

ANALISIS AESO POLYMER COATING PADA SERAT WARU TERHADAP SIFAT MEKANIK, PENYERAPAN AIR DAN MORPHOLOGY KOMPOSIT POLYESTER

-
- 1) Jurusan Teknik Mesin,
Universitas Mataram, Jl.
Majapahit, No. 62
Mataram, Indonesia.
 - 2) Jurusan Teknik Mesin,
Universitas Mataram, Jl.
Majapahit, No. 62
Mataram, Indonesia.
 - 3) Jurusan Teknik Mesin,
Universitas Mataram, Jl.
Majapahit, No. 62
Mataram, Indonesia.

Corresponding email ^{1*)} :
suteja@unram.ac.id

Received: 04-02-2025
Accepted: 16-03-2025
Published: 28-12-2025

©2025 Politala Press.
All Rights Reserved.

Suteja^{1*)}, Nasmi Herlina Sari²⁾, Syarif Hidayatullah³⁾

Abstrak. Pada penelitian ini, dilaporkan metode peningkatan performa serat waru penguat komposit dengan perlakuan NaOH dan AESO coating. Serat waru (WF) sebagai pengisi komposit divariasikan raw WF (WR), WF NaOH treatment (WH) dan WF diperlakukan NaOH+AESO coating (WHC) dan diuji karakteristik mekanik, penyerapan air dan morphology dari komposit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan bending dan tarik mengalami peningkatan tertinggi masing-masing sebesar 27.65% dan 58.66% berturut-turut untuk komposit WHC. Perlakuan AESO coating menurunkan persentase elongasi komposit, akan tetapi meningkatkan modulus elastisitas komposit. Morphology foto SEM komposit menunjukkan adanya penggumpalan serat, fiber pull out, dan terperangkapnya void. WF dengan perlakuan NaOH menunjukkan ikatan interface yang lebih baik dengan matrik polyester. Untuk perlakuan AESO coating terlihat adanya interaksi permukaan WF-matrik polyester dengan timbulnya hackle pada permukaan patahan komposit.

Kata Kunci: Serat waru, NaOH, Coating AESO, Penyerapan air, sifat mekanik.

Abstract. In this study, a method of improving the performance of waru fiber reinforcement composites by NaOH and AESO coating treatment is reported. Waru fiber (WF) as composite filler was varied raw WF (WR), NaOH treated WF (WH) and NaOH+AESO coating treated WF (WHC) and tested for mechanical characteristics, water absorption and morphology of the composites. The results showed that the bending and tensile strength increased the highest by 27.65% and 58.66% respectively for WHC composites. AESO coating treatment decreased the elongation percentage of the composite, but increased the elastic modulus of the composite. The SEM photo morphology of the composites showed fiber clumping, fiber pull out, and trapped voids. NaOH-treated WF showed better interface bonding with polyester matrices. For the AESO coating treatment, the WF-polyester matrix surface interaction was observed with hackles appearing on the composite fracture surface.

Keywords: Waru fiber, NaOH, AESO coating, Water absorption, Mechanical Properties.

To cite this article: <https://doi.org/10.34128/je.v12i2.340>

1. Pendahuluan

Serat sintetis (*glass*, karbon atau kevlar dan lainnya) lebih condong digunakan sebagai penguat komp karena sifatnya yang tangguh, kuat, tahan abrasif dan durabilitas yang baik [1]. Akan tetapi, sifat *non biodegradable* menjadi masalah pada lingkungan dengan permintaan yang terus meningkat [2] sementara itu harga dan biaya produksi bahan sintetis terus meningkat. Oleh karena itu, sumber bio renewable baik penguat ataupun matrik bahkan keduanya sebagai material penyusun komposit terus menarik untuk dikembangkan dalam dekade terakhir ini karena jumlah yang melimpah, murah, kuat dan ramah lingkungan [3].

Tanaman waru dapat menjadi sumber selulosa yang besar dan menyediakan keuntungan ekonomi dan ekologi yang dapat tumbuh diberbagai kondisi alam [4]. Waru *fiber* (WF) merupakan jenis serat alam yang umum digunakan sebagai penguat komposit [5] karena jumlah yang melimpah, murah, kuat dan ramah lingkungan. Beberapa investigasi terkait dengan komposit polimer berpenguat serat waru telah dilakukan dan dipublikasikan [6], [7]. Serat waru memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 152,77 MPa, indeks kristalinitas serat (CI) sebesar 56,54%, dan uji X-Ray Fluorescence (XRF) menunjukkan rasio komposisi O = 48,63% dan C = 36,74% [8]. Selanjutnya [5] telah membuat komposit polyester berpenguat serat alam dari limbah pabrik. Mereka melaporkan bahwa serat orientasi searah memiliki kekuatan tarik sebesar 76,5 MPa dan kekuatan lentur sebesar 151,3 MPa. Yang menunjukkan bahwa komposit poliester yang diperkuat dengan limbah serat alam menunjukkan sifat tarik dan lentur yang setara dengan komposit yang terbuat dari serat pada umumnya.

