

Sintesis Nanokomposit *Nata de Coco*/Grafena Oksida Sebagai Adsorben Ion Logam Timbal

Synthesis of *Nata de Coco*/Graphene Oxide Nanocomposites as Lead Metal Ion Adsorbent

Gideon Ricardo Imanuel Lantu^{1*}, Vanda Selvana Kamu² dan Henry Fonda Aritonang³

¹Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sam Ratulangi Manado

*vandakamu05@gmail.com

ABSTRACT

In this study, bacterial cellulose was synthesized using waste coconut water from Tetey, North Region, North Sulawesi and was inserted with graphene oxide using in-situ method. Mass variations of graphene oxide were inserted into bacterial cellulose with variations of 0.1 g, 0.2 g, and 0.3 g. The bacterial cellulose/graphene oxide nanocomposite was then used as an adsorbent for lead metal (Pb). The resulting nanocomposite was characterized using Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX), and X-Ray Diffraction (XRD). The results of these characterizations proved that bacterial cellulose/graphene oxide was formed. Adsorption test showed that nanocomposite of bacterial cellulose/graphene oxide could act as adsorbent. The results of the analysis showed that the the greater the mass of GO inserted into bacterial cellulose, the higher the Pb adsorption percentage.

Keywords: bacterial cellulose/graphene oxide, adsorption, lead metal (Pb).

ABSTRAK

Dalam penelitian ini telah dilakukan sintesis nanokomposit *nata de coco* dari air kelapa yang diambil dari Tetey, Minahasa Utara, Sulawesi Utara dan diinsersi dengan grafena oksida menggunakan metode in-situ. Variasi massa grafena oksida yang diinsersi ke dalam *nata de coco* dengan variasi 0,1 g, 0,2 g, dan 0,3 g. Nanokomposit *nata de coco*/GO digunakan sebagai adsorben logam timbal (Pb). Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX), X-Ray Diffraction (XRD), dan Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) digunakan sebagai instrumen karakterisasi nanokomposit. Hasil karakterisasi tersebut membuktikan bahwa nanokomposit *nata de coco*/grafena oksida telah terbentuk. Berdasarkan hasil analisis menggunakan Atomic Adsorption Spectroscopy (AAS) menunjukkan bahwa nanokomposit *nata de coco*/GO mampu bertindak sebagai adsorben. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai persentase adsorpsi semakin besar dengan bertambahnya massa GO yang diinsersi ke dalam *nata de coco*.

Kata kunci: *nata de coco*/grafena oksida, adsorpsi, logam timbal (Pb).

PENDAHULUAN

Perkembangan industrialisasi, urbanisasi, dan populasi telah menciptakan tekanan besar pada penggunaan air dan polusi secara drastis, yang meningkatkan permintaan air bersih. Kualitas air bersih akibat limbah industri dapat dianalisis berdasarkan parameter fisik seperti bau, suhu, kekeruhan, rasa, dan warna (Widiyanto dkk., 2015). Air limbah industri menciptakan masalah serius terhadap kesehatan manusia dan ekosistem air. Air limbah terutama pada industri kimia dapat mengeluarkan senyawa berbahaya yang bersifat racun (*toxic material*) serta logam yang bersifat racun (Gabryś dkk., 2022). Ada beberapa jenis industri yang banyak mengandung logam berat seperti metalurgi, pelapisan logam, cat dan pewarnaan, serta pertambangan (Said 2010). Kecemasan terhadap keberadaan logam berat dikarenakan oleh tingkat keracunannya yang sangat tinggi dalam seluruh aspek kehidupan makhluk hidup (Ratnawati dkk., 2010). Salah satu logam berat adalah timbal (Pb) yang dapat masuk ke dalam perairan sebagai limbah dan mengendap dalam sedimen (Budiastuti dkk., 2016). Dalam tubuh manusia, timbal dapat merusak organ tubuh dan mengakibatkan penyakit

kardiovaskular, kerusakan pada sistem saraf dan sistem kekebalan tubuh dan akan mengancam kehidupan perairan (Mensah dkk., 2019).

Berbagai metode pengelolaan terhadap kualitas air telah diterapkan untuk menjaga air dari pencemaran (Tony dkk., 2021). Metode tersebut antara lain, adsorpsi, filtrasi, degradasi kimia, dan pemisahan membran untuk menangani limbah pembuangan air industri (Fang dkk., 2016). Dari berbagai metode tersebut, adsorpsi sebagai metode yang paling sederhana, efektif, dan ekonomis (Song dkk., 2020).

