



Modifikasi Membran Kitosan Tertaut Silang Tripolifosfat Untuk Deteksi Ion Cu(II)

Abu Masykur*, Gaby Aprilia, Anggun Duwi Hapsari, Atmanto Heru Wibowo, Candra Purnawan, Sri Hastuti, Pranoto Pranoto, Tri Martini

Program Studi Kimia FMIPA, Universitas Sebelas Maret
Jalan Ir. Sutami, 36A, Kington Surakarta 57126 Indonesia

*Corresponding author: abumasykur@staff.uns.ac.id

DOI: 10.20961/alchemy.19.1.56392.86-93

Received 09 November 2022, Accepted 07 February 2023, Published 22 March 2023

Kata kunci:

kitosan;
membran;
sensor;
tripolifosfat;
tembaga (II).

ABSTRAK. Penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi kitosan dan digunakan sebagai sensor ion logam Cu(II). Modifikasi dilakukan dengan penaut silang kitosan menggunakan tripolifosfat dan dibentuk menjadi membran. Membran yang dihasilkan dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis, *Fourier Transform InfraRed* (FTIR), dan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX). Hasil analisis menunjukkan keberhasilan sintesis membran kitosan/tripolifosfat (CTS/TPP). Membran CTS/TPP dapat mendeteksi ion logam Cu(II) ditandai adanya perubahan warna membran dari bening menjadi biru. Keberhasilan deteksi ion logam Cu(II) oleh membran dikonfirmasi oleh pengujian UV-Vis, FTIR dan SEM-EDX. Pengujian spektrofotometer UV-Vis pada membran setelah dikontakkan dengan ion logam Cu(II) menunjukkan terjadinya pergeseran panjang gelombang maksimum akibat interaksi yang terjadi antara membran dengan ion logam Cu(II). Pada penentuan kondisi optimum pH, membran CTS/TPP optimum bekerja pada pH 7 dalam waktu 15 menit. Pada rentang konsentrasi ion Cu(II) 1–10 ppm, nilai koefisien korelasi (R^2) untuk membran CTS/TPP diperoleh sebesar 0,9917.

Keywords:

chitosan;
membranes;
sensors;
tripolyphosphate;
copper (II).

ABSTRACT. Modification of Tripolyphosphate Cross-Linked Chitosan Membrane for Cu(II) Ion Sensor. This study aims to modify chitosan and use it as a sensor for Cu(II) metal ions. The modification was carried out by cross-linking chitosan using tripolyphosphate and forming it into a membrane. The resulting membranes were analyzed by UV-Vis, FTIR spectrophotometer, and SEM-EDX. The analysis results show the successful synthesis of the chitosan/tripolyphosphate (CTS/TPP) membrane. The CTS/TPP membrane can detect Cu(II) metal ions, as indicated by a change in the color of the membrane from clear to blue. The successful detection of Cu(II) metal ions by the membrane was confirmed by UV-Vis, FTIR spectrophotometer, and SEM-EDX. UV-Vis spectrophotometer testing on the membrane after contact with Cu(II) metal ions showed that the maximum wavelength was shifted due to the interaction that occurred between the membrane and Cu(II) metal ions. In the determination of the optimum pH condition, the CTS/TPP membrane optimally works at pH 7 for 15 minutes. In the Cu(II) concentration range of 1–10 ppm, the correlation coefficient (R^2) value for the CTS/TPP membrane was 0.9917.

PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan air oleh logam berat dan *metalloids* merupakan salah satu masalah yang sering dihadapi di seluruh dunia (Bhat *et al.*, 2014). Pada beberapa lokasi, kontaminasi air minum dapat mencapai 250 kali lipat dari batas yang ditentukan oleh Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) dimana kontaminan tersebut dapat menyebabkan iritasi pada kulit dan risiko kanker paru-paru (Knight *et al.*, 2013). Salah satu logam pencemar yang sering ada dalam air limbah adalah tembaga (Cu). Tembaga termasuk ke dalam kelompok logam *essensial*, dimana dalam kadar yang rendah dibutuhkan oleh organisme sebagai koenzim dalam proses metabolisme tubuh, sedangkan sifat racunnya baru muncul dalam kadar yang tinggi (Fitriyah *et al.*, 2013).

Banyak metode yang dapat digunakan untuk analisis ion Cu(II) dalam perairan antara lain: elektrokimia, fluorimetri, spektrometri serapan atom (AAS), dan spektrometri emisi atom (ICP-AES). Metode-metode ini cepat, andal, dan akurat untuk penentuan ion Cu(II) dalam sampel geologi, biologi, dan lingkungan, tetapi membutuhkan peralatan yang mahal dan operasi yang rumit. Saat ini, untuk memenuhi persyaratan manajemen lingkungan dan penilaian risiko lingkungan, diperlukan upaya untuk mengembangkan metode analitik yang sensitif, cepat, dapat direproduksi, sederhana, murah, dan akurat untuk penentuan tembaga dalam sampel lingkungan (Wen *et al.*, 2017).

