

MODIFIKASI KITOSAN DARI LIMBAH CANGKANG KEPITING SEBAGAI SEDIAAN MATERIAL MEMBRAN FILTRASI AIR

Krisman Umbu Henggu^{1*}, Robinson Umbu Lapu¹, Petrus Takanjanji¹, Rambu Fretty Nganggu Djawa¹, Septiani Rambu Lingga¹, Sribidanti Abbas¹, Herman Hiwa Ngunju¹, Ivan Roberto Willy¹, Noven Tinggi Nalu¹

¹Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Kristen Wira Wacana Sumba Jl. R. Suprpto No. 35, Waingapu, Prailiu, Sumba Timur, Kabupaten Sumba Timur, Nusa Tenggara Timur 87113

*Korespondensi: krisman@unkriswina.ac.id

(Diterima 12-03-2022; Direvisi 13-04-2022; Dipublikasi 14-06-2022)

ABSTRAK

Tingkat pencemaran air global saat ini telah mencapai 65%, yang terdiri atas pencemaran polutan organik 40% dan anorganik 25%. Oleh sebab itu, perlu dilakukan solusi penyelesaian kasus pencemaran air dengan berbagai pendekatan polimer alami, salah satunya penggunaan membran kitosan. Penelitian ini dilakukan dengan menyiapkan material kitosan lalu dimodifikasi menjadi membran filtrasi pada kolom filtrasi dan diujikan pada sampel air. Indikator pengukuran kualitas air setelah proses filtrasi dengan membran kitosan meliputi oksigen terlarut (DO), *Total Suspended Solid* (TSS), *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan derajat keasaman (pH). Hasil penelitian menunjukkan kondisi air bahan baku sebelum proses filtrasi memiliki karakteristik oksigen terlarut (DO), *Total Suspended Solid* (TSS), *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan derajat keasaman (pH) beradap pada kualitas kelas IV yang hanya dimanfaatkan untuk kepentingan pertanian. Sebaliknya, setelah proses filtrasi dengan membran kitosan yang diekstraksi dari limbah cangkang kepiting, karakteristik kualitas air tersebut telah tergolong dalam kualitas baku mutu air kelas II yakni kandungan DO 3,92 mg/l, TSS 42,64 mg/l, BOD 5,95 mg/l dan pH 8. Hal ini menunjukkan bahwa membran kitosan yang diekstraksi dari limbah cangkang kepiting memiliki potensi pengembangan sebagai sumber material filtrasi air.

Kata kunci: flokulasi; kitin; kualitas air; polimer

MODIFICATION OF CHITOSAN FROM CRAB SHELL WASTE AS A WATER FILTRATION MEMBRANE MATERIAL

ABSTRACT

The current global water pollution level has reached 65%, which consists of 40% organic and 25% inorganic pollutant pollution. Therefore, it is necessary to solve cases of water pollution with various natural polymer approaches, one of which is the use of chitosan membranes. This research was carried out by preparing chitosan material, then being modified into a filtration membrane in a filtration column and tested on water samples. The indicators for measuring water quality after the filtration process with chitosan membranes include dissolved oxygen (DO), Total Suspended Solid (TSS), Biological Oxygen Demand (BOD) and acidity (pH). The results showed that the condition of the raw material water before the filtration process had the characteristics of dissolved oxygen (DO), Total Suspended Solid (TSS), Biological Oxygen Demand (BOD) and acidity (pH) were of class IV quality, which was only used for agricultural purposes. On the other hand, after the filtration process with chitosan membrane extracted from crab shell waste, the water quality characteristics were classified as class II water quality standards, namely DO content 3.92 mg/l, TSS 42.64 mg/l, BOD 5.95 mg/l and pH 8. This indicates that the chitosan membrane extracted from crab shell waste has development potential as a source of water filtration material.

