

Sintesis dan Karakterisasi Membran Ramah Lingkungan dari Limbah Styrofoam dengan Penambahan Biochar

Nur Fadhila*, Yasmine Nur Rahmawati, Nana Dyah Siswati*

Jurusan Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

*Koresponden email: nfadhila181@gmail.com, nanadyahsiswati22@gmail.com

Diterima: 9 Oktober 2024

Disetujui: 16 Oktober 2024

Abstract

Styrofoam waste is increasingly found in Indonesia as packaging, craft materials, decorations, construction materials, etc. Styrofoam consists of 90-95% polystyrene and 5-10% n-butane gas. The production of membranes is one of the solutions to reduce Styrofoam waste through the phase inference method. Polymer membranes in general have poor physical properties. However, this problem can eventually be overcome by adding blends. The addition of biochar has the potential to improve the compatibility between biochar particles and polystyrene. The membrane fabrication results are compared to determine the variation of biochar addition and thickness that has the best hydrophilic properties until the membrane has a contact angle $<90^\circ$ and high porosity. Based on the results of porosity and contact angle analysis on PS-biochar membrane, the best concentration and thickness ratio for membrane fabrication is 2:28 (%Wt) 0.13 mm thickness with a contact angle value of 79° , which means the membrane is hydrophilic as evidenced by the size of contact angle $<90^\circ$ and porosity of 33%. In the results of FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) analysis on the biochar polystyrene membrane there is a peak absorption wave at 1800 which is the absorption of the C=O group which is the absorption of the functional group of biochar.

Keywords: *styrofoam waste, membrane, biochar, hydrophilicity, porosity*

Abstrak

Limbah styrofoam di Indonesia semakin banyak ditemui seperti kemasan, bahan kerajinan, dekorasi, bahan bangunan, dan sebagainya. Pembuatan membran merupakan salah satu solusi mengurangi sampah styrofoam dengan metode cara infersi fase. Membran polimer secara umum dikarenakan sifat fisik yang kurang baik. Namun, permasalahan ini akhirnya dapat diatasi dengan menambahkan campuran. Penambahan biochar berpotensi untuk meningkatkan kompatibilitas antara partikel biochar dan polistirena. Hasil fabrikasi membran akan dibandingkan untuk mengetahui variasi penambahan biochar dan ketebalan yang mempunyai sifat hidrofilitas paling baik hingga membran memiliki sudut kontak $<90^\circ$ dan porositas tinggi. Berdasarkan hasil analisis porositas dan sudut kontak pada membran PS-Biochar didapat rasio konsentrasi dan ketebalan terbaik untuk pembuatan membran yaitu 2:28 (%Wt) ketebalan 0,13 mm dengan nilai sudut kontak sebesar 79° yang berarti membran bersifat hidrofilik dibuktikan dengan ukuran sudut kontak $<90^\circ$ dan porositas 33%. Pada hasil analisis FTIR (*Fourier-transform infrared spectroscopy*) pada membran polistiren biochar terdapat puncak gelombang serapan 1800 yang merupakan serapan gugus C=O yang merupakan serapan gugus fungsi dari biochar

Kata Kunci: *limbah styrofoam, membran, biochar, hidrofilitas, porositas*

1. Pendahuluan

Saat ini, styrofoam banyak digunakan oleh masyarakat untuk berbagai keperluan seperti kemasan, bahan kerajinan, dekorasi, bahan bangunan, dan sebagainya. Di Indonesia, penggunaan styrofoam sebagai wadah makanan makin menjamur karena barang ini sangat mudah ditemukan dimana-mana. Styrofoam merupakan plastik nomor 6 dalam klasifikasi plastik, yaitu polystyren, sehingga styrofoam sama berbahayanya dengan plastik. Environmental Protection Agency (EPA) mengatakan styrofoam merupakan penghasil limbah berbahaya ke-5 terbesar di dunia, hal ini disebabkan karena styrofoam berasal dari butiran-butiran styrene, yang diproses dengan menggunakan benzena. Benzena inilah yang termasuk zat yang dapat menimbulkan banyak penyakit. Menurut World Waste Management tahun 2020, di ASIA terdapat 5 (lima) negara yang terkena dampak lingkungan seperti penghasil sampah styrofoam terbesar di dunia, salah satunya Indonesia dengan jumlah 3,2 Juta Metrik Ton. Limbah styrofoam dapat dimanfaatkan kembali menjadi produk polistirena, namun memiliki kekuatan tarik lebih rendah dibandingkan produk polistirena asli [1].

Pembuatan membran merupakan salah satu solusi mengurangi sampah styrofoam [2]. Membran adalah lapisan yang sangat tipis yang bertindak sebagai penghalang bagi spesies tertentu dan berada di antara dua fase cairan-fase uap dan fase permeat. Membran polimer terkenal rapuh karena karakteristik fisiknya yang di bawah standar. Solusi untuk masalah ini dapat ditemukan dengan memasukkan campuran. Strategi ini meningkatkan karakteristik fisik polimer dan melindungi membran dari kerusakan dan pembengkakan yang disebabkan oleh gas [3]. Membran polimer telah menjadi subjek dari beberapa investigasi tentang bagaimana meningkatkan hidrofilisitas dan kemampuan antifouling mereka, dengan fokus pada modifikasi proses manufaktur. Beberapa metode untuk memodifikasi membran termasuk pencangkokan kimiawi, modifikasi permukaan, dan pencampuran polimer, yang melibatkan penggabungan dua molekul atau lebih. Salah satu cara paling efisien untuk mensintesis membran dengan kualitas antifouling yang baik adalah dengan menggabungkan polimer. Fouling dapat dicegah, menurut beberapa penelitian, dengan memodifikasi membran dan menambahkan aditif hidrofilik ke dalam larutan casting. Larutan ini adalah campuran pembentuk membran homogen yang mencakup polimer utama, pelarut, dan aditif [4].