Pengembangan metode lain untuk pemantauan ion logam di lingkungan secara *in situ* menarik untuk diteliti. Metode yang sering dilakukan adalah menggunakan sensor warna. Sensor warna (optoda) menjadi alternatif metode yang banyak diteliti saat ini untuk mendeteksi keberadaan ion logam di lingkungan perairan. Sensor kimia

merupakan alat yang digunakan untuk analisis dengan daerah antarmuka berisi reagen kimia yang memungkinkan terjadinya reaksi dengan analit di dalam larutan atau gas sehingga menyebabkan perubahan secara kimia maupun fisika. Kelebihan sensor optik diantaranya sensitifitas yang tinggi, proses analisis cepat, biaya rendah dan mudah digunakan untuk pemantauan secara rutin (Afkhani and Sarlak, 2007). Sensor optoda didasarkan pada imobilisasi senyawa pembentuk warna dalam material yang sesuai yang dapat mendeteksi keberadaan ion logam tertentu dengan perubahan warna (Habibah, 2015).

Pengembangan analisis dengan pembentukan warna banyak dilakukan dengan pengembangan material pembentuk warna dalam suatu matrik. Diez-gill *et al.* (2010), melakukan pengembangan senyawa *bis(ferisene)azine* ke dalam matrik selulosa untuk mendeteksi ion Ag(I). Cara tersebut menghasilkan sensor yang baik, tetapi warna dari selulosa yang tidak transparan menyebabkan perubahan warna tidak begitu nyata. Demikian pula kemampuan adsorpsi selulosa yang rendah menyebabkan senyawa pembentuk warna mudah lepas dari selulosa.

Ozay and Ozay (2013) menggunakan *hydrogel* dari polimer asam metakrilat sebagai matrik untuk sensor ion Fe (II) dengan senyawa pembentuk warna rhodamin B. Sensor sensitif terhadap ion Fe (II) karena gel transparan, tetapi gel mudah mengalami pengembangan (*swelling*). Metode ini juga sulit diterapkan karena gel harus dibuat dalam keadaan baru (Murthy *et al.*, 2011). Samadi-Maybodi dan Rezaei (2014) menggunakan membran dari silika sebagai matriks untuk sensor ion Zn (II) dengan 1,5-difenilkarbazon sebagai senyawa pembentuk warna. Membran yang dihasilkan stabil tetapi daya adsorpsi silika kurang besar. Selain silika, material lain yang berpotensi sebagai bahan sensor ion logam adalah kitosan.

Kitosan dan turunannya merupakan bahan yang potensial digunakan dalam berbagai bidang karena murah, kelimpahan di alam yang cukup besar, tidak beracun, dan sifatnya yang khas yaitu biokompatibel, biodegradabel dan mempunyai kemampuan menyerap berbagai macam molekul dan ion logam. Kitosan berpotensi sebagai material pengemban karena kemampuannya untuk menyerap kation, anion maupun molekul organik. Kitosan mudah larut dalam asam seperti asam nitrat, asam klorida dan asam asetat. Sifat ini membatasi penggunaan kitosan dalam larutan asam. Sifat fisik kitosan dapat ditingkatkan dengan melakukan taut silang. Penaut silangan (*crosslink*) akan mengikat bersama rantai-rantai polimer melalui ikatan kovalen atau ikatan ionik untuk membentuk suatu jaringan. *Crosslink* akan meningkatkan stabilitas membran dalam pelarut asam (Panggabean and Yusuf, 2015). Salah satu agen pengikat silang yang banyak digunakan adalah tripolifosfat (TPP) (Lusiana and Pranotoningtyas, 2018) TPP dapat meningkatkan kekuatan mekanik dan mengurangi derajat *swelling*. TPP bersifat tidak beracun dan merupakan polianion yang memiliki banyak muatan negatif sehingga akan lebih kuat bereaksi dengan kitosan melalui interaksi elektrostatik.

Pendeteksian ion logam Cu (II) dengan membran kitosan tanpa suatu ligan dapat menghasilkan warna biru, tetapi perubahan warna tidak terlalu nampak untuk konsentrasi kecil sehingga kurang sensitif. Menurut Pratiwi and Sunarto (2018), larutan berwarna tanpa pengompleks dapat dianalisis secara spektrofotometer UV-Vis, akan tetapi larutan tersebut kurang sensitif terhadap spektrofotometer UV-Vis. Sensitivitas dapat ditingkatkan dengan menambahkan reagen pengompleks yang dapat diimobilisasi dalam membran. Berdasarkan uraian tersebut, maka pada penelitian ini, modifikasi kitosan dilakukan dengan *crosslink* menggunakan tripolifosfat. Membran dikarakterisasi dengan instrumen FTIR, SEM-EDX dan spektrofotometer UV-Vis serta diaplikasikan sebagai sensor larutan Cu(II).

