ULIL ALBAB : Jurnal Ilmiah Multidisiplin
Vol.5, No.12, November 2026

Kuantifikasi Difusi Uap Air Morfologi, dan Porositas Serat Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Danau Sentani

Wahyu Kumala Sari[1], Juliawati[2]
[1]Universitas Cenderawasih, Indonesia
[2]Universitas Cenderawasih, Indonesia
E-mail: kumalasariwahyu3@gmail.com

Article History:
Received: 25 September 2026
Revised: 22 Oktober 2026
Accepted: 06 November 2026

Keywords: *Danau Sentani, Difusi Fickian, Eichhornia Crassipes, Petiole, Porositas, Penyerapan Air.*

Abstrak: *Eichhornia crassipes merupakan biomassa akuatik yang memiliki struktur internal berpori dan berpotensi dikaji sebagai biomaterial berbasis sumber daya lokal Danau Sentani. Penelitian ini bertujuan mengkarakterisasi sifat fisik dan perilaku transport air pada petiole E. crassipes sebagai dasar pemahaman hubungan antara struktur internal, porositas, penyerapan air, dan difusi. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif melalui karakterisasi densitas, porositas, kandungan karbon biogenik, penyerapan air, dan koefisien difusi Fickian. Hasil penelitian menunjukkan densitas petiole sebesar 0,75 g/cm³ dengan porositas 0,77. Kandungan karbon biogenik mencapai 37% C berdasarkan berat kering, sedangkan penyerapan air mencapai 380%. Analisis transport air menggunakan pendekatan Fickian menghasilkan koefisien difusi sebesar 2,4 × 10⁻⁹ m²/s. Hasil tersebut menunjukkan bahwa arsitektur internal petiole yang berpori berkaitan dengan kemampuan material dalam menyerap dan mentransmisikan air. Temuan ini memberikan dasar karakterisasi awal mengenai hubungan struktur–sifat transport pada petiole E. crassipes dan memperkuat potensinya sebagai objek kajian biomaterial tropis berbasis biomassa lokal, meskipun kajian lebih lanjut diperlukan untuk memvalidasi stabilitas karbon dan sifat aplikatif material.*

PENDAHULUAN

Eceng gondok (Eichhornia crassipes) merupakan tumbuhan air yang tumbuh melimpah di berbagai perairan tropis, termasuk Danau Sentani. Pertumbuhan biomassa yang tinggi dapat menjadi persoalan lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Di sisi lain, eceng gondok memiliki struktur jaringan yang berongga, terutama pada bagian petiole, sehingga biomassa tersebut tidak hanya dipandang sebagai gulma perairan, tetapi juga memiliki potensi sebagai sumber material berpori berbasis biomassa. Struktur internal yang didominasi jaringan aerenkima menghasilkan ruang udara yang relatif besar dan menjadi karakteristik penting dalam menentukan sifat fisik material. Karakteristik struktur tersebut menjadikan pengukuran densitas dan porositas

penting dilakukan sebagai tahap awal untuk memahami potensi pemanfaatan petiole eceng gondok sebagai material berpori alami (George et al., 2023; Wembe et al., 2023).

Karakteristik berpori pada serat tumbuhan berkaitan erat dengan interaksi material terhadap air. Ruang pori dapat menjadi tempat masuk, tertahan, dan berpindahnya molekul air, sedangkan struktur dinding jaringan memengaruhi kemampuan material dalam menyerap dan melepaskan kelembapan. Serat tumbuhan pada umumnya bersifat higroskopis sehingga responsnya terhadap kelembapan lingkungan merupakan salah satu karakteristik penting dalam pemanfaatan biomaterial berbasis serat alam (Kymäläinen & Sjöberg, 2021). Perbedaan struktur mikro antarjenis serat juga dapat menghasilkan perbedaan kemampuan menyerap air dan merespons perubahan kelembapan. Dengan demikian, karakterisasi porositas dan struktur internal diperlukan untuk memahami hubungan antara struktur fisik biomassa dan perilaku transport air pada material tersebut.