Karakteristik komposit polimer berpenguat serat alam sangat tergantung pada komposisi kimia dan struktur serat yang digunakan. Pada umumnya performa komposit mekanik yang tinggi terkait dengan kandungan selulosa yang tinggi dengan mikrofibril selulosa dari serat [9]. Perlakuan kimia (alkali) serat memerlukan peran penting terhadap wettability dan perilaku mekanik komposit meningkatkan kekasaran serat yang pada gilirannya meningkatkan *mechanical interlocking* [10], [11]. Hal serupa dalam peningkatan sifat fisik dan kimia, serat *Tridax procumbens* yang diperlakukan NaOH. Akan tetapi ketika konsentrasi NaOH terlalu tinggi maka akan berdampak negatif pada serat karena penghilangan selulosa dan lignin dalam jumlah tinggi. Pengaruh fraksi volume serat yang berbeda pada sifat mekanik, fisik dan kimia komposit poliester yang diperkuat serat sembukan (Sembukan/polyester) telah dilaporkan bahwa komposit yang mengandung 10% serat sembukan dan 15% serbuk Mg memberikan kekuatan tarik maksimum sebesar $38,17 \pm 1,65$ MPa, kekuatan lentur tertinggi mendekati 70 MPa, dan tahan terhadap panas [10]. Dengan bertambahnya jumlah serbuk magnesium, analisis tribologi menggunakan intensitas keausan massa dan intensitas keausan linier cenderung rendah. Ketika 20% magnesium ditambahkan, komposit dengan fraksi volume serat 10% menunjukkan karakteristik keseluruhan yang lebih baik daripada komposit dengan persentase serat 5%.

Walaupun perlakuan alkali pada serat alam menyebabkan hilangnya hemiselulosa dan kurangnya lignin, akan tetapi sifat hidrofilik serat alam tidak bisa dihindari dan rentan terhadap kelembaban. Banyak peneliti telah mencoba untuk meningkatkan ikatan antarmuka serat-matriks. Salah satu pelapis yang potensial untuk melapisi permukaan serat alam yaitu minyak kedelai epoksidasi akrilat (AESO), yang berasal dari epoksidasi diikuti oleh akrilasi minyak kedelai, tersedia secara komersial di bidang industri, seperti pelapis dan perekat. AESO mengandung dua jenis gugus fungsi: ikatan rangkap (C=C) yang dapat mengalami polimerisasi sendiri dan kopimerisasi dengan komponen lain; dan gugus hidroksil (OH) dan cincin epoksi, keduanya dapat bereaksi dengan beberapa bahan kimia aktif, termasuk amina, anhidrida, dan isosianat [12].

Dari penelitian sebelumnya, diketahui bahwa penelitian yang berkaitan dengan sifat penyerapan air dan mekanik komposit serat waru sangat penting. Sehingga diperlukan perlakuan alkali (NaOH) kemudian diikuti dengan coating polimer AESO, maka perlu dilakukan investigasi lebih lanjut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki dan memberikan pemahaman yang rinci tentang perilaku mekanik dan penyerapan air komposit polyester diperkuat waru dengan perlakuan yang berbeda.

2. Metodologi

Bahan Penelitian

Serat waru dengan nama latin *Hibiscus tiliaceus* diperoleh dari dan merupakan sisa yang tidak terpakai untuk keperluan ekspor. Resin unsaturated polyester dibeli dari PT Justus Kimia Raya, Surabaya Indonesia, satu paket dengan methyl ethyl keton peroxide (MEKP) dengan campuran 1% dari volume polyester.

Perlakuan Serat Waru

Terdapat tiga macam serat waru yang digunakan sebagai penguat resin unsaturated polyester (lihat tabel 1). Perlakuan NaOH 9% dilakukan pada serat waru bersih dan kering. Serat waru 50 gr direndam dalam 5000 ml NaOH 9% selama 120 menit, dilanjutkan dengan pembersihan serat waru 10 kali untuk menjamin tidak adanya sisa larutan NaOH yang menempel. Serat waru kemudian dijemur di bawah sinar matahari dan disimpan pada plastik kedap udara. Mengacu pada laporan [13] raw waru dan waru diperlakukan NaOH dipisahkan menjadi dua bagian lagi untuk proses *coating* dengan AESO polimer. Proses ini dimulai dengan pencampuran *magnetic stirrer* antara 100 g AESO dalam larutan 1000 ml ethanol hingga AESO selama 30 menit. Kemudian 0.05 g Irgacure ® 819 ditambahkan dan diaduk kembali dengan pada tempat yang sama pada kondisi ruangan selama 30 menit. Larutan coating disimpan dalam temperatur ruangan dan siap diaplikasikan. Fotopolimerisasi serat waru dilakukan dengan merendam serat waru 100 g di dalam larutan coating selama 10 menit diikuti dengan memberikan cahaya radiasi dari lampu UV 450 W (55,7 W atau $7,7 \times 10^{19}$ foton/s, pada <325 nm) (Ace Glass Inc., Vineland, NJ). Lampu UV digantung di dalam *chamber*, sementara serat waru ditempatkan di bawah lampu supaya terjadi proses fotopolimerisasi. Serat waru hasil *coating* siap dijadikan penguat komposit.

Fabrikasi Komposit

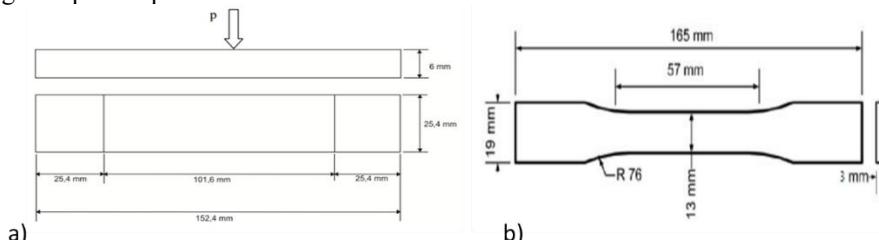
Komposit polyester berpenguat serat waru difabrikasi dengan metode *hand lay up* dengan arah serat *continous longitudinal*. Tiga tipe serat waru disiapkan masing-masing dengan fraksi volume serat 30% disiapkan dan ditempatkan di atas plat baja dengan cetakan karet silikon sesuai dengan bentuk dan dimensi standar pengujian. Disamping itu resin polyester dicampur dengan katalis 1% dari fraksi volume resin hingga homogen. Adonan kemudian dituang ke dalam cetakan yang telah berisi serat waru hingga membasahi dengan sempurna. Cetakan kemudian ditutup dengan plat baja dan proses aging selama 24 jam. Specimen kemudian dikeluarkan dari dalam cetakan dan difinishing untuk di tentukan sifat mekaniknya. Jenis perlakuan dan komposisi masing-masing variasi komposit dapat dilihat pada Tabel 1 dan terdapat 3 kali pengulangan pengujian dari setiap tipe perlakuan serat waru.