Keywords: chitin, flocculation, polymer, water quality

PENDAHULUAN

Kasus pencemaran air oleh berbagai senyawa beracun, terutama polutan organik dan logam berat telah menjadi masalah lingkungan yang serius karena sangat berdampak negatif kehidupan organisme. Menurut Ahmed & Ismail (2018) tingkat pencemaran air global saat ini telah mencapai 65%, yang terdiri atas pencemaran polutan organik 40% dan anorganik 25%. Oleh sebab itu, perlu dilakukan solusi penyelesaian kasus pencemaran air dengan berbagai pendekatan teknologi secara fisik, kimia maupun biologi. Salah satu metode yang saat ini dikembangkan sebagai material filtrasi air ialah polimer (sintetis dan alami). Hal ini berkaitan dengan kekuatan polimer dalam proses adsorpsi dan koagulasi (Crini *et al.*, 2019). Proses adsorpsi dan koagulasi dari adsorben polimer alami berkaitan dengan gugus fungsi polimer (hidroksil, akrboksil, amina atau asetamido) yang sangat efektif dalam mengikat (*chelator*) polutan organik hingga logam berat (Crini 2005). Beberapa polimer alami yang sangat efektif digunakan sebagai material filtrasi air yakni kitin (Figueiredo *et al.*, 2005), kitosan (Zhu *et al.*, 2010), *starch* (Renault *et al.*, 2008) dan selulosa (Liu *et al.*, 2002). Beberapa polimer tersebut memiliki sifat ramah lingkungan, biodegradabilitas, non-toksitas dan biokompatibilitas (Thakur *et al.*, 2014).

Sumber polimer yang sangat melimpah keberadaannya pada limbah perikanan ialah kitin-kitosan. Kitin merupakan polimer linear yang tersusun rantai unit *2-asetamida-2-deoksi-D-glucopiranol* (atau suatu *N-asetil D-glukosrunin*) yang paling umum ditemukan pada limbah cangkang *crustacea* dan moluska (Henggu 2021). Limbah cangkang *crustacea* dan moluska merupakan salah satu limbah hasil perikanan yang sering dijumpai di Kabupaten Sumba Timur dan ketersediaannya cukup melimpah. Hal ini karena salah satu komoditi hasil perikanan yang sering dikonsumsi oleh masyarakat Kabupaten Sumba Timur ialah *crustacea* dan moluska (Henggu *et al.*, 2021). Hingga saat ini limbah tersebut belum dimanfaatkan dengan baik, walaupun disisi lain limbah *crustacea* dan moluska memiliki senyawa kitin yang menjadi senyawa organik paling dominan. Kumari & Rath (2014) komposisi kitin pada limbah perikanan dapat mencapai 30-40%, lebih tinggi dibandingkan komposisi kitin pada limbah organisme lainnya. Produksi kitin-kitosan dapat melalui proses demineralisasi, deproteinasi hingga dekolerasi, sedangkan produksi kitosan dapat dilakukan dengan hidrolisis parsial melalui proses deasetilasi kitin dengan metode basa (Rinaudo 2006). Biopolimer kitin-kitosan telah banyak diteliti untuk dimanfaatkan sebagai adsorben diantara sebagai adsorben cemaran tekstil (Kyzas *et al.*, 2017), penyerap polutan hayati (Saheed *et al.*, 2021) dan penyerap logam berat (Begum *et al.*, 2021). Namun keterbatasan biopolimer kitin-kitosan ialah kestabilan dalam formulasi adsorben. Oleh sebab itu, penelitian ini lebih difokuskan pada modifikasi kitosan yang diekstraksi dari limbah cangkang kepiting sebagai membran filtrasi serta pengaruhnya terhadap perubahan kualitas air.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilakukan pada bulan November 2021, bertempat di Laboratorium MIPA terpadu, Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Kristen Wira Wacana Sumba. Analisis karakteristik kandungan air (kualitas air) dilakukan secara *in situ* maupun *ex situ*. Pengambilan sampel air bahan baku bertempat di Lapangan Swembak Kabupaten Sumba Timur.