Penelitian mengenai serat eceng gondok sebelumnya telah menunjukkan bahwa material ini memiliki struktur internal yang berongga dan karakteristik fisik yang mendukung pemanfaatannya sebagai material ringan. George et al. (2023) menunjukkan adanya struktur berongga pada serat eceng gondok yang berkaitan dengan karakteristik fisiknya sebagai material berbasis serat. Wembe et al. (2023) juga menunjukkan bahwa karakteristik struktur serat eceng gondok berkaitan dengan sifat fisik dan pemanfaatannya sebagai material. Namun, penelitian-penelitian tersebut lebih menekankan karakterisasi umum serat dan belum memberikan parameter kuantitatif mengenai difusi air melalui struktur berpori. Dengan demikian, informasi mengenai bagaimana struktur internal petiole berhubungan dengan perpindahan air masih perlu dikembangkan.

Selain struktur pori, kemampuan material dalam menyerap air merupakan parameter penting untuk memahami transport kelembapan. Penelitian terhadap serat eceng gondok menunjukkan bahwa perlakuan terhadap serat dapat memengaruhi kemampuan penyerapan air, sehingga sifat interaksi antara air dan jaringan serat perlu diperhatikan dalam karakterisasi biomassa tersebut (Hidayat & Nugroho, 2019). Pada material berpori berbasis serat alam, perilaku penyerapan air juga berkaitan dengan karakteristik porositas material (Maulana & Sari, 2023). Oleh karena itu, pengukuran penyerapan air tidak hanya memberikan informasi mengenai kapasitas interaksi material dengan air, tetapi dapat digunakan sebagai dasar untuk memahami perilaku transport massa pada struktur berpori.

Perpindahan air melalui suatu material dapat dianalisis menggunakan pendekatan difusi. Hukum Fick memberikan kerangka kuantitatif untuk menentukan koefisien difusi berdasarkan perubahan massa atau konsentrasi terhadap waktu. Pendekatan tersebut memungkinkan perilaku transport air tidak hanya dinyatakan sebagai kemampuan menyerap air, tetapi juga sebagai suatu parameter fisik yang dapat dibandingkan secara kuantitatif. Kymäläinen dan Sjöberg (2021) menempatkan sifat higroskopis sebagai salah satu karakteristik penting serat tumbuhan dalam lingkungan yang mengalami perubahan kelembapan, sedangkan Poletto et al. (2021) menunjukkan bahwa perbedaan struktur serat dapat berkaitan dengan perbedaan perilaku interaksi terhadap kelembapan. Dengan demikian, pendekatan difusi memberikan informasi yang lebih mendasar mengenai proses transport air pada material berserat.

Hubungan antara struktur pori dan transport air menjadi semakin penting pada biomassa yang memiliki jaringan aerenkima seperti petiole eceng gondok. Porositas menunjukkan besarnya ruang kosong yang tersedia dalam material, sedangkan ukuran dan distribusi rongga memberikan informasi mengenai karakteristik struktur internal. Struktur pori yang tidak seragam dapat menghasilkan jalur transport yang berbeda bagi air di dalam material. Kajian mengenai material serat alami menunjukkan bahwa struktur mikro dan karakteristik pori berhubungan dengan perilaku

higroskopis material (Poletto et al., 2021). Penelitian Maulana dan Sari (2023) juga menunjukkan bahwa perilaku penyerapan air pada material berpori berbasis serat berkaitan dengan karakteristik porositas. Namun, hubungan tersebut belum secara khusus dikaji pada petiole E. crassipes yang berasal dari ekosistem Danau Sentani.

