan dengan PVA juga akan dibahas, meskipun pada tingkat molekuler mekanismenya adalah grafting. Hal ini karena PVA membentuk lapisan tebal dan seragam yang mirip pelapisan pada permukaan serat. Dalam pengikatan mekanis atau penguncian, dua permukaan yang berdekatan saling mengunci satu sama lain melalui tonjolan atau cekungan pada permukaan, seperti yang dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. skematis berbagai metode untuk menciptakan ikatan mekanis antara permukaan serat dan matriks (Palola et al., 2020).

Palola et al., (2020) telah mengungkapkan serat kenaf dengan NaOH, acetic anhydride dan PVA *coating*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa serat yang diolah dengan NaOH meningkatkan ketahanan terhadap kelembaban, kekuatan, dan kelenturan. Serat yang diolah dengan asam asetat anhidrida meningkatkan ketahanan terhadap kelembaban, kelenturan, dan kekuatan benturan. Pelapisan PVA meningkatkan kelenturan dan kekuatan benturan sambil mengurangi ketahanan terhadap kelembaban dan sifat mekanik lainnya. Kombinasi dari semua perlakuan yang diteliti meningkatkan kelenturan dan kekuatan benturan dengan mengorbankan kekakuan dan ketahanan terhadap kelembaban. Temuan mereka menyoroti potensi perlakuan kimia dalam mengoptimalkan sifat-sifat komposit bio untuk aplikasi canggih. Selanjutnya, kami (Suteja et al., 2025) telah melakukan perbaikan serat walikukun sebagai penguat komposit epoxy. Salah satunya dengan pelapisan pada serat walikukun. Hasil investigasi memaparkan bahwa serat walikukun yang diperlakukan terlebih dahulu dengan alkali (NaOH) dan kemudian dilapisi dengan polivinil alkohol (PVA) sebelum diintegrasikan ke dalam matriks epoksi. Analisis mekanik komprehensif menunjukkan bahwa kekuatan tarik meningkat dari 94,73 MPa pada serat yang tidak diolah menjadi 124,37 MPa pada komposit yang dilapisi NaOH dan PVA, sedangkan kekuatan lentur meningkat dari 131,73 menjadi 164,37 MPa. Laju penyerapan air komposit berkurang dari 4,77% menjadi 4,05% ketika serat dilapisi PVA.

3. METHODE

3.1 Material

Serat timoho, resin unsaturated polyester (UP) dengan katalist methyl ethyl ketone peroxide (MEKPO) dan polyvynil alcohol (PVA) adalah bahan utama yang digunakan dalam study ini. Serat timoho dikumpulkan dari desa Setanggor, kabupaten Lombok Tengah, sedangkan matrik polyester beserta katalis dibeli dari PT Justus Kimia Raya (Indonesia), dengan densitas dan kekuatan tarik resin polyester masing-masing sebesar 1.2 g/cm³ and 8.8 kg/mm². Serat timoho memiliki densitas dan kekuatan tarik sebesar 1.102 g/cm³ dan 454.127 MPa.

Lembaran serat timoho dipotong sesuai dengan ukuran spesimen uji tarik sedangkan untuk pengujian TGA dan penyerapan air menggunakan patahan spesimen tarik. Serat timoho

terlebih dahulu dilakukan modifikasi permukaan dengan cara merendam mereka di dalam larutan NaOH 9% selama 2 jam pada temperature ruangan ($\pm 27^\circ\text{C}$). Mereka lebih lanjut dibersihkan dengan air mineral sampai pH netral. Selanjutnya, serat timoho dilapis dengan PVA yang disiapkan dengan melarutkan 10 g PVA dalam 30 mL air suling dan memanaskannya di atas hot plate pada suhu di bawah 80°C , dengan kecepatan pengadukan 500 rpm. Serat timoho kemudian direndam dalam larutan tersebut selama 15 menit kemudian dikeringkan di dalam ruangan selama 3 hari.

3.2. Fabrikasi Komposit

Komposit polyester diperkuat serat timoho difabrikasi menggunakan metode *hand lay up* dengan tekanan 50 kg. Serat timoho ditempatkan pada cetakan plat baja. Adonan polyester + katalist (100:1) dicampur secara perlahan selama 1-3 menit untuk mencegah gelembung udara pada adonan. Adonan kemudian dituang ke dalam cetakan flat baja yang telah berisi serat timoho tanpa perlakuan (TPA) dan dengan perlakuan *coating* (TPB), kemudian ditekan selama 12 jam. Terdapat dua tipe komposit yang dikembangkan dalam penelitian ini, dimana fraksi volume penguat menggunakan 30% serat timoho sedangkan matrik polyester 70%.



