Gunung Djati Conference Series, Volume 58, Halaman 12-23
Seminar Nasional Nasional Kimia Tahun 2025
ISSN: 2774-6585

SINTESIS DAN KARAKTERISASI KARBON AKTIF DARI KULIT DURIAN (*Durio zibethinus* Murr.) TERMODIFIKASI KITOSAN-ALGINAT SEBAGAI ADSORBEN ION LOGAM TIMBAL(II)

SUSI ANNISAH[1], VINA AMALIA[1*], DAN YUSUF ROHMATULLOH[1]

[1]Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung, Jalan A.H Nasution No. 105, Cipadung, Cibiru, Kota Bandung, Jawa Barat 40614, Indonesia

*alamat email korespondensi: vinaamalia@uinsgd.ac.id

Informasi Artikel

Kata Kunci: adsorpsi; karbon aktif; kitosan-alginat; kulit durian; logam timbal.

Abstrak/*Abstract*

Karbon aktif kulit durian merupakan bahan yang memiliki kemampuan dalam menyerap berbagai senyawa dan dikenal sebagai material adsorben yang efektif. Namun, untuk meningkatkan efektifitas dan kapasitas adsorpsi terhadap ion logam berat seperti timbal, diperlukan modifikasi karbon aktif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan adsorpsi karbon aktif termodifikasi kitosan-alginat terhadap ion logam timbal serta menentukan kapasitas dan efisiensi adsorpsinya. Proses sintesis dimulai dengan aktivasi karbon aktif dari limbah kulit durian menggunakan H_3PO_4. Setelah itu, dilakukan modifikasi dengan pembentukan *beads* melalui pencampuran hidrogel kitosan dengan $CaCl_2$ dan hidrogel alginat dengan karbon aktif. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan adanya pergeseran dan penambahan gugus fungsi spesifik pada karbon aktif teraktivasi dan termodifikasi, seperti munculnya regangan asimetris gugus karboksilat (COO^-) dari alginat pada 1425,05 cm^{-1} dan bilangan gelombang 1167 cm^{-1} yang mengidentifikasi gugus fungsi C-N yang dihasilkan dari kitosan yang mengindikasikan keberhasilan modifikasi permukaan. Uji adsorpsi menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi tertinggi karbon aktif termodifikasi sebesar 62,1905 mg/g dicapai pada variasi massa 0,02 g. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa adsorben karbon aktif kulit durian termodifikasi kitosan-alginat lebih sesuai dengan model isoterm *Freundlich* yang menandakan bahwa adsorpsi bersifat heterogen.

Keywords: adsorption; activated carbon; chitosan-alginate; durian peel; lead metal.

Activated carbon from durian peell is a material with the ability to absorb various compounds and is known as an effective adsorbent. However, to enhance the effectiveness and adsorption capacity for heavy metal ions such as lead, modification of activated carbon is required. This study aims to analyze the adsorption capability of chitosan-alginate modified activated carbon against lead metal ions and to determine its adsorption capacity and efficiency. The synthesis process began with the activation of activated carbon from durian shell waste using H_3PO_4. After that, modification was performed by forming beads through the mixing of chitosan hydrogel with $CaCl_2$ and alginate hydrogel with activated carbon. FTIR characterization results showed a shift and addition of specific functional groups in activated and modified activated carbon, such as the emergence of asymmetric stretching of the carboxylate group (COO-) from alginate at 1425.05 cm^{-1} and a wave number of 1167 cm^{-1} which identified the C-N functional group produced from chitosan which indicated the success of surface modification.Adsorption tests indicated that the highest adsorption capacity of the modified activated carbon was 62.1905 mg/g obtained at a mass of 0.02 g. The results also showed that the chitosan-alginate modified activated carbon adsorbent is more consistent with the Freundlich isotherm model, indicating that the adsorption is heterogeneous.

PENDAHULUAN

Perkembangan dan kemajuan teknologi mempengaruhi terjadinya peningkatkan aktivitas manusia yang menyebabkan kadar buangan/ limbah juga ikut meningkat. Limbah merupakan hasil buangan yang tidak memiliki nilai ekonomi tetapi dapat merugikan lingkungan. Limbah dapat dihasilkan dari industri, laboratorium, ataupun penelitian. Keberadaan logam berat di dalam limbah dapat membahayakan bagi organisme [1]. Salah satu logam berat yang daat menimbulkan efek tidak baik yaitu timbal. Timbal adalah logam berat yang sangat toksik dan sering ditemukan

dalam limbah industri, seperti dari baterai, cat, dan proses peleburan logam [2]. Terdapat alternatif jika ingin menurunkan konsentrasi ion logam dalam limbah seperti pengendapan, metode kolom dengan resin, dan adsorpsi [3].

Adsorpsi merupakan proses zat yang dikumpulkan pada padatan yang bersifat adsorben (menyerap). Dalam proses ini diperlukan dua komponen utama, yaitu adsorben (media penyerap) dan absorbat (zat terserap yang akan dipisahkan) [3]. Adsorben yang sering digunakan pada proses adsorpsi menggunakan karbon aktif. Karbon aktif dapat dihasilkan dari pemanfaatan limbah biomassa berupa kulit durian dengan proses karbonisasi. Kandungan yang dimiliki kulit durian secara proporsional memiliki kandungan unsur selulosa yang tinggi (50-60%), lignin (5%) dan pati (5%) logam [4]. Pengubahan limbah pertanian menjadi karbon aktif memerlukan tahapan dehidrasi, karbonisasi, dan aktivasi [3]. Proses aktivasi ini bertujuan untuk mendapatkan luas permukaan karbon aktif yang lebih besar [5]. Proses aktivasi kimia seperti penelitian yang dilakukan Yulizar, dkk (2024), menunjukan kapasitas adsorpsi karbon aktif ampas kelapa dengan aktivator H_3PO_4 3N sebesar 0,22 mg/g [35]. Selain itu, karbon aktif dapat dimodifikasikan dengan kitosan dan alginat untuk menambah daya adsorpsi. Kitosan merupakan biopolimer alami terbesar kedua dari selulosa, dengan proses reaksi kimia atau reaksi enzimatis. Kitosan juga dapat memberikan manfaat mengisolasi [6].

