

NAOH EFFECT ON BIOCOMPOSITES: STUDI PENGARUH NAOH TERHADAP KEKUATAN TARIK BIOKOMPOSIT BERPENGUAT SERAT ALAM

Elok Hidayah¹, Aminatur Rosyidah², Febby Rizka Tamami³
Fakultas Tadris dan Keguruan, Universitas KH. Mukhtar Syafaat

Email: elokhidayah@iaida.ac.id

Received
April 2024

Revised
April 2024

Published
April 2024

Abstract

Concern for the environment becomes a supporting factor in biocomposite research. Composite materials that previously used synthetic materials need to be swiftly transitioned into biocomposite materials, where one or all of its constituent materials originate from nature, making it more environmentally friendly and capable of being produced in large and sustainable quantities. However, in its application, biocomposite manufacturers still encounter several problems, especially in the field of mechanical strength. When compared to conventional composite materials, the mechanical strength of biocomposites is still lower. One effort that can be made to improve the mechanical strength of biocomposites is by treating natural fibers that will be used as reinforcement in the biocomposite with chemical processes. One easy and effective chemical treatment to apply is alkalization using NaOH. This article will discuss a number of theories and research results regarding the influence of NaOH on the mechanical characteristics, specifically tensile strength, of natural fiber-reinforced biocomposites. The analysis process is carried out by gathering several reference sources, including books, scientific articles, and nationally and internationally recognized proceedings. All information from reference sources containing information about biocomposites, NaOH, natural fibers, and tensile strength is analyzed and rewritten in the form of an article.

Keywords: *Biocomposites, NaOH, Natural Fibers, Tensile Strength*

Abstrak

Kepedulian terhadap lingkungan menjadi factor pendukung dalam penelitian biokomposit. Material komposit yang sebelumnya menggunakan bahan dasar sintesis perlu segera dialihkan menjadi material biokomposit, yang mana salah satu atau keseluruhan bahan penyusunnya berasal dari alam sehingga lebih ramah lingkungan, dan dapat diproduksi dalam jumlah besar dan berkelanjutan. Namun demikian, dalam aplikasinya pembuat biokomposit masih menemui sejumlah permasalahan terutama di bidang kekuatan mekanik. Jika dibandingkan dengan material komposit konvensional, kekuatan mekanik biokomposit masih lebih rendah. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kekuatan mekanik biokomposit adalah dengan memberikan perlakuan kimia terhadap serat alam yang akan digunakan sebagai penguat dalam biokomposit. Salah satu perlakuan kimia yang mudah dan efektif untuk diaplikasikan adalah alkalisasi menggunakan NaOH. Artikel ini akan membahas sejumlah teori dan hasil penelitian mengenai pengaruh NaOH terhadap karakteristik mekanik biokomposit berpenguat serat alam, yaitu kekuatan tarik. Proses analisis dilakukan dengan mengumpulkan beberapa sumber rujukan, baik berupa buku, artikel ilmiah maupun prosiding yang telah terakui secara nasional dan internasional. Seluruh informasi dari sumber rujukan yang berisi informasi mengenai biokomposit, NaOH, serat alam dan kekuatan tarik dianalisis dan ditulis kembali dalam bentuk artikel.

Katakunci: *Biokomposit, NaOH, Serat Alam, Kekuatan Tarik*

PENDAHULUAN

Biokomposit memiliki peran penting dalam dunia aplikasi teknik. Pemanfaatan biokomposit terus dikembangkan sebagai upaya peningkatan pemanfaatan material ramah lingkungan, serta pengurangan sampah *non-biodegradable*. Selama lebih dari 40 tahun, sejak ditemukannya material komposit *non-biodegradable*, dunia telah memproduksi dan memanfaatkan material *non-biodegradable* mulai dari kebutuhan rumah tangga hingga seluruh aplikasi Teknik [1], [2], [3]. Lambat laun, kegiatan pemanfaatan material *non-biodegradable*

dinilai memberikan dampak negatif terhadap kualitas kehidupan dunia. Sampah yang dihasilkan dari material *non-biodegradable* sulit terurai, membutuhkan waktu yang lama dalam penguraianya, serta selalu mengemisikan gas CO₂ selama proses penguraian berlangsung. Akibatnya banyak terjadi penumpukan sampah, sehingga ketersediaan lahan produktif berkurang serta kadar CO₂ di udara mengalami peningkatan, sehingga kualitas udara semakin memburuk [4].