Dalam hal ini peneliti menggunakan biopolimer *nata de coco* sebagai bahan dasar untuk pemurnian limbah dikarenakan memiliki keunikan sifatnya seperti kristalinitas tinggi, kekuatan mekanik tinggi, kapasitas menahan air yang baik dan biokompatibel (Shao dkk., 2015). Penggunaan *nata de coco* sebagai adsorben sebelumnya telah dilaporkan, namun kapasitas adsorpsinya masih terbilang rendah (Bano, 2021). Oleh karena itu, diperlukan modifikasi *nata de coco* untuk menambah kapasitas adsorpsinya. Banyak macam cara telah dilakukan untuk memaksimalkan manfaat komposit kombinasi *nata de coco* dengan material lain (Azarniya dkk., 2016). Penambahan nanomaterial karbon pada bagian *nata de coco* adalah fondasi dasar yang ideal untuk meningkatkan kekuatan sifat mekaniknya (Feng dkk., 2012).

BAHAN DAN METODE

Air kelapa diperoleh dari pasar tradisional, gula pasir, ammonium sulfat ((NH₄)₂SO₄) diperoleh dari E-Merck, asam asetat glasial, *A. xylinum*, natrium hidroksida (NaOH), kertas pH, etanol, grafit oksidasi, asam sulfat (H₂SO₄), kalium permanganat (KMnO₄), akuades, minyak, hidrogen peroksida (H₂O₂), asam klorida (HCl), timbal (Pb), grafena oksida.

Pembuatan Nata de Coco

Nata de coco dipreparasi mengikuti prosedur Radiman dkk. (2008). Sebanyak 5 L air kelapa tua disaring dengan kain kasa, dimasak hingga mendidih. Kemudian ditambahkan 500 g gula pasir, 25 g ammonium sulfat ((NH₄)₂SO₄) dan 30 mL asam asetat glasial, sambil diaduk. Sebanyak 300 mL larutan ini dituangkan ke dalam nampan plastik, ditutup dan dibiarkan hingga benar-benar dingin. Setelah dingin, *A. xylinum* ditambahkan sebanyak 10% volume media, yakni sekitar 30 mL bakteri untuk 300 mL larutan media kemudian dibiarkan 6 hari. Gel *nata de coco* yang dihasilkan dicuci dengan air panas selama 15 menit, direndam dalam 1 L NaOH 1% larutan selama 24 jam. Kemudian, gel *nata de coco* ini direndam lagi dengan 1 L larutan asam asetat glasial 1% selama 24 jam dan dicuci dengan akuades hingga pH netral. Selanjutnya, gel *nata de coco* disimpan dalam 1 L etanol 20% dan disimpan di dalam lemari es. Untuk membuat membran *nata de coco* yang tipis, digunakan alat pres dari batu timbangan. *Nata de coco* dipotong-potong dengan ukuran 2 cm x 2 cm dan dikurangi kadar airnya dengan cara dihimpitkan di antara 2 buah batu timbangan selama 15 menit untuk selanjutnya digunakan pada sintesis nanokomposit.

Sintesis Nanopartikel GO

Sintesis nanopartikel GO dilakukan menggunakan metode Mensah dkk (2019) yang dimodifikasi. Sebanyak 3,0 g grafit dioksidasi menggunakan 70 mL H₂SO₄ dan 9 g KMnO₄. Pencampuran dilakukan di dalam penangas es pada 600 rpm, kemudian ditambahkan 150 mL akuades diaduk selama 30 menit pada suhu 40°C di dalam penangas minyak. Kemudian ditambahkan 500 mL akuades dan 15 mL H₂O₂ diaduk selama 15 menit pada suhu 95°C. Kemudian hasil sintesis disaring dan dicuci dengan larutan HCl 1:10. Lalu dikeringkan hingga mendapatkan GO.

Selanjutnya sampel yang telah dikeringkan dilakukan karakterisasi dengan alat XRD untuk menentukan ukuran partikel dalam sampel serta SEM-EDX untuk mengidentifikasi bentuk morfologi permukaan sampel.

Sintesis Nanokomposit *Nata de Coco*/GO

Sintesis komposit *Nata de coco*-GO mengikuti prosedur Mensah dkk. (2019) yang dimodifikasi. Sebanyak 0.1 g GO dilarutkan dalam 100 mL akuades menggunakan stirer selama 1 jam. Setelah itu, 2cm x 2cm *nata de coco*-GO ditimbang, dipress selama 2 jam. Kemudian ditimbang

lalu dimasukkan ke dalam larutan 0.1 g GO untuk distirer selama 2 jam. Kemudian ditimbang untuk mengetahui berat hasil sintesis dan dipress selama 2 jam lalu dikering anginkan selama 7 hari. Untuk 0.2 dan 0.3 g GO dilakukan hal yang sama.