Alginat berperan sebagai biopolimer dengan gugus karboksil yang berfungsi sebagai situs aktif dalam mengadsorpsi. Kitosan bersifat polikationik dan alginat bersifat polianionik, perpaduan dua jenis biopolimer dengan muatan yang berbeda disebut dengan istilah PEC (Polyelectrolyte Complex) [7] [8]. Penggunaan agen pengikat silang berupa $CaCl_2$ pada hidrogel menghasilkan matriks polimer yang lebih terorganisir dengan distribusi pori yang sama. Struktur ini meningkatkan untuk adsorpsi anionik, seperti anion antrakuinon, melalui interaksi elektrostatik dengan kation divalen Ca^{2+} [7].

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik morfologi dan gugus fungsi karbon aktif limbah kulit durian serta menentukan kapasitas adsorpsi ion logam timbal(II) yang disesuaikan dengan model isoterm adsorpsi untuk karbon aktif limbah kulit durian termodifikasi kitosan-alginat.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dalam menyelesaikan permasalahan mengenai lingkungan terutama pada pencemaran perairan yang disebabkan oleh limbah. Membantu dalam penanganan alternatif dengan memanfaatkan kulit durian dalam adsorpsi ion logam timbal(II) serta memberikan ilmu pengetahuan baru terhadap kemajuan modifikasi adsorben karbon aktif.

EKSPERIMEN

Pada penelitian ini dilakukan sintesis dan karakterisasi dengan lima tahapan yaitu sintesis karbon aktif kulit durian, aktivasi karbon aktif dengan H_3PO_4 15%, modifikasi karbon aktif menggunakan biopolimer kitosan-alginat, karakterisasi karbon aktif sebelum dan sesudah untuk mengidentifikasi morfologi dan gugus fungsi serta aplikasi karbon aktif dengan variasi massa, variasi konsentrasi, dan variasi waktu kontak.

Material

Limbah kulit durian, kitosan komersil (Sigma Aldrich) dengan derajat deasetilasi 88%, natrium alginat (Sigma Aldrich), larutan induk $Pb(NO_3)_2$ 1000 ppm, NaOH (p.a), H_3PO_4 85% p.a, HNO_3, CH_3COOH 98% (Teknis), $CaCl_2$, kertas saring, aqua DM.

Instrumentasi

Instrumentasi yang digunakan berupa *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) (Agilent Technologies 200 series AA, 240FS-AA) untuk penentuan konsentrasi ion logam timbal. instrumentasi *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) (Bruker Alpha) untuk mengetahui gugus fungsi karbon aktif pada permukaan karbon aktif sebelum dan sesudah modifikasi dan karakterisasi menggunakan instrumentasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) (JEOL JSM-6560) untuk melihat morfologi permukaan dari karbon aktif sebelum dan sesudah dimodifikasi.

Prosedur

Penelitian dilakukan melalui lima tahapan, tahap pertama sintesis karbon dari kulit durian. Tahap kedua proses aktivasi kimia karbon aktif. Tahap ketiga modifikasi karbon aktif dengan perpaduan kitosan-alginat. Tahapan keempat karakterisasi dan tahapan kelima yaitu pengaplikasian karbon aktif.

Sintesis Karbon aktif

Kulit durian disintesis melalui proses pencucian, pemotongan dan pengeringan menggunakan cahaya matahari dengan 48jam penjemuran dan oven pada suhu 110 ℃. Setelah itu, dilakukan proses karbonisasi menggunakan *furnace* dengan suhu 330 ℃. Kemudian dihancurkan dan dihaluskan menggunakan ayakan 100 mesh. Rendemen karbon aktif diperoleh dengan persamaan:

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{bobot sampel akhir (g)}}{\text{bobot sampel awal (g)}} \times 100\%$$

Aktivasi Karbon Aktif

Karbon aktif yang telah disintesis dilakukan tahapan aktivasi dengan merendam karbon pada larutan H_3PO_4 15% selama 24 jam dengan rasio (1:5) (b/v). Karbon yang telah diaktivasi kemudian dicuci menggunakan aquades hingga pH karbon aktif menjadi netral dan kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 110 ℃ selama 2 jam.

Modifikasi Karbon Aktif

Karbon aktif yang telah diaktivasi dilakukan tahapan modifikasi dengan pencampuran kitosan-alginat. Modifikasi yang digunakan oleh Hermanto, *et al.* (2024) sebanyak 3 g kitosan dilarutkan pada 30 mL aqua DM dan 15mL larutan CH_3COOH 2% diaduk secara terus menerus pada suhu kamar selama 4 jam hingga terbentuk gel kitosan kemudian dibiarkan semalam. Setelah didiamkan semalam, gel kitosan dicampurkan dengan larutan $CaCl_2$ 0,5M. Pembuatan hidrosol alginat, 3 g alginat dilarutkan dengan 45 mL aqua DM dalam wadah terpisah, lalu dicampurkan hingga seperti gel yang mengental dan didiamkan semalam. Keesokan harinya, aduk hidrosol alginat setelah menambahkan 3 g karbon aktif teraktivasi sambil diaduk hingga homogen. Hidrosol alginat diteteskan secara perlahan ke dalam hidrosol kitosan yang telah homogen dengan *syringe* dan hingga membentuk *beads* yang dibantu pengadukan oleh *magnetic stirrer*. *Beads* dibuat dengan menyuntikkan 5 mL hidrosol alginat ke dalam hidrosol kitosan sambil diaduk menggunakan *syringe*. *Beads* karbon aktif dilakukan pencucian dengan aquaDM hingga pH netral lalu dikeringkan dengan oven pada suhu 60℃ selama 4 jam. Setelah itu, karbon aktif-kitosan-alginat didinginkan dengan di dalam desikator, kemudian di haluskan dengan lumpang dan alu kemudian di sarung menggunakan ayakan 100 mesh.

Karakterisasi Karbon aktif

Kulit durian yang telah dimodifikasi dilakukan tahapan karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy (*SEM) untuk melihat morfologi pori pada permukaannya. Selanjutnya, untuk mengetahui perkembangan gugus fungsi yang ada pada karbon aktif sebelum dan sesudah modifikasi maka dilakukan karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) yang datanya diolah menggunakan aplikasi OriginPro.