Biochar adalah bahan organik yang diproduksi melalui pirolisis bahan baku berbasis karbon (C), biomassa) dan biasa digambarkan sebagai 'pembenah tanah'. Biochar terdiri dari 30%-60% komponen C [5]. Di antara fitur kimiawi biochar adalah adanya gugus fungsi pada permukaannya, yang mungkin bersifat asam atau basa dan hidrofilik, yang memungkinkannya bereaksi dengan larutan di sekitarnya. [6]. Selain itu, Partikel biochar yang dihasilkan memiliki struktur pori yang unik dengan gugus fungsi organik yang diperkaya pada permukaannya. Dibandingkan dengan karbon hitam, gugus fungsi organik yang tersisa pada permukaan biochar memiliki potensi untuk meningkatkan kompatibilitas antara partikel biochar dan polistirena. Selain hal itu permukaan yang baik, biochar juga memiliki sifat adsorptif yang menarik.

Modifikasi membran dalam penelitian ini dilakukan dengan mencampurkan polimer Polystirene yang berasal dari limbah Styrofoam dan dicampurkan dengan biochar yang digunakan sebagai aditif pada membran PS (Polystirene), menggunakan pelarut DMF. N,N-Dimetilformamida (DMF) merupakan senyawa organik dengan rumus kimia $(\text{CH}_3)_2\text{NCHO}$ yang larut dalam dietil eter, aseton, benzene, dan kloroform [7]. Kelarutan DMF yang sangat baik dalam air, statusnya sebagai bahan kimia organik termurah, dan penggunaannya yang luas sebagai pelarut membuatnya menjadi zat, aditif, dan pelarut yang sangat diperlukan dalam banyak aplikasi industri [8].

Membran Polystirene-Biochar dibuat dengan proses inversi fasa. Inversi fasa mengacu pada pembalikan transisi fasa cair-padat yang terjadi selama proses pembentukan membran, ketika larutan polimer berubah dari cair menjadi padat melalui mekanisme kontrol tertentu yang melibatkan pengadukan atau pencampuran [9]. Dimana saat fasa cair membeku pada titik-titik tertentu selama proses pencampuran, sehingga memungkinkan fasa padat berkembang. Bentuk membran selanjutnya dikontrol oleh langkah transisi perendaman. Selama proses inversi fasa pelarut pengendapan menjadi menguap, maka laju penguapan dapat diatur. Inversi fase lebih menguntungkan daripada metode lain karena serbaguna, mudah diterapkan, dan mengontrol pengembangan pori. Metode ini dapat digunakan untuk berbagai macam polimer [10]. Ketebalan membran sangat penting saat membuat membran. Ukuran pori menjadi lebih renggang saat ketebalan cetakan meningkat, dan lebih kecil saat ketebalan cetakan menurun, dalam kasus membran.

Dalam hal ini, porositas membran menunjukkan luas total membran yang dapat ditembus. Porositas membran yang lebih besar menunjukkan bahwa ada lebih banyak area permukaan yang memungkinkan air melewatinya. Tujuan penelitian adalah untuk meningkatkan kinerja pada membran dengan variasi penambahan adiktif biochar dan ketebalan membrane yang dibuat. Analisis karakteristik membran dilakukan dengan mengevaluasi struktur morfologi, gugus fungsi, serta porositas membrane, dan uji sudut kontak dengan menggunakan aplikasi image-j.

2. Metode Penelitian

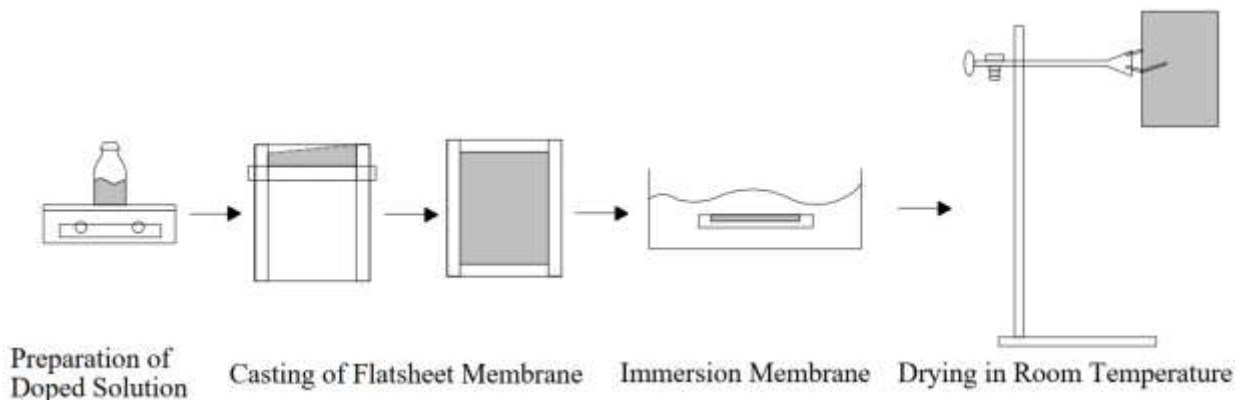
Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah styrofoam diperoleh dari limbah kemasan elektronik UPN Veteran Jatim dan digunakan sebagai dasar polimer yaitu polistiren (PS), N- N, Dimetilformamida (DMF) (Merck-1033014,99%, Jerman) digunakan sebagai pelarut polimer, biochar komersial dengan bahan dasar tempurung kelapa digunakan sebagai bahan penambahan dengan kandungan senyawa karbon tinggi, sedangkan air digunakan sebagai non pelarut untuk membantu pepadatan membrane. Pembuatan larutan dope membrane polistiren-biochar disediakan dengan variasi komposisi