Penelitian terhadap serat alam tropis menunjukkan bahwa sifat higroskopis dan respons terhadap air merupakan karakteristik yang perlu dikaji sesuai dengan jenis material dan lingkungan penggunaannya (Kurniawan & Handayani, 2022). Dalam konteks eceng gondok Danau Sentani, informasi mengenai struktur dan karakteristik transport air masih sangat terbatas. Yuliana dan Hartono (2024) menyatakan potensi serat eceng gondok Danau Sentani sebagai material ramah lingkungan, tetapi kajian tersebut belum memberikan informasi kuantitatif mengenai hubungan antara struktur pori dan difusi air. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kebutuhan untuk menghasilkan data dasar mengenai karakteristik fisik dan transport air eceng gondok lokal. Zhou et al. (2020) menjelaskan bahwa interaksi antara serat tumbuhan dan kelembapan merupakan aspek penting dalam menentukan perilaku material berbasis serat. Oleh sebab itu, sebelum diarahkan pada pengembangan biomaterial lebih lanjut, diperlukan karakterisasi fundamental yang dapat menjelaskan sifat fisik dan perilaku transport air dari bahan dasarnya. Dalam penelitian ini, karakterisasi tersebut difokuskan pada densitas, porositas, struktur internal, ukuran rongga, penyerapan air, dan koefisien difusi Fickian.

LANDASAN TEORI

Eceng gondok (*Eichhornia crassipes)*

Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) merupakan tumbuhan air yang memiliki karakter anatomi khas, terutama pada bagian petiole atau tangkai daun. Petiole memiliki jaringan aerenkima yang berkembang dengan ruang udara internal, disertai jaringan parenkim dan berkas vaskuler. Struktur tersebut menghasilkan organisasi jaringan yang berongga dan secara biologis berfungsi mendukung pertukaran gas serta daya apung tanaman. Karakter anatomi tersebut menjadikan petiole relevan dipelajari sebagai biomassa berpori karena struktur biologisnya secara langsung menentukan volume ruang kosong dan jalur transport di dalam jaringan.

Struktur berpori merupakan salah satu karakteristik penting karena menentukan hubungan antara massa, volume, kemampuan menyerap fluida, dan transport massa. Penelitian terhadap biomassa eceng gondok menunjukkan bahwa karakteristik jaringan dan komponen penyusunnya dapat memberikan sifat fisik yang berbeda dibandingkan material tumbuhan yang memiliki struktur lebih kompak. Oleh karena itu, pada penelitian ini petiole dipandang sebagai biomassa berpori alami, bukan sebagai serat yang telah mengalami proses ekstraksi.

Aerenkima merupakan jaringan dengan ruang antar-sel yang berkembang sehingga menghasilkan rongga udara dalam jaringan tumbuhan. Pada petiole *E. crassipes*, jaringan tersebut berkaitan dengan keberadaan ruang udara yang relatif besar dan jaringan vaskuler yang berada di antara jaringan berongga. Secara anatomi, petiole dapat dipandang sebagai sistem heterogen yang terdiri atas epidermis, jaringan dasar/parenkim, aerenkima, dan berkas vaskuler. Struktur internal tersebut penting dalam penelitian transport air karena perpindahan massa di dalam material biologis tidak hanya ditentukan oleh komposisi material, tetapi juga oleh geometri dan keterhubungan ruang internal. Perbedaan ukuran, bentuk, dan distribusi rongga dapat menghasilkan jalur transport yang berbeda. Dengan demikian, karakterisasi morfologi menjadi dasar untuk menjelaskan hubungan antara struktur petiole dan responsnya terhadap lingkungan lembap.

Material Berpori

Densitas merupakan besaran yang menyatakan massa material per satuan volume sebesar $\rho = \frac{m}{V}$. Pada biomaterial berpori, densitas merupakan parameter penting karena mencerminkan hubungan antara jumlah material padat dan volume total yang ditempati, termasuk ruang kosong di dalam struktur. Material dengan struktur internal yang lebih berongga secara umum memiliki densitas volumetrik yang lebih rendah dibandingkan material dengan struktur yang lebih kompak. Densitas digunakan sebagai parameter fisik dasar untuk menggambarkan karakter petiole dalam kondisi kering. Nilai densitas selanjutnya juga digunakan dalam estimasi densitas karbon volumetrik sehingga parameter struktur fisik dapat dikaitkan dengan kandungan karbon biomassa.

Porositas menyatakan fraksi volume suatu material yang ditempati oleh ruang pori. Secara umum dapat dinyatakan sebagai:

$\varepsilon_{eff} = \frac{V_p}{V}\ x\ 100\%$

Porositas tidak hanya merupakan parameter geometris, tetapi juga mencerminkan jaringan internal. Pori terbuka dapat menjadi ruang yang dapat dimasuki fluida, sedangkan pori tertutup tidak berkontribusi secara langsung terhadap transport fluida melalui jaringan. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan konsep porositas efektif, yaitu bagian ruang pori yang dapat diakses melalui proses imbibisi.

