

Karakterisasi Membran Kitosan Kulit Udang-PVA dengan Variasi Karbon Aktif sebagai Filter Air

Ayu Lingga Ratna Sari^{1*}, Dady Sulaiman², dan Siti Maria Ulva³

^{1,2,3} Jurusan Fisika, Universitas Kaltara, Tanjung Selor, Indonesia

*E-mail Penulis Korespondensi: ayulinggaratnasari84@gmail.com

Abstrak

Kulit udang mengandung kitin yang dapat diolah menjadi kitosan dan digunakan bersama Polivinil Alkohol (PVA) dalam pembuatan membran filtrasi air. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan membran berbasis kitosan dari limbah kulit udang dan PVA, dengan tambahan karbon aktif, sebagai filter air. Membran kitosan-PVA dibuat dengan variasi konsentrasi karbon aktif sebesar 0%, 1%, 2%, dan 3%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran dengan 1% karbon aktif memberikan hasil terbaik, dengan debit air sebesar 0,004 L/s untuk 1 liter pertama. Penambahan karbon aktif terbukti meningkatkan efektivitas membran dalam menyaring polutan, meskipun konsentrasi yang terlalu tinggi dapat menurunkan debit air dan porositas. Disimpulkan bahwa membran kitosan-PVA dengan karbon aktif memiliki potensi yang signifikan sebagai teknologi filter air yang efektif untuk meningkatkan kualitas air tercemar.

Kata kunci: Membran, Kitosan, PVA, Karbon Aktif, Filter Air.

Abstract

Shrimp shells contain chitin, which can be processed into chitosan and used alongside Polyvinyl Alcohol (PVA) in the production of water filtration membranes. This study aims to develop a chitosan-based membrane from shrimp shell waste and PVA, with the addition of activated carbon, as a water filter. Chitosan-PVA membranes were fabricated with activated carbon concentrations of 0%, 1%, 2%, and 3%. The results indicated that the membrane with 1% activated carbon provided the best performance, with a water flow rate of 0.004 L/s for the first liter. The addition of activated carbon was found to enhance the membrane's effectiveness in filtering pollutants, although higher concentrations may reduce water flow rate and porosity. It is concluded that chitosan-PVA membranes with activated carbon have significant potential as an effective water filter technology for improving the quality of polluted water.

Keywords: Membrane, Chitosan, PVA, Activated Carbon, Water Filter

Article History: Received: 25 November 2024
Accepted: 18 December 2024

Revised: 12 December 2024
Published: 30 December 2024

How to cite: Sari, A. L. R., Sulaiman, D., Ulva, S. M. (2024). Karakterisasi Membran Kitosan Kulit Udang-PVA dengan Variasi Karbon Aktif sebagai Filter Air, Jurnal Literasi Pendidikan Fisika, 5 (2). pp. 198-210. <https://doi.org/10.30872/jlpf.v5i2.4400>

Copyright © November 2024, Jurnal Literasi Pendidikan Fisika

PENDAHULUAN

Salah satu komoditas utama ekspor dalam bidang perikanan di Kalimantan Utara adalah udang. Industri ini dapat menghasilkan limbah berupa kulit yang jika tidak diolah dengan baik akan membusuk dan menyebabkan pencemaran lingkungan (Marwiah et al., 2024; Mustafiah et al., 2018). Kulit udang mengandung kitin yang kemudian dapat menjadi beberapa produk di berbagai sektor bidang seperti kitosan. Kitosan merupakan polimer alami yang tidak beracun dan digunakan untuk pembuatan membran (Ardhiansyah et al., 2024; Sari, 2014). Kitosan memiliki keunggulan mampu menurunkan kandungan zat kimia pada air karena bersifat absorben dan dapat menjadi koagulan penjernihan air (Fath et al., 2024; Haji et al., 2020; Mustafiah et al., 2018). Namun, kitosan membutuhkan bahan tambahan seperti Polivinil Alkohol (PVA) untuk memperbaiki sifat mekanisnya (Purwandari & Tarigan, 2022).

PVA merupakan polimer sintetik yang biasanya dikombinasikan dengan kitosan dalam suatu produk. PVA dapat memperbaiki sifat mekanik membran dan memiliki daya tahan pada suhu yang tinggi (Ambarwati et al., 2024; Fath et al., 2024). PVA memiliki beberapa kelebihan di antaranya hidrofilisitas, kompatibilitas, tidak toksis, sifat mekanik yang kuat, stabilitas kimia yang baik dibanding polimer sintetik lainnya, serta biodegradable (Erizal et al., 2018; Fitriadi & No, 2015; Piluharto et al., 2019). Selain itu PVA dapat membentuk suatu lapisan atau film yang kuat dan bersifat plastis yang kemudian dapat digunakan sebagai bahan pembuatan membran (Fitriadi & No, 2015; Piluharto et al., 2019).

Membran telah digunakan dalam berbagai aplikasi, salah satunya adalah sebagai filter air yang dapat memisahkan zat-zat kontaminan dari air. Membran filtrasi merupakan salah satu metode filtrasi yang saat ini banyak dikembangkan oleh peneliti karena memiliki tingkat efisiensi cukup baik (Bai et al., 2023; M. Fadli et al., 2021; Kolya & Kang, 2023). Teknologi ini dapat mengurangi kadar polutan atau substansi yang tidak diinginkan dalam air (Kolya & Kang, 2023; Maulana & Marsono, 2021; Memisoglu et al., 2023; Santoso et al., 2023). Selain itu, kelebihan dari teknologi ini adalah rendah konsumsi energi, ramah lingkungan dan mudah dalam perawatan atau operasional (Maulana & Marsono, 2021; Memisoglu et al., 2023). Banyak peneliti yang telah mengembangkan penelitian filter membran, namun masih terdapat beberapa kekurangan dari penelitian yang dikembangkan salah satunya tingkat hidrofilisitas membran yang kurang baik (Fathanah et al., 2019; Sylvani et al., 2023). Sehingga penggunaan kitosan dari limbah kulit udang dan PVA sebagai membran diharapkan dapat meningkatkan hidrofilisitas pada membrane sebagai filter air.