(wt%) dari styrofoam dengan biochar 2:28 ; 4:26 ; 6:24 ; 8:22; 10:20 dengan 70% N- N,Dimetilformamida (DMF).

Pembuatan Membran Polistirine-Biochar

Membran dari biochar dan limbah Styrofoam dalam proses pembuatannya menggunakan teknik inversi fasa, sebelumnya dilakukan pembuatan larutan dope. Larutan dope dibuat dalam konsentrasi yang biochar dan styrofoam yang telah bervariasi, lalu dicampur dengan N, N dimetilformamida. Sebelumnya styrofoam dicuci dengan air lalu dikeringkan dengan oven untuk menghilangkan zat pengotor. Biochar dilarutkan dahulu pada DMF kemudian ditambahkan sedikit demi sedikit Styrofoam dan diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 3 jam. Larutan tersebut didiamkan selama hingga gelembung udara hilang. Hal ini dikarenakan gelembung udara menyebabkan munculnya cacat pada pori-pori membrane berupa void [11]. Larutan dope membran yang disiapkan dituangkan ke atas pelat kaca dengan variasi ketebalan cetakan membran 0,13 ; 0,26 ; 0,39 ; 0,52 ; 0,65 mm yang diukur menggunakan micrometer (ketelitian 0,001 mm). Membran ditempatkan dalam bak koagulasi yang berisi air suling dan direndam selama 24 jam. Perendaman dilakukan segera membrane proses fabrikasi telah selesai. Membran tersebut kemudian dikeringkan di pada suhu ruang selama 24 jam [12].



Gambar 1. Skema Pembuatan Membran

Analisis Karakteristik Membran

a. Analisis struktur permukaan membran

Analisis struktur morfologi membran dapat dilihat dengan melakukan uji SEM (Scanning electron microscopy) dengan mikroskop electron yang digunakan untuk menyelidiki permukaan dari sebuah objek solid secara langsung. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui ukuran pori membran yang dihasilkan serta unsur penyusunnya [13].

b. Analisis FTIR (Fourier Infra Red)

Analisis FTIR (*Fourier Infra Red*) merupakan teknik spektroskopi inframerah untuk mengidentifikasi berbagai gugus fungsi dalam suatu senyawa. Analisis ini dilakukan dengan membandingkan absorpsi spektrum yang dihasilkan menggunakan tabel korelasi dan spektrum senyawa pembanding, Dimana spektrum tersebut mencerminkan puncak-puncak yang dihasilkan oleh masing-masing gugus fungsi dalam senyawa tersebut yang memiliki kemampuan untuk menyerap radiasi elektromagnetik pada rentang frekuensi inframerah.

c. Analisis porositas membran

Analisis porositas dilakukan dengan mengeringkan membran dalam oven pada suhu 50°C selama 24 jam. Kemudian sampel dipotong kecil-kecil (1 cm × 1 cm) dan ditimbang. Potongan direndam dalam air suling selama 24 jam pada suhu 25°C Setelah itu membran dikeringkan dan ditimbang kembali. Rata-rata berat kering dan basah untuk setiap membran dicatat dan porositas (ϵ) dihitung menggunakan persamaan gravimetri:

$$\% \text{Porositas} = \frac{w_1 - w_0}{A \cdot L \cdot 0,998} \times 100\%$$

Keterangan :

- W1 = berat setelah perendaman
- W0 = berat awal
- A = luas permukaan membran (cm²)
- L = ketebalan membran (cm)