Aplikasi Karbon aktif

Variasi Massa

Limbah sintesik ion logam timbal(II) dengan konsentrasi 100 mg/L kemudian diambil menjadi 25 mL dan pH larutan ion logam awal. Ditambahkan adsorben sebanyak 0,02; 0,04; 0,06; 0,08; dan 0,1 g pada setiap larutan. Proses adsorpsi berlangsung selama 60 menit dan kecepatan pengadukan 200 rpm. Kemudian larutan dipisahkan dengan kertas saring. Filtrat yang telah disaring kemudian dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spechtrophotometry* (AAS) untuk mengetahui konsentrasi kadar ion logam timbal(II) setelah proses adsorpsi.

Variasi Konsentrasi

Limbah sintesik ion logam timbal(II) dengan variasi konsentrasi yang dibuat dengan mengencerkan larutan baku $Pb(NO_3)_2$ 1000 mg/L menjadi variasi konsentrasi 50; 75; 100; 125; dan 150 mg/L masing- masing 25 mL pada pH larutan ion logam awal. Berat yang digunakan dengan kondisi serbuk massa adsorben 0,1 g. Setelah itu, diaduk dengan *shaker* dengan kecepatan 200 rpm selama 60 menit. Selanjutnya larutan dipisahkan dengan kertas saring. Filtrat yang telah disaring kemudian dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spechtrophotometry* (AAS) untuk mengetahui kadar ion logam tembaga setelah proses adsorpsi. Hasil konsentrasi kemudian diolah menggunakan model isoterm adsorpsi Langmuir, Freundlich, dan Temkin untuk menentukan kapasitas dan efisiensi adsorpsi pada logam timbal. Untuk menentukan model isoterm menggunakan persamaan :

Kapasitas Adsorpsi

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e) \times V}{m}$$

Keterangan

Q_e = kapasitas adsorpsi (mg/ g)
C_o = konsentrasi awal (mg/ L)
C_e = konsentrasi akhir (mg/ L)
V = volume larutan (L)
m = massa (gram)

Isoterm Langmuir dapat diolah dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{Q_m} C_e + \frac{1}{Q_m \times K_L}$$

Isoterm *Freundlich* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\log Q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e$$

Isoterm Temkin dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_e = B_T \ln A_T + B_T \ln C_e$$

Variasi Konsentrasi

Limbah sintesik ion logam timbal(II) dengan konsentrasi 125 mg/L, kemudian diambil menjadi 25 mL dan pH larutan ion logam awal. Berat yang digunakan dengan kondisi serbuk massa adsorben 0,1 g. Setelah itu, digunakan variasi waktu adsorpsi yaitu 60; 75; 90; 105; dan 120 menit sambil diaduk dengan *shaker* dengan kecepatan 200 rpm. Kemudian larutan dipisahkan dengan kertas saring. Filtrat yang telah disaring kemudian dianalisis menggunakan menggunakan *Atomic Absorption Spechtrophotometry* (AAS) untuk mengetahui konsentrasi kadar ion logam timbal (II) setelah proses adsorpsi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Karbon Aktif

Pada tahapan ini, kulit durian yang telah bersih dikeringkan dalam oven pada suhu 110 ℃ yang bertujuan untuk menghilangkan kadar air pada kulit durian. Pada suhu 110 ℃ efektif dalam penghilangan kadar air karena mampu menguapkan air tanpa merusak struktur [9]. Proses selanjutnya yaitu karbonisasi, dengan pemanasan menggunakan *furnace* pada suhu 330 ℃ selama 2 jam, lalu didinginkan. Tujuan dari karbonisasi ini adalah untuk mengubah komponen organik kulit durian menjadi karbon, yang ditunjukkan oleh pembentukan ikatan karbon dan warna hitam pada adsorben yang dihasilkan [10]. Pemilihan suhu karbonisasi melalui beberapa tahapan, pada suhu 100 ℃ - 120 ℃ untuk penguapan air, kemudian penguapan selulosa akan terjadi >270 ℃. Pada suhu 270 ℃ - 310 ℃ akan berlangsung reaksi eksotermik dengan terurainya selulosa menjadi pirolignat, dan menghasilkan gas kayu (CO dan CO_2) dan sedikit tar [11].

Setelah tahapan karbonisasi selanjutnya dilakukan pengayakan dengan ayakan 100 mesh, pemilihan pengayakan sampel ukuran 100 mesh untuk didapatkan pori permukaan yang lebih besar dan menghasilkan daya serapan yang baik [12].

Secara umum, mekanisme dekomposisi selulosa melalui 4 tahapan berdasarkan rentang suhunya. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Tang dan Bacon (1964), pada tahap 1 dengan suhu 25-150 ℃ merupakan tahapan penguapan air. Pada tahap 2 dengan rentang suhu 150-240 ℃ terjadi dehidrasi dari selulosa yaitu terjadinya ikatan silang antar molekul gula dalam menggantikan ikatan hidrogen. Pada tahap 3

dengan rentang suhu 240-400 ℃ ialah tahap degradasi termal, pada tahapan ini terjadi pemutusan ikatan C-O dan C-C pada selulosa. Pada tahap ini akan terbentuk tar dan produk gas seperti H_2O, CO, dan CO_2. Tahapan keempat ialah pembentukan karbon murni [13]**.** Rendemen yang dihasilkan dari penelitian ini sebesar 35,217% dari massa berat awal hasil rendemen.

Aktivasi Karbon Aktif

Tahapan selanjutnya yaitu proses aktivasi kimia dengan melakukan perendaman menggunakan larutan asam kuat berupa asam fosfat. Pemilihan aktivator menggunakan asam kuat berupa asam fosfat 15% yaitu sifat yang dimiliki tidak mencemari lingkungan dan juga memiliki potensi yang baik dalam karbon aktif untuk material lignoselulosa seperti pada bahan kayu, kulit buah dan limbah pertanian [14]. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Rieke (2018), kualitas dan rendemen karbon aktif menggunakan asam fosfat lebih tinggi dibandingkan dengan HCl atau aktivator basa. Tahap perendaman H_3PO_4 15% selama 24 jam merupakan agen pengaktivator yang bersifat dehidrasi dan menghasilkan gugus fungsi yang dapat meningkatkan proses adsorpsi [15].

Pada tahap ini, asam fosfat akan bereaksi dengan gugus fungsional seperti hidroksil (-OH) pada permukaan karbon, membantu membuka pori-pori karbon [16] [17]. Hal ini ditandai dengan timbulnya gugus berupa =C-H pada karbon aktif yang teraktivasi H_3PO_4, keberadaan =C-H ditunjukkan pada hasil karakterisasi yang terdapat dalam **Tabel 1.** Mekanisme aktivasi karbon dengan H_3PO_4 ditunjukkan pada **Gambar 1.** Pengaktivasi H_3PO_4 akan bereaksi membentuk gugus baru, seperti ester fosfat. Setelah proses perendaman aktivasi selesai, karbon aktif disaring dan dinetralkan dengan aquades hingga pH netral.