Gambar 2. komposit polyester-serat timoho hasil fabrikasi.

3.3. Karakterisasi

Hasil fabrikasi komposit polyester diperkuat serat timoho dibentuk sesuai dengan mengacu pada standar ASTM D638 sedangkan pengujian lainnya menyesuaikan. Untuk setiap sampel pengujian terdapat masing-masing dua kali pengulangan dan kemudian dirata-rata.

3.3.1. Pengujian Kekuatan Tarik

Pengujian Tarik komposit polyester-serat timoho ditujukan untuk mengukur gaya yang dibutuhkan dan regangan yang terjadi sampai komposit mengalami kegagalan/patah. Pengujian ini mengacu pada standar ASTM D638 menggunakan *universal tensile machine merk RTG-1310 INSTRON* dengan *load cell* of 5 kN pada temperatur 26.7°C dan kelembaban relatif sebesar 56%. Panjang ukur uji tarik komposit polyester-serat timoho sebesar 57 mm dan laju peregangannya sebesar 2 mm/min.

3.3.2 Pengamatan Morphology

Morphology kegagalan uji tarik komposit polyester-serat timoho diamati dengan menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM). Pengamatan SEM ini dijalankan dengan menggunakan Phenom Pharos Desktop SEM *machine*, dengan arus dan tegangan masing-masing sebesar 8 mA dan 5 kV berturut-turut. Sebelum pengamatan dengan SEM, permukaan kegagalan komposit dilapisi terlebih dahulu dengan emas ketebalan $3\ \mu\text{m}$.

3.3.3. pengujian Thermogravimetric Analysis

Stabilitas termal komposit polyester-serat timoho diamati dengan penganalisis termogravimetri (DTG-60 SHIMADZU with serial number of C30565000570 (Kyoto, Japan)). Sekitar 5 mg sampel dipanaskan dari 30 hingga 1000 °C dengan laju pemanasan 10 °C/menit di bawah aliran nitrogen 50 cm³ /menit.