Porositas juga mempunyai keterkaitan dengan penyerapan dan transport air. Material dengan ruang pori yang lebih besar dan lebih mudah diakses berpotensi menyediakan ruang penyimpanan serta jalur perpindahan air yang lebih besar. Namun, hubungan antara porositas dan difusi tidak selalu linier karena transport juga dipengaruhi oleh ukuran pori, tortuositas, keterhubungan pori, serta sifat matriks material.

Difusi merupakan proses perpindahan massa akibat adanya gradien konsentrasi atau aktivitas suatu spesies. Untuk material berpori, perpindahan air dipengaruhi oleh struktur internal dan kondisi lingkungan. Dalam sistem biomassa, perpindahan air dapat berlangsung melalui ruang pori maupun melalui interaksi dengan matriks material.

Secara umum, fluks difusi dapat dinyatakan melalui Hukum Fick pertama:

$$J = -D\frac{\partial C}{\partial x}$$

keterangan J adalah fluks massa, D koefisien difusi, C konsentrasi, dan x posisi. Tanda negatif menunjukkan bahwa perpindahan berlangsung dari daerah dengan konsentrasi lebih tinggi menuju daerah dengan konsentrasi lebih rendah. Kajian mengenai perilaku higroskopis serat tumbuhan menunjukkan bahwa model difusi klasik, termasuk pendekatan Fickian, banyak digunakan untuk menganalisis kinetika perpindahan air pada material berbasis tumbuhan

Sistem difusi satu dimensi pada tahap awal proses, hubungan antara massa yang telah terserap dan waktu dapat didekati dengan:

$$\frac{M_t}{M_\infty} = \left(\frac{4}{\sqrt{\pi}}\right)\sqrt{\frac{D_t}{L^2}}$$

dengan Mt merupakan massa air yang telah terserap pada waktu t, M∞ merupakan massa air pada kondisi kesetimbangan, D merupakan koefisien difusi, dan L merupakan panjang karakteristik difusi. Pendekatan matematis tersebut merupakan bagian dari solusi difusi yang dibahas secara sistematis dalam teori difusi Crank.

Karbon biogenik merupakan karbon yang berasal dari biomassa. Dalam penelitian berbasis material tumbuhan, kandungan karbon berdasarkan massa dapat dikombinasikan dengan densitas material untuk memperoleh estimasi karbon per satuan volume:

$\rho c = \rho f c.$

dengan ρC merupakan densitas karbon volumetrik, ρ merupakan densitas kering material, dan fc merupakan fraksi karbon berdasarkan massa kering. Parameter tersebut memberikan informasi mengenai jumlah karbon yang terkandung dalam volume biomassa, tetapi tidak dengan sendirinya membuktikan stabilitas penyimpanan karbon. Penilaian terhadap penyimpanan karbon jangka panjang memerlukan informasi tambahan mengenai stabilitas material, laju degradasi, masa layanan, dan perubahan kandungan karbon selama penggunaan.

METODE PENELITIAN

Preparasi Sampel

Petiole dipotong dengan panjang 30–50 mm dan variasi diameter maksimum sekitar ±10%. Sampel ditimbang kemudian dikeringkan pada suhu 60–70 °C hingga mencapai massa konstan, dengan deviasi massa kurang dari 2% dalam periode pengamatan 24 jam. Setelah pengeringan, sampel disimpan dalam desikator sebelum pengujian untuk menjaga kondisi kering dan meminimalkan pertukaran kelembapan dengan lingkungan.