Gambar 1. Mekanisme reaksi karbon dengan H_3PO_4.

Modifikasi Karbon Aktif

Proses tahapan modifikasi karbon aktif pada penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kemampuan efektivitas karbon aktif dengan penambahan bahan polimer kitosan dan alginat sebagai agen pemodif. Dalam pembuatan hidrogel kitosan dengan melarutkan karbon aktif hasil sintesis menggunakan larutan asam yang sesuai. Karbon aktif dilarutkan dengan asam asetat 2% (v/v) dikarenakan kitosan sangat larut dalam keadaan asam yang disebabkan karena gugus karboksil pada asam asetat membantu melarutkan kitosan melalui pembentukan ikatan hidrogen antara gugus karboksilat asam asetat dan gugus amina yang terdapat pada kitosan [18]. Pada proses pelarutan ini terjadi reaksi protonasi yang menghasilkan garam amina :

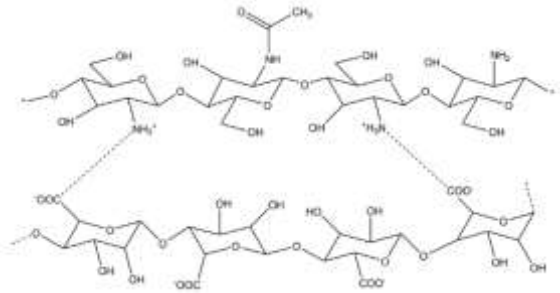
$$R\text{-}NH_2 + CH_3COOH \rightarrow R\text{-}NH_3 + CH_3COO^-$$

Hidrogel kitosan dicampurkan dengan $CaCl_2$ yang berperan sebagai agen pengikat silang (*crosslinker*) dalam pembentukan struktur yang stabil dan kuat. Ion kalsium (Ca^{2+}) dari $CaCl_2$ akan berikatan dengan gugus karboksilat (COO^-), membentuk struktur yang dikenal sebagai model *egg box.* Berikut persamaan reaksi yang terjadi [19] [20].

$$2C_2H_8O_6Na + CaCl_2 \rightarrow (C_6H_8O_6)_2Ca + 2NaCl$$

Alginat dapat larut dalam air yang disebabkan alginat termasuk polisakarida anionik yang hidrofilik serta dipengaruhi kation yang dimilikinya yaitu Na^+, K^+, NH_4^+ yang larut dalam air dingin dan keberadaan Ca^{2+} yang menyebabkan pembentukan gel [21]. karbon aktif dicampurkan dengan hidrogel alginat hingga homogen, dalam tingkat molekuler, interaksi antara partikel karbon aktif dan polimer alginat didominasi oleh gaya intermolekuler lemah, seperti gaya Van der Waals. Karakteristik ini menunjukkan bahwa ikatan yang terbentuk relatif lemah dan bersifat reversibel [22].

Selanjutnya yaitu pembuatan *beads* dengan pencampuran hidrogel kitosan dan hidrogel alginat. *Beads* dapat terbentuk menjadi padat disebabkan adanya interaksi antara kalsium, alginat dan kitosan membentuk ikatan silang, dimana ikatan silang tersebut memperkokoh karbon aktif kitosan-alginat [23]. Interaksi elektrostatik yang terjadi membentuk kompleks polielektrolit antara kitosan dan alginat ditunjukkan pada **Gambar 2** [24].



Gambar 2. Reaksi pembentukan polielektrolit kitosan dan alginat [24].

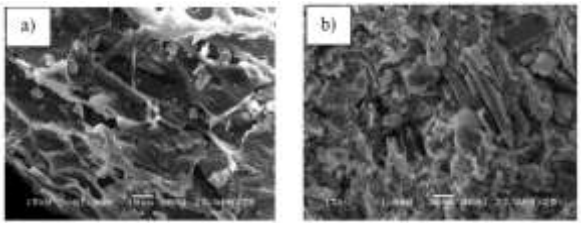
Pada pembentukan karbon aktif modifikasi kitosan alginat tidak membentuk senyawa baru melainkan terjadi proses antar-gugus fungsional melalui ikatan fisik berupa ikatan hidrogen dan ikatan elektrostatik. Setelah itu, *beads* yang dihasilkan disaring untuk dilanjutkan tahap penetralan dengan aquaDM. *Beads* yang telah netral kemudian di oven pada suhu 60°C selama 4 jam. Penggunaan suhu tersebut untuk menjaga stabilitas dari karbon aktif modifikasinya. Kemudian, *beads* yang telah dikeringkan dihaluskan kembali dengan ayakan 100 mesh yang bertujuan untuk memperluas permukaan adsorben secara merata.

Karakterisasi Karbon Aktif

Karakterisasi terhadap karbon aktif diperlukan untuk memahami struktur dan sifat kimia serta fisik permukaan material tersebut yang berkaitan langsung dengan kemampuan adsorpsinya. Karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengidentifikasi morfologi permukaan dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi. Oleh karena itu, karakterisasi ini berfungsi untuk menganlisis performa karbon aktif sebagai adsorben, terutama setelah dilakukan modifikasi dengan kitosan atau alginat.

Scanning Electron Microscopy (SEM)

Karakterisasi SEM (*Scanning Electron Miscroscope*) diperlukan pada penelitian ini untuk menganalisis dan mengamati morfologi permukaan sampel. Instrumen SEM (*Scanning Electron Miscroscope*) (JEOL JSM-6560) dengan perbesaran 1000 kali. Hasil karakterisasi SEM ditunjukkan pada **Gambar 3.**



Gambar 3. a)Karbon aktif teraktivasi H_3PO_4, b)Karbon aktif modifikasi kitosan-alginat.