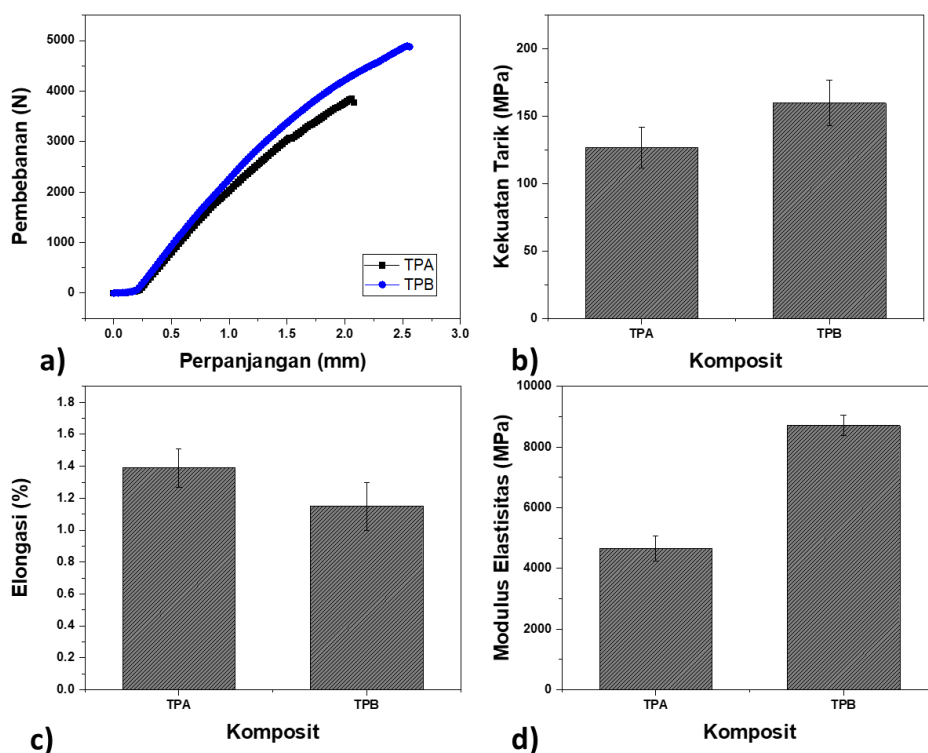
3.3.4. Pengujian Penyerapan Air

Study penyerapan air komposit polyester-serat timoho dilakukan dengan merendam komposit ke dalam aquades pada temperature ruangan. Sampel komposit dioven untuk menghilangkan kandungan atau kelembaban terserap terlebih dahulu pada temperature 105 °C sampai berat mereka stabil. Berat awal sampel ditimbang terlebih dahulu dengan Analytical balance (0.0001 g) kemudian ditimbang sekali dalam sehari untuk mendapatkan berat air terserap oleh komposit hingga stabil. Terdapat dua replika pengulangan pada pengujian penyerapan air oleh komposit ini, sehingga terdapat empat sampel yang diujikan. Persentase air terserap oleh komposit dihitung menggunakan persamaan 1 berikut.

$$W_{absorp}(\%) = \left(\frac{W_1 - W_0}{W_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kekuatan Tarik



Gambar 3. parameter kekuatan tarik komposit polyester-serat timoho; a) kerva tegangan-regangan, b) kekuatan tarik, c) elongasi, d) modulus elastisitas.

Gambar 3a menampilkan tipe kurva tegangan-regangan komposit polyester diperkuat serat timoho. Dari gambar 3a terlihat bahwa kegagalan komposit hybrid yang dikembangkan terjadi pada beban puncak beban, hal ini menunjukkan bahwa kegagalan polyester dan serat timoho terjadi secara bersamaan. Di bawah beban tarik, mikrofibril selulosa mengalami

tegangan geser karena orientasinya yang berbeda terutama pada serat dengan cukup lumen (Wirawan et al., 2022). Saat tegangan geser meningkat, ikatan hidrogen antara mikrofibril selulosa dan molekul kecil seperti hemiselulosa dan pektin mengalami kegagalan. Sudut antara mikrofibril selulosa dan sumbu sel secara bertahap menurun serta membentuk kembali ikatan hidrogen menjadi orientasi baru, sehingga menstabilkan modulus komposit.

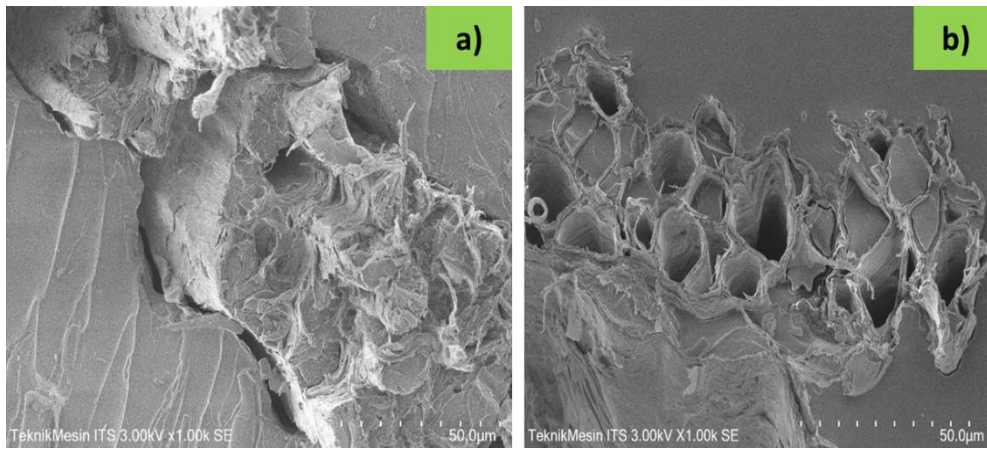
Perlakuan kimia dengan NaOH dan *coating* PVA memungkinkan interaksi antar muka antara serat dan matriks dimungkinkan, melalui peningkatan luas permukaan efektif yang tersedia untuk kontak dengan matriks, serta kemungkinan transfer beban antara matriks dan serat penguat yang lebih baik (Herlina Sari et al., 2025). Hal inilah menjadi penyebab meningkatnya kekuatan tarik (gambar 3b) sampel TPB dibandingkan dengan sampel TPA, masing-masing memiliki kekuatan tarik sebesar 159.91 MPa dan 126.85 MPa berturut-turut. Hasil ini sejalan dengan hasil foto SEM pada gambar 3 yang menunjukkan ikatan antarmuka serat timoho – matriks polyester yang sangat baik pada sampel TPB. Oleh karena itu kekuatan tarik sampel TPB lebih baik dibandingkan dengan sampel TPA.