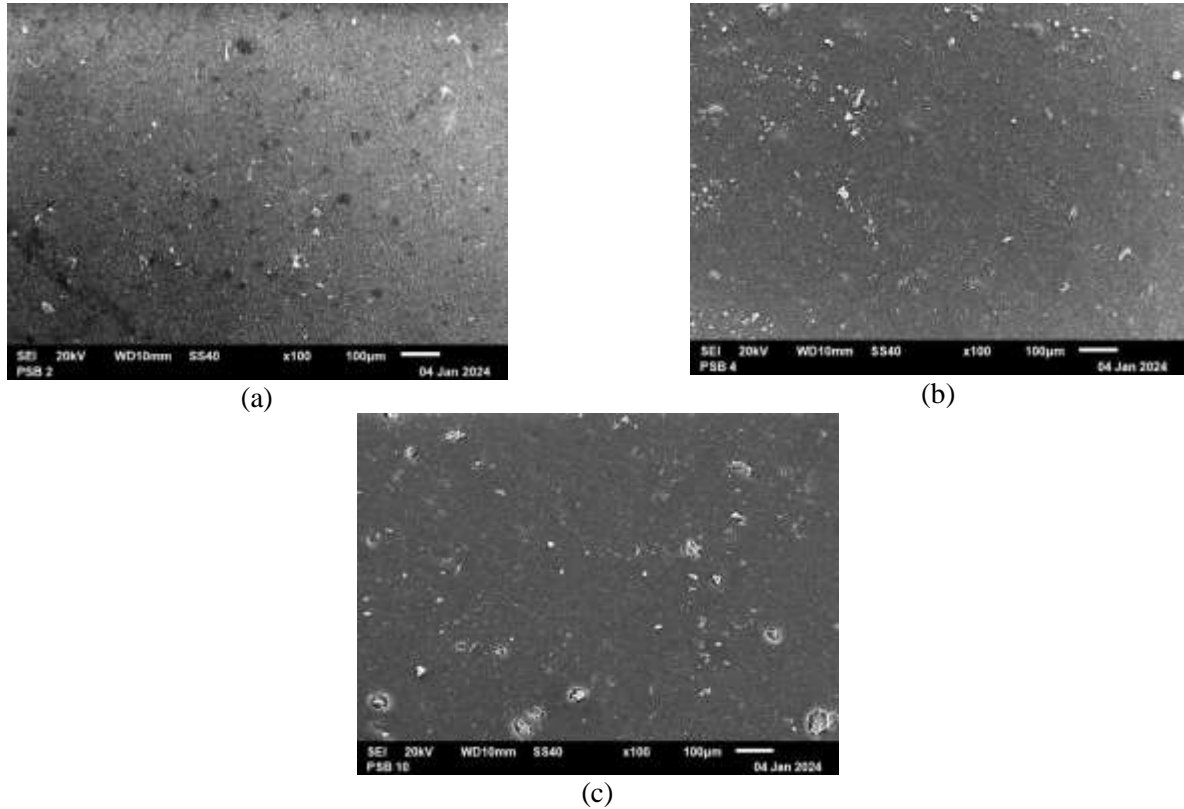
[14]

d. Hidrofilisitas

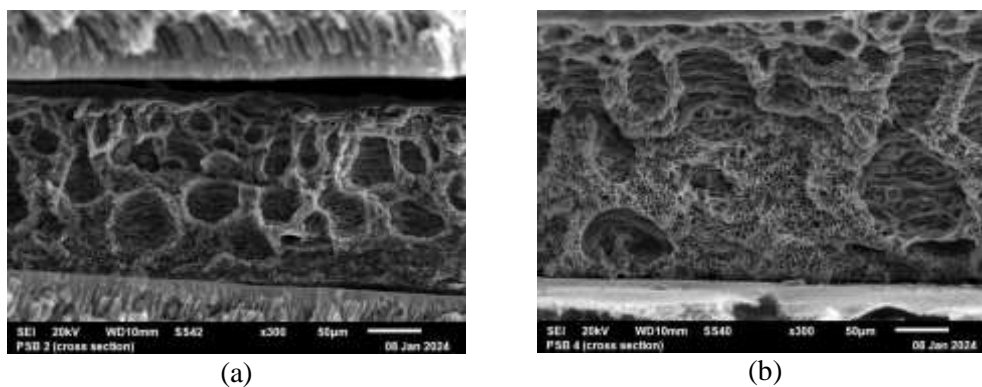
Analisis Hidrofilisitas membrane dilakukan dengan pengukuran sudut kontak dimana dilakukan dengan meneteskan membran dengan air. Sudut kontak membrane ditentukan dengan mencari sudut antara garis batas dan kelengkungan gelembung tetesan air. Dengan mengamati tetesan air yang terbentuk pada permukaan membran secara seksama dengan bantuan program Image-J pada setiap modifikasi membran, sudut kontak ditentukan dengan menggunakan pendekatan DSA (*Drop Sessile Analysis*) [15].