Selain itu pada penelitian ini digunakan karbon aktif sebagai bahan tambahan dalam pembuatan membran agar karakterisasi membran sebagai filter air menjadi lebih baik lagi. Karbon aktif adalah senyawa amorf mengandung karbon yang dapat membantu dalam pengolahan air dan banyak digunakan dalam filter konvensional (Abdi et al., 2015; Kolya & Kang, 2023; Memisoglu et al., 2023). Karbon aktif mampu mengadsorpsi kandungan logam dan zat kimia yang terkandung dalam air dan memiliki kemampuan untuk menjernihkan air, sehingga dalam pembuatan membran dilakukan penambahan karbon aktif (Abdi et al., 2015; Budianti, 2017; Pujiono & Mulyati, 2017; Sufra et al., 2023). Selain itu bahan pembuatan karbon aktif banyak tersedia di alam, harga terjangkau dan tidak menyebabkan pencemaran lingkungan (Pujiono & Mulyati, 2017). Berdasarkan hal tersebut, peneliti akan mengembangkan membran filtrasi air menggunakan variasi karbon aktif untuk memperbaiki kualitas air sungai kayan yang keruh.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental untuk mengetahui karakteristik dan kemampuan membran kitosan kulit udang-PVA dengan variasi karbon aktif dalam filter air. Alat dan bahan yang digunakan antara lain: Beaker glass (50, 100, 500 dan 1000) mL, termometer, corong, spatula, pipet tetes, labu ukur 100 mL, neraca analitik, oven/pemanas, *magnetic stirrer*, kertas pH meter, blender, mortar, ayakan (50 dan 100) mesh, kertas saring, cawan petri, filter holder, pipa PVC dan selang. Bahan yang digunakan adalah Limbah kulit udang, PVA MERCK (bulk density 400 – 670 kg/m³), serbuk karbon

aktif yang dijual secara komersil, dimethyl-sulfoxide (DMSO MERCK), HCl 1 M, NaOH MERCK(3,5 dan 60) %, asam asetat (CH_3COOH) konsentrasi 3%, aquades, aluminium foil.

Pembuatan Membran

Pembuatan kitosan pada penelitian ini dilakukan berdasarkan metode yang telah dikembangkan oleh peneliti-peneliti sebelumnya (Marieta & Musfiroh, 2021; Rahman et al., 2023; Ramadhanur & Sari, 2015). Kulit udang dicuci dengan air mengalir hingga bersih, kemudian dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 70°C . Setelah kering dihaluskan menggunakan blender dan mortar, lalu diayak dengan ayakan 50 mesh. Setelah bersih, dilakukan Proses Demineralisasi untuk menghilangkan kandungan mineral CaCO_3 dan $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ kulit udang. Demineralisasi dilakukan dengan melarutkan serbuk kulit udang pada larutan HCl 1 M dengan perbandingan 1:10 (g serbuk/mL HCl). Kemudian dicampurkan menggunakan magnetic stirrer pada suhu 75°C selama 6 jam. Kemudian disaring menggunakan kertas saring dan dicuci dengan aquades hingga pH netral. Endapan yang diperoleh dikeringkan menggunakan oven pada suhu 80°C selama 6 jam dan didinginkan.

Langkah selanjutnya adalah deproteinasi yaitu dengan menambahkan larutan NaOH 3,5% pada serbuk kulit udang dengan perbandingan 1:10. Campuran kemudian dipanaskan dan diaduk menggunakan magnetic stirrer pada suhu 60°C selama 4 jam. Campuran disaring menggunakan kertas saring, kemudian dicuci menggunakan aquades hingga pH netral. Padatan yang didapatkan dikeringkan dengan oven pada suhu 80°C selama 6 jam.

Sintesis kitosan dilakukan melalui proses deasetilasi untuk menghilangkan gugus asetil pada kitin. Proses deasetilasi dimulai dengan mencampurkan serbuk kitin pada larutan NaOH 60% dengan perbandingan 1:10. Campuran dipanaskan dan diaduk dengan magnetic stirrer pada suhu 100°C selama 4 jam. Campuran lalu disaring menggunakan kertas saring, dan dicuci dengan aquades hingga pH netral. Kemudian endapan yang diperoleh dikeringkan dengan oven sehingga diperoleh serbuk kitosan.

Pembuatan membran dilakukan berdasarkan penelitian oleh Fadli et al. (2021) dan Fathanah et al. (2019). Membran yang akan dibuat pada penelitian ini terdiri dari 4 jenis sampel dengan variasi karbon aktif yang dapat di lihat pada Tabel 1. Pembuatan membran dimulai dengan membuat larutan kitosan dengan mencampurkan serbuk kitosan 0,5 gram dilarutkan dalam asam asetat (CH_3COOH) konsentrasi 3% 47,61 ml. Setelah itu dilanjutkan dengan membuat larutan dope dari PVA 18% yang dilarutkan, kemudian ditambahkan larutan kitosan 5% dari berat total larutan dope. Larutan dope kemudian diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* hingga homogen. Setelah larutan dope tercampur, masukkan karbon aktif dengan variasi (0, 1, 2, dan 3)% dari berat total larutan dope. Kemudian cetak larutan dope pada cawan petri dan keringkan pada suhu ruang selama 30 jam. Selanjutnya, membran dikeluarkan dari cetakan dan dipanaskan dalam oven dengan suhu 70°C selama 10 menit.

Tabel 1. Perbandingan Komposisi Bahan

Membran	Larutan Kitosan (% B/V)	PVA (% B/V)	Karbon Aktif (% B/V)
M1	5	18	0
M2	5	18	1
M3	5	18	2
M4	5	18	3

Debit Aliran Air

Uji debit air dilakukan untuk mengetahui volume air yang dapat melalui membran per sekon (Memisoglu et al., 2023). Pengujian debit air ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dan efisiensi dari membran dalam melewati zat alir, agar dapat diketahui efisiensinya dalam penggunaan sehari-hari. Uji debit ini dilakukan dengan cara mengukur waktu yang dibutuhkan membran untuk mengalirkan air sebanyak 1 L. Pada penelitian ini pengukuran dilakukan hingga air mencapai 5 L dan setiap 1 L waktu diukur, hal ini dilakukan untuk mengetahui stabilitas membran sebagai pengolah air untuk melewati air melalui membran. Untuk menganalisis data hasil pengukuran digunakan rumusan pada Persamaan 1 (Ningrum et al., 2021).

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

Dimana Q adalah debit air (m^3/s), V adalah volume air (m^3), dan t adalah waktu (s).

Kerapatan Membran

Uji kerapatan membran dilakukan untuk mengetahui kerapatan partikel dan ikatan pada membran sebelum dan sesudah dilakukan filtrasi pada air sungai kayan (Bai et al., 2023; A. Fadli, 2021). Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah melakukan pengukuran kerapatan membran sebelum filtrasi dengan mengukur massa kering dan volume membran kemudian dilakukan perhitungan kerapatan (ρ). Kemudian dilakukan proses filtrasi dengan menggunakan membran lalu diukur massa basah dan volume membran dan dilakukan perhitungan kerapatan membran (Bai et al., 2023; A. Fadli, 2021; Respati et al., 2024). Untuk menganalisis data hasil pengukuran digunakan rumusan pada Persamaan 2.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Dimana ρ adalah kerapatan membran (kg/m^3), V adalah volume air (m^3), dan m adalah massa (kg).