METODE PENELITIAN

Bahan-bahan kimia yang digunakan pada penelitian adalah kitosan dari Biotech Surindo (%DD (*Degree of Dissociation*) = 70,49%), Tripolifosfat (E-Merck), NaOH (E-Merck), Asam asetat pro analisis (E-Merck), Cu(NO₃)₂.3H₂O (E-Merck), Aseton teknis (E-Merck), HCl (E-Merck), AgNO₃ (E-Merck), Zn(NO₃)₂.4H₂O (E-Merck), Pb(NO₃)₂ (E-Merck), Aquades (UPT Lab Terpadu UNS). Instrumen yang digunakan adalah Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu type Lambda 25 Perkin Elmer), Spektrometer FTIR (Shimadzu type IR Prestige-21), SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray*).

Pembuatan Membran Optode Kitosan/Tripolifosfat (CTS/TPP)

Serbuk kitosan sebanyak 3 g dimasukkan ke dalam 300 mL asam asetat 1% (v/v) dan diaduk selama 6 jam. Larutan tripolifosfat 1% dalam akuades dimasukkan tetes demi tetes ke dalam larutan kitosan 1% dan pengadukan dilanjutkan selama 24 jam. Campuran dituang dalam loyang plastik dengan panjang dan lebar sebesar 20 × 15 cm yang telah dibersihkan dengan aseton teknis. Campuran dibiarkan pada suhu ruang selama 5 hari sampai diperoleh lapisan kering tipis. Membran dicuci dengan akuades sampai pH netral. Membran yang terbentuk dipotong dengan

ukuran 1×3 cm. Masing-masing membran CTS/TPP dengan spektrofotometer UV-Vis pada range panjang gelombang 200 – 800 nm, spektrometer FTIR *Shimadzu 1821 PC* pada daerah $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ dan SEM-EDX.

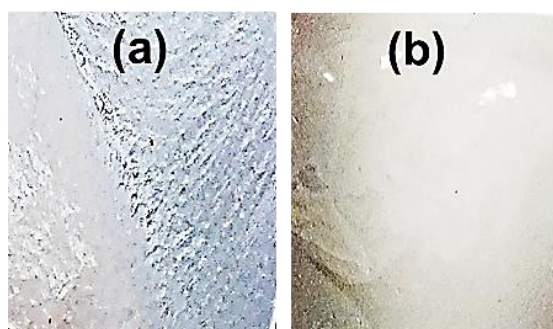
Aplikasi Membran Sebagai Sensor Cu (II)

Larutan Cu(II) 10 ppm sebanyak 100 mL diatur pH nya dengan variasi pH 2,0/5,0/7,0/9,0/11 dengan penambahan HCl 1 M dan NaOH 1 M. Membran direndam didalam masing-masing larutan tersebut selama 15 menit sambil diaduk dengan pengaduk magnet. Membran yang sudah berubah warna kemudian diambil dan dikeringkan dalam suhu ruang. Warna yang terbentuk pada membran diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis dan difoto untuk melihat perubahan warnanya. Optimasi dilakukan dengan variasi konsentrasi, dan waktu perendaman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Membran Kitosan dan Karakterisasinya

Membran kitosan sebagai sensor optoda dibuat menggunakan metode inversi fase. Penelitian ini menggunakan agen *crosslink* (*crosslinker*) berupa tripolifosfat (TPP), karena TPP tidak beracun dan merupakan polianion yaitu senyawa yang memiliki muatan negatif banyak sehingga dapat berinteraksi lebih kuat dengan kitosan yang merupakan suatu polikation. Foto membran optoda yang dihasilkan ditunjukkan pada [Gambar 1](#).



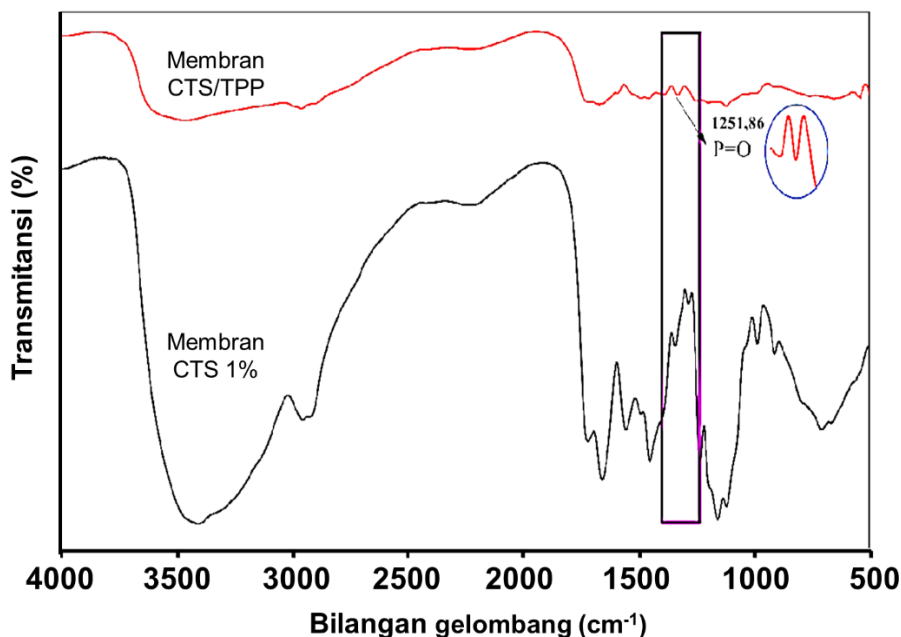
Gambar 1. Membran CTS (a) dan membran CTS/TPP (b).

