

FABRIKASI MEMBRAN BIOPOLIMER KITOSAN DARI CANGKANG KERANG MUTIARA (*Pinctada maxima*) SEBAGAI ADSORBEN METILEN BIRU
*FABRICATION OF CHITOSAN BIOPOLYMER MEMBRANES FROM PEARL SHELLS (*Pinctada maxima*) as METHYLENE BLUE ADSORBENT*

Dita Wiliana^{1*}, Siti Alaa², & Teguh Ardianto³

^{1,2,3} Program Studi Fisika, Universitas Mataram

DOI: 10.20414/spin.v4i1.5371

History Article

Submitted:

14 April 2022

Accepted:

27 June 2022

Published:

30 June 2022

Kata Kunci:

Derajat Deasetilasi
Kitosan; Modulus
Young;
Permeabilitas;
Permselektivitas
Membran.

Keywords:

Chitosan
Deacetylation Degree;
Membrane
Permselectivity;
Permeability; Young's
Modulus.

© 2022 CC:BY

ABSTRAK

Kitosan merupakan salah satu biopolimer yang memiliki kemampuan dalam membentuk film dan dapat dijadikan sebagai bahan baku dalam pembuatan membran. Membran dapat digunakan dalam berbagai aplikasi filtrasi atau pemisahan, salah satunya adalah adsorpsi larutan warna metilen biru (MB). Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari dan mengetahui pengaruh variasi massa kitosan terhadap Modulus Young membran dan persen rejeksi membran kitosan dalam memfiltrasi larutan warna MB. Pembuatan membran dilakukan dengan metode inversi fasa dengan memvariasikan konsentrasi massa kitosan masing-masing sebesar 0 g, 1 g, 2 g, 3 g, dan 4 g. Kitosan dari cangkang kerang mutiara (*Pinctada maxima*) telah berhasil disintesis melalui beberapa proses yaitu deproteinasi, demineralisasi, dan deasetilasi. Melalui proses ini diperoleh kadar kitosan dalam cangkang kerang mutiara *Pinctada maxima* dari hasil deasetilasi sebesar 71,43% dengan derajat deasetilasi (DD) kitosan sebesar 75,86%. Nilai Modulus Young dan nilai permselektivitas terbaik didapatkan pada membran dengan konsentrasi massa kitosan sebesar 4 g, berturut turut yakni 2,51 MPa dan 65,86%, sedangkan nilai permeabilitas tertinggi didapatkan pada konsentrasi massa kitosan sebesar 3 g, yakni $6,75 \text{ L}^1 \cdot \text{jam}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. Ini menunjukkan bahwa membran yang terbuat dari kitosan cangkang kerang dapat digunakan untuk mengadsorbsi MB.

ABSTRACT

*Chitosan is one of the biopolymers that can form films and be used as raw material for making membranes. Membranes can be used in various filtration or separation applications, one of which is methylene blue (MB) color solution. This study aimed to study and determine the effect of mass of chitosan on Young's modulus of membranes and the percent rejection of chitosan membranes in MB solution. The membrane was made using the phase inversion method by varying the mass of chitosan by 0, 1, 2, 3, and 4 g, respectively. Chitosan from pearl oyster shells (*Pinctada maxima*) has been successfully synthesized through several processes, namely deproteination, demineralization, and deacetylation. The chitosan content in the *Pinctada maxima* pearl shell from the deacetylation result was 71.43 %, with the deacetylation degree of chitosan (DD) 75.86 %. Young's modulus and the best permselectivity values were obtained on membranes with a mass concentration of 4 g of chitosan, 2.51 MPa, and 65.86 %, respectively. The highest permeability value was obtained at a mass concentration of 3 g of chitosan, $6.75 \text{ L}^1 \cdot \text{jam}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. This result indicates that the membrane made of chitosan from oyster shells can be used to adsorb MB.*

How to Cite

Wiliana, D., Alaa, S., & Ardianto, T. (2022). Fabrikasi Membran Biopolimer Kitosan dari Cangkang Kerang Mutiara (*Pinctada Maxima*) Sebagai Adsorben Metilen Biru. *SPIN-Jurnal Kimia & Pendidikan Kimia*. 4(1). 48-57.