Keseluruhan dampak negatif yang dihasilkan akibat dari pemanfaatan material *non-biodegradable* telah memunculkan rasa peduli terhadap lingkungan di kalangan peneliti dan industri. Hal ini dapat ditunjukkan dari banyaknya penelitian yang dilakukan terhadap material komposit dengan memanfaatkan bahan dasar alami sehingga menghasilkan material biokomposit, yang lebih mudah terurai dan tidak mengemisikan gas CO₂. Disamping itu, sejumlah negara juga telah bekerjasama dengan industri manufaktur melalui pembuatan undang-undang produksi, Dimana untuk produksi manufaktur diharuskan menggunakan 90% material berbahan dasar alami. Namun demikian dalam perkembangannya, material biokomposit dinilai masih belum mampu bersaing dengan material komposit *non-biodegradable* [5]. Kekuatan mekanik yang dimiliki material biokomposit masih lebih rendah jika dibandingkan dengan material komposit *non-biodegradable* [6]. Mengingat pentingnya pemanfaatan material biokomposit dalam berbagai aplikasi Teknik, maka sejumlah peneliti melakukan perbaikan dalam proses produksi biokomposit, guna memperoleh material biokomposit dengan kekuatan mekanik yang optimal.

Salah satu upaya yang telah dilakukan oleh sejumlah peneliti adalah dengan meningkatkan daya adhesi antara serat alam dengan matriks dalam biokomposit. Biokomposit pada dasarnya tersusun atas serat dan matriks. Serat yang digunakan dalam produksi biokomposit adalah serat alam, yang dipadukan dengan matriks alami atau sintetis. Serat alam sendiri memiliki sejumlah komponen penyusun, yang beberapa bagiannya dapat menghalangi kontak antara serat alam dengan matriks sehingga daya adhesi antara serat alam dan matriks dalam biokomposit cenderung lemah. Lemahnya daya adhesi antara serat alam dan matriks inilah yang menyebabkan kekuatan mekanik biokomposit cenderung lemah, jika dibandingkan dengan material komposit *non-biodegradable* [7], [8].

Guna meningkatkan daya adhesi antara serat alam dan matriks dalam biokomposit, perlu dilakukan modifikasi permukaan serat. Modifikasi permukaan serat dilakukan untuk menghilangkan sejumlah bagian penyusun serat, yang menghalangi daya adhesi antara serat dan matriks sehingga diperoleh serat dengan karakteristik yang lebih baik dari sisi kimia maupun fisika. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk modifikasi permukaan serat alam adalah alkalisasi. Alkalisasi dapat dilakukan dengan merendam serat alam ke dalam larutan alkali pada konsentrasi, keadaan dan waktu tertentu [9], [10].

Larutan alkali yang telah banyak digunakan dalam proses alkalisasi serat alam adalah NaOH. Pemanfaatan NaOH sebagai larutan alkali didasarkan pada ketersediaannya yang melimpah sehingga mudah ditemukan dan murah. Selain itu NaOH dianggap sudah efektif untuk meningkatkan daya adhesi antara serat dan matriks. Melalui alkalisasi, beberapa komponen serat alam dapat dihilangkan, seperti lignin dan hemiselulosa. Baik lignin maupun hemiselulosa adalah bagian terluar serat alam yang menghalangi sampainya matriks pada selulosa serat alam, sehingga kontak antara serat alam dan matriks menjadi lemah dan berakibat pada lemahnya kekuatan mekanik biokomposit hasil sintesis.