Pengujian Adsorpsi pada Logam Timbal

Sebagai konsentrasi awal larutan, untuk pengujian aktivitas adsorben dibuat larutan Pb dengan konsentrasi 8 ppm dalam labu 250 mL. 10 mL larutan Pb 8 ppm dicampurkan dengan 0,04 gram komposit *nata de coco* / 0,1 g GO, dihomogenkan dengan menggunakan *shaker* dengan kecepatan 150 rpm selama 2 jam, disaring, dan konsentrasi Pb tersisa dalam filtrat diukur konsentrasinya menggunakan instrumen AAS. Prosedur yang sama dikerjakan menggunakan komposit *nata de coco* / 0,2 g GO, komposit *nata de coco* / 0,3 g GO, GO, dan *nata de coco* (sebagai kontrol).

Hasil adsorpsi setiap variasi dihitung menggunakan rumus daya serap adsorben sebagai berikut:

$$\text{Perhitungan \% adsorpsi} = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100\%$$

dengan C_0 adalah konsentrasi awal dan C_t adalah konsentrasi akhir.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan *Nata de Coco*

Bakteri *A. xylinum* adalah mikroorganisme yang mensintesis *nata de coco* dalam media air kelapa. Pada proses ini, fungsi glukosa dan urea yang ditambahkan adalah sebagai sumber karbohidrat dan nitrogen yang dibutuhkan oleh bakteri. Suasana asam untuk pertumbuhan bakteri dicapai dengan penambahan asam asetat glasial. Proses ini dilakukan dalam kondisi steril untuk mencegah adanya kontaminasi dan terbentuknya bakteri lain (Ibrahim, 2020).

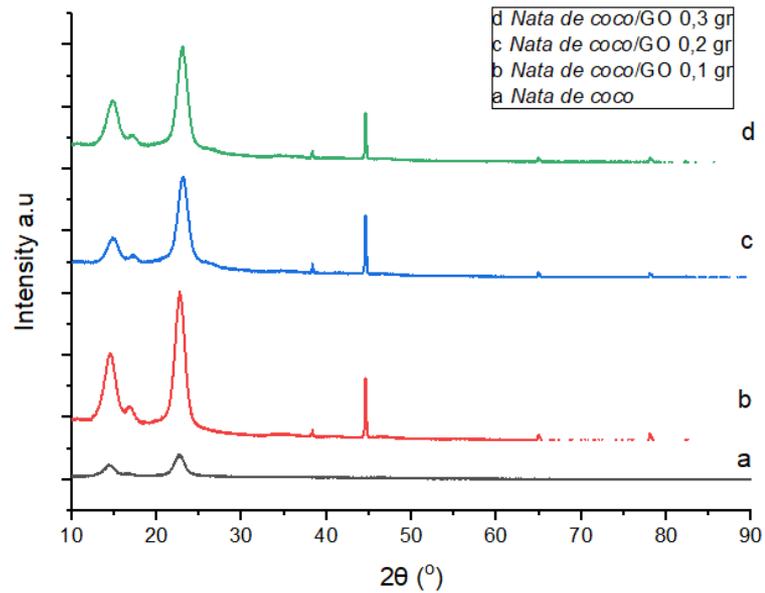
A. xylinum dapat menghasilkan lapisan selulosa yang tebal pada permukaan cairan media. Sintesis selulosa ini mirip dengan sintesis pati dari glukosa. Sukrosa dalam air kelapa dikonversi oleh bakteri *A. xylinum* menjadi glukosa dan fruktosa dengan adanya enzim sukrase. Gel *nata de coco* yang dihasilkan kemudian dicuci dengan air panas untuk menghilangkan bakteri pada lapisan gel. Perendaman dalam larutan NaOH selama 24 jam akan menciptakan suasana basa dan memastikan bahwa tidak ada lagi bakteri *A. xylinum*. Selanjutnya perendaman dalam larutan asam asetat glasial selama 24 jam berfungsi untuk menurunkan pH, kemudian pencucian dengan akuades bertujuan untuk menetralkan pH *nata de coco*. Untuk menurunkan kadar air, *nata de coco* dipotong dengan ukuran 2 cm x 2 cm dan dijepit selama 15 menit dengan pemberat.