Tabel 1. Komposisi dan jenis perlakuan serat waru sebagai penguat polyester.

Kode	Keterangan perlakuan penguat	Fraksi volume (%)	
		Serat waru	Polyester
WR	Raw waru	30	70
WH	Waru NaOH	30	70
WHC	Coating Waru NaOH	30	70

Pengujian Bending

Ketahanan lentur komposit polyester yang dibebankan dengan metode *three point bending* mengacu pada standar ASTM D790. Bentuk dan dimensi sampel uji sesuai dengan Gambar 1a. Universal Tensile Machine (UTM) merk RTG-1310 digunakan untuk *uji three point bending* komposit dengan kecepatan pembebahan (cross section) 5 mm/min dengan kapasitas pembebahan 20 kN.



Gambar 1. bentuk dan dimensi komposit: a) uji bending, b) uji tarik.

Pengujian Tarik

Pengujian Tarik dilakukan pada alat yang sama untuk uji bending yaitu Universal Tensile Machine (UTM) merk RTG-1310 dan dijalankan pada temperatur ruangan. Total terdapat 3 pengulangan spesimen komposit untuk pengujian Tarik, kecepatan pembebahan Tarik mesin ditentukan sebesar 5 mm/min sampai spesimen patah. Mesin uji Tarik terintegrasi dengan komposit untuk langsung mendapatkan nilai tegangan, displacement, elongation, kekuatan Tarik dan modulus elastisitas. Bentuk dan dimensi spesimen ditampilkan pada Gambar 1b.

Pengujian SEM

Patahan permukaan bekas uji Tarik spesimen komposit diamati permukaan kegagalan menggunakan SEM (JEOL, JSM-SS200). Penampang sampel komposit polyester-waru dilapisi dengan emas menggunakan pelapis vakum sputter agar konduktif sebelum pengamatan SEM pada 3 kV dan 15 mA.

Pengujian Penyerapan Air

Investigasi penyerapan air komposit polyester-waru dilakukan dengan merendam komposit dalam aquades pada temperatur ruangan. Sampel komposit di oven untuk menghilangkan kandungan atau kelembaban terserap terlebih dahulu pada temperatur 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 3 replika pengulangan pada pengujian penyerapan air oleh komposit ini, sehingga terdapat 12 sampel yang diujikan. Persentase air terserap oleh komposit dihitung menggunakan persamaan 1 berikut.

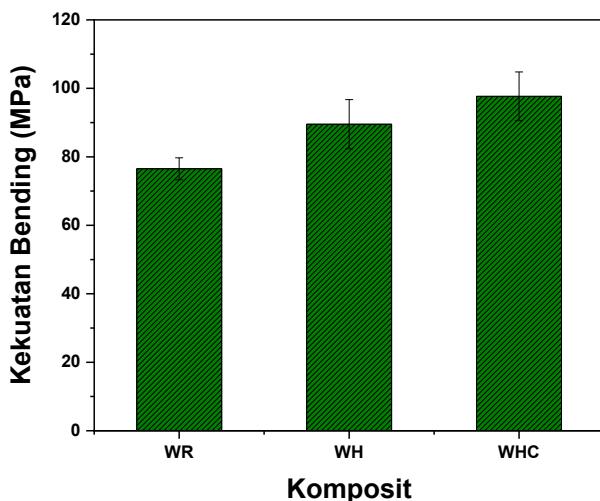
$$W_{absorb}(\%) = \left(\frac{W_1 - W_0}{W_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Analisa Kekuatan Bending

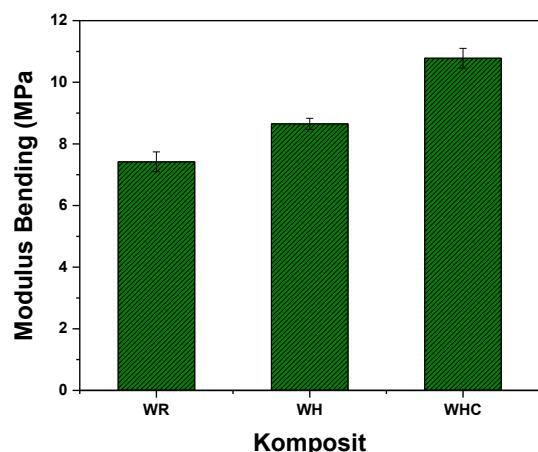
Kekuatan bending komposit polyester berpenguat serat waru dengan NaOH dan *coating AESO treatment* ditampilkan pada Gambar 2. Perlakuan NaOH pada serat waru meningkatkan dengan signifikan kekuatan bending