Gambar 3c menampilkan persentase elongasi ketika patah komposit polyester berpenguat serat timoho dengan perlakuan berbeda. Dari gambar 3c terlihat bahwa terdapat kesesuaian data elongasi dengan modulus elastisitas komposit polyester-timoho pada gambar 3d. Nilai elongasi komposit polyester – timoho mengalami penurunan setelah diperlakukan NaOH + PVA *coating*. Hal ini menunjukkan fenomena yang bersesuaian dengan data modulus elastisitas komposit polyester-timoho. Elongasi komposit TPA sebesar 1.39% kemudian turun setelah serat timoho setelah diperlakukan NaOH + PVA *coating* menjadi 1.15%. Hal ini disebabkan oleh ketika sampel TPA diberikan beban tarik terjadi pergeseran serat dengan matrik sehingga terjadi peregangan sebelum sampel putus. Sedangkan sampel TPB dengan ikatan *interface* yang kuat maka tidak akan terjadi pergeseran. Ketika beban diberikan akan tetapi serat timoho dan matrik polyester bekerja secara bersama-sama dalam menahan beban tarik sampai patah (Yin et al., 2025).

Gambar 3d menunjukkan bahwa perlakuan NaOH + PVA *coating* serat timoho mampu meningkatkan modulus elastisitas dibandingkan komposit dengan penguat tanpa perlakuan. Komposit TPA memiliki modulus elastisitas sebesar 4652.31 MPa kemudian meningkat setelah diperlakukan NaOH + PVA *coating* menjadi 8715.72 MPa. Hal ini dikarenakan oleh lapisan PVA *coating* membentuk rantai ikatan mekanik dengan matrik polyester – serat timoho, sehingga mengurangi *mobility* komposit TPB ketika pembebanan tarik (Sau et al., 2021)