Karbon aktif sebelum modifikasi **Gambar 3(a)** terjadi distribusi partikel yang hampir seragam dengan permukaan yang cukup halus dan pori yang terbuka [25]. Rongga dan pori-pori pada karbon aktif terbentuk selama tahap karbonisasi dan aktivasi yang terjadi proses dekomposisi senyawa organik seperti lignin, selulosa, dan hemiselulosa yang mudah menguap, sehingga meninggalkan struktur berpori [26].
Hasil analisis SEM karbon aktif termodifikasi kitosan-alginat menunjukkan morfologi permukaan yang kompleks dan heterogen. Struktur permukaan ditandai dengan adanya tonjolan (*protuberances*), alur (*grooves*), dan pori-pori yang menunjukkan asimetri (*asymmetric pores*). Hasil pengamatan SEM termodifikasi **Gambar 3(b)** menunjukkan distribusi homogen fasa dan mengalami proses mobilisasi karbon aktif. Adsorben karbon aktif termodikasi kitosan-alginat yang disintesis memperlihatkan ukuran pori yang lebih padat dibandingkan dengan karbon aktif teraktivasi [7].

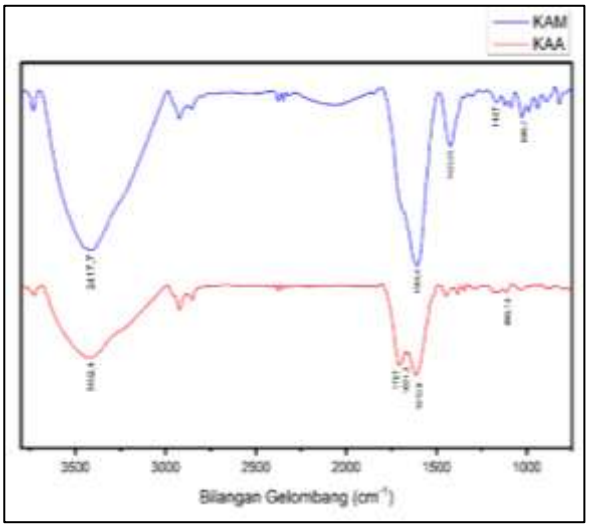
Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Karakterisasi instrumen FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) (Bruker Alpha) berfungsi untuk mengindentifikasi senyawa yang ditunjukkan dengan gugus fungsi beserta perubahan yang terjadi pada permukaan karbon aktif. Karakterisasi ini diterapkan pada adsorben karbon aktif teraktivasi dan karbon aktif modifikasi kitosan-alginat dengan bilangan gelombang dari 500 sampai 4000 cm^{-1}.

Berdasarkan hasil daerah serapan pada **Gambar 4** terdapat perbedaan beberapa gugus fungsional khas dari karbon aktif sebelum dan setelah termodifikasi dapat dilihat pada **Tabel 1.**

Berdasarkan spektrum FTIR, terdapat perbedaan signifikan antara sampel KAM (karbon aktif modifikasi kitosan–alginat) dan KAA

(karbon aktif aktivasi H_3PO_4). Pada spektrum karbon aktif modifikasi kitosan-alginat, muncul serapan kuat di bilangan gelombang 3417,7 cm^{-1} yang menunjukkan adanya regangan gugus hidroksil (–OH) dan amina (–NH), yang merupakan ciri khas dari struktur kitosan dan alginat. Selain itu, puncak pada 1606,4 cm^{-1} mengindikasikan keberadaan gugus –NH (bending) dari kitosan atau regangan asimetris $–COO^-$ dari alginat, puncak yang muncul pada 1425 cm^{-1} merupakan regangan asimetris dari gugus $–COO^-$. Puncak pada 1167 cm^{-1} muncul dari ciri khas kitosan dengan gugus fungsi C-N yang juga mendukung keberadaan senyawa biopolimer dalam karbon aktif modifikasi kitosan-alginat.



Gambar 4. Karbon aktif modifikasi (KAM) dan Karbon aktif aktivasi (KAA)**.**

Tabel 1. Bilangan gelombang dan gugus fungsi pada karbon aktif.

Daerah bilangan Gelombang	Gugus Fungsi	Karbon Aktif Teraktivasi	Karbon Aktif Modifikasi
~3400 cm^{-1}	-OH/ -NH	3402,4 cm^{-1}	3417,7 cm^{-1}
1700 cm^{-1}	C=O (karbonil)	1707 & 1661,3 cm^{-1}	-
1606 cm^{-1}	C=C/ -NH bending	1610,9 cm^{-1}	1604,6 cm^{-1}
1450-1350 cm^{-1}	COO^-	-	1425,05 cm^{-1}
1230-1030 cm^{-1}	C-N	-	1167 cm^{-1}
890 cm^{-1}	=C-H	895,13 cm^{-1}	890,7 cm^{-1}

Hal ini menandakan bahwa modifikasi dengan kitosan–alginat pada karbon aktif modifikasi kitosan-alginat, terdapat gugus-gugus polar (–OH, –NH, dan $–COO^-$), sementara aktivasi kimia pada karbon aktif teraktivasi lebih cenderung menghasilkan gugus karbonil (C=O, C=C) [43].

Aplikasi Adsorben Karbon Aktif Kitosan-Alginat

Adsorben karbon aktif termodifikasi kitosan-alginat yang dihasilkan dapat dilakukan pengujian kapasitas adsorpsinya terhadap ion logam timbal dengan menggunakan metode batch. Konsentrasi ion logam timbal(II) dapat dihitung menggunakan kurva standar setelah mengukur absorbansi larutan standar. Hasil pengukuran larutan standar akan menghasilkan persaman regresi linear, sehingga nilai konsentrasi dapat dihitung berdasarkan persamaan regresi linear dari kurva standar.

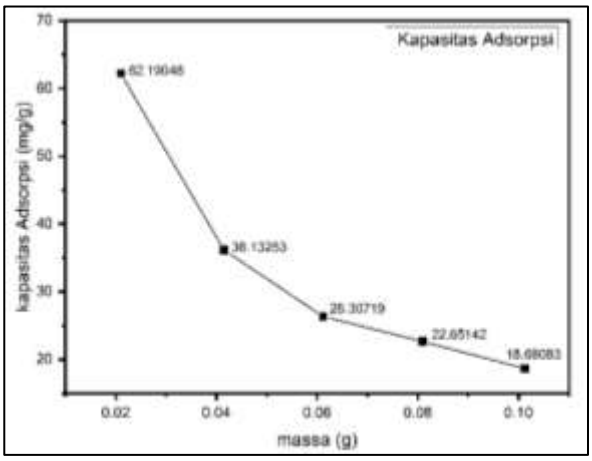
Berdasarkan SNI 6989-84:2019 penggunaan panjang gelombang yang diukur yaitu 283,3 nm yang didapatkan nilai R^2 pada kurva kalibrasi yaitu 0,9984. Semua titik data pada kurva kalibrasi terletak pada satu garis lurus dengan kemiringan positif, sehingga semakin tinggi konsentrasi, semakin tinggi pula absorbansinya. Nilai R^2 sebesar 0,9984 menunjukkan batas minimum yang disarankan yaitu $\geq 0{,}995$. Nilai R^2 yang tinggi (mendekati 1) menandakan semakin dekat nilai R dengan 1, semakin akurat hasil analisis, dan semakin kecil kemungkinan terjadinya kesalahan saat pembacaan absorbansi sampel [27].