atau dengan kata lain meningkatkan kekakuan komposit dibandingkan dengan komposit berpenguat serat waru tanpa perlakuan. Dari Gambar 2 terlihat bahwa coating treatment pada serat tidak memberikan efek yang signifikan terhadap kekuatan bending komposit polyester-waru. Komposit WR menghasilkan kekuatan bending sebesar 76.52 MPa, rendahnya kekuatan bending komposit WR disebabkan oleh lemahnya ikatan *interface* WF-poliesther dan adanya penggumpalan WF pada komposit WR seperti yang ditampilkan pada foto SEM (lihat gambar 7a). Selanjutnya, perlakuan NaOH pada serat waru menyebabkan komposit WH memiliki kekuatan bending meningkat cukup signifikan yaitu menjadi 89.56 MPa atau meningkat sebesar 17.04% dari komposit WR. Hal ini mungkin disebabkan oleh ikatan serat dengan matriks polyster sehingga meningkatkan interaksi serat-matriks. Arti penting dari perlakuan alkali adalah terganggunya ikatan hidrogen pada permukaan serat, sehingga meningkatkan kekasaran permukaan yang pada akhirnya meningkatkan ikatan mekanik serat waru dengan polyster. Perlakuan alkali meningkatkan interaksi matriks serat dengan menghilangkan lignin dan hemiselulosa, yang menyebabkan penggabungan serat dengan matriks yang lebih baik [14], [15].



Gambar 2. Kekuatan bending komposit polyester diperkuat serat waru variasi perlakuan.

Selanjutnya pada komposit WHC juga mengalami peningkatan kekuatan bending menjadi 97.68 MPa yang kemungkinan sebagai akibat dari interaksi ikatan melalui AESO coating WF dengan matrix polyster serta ikatan *interlocking* WF-poliesther. Coating AESO yang merupakan polimer alami akan membentuk ikatan rantai baru dengan polyster *interlocking* dengan serat waru. Kurang optimalnya kekuatan bending ini kemungkinan besar disebabkan oleh *adhesi* antar muka serat-matriks yang lemah menyebabkan beban tidak dapat ditransfer dengan baik dari resin ke serat dan oleh karena itu sebagian besar beban ditahan oleh resin itu sendiri. Serta dengan adanya ruang kosong antara serat dan matriks bertindak sebagai cacat pada resin, dan mereka memulai retakan pada tegangan yang lebih rendah daripada tegangan kegagalan resin. seperti yang ditunjukkan gambar SEM [16]. Selain itu, fenomena distribusi serat di dalam komposit, yang mana serat ditata/disebar secara merata pada komposit sangat ditentukan oleh arah aliran penuangan matriks polyster [17]. Penggumpalan WF juga kesalahan dapat terjadi sebagai akibat dari penekanan yang dilakukan secara manual.

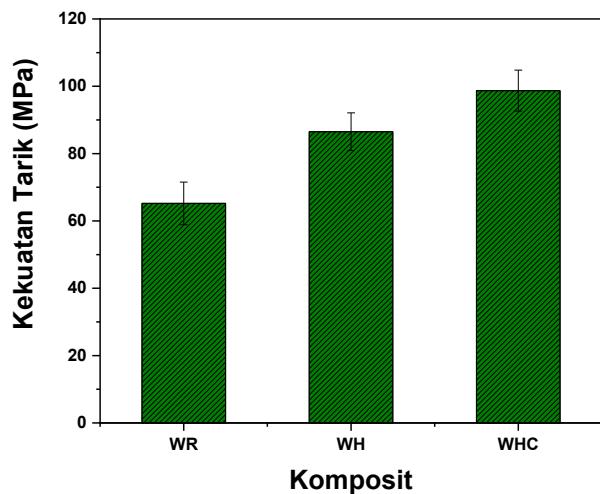


Gambar 3. Modulus bending komposit polyester diperkuat serat waru variasi perlakuan.

Modulus bending komposit polyester serat waru ditampilkan pada Gambar 3. Seperti yang terlihat pada Gambar 3 perlakuan NaOH + AESO *coating* secara umum meningkatkan nilai modulus bending komposit polyester dikarenakan oleh polimer AESO coating mampu meningkatkan kekakuan serat waru, ditambah lagi setelah dijadikan penguat pada komposit polyester akan terbentuk ikatan *interface* melalui reaksi polimer AESO dengan polyester. Modulus bending komposit WR memiliki nilai sebesar 7.42 GPa, setelah WF diperlakukan NaOH 7% komposit WH memiliki modulus bending sebesar 8.65 GPa dan komposit WHC memiliki modulus elastisitas sebesar 10.78 GPa. Hal ini menunjukkan bahwa kekakuan komposit polyester sangat ditentukan oleh perlakuan AESO coating dan NaOH dari WF yang berakibat terbentuknya *interlocking* antara WF dengan polyester.