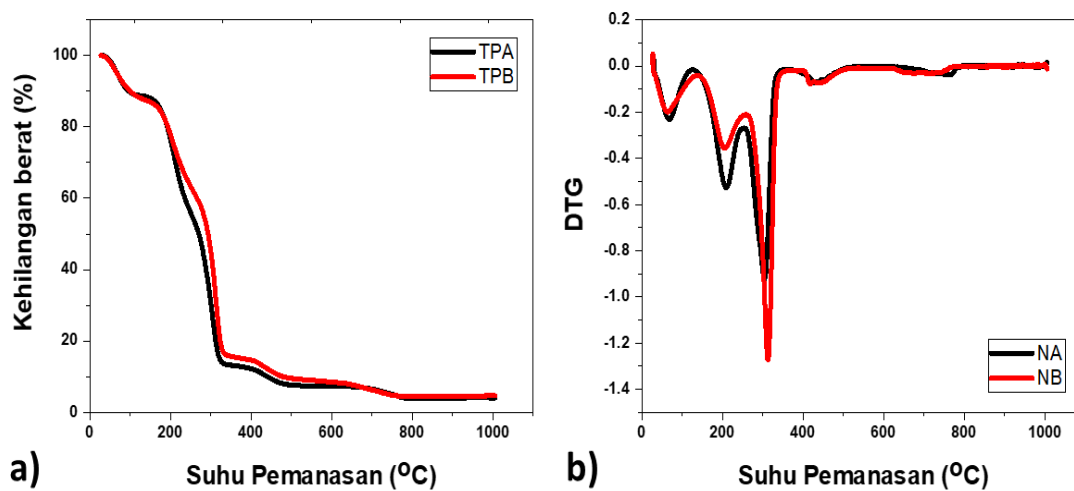
4.2. Pengamatan Patahan Komposit

Morphology patahan komposit polyester diperkuat serat timoho dengan perlakuan NaOH + PVA *coating* dan tanpa perlakuan ditampilkan pada gambar 4. Gambar 4a dengan jelas menunjukkan ikatan permukaan serat timoho – polyester yang kurang baik dan adanya celah di antara permukaan serat timoho dengan polyester yang merupakan akibat dari hadirnya senyawa impurities pada permukaan serat timoho. Hal tersebut tersebut menjadi penyebab dan mendukung alasan rendahnya nilai kekuatan tarik dari komposit TPA. Selanjutnya, pada gambar 4b terlihat bahwa ikatan permukaan serat timoho dengan polyester cukup baik setelah diperlakukan NaOH + PVA *coating*, dikarenakan senyawa pengotor pada permukaan serat timoho telah larut sehingga terlihat bahwa ikatan kedua penyusun komposit tersebut lebih padat. Hal ini menjadi pendukung meningkatnya nilai kekuatan dan kekakuan komposit serta merupakan akibat dari lepasnya senyawa lignin, wax dan impurities lainnya.



Gambar 4. morphology patahan kekuatan tarik komposit polyester-serat timoho.

4.3. Themogravimetric analysis (TGA)



Gambar 5. kurva; a) TGA, b) DTG komposit polyester-serat timoho.

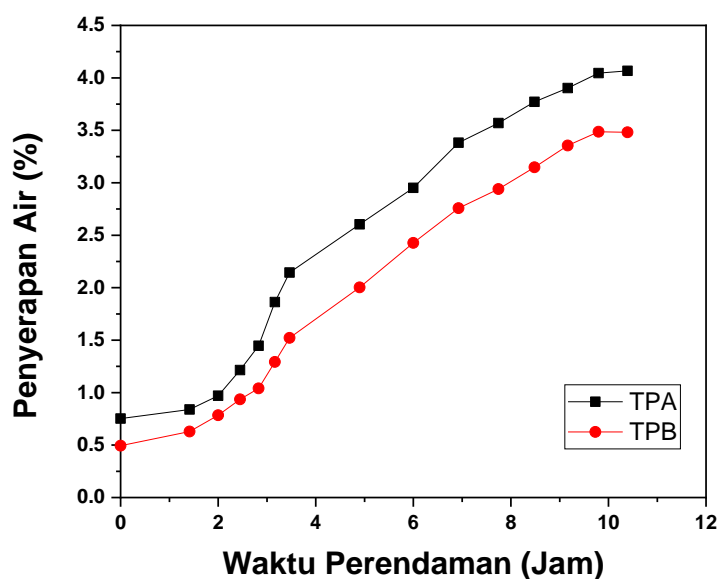
Stabilitas termal Komposit polyester – serat timoho sangat penting untuk diinvestigasi sebelum diaplikasikan dalam kisaran temperatur tertentu. TGA digunakan untuk menentukan degradasi berat komposit terhadap fungsi dari peningkatan temperatur, sehingga dapat dinilai stabilitas termal suatu komposit yang dikembangkan. TGA sampel dilakukan dalam kisaran suhu terprogram pada 27–1000 °C yang dilanjutkan dengan pemaparan analisis terlihat pada gambar 5. Perlakuan kimia serat timoho dengan NaOH + PVA *coating* sebagai penguat matriks polyester mampu meningkatkan stabilitas termal komposit, sebagaimana ditampilkan pada gambar 5a dan 5b. Komposit polyester diperkuat serat timoho terjadi penurunan berat pertama yaitu pada temperatur sekitar 75 dan 200 °C yang berkaitan dengan penguapan molekul air atau kadar air komposit (Andoko et al., 2023). Yang bahkan senyawa lignin pada serat timoho sudah mulai terdegradasi. Senyawa lignin terdekomposisi dan terdegradasi pada temperatur 160 °C sampai 900 °C. Selanjutnya, Tahap degradasi terbesar diamati komposit polyester diperkuat timoho pada temperatur 280 °C – 350 °C. Pada kondisi temperatur tersebut merupakan fenomena terjadinya pemutusan rantai statistik, di mana stirena yang merupakan produk utama polyester pada kisaran suhu 360 hingga 400 °C.

Demikian juga senyawa penyusun serat timoho seperti hemiselulosa dan selulosa yang terdegradasi pada masing-masing temperatur yaitu 250 °C sampai 350 °C dan 400 °C ke atas berturut-turut. Dengan penambahan perlakuan tambahan PVA *coating* serat timoho mampu membentuk inklusi interaksi serat timoho dengan matrik polyester (Gapsari, Wijatmiko, et al., 2024). Hal inilah yang selanjutnya mampu mengurangi dekomposisi komposit TPB karena mobilitas menjadi terbatas.