Membran CTS yang ditunjukkan pada [Gambar 1a](#) memiliki bentuk kasar, ketebalan 0,2 mm (tipis), rapuh, dan transparan, sedangkan membran CTS/TPP yang [Gambar 1b](#) memiliki bentuk halus, ketebalan 0,6 mm, lebih kuat dan berwarna bening transparan. Membran yang dihasilkan dikarakterisasi dengan FTIR untuk mengetahui gugus fungsinya. Hasil spektra FTIR membran CTS dan membran CTS/TPP disajikan pada [Gambar 2](#).

Berdasarkan serapan FTIR membran CTS ([Gambar 2](#)) dapat diketahui bahwa pada bilangan gelombang $3384,25 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi ulur gugus hidroksil ($-\text{OH}$) yang melebar karena adanya tumpang tindih dengan gugus $-\text{NH}$ dari amina. Bilangan gelombang $2919,39 \text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi rentangan C-H dari $-\text{CH}_2-$ alifatik. Bilangan gelombang $1482,36 \text{ cm}^{-1} - 1375,30 \text{ cm}^{-1}$ adalah vibrasi tekuk dari $-\text{CH}_3$, hal ini dapat terjadi dimungkinkan karena kitosan yang digunakan tidak terdesetilasi dengan sempurna sehingga masih ada gugus asetil ($\text{DD}=70,49$). Bilangan gelombang $1073,43 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan pita serapan vibrasi ulur dari C-O. Bilangan gelombang $1587,48 \text{ cm}^{-1}$ merupakan serapan khas kitosan yang menunjukkan vibrasi tekuk gugus N-H. Hasil dari serapan FTIR kitosan ini hampir sama dengan serapan kitosan berdasarkan hasil sebelumnya ([Novi et al., 2016](#); [Redjeki et al., 2011](#); [Alauhdin and Widiarti, 2014](#)).

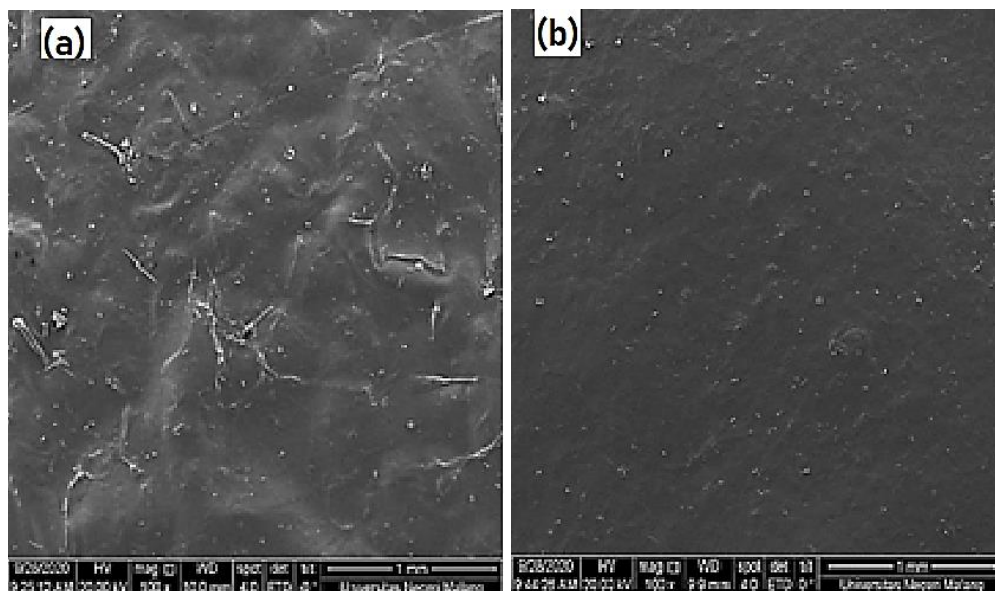
Adanya *crosslink* CTS/TPP ditandai dengan adanya pergeseran bilangan gelombang pada spektra FTIR. Pada spektra FTIR membran CTS/TPP dapat dilihat bahwa bilangan gelombang dari $3384,25 \text{ cm}^{-1}$ bergeser menjadi $3446,94 \text{ cm}^{-1}$ dan lebih melebar. Hal ini menunjukkan serapan gugus $-\text{OH}$ yang tumpang tindih dengan gugus $-\text{NH}$. Serapan pada $1587,48 \text{ cm}^{-1}$ bergeser melebar menjadi $1591,34 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan sebagian besar gugus amina dari kitosan telah berinteraksi dengan TPP. Vibrasi rentangan C-H dari CH_2 alifatik bergeser sedikit menjadi $2925,17 \text{ cm}^{-1}$. Bilangan gelombang $1416,78 \text{ cm}^{-1} - 1381,09 \text{ cm}^{-1}$ masih muncul tetapi lemah jika dibandingkan dengan serapan pada kitosan. Rentangan C-O juga sedikit bergeser menjadi $1036,78 \text{ cm}^{-1}$, sedangkan pada bilangan gelombang $1251,86 \text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi rentangan P=O dari tripolifosfat, yang menunjukkan ikatan ionik antara kitosan dengan TPP telah terbentuk. Hasil serapan FTIR kitosan yang ditautsilang

(CTS/TPP) dengan tripolifosfat pada penelitian ini sesuai dengan hasil penelitian [Lusiana dan Pronotoningtyas \(2018\)](#); [Rahayu dan Khabibi \(2016\)](#).