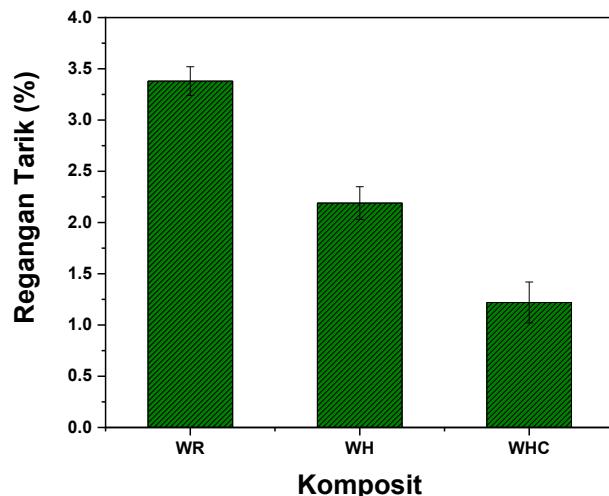
Analisa Kekuatan Tarik

Mengacu pada perlakuan alkali serat alam perlakuan alkali serat *Grape Cane* mampu meningkatkan kekuatan tarik komposit polyester [18]. Penambahan AESO pada komposit polyester tidak memberikan pengaruh terhadap kekuatan tarik bahkan menurunkan kekuatan bending komposit ketika AESO ditambahkan ke dalam komposit styrene-poliester. Fenomena ini berbeda kasus dalam penelitian ini, Gambar 4 menampilkan kekuatan tarik komposit polyester-WF dengan variasi perlakuan. Pada Gambar 4 terlihat bahwa komposit WR memiliki kekuatan tarik sebesar 65.21 MPa, rendahnya kekuatan tarik komposit pada sampel ini disebabkan oleh struktur utama serat waru masih terbungkus pengotor sehingga kurang mampu berikatan dengan resin polyester. Sedangkan setelah perlakuan NaOH 7% yaitu komposit WH, kekuatan tarik meningkat signifikan menjadi 86.52 MPa dari tanpa perlakuan (komposit WR). Kasus ini kemungkinan disebabkan oleh penghilangan lignin dan lilin yang berlebihan selama pengolahan, bersama dengan hemiselulosa, mengganggu situs ikatan WF dengan polyester. Selain itu, daerah selulosa mungkin menjadi lebih mudah diakses selama uji penyerapan air [18].

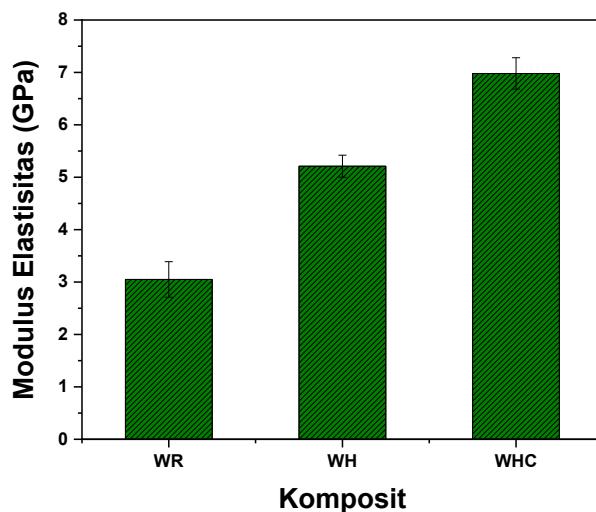


Gambar 4. Kekuatan tarik komposit polyester diperkuat serat waru variasi perlakuan.

Meningkatnya kekuatan mekanik komposit maksimal setelah perlakuan WF NaOH 7% disebabkan oleh bahan pengotor di daerah antar serat berkurang dan menurun dengan meningkatnya konsentrasi larutan alkali, Sebagai konsekuensinya: (i) interaksi antar muka antara serat dan matriks dimungkinkan, (ii) hal ini meningkatkan luas permukaan efektif yang tersedia untuk kontak dengan matriks, dan (iii) kemungkinan transfer beban antara matriks dan serat penguat. Penurunan berat serat Alfa setelah perlakuan alkali; dapat dijelaskan dengan pengurangan diameter serat yang luar biasa oleh fakta pelarutan hemiselulosa. Hal ini disebabkan oleh lapisan coating pada WF cenderung berfungsi sebagai matrik dan tidak merubah bagian-komposisi dari WF sendiri apabila raw WF dicoating langsung tanpa perlakuan NaOH. Oleh karena itu, sampel WHC memiliki kekuatan tarik paling tinggi yaitu sebesar 98.7 MPa. Hasil ini sejalan dengan hasil dari [2], [19] melaporkan bahwa komposit rami yang telah dilapisi dengan polimer AESO menunjukkan persentase penyerapan air yang jauh lebih rendah daripada komposit yang tanpa lapisan AESO. Pelapisan polimer AESO, lebih lanjut tidak secara statistik atau signifikan mengubah warna komposit dan tidak mempengaruhi sifat mekanik komposit. Berdasarkan foto SEM pada gambar 7 menunjukkan ikatan antarmuka serat-matriks yang kurang baik di semua jenis komposit (*fiber pull out*) dan oleh karena itu kekuatan bahan dapat didominasi oleh sifat matriks itu sendiri.



Gambar 5. elongation komposit polyester diperkuat serat waru variasi perlakuan.



Gambar 6. modulus elastisitas komposit polyester diperkuat serat waru variasi perlakuan.