Sintesis Nanopartikel GO

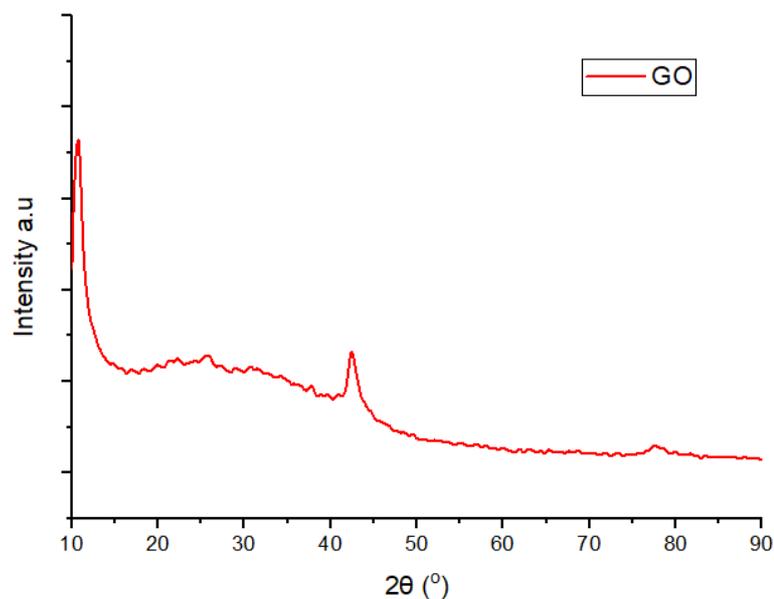
GO adalah zat yang terdiri atas karbon, hidrogen, dan oksigen yang diperoleh melalui proses oksidasi grafit. Zat ini tidak diperoleh dari alam dan harus disintesis dari grafit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk setiap 3 g grafit, rata-rata dihasilkan GO sebanyak 1,5002 g. Preparasi GO dilakukan dengan mereaksikan bubuk grafit halus dan KMnO_4 ke dalam larutan H_2SO_4 pekat (96%) pada suhu rendah tidak lebih dari 20 °C. Kondisi suhu rendah akan menghasilkan reaksi oksidasi yang lebih baik dan mencegah kemungkinan pembentukan senyawa karboksil yang dapat menimbulkan ledakan. Grafit terdiri atas lapisan lembaran-lembaran grafena dan memiliki struktur ikatan yang kuat. Larutan grafena dapat didispersi dengan pengadukan mekanis menggunakan magnetik stirrer atau dengan sonikasi. Sonikasi akan menghasilkan dispersi yang lebih baik dari proses mekanik, namun dalam penelitian ini hanya dilakukan proses secara mekanik. Pada akhir proses sintesis GO, dilakukan penambahan H_2O_2 sebagai zat pengoksidasi dan berperan penting untuk membantu pemutusan ikatan menjadi satu lapisan atom, serta berperan dalam mereduksi residu permanganat (Yoo & Park, 2019).

Analisis Hasil Pengujian XRD

Analisis XRD dilakukan untuk mengetahui telah terbentuknya partikel-partikel GO di dalam membran *nata de coco*. Pada difraktogram akan muncul pola difraksi dengan adanya puncak-puncak pada daerah 2 θ yang karakteristik dengan partikel tersebut seperti pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Gambar 1. Difraktogram *nata de coco*/GO

Sampel nanokomposit *nata de coco*/GO dengan variasi jumlah GO 0,1 g, 0,2 g, dan 0,3 g memiliki 4 puncak yang relatif sama pada daerah 2θ , masing-masing $14,64^\circ$; $16,87^\circ$; $22,73^\circ$; dan $44,55^\circ$ (Gambar 1b, 1c, dan 1d). Tiga puncak pertama merupakan puncak khas dari *nata de coco* dan satu puncak terakhir merupakan puncak khas dari GO (Bunaciu dkk., 2015). Puncak khas *nata de coco* ini dikonfirmasi dengan difraktogram *nata de coco* murni (Gambar 1a) yang memiliki 2 puncak utama yaitu pada $14,44^\circ$ dan $22,66^\circ$. Sementara itu, puncak GO pada nanokomposit juga didukung dengan puncak difraksi pada difraktogram GO murni (Gambar 2). Selanjutnya, data FWHM (*Full Width Half Maximum*) dari hasil karakterisasi XRD dapat digunakan untuk memprediksi ukuran kristalit menggunakan Persamaan Scherrer. Ukuran kristalit yang dihitung menggunakan Persamaan Scherrer ditampilkan pada Tabel 1.