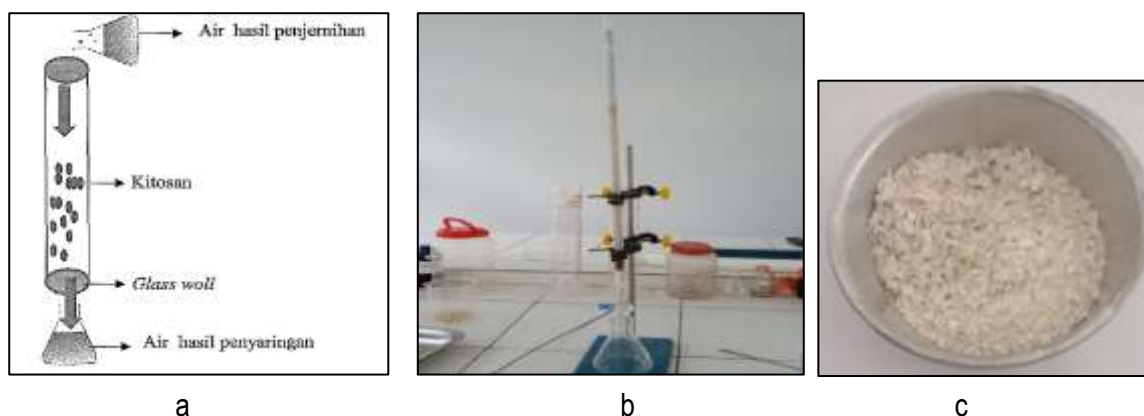
Bahan dan Alat

Alat yang digunakan ialah DO meter *Lutron-5510*, oven, erlemenyer, kertas saring *Whatmann* no 42, batang pengadung, gelas ukur, timbangan analitik, pipet volumetrik dan tabung volumetrik. Bahan penelitian meliputi sampel air bahan baku, kitosan, CH_3COOH , H_2SO_4 pekat, KOH , MgSO_4 , akuades, kapas dan silika.

Metode Penelitian

Persiapan kolom dan proses filtrasi

Koleksi kitosan yang telah diekstraksi dari limbah cangkang kepiting berdasarkan metode kimia (Suptijah 2004), dilarutkan dalam asetat 1% perbandingan 1:3 (b/v). Proses tersebut dilakukan hingga kitosan dapat larut sempurna. Tahap selanjutnya ialah persiapan kolom filtrasi dilakukan dengan menyiapkan tabung buret volumetrik berkapasitas 100 mL yang disesuaikan *layers* kolomnya. Adapun layer kolom filtrasi tersebut yakni berisikan kapas (*layers* 1) dan larutan kitosan (*layers* 2). Adapun ilustrasi komposisi kolom filtrasi disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. (a) ilustrasi komposisi kolom filtrasi air (Firdaus 2008); (b) proses filtrasi; (c) kitosan dari limbah cangkang kepiting

kolom filtrasi disiapkan, air bahan baku yang dikoleksi dari perairan Swembak terlebih dahulu diuji *Dissolved Oxygen* (DO), *Total Suspended Solid* (TSS), *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan Derajat Keasaman (pH). Setelah proses pengujian tersebut, air bahan baku sampel lalu dialirkan kedalam kolom filtrasi yang disiapkan, hingga menghasilkan air hasil fitrasi. Air hasil filtrasi tersebut dilakukan uji DO, TSS, BOD dan pH untuk mengetahui kualitas air setelah difiltrasi membran kitosan.

Analisis Data

Data observasi karakteristik sampel air (DO, TTS, BOD, pH) yang telah diperoleh sebelum dan sesudah filtrasi diuji asumsi secara statistik. Setelah memenuhi uji asumsi, data tersebut kemudian dilakukan uji T berpasangan. Adapun model matematika uji T berpasangan yakni sebagai berikut :

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2} - 2r \left(\frac{S_1}{\sqrt{n_1}}\right) \left(\frac{S_2}{\sqrt{n_2}}\right)}}$$

Keterangan :