Pemanfaatan NaOH dalam proses alkalisasi bergantung pada beberapa kondisi diantaranya, konsentrasi larutan NaOH itu sendiri, jenis serat, temperatur aplikasi dan lama waktu alkalisasi. Maka dari itu, dalam artikel ini akan dibahas beberapa kondisi efektif penggunaan NaOH dalam proses alkalisasi pada beberapa kondisi dan jenis serat alam.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif deskriptif. Artikel ini ditulis berdasarkan analisis deskriptif melalui studi Pustaka. Studi Pustaka dilakukan dengan mengumpulkan seluruh informasi terkait dengan pemanfaatan NaOH sebagai metode modifikasi serat alam, yang diperoleh melalui buku dan artikel ilmiah. Artikel ilmiah yang digunakan sebagai sumber rujukan dalam artikel ini merupakan artikel ilmiah yang terakreditasi, baik secara nasional maupun internasional. Seluruh data yang menunjukkan efektivitas NaOH dalam meningkatkan kekuatan mekanik biokomposit berpenguat serat alam ditampilkan dalam bentuk tabel dan diulas secara deskriptif. Adapun kriteria efektivitas NaOH dalam meningkatkan kekuatan mekanik biokomposit dapat dilihat melalui data kekuatan tarik biokomposit hasil sintesis berpenguat serat alam dengan alkalisasi NaOH dan tanpa alkalisasi.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Biokomposit

Biokomposit atau biasa juga disebut dengan *green composite* atau *biodegradable composite* termasuk material komposit yang salah satu atau keseluruhan komponen penyusunnya berasal dari alam. Komponen penyusun material biokomposit terdiri dari penguat dan matriks. Sampai saat ini penelitian di bidang biokomposit masih terus dilakukan untuk menghasilkan biokomposit dengan kekuatan mekanik yang tinggi, sehingga dapat meminimalkan pemanfaatan material komposit *non-biodegradable* [11].

Tabel 1. Aplikasi Biokomposit

Aplikasi	Material yang digunakan
Komponen peredam, panel pintu, kusen pintu	biokomposit berpenguat serat tanaman
Panel lantai	Biokomposit polipropilena berpenguat serat <i>flax</i>
Dashboard	Biokomposit berpenguat serat <i>jute</i>
Plafon	Biokomposit berpenguat serat <i>jute</i>
Papan sirkuit	Biokomposit PLA berpenguat serat kenaf

Sumber: [12]

Biokomposit banyak diaplikasikan di berbagai bidang seperti penerbangan, *automobile*, olahraga, dan *furniture*, sebagaimana ditunjukkan pada tabel 1. Beberapa aplikasi biokomposit tersebut belum sepenuhnya menggantikan peran material komposit *non-biodegradable*. Hal ini disebabkan oleh rendahnya kekuatan mekanik yang dihasilkan oleh biokomposit.

Kekuatan mekanik biokomposit hasil sintesis dipengaruhi oleh komponen penyusunnya, seperti jenis serat dan matriks, bahan aditif saat sintesis biokomposit, serta perlakuan yang diberikan pada serat sebelum akhirnya diaplikasikan sebagai penguat [13], [14]. Perlakuan yang diberikan pada serat, atau disebut dengan modifikasi permukaan serat dilakukan untuk meningkatkan kekasaran permukaan serat dan menghilangkan sejumlah komponen penyusun serat, yang dapat menghalangi kontak atau ikatan antara serat dan matriks dalam biokomposit.

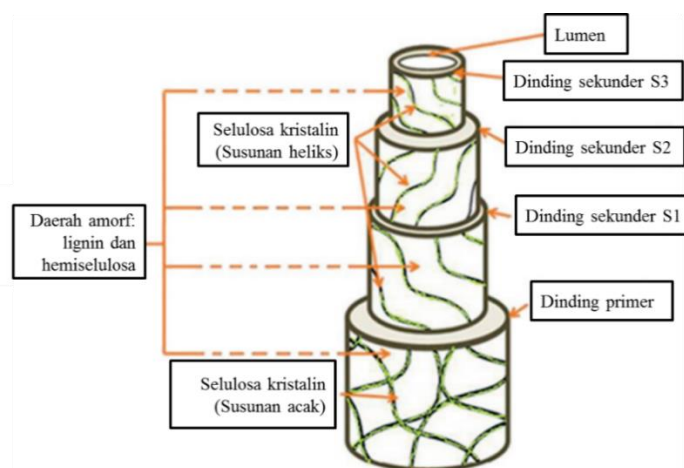
Serat yang paling banyak diaplikasikan dalam sintesis biokomposit adalah serat alam. pada serat alam, modifikasi permukaan serat bertujuan untuk mengurangi sifat hidrofilik serat alam. Sifat hidrofilik serat alam ini menyebabkan serat alam sulit berinteraksi dengan matriks polimer. Sulitnya interaksi antara serat alam dan matriks polimer menjadi salah satu penyebab rendahnya kekuatan mekanik biokomposit [15]. Oleh sebab itu, biokomposit yang tersusun atas serat alam dan matriks dengan kekuatan mekanik tinggi belum tentu memiliki kekuatan mekanik yang tinggi pula, apabila interaksi antara serat alam dan matriks sulit terjadi (lemah).