*Correspondence Author:

Jl. Majapahit no. 62 Mataram, 83115
Email: ditawiliana01@gmail.com

p-ISSN: 2580-2623

e-ISSN: 2745-6854

PENDAHULUAN

Kerang mutiara jenis *Pinctada maxima* merupakan salah satu sumber daya laut Indonesia yang berhasil dibudidayakan, salah satunya di wilayah perairan Nusa Tenggara Barat. Kerang ini mampu menghasilkan mutiara dengan harga yang mahal dan diminati banyak orang untuk dijadikan perhiasan (Purba, 2020). Tingginya permintaan pasar terhadap mutiara, baik dari luar maupun dalam negeri mendorong para pembudidaya untuk meningkatkan jumlah produksinya. Seiring dengan peningkatan jumlah produksi tersebut, maka cangkang kerang akan menjadi limbah setelah tidak menghasilkan mutiara yang baik untuk dibudidaya. Marganof (2003) menyebutkan bahwa cangkang kerang mengandung sekitar 14 % - 35 % kitin, karena pemanfaatannya yang terbatas, kitin dapat diubah menjadi kitosan yang bernilai tinggi dengan menggunakan reaksi sederhana melalui proses deasetilasi.

Kitosan menjadi bahan yang sangat fungsional dalam bidang material, kitosan memiliki sifat hidrofilik dan memiliki selektivitas terhadap ion yang baik (Ghazali dan Hasyim, 2003). Selain itu, kitosan memiliki gugus NH_2 dan OH yang bersifat polikationik yang berperan penting pada proses pemisahan padatan dalam aplikasi filtrasi dan adsorpsi, sehingga menjadikan pemisahan menjadi lebih baik (Dash dkk., 2011). Kemurnian kitosan dapat dilihat nilai derajat deasetilasi (DD) yang didapatkan dari karakterisasi menggunakan spektrum FTIR (Arsyi dkk., 2018). Besarnya nilai DD kitosan berdasarkan Badan Standar Nasional pada tahun 2013 yakni minimal 75 % sebagai adsorben dengan warna berkisar antara coklat muda sampai putih (BSN, 2013).

Penggunaan kitosan dari cangkang kerang mutiara telah dimanfaatkan oleh Handayani (2021) untuk mengadsorpsi ion logam Fe dan Tanassale dkk., (2012) sebagai adsorben zat warna metilen biru (MB). Pemanfaatan tersebut dilakukan secara langsung dalam bentuk serbuk, sehingga perlu dicoba bentuk kitosan yang lain seperti bentuk membran. Kitosan memiliki kemampuan dalam membentuk film yang dapat digunakan sebagai bahan pembuatan membran (Aryanto, 2002).

Membran merupakan salah satu teknologi filtrasi yang sangat menjanjikan, dimana membran berperan sebagai penghalang atau pembatas selektif yang dapat memisahkan zat dengan ukuran yang berbeda (Wenten, 2016). Pemisahan berbasis membran sangat potensial untuk diterapkan, hal ini dikarenakan keunggulan yang dimiliki seperti ramah lingkungan (Wenten, 2000), lebih praktis, energi yang dibutuhkan minimum (Redjeki, 2011), mudah dibersihkan, serta tidak menghasilkan limbah baru sehingga tergolong sebagai clean technology (Mulder 1991).

Kualitas dan kinerja membran ditentukan oleh beberapa parameter, diantaranya yaitu sifat mekanik, permeabilitas, dan permselektivitas (Kusumawati dan Tania, 2012). Membran dinyatakan baik apabila memiliki kestabilan mekanik yang baik, permeabilitas dan permselektivitas yang tinggi (Redjeki 2011 dalam Hafidzah, 2008). Membran yang terbuat dari kitosan memiliki kekurangan yaitu sifat mekanik yang rendah, seperti ketahanannya yang lemah terhadap tarikan dan regangan (Fajarwati dan Kusumawati, 2012). Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan upaya untuk meningkatkan kualitas dan kinerja membran kitosan,

dengan penambahan zat aditif seperti Polyvinil Alcohol (PVA) dan Polyethilen Glycol (PEG).

Pemanfaatan membran kitosan sebagai teknologi filtrasi zat warna sangat efektif untuk diterapkan. Salah satu pewarna sintesis yang paling umum digunakan dalam industri tekstil karena kelarutannya yang baik adalah MB. Limbah warna MB yang dibuang secara langsung ke badan air akan memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, hal ini dikarenakan senyawa aromatik dari MB yang sulit terdegradasi (Liu dkk., 2010).