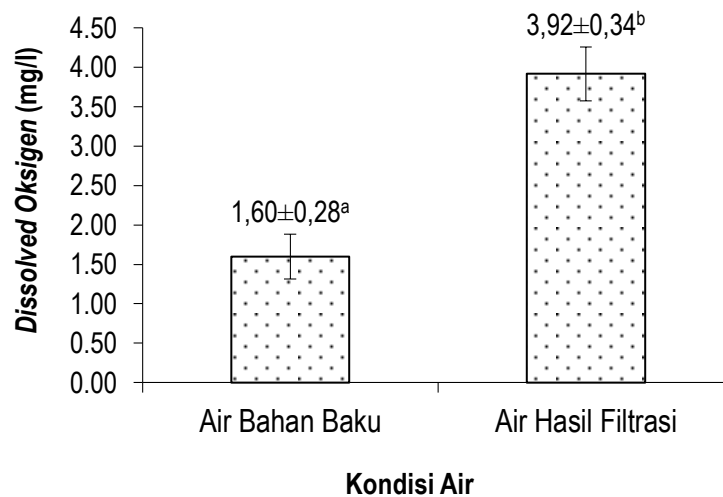
- x1 : rata-rata kandungan kualias air (DO, TTS, BOD, pH) sebelum filtrasi
- x2 : rata-rata kandungan kualias air (DO, TTS, BOD, pH) setelah filtrasi
- S1 : Simpangan baku data kualias air (DO, TTS, BOD, pH) sebelum filtrasi
- S2 : Simpangan baku data kualias air (DO, TTS, BOD, pH) setelah filtrasi
- n1 : Jumlah sampel sebelum filtrasi
- 2 : Jumlah sampel setelah filtrasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

***Dissolved Oxygen* (DO)**

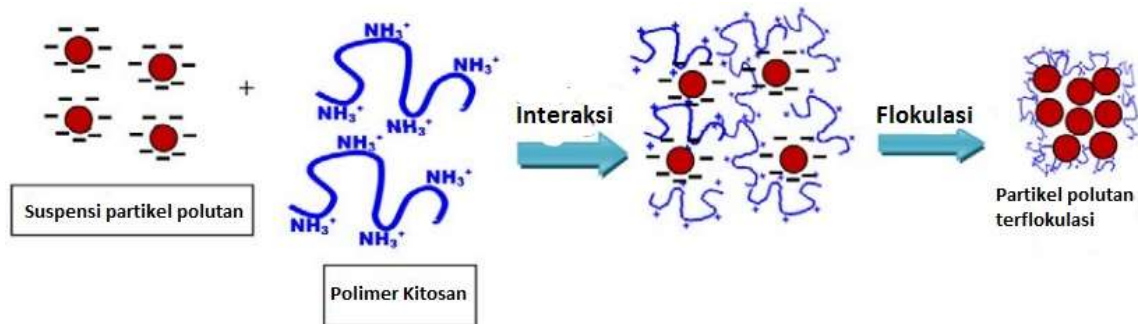
Dissolved Oksigen atau oksigen terlarut merupakan satuan oksigen yang terkandung dalam perairan. Total oksigen terlarut dalam air tersebut dapat diperoleh dari proses fotosintesis maupun absorpsi udara bebas. Menurut Rudolph *et al.*, (2002) oksigen terlarut merupakan salah satu faktor yang menentukan kualitas air dan kehidupan organisme perairan. Semakin tinggi kandungan oksigen terlarut memiliki korelasi positif terhadap tingginya kualitas perairan. Rerata oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) pada air bahan baku yang belum lakukan filtrasi dengan membran kitosan maupun yang telah dilakukan filtrasi dapat dilihat pada Gambar 2. Rerata oksigen terlarut pada air bahan baku yakni 1,60 mg/l, sebaliknya kandungan oksigen terlarut pada air bahan baku yang telah difiltrasi mencapai 3,92. Lebih tinggi dibandingkan kandungan oksigen terlarut pada air bahan baku. Rendahnya oksigen terlarut pada air bahan baku dipengaruhi oleh

pencemaran domestik *greywater* seperti limbah rumah tangga (sampah plastik, kayu, air hasil cucian rumah tangga). Menurut Saheed *et al.*, (2021) kitosan dapat mengalami protonasi dan menyebabkan polimernya terbuka sehingga setiap situs kitosan dapat memiliki kerapatan muatan yang tinggi. Hal tersebut diduga sangat berkontribusi terhadap peningkatan oksigen terlarut pada suatu perairan. Selain itu, proses koagulasi bahan polutan oleh kitosan menyebabkan kapasitas daya tampung oksigen terlarut pada perairan cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi perairan yang belum difiltrasi (Figueiredo *et al.*,2005).