Kemudian dilakukan karekterisasi volume geometris dan densitasnya. Untuk volume petiole digunakan pendekatan volume bangun ruang bentuk tabung. Selannjutanya pengukuran porositas efektif ditentukan menggunakan metode imbibisi. Sampel kering direndam dalam air destilasi selama 24 jam hingga mencapai kondisi jenuh. Porositas efektif (ε_{eff}) ditentukan melalui metode imbibisi. Sampel kering direndam 24 jam dalam air destilasi, lalu ditimbang sebagai massa jenuh (m_s). Volume pori (V_p) terbuka dihitung dengan persamaan :

$$V_p = \frac{(m_s - m_0)}{\rho_{air}}$$

dan porositas dinyatakan dengan persamaan:

$$\varepsilon_{eff} = \frac{V_p}{V}\ x\ 100\%$$

Selanjutnya pengujian difusi dilakukan pada ruang dengan kelembapan relative terkendali konstan (RH) menggunakan desikator berisi larutan garam jenuh (NaCl ±75% RH; KCl ±85% RH) pada suhu 27–30°C. Sampel kering (m_0) dimasukkan ke ruang RH dan ditimbang periodik hingga mencapai kondisi setimbang (deviasi <1–2%), dengan massa akhir dinyatakan sebagai m_∞. Massa air terserap pada waktu t dihitung dengan persamaan:

$$M_t = m_t - m_0$$

dan massa air yang terserap pada kondisi kesetimbangan :

$$M_\infty = m_\infty - m_0$$

Kemudian dihitung koefisien difusi fickian dan densitas karbon volumetrik

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa petiole *Eichhornia crassipes* memiliki karakteristik fisik yang ditandai oleh densitas sebesar 0,75 g/cm³ dan porositas sebesar 0,**77**. Nilai tersebut menunjukkan bahwa jaringan petiole memiliki struktur internal yang relatif berongga dengan proporsi ruang pori yang besar. Kondisi ini berkaitan dengan keberadaan jaringan aerenchyma**,** yaitu jaringan parenkim yang berkembang membentuk ruang-ruang udara di dalam organ tumbuhan. Secara fungsional, keberadaan ruang udara tersebut merupakan karakter anatomi penting pada *E. crassipes* karena membantu tumbuhan mempertahankan daya apung pada lingkungan perairan.

Tabel. 1 Hasil pengujian karakteristik fisik, struktur pori, dan transport air petiole eceng gondok

No.	Parameter Penelitian	Hasil
2	Densitas	0, 75 g/cm³
3	Porositas	0, 77
4	Densitas karbon biogenik	37% C berat kering
5	Penyerapan air	380%
6	Koefisien difusi Fickian	2,4 x 10^{-9} m^2/s

Nilai porositas 0,77 dapat diinterpretasikan bahwa sekitar 77% volume yang terukur berada dalam ruang pori efektif berdasarkan metode pengukuran yang digunakan**,** sedangkan bagian lainnya merupakan volume material padat. Namun, nilai tersebut perlu dipahami sebagai porositas berdasarkan metode imbibisi air yang digunakan dalam penelitian, sehingga tidak serta-merta identik dengan seluruh volume rongga mikroskopis atau porositas absolut material. Dengan demikian, hasil ini lebih tepat digunakan untuk menggambarkan karakteristik ruang kosong yang dapat berinteraksi dengan air pada kondisi pengujian.



Gambar 1. Pengambilan Sampel

Nilai porositas sebesar 0,77 merupakan salah satu karakteristik penting dari petiole *E. crassipes*. Tingginya ruang internal memungkinkan jaringan petiole memiliki kapasitas untuk menerima dan menahan air dalam jumlah relatif besar. Secara struktural, kondisi ini konsisten dengan karakter aerenchyma pada *E. crassipes*, yang terdiri atas ruang-ruang udara yang dipisahkan oleh jaringan parenkim dan jaringan pengangkut. Ruang internal tersebut tidak hanya berfungsi dalam adaptasi tumbuhan terhadap lingkungan perairan, tetapi juga memberikan konsekuensi terhadap sifat fisik material. Ruang pori dapat berperan sebagai reservoir air dan sekaligus sebagai bagian dari jalur transportasi massa. Oleh karena itu, tingginya porositas pada penelitian ini menjadi dasar untuk menjelaskan hasil penyerapan air yang juga relatif tinggi.