Gambar 2. Spektra FTIR membran CTS dan membran CTS/TPP.

Karakterisasi lebih lanjut membran menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui morfologi membran dan persen komposisi unsur pada membran yang telah disintesis. Hasil uji SEM dari membran CTS dan membran CTS/TPP berturut-turut ditunjukkan dalam [Gambar 3a dan b](#).



Gambar 3. Foto SEM perbesaran 100× (a) membran CTS dan (b) membran CTS/TPP.

[Gambar 3a](#) menunjukkan permukaan membran CTS tanpa adanya modifikasi bertekstur tidak rata dan terlihat adanya retakan. Selain itu, masih terlihat butiran-butiran kecil atau titik-titik putih (defek) yang tidak merata menunjukkan terdapat aglomerasi atau penumpukan padatan disuatu bagian membran. Membran CTS juga rapuh sehingga mudah sobek. [Gambar 3b](#) menunjukkan permukaan membran CTS/TPP, permukaan kitosan yang di *crosslink* dengan TPP memiliki tekstur yang lebih rata daripada permukaan membran kitosan, membran ini juga

lebih kuat tidak mudah sobek. Titik-titik putih juga lebih sedikit jika dibandingkan dengan permukaan membran kitosan.

Berdasarkan analisis EDX dapat dilihat bahwa pada membran yang tertaut silang tripolifosfat, kandungan unsur P mengalami kenaikan dari 0,11 menjadi 3,39% (Tabel 1). Presentase unsur O (oksigen) juga mengalami kenaikan karena adanya penambahan tripolifosfat (TPP) yang strukturnya banyak mengandung unsur P dan O.

Tabel 1. Perbedaan analisis EDX antara membran CTS, membran CTS/TPP dan membran CTS/TA/TPP.

Unsur	Membran CTS	Membran CTS/TPP
	(At%)	(At%)
O	34,38	43,50
P	0,11	3,39

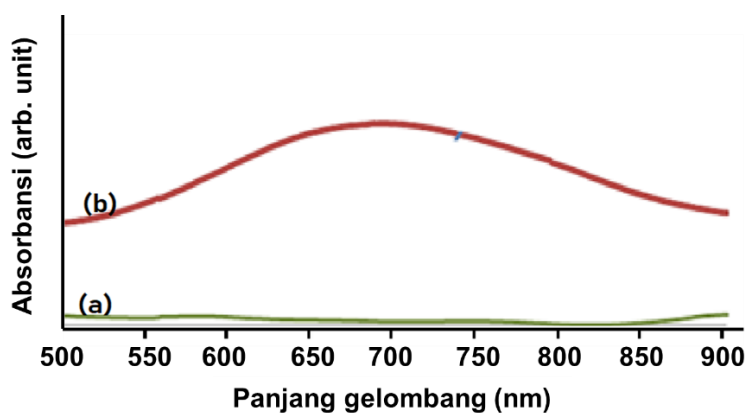
Aplikasi Membran Kitosan Sebagai Sensor Cu(II).

Aplikasi membran sebagai sensor ion Cu(II) dilakukan dengan mencelupkan membran dalam larutan Cu(II) pada pH dan waktu kontak tertentu. Perbandingan warna membran CTS/TPP sebelum dan setelah direndam dalam larutan Cu(II) 10 ppm dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Warna membran CTS/TPP sebelum (a) dan setelah (b) direndam dalam larutan Cu(II) 10 ppm.