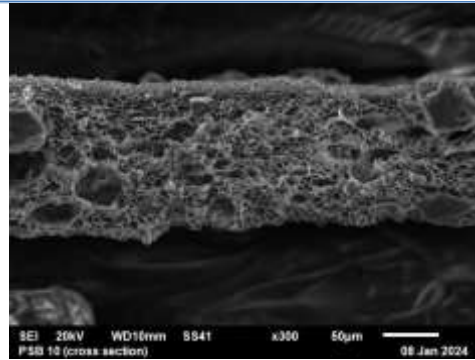
3. Hasil Dan Pembahasan

Hasil Struktur Morfologi Membran



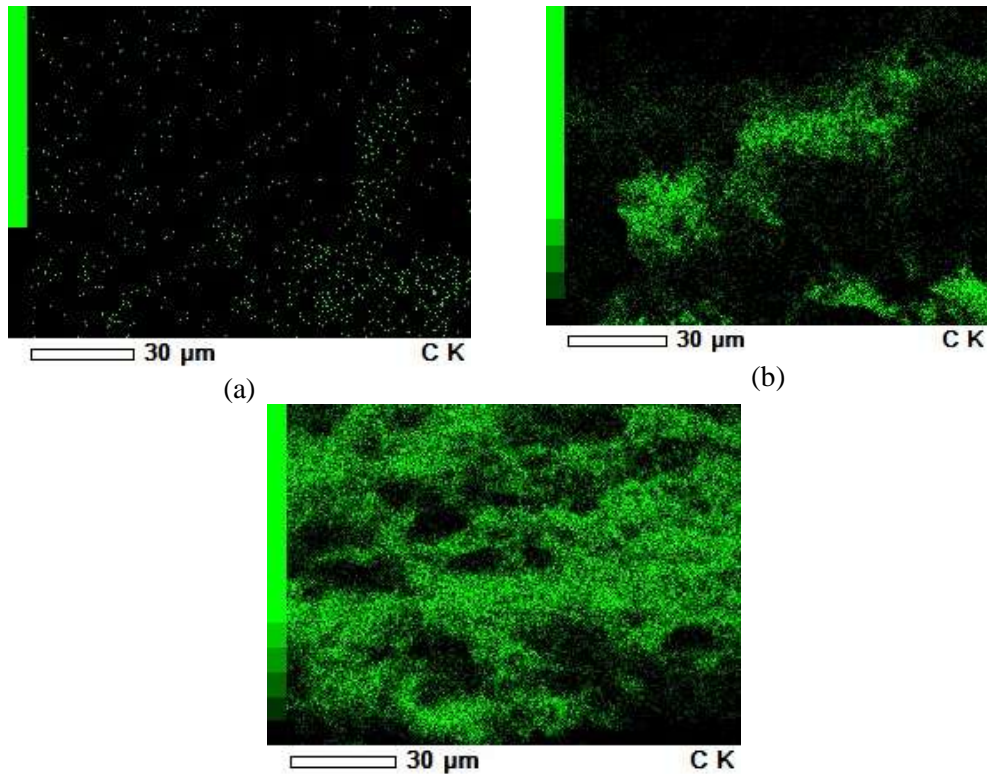
Gambar 1. Hasil analisis SEM Surface membran PS-Biochar 28/2 (a); 26/4 (b); dan 20/10 (c)





(c)

Gambar 2. Hasil uji SEM tampak melintang membran PS-Biochar 28/2 (a); 26/4 (b); dan 20/10 (c)



(c)

Gambar 4. Hasil uji SEM EDX kandungan biochar pada membran PS-Biochar 28/2 (a); 26/4 (b); dan 20/10 (c)

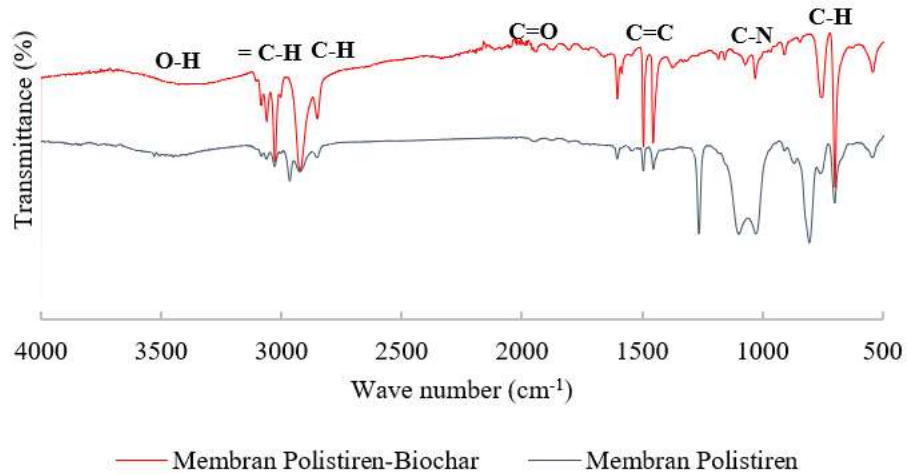
Berdasarkan **Gambar 2** hasil pengukuran dengan instrument SEM menunjukkan adanya pori surfan membran biochar yang memiliki ukuran berbeda-beda, jarak yang sedikit jauh antar porinya, dan adanya partikel biochar. Hal ini dapat terjadi dikarenakan pencetakan yang dilakukan manual sehingga dapat dianggap sebagai bentuk kerusakan pada permukaan membran dan adanya biochar yang tidak larut membuat adanya penonjolan struktur biochar dalam membran. Hal ini sesuai [16] dengan adanya peningkatan partikel pada penambahan biochar. Oleh karena itu, dispersi biochar dalam membran sangat penting dalam pembuatan membran styrofoam-biochar.

Tabel 1. Nilai kadar unsur Karbon (C) dan Oksigen (O) serta ukuran diameter pada setiap penambahan Konsentrasi Biochar

Membran	C (wt%)	O (wt%)	Ukuran diameter (µm)
PS-BC 2%	52,79	42,21	1535-2235
PS-BC 4%	76,53	23,47	3423-5283
PS-BC 10%	88,83	11,17	7573-11773

Berdasarkan **Tabel 1** diatas, hasil uji SEM tampak melintang (*cross section*), dapat dilihat pada **Gambar 3** tampak pori-pori yang berbeda ukuran dan struktur setiap konsentrasi penambahan biochar. Pada setiap peningkatan konsentrasi biochar akan membuat pori diameter yang semakin membesar hal ini dikarenakan adanya peningkatan biochar memotong konsentrasi styrofoam sebagai pembentuk pori dalam suatu membran tersebut. Peningkatan ukuran pori ini membuat porositas membran menjadi kecil, dikarenakan berkurangnya konsentrasi PS. Selain itu, pada peningkatan konsentrasi penambahan biochar didapatkan nilai (wt%) unsur karbon yang dianalisis menggunakan SEM EDX dapat dilihat pada **Gambar 4**.