Berdasarkan dari pemaparan di atas, maka dilakukan penelitian terkait Pembuatan Membran Biopolimer Kitosan dari Cangkang Kerang Mutiara (*Pinctada maxima*). Membran kitosan yang berhasil di sintesis akan dilakukan uji terhadap kualitas dan kinerjanya. Uji kualitas dilakukan dengan menguji sifat mekanik (kuat tarik, regangan dan Modulus Young) menggunakan alat Universal Testing Machine (UTM) dan uji kinerja membran meliputi permeabilitas dan permselektivitas. Adapun larutan uji yang digunakan sebagai larutan umpan berupa larutan MB. Diharapkan membran yang dihasilkan dapat digunakan untuk berbagai pemisahan.

METODE

Pada percobaan ini digunakan alat-alat seperti ayakan 100 mesh, cawan petri, gelas kimia, kertas saring kasar, magnetic stirrer, mesin grinder, mikrometer sekrup, spatula, timbangan analitik digital, pH universal, tisu, pipet tetes, spatula, satu set corong buchner, dan oven. Alat karakterisasi yang digunakan adalah Fourirer Transform Infrared (FTIR) IRPrestige21 dan UV-Vis single beam spectrophotometer, sedangkan sifat mekanik diuji menggunakan Tensilon

RTG-1310. Adapun bahan yang diigunakan adalah aquades, asam asetat 1 % (CH_3COOH), cangkang kerang mutiara (*Pinctada maxima*), HCl 1 M, NaOH (1 % ; 4 % dan 60 %), Polyvinil Alcohol (PVA), Polyethilen Glycol (PEG) 6000, kertas saring (wathman), dan serbuk MB. Semua Bahan kimia yang digunakan merupakan pro-analyst.

Secara garis besar, prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi: pemurnian bahan baku, sintesis kitosan dari cangkang kerang mutiara, kemudian pembuatan membran biopolimer kitosan dengan menggunakan metode inversi fasa, dan selanjutnya sampel membran biopolimer kitosan dikarakterisasi dan dilakukan uji kinerja filtrasi dari membran.

Pemurnian bahan baku mengacu pada beberapa langkah yang telah dilakukan oleh Purbowati (2016) diantaranya yakni cangkang kerang mutiara terlebih dahulu dicuci hingga bersih, kemudian di jemur sampai cangkang kerang benar benar kering. Cangkang kerang mutiara dihancurkan menggunakan mesin grinder untuk menghasilkan serbuk cangkang kerang yang halus. serbuk cangkang kerang kemudian diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Serbuk yang lolos ayakan 100 mesh siap memasuki proses sintesis.

Proses sintesis kitosan dilakukan melalui beberapa tahapan. Tahap pertama yakni deproteinasi (menghilangkan kandungan protein), serbuk cangkang kerang mutiara sebanyak 70 g dilarutkan ke dalam NaOH 4 % dengan perbandingan 1:10 (W/V) dan dioven. Tahap kedua yakni demineralisasi (menghilangkan kandungan mineral), dilakukan dengan menghomogenkan antara serbuk hasil deproteinasi dengan larutan HCl 1 M dengan perbandingan 1:15 (W/V) menggunakan magnetic stirrer selama 3 jam kemudian di oven, sehingga dihasilkan

serbuk kitin. Tahapan terakhir yakni deasetilasi (menghilangkan gugus asetyl), serbuk kitin dilarutkan dengan larutan NaOH 60 % pada perbandingan 1:15 (W/V) menggunakan magnetic stirrer selama 3 jam kemudian dioven. Hasil dari tahapan ini adalah serbuk putih tulang yang

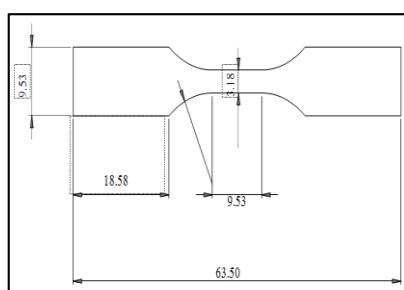
$$\%DD = \left[1 - \left(\frac{A_{1651}}{A_{3450}} \times \frac{1}{1,33} \right) \right] \times 100\% \quad (1)$$