Porositas Membran

Uji porositas dilakukan untuk melihat persentase jumlah daerah berpori pada permukaan membran, sehingga dari uji ini peneliti dapat mengetahui banyak zat yang dapat terserap oleh membran (Bai et al., 2023). Tahapan pertama yang dilakukan dalam menguji porositas adalah dengan menimbang massa kering membran, kemudian merendam sampel membran pada cairan aquades selama 24 jam dan kemudian menimbang massa basah membran dengan menggunakan neraca analitik (Bai et al., 2023; M. Fadli et al., 2021). Untuk menganalisis data hasil pengukuran digunakan rumusan pada Persamaan 3.

$$\text{Porositas (\%)} = \frac{(\text{berat basah} - \text{berat kering})}{(\rho_{H_2O} \times \text{volume benda})} \quad (3)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Membran

Tahapan pertama yang dilakukan dalam pembuatan kitosan adalah menyiapkan bahan baku berupa limbah kulit udang yang didapatkan dari limbah perusahaan dan limbah rumah tangga. Kemudian limbah kulit udang tersebut dicuci bersih dan dijemur hingga kering, setelah itu kulit udang yang telah kering dihaluskan dengan menggunakan blender dan mortar dan diayak dengan menggunakan ayakan hingga halus. Proses ini dilakukan agar mineral dan protein pada kulit udang mudah terurai dalam proses sintesis kitin hingga menjadi kitosan (Marieta & Musfiroh, 2021; Ramadhanur & Sari, 2015). Setelah halus, proses yang dilakukan selanjutnya adalah sintesis kitin yang meliputi proses demineralisasi dan deproteinasi. Proses demineralisasi dilakukan untuk menghilangkan kandungan mineral $CaCO_3$ dan $Ca_3(PO_4)_2$ pada kulit udang dengan menggunakan larutan HCl 1 M (Azizati, 2019; Marieta & Musfiroh, 2021; Mustafiah et al., 2018; Ramadhanur & Sari, 2015). Proses deproteinasi dilakukan untuk melepaskan ikatan protein pada serbuk kulit udang dengan menggunakan larutan NaOH 3,5 % (Azizati, 2019; Marieta & Musfiroh, 2021; Ramadhanur & Sari, 2015). Setelah diperoleh serbuk kitin dari kulit udang untuk mendapatkan serbuk kitosan tahapan yang dilakukan selanjutnya adalah sintesis kitosan dengan proses deasetilasi untuk menghilangkan asetil pada kitin dengan menggunakan larutan NaOH 60 % (Marieta & Musfiroh, 2021; Ramadhanur & Sari, 2015). Dari proses yang telah dilakukan dihasilkan serbuk kitosan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 yang digunakan sebagai salah satu bahan pembuatan membran dalam penelitian ini.



Gambar 1. Serbuk Kitosan Limbah Kulit Udang

Gambar 1 menunjukkan bahwa kitosan yang dihasilkan dari penelitian ini berbentuk serbuk dengan warna kecoklatan dan tidak berbau. Kitosan merupakan serbuk hasil dari proses deasetilasi kitin yang berbentuk polimer rantai panjang glukosamin, berwarna putih kekuningan, tidak berbau dan tidak berasa (Marieta & Musfiroh, 2021). Kitosan adalah salah satu polimer yang dihasilkan dari proses pengolahan limbah hasil laut salah satunya adalah kulit udang, dimana serbuk kitosan memiliki sifat tidak mudah larut pada beberapa zat cair salah satunya air (Marieta & Musfiroh, 2021). Kitosan memiliki banyak manfaat di antaranya adalah dapat menjadi adsorben beberapa bahan kimia, meningkatkan sifat mekanik membran dan mampu menjadi koagulan dalam penjernihan air (M. Fadli et al., 2021; Marieta & Musfiroh, 2021; Mustafiah et al., 2018; Sari, 2014). Selain itu kitosan memiliki beberapa sifat di antaranya : (1) berasal dari alam (renewable), (2) biodegradable dan tidak mencemari lingkungan, (3) biokompatibel tidak hanya pada hewan juga dengan jaringan tanaman, (4) hidrofilisitas tinggi, (5) tidak bersifat toksis, (6) struktur molekulnya dapat dan mudah dimodifikasi (M. Fadli et al., 2021; Marieta & Musfiroh, 2021). Berdasarkan pada hal tersebut kitosan sangat baik digunakan sebagai salah satu bahan pembuatan membran untuk filter air.

Pembuatan Membran Kitosan-PVA dengan Variasi Penambahan Karbon Aktif

Setelah didapatkan serbuk kitosan, langkah selanjutnya adalah membuat larutan kitosan dan pembuatan membran kitosan-PVA dengan variasi penambahan karbon aktif. Pembuatan larutan kitosan dilakukan dengan mencampurkan serbuk kitosan dengan asam asetat 3 %, hal ini dilakukan agar mempermudah dalam proses pencampuran dengan bahan lain saat pembuatan membran dan kitosan hanya dapat larut pada larutan asam asetat dan aseton (Fathanah et al., 2019; Marieta & Musfiroh, 2021). Tahapan selanjutnya adalah membuat larutan dope dengan melarutkan Polivinil Alkohol (PVA) sebanyak 18 % dengan pelarut, kemudian ditambahkan dengan kitosan sebanyak 5 % dan karbon aktif dengan variasi 0 %, 1 %, 2 % dan 3 %, kemudian semua bahan dicampurkan hingga homogen dan dicetak pada cawan petri. Setelah membran kering, membran dikeluarkan dari cetakan dan dioven pada suhu 70° C selama 10 menit untuk menghilangkan kadar air yang masih terkandung pada membran (M. Fadli et al., 2021; Fathanah et al., 2019). Membran yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 2. Selanjutnya dilakukan pengujian karakteristik membran di antaranya adalah uji debit, uji kerapatan dan porositas membran.



Gambar 2. (a) Sampel Membran M1, (b) Sampel Membran M2, (c) Sampel Membran M3, (d) Sampel Membran M4

Gambar 2 menunjukkan hasil dari pembuatan membran dengan variasi penambahan karbon aktif. Sampel M1 dengan 0 % karbon aktif memiliki warna yang jernih sementara M2 dengan penambahan 1 % karbon aktif berwarna hitam namun tidak pekat. Pada M3 dengan penambahan 2 % karbon aktif dan M4 dengan penambahan 3 % karbon aktif sama – sama memiliki warna lebih hitam pekat dibandingkan M1 dan M2. Pada umumnya membran berbentuk lapisan tipis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Membran merupakan suatu penghalang selektif yang mampu melewatkan beberapa komponen yang terkandung pada suatu zat yang melewatinya, namun juga mampu menahan komponen lainnya (M. Fadli et al., 2021; Fathanah et al., 2019; Fitri et al., 2023). Sehingga penggunaan membran pada filter air dianggap mampu untuk menghalangi zat-zat berbahaya yang terkandung dalam air sungai (Fitri et al., 2023).