2. Serat Alam

Serat merupakan salah satu bagian penyusun material komposit, termasuk juga biokomposit. Serat yang dapat digunakan untuk aplikasi biokomposit adalah serat alam. serat alam sendiri dibedakan menjadi tiga, yaitu serat mineral,seart hewan, dan serat tanaman. Diantara ketiga jenis serat alam, serat yang paling banyak digunakan adalah serat tanaman. Hal ini dikarenakan ketersediaan serat alam sangat melimpah dan dapat diperbaharui dalam waktu yang relatif cepat [13].

Serat tanaman termasuk *bundle fiber* yang memiliki komponen penyusun seperti material komposit. Komponen penyusun serat tanaman terdiri dari hemiselulosa dan lignin yang berperan sebagai matriks dan selulosa sebagai penguat [16], [17]. Ketiga komponen utama penyusun serat tanaman tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.

Serat tanaman tersusun atas beberapa lapisan diantaranya dinding primer, dinding sekunder dan lumen. Dinding primer merupakan bagian terluar dari serat tanaman, yang berperan sebagai pengikat seluruh bagian serat. Dinding sekunder (S1, S2, dan S3) merupakan bagian penting penyusun serat tanaman, khususnya lapisan S2 karena didominasi oleh selulosa kristalin. Ketebalan lapisan S2 ini sangat menentukan kekuatan mekanik serat. Hal inilah yang menyebabkan adanya perbedaan kekuatan mekanik dinatra serat tanaman.semakin tinggi kadr selulosa kristalin serat tanaman, maka semakin tinggi kekuatan mekaniknya.



Gambar 1. Skema struktur serat tanaman (Sumber:[16])

Apabila dilihat dari sisi kekuatan mekaniknya, serat tanaman memiliki kekuatan mekanik jauh lebih rendah dibandingkan dengan serat sintesis, sebagaimana ditunjukkan pada tabel 2. Namun demikian kekuatan mekanik serat alam masih dapat ditingkatkan melalui berbagai metode modifikasi permukaan serat. Modifikasi permukaan serat alam dapat dilakukan secara mekanik atau kimia.

Tujuan dari modifikasi adalah meningkatkan kekasaran permukaan serat alam, meningkatkan selulosa serat alam, serta menghilangkan komponen lignin dan hemiselulosa. Lignin dan hemiselulosa merupakan komponen amorf serat alam, yang tersebar secara merata di seluruh lapisan serat alam utamanya pada lapisan S1 dan S3. Hemiselulosa pada serat alam membentuk ikatan hidrogen dengan selulosa dan berfungsi sebagai matriks. Sementara keberadaan lignin berfungsi sebagai pengikat antara selulosa dan hemiselulosa, sehingga menunjang kekuatan serat [16], [18].

Tabel 2. Karakteristik serat tanaman dan serat sintesis

Jenis Serat	Massa jenis (g/cm^3)	Regangan patah (%)	Kekuatan tarik (MPa)	Modulus elastisitas (GPa)
Alam				
Rami	1,50	2,00- 3,80	220,0-938,0	44,0-128,0
Jute	1,30-1,46	1,50-1,80	393,0-800,0	10,0-30,0
Sisal	1,33-1,50	2,00	400,0-700,0	9,0-38,0
Sabut kelapa	1,20	15,00-30,00	175,0-220,0	4,0-6,0
Sintesis				
Serat gelas	2,58	2,50-3,00	3450,0	70,0
Aramid	1,40	3,30-3,37	3000,0-3150,0	63,0-67,0
Carbon	1,40	1,40-1,80	4000,0	23,0-40,0

Sumber: [19], [20]

Karena serat tanaman merupakan salah satu bagian dari serat alam yang banyak digunakan dalam sintesis biokomposit, maka focus pembahasan pada artikel ini berkaitan dengan modifikasi permukaan serat tanaman. Adapun tipe modifikasi yang dibahas difokuskan pada modifikasi permukaan serat secara kimia, yaitu alkalisasi menggunakan NaOH.