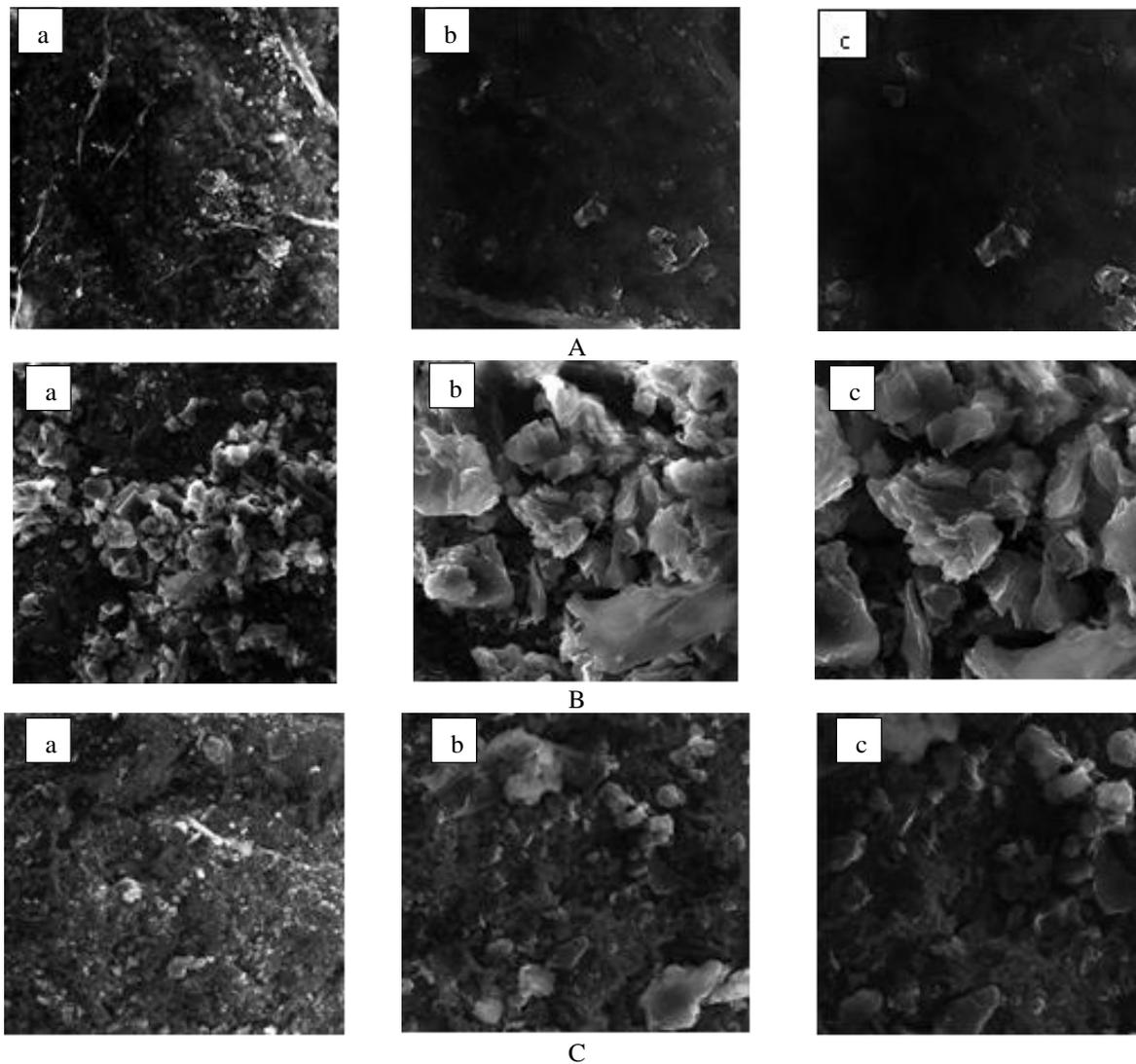
Gambar 2. Difraktogram GO

Tabel 1. Ukuran Kristalit Nanokomposit *Nata de Coco*/GO

Sampel	Ukuran kristalit (nm)
<i>Nata de coco</i>	3,31
GO	2,20
<i>Nata de coco</i> /GO 0,1 g	4,23
<i>Nata de coco</i> /GO 0,2 g	3,35
<i>Nata de coco</i> /GO 0,3 g	3,99

Hasil Analisis SEM

Analisis SEM dilakukan untuk mengamati morfologi dan penyebaran GO pada membran nata de coco hasil sintesis. Gambar 3 menunjukkan morfologi permukaan dari nanokomposit *nata de coco*/GO dengan masing-masing perbesaran 1000x, 3000x, dan 5000x.