Penambahan karbon aktif pada membran bertujuan agar membran mampu mengabsorpsi zat-zat berbahaya pada air dan menjernihkan air. Karbon aktif adalah jenis karbon dengan atom karbon bebas yang memiliki kemampuan daya serap yang baik terhadap anion, kation dan molekul dalam bentuk senyawa organik maupun anorganik, selain itu karbon aktif memiliki kemampuan untuk menyerap warna dan bau (Budiman et al., 2018). Hal ini dapat terjadi karena karbon aktif memiliki permukaan yang relatif bebas dari deposit, permukaan luas dan pori-pori lebih terbuka berukuran makro yang jumlahnya banyak, sehingga memiliki daya serap yang tinggi (Budiman et al., 2018; Nenohai et al., 2023; Untung Waluyo et al., 2020). Dalam pembuatan membran pengolah air, ukuran butir dan banyaknya karbon aktif yang digunakan sangat berpengaruh terhadap kinerja membran, dimana semakin banyak karbon aktif dengan ukuran butir yang halus maka tingkat kerapatan membran akan semakin tinggi (Budiman et al., 2018; Untung Waluyo et al., 2020).

Debit Aliran Air

Uji debit air dilakukan untuk mengetahui volume air yang dapat melalui membran per sekon (Aldian et al., 2022). Pengujian debit air ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dan efisiensi dari membran dalam melewatkan zat alir, agar dapat diketahui efisiensinya dalam penggunaan sehari-hari. Debit air sangat dipengaruhi oleh ikatan-ikatan yang terdapat di dalam membran dan pori-pori yang terbentuk pada permukaan membran. Jika ikatan-ikatan antar partikel dalam membran sangat rapat maka debit air yang melalui membran akan kecil dan sebaliknya. Selain itu, jika pori-pori yang terbentuk pada permukaan membran memiliki persentase yang banyak dan besar maka debit air akan semakin besar (Aldian et al., 2022; Dahlan et al., 2019). Uji debit ini dilakukan dengan cara mengukur waktu yang dibutuhkan membran untuk mengalirkan air sebanyak 1 L. Pada penelitian ini pengukuran dilakukan hingga air mencapai 5 L dan setiap 1 L waktu diukur, hal ini dilakukan untuk mengetahui stabilitas membran sebagai pengolah air untuk melewatkan air melalui membran. Hasil pengukuran dan perhitungan debit aliran air pada membran dapat dilihat pada Tabel 2.

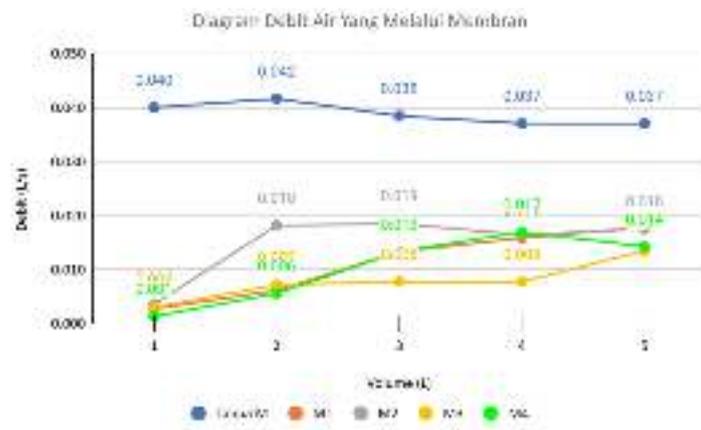
Tabel 2. Data Pengukuran Debit Air Pada Membran

Volume (L)	Tanpa Membran		M1		M2		M3		M4	
	t (s)	Q (L/s)	t (s)	Q (L/s)	t (s)	Q (L/s)	t (s)	Q (L/s)	t (s)	Q (L/s)
1	25	0,040	370	0,003	280	0,004	330	0,003	737	0,001
2	24	0,042	162	0,006	55	0,018	139	0,007	179	0,006
3	26	0,038	75	0,013	54	0,019	129	0,008	75	0,013
4	27	0,037	63	0,016	61	0,016	129	0,008	59	0,017
5	27	0,037	56	0,018	57	0,018	74	0,014	70	0,014

Dari Tabel 2 menunjukkan bahwa membran Kitosan-PVA dengan variasi penambahan karbon menghasilkan nilai debit air yang berbeda-beda. Pada membran M1, dibutuhkan waktu 370 s dan debit 0.003 L/s untuk mencapai 1L pertama. Membran M2 memerlukan waktu 280 s dan debit air sebesar 0.004 L/s untuk mencapai 1L Pertama. Membran M3 untuk mencapai 1 L pertama dibutuhkan waktu 330 s dengan debit air sebesar 0.003 L/s. Membran M4 Untuk mencapai 1 L pertama membutuhkan waktu 737 s dengan debit air sebesar 0,001 L/s. Sehingga dapat diketahui M2 memiliki laju debit lebih besar dibandingkan M1, M3, dan M4. Sedangkan M4 memiliki laju debit lebih kecil dibandingkan yang lain.



Berdasarkan hasil pada Tabel 2, digambarkan diagram debit air yang dapat dilihat pada Gambar 3. Diketahui bahwa terjadi perbedaan besar debit air yang melewati masing-masing membran. Peningkatan debit air ini disebabkan oleh perbedaan pembentukan pori pada masing – membran (Untung Waluyo et al., 2020). Hal ini menunjukkan bahwa penambahan variasi karbon aktif pada membran sangat berpengaruh terhadap debit air yang melewati membran, karena penambahan karbon aktif dengan konsentrasi yang berbeda akan menyebabkan perbedaan pembentukan pori-pori pada permukaan membran, sehingga akan menghasilkan kerapatan membran yang berbeda pula (Dahlan et al., 2019; Nenohai et al., 2023). Debit aliran air yang melalui membran dipengaruhi oleh luas permukaan sentuhan butir karbon aktif terhadap air, sehingga semakin kecil ukuran butir karbon aktif yang ditambahkan pada membran akan menyebabkan makin luas daerah sentuhan dan makin padat kerapatan membran (Aldian et al., 2022; Dahlan et al., 2019). Sehingga sampel membran M4 dengan penambahan karbon aktif 3 % untuk dapat mencapai 1L pertama membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan dengan membran yang lain. Dari pengukuran ini diketahui bahwa tekstur dari butir dan konsentrasi karbon aktif pada membran sangat berpengaruh terhadap debit. Tekstur karbon aktif yang kasar akan menyebabkan zat cair mudah melewati membran dan meloloskan komponen-komponen berbahaya karena kerapatan pada membran berkurang dan menyebabkan pada permukaan membran terbentuk banyak pori-pori dengan ukuran besar (M. Fadli et al., 2021; Untung Waluyo et al., 2020).