Pembuatan membran dilakukan dengan metode inveri fasa. Adapun variasi massa yang digunakan pada penelitian ini sebesar 1 g, 2 g, 3 g, dan 4 g dan 0 g (tanpa ada kitosan). Kitosan sebanyak 1 g dilarutkan kedalam 50 ml asam asetat 1 %, dan diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* hingga homogen selama 2 jam. Disamping itu telah dibuat juga larutan PVA 10 %. Larutan kitosan dan larutan PVA % dicampurkan dan ditambahkan PEG 6000, kemudian campuran diaduk sampai larutan homogen selama 30 menit. Setelah itu dilakukan proses pencetakan membran, larutan dituangkan secara merata kedalam cawan petri yang sudah dilapisi dengan kertas saring (wathman) sampai ketebalannya merata. Setelah itu dioven pada suhu 60 °C selama 24 jam. Pada proses ini terjadi perubahan membran dari fasa cair

merupakan kitosan. Selanjutnya dilakukan uji karakteristik kitosan menggunakan alat uji spektrofotometer FTIR menggunakan plat KBr. Derajat deasetilisasi dapat dihitung menggunakan persamaan (1) (Domszy dan Robert, 1984).

menjadi fasa padat. Hasil yang diperoleh adalah membran yang sudah siap untuk diuji kualitas dan kinerjanya. Diulangi perlakuan tersebut dengan menggunakan variasi massa kitosan 2 g, 3 g, dan 4 g dan tanpa kitosan.

Karakterisasi dan pengujian membran dilakukan untuk mengetahui sejauh mana efisiensi dan efektifitas yang dapat diperoleh dari membran yang telah dibuat. Uji kekuatan membran dilakukan dengan menggunakan alat Tensilon dengan terlebih dahulu diukur ketebalan dari sampel membran. Ketebalan sampel membran diukur menggunakan *mikrometer* sekrup (ketelitian 0,001 mm). Selanjutnya membran kemudian dipotong sesuai dengan SNI agar dapat diuji menggunakan alat Tensilon.



Gambar 1. Ukuran SNI uji mekanik membran *Satuan dalam (mm) (ASTM D638 TYPE V)

Uji permeabilitas dilakukan untuk mengetahui jumlah volume permeat yang melewati suatu permukaan luas membran dengan waktu tertentu dengan adanya daya dorong dalam hal ini berupa tekanan (Redjeki, 2011). Membran yang akan diuji dipotong berbentuk lingkaran sesuai dengan

diameter corong *Buchner*, selanjutnya dituangkan larutan MB sebanyak 50 mL sebagai larutan umpannya kemudian alirannya diatur dengan tekanan masuk.

Karakterisasi ini diperlukan untuk mengetahui kekuatan membran terhadap gaya luar yang dapat merusak membran

(Elma, 2017). Persamaan untuk menyatakan permeabilitas adalah

$$J = \frac{V}{A \cdot t} \quad (2)$$

dengan J adalah fluks fluida melalui membran/permeabilitas ($L \cdot jam^{-1} \cdot m^{-2}$), V adalah volume permeat (Liter), A adalah luas permukaan membran (m^2), dan t adalah waktu pengambilan permeat (jam).

Uji permselektivitas dilakukan untuk mengetahui kemampuan membran untuk menahan atau melewatkannya suatu spesi tertentu. Untuk membran berpori

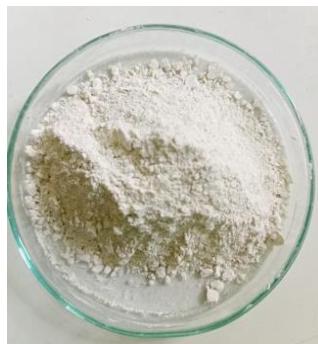
$$\% R = \left[1 - \frac{C_p}{C_f} \right] \times 100 \% \quad (3)$$

dengan R adalah koefisien rejeksi, harga R berkisar antara 0 % sampai 100 %. Jika harga $R = 100 \%$ berarti zat kontaminan ditahan oleh membran secara sempurna. C_p adalah konsentrasi MB dalam permeat, sedangkan C_f adalah konsentrasi MB dalam umpan yaitu 100 ppm MB.

permselektivitas ditentukan oleh batas berat molekul yang dapat ditahan. Penentuan rejeksi membran dari larutan MB dilakukan setelah proses *scanning*. Konsentrasi MB setelah proses scanning diukur dengan instrument *UV-Vis* pada panjang gelombang 665 nm. Persamaan yang digunakan untuk mengetahui nilai persen rejeksi (R) dapat dituliskan (Redjeki, 2011):