3. Alkalisasi Serat Alam

Interaksi antara serat alam dan matriks merupakan faktor yang sangat berpengaruh pada kekuatan mekanik green composite (GC). Kekuatan mekanik yang tinggi dapat dihasilkan apabila serat dan matriks memiliki interaksi adhesi yang kuat. Hal ini dapat dicapai melalui modifikasi permukaan serat alam. Modifikasi permukaan serat alam merupakan perlakuan yang diberikan pada serat alam untuk memperbaiki karakteristik permukaan serat alam. Perlakuan terhadap serat alam ini dilakukan untuk meningkatkan kekasaran permukaan serat alam, mengurangi sifat hidrofilik serat alam, dan meningkatkan ketahanan serat

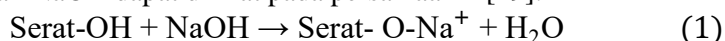
alam terhadap air. Apabila karakteristik tersebut dapat dicapai, maka interaksi antara serat alam dan matriks dapat ditingkatkan [21].

Perlakuan yang diberikan dapat berupa perlakuan fisika atau kimia. Perlakuan serat alam yang banyak digunakan karena dinilai efisien dari segi pelaksanaan dan biaya, serta efektif mengurangi sifat hidrofilik serat alam adalah perlakuan kimia. Perlakuan kimia terhadap serat alam dapat menghasilkan perubahan yang permanen pada serat alam, karena adanya gugus fungsi baru yang terbentuk pada bagian permukaan serat alam. Gugus fungsi tersebut, yang kemudian membantu meningkatkan interaksi antara serat dan matriks. Perlakuan kimia yang umum digunakan adalah alkalisasi [17].

Alkalisasi merupakan satu-satunya perlakuan kimia yang umum digunakan untuk serat alam, dalam sintesis material komposit berpenguat serat alam. Alkalisasi dapat dilakukan dengan merendam serat alam ke dalam larutan alkali dengan konsentrasi dan waktu tertentu. Beberapa parameter yang perlu diperhatikan untuk optimasi alkalisasi adalah waktu alkalisasi, konsentrasi larutan alkali, temperatur alkalisasi, dan rasio larutan alkali terhadap serat alam [19].

Alkalisasi dapat dilakukan pada tiga keadaan yaitu pada temperatur ruang, temperatur tinggi, dan temperatur didih air. Alkalisasi pada temperatur ruang lebih dianjurkan untuk mengurangi risiko pencemaran akibat penyebaran uap senyawa alkali. Meskipun demikian, alkalisasi di atas temperatur ruang juga dianjurkan karena dinilai lebih efektif untuk ekstraksi selulosa serat alam.

Serat alam umumnya memiliki struktur selulosa monoklinik, yang dapat mengembang apabila diberi larutan alkali. Struktur selulosa tersebut dikonversi menjadi struktur yang lebih stabil (selulosa II) melalui reaksi kimia dan termal saat alkalisasi, salah satunya menggunakan senyawa alkali NaOH. Reaksi alkalisasi serat alam menggunakan NaOH dapat dilihat pada persamaan 1 [19].



Alkalisasi menggunakan NaOH dapat membebaskan serat alam dari gugus hidroksil OH-, dengan membentuk gugus O-Na+. Gugus hidroksil inilah yang menyebabkan serat alam bersifat hidrofilik. Berubahnya gugus hidroksil menjadi ONa+ membantu mengurangi sifat hidrofilik serat alam, sehingga kecenderungan serat alam untuk menyerap air dapat berkurang. Setelah alkalisasi, serat alam harus dicuci untuk menentralkan ion Na+ dari struktur serat. Dalam keadaan ini, struktur selulosa monokristalin serat alam dikonversi menjadi struktur selulosa yang lebih stabil (selulosa II). Proses konversi ini dapat terjadi pada keseluruhan struktur serat alam, jika menggunakan senyawa NaOH untuk alkalisasi. Apabila alkalisasi dilakukan dengan senyawa alkali lainnya, seperti KOH dan LiOH hanya mampu melakukan konversi pada sebagian struktur selulosa serat alam. Hal inilah yang menyebabkan NaOH lebih diminati, selain harganya yang lebih murah dan mudah diperoleh [22].