Variasi Massa

Aplikasi pertama pada karbon aktif modifikasi yaitu variasi massa adsorben pada ion logam timbal dengan konsentrasi 116 mg/L sebanyak 25 mL dengan waktu 60 menit. Penggunaan variasi massa yang digunakan yaitu 0,02; 0,04; 0,06; 0,08; dan 0,1 g. **Gambar 5** menunjukkan kapasitas adsorpsi paling besar pada massa 0,02 g sebesar 62,19 mg/g, sedangkan kapasitas adsorpsi paling kecil terdapat pada massa 0,1 g sebesar 18,68 mg/g.

Penurunan kapasitas adsorpsi pada peningkatan jumlah massa disebabkan oleh adanya proses desorpsi, proses desorpsi berlangsung ketika adsorbat terlepas dari permukaan adsorben, yang ditandai dengan jenuhnya permukaan tersebut. Akibatnya, adsorbat yang terserap akan kembali ke larutan sebagai zat pengotor, sehingga kapasitas adsorpsi mengalami penurunan [28]. Semakin besar massa adsorben, semakin banyak ion timbal(II) yang bisa

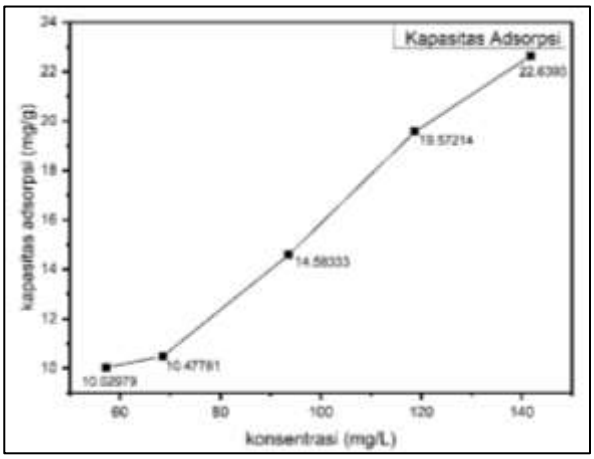
diserap karena belum mencapai titik jenuh dan masih banyak permukaan yang kosong.



Gambar 5. Kapasitas adsorpsi variasi massa.

Variasi Konsentrasi

Variasi konsentrasi digunakan untuk mengevaluasi kapasitas jenuh adsoben ketika berinteraksi dengan konsentrasi logam timbal yang dapat dilihat pada **Gambar 6**. Waktu yang digunakan untuk adsorpsi yaitu 60 menit dengan massa 0,1 g. Adapun variasi konentrasi yang digunakan pada pengaplikasian yaitu 50, 75, 100, 125, 150 mg/L yang dibuat dalam 25mL menggunakan larutan induk timbal 1000 mg/L.

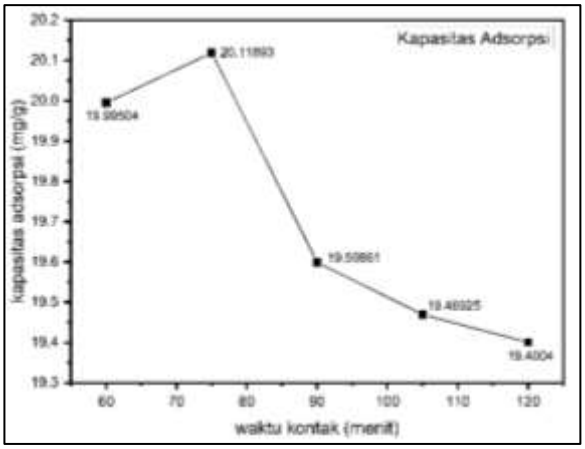


Gambar 6. Kapasitas adsorpsi variasi konsentrasi.

Hasil kapasitas adsorpsi seiring bertambahnya konsentrasi maka nilai kapasitas juga semakin meningkat. Kapasitas adsorpsi paling besar berada pada konsentrasi 150 mg/L sebesar 22,6393 mg/g. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar ion logam timbal(II) dalam larutan, semakin banyak ion yang diserap oleh adsorben. Peningkatan kapasitas adsorpsi menandakan adsorben memiliki kemampuan untuk mengikat lebih banyak ion hingga benar-benar jenuh dan mencapai kapasitas maksimumnya. Pada konsentrasi tertentu, ikatan hidrogen atau ikatan lemah lainnya bisa tergeser dan dapat menyebabkan gugus aktif terbuka kembali untuk berikatan dengan logam.

Variasi Waktu Kontak

Proses adsorpsi dengan variasi waktu kontak terhadap ion logam timbal dengan konsentrasi 125 mg/L dalam 25 mL dengan massa 0,1 g. Pemilihan variasi waktu yaitu 60, 75, 90, 105, dan 120 menit yang dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Kapasitas adsorpsi variasi waktu kontak.

Hasil kapasitas adsorpsi menunjukkan nilai paling besar pada hasil adsorpsi 75 menit sebesar 20,118 mg/g dan terjadi penurunan pada rentang waktu selanjutnya. Hal tersebut menunjukan pada waktu 75 menit telah mencapai interaksi keseluruhan pada situs aktif yang tersedia dalam adsorben dan mencapai maksimum sebelum terjadinya proses desorpsi atau pelepasan kembali ion karena permukaan adsorben telah jenuh [29] [30].

Ketika laju adsorpsi menurun maka akan terjadi desorpsi yaitu pelepasan kembali ion logam dari adsorben ke larutan. Proses ini dapat terjadi ketika waktu kontak antara adsorben dan adsorbat melebihi titik optimum. Selain itu, jika terjadi adsorpsi fisik (fisisorpsi), interaksi antara adsorben dan adsorbat bersifat lemah (gaya van

der Waals), sehingga ion logam mudah terdesorpsi [31].