Gambar 3. Diagram Debit Air Yang Melalui Membran

Selain itu pada gambar 3 menunjukkan terjadi peningkatan debit air yang dialirkan pada membran seiring bertambahnya waktu (hingga volume 5 L). Hal ini menunjukkan adanya penurunan stabilitas dari membran karena terjadinya deformasi membran akibat tekanan dari air yang melewati membran pada selang waktu yang lama sehingga menyebabkan pori-pori pada membran semakin melebar dan menghasilkan debit air yang semakin besar (M. Fadli et al., 2021; Fathanah et al., 2019). Pada membran M1 mengalami peningkatan debit air dibandingkan M2, M3 dan M4. Hal ini disebabkan adanya kandungan kitosan tanpa tambahan karbon aktif pada membran yang menyebabkan tekstur membran lebih padat. Pada kondisi ini debit air yang melewati membran lambat pada 1 L pertama, namun seiring dengan bertambahnya waktu membran mengalami penurunan kekuatan ikatan antar partikel dan pori-pori semakin melebar. Akibat adanya gaya dorong dari air yang mengalir yang kemudian dapat berdampak pada penurunan selektivitas membran (M. Fadli et al., 2021; Notodarmodjo et al., 2016).

Kerapatan Membran

Uji kerapatan membran dilakukan untuk mengetahui kerapatan partikel dan ikatan pada membran sebelum dan sesudah dilakukan filtrasi pada air sungai kayan (M. Fadli et al., 2021; Fathanah et al., 2021). Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah melakukan pengukuran kerapatan membran sebelum filtrasi dengan mengukur massa kering dan volume membran kemudian dilakukan perhitungan kerapatan (ρ). Kemudian dilakukan proses filtrasi dengan menggunakan membran dan diukur massa basah dan volume membran dan dilakukan perhitungan kerapatan membran (M. Fadli et al., 2021;

Fathanah et al., 2021). Dari hasil analisis didapatkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Analisis Kerapatan Membran Kitosan-PVA dengan Variasi Penambahan Karbon Aktif

No	Sampel	Sebelum Filtrasi			Setelah Filtrasi			$\Delta\rho$ (g/cm ³)
		Massa (g)	Volume (cm ³)	ρ (g/cm ³)	Massa (g)	Volume (cm ³)	ρ (g/cm ³)	
1	M1	0,4	0,52	0,77	1,031	2,62	0,39	0,38
2	M2	0,56	0,91	0,62	0,968	1,94	0,50	0,12
3	M3	0,61	0,93	0,66	0,917	1,71	0,54	0,12
4	M4	0,64	0,95	0,67	0,959	1,40	0,69	0,02

Hasil analisis data menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kerapatan pada masing-masing membran dan dapat diketahui adanya perubahan kerapatan yang terjadi pada membran sebelum dan sesudah dilakukan filtrasi dengan menggunakan membran Kitosan-PVA dengan variasi penambahan karbon aktif. Sebelum filtrasi sampel M1 memiliki kerapatan lebih besar dibandingkan dengan membran yang lain yaitu sebesar 0,77 g/cm³, sampel M2 memiliki kerapatan sebesar 0,62 g/cm³, sampel M3 memiliki kerapatan sebesar 0,66 g/cm³, dan sampel M4 memiliki kerapatan 0,67 g/cm³. Membran M1 tanpa karbon aktif memiliki kerapatan lebih besar, hal ini terjadi karena terjadi ikatan silang antara kitosan dan PVA, dimana PVA mengisi pori-pori pada membran sehingga menyebabkan membran memiliki rongga atau pori yang semakin padat dan rapat (Ambarwati et al., 2024; Piluharto et al., 2019). Sedangkan pada membran M2, M3, M4 dengan penambahan karbon aktif, terjadi peningkatan kerapatan seiring dengan bertambahnya konsentrasi karbon aktif yang digunakan dalam pembuatan membran. Penambahan karbon aktif pada membran dengan konsentrasi lebih banyak dan ukuran butir lebih halus dapat menyebabkan tekstur pada membran lebih rapat dan padat, hal ini terjadi akibat terbentuknya interaksi antar partikel yang lebih kuat pada lapisan permukaan membran dan terjadinya penurunan persentase pori-pori pada permukaan membran (Sheftiana Rusli Hayaati et al., 2020; Wicaksono et al., 2021).



Gambar 4. Diagram Kerapatan Membran Kitosan-PVA dengan Penambahan Karbon Aktif

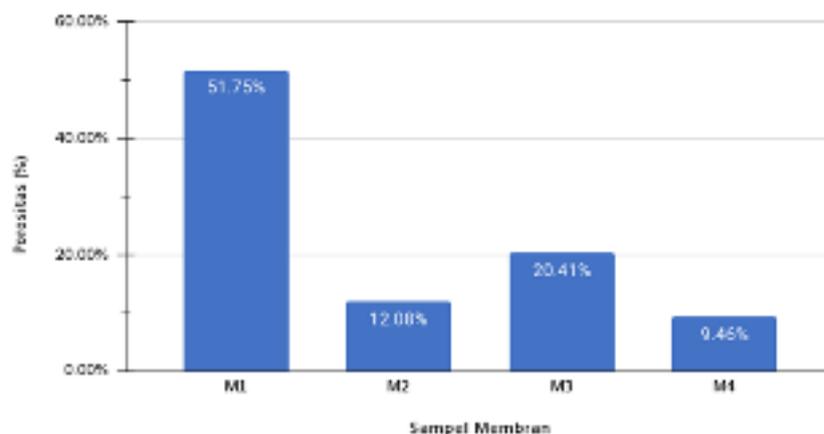
Berdasarkan pada diagram kerapatan membran Kitosan-PVA dengan variasi penambahan karbon aktif dapat diketahui adanya penurunan kerapatan membran setelah dilakukan filtrasi. Pada sampel M1 terjadi penurunan kerapatan membran setelah dilakukan filtrasi dari 0,77 g/cm³ menjadi 0,39 g/cm³. Hal ini menunjukkan terdapat kecenderungan membran kitosan-PVA tanpa penambahan karbon aktif menarik air atau menyerap air sehingga volume membran setelah filtrasi meningkat secara signifikan dan menyebabkan debit air meningkat pada selang waktu tertentu. Akibatnya ikatan-ikatan pada membran melemah sehingga terjadi penurunan kerapatan pada permukaan membran (Fathanah et al., 2019). Begitupun sampel M2 dan M3 juga terjadi penurunan kerapatan membran. Pada M2 terjadi penurunan dari 0,62 g/cm³ menjadi 0,50 g/cm³, sedangkan pada M3 terjadi penurunan dari kerapatan membran dari 0,66 g/cm³ menjadi 0,54 g/cm³. Hal ini terjadi akibat adanya penambahan karbon aktif pada membran. Karbon aktif merupakan adsorben yang mampu menyerap molekul-molekul air, sehingga ketika terdapat