HASIL DAN PEMBAHASAN

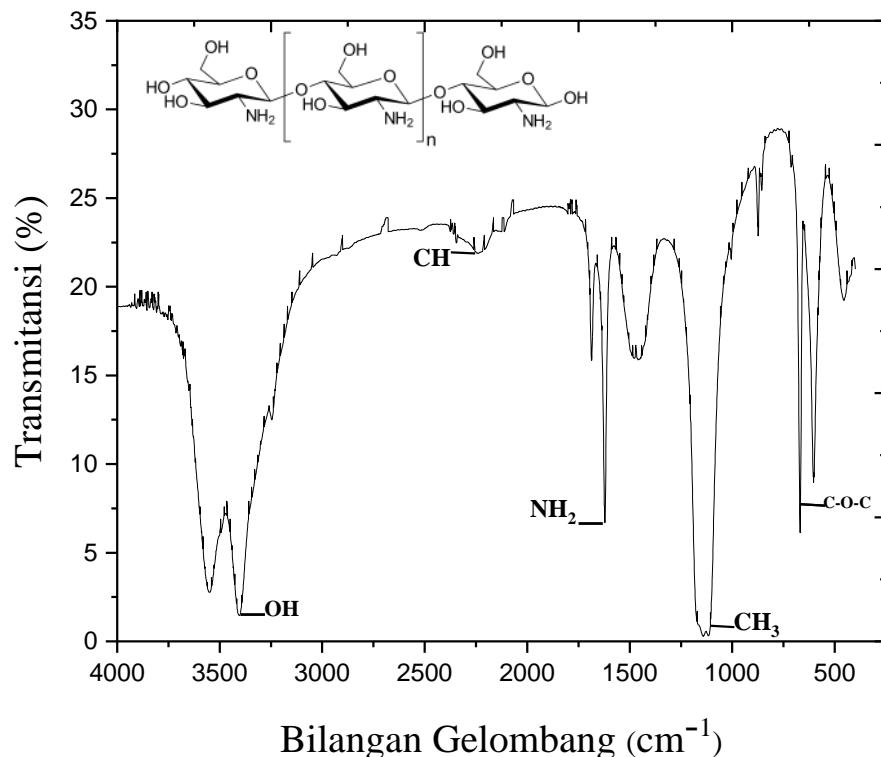
Dalam penelitian ini telah disintesis serbuk kitosan dari cangkang kerang mutiara *Pinctada maxima* melalui proses deproteinasi, demineralisasi, dan deasetilisasi. Pada proses deasetilasi dihasilkan kitosan serbuk berwarna putih tulang. Hasil yang didapat sesuai dengan Badan Standar Nasional (2013) yang menyatakan bahwa kitosan memiliki warna dari coklat muda sampai putih.



Gambar 2. Serbuk kitosan cangkang kerang mutiara (*Pinctada maxima*)

Analisis gugus fungsi dari senyawa kitosan dilakukan berdasarkan hasil uji FTIR. Berdasarkan Gambar 3 pola serapan pada bilangan $3402,28 \text{ cm}^{-1}$ & $1621,45 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan terbentuknya gugus

fungsi OH dan NH_2 , gugus fungsi tersebut menunjukkan terbentuknya kitosan. Adapun mode vibrasi yang terjadi pada serbuk kitosan yakni mode vibrasi *stretching* dan *bending*.



Gambar 3. Hasil FTIR serbuk kitosan cangkang kerang mutiara (*Pinctada maxima*)

Tabel 1. Perbandingan gugus fungsi Kitosan hasil penelitian dengan literatur

| Gugus Fungsi | Bilangan gelombang (cm⁻¹) | |
|--|-----------------------------|------------|
| | Literatur (Handayani, 2021) | Penelitian |
| -OH (<i>bending</i>) | 3434,66 | 3402,28 |
| -CH (<i>simetri stretching</i>) | 2348,00 | 2345,89 |
| -NH ₂ (<i>stretching</i>) | 1626,11 | 1621,45 |
| -CH ₃ (<i>simetri stretching</i>) | 1466,68 | 1458,23 |
| C-O-C (<i>stretching</i>) | 1103,85 | 1115,78 |

Untuk mengetahui kemurnian kitosan yang didapatkan ialah dengan menghitung nilai derajat deasetilasi melalui perhitungan menggunakan teknik *baseline* yang menggunakan data absorbansi pada bilangan gelombang 1655 cm⁻¹ yang merupakan puncak khas kitin dan serapan gugus hidroksil pada 3450 cm⁻¹ yang merupakan puncak serapan khas kitosan (Persamaan (1)). Ini berarti kitosan telah berhasil disintesis dari cangkang kerang mutiara *Pinctada maxima* dengan serbuk yang didapatkan berwarna putih tulang dan

DD sebesar 75,86 %. Nilai ini memenuhi standar Badan Standar Nasional (2013) kitosan sebagai adsorben.