Tabel 2. Perbandingan Kekuatan Tarik Biokomposit Dengan Alkalisasi Dan Tanpa Alkalisasi NaOH

Biokomposit	Alkalisasi NaOH			Kekuatan Tarik	
	NaOH (% wt/v)	Temperatur (°C)	waktu alkalisasi	Sebelum alkalisasi	Setelah alkalisasi
Rami+PLA [10]	8	70° C	5 jam	39,25 MPa	57,37 MPa
Sabut kelapa+PLA [23]	5	Ruang	4 jam	±42 MPa	±46 MPa
Serat pelepah pisang+polyester [24]	5	Ruang	1 jam	32.81 MPa	52.61 MPa
Hemp-palmyra+epoksi [25]	6.5	Ruang	5 jam	15,83 MPa	81.83 MPa
Hemp+PLA[26]	7.5	(98 ± 2) °C	1.5 jam	(27.6 ± 0.50) MPa	(33.34 ± 0.86) MPa
Prosopis juliflora+Epoksi [27]	10	Ruang	5 jam	±43 MPa	±72 MPa

Tabel 2 menunjukkan sejumlah penelitian yang telah dilakukan terhadap biokomposit berpenguat serat alam. masing-masing serat alam yang digunakan dalam penelitian tersebut diberi perlakuan kimia menggunakan NaOH atau biasa disebut dengan alkalisasi. Beberapa perbedaan yang tampak dari setiap penelitian di atas adalah jenis serat dan matriks, konsentrasi NaOH, temperatur alkalisasi dan waktu alkalisasi yang digunakan. Perbedaan tersebut dikarenakan setiap serat alam memiliki karakteristik yang berbeda, bergantung pada jenisnya, tempat penanaman dan usia penanaman. Sehingga untuk satu jenis serat yang sama

bisa jadi memerlukan konsentrasi NaOH, temperatur dan waktu alkalisasi yang berbeda untuk dapat menghasilkan serat alam dengan karakteristik mekanik dan daya ikat antarmuka serat-matriks yang baik.

Berdasarkan sejumlah penelitian di atas, tampak bahwa alkalisasi menggunakan NaOH memiliki pengaruh yang baik terhadap biokomposit yang dihasilkan. Keadaan ini dapat dilihat berdasarkan hasil uji mekanik dari masing-masing biokomposit hasil sintesis. Uji mekanik berupa kekuatan tarik pada masing-masing penelitian menunjukkan angka yang berbeda. Biokomposit dengan penguat serat alam hasil alkalisasi memiliki kekuatan tarik lebih tinggi jika dibandingkan dengan biokomposit berpenguat serat alam tanpa alkalisasi.

Meningkatnya kekuatan tarik biokomposit berpenguat serat alam hasil alkalisasi dengan NaOH menunjukkan bahwa alkalisasi menggunakan NaOH cukup efektif untuk meningkatkan selulosa dalam serat alam. Meningkatnya kadar selulosa serat alam dapat menghasilkan serat alam dengan kekuatan mekanik yang tinggi, serta meningkatkan kekasaran permukaan serat alam. dengan meningkatnya kekasaran permukaan serat alam, maka daya ikat antarmuka serat dan matriks dalam biokomposit dapat meningkat [28], [29], [30].

Apabila daya ikat antarmuka serat dan matriks dalam biokomposit baik, maka dapat menghasilkan biokomposit dengan kekuatan mekanik yang tinggi. Mengingat banyaknya serat alam yang tersedia di Indonesia, dengan karakteristik yang bervariasi sesuai dengan kondisi wilayah dan usia seratnya, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap serat alam dengan memperhatikan jenis serat, wilayah penanaman serat, dan usia tanam serat yang berbeda. Melalui penelitian lanjut diharapkan dapat diperoleh karakteristik dari masing-masing serat dengan latarbelakang serat yang berbeda. Selain itu juga dapat dilakukan sebagai pengulangan dari penelitian sebelumnya, mengenai efektivitas NaOH sebagai metode alkalisasi serat alam.