4.4. Penyerapan Air

Serat alam (serat timoho) pada dasarnya terdiri dari senyawa lignoselulosa yang memiliki sifat alami menyerap air. Oleh karena itu, komposit polyester yang diperkuat serat timoho juga akan menyerap air dan akan akan merusak stabilitas dimensi dan menurunkan sifat mekaniknya. Selain itu, sifat hidrofilik serat alam meningkatkan penyerapan air dalam komposit. Penyerapan air juga tergantung pada kandungan rongga dalam resin, relaksasi resin dengan adanya kelembaban dan suhu tinggi, dan pengikatan molekul air ke struktur molekul resin (Sugiman et al., 2021). Persentase air terserap ke dalam komposit polyester-WF dengan treatement yang berbeda ditampilkan pada gambar 5. Sampel komposit TPA memiliki penyerapan air yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel TPB yaitu masing-masing sebesar 4.067% dan 3.48% (Suganthi et al., 2020). Sampel komposit TPB yang serat timoho dilapisi dengan PVA menunjukkan persentase penyerapan air yang lebih rendah daripada tanpa pelapisan. Hal ini dikarenakan oleh rantai rantai panjang unit vinil alcohol, yang diproduksi melalui polimerisasi vinil asetat, diikuti dengan hidrolisis pada permukaan serat timoho yang menolak penyerapan air.

Beberapa penulis telah menemukan perlakuan alkali dengan NaOH mampu untuk mengurangi penyerapan air dari serat alam, sehingga menjadi penjelasan utama yang dapat diterima bahwa perlakuan NaOH dapat mengurangi bahkan menghilangkan senyawa lignin dan hemiselulosa dari permukaan serat. Sedangkan lapisan PVA menjadi penghambat terdifusinya air ke dalam serat timoho yang pada akhirnya komposit TPB memiliki penyerapan air lebih rendah dibandingkan dengan komposit TPA.



Gambar 6. kurva penyerapan air komposit polyester-serat timoho.

5. KESIMPULAN

Perlakuan NaOH + PVA *coating* pada serat timoho mampu meningkatkan kekuatan tarik komposit polietser dari 126.85 MPa menjadi 159.91 MPa. Foto SEM morphology patahan komposit dengan jelas mengkonfirmasi bahwa ikatan *interlocking* serat dengan matrik sangat baik dan padat setelah NaOH + PVA *coating* serat timoho. Ketahanan termal komposit TPB lebih stabil akibat ikatan yang dihasilkan oleh polyester – serat timoho – PVA *coating* dibandingkan dengan komposit TPA. Perlakuan *coating* PVA pada permukaan serat timoho juga memberikan efek yang signifikan terhadap ketahanan terhadap penyerapan air sehingga meningkatkan ketahanan pakai dari komposit yang dihasilkan juga.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Kader, M., Islam Hridoy, M., Tanvir Khan Somrat, M., Abdul Wares, M., Mamun Rasid, S. R., & Toufiq Imrose Khaledi, M. (2024). Effect of Chemical Treatments and PVA Coating of Fiber on the Properties of Kenaf Fiber Reinforced Epoxy Composites ARTICLE INFORMATION ABSTRACT. In *Journal of Engineering and Applied Science* (Vol. 08, Issue 02). www.jeas.ruet.ac.bd
- Andoko, A., Gapsari, F., Diharjo, K., M R, S., & Siengchin, S. (2023). Isolation of microcellulose from timoho fiber using the process of delignification and maceration: Evaluation of physical, chemical, structural, and thermal properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 224, 48–54. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.10.225>
- Erdoğan, M. K., Karakışla, M., & Saçak, M. (2019). Preparation and characterization of electrically semi-conductive polyfuran-coated poly(ethylene terephthalate) fibers. *The Journal of The Textile Institute*, 110(2), 282–288. <https://doi.org/10.1080/00405000.2018.1477487>
- Gapsari, F., Andoko, A., Diharjo, K., Sanjay, M. R., & Siengchin, S. (2024). The effectiveness of isolation and characterization nanocellulose from Timoho fiber for sustainable materials. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(14), 16487–16497. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03672-x>
- Gapsari, F., Purnowidodo, A., Hidayatullah, S., & Suteja, S. (2021). Characterization of Timoho Fiber as a reinforcement in green composite. *Journal of Materials Research and Technology*, 13, 1305–1315. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.05.049>
- Gapsari, F., Purnowidodo, A., Setyarini, P. H., Hidayatullah, S., Suteja, Izzuddin, H., Subagyo, R., Mavinkere Rangappa, S., & Siengchin, S. (2022). Properties of organic and inorganic filler hybridization on Timoho <scp>Fiber-reinforced</scp> polyester polymer composites. *Polymer Composites*, 43(2), 1147–1156. <https://doi.org/10.1002/pc.26443>
- Gapsari, F., Wijatmiko, I., Andoko, A., Diharjo, K., Mavinkere Rangappa, S., & Siengchin, S. (2024). Modification on Fiber from Alkali Treatment and AESO Coating to Enhance UV-Light and Water Absorption Resistance in Kapok Fiber Reinforced Polyester Composites. *Journal of Natural Fibers*, 21(1). <https://doi.org/10.1080/15440478.2024.2383970>
- Herlina Sari, N., Hidayatullah, S., & Maharsa Pradityatama, dan. (2025). KARAKTERISTIK DELAMINASI DAN MEKANIK KOMPOSIT EPOXY LAMINAT ANYAMAN SERAT KULIT KAPOK-ALUMINIUM (Vol. 25, Issue 2).
- Palola, S., Vuorinen, J., Noordermeer, J. W. M., & Sarlin, E. (2020). Development in additive methods in aramid fiber surface modification to increase fiber-matrix adhesion: A review. In *Coatings* (Vol. 10, Issue 6). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/COATINGS10060556>