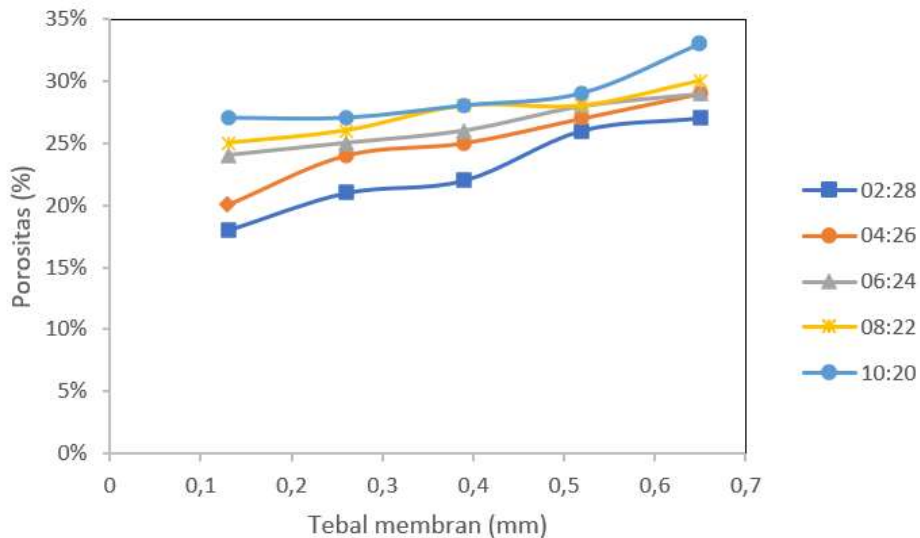
Hasil analisa Spektrum inframerah membran PS-Biochar



Gambar 5. Spektrum inframerah membran PS-Biochar

Berdasarkan **Gambar 5** didapatkan bilangan puncak serapan beberapa gugus. Karakteristik FTIR ini dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang ada pada membran. Spektrum inframerah membran PS-Biochar dapat dilihat pada gambar tampak gugus C=O pada puncak serapan bilangan gelombang 2200 cm⁻¹, selain itu terdapat gugus O-H dengan puncak serapan 3520 cm⁻¹. Adanya penambahan biochar dalam membran menurut penelitian [17] ditunjukkan adanya puncak gelombang serapan pada 1937,06 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi ulur dari C=O. Selain itu, tampak pula adanya puncak serapan yang melebar pada daerah 3485,49 cm⁻¹ yang merupakan serapan gugus -OH yang berikatan hidrogen. Berdasarkan hal tersebut, dapat dikatakan bahwa membran PS-Biochar memiliki spektra FTIR yang mirip dengan standard bahan polistirena [18].

Hasil Nilai Porositas Membran



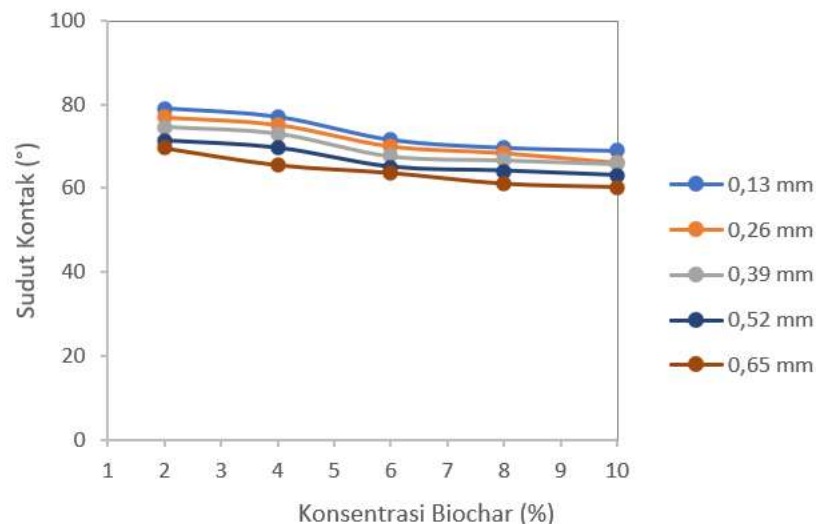
Gambar 6. Grafik hubungan konsentrasi biochar dan ketebalan membran dengan porositas membran PS-Biochar

Berdasarkan **Gambar 6** diatas menunjukkan hasil uji porositas dari membran PS-Biochar yang telah dibuat dengan penambahan biochar sebesar 2% hingga 10%. Berdasarkan gambar diatas didapatkan porositas tertinggi sebesar 33% dan porositas terendah sebesar 18%. Hal ini dapat dikarenakan oleh adanya perbedaan ukuran pori yang ada dari setiap membran. Berdasarkan perbedaan tersebut dapat dikatakan bahwa dengan adanya penambahan biochar, maka porositas dari membran tersebut semakin meningkat. Penelitian ini memiliki kesamaan dengan hasil penelitian yang dilakukan [19], dimana membran yang dibuat memiliki porositas tertinggi sebesar 35% dan terendah sebesar 6%, dapat dikatakan memiliki porositas yang semakin meningkat seiring dengan adanya pertambahan konsentrasi PEG dalam kandungan membran dan membran dengan penambahan PEG memiliki porositas yang lebih kecil dibandingkan dengan membran styrofoam murni yaitu sebesar 57%. Penambahan aditif pada membran dapat memodifikasi struktur pori membran dengan cara mengisi rongga-rongga yang terbentuk, sehingga menyebabkan penurunan pada volume total pori membran tersebut. Dalam gambar tersebut dapat disimpulkan pula seiring dengan bertambahnya ketebalan dari cetakan membran, porositas dari membran tersebut semakin menurun.