Gambar 2. Sampel basah

Densitas sebesar 0,75 g/cm³ menunjukkan bahwa jaringan petiole tidak tersusun sebagai material padat homogen. Densitas merupakan perbandingan antara massa material terhadap volumenya, sehingga keberadaan rongga internal akan memengaruhi nilai densitas yang terukur. Hun=Bungan densitas dan porositas sebesar 0,77 merupakan kombinasi kedua parameter menunjukkan adanya struktur material yang mempunyai volume ruang internal cukup besar. Struktur demikian penting karena ruang pori dapat menjadi jalur masuk dan penyimpanan air, sekaligus memengaruhi proses perpindahan massa melalui jaringan.



Gambar 3. Pengeringan sampel hingga massa konstan

Hasil nilai karbon biogenik sebesar 37% C berdasarkan berat kering. Nilai ini menunjukkan bahwa sebagian massa kering material petiole tersusun oleh karbon yang berasal dari biomassa tumbuhan. Karbon merupakan unsur utama penyusun senyawa organik tumbuhan, termasuk komponen struktural seperti selulosa, hemiselulosa, lignin, dan senyawa organik lainnya. Dengan nilai 277,5 kg C/m³ dapat digunakan sebagai estimasi densitas karbon volumetrik material berdasarkan densitas dan fraksi karbon yang digunakan. Parameter karbon ini penting sebagai informasi pendukung dalam melihat potensi biomassa *E. crassipes* sebagai material berbasis

karbon. Akan tetapi, nilai tersebut tidak dapat langsung diartikan sebagai bukti bahwa karbon akan tersimpan secara stabil dalam jangka panjang**.** Penelitian mengenai stabilitas atau sequestration karbon memerlukan pengujian tambahan mengenai perubahan karbon selama proses degradasi, pengolahan, atau penyimpanan.

Nilai penyerapan air yang diperoleh adalah sebesar 380%**.** Artinya, berdasarkan basis massa kering yang digunakan dalam perhitungan, massa air yang terserap mencapai sekitar 3,8 kali massa awal material kering**.** Tingginya penyerapan air dapat dikaitkan dengan struktur petiole yang memiliki porositas tinggi dan jaringan hidrofilik. Ketika petiole berinteraksi dengan air, air dapat masuk ke dalam ruang pori dan berinteraksi dengan komponen dinding sel yang bersifat hidrofilik. Dengan demikian, penyerapan air merupakan hasil gabungan antara pengisian ruang pori oleh air dan interaksi air dengan matriks biomassa**.** Hubungan antara porositas 0,77 dan penyerapan air 380% memberikan gambaran bahwa petiole mempunyai kemampuan interaksi yang kuat dengan air. Akan tetapi, kedua parameter tersebut tidak dapat dianggap memiliki hubungan linear secara otomatis. Penyerapan air tidak hanya ditentukan oleh jumlah ruang pori, tetapi juga oleh ukuran, konektivitas, distribusi pori, orientasi jaringan, serta sifat kimia permukaan material. Porositas memberikan ruang untuk masuk dan menyimpan air, sedangkan karakter hidrofilik jaringan memungkinkan terjadinya interaksi antara air dan komponen biomassa.

Koefisien difusi Fickian yang diperoleh adalah sebesar 2,4 x 10^{-9} m^2/s menggambarkan karakteristik perpindahan air atau uap air melalui material selama kondisi pengujian yang dianalisis menggunakan pendekatan difusi Fickian. Dalam model Fickian, perpindahan massa berlangsung akibat adanya gradien konsentrasi atau aktivitas air dari daerah dengan kondisi lebih tinggi menuju daerah dengan kondisi lebih rendah. Nilai koefisien difusi tersebut menunjukkan bahwa perpindahan air di dalam petiole berlangsung melalui jaringan internal yang memiliki hambatan terhadap transport massa. Hambatan tersebut tidak hanya ditentukan oleh keberadaan pori, tetapi juga oleh jalur transportasi, tortuositas, struktur dinding sel, distribusi jaringan, dan kondisi kadar air material**.**