KESIMPULAN

Melalui hasil analisis sejumlah penelitian yang telah dilakukan, dapat dikatakan bahwa NaOH termasuk bahan kimia yang efektif untuk modifikasi permukaan serat melalui alkalisasi. NaOH memiliki pengaruh positif terhadap kekuatan tarik biokomposit berpenguat serat alam. Hal ini dibuktikan dari adanya peningkatan kekuatan tarik biokomposit hasil sintesis, yaitu biokomposit berpenguat serat alam hasil alkalisasi NaOH memiliki kekuatan tarik lebih tinggi jika dibandingkan dengan kekuatan tarik biokomposit berpenguat serat alam tanpa alkalisasi.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] M. Akay, *An Introduction to Polymer Matrix Composites*. Irlandia: Ventus Publishing APs., 2015.
- [2] UNDP, "Sustainable Development Goals," *Undp*, p. 24, 2015, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [3] S. A. Bhawani, A. Khan, M. N. M. Ibrahim, and M. Jawaid, *Vegetable Oil-based Composites*. Singapore: Springer, 2024.
- [4] K. Kawajiri and K. sakamoto, "Environmental impact of carbon fibers fabricated by an innovative manufacturing process on life cycle greenhouse gas emissions," *Sustainable Materials and Technologies*, vol. 31, 2022.
- [5] V. V. rajulwar *et al.*, "Steel, Aluminum, and FRP-Composites: The Race to Zero Carbon Emissions," *Energies (Basel)*, vol. 16, no. 19, 2023.
- [6] M. T. H. Sultan, M. S. A. Majid, M. R. M. Jamir, A. I. Azmi, and N. Saba, *Biocomposite materials*. Singapore: Springer, 2021.
- [7] C. H. Lee, A. Khalina, and S. H. Lee, "Importance of Interfacial Adhesion Condition on Characterization of Plant-Fiber-Reinforced Polymer Composites: A Review," *Polymers2021*, vol. 13, no. 3.
- [8] S. krishnasamy, M. H. Kumar, J. Parameswaranpillai, S. M. Rangappa, and S. Siengchin, *Interfacial Bonding Characteristics in Natural Fiber reinforced Polymer Composites*. Singapore: Springer, 2024.
- [9] E. Hidayah, L. Musyarofah, D. Puspita, and Sujito, "Effect of mercerized surface treated natural fiber to the tensile properties of green composite," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Jun. 2019. doi: 10.1088/1742-6596/1217/1/012009.
- [10] U. L. Jamilah, "THE IMPROVEMENT OF RAMIE FIBER PROPERTIES AS COMPOSITE MATERIALS USING ALKALIZATION TREATMENT: NaOH CONCENTRATION," 2021.
- [11] M. Elnashar and S. Karakus, *Introductory Chapter: Introduction to Biocomposites – New Insights*. London: IntechOpen, 2023.
- [12] R. Kumar, S. Obrai, and A. Sharma, "Chemical modifications of natural fiber for composite material," *Pelagia Research Library*, vol. 2, no. 4, pp. 219–228, 2011.