Gambar 3. Gambar SEM dari (A); *nata de coco*/GO 0,1 g; a. 1000x, b. 3000x, c. 5000x; (B); *nata de coco*/GO 0,2 g; a. 1000x, b. 3000x, c. 5000x; (C); *nata de coco*/GO 0,3 g; a. 1000x, b. 3000x, c. 5000x

Gambar 3 menunjukkan bahwa semua morfologi nanokomposit berwarna hitam yang disebabkan terdosisnya GO di dalam membran *nata de coco* karena GO itu sendiri berwarna hitam. Informasi ini menunjukkan bahwa GO bukan saja terdosis pada permukaan membran *nata de coco* namun juga masuk ke dalam serat-serat *nata de coco* (Abd Mutalib dkk., 2017).

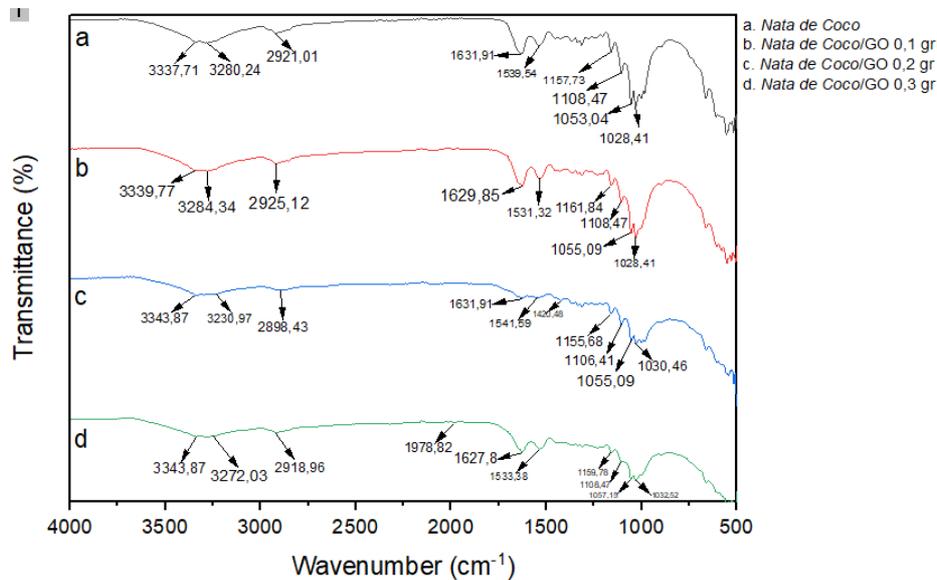
Adapun kandungan unsur yang terdapat pada nanokomposit *nata de coco*/GO dapat diketahui dari hasil karakterisasi dengan EDX, seperti yang tersaji pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan Unsur pada *Nata de Coco*/GO

Unsur	<i>Nata de coco</i> /GO	<i>Nata de coco</i> /GO	<i>Nata de coco</i> /GO
	0,1 g (%)	0,2 g (%)	0,3 g (%)
C	44,99	48,77	44,89
O	54,01	51,23	50,11
Jumlah	100	100	100

Analisis Hasil FT-IR

Analisis FT-IR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada nanokomposit *nata de coco*/GO. Adapun hasil karakterisasi FT-IR nanokomposit tersaji pada Gambar 4.

Gambar 4. Profil Spektra FT-IR nanokomposit *Nata de Coco*/GO

Gambar di atas menunjukkan bahwa *nata de coco* murni (Gambar 4a) memiliki puncak sebesar $3337,71 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan ikatan hidrogen. Demikian pula, puncak tajam sebesar $3339,77 \text{ cm}^{-1}$, $3343,87 \text{ cm}^{-1}$ dan $3343,87 \text{ cm}^{-1}$ masing-masing untuk *nata de coco*/GO 0,1 g (Gambar 4b), 0,2 g (Gambar 4c) dan 0,3 g (Gambar 4d) semuanya merupakan representasi dari (peregangan O-H) ikatan hidrogen (Urbina *et al.*, 2020).