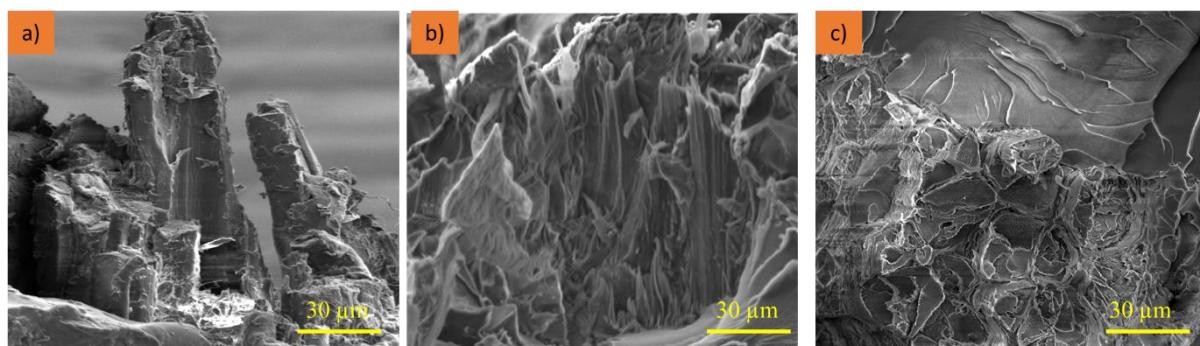
Gambar 5 menampilkan persentase elongasi ketika patah dan nilai modulus elastisitas dari komposit polyester berpenguat WF dengan variasi perlakuan. Dari gambar 5 terlihat bahwa terdapat kesesuaian data elongasi dengan modulus elastisitas komposit polyester-WF pada gambar 6. Nilai elongasi komposit polyester-WF mengalami penurunan setelah diperlakukan NaOH dan NaOH + AESO *coating*. Hal ini menunjukkan fenomena yang bersesuaian dengan data modulus elastisitas komposit polyester-WF. Elongasi komposit WR sebesar 3.38% kemudian turun setelah WF setelah diperlakukan NaOH menjadi 2.19%. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh ketika sampel diberikan beban tarik terjadi pergeseran serat yang sedikit akibat ikatan serat dengan matrik yang pada akhirnya sedikit menurunkan nilai elongasi komposit. Elongasi terendah dimiliki oleh komposit WHC yaitu sebesar 1.22%.

Gambar 6 menunjukkan bahwa perlakuan *coating* WF dengan polimer AESO mampu meningkatkan modulus elastisitas dibandingkan komposit tanpa AESO coating. Komposit WR (tanpa perlakuan) memiliki modulus elastisitas sebesar 3.05 GPa kemudian meningkat setelah diperlakukan NaOH (komposit WH) dan memiliki modulus elastisitas sebesar 5.21 GPa yaitu lebih tinggi dibandingkan komposit WR. Nilai ini masih lebih rendah dari modulus elastisitas komposit WRC yang sebesar 6.98 GPa. Hal ini dikarenakan oleh lapisan AESO polymer *coating* membentuk rantai ikatan dengan matrik polyester sehingga *mobility* WF ketika pembebaan tarik menjadi terbatas dan meningkatkan kekakuan komposit polyester-WF. Selain itu, Perlakuan alkali pada WF memungkinkan untuk hilang/larutnya sebagian komponen penyusun serat seperti hemiselulosa dan lignin yang terlarut selama perlakuan alkali. Oleh karena itu, kandungan hemiselulosa dan lignin pada permukaan serat menurun. Fibrilasi diamati pada serat yang diolah dan mungkin disebabkan oleh pencucian zat lilin. Ditemukan bahwa serat rumput makro terdiri dari serat-serat tunggal yang lebih kecil yang disatukan oleh material di daerah

antar serat. [20]. Yang pada akhirnya meningkatkan *interlocking* WF dengan polyester dan meningkatkan ketahanan terhadap deformasi resin matriks dan mengurangi regangan tarik dari komposit [15]. Perlakuan dengan alkali menyebabkan peningkatan kekakuan dan kekuatan serat alami individu karena perubahan selulosa I menjadi selulosa II yang mengarah pada pengemasan rantai yang lebih ketat dan peningkatan derajat orientasi molekul [21].

Analisa Morphology SEM

Morphology patahan komposit polyester diperkuat serat waru dengan dan tanpa perlakuan NaOH + AESO coating ditampilkan pada Gambar 7. Gambar 7a dengan jelas menunjukkan ikatan permukaan WF-polyster yang kurang baik dan *fiber pull out* yang merupakan akibat dari hadirnya senyawa impurities pada permukaan WF. Serta terjadinya penggumpalan WF dikarenakan polyester tidak mampu membasahi KWF dengan sempurna. Beberapa faktor tersebut menjadi penyebab dan mendukung rendahnya nilai mekanik dari komposit WR. Selanjutnya, pada Gambar 7b terlihat bahwa ikatan permukaan WF dengan polyester cukup baik setelah diperlakukan NaOH, dikarenakan senyawa pengotor pada permukaan serat waru telah larut sehingga terlihat bahwa ikatan kedua penyusun komposit tersebut lebih padat. Hal ini menjadi pendukung meningkatnya nilai kekuatan dan kekakuan komposit.

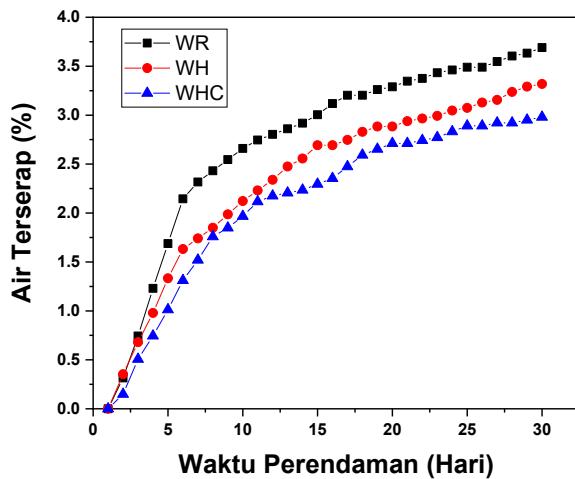


Gambar 7. foto SEM patahan komposit polyester diperkuat serat waru dengan variasi perlakuan.