Isoterm Adsorpsi

Berdasarkan hasil adsorpsi karbon aktif termodifikasi kitosan-alginat pada variasi konsentrasi ion logam timbal(II), proses adsorpsi dievaluasi menggunakan pendekatan model isoterm adsorpsi. Tiga model isoterm yang digunakan dalam analisis ini adalah model Langmuir, Freundlich, dan Temkin. Ketiga model tersebut digunakan untuk menggambarkan karakteristik interaksi antara ion logam timbal(II) sebagai adsorbat dengan permukaan karbon aktif termodifikasi sebagai adsorben. Perbandingan nilai R^2 dalam mengidentifikasi model isoterm yang cocok dapat dilihat pada **Tabel 2.**

Tabel 2. Konstanta model isoterm adsorpsi ion logam timbal(II).

Isoterm Adsorpsi	Parameter	Keterangan
Langmuir	Q_m	106,38
	K_L	1
	R^2	0,1401
Freundlich	n	1,2489
	K_F	0,923
	R^2	0,8656
Temkin	b_T	206,156
	A_T	8,7355
	R^2	0,8362

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini pada masing-masing model isoterm adsorpsi diperoleh nilai R^2 dari masing masing yaitu model Freundlich (R^2 = 0,8656) > Temkin (R^2 = 0,8362) > Langmuir (R^2 = 0,1401). Pada perbandingan nilai R^2 tersebut menunjukan bahwa proses adsorpsi yang terjadi lebih cocok dengan permodelan isoterm Freundlich.

Parameter penting konstanta Langmuir (K_L), yang menggambarkan afinitas antara adsorben dan adsorbat. Nilai K_L dalam rentang $0 < K_L < 1$ menunjukkan bahwa adsorpsi terjadi secara menguntungkan (favorable), sedangkan nilai $K_L > 1$ menunjukkan kondisi yang kurang menguntungkan [32]. Pada penelitian ini, diperoleh nilai K_L = 1, yang berada pada batas transisi antara adsorpsi yang favorable dan unfavorable. Hal ini menunjukkan bahwa interaksi antara ion logam timbal(II) dengan permukaan adsorben berlangsung tidak terlalu kuat namun tetap menunjukkan kecenderungan adsorpsi yang dapat diterima.

Model isoterm Freundlich berdasarkan hasil regresi linear dari model isoterm, adsorpsi ion logam timbal(II) oleh karbon aktif termodifikasi kitosan-alginat menunjukkan kesesuaian terhadap model isoterm Freundlich, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,8656. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung pada permukaan adsorben yang heterogen dan cenderung terjadi secara fisik dengan pembentukan lapisan ganda (multilayer).

Model isoterm Freundlich berdasarkan hasil regresi linear dari model isoterm, adsorpsi ion logam timbal(II) oleh karbon aktif termodifikasi kitosan-alginat menunjukkan kesesuaian terhadap model isoterm Freundlich, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,8656. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung pada permukaan adsorben yang heterogen dan cenderung terjadi secara fisik dengan pembentukan lapisan ganda (multilayer)

SIMPULAN

Berdasarkan hasil karakterisasi menunjukkan perubahan morfologi permukaan karbon aktif yang ditandai pada perbedaan pori pori yang lebih padat pada karbon aktif modifikasi. Selain itu, keberhasilan modifikasi ditunjukkan pada hasil karakterisasi FTIR dengan munculnya gugus fungsi khas pada panjang gelombang 1425,05 cm^{-1} yang mengidentifikasi regangan asimetris gugus karboksilat (COO^-). Nilai kapasitas adsorpsi tertinggi didapatkan sebesar 62,19048 pada variasi massa 0,02 g. Berdasarkan penentuan isoterm adsorpsi menunjukkan bahwa adsorben karbon aktif kulit durian termodifikasi kitosan-alginat dalam penyerapan ion logam timbal(II) lebih cocok mengikuti model Isoterm Freundlich.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik secara moril dan materil untuk mendukung dalam penelitian, penyusunan serta penulisan artikel ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.

REFERENSI

[1] R. Y. Fadhila, Ihsan and Sahara, "Pengolahan Limbah Laboratorium Kimia dengan Kombinasi Metode Elektrokoagulasi, Filtrasi dan Pengikatan Logam dengan Asam Jawa," *JFT No.1,* vol. 5, pp. 72-81, 2018.

[2] G. A. Wardani, A. N. Octavia, M. Fathurohman, T. Hidayat and E. Nofiyanti, "Arang Aktif Ampas Tebu Termodifikasi Kitosan sebagai Adsorben Tetrasiklin: Pemanfaatan Metode Kolom," *Jurnal Riset Kimia,* vol. 8, no. 3, pp. 280-291, 2022.

[3] L. Nurohmah, P. A. Wulandari and R. Fathoni, "Kemampuan Adsorpsi Logam Berat Cu dan Pb dengan Menggunakan Adsorben Kulit Jagung (Zea Mays)," *Jurnal Chemurgy,* vol. 3, no. 2, pp. 18-22, 2019.

[4] Marlinawati, B. Yusuf and Alimuddin, "Pemanfaatan Arang Aktif dari Kulit Durian (Durio zibethinus L.) sebagai Adsorben Ion Logam Kadmium(II)," *Jurnal Kimia Mulawarman,* vol. 13, no. 1, pp. 23-27, 2015.

[5] Yulisman, J. Sinto, Y. W. Nugroho and H. I. Naf'an, "Preparation of Activated Carbon from Banana Peel Waste as Adsorbent for Motor Vehicle Exhaust Emmissions," in *E3S Web of Conferences*, Indonesia, 2018.

[6] M. Kaimudin and M. F. Leounupun, "Karakterisasi Kitosan dari Limbah Udang dengan Proses Bleaching dan Deasetilasi yang Berbeda," *Majalah BIAM,* vol. 01, pp. 1-7, 2016.

[7] D. Hermanto, P. J. Prihatini, N. Y. Apriani, Kurniawati, M. Murniati, S. Hamdiani, N. Ismillayli and S. R. Kamali, "Facile Synthesis of Activated Carbon/Alginate/Chitosan Composite Beads as Rhemazole Brilliant Blue R Adsorbent," *Indonesian Physical Review,* vol. 07, no. 03, pp. 480-495, 2024.