Puncak adsorpsi pada $2921,01 \text{ cm}^{-1}$, $2925,12 \text{ cm}^{-1}$, $2898,43 \text{ cm}^{-1}$ dan $2918,96 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan peregangan CH_2 pada sampel *nata de coco* dan semua nanokomposit *nata de coco*/GO. Vibrasi regangan C-H yang terdeteksi membuktikan adanya gugus alkil pada material nanokomposit (Mensah dkk., 2019). Bilangan gelombang $1629,85 \text{ cm}^{-1}$, $1631,91 \text{ cm}^{-1}$, dan $1627,8 \text{ cm}^{-1}$ pada semua nanokomposit *nata de coco*/GO menunjukkan regangan C=O karbonil, yang menunjukkan bahwa GO telah terbentuk. Sementara itu *nata de coco* juga menunjukkan regangan C=O karbonil pada $1631,91 \text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas puncak yang relatif lebih tinggi dibanding nanokomposit. Pada $1531,32 \text{ cm}^{-1}$, $1541,59 \text{ cm}^{-1}$ dan $1533,38 \text{ cm}^{-1}$ adalah regangan $\text{C}=\text{C}$ yang merupakan sisa grafit (Urbina *et al.*, 2020). Pada daerah bilangan $1157,56 \text{ cm}^{-1}$ – $1052,54 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan C-O-C dari jembatan glikosida (Urbina *et al.*, 2020) dan didukung oleh data nanokomposit/GO, yaitu pada $1157,73 \text{ cm}^{-1}$, $1113,74 \text{ cm}^{-1}$, $1155,68 \text{ cm}^{-1}$ dan $1159,78 \text{ cm}^{-1}$, masing-masing untuk *nata de coco*, *nata de coco*/GO 0,1 g, 0,2 g, dan 0,3 g. Pada puncak *nata de coco* murni $1053,04 \text{ cm}^{-1}$, $1028,41 \text{ cm}^{-1}$, puncak *nata de coco*/GO 0,1 gr $1055,09 \text{ cm}^{-1}$, $1028,41 \text{ cm}^{-1}$, puncak *nata de coco*/GO 0,2 g $1055,09 \text{ cm}^{-1}$, $1030,46 \text{ cm}^{-1}$, dan puncak *nata de coco*/GO 0,2 g $1057,15 \text{ cm}^{-1}$, $1032,52 \text{ cm}^{-1}$ dikonfirmasi keberadaan gugus hidroksil, gugus alkil, dan gugus karboksilat menunjukkan bahwa bahan yang disiapkan memiliki kapasitas tinggi untuk meningkatkan adsorpsi ion logam (Mensah dkk., 2019).

Pengujian Adsorpsi Terhadap Logam Timbal

Hasil pengujian adsorpsi nanokomposit *nata de coco*/GO sebagai adsorben menggunakan analit ion logam timbal (Pb) tersaji pada Tabel 3.

Tabel 3. Persentase Adsorpsi Terhadap Ion Logam Timbal (Pb)

No	Sampel	Konsentrasi (ppm)		Konsentrasi rata-rata (ppm)	% Adsorpsi
		1	2		
1	Larutan Awal	8,4857	8,4630	8,47435	00,00%
2	Kontrol	8,6045	8,5818	8,39315	0,95%
3	GO	2,4909	2,5339	2,51258	70%
4	NDC/GO 0,1 g	3,8618	3,6590	3,76040	55,63
5	NDC/GO 0,2 g	0,9500	0,1591	0,55455	93,46%
6	NDC/GO 0,3 g	0,0073	0,9979	0,50260	94,07%

Tabel 3 menunjukkan semakin banyak massa GO pada *nata de coco* yang ditambahkan maka semakin banyak ion Pb dijerap oleh adsorben nanokomposit *nata de coco*/GO (Ccorahua dkk., 2017). Ini juga memberikan pengaruh pada semakin tingginya % adsorpsi. Tingginya % adsorpsi menunjukkan banyaknya konsentrasi analit Pb yang dijerap (yang teradsorpsi) oleh adsorben.