Gambar 7c permukaan patahan komposit polyester terjadi adanya *hackle* region yang cukup tinggi sebagai akibat dari reaksi antara polimer AESO dengan polyester serta ikatan serat dengan matrik yang sangat baik. Hal ini dikaitkan dengan karakteristik komposit yang getas. Sehingga menjadikan komposit WHC memiliki nilai modulus elastisitas yang tinggi. Ikatan permukaan antara serat WF dengan polyester baik merupakan akibat dari lepasnya senyawa lignin, wax dan impurities lainnya karena perlakuan NaOH. Ikatan permukaan WF-polyster yang kuat ini, menghasilkan kekuatan mekanik komposit yang meningkat [22].

Analisa Penyerapan Air

Serat WF terdiri dari senyawa lignoselulosa yang memiliki ketahanan yang buruk terhadap penyerapan air. Komposit polyester yang diperkuat serat alam ketika terkena kelembaban dan menyerap air maka akan merusak stabilitas dimensi dan menurunkan sifat mekaniknya. Secara umum, molekul air menembus komposit serat alami melalui tiga mekanisme berbeda: difusi kadar air dalam celah mikro antara rantai polimer; transportasi kapiler ke celah mikro; dan faws di antarmuka antara serat dan matriks. Kelembaban pada umumnya diserap oleh interface antara serat dan matriks, serta oleh serat itu sendiri melalui ikatan hidrogen [23]. 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. Persentase air terserap ke dalam komposit polyester-WF dengan *treatment* yang berbeda ditampilkan pada gambar 8. Sampel komposit WR memiliki penyerapan air paling tinggi yaitu sebesar 3.69%, kemudian diikuti oleh sampel WH sebesar 3.31%. Sedangkan sampel komposit yang dilapisi dengan AESO menunjukkan persentase penyerapan air yang lebih rendah daripada tanpa pelapisan. Hal ini mungkin karena rantai asam lemak hidrofobik dari molekul *soy bean oil* pada permukaan WF yang menolak penyerapan air [24].



Gambar 8. persentase penyerapan air komposit terhadap waktu immersion.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa kedua perlakuan NaOH *treatment* yang diikuti *coating* AESO pada WF sangat efektif dalam menurunkan penyerapan air pada komposit dan terbukti dengan persentase air terserap paling rendah yaitu sebesar 2.97%. Hal ini dikarenakan oleh senyawa hemiselulosa dan lignin yang menyerap air pada serat WF berkurang, kemudian serat WF dibatasi lagi permukaannya dengan polimer AESO *coating*. Beberapa penulis telah menemukan perlakuan alkali 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 [3]. Sedangkan lapisan AESO menjadi penghambat terdifusinya air ke dalam WF yang pada akhirnya komposit WHC memiliki penyerapan air paling rendah dibandingkan dengan komposit lainnya.

4. Kesimpulan

Perlakuan NaOH + AESO *coating* serat waru mampu meningkatkan kekuatan mekanik komposit polyester. Perlakuan coating AESO pada permukaan serat waru memberikan efek yang signifikan terhadap kekuatan tarik dan bending komposit polyester. Perlakuan AESO *coating* pada WF juga mampu meningkatkan kekakuan (modulus elastisitas dan modulus bending) komposit polyester. Foto SEM menginformasikan bahwa ikatan *interlocking* serat dengan matrik cukup baik setelah NaOH + AESO *coating treatment* serat waru, adanya *fiber full out*, penggumpalan serat dan adanya void pada permukaan patahan serat. Setelah perlakuan AESO *coating* pada serat waru mampu menurunkan laju *water uptake* ke dalam komposit polyester. Oleh karena itu akan dilakukan penelitian lanjutan untuk menginvestigasi pengaruh lama perendaman dalam air terhadap degradasi kekuatan mekanik komposit-serat waru dengan AESO *coating*.

Daftar Pustaka

- [1] F. Gapsari, A. Purnowidodo, S. Hidayatullah, and S. Suteja, "Characterization of Timoho Fiber as a reinforcement in green composite," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 13, pp. 1305–1315, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.jmrt.2021.05.049.
- [2] F. Gapsari, L. Tri Wijaya Nata Kusuma, A. Andoko, A. Andriyana, S. Mayinkere Rangappa, and S. Siengchin, "Improving composite performance by cellulose-based *Ceiba petandra* fiber coating," *Advances in Materials and Processing Technologies*, pp. 1–18, Nov. 2024, doi: 10.1080/2374068X.2024.2423997.
- [3] N. Herlina Sari *et al.*, "A Novel Microfiber Cellulose from *Paederia foetida* Stems: Characterization of Physical, Morphology, Thermal, and Chemical Properties," *Mater Perform Charact*, vol. 13, no. 1, pp. 146–160, Apr. 2024, doi: 10.1520/MPC20230092.
- [4] N. Herlina Sari, Salman, Suteja, Y. Akhyar Sutaryono, and J. Iskandar, "Evaluation of the Impact Strength and Morphology Properties of *Musa Acuminata* Fiber Composite/CaCo₃ Powder," *Journal of Fibers and Polymer Composites*, vol. 2, no. 1, pp. 18–28, Mar. 2023, doi: 10.55043/jfpc.v2i1.63.
- [5] J. Fajrin, A. Akmaluddin, and F. Gapsari, "Utilization of kenaf fiber waste as reinforced polymer composites," *Results in Engineering*, vol. 13, p. 100380, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.rineng.2022.100380.
- [6] A. Purnowidodo, D. B. Darmadi, and K. Anam, "TENSILE STRENGTH AND FATIGUE CRACK GROWTH BEHAVIOUR OF NATURAL FIBRE METAL LAMINATES," 2020.
- [7] W. A. Wirawan, Moch. A. Choiron, E. Siswanto, and T. D. Widodo, "Morphology, Structure, and Mechanical Properties of New Natural Cellulose Fiber Reinforcement from Waru (*Hibiscus Tiliaceus*)