Nilai Modulus Young merupakan nilai perbandingan antara tegangan dengan regangan dan mewakili sifat mekanik dari membran kitosan. Modulus Young menunjukkan elastisitas dari membran, adapun besar nilainya akan berpengaruh ketika membran diaplikasikan dalam proses pemisahan. Uji mekanik membran dilakukan dengan tiga kali perulangan agar data menjadi akurat.

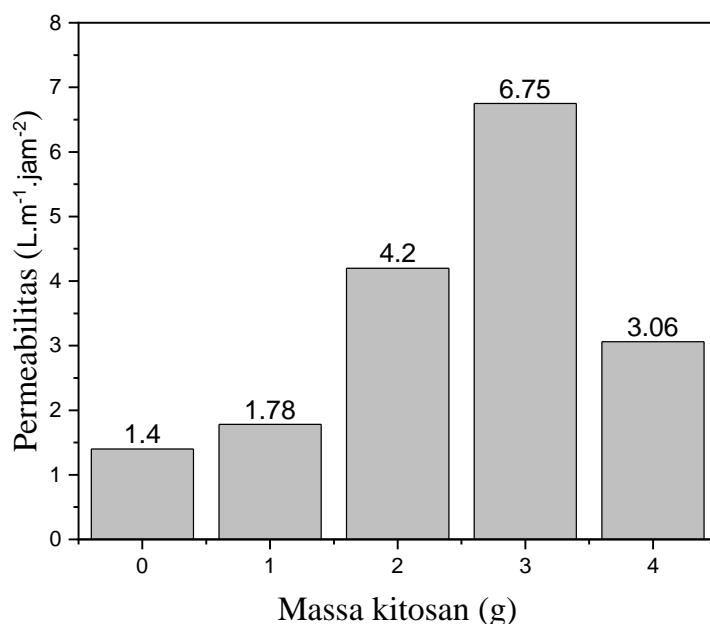
Tabel 2. Data hasil uji mekanik membran kitosan

| RATA-RATA | Penambahan massa kitosan (g) | | | | |
|--|------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Tegangan σ (MPa) | 8,58 | 10,93 | 11,76 | 11,49 | 13,28 |
| Regangan ε (%) | 5,88 | 5,35 | 5,90 | 5,95 | 5,32 |
| $Modulus\ Young\ E$ (MPa) = σ/ε | 1,45 | 2,07 | 2,01 | 1,92 | 2,51 |

Nilai Modulus Young tertinggi didapatkan oleh membran dengan penambahan massa kitosan sebanyak 4 g yakni sebesar 2,51 MPa, karena memiliki kerapatan molekul yang lebih rapat, menjadikan membran menjadi lebih kuat. Sedangkan yang terendah yakni tanpa adanya penambahan kitosan sebesar 1,45 MPa. Hal ini sesuai dengan penelitian Setiawan dkk., (2015) yang menyatakan

bahwa semakin besar massa polimer yang digunakan maka akan menyebabkan jarak struktur antar molekul dalam membran menjadi lebih rapat yang menjadikan membran menjadi lebih kuat.

Pengujian permeabilitas bertujuan untuk mengetahui jumlah volume *permeat* yang mampu dilewatkan dari luas permukaan suatu membran dalam waktu tertentu.