KESIMPULAN

Simpulan

Petiole *Eichhornia crassipes* dari Danau Sentani menunjukkan karakteristik sebagai biomaterial berpori dengan arsitektur internal yang kuat memengaruhi interaksi dan transport air**,** ditunjukkan oleh densitas sebesar 0,75 g/cm^3**,** porositas 0,77**,** penyerapan air 380%, dan koefisien difusi Fickian sebesar 2,4 × 10^{-9} m^2/s**.** Kombinasi parameter tersebut memperlihatkan bahwa struktur internal petiole, khususnya keberadaan ruang aerenchyma, menyediakan ruang dan jalur bagi masuk, penyimpanan, serta perpindahan air di dalam biomassa. Kandungan karbon biogenik sebesar 37% C berat kering semakin memperkuat karakter petiole sebagai biomassa berbasis karbon, meskipun nilai tersebut belum dapat digunakan untuk menyimpulkan stabilitas penyimpanan karbon jangka panjang. Secara teoritis, hasil penelitian ini menegaskan keterkaitan arsitektur internal–porositas–interaksi air–difusi sebagai dasar penting dalam memahami sifat petiole *E. crassipes* dan memberikan fondasi karakterisasi awal bagi pengembangan kajian biomaterial tropis berbasis biomassa Danau Sentani.

Saran

1. Penelitian selanjutnya perlu menggunakan SEM atau teknik pencitraan tiga dimensi untuk mengidentifikasi ukuran, distribusi, konektivitas, dan orientasi pori secara lebih komprehensif.

2. Pengukuran difusi perlu dilakukan pada variasi kelembapan relatif, temperatur, orientasi sampel, dan siklus pembasahan-pengeringan untuk memperoleh model transport air yang lebih representatif.
3. Penelitian lanjutan perlu menguji perubahan karbon selama proses degradasi atau penyimpanan serta karakteristik kimia dan mekanik material sebelum menyimpulkan potensi *E. crassipes* sebagai material penyimpan karbon atau biomaterial aplikatif.

DAFTAR REFERENSI

Célino, A., Fréour, S., Jacquemin, F., & Casari, P. (2014). The hygroscopic behavior of plant fibers: A review. Frontiers in Chemistry, 1, 43.

Crank, J. (1975). The mathematics of diffusion (2nd ed.). Clarendon Press. Edisi kedua tahun 1975 dan penerbit Clarendon Press, Oxford.

George, S., Thomas, S., Nandanan Nedumpillil, N., & Jose, S. (2023). Extraction and characterization of fibers from water hyacinth stem using a custom-made decorticator. Journal of Natural Fibers, 20(2).

Hidayat, A., & Nugroho, S. (2021). Pengaruh perlakuan alkali terhadap daya serap air serat eceng gondok. Jurnal Ilmu dan Teknologi Material, 6(1), 11–18.

Kurniawan, B., & Handayani, T. (2022). Analisis sifat higroskopis serat alam tropis. Jurnal Fisika dan Aplikasinya, 18(3), 145–152.

Kymäläinen, H. R., & Sjöberg, A. M. (2021). Hygroscopic properties of plant fibres in building materials. Sustainability, 13(4), 1602.

Maulana, I., & Sari, D. P. (2023). Studi eksperimental serapan uap air pada material berpori berbasis serat alami. Jurnal Teknik Lingkungan, 29(1), 55–63.

Poletto, M., Zattera, A. J., & Santana, R. M. C. (2021). Structural differences between plant fibres: Evidence from chemical composition and hygroscopic behavior. Polymers, 13(2), 301.

Wembe, B. D., Wiryikfu, N. C., Ntamack, G. E., Kenmeugne, B., Tchotang, T., Rolland, D., & Stanislas, T. T. (2023). Extraction and physicochemical and thermomechanical characterizations of water hyacinth fibers Eichhornia crassipes. International Journal of Polymer Science, 2023.

Yuliana, R., & Hartono, H. (2024). Karakterisasi serat eceng gondok Danau Sentani sebagai material ramah lingkungan. Jurnal Penelitian Sains dan Teknologi, 25(1), 101–109.

Zhou, Y., Fan, M., & Chen, M. (2020). Interface and bonding mechanisms of plant fibre composites: An overview. Composites Part B: Engineering, 101, 31–45.