air yang dilewatkan pada membran maka ukuran pori-pori pada membran akan membesar dan menyebabkan nilai kerapatan pada membran menurun (Sheftiana Rusli Hayaati et al., 2020). Namun pada sampel membran M4 terjadi peningkatan kerapatan dari $0,67 \text{ g/cm}^3$ menjadi $0,69 \text{ g/cm}^3$. Hal ini terjadi karena terdapat permeal atau padatan yang terperangkap pada membran sehingga menyebabkan pori-pori pada membran semakin rapat atau dapat dikatakan terjadi *fouling* pada permukaan membran (Notodarmodjo et al., 2016). *Fouling* merupakan peristiwa dimana partikel, koloid, makromolekul dan zat-zat lain mengendap atau tertahan pada permukaan dan dinding pori-pori membran, sehingga menyebabkan terjadinya penurunan fluks dan laju air yang melalui membran. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, di antaranya adalah sifat hidrofobik membran, pori-pori membran dan konsentrasi campuran membran (Notodarmodjo et al., 2016).

Porositas Membran

Uji porositas dilakukan untuk melihat persentase jumlah daerah berpori pada permukaan membran, sehingga dari uji ini peneliti dapat mengetahui banyak zat yang dapat terserap oleh membran (Fathanah et al., 2021). Tahapan pertama yang dilakukan dalam menguji porositas adalah dengan menimbang massa kering membran, kemudian merendam sampel membran pada cairan aquades selama 24 jam dan kemudian menimbang massa basah membran dengan menggunakan neraca analitik (Fathanah et al., 2021).

Berdasarkan Gambar 5, dapat diketahui bahwa masing-masing sampel membran dengan variasi penambahan karbon aktif memiliki persentase pori yang berbeda-beda. Sampel M1 memiliki porositas lebih tinggi dibandingkan dengan membran yang lain yaitu sebesar 51,75 %. Sampel M2 memiliki persentase 12,08 %. Sampel M3 memiliki persentase pori sebesar 20,41 % sementara sampel M4 memiliki persentase pori terendah yaitu sebesar 9,46 %. Nilai porositas pada M2 lebih tinggi jika dibandingkan M2 dan M4 karena dalam proses pengadukan dan pencetakan muncul gelembung udara pada permukaan membran yang merupakan salah satu faktor utama dalam peningkatan porositas (M. Fadli et al., 2021). Jika dilihat dari grafik, dapat diketahui adanya perubahan massa membran pada masing – masing membran setelah dilakukan perendaman membran dengan menggunakan aquades. Hal ini terjadi karena membran menyerap dan menahan molekul-molekul air pada permukaan dan dinding-dinding pori (Fathanah et al., 2019; Sheftiana Rusli Hayaati et al., 2020).



Gambar 5. Diagram Persentase Porositas Membran Kitosan-PVA dengan Penambahan Karbon Aktif

Gambar 5 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan persentase porositas membran tanpa penambahan karbon aktif dan membran dengan penambahan karbon aktif dengan variasi yang berbeda-beda. Pada diagram diatas dapat diketahui porositas membran mengalami penurunan dengan adanya penambahan karbon aktif, semakin banyak konsentrasi karbon aktif yang ditambahkan maka porositas semakin rendah (Aldian et al., 2022; Dahlan et al., 2019). Membran M1 memiliki nilai porositas paling tinggi, hal ini menunjukkan bahwa membran dapat menyerap suatu zat

Karakterisasi Membran Kitosan...

dalam penelitian ini adalah aquades lebih banyak dibandingkan dengan dengan membran yang lain, sehingga setelah direndam dalam aquades membran mengalami perubahan volume. Hal ini dapat disebabkan karena sifat dari membran kitosan-PVA yang dapat menarik air, sehingga molekul-molekul air terserap dan tertahan pada permukaan membran, menyebabkan ikatan-ikatan pada membran melemah dan membentuk pori-pori yang lebih banyak di permukaan membran setelah dilakukan perendaman (M. Fadli et al., 2021; Fathanah et al., 2019; Notodarmodjo et al., 2016). Sampel M4 memiliki nilai porositas yang lebih rendah dibandingkan dengan membran yang lain, sehingga penyerapan membran terhadap suatu zat (aquades) lebih rendah dibandingkan dengan membran yang lain dan penambahan volume yang terjadi hanya sedikit. Penurunan persentase porositas membran disebabkan adanya penambahan karbon aktif pada membran, yang mengakibatkan membran lebih padat dan pori-pori yang terbentuk pada permukaan membran lebih kecil dibandingkan dengan membran M1 karena adanya ikatan antar molekul yang semakin kuat (Sheftiana Rusli Hayaati et al., 2020; Wicaksono et al., 2021).

Hasil penelitian ini dapat diaplikasikan pada kehidupan sehari – hari baik di bidang industri dan rumah tangga. Selain itu, penelitian ini juga dapat digunakan sebagai salah satu materi pembelajaran di sekolah yang menjelaskan bagaimana aplikasi fisika dapat diterapkan dalam kehidupan. Proses pembuatan serta pengembangan teknologi membran ini dapat membuat pembelajaran semakin menarik dan mendorong minat mahasiswa dalam mendalami keilmuan fisika.

PENUTUP

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan karbon aktif pada membran kitosan-PVA secara signifikan memengaruhi karakteristik filtrasi air. Sampel M2, dengan penambahan 1% karbon aktif, memiliki debit air tertinggi sebesar 0,004 L/s untuk 1 liter pertama lebih cepat dibandingkan sampel lainnya seperti M1 (0,003 L/s) dan M4 (0,001 L/s). Kerapatan membran M2 juga optimal, turun dari 0,62 g/cm³ sebelum filtrasi menjadi 0,50 g/cm³ setelah filtrasi. Porositas membran M2 mencapai 12,08%, yang lebih rendah dari M1 (51,75%) namun tetap menunjukkan efisiensi filtrasi yang baik.

Secara keseluruhan, penambahan karbon aktif meningkatkan kinerja membran dalam filter air. Meskipun begitu, konsentrasi karbon aktif yang terlalu tinggi seperti pada M4 dengan 3% karbon aktif menyebabkan penurunan debit air dan porositas yang lebih rendah (9,46%). Teknologi membran kitosan-PVA ini memiliki potensi besar dalam filter air sungai Kayan yang memerlukan pengoptimalan lebih lanjut pada komposisi karbon aktif untuk meningkatkan laju aliran air tanpa mengorbankan efisiensi penyaringan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi (Kemendikbudristek) dalam perjanjian/kontrak Nomor 113/E5/PG,02,00,PL/2024; 56/LL11/KM/2024; 01/KP/LPPM-UNIKALTAR/YAPETAS/VI/2024 atas dukungan dan pendanaan yang diberikan melalui program skema Penelitian Dosen Pemula (PDP) tahun anggaran 2024. Bantuan ini sangat membantu kelancaran kegiatan penelitian kami dan memungkinkan kami untuk menyelesaikan penelitian ini dengan baik, Kami berharap hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang pengolahan air.