Jika dibandingkan membran PS murni (0% biochar) membran PS-Biochar memiliki persentase porositas lebih tinggi dibandingkan membran PS murni. Hal ini dapat disebabkan oleh disperse biochar yang kurang merata pada permukaan membran. Selain itu penelitian ini memiliki kesamaan dengan penelitian yang dilakukan oleh [20] terkait dengan optimasi ketebalan cetakan membran PEI. Hasil penelitian menunjukkan penampang melintang dan morfologi permukaan membran PEI dengan ketebalan cetakan 0,5, 0,6, 0,7, dan 0,8 mm dan komposisi larutan cetak PEI, NMP, dan H₂Cl (%b/b) 12/84/4. Peningkatan ketebalan cetakan telah menghasilkan pembentukan ukuran pori yang lebih renggang/lebih besar, dan kebalikannya juga benar. Akibatnya, porositas membran menurun sebagai akibat dari pengurangan ruang pori yang bertepatan dengan peningkatan ukuran pori. Jumlah area berpori dalam membran diwakili oleh porositas membran.

Jumlah permukaan berpori dalam membran meningkat seiring dengan meningkatnya porositas membran. Jumlah pori-pori dalam membran berkurang dengan bertambahnya ukuran pori membran. Jumlah lubang pada permukaan membran mengalami penurunan sebagai akibat dari peningkatan konsentrasi biochar yang ditambahkan. Hal ini merupakan hasil dari sifat bawaan biochar yang dipengaruhi oleh jenis biomassa yang digunakan dan kondisi pirolisis. Selain itu, penurunan porositas dikaitkan dengan kapasitas biochar untuk mengubah retensi air, yang memiliki efek substansial pada struktur fisik material yang berinteraksi dengannya..

Hasil Nilai Hidrofilisitas Membran



Gambar 7. Grafik hubungan konsentrasi biochar dan ketebalan membran terhadap sudut kontak membran Polistiren (PS)-Biochar

Berdasarkan **Gambar 7** diatas menunjukkan hasil uji porositas dari membran PS-Biochar yang telah dibuat dengan penambahan biochar sebesar 2% hingga 10% dan ketebalan cetakan 0,13 mm hingga 0,65 mm. Membran PS-biochar yang dibuat memiliki sifat hidrofilik karena memiliki nilai *contact angle* <90° yang berarti membran yang dibuat dapat menyerap partikel H₂O yang terkandung bahan yang melewati membran tersebut. Hal ini dikarenakan sifat hidrofilik membran yaitu kecenderungan permukaan untuk membasahi atau membentuk lapisan hidrasi tipis di atas permukaan membran [21]. Rata-rata penurunan

nilai sudut kontak setiap konsentrasi penambahan biochar sebesar 2,4%. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan memiliki persamaan hasil dengan penelitian yang dilakukan oleh [22] menunjukkan bahwa nilai contact angle dari membran yang dibuat mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kandungan carbon nanotube di dalam membran yang dibuat. Nilai contact angle membran tersebut mengalami penurunan sebesar 2,3%. Berdasarkan hal tersebut dapat dikatakan bahwa membran PS-biochar yang dibuat memiliki penurunan nilai sudut kontak yang lebih besar dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Selain itu didapatkan pula semakin bertambahnya penambahan biochar sudut kontak membran mengalami penurunan, hal ini memiliki kesamaan dengan penelitian [23] dimana didapatkan nilai *Contact Angle* semakin menurun dari 79.46° menjadi 42.46° seiring dengan bertambahnya nilai ketebalan cetakan membran.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian ini pengaruh kandungan biochar terhadap struktur membran, dengan konsentrasi biochar yang lebih banyak menghasilkan diameter pori yang lebih besar. Pada hasil analisis porositas dan sudut kontak pada membran PS-Biochar didapat rasio konsentrasi dan ketebalan terbaik untuk pembuatan membran yaitu 2:28 (% Wt) ketebalan 0,13 mm dengan nilai sudut kontak sebesar 79° yang berarti membran bersifat hidrofilik dibuktikan dengan ukuran sudut kontak <90° dan porositas 33%.