Gambar 2. Kondisi oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) pada air bahan baku dan air hasil filtrasi membran kitosan

Hasil analisis statistik (Gambar 2) menunjukkan bahwa penggunaan membran kitosan berbahan baku limbah cangkang kepiting memiliki perbedaan nyata ($P < 0,05$) terhadap peningkatan kadar oksigen terlarut pada air yang difiltrasi. Tingginya kadar oksigen terlarut pada air hasil filtrasi pada Gambar 2 berkaitan dengan rendah polutan perairan setelah difiltrasi dengan membran kitosan. Rendahnya polutan tersebut dapat menurunkan kapasitas daya tampung cemaran air sehingga memberikan pengaruh terhadap tingginya daya absorpsi oksigen. Penurunan polutan pada air bahan baku tersebut memiliki kaitan erat dengan gugus polimer kitosan terutama gugus amina dan metil ($-CH_3$) yang berperan sebagai flokulan. Adapun proses flokulasi kitosan pada suspensi polutan dapat diilustrasikan pada Gambar 3.

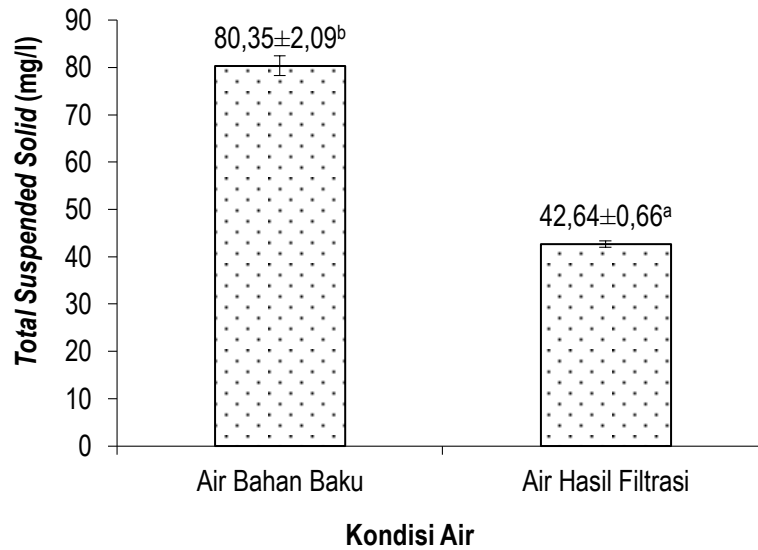


Gambar 3. Ilustrasi proses flokulasi kitosan pada suspensi polutan (Chopra & Ruhi 2016)

Kitosan pada dasarnya sering mengalami protonasi akibat penambahan muatan saat diformulasi, misalnya gugus amin (NH_2) pada kitosan dapat terprotonasi menjadi NH_3^+ disepanjang rantai polimer dan menyebabkan terjadinya perubahan sifat situs kitosan menjadi polikationik. Sifat polikationik tersebut menjadi alasan dasar polimer kitosan menjadi *chelating agents*, kemampuan untuk membentuk film, kemampuan untuk mengikat dengan sel mikroba, viskositas, kelarutan dalam berbagai media, karakteristik optik dan struktural. Sifat polikationik kitosan menyebabkan terjadinya agregasi patikel suspensi polutan sehingga molekul polutan yang tersuspensi tersebut memiliki massa dan dapat disedimentasi pada proses filtrasi. Proses agregasinya polimer kitosan dengan partikel suspensi polutan yang dijumpai oleh ikatan elektrostatik yang menghubungkan gugus amin terprotonasi dengan gugus karboksil pada unsur organik maupun pada muatan ion logam pada suspensi polutan logam berat.

Total Suspended Solid (TSS)

Indikator *Total Suspended Solid* (TSS) pada perairan merupakan deskripsi jumlah padatan organik maupun anorganik yang tersuspensi dalam perairan. Kondisi TSS berdampak terhadap tingkat kecerahan atau kekeruhan suatu perairan. Menurut Du *et al.*, (2022) tingginya TSS pada perairan menunjukkan tingginya jumlah polutan yang terjadi secara fisik maupun kimiawi. Rerata kandungan TSS pada air bahan baku yang belum dilakukan filtrasi dengan membran kitosan maupun yang telah dilakukan filtrasi dapat dilihat pada Gambar 4.