DAFTAR PUSTAKA

Abdi, C., Khair, R. M., & Saputra, M. W. (2015). Pemanfaatan limbah kulit pisang kepok (*Musa acuminata* L.) sebagai karbon aktif untuk pengolahan air sumur kota Banjarbaru: Fe Dan Mn. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 1(1).

- <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.20527/jukung.v1i1.1045>
- Aladian, D., Haetami, A., & Musta, R. (2022). Pembuatan Dan Penggunaan Membran Selulosa Asetat Untuk Pengolahan Air Berkapur. *Jurnal Ilmu Kimia Dan Pendidikan Kimia*, 11(2), 153–161. <http://ojs.uho.ac.id/index.php/SAINS>
- Ambarwati, S. A., Hidayati, N. A., & Hutapea, H. P. (2024). Sintesis Membran Kitosan/Poli Vinil Alkohol (Pva) Untuk Menurunkan Kadar Limbah Pewarna Tekstil. *Dalton: Jurnal Pendidikan Kimia Dan Ilmu Kimia*, 7(1), 75. <https://doi.org/10.31602/dl.v7i1.14360>
- Ardhiansyah, H., Radenrara Dewi Artanti Putri, Catur Rini Widyastuti, Widi Astuti, Negoro, G. M., Situmorang, M. L., & Hamid, D. P. F. (2024). Aplikasi Edible Coating dari Limbah Kulit Udang dengan Aditif Asap Cair untuk Kemasan Sosis Sapi Antibakteri Ramah Lingkungan. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 13(1), 9–16. <https://doi.org/10.32734/jtk.v13i1.15484>
- Azizati, Z. (2019). Pembuatan dan Karakterisasi Kitosan Kulit Udang Galah. *Walisongo Journal of Chemistry*, 2(1), 10–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.21580/wjc.v3i1.3878>
- Bai, W., Xu, M., Lu, Z., Feng, X., Zou, W., Wang, J., & Zhang, Y. (2023). Research progress of water treatment membranes based on photocatalytic materials. *Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities*, 37(4), 515–524. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-9015.2023.04.001>
- Budianti, T. (2017). Studi penggunaan lumpur aktif dan karbon aktif dalam pengolahan air limbah. *Cut*, 1(1), 1–4.
- Budiman, J. A. P., Yulianti, I. M., & Jati, W. N. (2018). Potensi Arang Aktif dari Kulit Buah Durian (*Durio Zibethinus Murr.*) dengan Aktivator NaOH sebagai Penjernih Air Sumur. *Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, 3(3), 117–124. <https://doi.org/https://doi.org/10.24002/biota.v3i3.1901>
- Dahlan, M. H., Chandra, H., Susmanto, P., Lafia, & Zanadiya, S. (2019). Produksi Air Bersih Dari Pengolahan Limbah Cair Songket. *Seminat Nasional AVoER XI 2019*, 486–494. <https://repository.unsri.ac.id/89489/1/lthenticate> Produksi Air Bersih Dari Pengolahan Limbah Cair Songket Menggunakan Proses Pemisahan Membran Bioreaktor.pdf
- Erizal, E., Perkasa, D. P., Aziz, Z., & Sulistioso, G. S. (2018). Modifikasi fisiko kimia membran komposit kitosan polivinil alkohol hasil casting dengan teknik induksi iradiasi gamma. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 14(3), 166–172.
- Fadli, A. (2021). Analisis Kualitas Air Bersih di Wilayah Kerja Puskesmas Kepulauan Seribu Utara Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 32 Tahun 2017: Analysis of Clean Water Quality in the Work Area of the North Seribu Islands Health Center Based on the Regulation. *Indonesian Scholar Journal of Nursing and Midwifery Science (ISJNMS)*, 1(5), 172–180. <https://doi.org/https://doi.org/10.54402/isjnms.v1i05.28>
- Fadli, M., Khausar, A., Sofyana, & Fathanah, U. (2021). Karakteristik Membran Komposit Polietersulfon, Polivinilpirolidon dan Kitosan. *Jurnal Serambi Engineering*, 6(4), 2310–2319. <https://doi.org/https://doi.org/10.32672/jse.v6i4.3476>
- Fath, M. T. Al, Dalimunthe, N. F., Sidabutar, R., Samosir, N., & Tjandra, T. M. (2024). Karakteristik Sifat Fisik Membran Elektrolit Polimer Berbasis Kitosan Larva Black Soldier Fly/Polivinil Alkohol/Poliakrilonitril dengan Penambahan Ammonium Klorida. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 13(1), 63–70. <https://doi.org/https://doi.org/10.32734/jtk.v13i1.15595>
- Fathanah, U., Lubis, M. R., Mahyuddin, Z., Muchtar, S., Yusuf, M., Rosnelly, C. M., Mulyati, S., Hazliani, R., Rahmanda, D., Kamaruzzaman, S., & Busthan, M. (2021). Sintesis, Karakterisasi dan Kinerja Membran Hidrofobik Menggunakan Polyvinyl Pyrrolidone (PVP) sebagai Aditif. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 17(2), 140. <https://doi.org/10.20961/alchemistry.17.2.48435.140-150>
- Fathanah, U., Machdar, I., Riza, M., Rahman, N. A., Lubis, M. R., Qibtiyah, M., & Jihannisa, R. (2019). Pembuatan dan Karakterisasi Membran Polyethersulfone (PES)-Kitosan Secara Blending Polimer. *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 3(1), 62.
- Fitradi, R. B., & No, J. G. (2015). Preparasi dan modifikasi membran untuk pengolahan air. *Cut*, 10, 1–15.
- Fitri, F. N., Yuliaty, S., & Zikri, A. (2023). Karakterisasi Membran Komposit Silika Berbahan Baku Limbah Fly Ash Batubara untuk Proses Ultrafiltrasi. *Jurnal Serambi Engineering*, 8(4). <https://doi.org/https://doi.org/10.32672/jse.v8i4.6806>
- Haji, A. T. S., Sulianto, A. A., & Miranda, F. (2020). Uji Kemampuan Membran Komposit Kitosan-Selulosa Terhadap Penurunan Kadar Kromium Pada Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 7(1), 18–27. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21776/ub.jsal.2020.007.01.3>
- Kolya, H., & Kang, C. W. (2023). Next-Generation Water Treatment: Exploring the Potential of