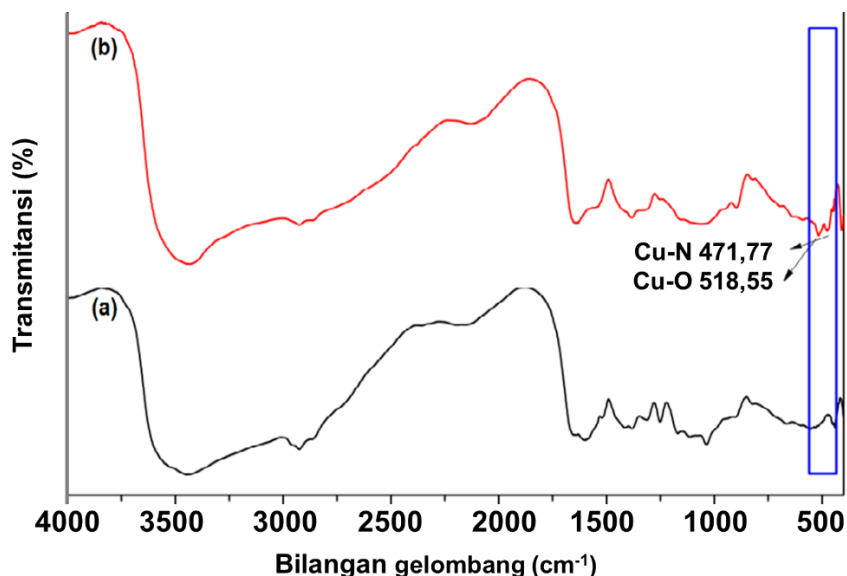
Membran CTS/TPP sebelum direndam dalam larutan Cu(II) berwarna bening (a) dan setelah direndam kedalam larutan Cu(II) membran berubah menjadi berwarna biru. (b). Perubahan warna pada membran terjadi karena membran CTS/TPP menyerap ion logam Cu(II). Ion Cu(II) terikat pada membran CTS/TPP melalui ikatan dengan gugus amina dari kitosan maupun gugus hidroksil dari TPP. Semakin banyak jumlah ion Cu(II) yang teradsorpsi oleh membran, maka perubahan warna membran yang terjadi akan semakin jelas. Terbentuknya senyawa kompleks pada membran CTS/TPP dengan ion logam Cu(II) dapat diketahui dari analisis spektroskopi UV-Vis dan FTIR yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Spektra UV-Vis membran CTS/TPP sebelum (a) dan setelah (b) dikontakkan dengan ion logam Cu(II).

Gambar 5 menunjukkan membran CTS/TPP tidak menyerap sinar UV-Vis, sedangkan membran CTS/TPP yang direndam dengan larutan Cu(II) muncul serapan pada panjang gelombang maksimum 684 nm. Perubahan ini

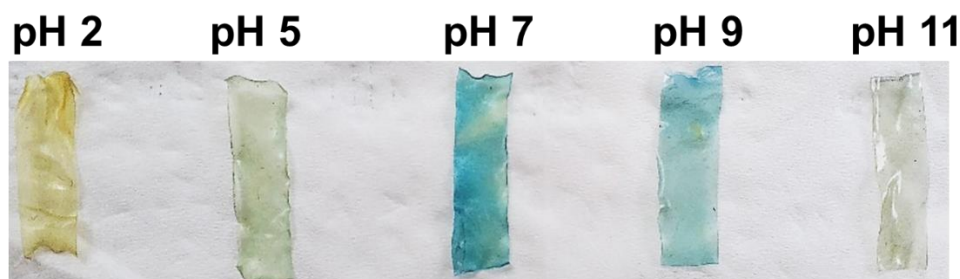
mengindikasikan bahwa ion Cu(II) terserap pada membran dan membentuk ikatan dengan kitosan maupun tripolifosfat. Data ini sesuai dengan penelitian [Anbinder *et al.* \(2019\)](#), ikatan yang terbentuk antara ion Cu(II) dengan gugus fungsi pada kitosan memiliki panjang gelombang maksimum 680 nm.



Gambar 6. Spektra FTIR membran CTS/TPP sebelum (a) dan setelah (b) dikontakkan dengan ion logam Cu(II).

Menurut [Nugroho *et al.* \(2011\)](#), jika kitosan membentuk ikatan dengan ion logam maka akan ditandai dengan adanya pergeseran bilangan gelombang dari beberapa gugus fungsi. Pada spektra FTIR CTS/TPP/Cu(II) menunjukkan terjadi pergeseran bilangan gelombang dari gugus -OH ($3424,76 \text{ cm}^{-1}$) disebabkan interaksi gugus hidroksi dengan ion Cu(II). Pada bilangan gelombang $1631,85 \text{ cm}^{-1}$ terjadi penurunan intensitas disebabkan ikatan yang terjadi antara gugus amina kitosan dengan ion Cu(II). Vibrasi tekuk gugus P=O bergeser menjadi $1301,7 \text{ cm}^{-1}$. Pada spektra FTIR membran CTS/TPP/Cu(II) muncul puncak khas ikatan Cu–O yaitu bilangan gelombang $518,55 \text{ cm}^{-1}$ dan ikatan Cu–N pada bilangan gelombang $471,77 \text{ cm}^{-1}$.

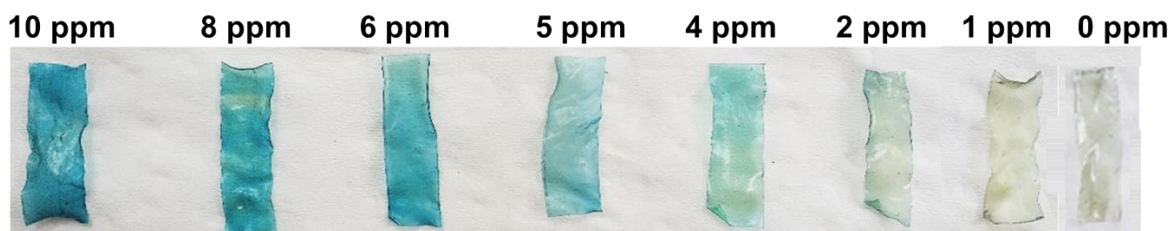
Keasaman (pH) larutan merupakan salah satu faktor yang dapat memengaruhi distribusi Cu(II). Penentuan pH optimum bertujuan untuk mengetahui kinerja efektif membran optode ketika menyerap Cu(II). Pada penelitian ini, pH larutan Cu (II) dibuat variasi pH yaitu 2; 5; 7; 9; dan 11. Hasil perubahan warna membran CTS/TPP dan membran CTS/TA/TPP pada variasi pH dapat dilihat pada [Gambar 7](#).