**Gambar 4. Hubungan antara permeabilitas terhadap massa kitosan membran**

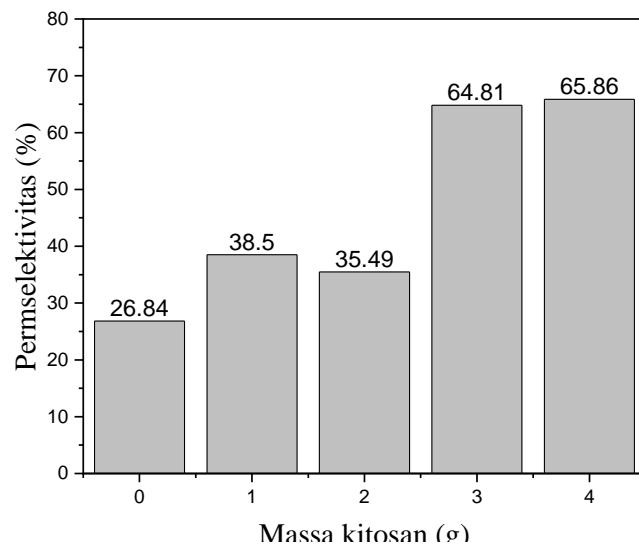
Berdasarkan Gambar 4 dapat diketahui bahwa nilai permeabilitas pada massa kitosan membran sebesar 1 g, 2 g, dan 3 g mengalami peningkatan. Sedangkan pada penambahan 4 g kitosan mengalami

penurunan nilai permeabilitas. Hal ini disebabkan karenatingginya konsentrasi massa kitosan yang digunakan, membran yang terbentuk semakin padat



Gambar 5. Membran kitosan sebelum (kiri) dan setelah (kanan) dilakukan pengujian permselektivitas

Besar nilai permselektivitas membran kitosan dalam merejeksi/menghilangkan larutan warna MB dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan antara permselektivitas terhadap massa membran kitosan

Berdasarkan Gambar 6 nilai permselektivitas membran cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi massa kitosan dalam membran. Pada konsentrasi massa 3 g dan 4 g kitosan memiliki nilai permselektivitas tertinggi jika dibandingkan dengan membran 1 g, 2 g dan tanpa kitosan. Hal ini disebabkan karena tingginya konsentrasi massa kitosan yang digunakan menyebabkan membran menjadi lebih padat sehingga semakin banyak molekul MB yang tertahan, akibatnya

koefisien rejeksi yang didapatkan pun semakin tinggi. Gugus NH₂ dan OH- yang terdapat pada kitosan merupakan gugus yang bersifat basa sehingga ketika kontak dengan larutan zat warna MB akan cenderung berikatan elektrostatik dan polar (Salehi dkk, 2017). Dari penambahan 4 g kitosan diperoleh nilai rejeksi 65.86 %, ini menunjukkan bahwa konsentrasi MB yang diserap cukup tinggi sehingga membran kitosan yang dihasilkan baik digunakan sebagai adsorben MB.



Gambar 7. Perbedaan larutan metilen biru sebelum dan setelah di filtrasi menggunakan membran kitosan

Membran dengan sifat mekanik yang baik akan menjadikan membran tidak mudah rusak atau sobek, hal ini akan mempengaruhi umur pemakaian dari membran pada pengaplikasiannya dalam pemisahan, sifat mekanik yang baik akan menghasilkan kinerja yang tinggi. Adapun perbedaan nilai permeabilitas dan permselektivitas yang didapatkan dimungkinkan karena beberapa faktor, diantaranya pendistribusian dari PVA dan larutan kitosan yang tidak merata sehingga mempengaruhi hasil pori yang dihasilkan.

KESIMPULAN

Membran Kitosan dari cangkang kerang telah berhasil difabrikasi, dimana kitosan yang digunakan memiliki DD 75,86%. Variasi massa kitosan mempengaruhi nilai Modulus Young, permeabilitas, dan permselektivitas membran yang diperoleh. Modulus Young dan nilai permselektivitas membran meningkat seiring bertambahnya konsentrasi massa kitosan yang digunakan, sedangkan nilai permeabilitas yang didapatkan berbanding terbalik. Nilai Modulus Young dan nilai permselektivitas terbaik didapatkan pada membran dengan konsentrasi massa kitosan sebesar 4 g, berturut turut yakni 2,51 MPa dan 65,86 %, sedangkan nilai permeabilitas tertinggi didapatkan pada konsentrasi massa kitosan sebesar 3 g yakni $6,75 \text{ L.jam}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2014). ASTM D638 TYPE V, Diakses tanggal 11 Januari 2022, dari https://www.datapointlabs.com/images/specimens/ASTM_D638_TypeV.pdf
- Arsyi, N. Z., Nurjannah, E., Nurahlina, D., & Budiayati, E. (2018). Karakterisasi Nano Kitosan Dari Cangkang Kerang Hijau Dengan Metode Gelasi Ionik, *Jurnal Teknologi Bahan Alam*. Vol 2(2): 106-111.
- Aryanto, A. Y. (2002). Pemanfaatan Kitosan dari Limbah Kulit Udang (Chrusteal) sebagai Bahan untuk Pembuatan Membran, *Skripsi*, Fateta, IPB, Bogor.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). (2013). Kitosan-Syarat Mutu dan Pengolahan. SNI 7949-2013, Jakarta.
- Dash, M., Chiellini, F., Ottenbrite, R. M., & Chiellini, E. (2011). Chitosan—A Versatile Semi-Synthetic Polymer in Biomedical Applications. *Progress in Polymer Science (Oxford)*. 36(8). 981–1014. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2011.02.001>
- Domszy, J. G. & Robert, G. A. F. (1984). Evaluation of infrared spectroscopic technique for analyzing chitosan. *Journal of Macromolecular: Science-Pure Applied Chemistry*. 186(8). 1671-1677.