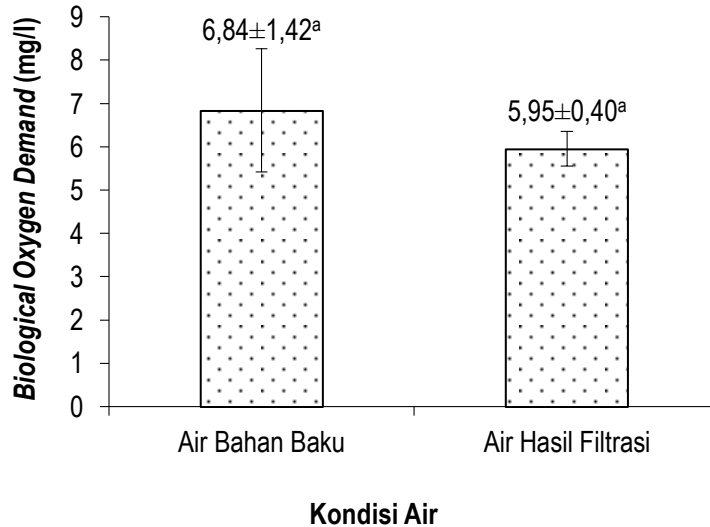
Gambar 4. Kondisi *Total Suspended Solid* (TSS) pada air bahan baku dan air hasil filtrasi membran kitosan

Rerata *Total Suspended Solid* (TSS) pada air bahan baku dan air hasil filtrasi membran kitosan berkisar antara 42,64 mg/l-80,35 mg/l. Kandungan TSS tersebut menunjukkan mengalami penurunan setelah air bahan baku difiltrasi dengan membran kitosan. Hal ini menunjukkan bahwa membran filtrasi kitosan sangat efektif dalam mengikat (*chelator*) padatan partikel tersuspensi. Adapun perkiraan efektifitas penurunan TSS pada air bahan baku mencapai 37,71 mg/l. Kondisi fisika TSS pada air limbah umumnya bermuatan negatif, sehingga TSS tersebut saling tolak-menolak dan berdampak terhadap proses suspensi. Keberadaan polimer kitosan pada membran filtrasi terutama gugus metil (-CH₃) dapat memberikan muatan berlawanan terhadap TSS sehingga proses flokulasi dapat terjadi melalui agregasi. Menurut Ganjali *et al.*, (2017) polimer kitosan memiliki struktur kimia yang mengandung amino yang sangat reaktif misalnya amina (-NH₂⁺), metil (-CH₃) dan gugus hidroksil (-OH⁺) yang direkomendasikan sebagai bahan adsorben yang sangat efektif. Rendahnya TSS pada air hasil filtrasi (Gambar 4) memberikan korelasi terhadap tingkat kecerahan air yang cukup baik.

Biological Oxygen Demand (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan indikator jumlah zat organik yang terkandung dalam suatu perairan. Semakin tinggi BOD maka akumulasi cemaran organik juga cukup tinggi. Kondisi BOD yang tinggi pada perairan menunjukkan banyak mikroorganisme yang mencemari suatu perairan, sebaliknya jika

kondisi BOD rendah menunjukkan bahwa organisme pencemar yang terkandung dalam perairan cenderung rendah dan kualitas kemurnian air tinggi.

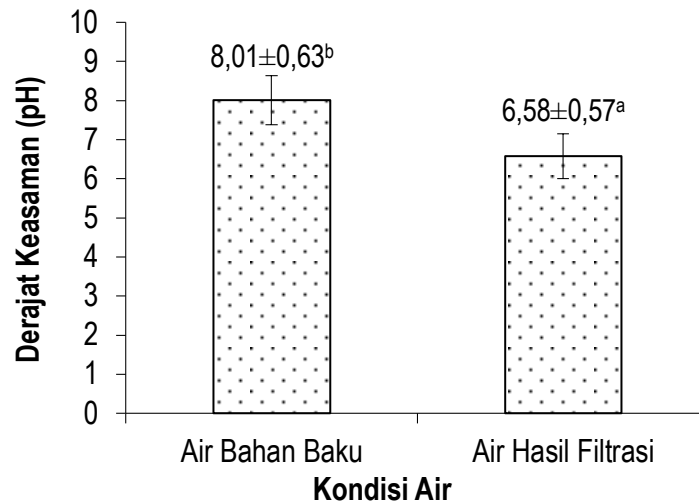


Gambar 5. Kondisi *Biological Oxygen Demand* (BOD) pada air bahan baku dan air hasil filtrasi membran kitosan