- [13] A. Orue, A. Jauregi, U. Unsuaín, J. Labidi, A. Eceiza, and A. Arbeláiz, “The effect of alkaline and silane treatments on mechanical properties and breakage of sisal fibers and poly(lactic acid)/sisal fiber composites,” *Compos Part A Appl Sci Manuf*, vol. 84, pp. 186–195, 2016.
- [14] R. D. N. Bifel, E. U. K. Maliwemu, and D. G. H. Adoe, “Pengaruh Perlakuan Alkali Serat Sabut Kelapa terhadap Kekuatan Tarik Komposit Polyester,” *Jurnal Teknik Mesin Universitas Nusa Cendana*, vol. 02, no. 01, pp. 61–68, 2015.
- [15] E. Hidayah and E. Purwandari, “STUDI PENGARUH SERAT SABUT KELAPA DAN SERAT RAMI TERHADAP SIFAT TARIK KOMPOSIT POLIPROPILENA,” *IJMS: Indonesian Journal of Mathematics and Natural Science*, vol. 01, no. 03, pp. 121–131, 2023, [Online]. Available: <https://jurnal.academiacenter.org/index.php/IJMS>
- [16] F. M. Al-Oqila and M. Salit, *Materials Selection for Natural Fiber Composites*. UK: Elsevier Ltd., 2017.
- [17] M. S. Salit, M. Jawaid, N. B. Yusoff, and M. E. Hoque, *Manufacturing of Natural Fibre Reinforced Polymer Composites*. London: Springer International Publishing Switzerland, 2015.
- [18] P. H. F. Pereira *et al.*, “Wheat straw hemicelluloses added with cellulose nanocrystals and citric acid. Effect on film physical properties,” *Carbohydr Polym*, vol. 164, pp. 317–324, 2017, doi: 10.1016/j.carbpol.2017.02.019.
- [19] V. K. Thakur and M. K. Thakur, “Processing and characterization of natural cellulose fibers/thermoset polymer composites,” *Carbohydr Polym*, vol. 109, pp. 102–117, 2014, doi: 10.1016/j.carbpol.2014.03.039.
- [20] R. , M. Siakeng, H. A. . Jawaid, and S. M. Sapuan, “Natural Fiber Reinforced Poly(lactic acid) Composites : A Review,” *Polym Compos*, 2018.
- [21] V. Mittal, *Surface Modification of Nanoparticle and Natural Fiber Fillers*. Jerman: Wiley-VCH., 2015.
- [22] A. Kulia and V. Sharma, *Lignocellulosic Biomass Production and Industrial Applications*. USA: Scrivener Publishing LLC, 2017.
- [23] E. Hidayah, L. Musyarofah, D. Puspita, and S. Sujito, “Effect of mercerized surface treated natural fiber to the tensile properties of green composite,” *Journal of Physics: Conf. Series*, vol. 1217, 2019.
- [24] Wijianto, R. M. D. Ibnu, and H. Adityarini, “Effect of NaOH Concentration Treatment on Tensile Strength, Flexure Strength and Elasticity Modulus of Banana Fiber Reinforced Polyester Resin,” *Materials Science Forum*, vol. 961, 2019.
- [25] V. L. Narayana and L. B. Rao, “Influence of Alkali Treatment and Stacking Sequence on Mechanical, Physical, and Thermal Characteristics of Hemp and Palmyra-Reinforced Hybrid Composites,” *Journal of Natural Fibers*, vol. 20, no. 2, 2023.
- [26] D. R. Rey, R. Serrat, J. Alba, I. Perez, P. Mutje, and F. X. Espinach, “Effect of Sodium Hydroxide Treatments on the Tensile Strength and the Interphase Quality of Hemp Core Fiber-Reinforced Polypropylene Composites,” *Polymers (Basel)*, vol. 9, 2017.
- [27] P. V. Reddy, D. Mohana Krishnudu, P. Rajendra Prasad, and V. S. R. R., “A Study on Alkali Treatment Influence on Prosopis Juliflora Fiber-Reinforced Epoxy Composites,” *Journal of Natural Fibers*, vol. 18, no. 8, pp. 1094–1106, 2021, doi: 10.1080/15440478.2019.1687063.
- [28] C. E. Maepa, J. Jayaramudu, J. O. Okonkwo, S. S. Ray, E. R. Sadiku, and J. Ramontja, “Extraction and Characterization of Natural Cellulose Fibers from Maize Tassel,” *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, vol. 20, no. 2, pp. 99–109, 2015, doi: 10.1080/1023666X.2014.961118.
- [29] A. L. Owolabi, P. S. M. Megat Yusoff, and M. Syahmi Hamizol, “Fabrication and Characterization of Cellulose Microfibrils from Pandanus tectorius (Screw Pine) for Polymer Composite Application,” *Research & Reviews Journal of Material Sciences*, vol. 06, no. 02, pp. 50–58, 2018, doi: 10.4172/2321-6212.1000217.
- [30] L. Musyarofah, S. Sujito, E. Hidayah, and E. Supriyanto, “Effect of alkalization on mechanical properties of green composites reinforced with cellulose from coir fiber,” in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Jun. 2020. doi: 10.1063/5.0008510.