Gambar 7. Foto membran CTS/TPP yang direndam dalam larutan Cu(II) pada berbagai pH.

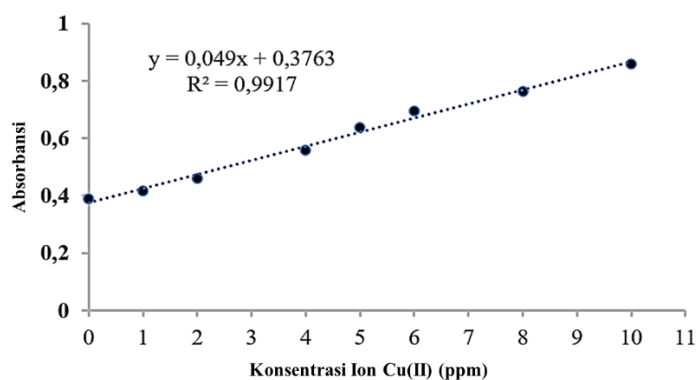
Berdasarkan [Gambar 7](#) menunjukkan bahwa pada pH 7 menunjukkan warna biru yang paling jelas, Hal ini menunjukkan bahwa membran CTS/TPP optimum mendeteksi ion logam Cu(II) pada pH 7. Larutan pH rendah atau asam memiliki banyak proton (H^+) yang dapat memprotonasi gugus amina dari kitosan dan gugus hidroksil pada tripolifosfat, sehingga menghalangi proses adsorpsi ion Cu(II) ke dalam membran. Pada larutan basa, maka ion OH^- akan meningkat sehingga interaksi antara ion logam Cu(II) dengan OH^- semakin kuat. Interaksi ini menyebabkan pengendapan ion Cu(II) menjadi $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ($K_{sp} \text{Cu}(\text{OH})_2 = 1,6 \times 10^{-19}$) ([Rahayu and Khabibi, 2016](#)). Pengaruh konsentrasi ion Cu(II) terhadap perubahan warna membran digunakan untuk mengetahui daerah kerja

membran yang dihasilkan. Perubahan warna membran CTS/TPP pada variasi konsentrasi larutan Cu(II) dapat dilihat pada [Gambar 8](#).



Gambar 8. Hasil perendaman membran CTS/TPP dalam konsentrasi larutan Cu(II).

[Gambar 8](#) menunjukkan perubahan warna membran CTS/TPP setelah direndam dalam larutan Cu(II). Semakin besar konsentrasi ion Cu(II) dalam larutan menyebabkan warna membran menjadi semakin biru, hal ini menunjukkan bahwa membran CTS/TPP dapat digunakan sebagai sensor ion Cu(II) dalam larutan. Membran yang direndam dalam larutan Cu(II) dianalisis absorbansinya pada 684 nm. Hasil pengukuran absorbansi Cu(II) terhadap variasi konsentrasi Cu(II) ditunjukkan pada [Gambar 9](#).



Gambar 9. Kurva absorbansi terhadap variasi konsentrasi Cu(II).

Hasil penelitian menunjukkan variasi konsentrasi 1, 2, 4, 5, 6, 8, dan 10 ppm dengan absorbansi menghasilkan nilai koefisien korelasi (R^2) yang baik yaitu 0,9917. Semakin tinggi konsentrasi ion Cu(II) semakin tinggi Absorbansi membran. Menurut [Lengkey *et al.* \(2013\)](#), nilai koefisien determinasi (R^2) > 0,95 menunjukkan hasil analisis yang cukup baik. Hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi Cu (II) menghasilkan suatu persamaan linear untuk membran CTS/TPP yaitu $y = 0,049x + 0,376$.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih pada Universitas Sebelas Maret atas Hibah Riset Group (HRG) No kontrak 260/UN27.22/HK.07.00/2021 yang mendanai melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Afkhani, A. dan Sarlak, N., 2007 Design and Characteristics of a Sulfide and Sulfite Optode Based On Immobilization of Methyl Violet on Triacetyl Cellulose Membrane. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 124(2), 285–289. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2006.12.041>.
- Alauhdin, M. dan Widiarti, N. 2014. Sintesis Dan Modifikasi Lapis Tipis Kitosan-Tripolifosfat. *Jurnal MIPA*, 37 (1), 46–52.
- Anbinder, P. S., Macchi, C., Amalvy, J., dan Samoza, A., 2019. A Study of the Structural Changes In A Chitosan Matrix Produced By The Adsorption Of Copper And Chromium Ions. *Carbohydrate Polymers*, 222, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.114987>.
- Bhat, M. A., Mukhtar, F., Chisti, H., Shah, S. A., 2014. Removal of Heavy Metal Ions from Waste Water by Using Oxalic Acid: An Alternative Method. *International Journal of Latest Research in Science and Technology*, 3(3), 61–64.