Rerata BOD pada air bahan baku dan air hasil filtrasi membran kitosan berkisar antara 6,84 mg/l- 5,95 mg/l. Kandungan BOD pada Gambar 5 menunjukkan mengalami penurunan setelah air bahan baku difiltrasi dengan membran kitosan. Hal ini menunjukkan bahwa membran filtrasi kitosan sangat efektif dalam mereduksi mikroorganisme yang terkandung dalam air bahan baku. Menurut Ke *et al.*, (2021) karakteristik gugus fungsi C₂-NH₂, C₃-OH (hidroksil sekunder), dan C₆-OH (hidroksil primer) pada rantai kitosan sangat berpengaruh terhadap aktivitas kerusakan membran mikroorganisme. Semakin rendah nilai BOD suatu perairan menunjukkan bahwa air tersebut cukup baik digunakan untuk kebutuhan manusia (PERMENKES 2017).

Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman merupakan gambaran tingkat kesadahan suatu perairan. Kesadahan tersebut sangat dipengaruhi oleh daya tampung air yang meliputi daya tampung unsur organik dan anorganik. Adapun rerata derajat keasaman (pH) pada air bahan baku yang belum dilakukan filtrasi dengan membran kitosan maupun yang telah dilakukan filtrasi dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Kondisi derajat keasaman (pH) pada air bahan baku dan air hasil filtrasi membran kitosan

Rerata pH pada air bahan baku dan air hasil filtrasi membran kitosan berkisar antara 8,01 mg/l-6,58 mg/l. Kondisi pH tersebut menunjukkan penurunan derajat keasaman air setelah air bahan baku difiltrasi dengan membran kitosan. Hal ini menunjukkan bahwa membran filtrasi dapat menurunkan pH (basa). Hal ini diduga karena membran kitosan dapat mereduksi TSS (Gambar 5). Menurut Dodds & Whiles (2004) tingginya total padatan organik dan anorganik yang tersuspensi dalam perairan sangat berdampak terhadap tingginya kesadahan perairan. Rendahnya kondisi derajat keasaman air setelah difiltrasi diduga akibat kesetimbangan muatan yang diperoleh selama proses agregasi saat filtrasi berlangsung. Hal ini karena koleksi kitosan yang digunakan sebagai membran filtrasi memiliki rata-rata pH 6.