KESIMPULAN

Nanokomposit *nata de coco*/GO dapat disintesis melalui proses perendaman larutan GO di dalam *nata de coco* yang dibantu dengan proses pengadukan stirrer. Ukuran kristalit nanokomposit adalah 4,23 nm, 4,35 nm, dan 3,99 nm, masing-masing untuk *nata de coco*/GO 0,1 g, *nata de coco*/GO 0,2 g, *nata de coco*/GO 0,3 g. Nanokomposit *nata de coco*/GO dapat bertindak sebagai adsorben dalam menjerap analit Pb. Semakin tinggi massa GO yang terdispersi pada *nata de coco*, semakin besar dalam menjerap logam.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd Mutalib, M., Rahman, M. A., Othman, M. H. D., Ismail, A. F., & Jaafar, J. 2017. Scanning electron microscopy (SEM) and energy-dispersive X-ray (EDX) spectroscopy. In Membrane characterization. *Elsevier*, 1(22), 161-179.
- Azarniya, A., Eslahi, N., Mahmoudi, N., & Simchi, A. 2016. Effect of graphene oxide nanosheets on the physico-mechanical properties of chitosan/bacterial cellulose nanofibrous composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 85(2), 113-122.
- Bano, V. O. 2021. Potensi Pengembangan Air Buah Kelapa Menjadi Nata de coco Di Kabupaten Sumba Timur. *Jurnal Borneo Saintek*, 4(2), 78-83.
- Budiastuti, P., Rahadjo, M., & Dewanti, N. A. Y. 2016. Analisis pencemaran logam berat timbal di badan Sungai Babon Kecamatan Genuk Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (Undip)*, 4(5), 119-118.
- Bunaciu, A. A., UdriŞtioiu, E. G., & Aboul-Enein, H. Y. 2015. X-ray diffraction: instrumentation and applications. *Critical reviews in analytical chemistry*, 45(4), 289-299.
- Ccorahua, R., Troncoso, O. P., Rodriguez, S., Lopez, D., & Torres, F. G. 2017. Hydrazine treatment improves conductivity of bacterial cellulose/graphene nanocomposites obtained by a novel processing method. *Carbohydrate polymers*, 171(2), 68-76.
- Fang, Q., Zhou, X., Deng, W., Zheng, Z., & Liu, Z. 2016. Freestanding bacterial cellulose-graphene oxide composite membranes with high mechanical strength for selective ion permeation. *Scientific reports*, 6(1), 33-185.

- Feng, Y., Zhang, X., Shen, Y., Yoshino, K., & Feng, W. 2012. A mechanically strong, flexible and conductive film based on bacterial cellulose/graphene nanocomposite. *Carbohydrate Polymers*, 87(1), 644-649.
- Gabryś, T., Fryczkowska, B., Fabia, J., & Biniś, D. 2022. Preparation of an active dressing by in situ biosynthesis of a bacterial cellulose–graphene oxide composite. *Polymers*, 14(14), 28-64.
- Ibrahim, S. 2020. Potensi air kelapa muda dalam meningkatkan kadar kalium. *Indonesian Journal of Nursing and Health Sciences*, 1(1), 9-14.
- Mensah, A., Lv, P., Narh, C., Huang, J., Wang, D., & Wei, Q. 2019. Sequestration of Pb (II) ions from aqueous systems with novel green bacterial cellulose graphene oxide composite. *Materials*, 12(2), 218-241.
- Ratnawati, E., Ermawati, R., & Naimah, S. 2010. Teknologi biosorpsi oleh mikroorganisme, solusi alternatif untuk mengurangi pencemaran logam berat. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 32(1), 34-40.
- Said, N. I. 2010. Metoda penghilangan logam berat (As, Cd, Cr, Ag, Cu, Pb, Ni dan Zn) di dalam air limbah industri. *Jurnal Air Indonesia*, 6(2), 1-9.
- Shao, W., Liu, H., Liu, X., Wang, S., & Zhang, R. 2015. Anti-bacterial performances and biocompatibility of bacterial cellulose/graphene oxide composites. *Rsc Advances*, 5(7), 4795-4803.
- Song, S., Liu, Z., Zhang, J., Jiao, C., Ding, L., & Yang, S. 2020. Synthesis and adsorption properties of novel bacterial cellulose/graphene oxide/attapulgitite materials for Cu and Pb Ions in aqueous solutions. *Materials*, 13(17), 3703-3721.
- Tony, C. P., Ernawati, R., & Nursanto, E. 2021. Dampak Pencemaran Logam Berat Terhadap Kualitas Air dan Strategi Untuk Mengurangi Kandungan Logam Berat. *Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan (SEMATAN)*, 3(1), 215-220.
- Urbina, L., Eceiza, A., Gabilondo, N., Corcuera, M. Á., & Retegi, A. 2020. Tailoring the in situ conformation of bacterial cellulose-graphene oxide spherical nanocarriers. *International Journal of Biological Macromolecules*, 163(1), 1249-1260.
- Widiyanto, A. F., Yuniarno, S., & Kuswanto, K. 2015. Polusi air tanah akibat limbah industri dan limbah rumah tangga. *KEMAS: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 10(2), 246-254
- Yoo, M. J., & Park, H. B. 2019. Effect of hydrogen peroxide on properties of graphene oxide in Hummers method. *Carbon*, 141(1), 515-522.