- Bark," *Journal of Natural Fibers*, vol. 19, no. 15, pp. 12385–12397, Nov. 2022, doi: 10.1080/15440478.2022.2060402.
- [8] W. A. Wirawan *et al.*, "Characteristics of naturally woven Waru bark fiber for eco-friendly composite reinforcement," *Int J Biol Macromol*, vol. 295, p. 139459, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2025.139459.
- [9] F. Gapsari, A. Andoko, K. Diharjo, M. R. Sanjay, and S. Siengchin, "The effectiveness of isolation and characterization nanocellulose from Timoho fiber for sustainable materials," *Biomass Convers Biorefin*, vol. 14, no. 14, pp. 16487–16497, Jul. 2024, doi: 10.1007/s13399-022-03672-x.
- [10] N. H. Sari, Suteja, H. Anas, A. Amrullah, and M. Mahardika, "Enhanced mechanical and thermal performance of Paederia foetida fiber-magnesium/epoxy composites: A sustainable solution for automotive and aerospace industries," *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 11, p. 101077, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.cscee.2024.101077.
- [11] N. H. Sari, E. Syafri, Suteja, W. Fatriasari, and A. Karimah, "Biocomposites Based On Micro Cellulose Fibers Extracted From Paederia Foetida Stems And Investigation Of Important Properties," *Journal of Applied Science and Engineering*, vol. 27, no. 9, pp. 3191–3202, 2024, doi: 10.6180/jase.202409_27(9).0015.
- [12] F. Gapsari, I. Wijatmiko, A. Andoko, K. Diharjo, S. Mavinkere Rangappa, and S. Siengchin, "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*, vol. 21, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1080/15440478.2024.2383970.
- [13] F. Gapsari *et al.*, "Modification of palm fiber with chitosan-AESO blend coating," *Int J Biol Macromol*, vol. 242, p. 125099, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.125099.
- [14] S. I. Magagula, J. S. Sefadi, M. J. Mochane, T. H. Mokhothu, T. C. Mokhena, and G. G. Lenetha, "The effect of alkaline treatment on natural fibers/biopolymer composites," in *Surface Treatment Methods of Natural Fibres and their Effects on Biocomposites*, Elsevier, 2022, pp. 19–45. doi: 10.1016/B978-0-12-821863-1.00002-8.
- [15] N. S. Binti Mohd Hafidz, M. S. Bin Mohamed Rehan, and H. Binti Mokhtar, "Effect of alkaline treatment on water absorption and thickness swelling of natural fibre reinforced unsaturated polyester composites," *Mater Today Proc*, vol. 48, pp. 720–727, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2021.02.209.
- [16] M. Azzedine *et al.*, "EFFECT OF ALKALINE TREATMENT ON MECHANICAL PROPERTIES OF ALFA FIBER/UNSATURATED POLYESTER COMPOSITE," 2023.
- [17] N. H. Sari, S. Suteja, I. P. Lokantara, and T. G. Wibowo, "Influence of Pumice Particles on the Mechanical and Morphology Properties of Polyester-Cornhusk Fiber Composites," *Journal of Fibers and Polymer Composites*, vol. 1, no. 2, pp. 97–105, Oct. 2022, doi: 10.55043/jfpc.v1i2.54.
- [18] B. F. A. Bakar and F. A. Kamke, "Comparison of alkali treatments on selected chemical, physical and mechanical properties of grape cane fibers," *Cellulose*, vol. 27, no. 13, pp. 7371–7387, Sep. 2020, doi: 10.1007/s10570-020-03299-z.
- [19] F. Gapsari *et al.*, "Properties of organic and inorganic filler hybridization on Timoho <sep>Fiber-reinforced</scp> polyester polymer composites," *Polym Compos*, vol. 43, no. 2, pp. 1147–1156, Feb. 2022, doi: 10.1002/pc.26443.
- [20] F. Gapsari, C. W. Kartikowati, K. A. Madurani, A. Harmayanti, and A. M. Sulaiman, "Enhanced PVA-bioplastic membranes with nanocellulose and hydroxyapatite derived from blood clam shells," *Environ Nanotechnol Monit Manag*, vol. 23, p. 101035, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.enmm.2024.101035.
- [21] I. Elfaleh *et al.*, "A comprehensive review of natural fibers and their composites: An eco-friendly alternative to conventional materials," *Results in Engineering*, vol. 19, p. 101271, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.rineng.2023.101271.
- [22] A. Andoko, F. Gapsari, I. Wijatmiko, K. Diharjo, S. M. Rangappa, and S. Siengchin, "Performance of carbon fiber (CF)/Ceiba petandra fiber (CPF) reinforced hybrid polymer composites for lightweight high-performance applications," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 27, pp. 7636–7644, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.11.103.
- [23] S. Sanjeevi *et al.*, "Effects of water absorption on the mechanical properties of hybrid natural fibre/phenol formaldehyde composites," *Sci Rep*, vol. 11, no. 1, p. 13385, Jun. 2021, doi: 10.1038/s41598-021-92457-9.
- [24] A. Andoko, F. Gapsari, R. Prasetya, A. M. Sulaiman, S. M. Rangappa, and S. Siengchin, "Walikukun fiber as lightweight polymer reinforcement: physical, chemical, mechanical, thermal, and morphological properties," *Biomass Convers Biorefin*, Dec. 2023, doi: 10.1007/s13399-023-05203-8.