PENUTUP

Kondisi air bahan baku sebelum proses filtrasi memiliki karakteristik oksigen terlarut (DO), *Total Suspended Solid* (TSS), *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan derajat keasaman (pH) beradap pada kualitas kelas IV yang hanya dimanfaatkan untuk kepentingan pertanian. Sebaliknya, setelah proses filtrasi dengan membran kitosan yang diekstraksi dari limbah cangkang kepiting, karakteristik kualitas air tersebut telah tergolong dalam kualitas baku mutu air kelas II yang tidak hanya diperuntukkan dalam bidang pertanian namun juga dapat dimanfaatkan dalam prasarana rekreasi air, budidaya ikan hingga peternakan. Hal ini menunjukkan bahwa membran kitosan yang diekstraksi dari limbah cangkang kepiting memiliki potensi pengembangan sebagai sumber material filtrasi air.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, S., & Ismail, S. (2018). Water pollution and its sources, effects & management: a case study of Delhi. Shahid Ahmed and Saba Ismail (2018)'Water Pollution and its Sources, Effects & Management: A Case Study of Delhi', *International Journal of Current Advanced Research*, 7(2), 10436-10442.
- Anwariani, D. (2019). Pengaruh Air Limbah Domestik Terhadap Kualitas Sungai. Karya Ilmiah Destari.
- Begum, S., Yuhana, N. Y., Saleh, N. M., Kamarudin, N. H. N., & Sulong, A. B. (2021). Review of chitosan composite as a heavy metal adsorbent: Material preparation and properties. *Carbohydrate polymers*, 259, 117613.
- Chopra, H., & Ruhi, G. (2016). Eco friendly chitosan: An efficient material for water purification. *The pharma innovation*, 5(1, Part B), 92.
- Crini, G., Lichtfouse, E., Wilson, L.D., & Morin-Crini, N. (2019). Conventional and non-conventional adsorbents for wastewater treatment. *Environmental Chemistry Letters*, 17(1):195–213
- Dodds, W. K., & Whiles, M. R. (2004). Quality and quantity of suspended particles in rivers: continent-scale patterns in the United States. *Environmental management*, 33(3), 355-367.
- Du, Y., Song, K., Wang, Q., Li, S., Wen, Z., Liu, G., & Zhang, B. (2022). Total suspended solids characterization and management implications for lakes in East China. *Science of The Total Environment*, 806, 151374.
- Figueiredo, S.A., Loureiro, J.M., & Boaventura, R.A. (2005). Natural waste materials containing chitin as adsorbents for textile dyestuffs: Batch and continuous studies. *Water Research*, 39(17):4142–4152.
- Ganjali, M.R., Rezapour, M., Faridbod, F., & Norouzi, P. (2017). Chitosan composites: Preparation and applications in removing water pollutants, in *Handbook of Composites from Renewable Materials* (eds. V.K. Thakur, M.K. Thakur, and M.R. Kessler). doi:10.1002/9781119441632.ch124.
- Henggu, K. U. (2021). Morphological characteristics and chemical composition of Cuttlebone (*Sepia* sp.) at Muara Angke fishing port, Jakarta Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 718(1), 012034.
- Henggu, K. U., Tega, Y. R., Meiyasa, F., Ndahawali, S., Tarigan, N., & Nurdiansyah, Y. (2021). Analisis Konsumsi Ikan pada Masyarakat Pesisir Sumba Timur. *Buletin Ilmiah Marina Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*, 7(2), 103-114.
- Ke, C. L., Deng, F. S., Chuang, C. Y., & Lin, C. H. (2021). Antimicrobial actions and applications of chitosan. *Polymers*, 13(6), 904.
- Kumari, S., & Rath, P. K. (2014). Extraction and characterization of chitin and chitosan from (*Labeo rohita*) fish scales. *Procedia Materials Science*, 6, 482-489.
- Kyzas, G. Z., Bikiaris, D. N., & Mitropoulos, A. C. (2017). Chitosan adsorbents for dye removal: a review. *Polymer international*, 66(12), 1800-181
- Liu, M., Deng, Y., Zhan, H., and Zhang, X. (2002). Adsorption and desorption of copper (II) from solutions on new spherical cellulose adsorbent. *Journal of Applied Polymer Science*, 84:478–485.

- Rinaudo, M. (2006). Chitin and chitosan: Properties and applications. *Progress in Polymer Science*, 31(7):603–632.
- Rudolph, A., Ahumada, R., & Pérez, C. (2002). Dissolved Oxygen content as an index of water quality in San Vicente Bay, Chile (36' S). *Environmental Monitoring and Assessment*, 78(1), 89-100.
- Saheed, I. O., Da Oh, W., & Suah, F. B. M. (2021). Chitosan modifications for adsorption of pollutants—A review. *Journal of hazardous materials*, 408, 124889.
- Suptijah, P. (2004). Tingkatan kualitas kitosan hasil modifikasi proses produksi. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 7(1).
- Thakur, V.K., Thakur, M.K. & Gupta, R.K. (2014). Graft copolymers of natural fibers for green composites. *Carbohydrate Polymers*, 104:87–93
- Zhu, H.Y., Jiang, R., Xiao, L., & Li, W. (2010). A novel magnetically separable γ -Fe₂O₃/crosslinked chitosan adsorbent: Preparation, characterization and adsorption application for removal of hazardous azo dye. *Journal of Hazardous Materials*, 179(1–3):251–257.