- Diez-Gil C., Cabalero A., Ratera I., Tarraja A., Molina P., and Veciane., 2010. Naked-Eyes And Selective Detection Of Mercury (II) Ions In Mixed Aqueous Media Using A Cellulose Based Support. *Sensors*, 7(1), 3481–3488. <https://doi.org/10.3390/s7123481>.
- Fitriyah, A. W., Utomo, Y., dan Kusumaningrum, I. K., 2013. *Analisis Kandungan Tembaga (Cu) Dalam Air Dan Sedimen Di Sungai Surabaya*, 1–8. <http://repository.um.ac.id/id/eprint/23707>.
- Habibah, N., 2015. Pengembangan Beads PVA-Natrium Alginat Sebagai Matriks Imobilisasi 1,5-Difenilkarbazida Untuk Deteksi Cr(VI). Tesis. Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gajah Mada: Yogyakarta.
- Knight, A.S., Zhou, E.Y., Pelton, J.G., dan Francis, M.B., 2013. Selective Chromium(VI) Ligands Identified Using Combinatorial Peptoid Libraries. *Journal of the American Chemical Society*, 135, 17488–17493. <https://doi.org/10.1021/ja408788t>.
- Lengkey, L. C. E., Budiastira, I. W., dan Purwoko, B.S., 2013. Model Pendugaan Kandungan Air, Lemak, dan Asam Lemak Bebas pada Tiga Provenan Biji Jarak Pagar (*Jatropha curcas L.*) Menggunakan Spektrofotometri Inframerah Dekat dengan Metode Partial Least Square (PLS). *Jurnal Penelitian Tanaman Industri*, 19(4), 203–211. <https://doi.org/10.21082/jlitri.v19n4.2013.203-211>.
- Lusiana, R. A. dan Pranotoningtyas, W. P., 2018. Membran Kitosan Termodifikasi Tripolifosfat-Heparin Dan Aplikasinya Pada Permeasi Urea Dan Kreatinin. *Analytical and Environmental Chemistry*, 3(1), 11–21. <https://doi.org/10.23960/aec.v3.i1.2018.p11-21>.
- Murthy Y. L. N., Govidh, B., Diwakar, B. S., Nagalaksmi, K., dan Singh, R., 2011. A Simple Inexpensive Detection Methods Of Nickel In Water Using Optical Sensor. *International Journal of ChemTech Research*, 3(3), 1385–1291.
- Novi, Y., Zaharah, T.A., dan Destiarti, L., 2016. Sintesis dan Karakterisasi Membran Komposit Kitosan-Kaolin. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 5(4), 47–56.
- Nugroho, A.C.S., Nurhayati, N.D., dan Utami, B., 2011. Sintesis Dan Karakterisasi Membran Kitosan untuk Aplikasi Sensor Deteksi Logam Berat. *Molekul*, 6(2), 123–136. <https://doi.org/10.20884/1.jm.2011.6.2.100>.
- Ozay, H., dan Ozay, O., 2013. Rhodamine Based Reusable and Colorimetric Naked-Eyed Hydrogel Sensor For Fe(II) Ions. *Chemical Engineering Journal*, 232, 364–371. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.07.111>.
- Panggabean, A. S., dan Yusuf, B., 2015. Determination of Cr(VI) By Using Chitosan-1,5- Diphenyl Carbazide Resin Modified At The Preconcentration System With Column Method. *International Journal Pharma and Bio Sciences*, 6(3), 101–111.
- Pratiwi, N. A. dan Sunarto., 2018. Perbandingan Validasi Metode Analisis Ion Tembaga(II) Tanpa Pengompleks Dan Dengan Pengompleks Nadietilditiokarbamat Secara Spektrofotometri UV-Vis. *Jurnal Kimia Dasar*, 7(3), 96–105.
- Rahayu, P., dan Khabibi., 2016. Adsorpsi Ion Logam Nikel(II) oleh Kitosan Termodifikasi Tripolifosfat. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 19(1), 21–26. <https://doi.org/10.14710/jksa.19.1.21-26>.
- Redjeki, T., Nugroho, A. C. S., dan Sari, L. R., 2011. Membran Chitosan Modified Carboxymethyl (CS-MCM) Sebagai Adsorben Ion Cu(II). *Seminar Nasional VIII Pendidikan Biologi*. Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Samadi-Maybodi, A. dan Rezaei, V., 2014. A New Sol–Gel Optical Sensor with Nonporous Structure for Determination of Trace Zinc. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 199, 418–423. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2014.03.037>.
- Wen, T., Qu, F., Li, N. B., dan Luo, H. Q., 2017. A Facile, Sensitive, And Rapid Spectrophotometric Method for Copper (II) Ion Detection In Aqueous Media Using Polyethyleneimine. *Arabian Journal of Chemistry*, 10(1), S1680–S1685. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.06.013>.