- Randis, R., Darmadi, D. B., Gapsari, F., & Sonief, A. A. A. (2024). Isolation and characterization of microcrystalline cellulose from oil palm fronds biomass using consecutive chemical treatments. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100616>
- Sari, N. H., Suteja, S., Fudholi, A., Zamzuriadi, A., Sulistyowati, E. D., Pandiatmi, P., Sinarep, S., & Zainuri, A. (2021). Morphology and mechanical properties of coconut shell powder-filled untreated cornhusk fibre-unsaturated polyester composites. *Polymer*, 222. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2021.123657>
- Sau, S., Pandit, S., & Kundu, S. (2021). Crosslinked poly (vinyl alcohol): Structural, optical and mechanical properties. *Surfaces and Interfaces*, 25, 101198. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2021.101198>
- Suganthi, S., Vignesh, S., Kalyana Sundar, J., & Raj, V. (2020). Fabrication of PVA polymer films with improved antibacterial activity by fine-tuning via organic acids for food packaging applications. *Applied Water Science*, 10(4), 100. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-1162-y>
- Sugiman, S., Setyawan, P. D., Maryudi, M., & Madnasri, S. (2021). Water absorption, tensile, flexural and impact properties of aged bamboo fibre/nano CaCO₃-modified unsaturated polyester composites. *Journal of Applied Science and Engineering*, 24(2), 239–251. [https://doi.org/10.6180/jase.202104_24\(2\).0013](https://doi.org/10.6180/jase.202104_24(2).0013)
- Suteja, Hidayatullah, S., Gapsari, F., Purnowidodo, A., Susanti, L., Rangappa, S. M., & Siengchin, S. (2025). Enhancing the performance of natural fiber composites: Integrating Walikukun fiber and aluminum filler in epoxy matrices. *Reactive and Functional Polymers*, 214. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2025.106302>
- Wirawan, W. A., Chiron, Moch. A., Siswanto, E., & Widodo, T. D. (2022). Morphology, Structure, and Mechanical Properties of New Natural Cellulose Fiber Reinforcement from Waru (*Hibiscus Tiliaceus*) Bark. *Journal of Natural Fibers*, 19(15), 12385–12397. <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2060402>
- Yin, C., Wang, X., Han, Z., Yang, H., Yang, K., Zheng, W., Guan, Q., & Yu, S. (2025). Preparation, Rheological Behavior, and Redispersibility of Bamboo-Derived Holocellulose Nanofibers. *SmartMat*, 6(2). <https://doi.org/10.1002/smm2.70001>