5. Referensi

- [1] B. Triyono, D. Muliastri, and D. A. Eka Septiyani, "The Characterization of Mechanical and Chemical Properties of Recycled Styrofoam Waste Employing Extrusion Process," 2023. [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa>
- [2] Nurillahi Febria Leswana, Dwi Siswanta, and Adhitasari Suratman, "Synthesis Polyelectrolyte Complex Membrane Polystyrene Sulfonate-Chitosan from Styrofoam Waste as The Adsorbent for Cu(II) and Ni(II) Metal," *Jurnal Farmasi Etam (JFE)*, vol. 1, no. 1, pp. 10–25, Jun. 2021, doi: 10.52841/jfe.v1i1.173.
- [3] R. Muhamad Iqbal, S. Namarito Simarmata, E. Roulina Simanjuntak, W. Nugroho, L. Rosmainar Tambunan, and J. Kimia, "Review: Pengembangan Mixed Matrix Membrane Untuk Pemisahan Gas CO₂/CH₄ Recent Development of Mixed Matrix Membrane for CO₂/CH₄ Separation," 2020.
- [4] X. He, T. Wang, J. Huang, J. Chen, and J. Li, "Fabrication and characterization of superhydrophobic PDMS composite membranes for efficient ethanol recovery via pervaporation," *Sep Purif Technol*, vol. 241, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.seppur.2020.116675.
- [5] F. Verheijen, S. Jeffery, A. C. Bastos, M. Van Der Velde, and I. Diafas, "Biochar Application to Soils A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions", doi: 10.2788/472.
- [6] C. J. Atkinson, J. D. Fitzgerald, and N. A. Hipps, "Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review," Dec. 2010. doi: 10.1007/s11104-010-0464-5.
- [7] F. A. H. Juber, Z. A. Jawad, B. L. F. Chin, S. P. Yeap, and T. L. Chew, "The prospect of synthesis of PES/PEG blend membranes using blend NMP/DMF for CO₂/N₂ separation," May 01, 2021, *Springer Science and Business Media B.V.* doi: 10.1007/s10965-021-02500-6.
- [8] M. M. Heravi, M. Ghavidel, and L. Mohammadkhani, "Beyond a solvent: Triple roles of dimethylformamide in organic chemistry," 2018, *Royal Society of Chemistry*. doi: 10.1039/c8ra04985h.
- [9] Y. Tang *et al.*, "A review on models and simulations of membrane formation via phase inversion processes," Dec. 15, 2021, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.memsci.2021.119810.
- [10] * Sofyana, S. Aprilia, and M. Assaki, "Karakteristik Membran Selulosa Triasetat Yang Dipreparasi Secara Inversi Fasa Presipitasi Imersi," 2020.
- [11] S. D. Nurherdiana *et al.*, "Characteristics Of Styrofoam Waste-Based Membrane Through Vapor and Liquid-Induced Phase Inversion Process," 2023.
- [12] D. Hermanto, M. Mudasir, D. Siswanta, and B. Kuswandi, "Synthesis of Alginate-Chitosan Polyelectrolyte Complex (PEC) Membrane and Its Physical-Mechanical Properties," *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, vol. 22, no. 1, pp. 11–16, Jan. 2019, doi: 10.14710/jksa.22.1.11-16.
- [13] M. Elma, P. Pengelolaan Jurnal dan Penerbitan Unlam JI HHasan Basry, and K. Tangi, *Proses Pemisahan Menggunakan Teknologi Membran*. Lambung Mangkurat University Press, 2016.
- [14] A. Jalali, A. Shockravi, V. Vatanpour, and M. Hajibeygi, "Preparation and characterization of novel microporous ultrafiltration PES membranes using synthesized hydrophilic polysulfide-amide

- copolymer as an additive in the casting solution,” *Microporous and Mesoporous Materials*, vol. 228, pp. 1–13, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.micromeso.2016.03.024.
- [15] U. Fathanah, I. Machdar, M. Riza, N. Arahman, M. R. Lubis, and M. Yusuf, “The Improvement of Hydrophilic Property of Polyethersulfone Membrane with Chitosan as Additive,” *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, vol. 15, no. 1, pp. 53–61, Mar. 2020, doi: 10.23955/rkl.v15i1.15916.
- [16] S. Gu, L. Li, F. Liu, and J. Li, “Biochar/Kevlar nanofiber mixed matrix nanofiltration membranes with enhanced dye/salt separation performance,” *Membranes (Basel)*, vol. 11, no. 6, 2021, doi: 10.3390/membranes11060443.
- [17] A. Y. Elnour *et al.*, “Effect of pyrolysis temperature on biochar microstructural evolution, physicochemical characteristics, and its influence on biochar/polypropylene composites,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 9, no. 6, 2019, doi: 10.3390/app9061149.
- [18] J. Fang, Y. Xuan, and Q. Li, “Preparation of polystyrene spheres in different particle sizes and assembly of the PS colloidal crystals,” *Sci China Technol Sci*, vol. 53, no. 11, pp. 3088–3093, 2010, doi: 10.1007/s11431-010-4110-5.
- [19] R. Ariadi Lusiana and N. Basid Adiwibawa Prasetya, “Indonesian Journal of Chemical Science Pengaruh Penambahan Aditif terhadap Karakterisasi Fisikokimia Membran Polisulfon,” 2020. [Online]. Available: <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- [20] A. S. Auliya and N. Kusumawati, “Optimasi Ketebalan Cetak Pada Preparasi Membran Polyetherimide (PEI).”
- [21] R. S. Hebbar, A. M. Isloor, and A. F. Ismail, “Contact Angle Measurements,” in *Membrane Characterization*, Elsevier Inc., 2017, pp. 219–255. doi: 10.1016/B978-0-444-63776-5.00012-7.
- [22] M. Adamczak, G. Kamińska, and J. Bohdziewicz, “Application of waste polymers as basic material for ultrafiltration membranes preparation,” *Water (Switzerland)*, vol. 12, no. 1, Jan. 2020, doi: 10.3390/w12010179.
- [23] A. L. Ahmad, T. A. Otitoju, and B. S. Ooi, “Hollow fiber (HF) membrane fabrication: A review on the effects of solution spinning conditions on morphology and performance,” Feb. 25, 2019, *Korean Society of Industrial Engineering Chemistry*. doi: 10.1016/j.jiec.2018.10.005.