- Biopolymer-Based Nanocomposites in Adsorption and Membrane Filtration. *Polymers*, 15(16). <https://doi.org/10.3390/polym15163421>
- Marieta, A., & Musfiroh, I. (2021). Review Artikel: Berbagai Aktivitas Farmakologi dari Senyawa Kitosan. *Farmaka*, 17(2), 105–110. <https://doi.org/https://doi.org/10.24198/jf.v17i2.21866>
- Marwiah, Kalsum, U., & Artiningsih, A. (2024). Modifikasi Kitosan Dari Cangkang Bekicot (*Achatina Fulica*) Kitosan Kulit Udang (*Penaeus Monodon*) Terlapis Pasir Besi Dan Silika Dengan (3-Chloroprophyl) Trimethoxysilane (Cptms) Sebagai Adsorben Magnetik. *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, 4(1), 6736–6752. <https://doi.org/https://doi.org/10.31004/innovative.v4i1.8652>
- Maulana, M. R., & Marsono, B. D. (2021). Penerapan Teknologi Membran untuk Mengolah Limbah Cair Industri Tahu. *Jurnal Teknik Its*, 10(2), 54–61.
- Memisoglu, G., Murugesan, R. C., Zubia, J., & Rozhin, A. G. (2023). Graphene Nanocomposite Membranes: Fabrication and Water Treatment Applications. *Membranes*, 13(2), 1–32. <https://doi.org/10.3390/membranes13020145>
- Mustafiah, M., Darnengsih, D., Sabara, Z., & Majid, R. A. (2018). Pemanfaatan kitosan dari limbah kulit udang sebagai koagulan penjernihan air. *Journal Of Chemical Process Engineering*, 3(1), 27–32. <https://doi.org/https://doi.org/10.33536/jcpe.v3i1.191>
- Nenohai, J. A., Minata, Z. S., Ronggopuro, B., Sanjaya, E. H., & Utomo, Y. (2023). Penggunaan Karbon Aktif dari Biji Kelor dan Berbagai Biomassa Lainnya dalam Mengatasi Pencemaran Air: Analisis Review. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(1), 29–35. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jil.21.1.29-35>
- Ningrum, P., Rio, W. Y., & Pongtuluran, E. H. (2021). Perencanaan Instalasi Pre-Treatment Dalam Pengolahan Air Payau Menjadi Air Domestik Non Konsumsi. *Jurnal Tugas Akhir Teknik Sipil*, 5(2).
- Notodarmodjo, S., Gustiani, S., Radiman, C., & Syafila, M. (2016). PENGARUH FOULING PADA PERMUKAAN MEMBRAN SERAT NANO SELULOSA BAKTERIAL DENGAN NANOPARTIKEL Ag DAN TiO₂. *Arena Tekstil*, 31(1), 35–42. <https://doi.org/10.31266/at.v31i1.1445>
- Piluharto, B., Sjaifullah, A., Rahmawati, I., & Nurhianto, E. (2019). *Membran blend kitosan/poli vinil alkohol (PVA): pengaruh komposisi material blend, pH, dan konsentrasi bahan pengikat silang*.
- Pujiono, F., & Mulyati, T. A. (2017). Potensi Karbon Aktif dari Limbah Pertanian Sebagai Material Pengolahan Air Limbah. *Jurnal Wiyata: Penelitian Sains Dan Kesehatan*, 4(1), 37–44. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.56710/wiyata.v4i1.94>
- Purwandari, V., & Tarigan, M. (2022). Preparasi Film Nanokomposit Polivinil Alkohol (Pva)/Nanokarbon Dari Cangkang Buah Sawit (Nccs) Dengan Metode Pencampuran Larutan. *Jurnal Kimia Saintek Dan Pendidikan*, 6(1), 11–16. <https://doi.org/10.51544/kimia.v6i1.2977>
- Rahman, A., Haque, M. A., Ghosh, S., Shinu, P., Attimarad, M., & Kobayashi, G. (2023). Modified Shrimp-Based Chitosan as an Emerging Adsorbent Removing Heavy Metals (Chromium, Nickel, Arsenic, and Cobalt) from Polluted Water. *Sustainability (Switzerland)*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/su15032431>
- Ramadhanur, S., & Sari, A. M. (2015). *Pengaruh Konsentrasi Khitosan dan Waktu Filtrasi Membran Khitosan Terhadap Penurunan Kadar Fosfat dalam Limbah Deterjen*. 4(1), 40–52. <https://doi.org/https://doi.org/10.24853/konversi.4.1.%25p>
- Respati, S. M. B., Purwanto, H., Kholis, N., & Nuha, U. (2024). Penambahan Arang Batok Kelapa ke Zeolit Alam untuk Filter Air Keramik. *Creative Research in Engineering (CERIE)*, 4(1), 9. <https://doi.org/10.30595/serie.v4i1.17197>
- Santoso, R. A., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2023). Mekanisme Teknologi Bioreaktor Membran (Mbr) Dalam Mengatasi Pencemaran Air. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(2), 439–445. <https://doi.org/10.37478/optika.v7i2.3402>
- Sari, A. L. R. (2014). *Potensi Membran berbasis Kitosan-Bis (2-Ethylhexyl) Pthalate dengan Variasi Konsentrasi Polivinil Klorida (PVC) sebagai Material Biosensor*. Universitas Islam Negeri Malang.
- Sheftiana Rusli Hayaati, R., Endara safitri, R., & Ridho, R. (2020). Pengaruh Massa Arang Aktif Kulit Durian Terhadap Pengolahan Limbah Minyak Jelantah Dengan Menggunakan Membran Komposit Poliamida-Arang Kulit Durian. *Jurnal Crystal: Publikasi Penelitian Kimia Dan Terapannya*, 2(2), 14–27. <https://doi.org/10.36526/jc.v2i2.1098>
- Sufra, R., Latifah, L., Susilo, N. A., Adriansyah, E., Wati, L. A., Yulia, A., Syaiful, M., Viareco, H., Marhadi, M., & Ghony, M. A. (2023). Pemanfaatan Sisa Kulit Kayu sebagai Karbon Aktif dalam Pengolahan Air Lindi Industri Pulp and Paper. *Jurnal Civronlit Unbari*, 8(1), 17–22.

Karakterisasi Membran Kitosan...

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33087/civronlit.v8i1.106>

Sylvani, M. M., Yuneta, Y., Simbolon, W., & Susanti, R. (2023). Berbagai Macam Jenis Membran Untuk Pemulihan Air Gambut. *Madani: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 1(5). <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.8280003>

Untung Waluyo, Aldi Ramadhani, Alvina Suryadinata, & Lia Cundari. (2020). Review: penjernihan minyak goreng bekas menggunakan berbagai jenis adsorben alami. *Jurnal Teknik Kimia*, 26(2), 70–79.

Wicaksono, M. A., Noerochim, L., & Purniawan, A. (2021). Analisis Pengaruh Variasi Rasio Berat Nafion/Karbon pada Lapisan Katalis Membrane Electrode Assembly terhadap Performa Elektrokimia PEM Fuel Cell (PEMFC). *Jurnal Teknik ITS*, 10(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i2.63997>