- <https://doi.org/10.1002/MACP.1985.021860815>
- Farha, I. F., & Kusumawati, N. (2012). Pembuatan Membran Komposit Kitosan-PVA dan Pemanfaatannya pada Pemisahan Limbah Pewarna Rhodamin B. *UNESA Journal of Chemistry*. 1(2): 31-38.
- Handayani, Dewi. (2021). Studi Absorpsi Logam Fe menggunakan kitosan Cangkang Kerang Mutiara (*Pinctada maxima*). *Skripsi*. Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Mataram.
- Kusumawati, N., & Tania, S. (2012) Pembuatan dan Uji Kemampuan Membran Kitosan sebagai Membran Ultrafiltrasi untuk Pemisahan Zat Warna Rhodamin B. *Molekul*. 7(1): 43-52.
<http://dx.doi.org/10.20884/1.jm.2012.7.1.105>
- Liu, Y., Wang, W., Jin, Y., & Wang, A. (2010). Adsorption Behavior of Methylene Blue from Aqueous Solution by the Hydrogel Composites Based on Attapulgite. *Separation Science & Technology*. 46(5). 858-868.
<https://doi.org/10.1080/01496395.2010.528502>
- Marganof. (2003). *Potensi Limbah Udang Sebagai Penyerap Logam Fe (Timbal, Kadmium, dan Tembaga) di Perairan*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Mulder, M. (1991). *Basic Principles of Membrane Technology*. Kluwer Academy Publisher, Netherland.
- Nawawi, M. Ghazali, M., & Hashim. (2003). Pervaporation Separation of Isopropanol-Water Mixture Using Crosslinked Chitosan Membranes. *Jurnal Teknologi*. 55-64.
- Purba, R.D.K (2020). Penggunaan Limbah Cangkang Kerang Mutiara (*Pinctada maxima*) sebagai Upaya Pemanfaatan Potensi Sumber Daya Laut untuk Sumber Kalsium. *Skripsi*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang.
- Purbowati, P. (2016). Upaya Peningkatan Derajat Deasetilasi pada kitosan Cangkang Kerang Kampak (*Atrina pectinata*) Melalui Proses Deasetilasi Kitin secara Bertahap. *Skripsi*. Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Airlangga, Surabaya.
- Redjeki, S. (2011). Proses Desalinasi dengan Membran. Surabaya: UPN Veteran Jawa Timur Press.
- Salehi, E., & Farahani, A. (2017). Macroporous chitosan/polyvinyl alcohol composite adsorbents based on activated carbon substrate. *Journal of Porous Materials*. 24(5). doi:10.1007/s10934-016-0359
- Setiawan, D. A., Argo, B. D., & Hendrawan, Y. (2015). Pengaruh Konsentrasi dan Preparasi Membran terhadap Karakterisasi Membran Kitosan. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*. Vol 3 (1): 95-99. <https://jkptb.ub.ac.id/index.php/jkptb/article/view/260>
- Tanassale, M. F. J. D. P., Killay, A., & Laratmase, M. S. (2012). kitosan dari Limbah Kulit Kepiting Rajungan (*Portunus sanginoletus L.*) sebagai Adsorben Zat Warna Biru. *Jurnal Nature Indonesia*. 14 (1):165-171. <http://dx.doi.org/10.31258/jnat.14.1.165-171>
- Wenten, I. G. (2000). *Teknologi Membran Industrial*. Bandung: Penerbit ITB.
- Wenten, I. G. (2016). *Teknologi Membran: Prospek dan Tantangannya di Indonesia*. Bandung: ITB.