[8] F. I. Fajarwati, M. A. Kurniawan, M. N. Fatima and R. Fikrina, "Penghilangan Zat Warna menggunakan Kompleks Polielektrolit Kitosan-Alginat," *Journal of Pharmaceutical Science and Clinical Research,* vol. 01, pp. 36-42, 2018.

[9] B. D. Ahadi and M. Y. Effendi, "Validasi lamanya waktu pengeringan untuk penetapan kadar air pakan metode oven dalam praktikum analisis proksimat," *Jurnal Ilmu Peternakan Terapan,* vol. 2, no. 2, pp. 34-38, 2019.

[10] E. Erawati and E. R. Helmy, "Pembuatan karbon aktif dari serbuk gergaji kayu jati (Tectona grandis L.f.) (suhu dan waktu karbonasi)," in *URECOL (University Research Colloquium)*, Purwokerto, Indonesia, 2018.

[11] Desi, A. Suharman and R. Vinsiah, "Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi terhadap Daya Serap Karbon Aktif Cangkang Kulit Buah Karet," in *Prosiding SEMIRATA bidang MIPA BKS-PTN Barat*, Pontianak, 2015.

[12] N. A. Harahap, E. Kurniawan, Z. Ginting, Muhammad and R. Dewi, "Karakterisasi Karbon Aktif dari Limbah Padat Nilam dengan Variasi Konsentrasi Aktivator," *Chemical Engineering Journal Stroge,* vol. 4, no. 3, pp. 299-308, 2024.

[13] M. M. Tang and R. Bacon, "Carbonization of Cellulose Fibers-I Low Temperature Pyrolisis," *Carbon,* vol. 2, pp. 211-220, 1964.

[14] A. Husin and A. Hasibuan, "Studi Pengaruh Variasi Konsentrasi Asam Posfat (H3PO4) dan Waktu Perendaman Karbon terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Kulit Durian," *Jurnal Teknik Kimia USU,* vol. 09, no. 2, pp. 80-86, 2020.

[15] R. Dwityaningsih, T. E. P. S. Rahayu, M. Handayani and M. Nurhilal, "Pengaruh Variasi Konsentrasi H3PO4 Sebagai Zat Aktivator Terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Sekam Padi," *Infotekmesin,* vol. 14, no. 1, pp. 98-104, 2023.

[16] S. Zulichatun, Jumaeri and E. Kusumastuti, "Pembuatan Karbon Aktif Ampas Tahu dan Aplikasinya sebagai Adsorben Zat Warna Crystal Violet dan

Congo Red," *Indonesian Journal of Chemical Science,* vol. 7, no. 3, pp. 228-235, 2018.

[17] I. Novianty, R. Gani, Akbar and A. Nurahma, "Analisis Proksimat Karbon Aktif Bunga Lontar (Borassus Flabellifer L) Teraktivasi Asam Fosfat," *CHEMVIRO : Jurnal Kimia dan Ilmu Lingkungan,* vol. 3, no. 1, pp. 202-207, 2025.

[18] E. Susilowati, F. W. Mahatmanti and S. Haryani, "Sintesis Kitosan-Silika Bead sebagai Pengadsorpsi Ion Logam Pb(II) pada Limbah Cair Batik," *Indonesian Journal of Chemical Science,* vol. 7, no. 2, pp. 123-131, 2018.

[19] K. Afriani and T. S. Budikania, "Studi Aktivitas Antimikrob Hidrogel Kitosan-PVP-Alginat Semi-IPN (Interprenetrating Polymer Network)," *Warta Akab,* Vols. 43,, no. 1, pp. 1-6, 2019.

[20] I. Lestari, N. T. Yesicha and F. Farid, "Amobilisasi Biji Durian (Drurio Zibethinus) dalam Ca-Alginat sebagai Biosorben Zat Warna Metilen Biru," *Chempublish Journal,* vol. 4, no. 1, pp. 19-29, 2019.

[21] K. Y. Lee and D. J. Mooney, "Alginate: Properties and biomedical applications," *Prog Polym Science,* vol. 37, no. 1, pp. 106-126, 2012.

[22] B. Wang, Y. Wan, Y. Zheng and e. al, "Alginate-based composites for environmental applications: a critical review," *Critical Reviews In Environmental Science and Technology,* pp. 1-39, December 2018.

[23] I. Lestari, S. Sy, L. Herlina, Ngatijo and E. Permana, "Amobilisasi kitosan pada alginat sebagai adsorben ion Cr(VI) dan Pb(II)," *Jurnal Litbang Industri,* vol. 13, no. 2, pp. 121-128, 2023.

[24] E. Y. Pradita and S. Wahyuni, "Nanogel Synthesis Of Chitosan-Alginate-Siam Orange (Citrus nobilis Lour) Extract and Its Antibacterial Activity," *Indonesian Journal of Chemical Science,* vol. 12, no. 1, pp. 58-69, 2023.

[25] F. P. Perdani, C. A. Riyanto and Y. Martono, "Karakterisasi Karbon Aktif Kulit Singkong (Manihot esculenta Crantz) Berdasarkan Variasi Konsentrasi H3PO4 dan Lama Waktu Aktivasi," *Indonesian Journal of Chemical Analysis,* vol. 04, no. 2, pp. 72-81, 2021.

[26] P. Numee, T. Sangtawesin, M. Yilmaz and K. Kanjana, "Activated carbon derived from radiation-processed durian shell for energy strorage application," *Carbon Resources Conversion,* pp. 1-11, 2024.

[27] B. S. Nasional, Air dan air limbah – Bagian 84 : Cara uji kadar logam terlarut dan logam total secara Spektrometri Serapan Atom (SSA) – nyala, Jakarta: BSN, 2019.

[28] W. S. Tajudin, Sunarti and J. B. Manuhutu, "Optimasi Massa Adsorben Dan Ph Pada Adsorpsi Ion Fe Menggunakan Abu Cangkang Kelapa Sawit," *MJoCE,* vol. 13, no. 2, pp. 74-86, 2023.

[29] A. Husin and P. D. R. Sitinjak, "Studi Adsorpsi Furfural Menggunakan Karbon Aktif dari Kulit Durian Termodifikasi," *Jurnal Teknik Kimia USU,* vol. 10, no. 1, pp. 19-24, 2021.

[30] I. Lestari, M. Mahraja, F. Farid, D. R. Gusti and E. Permana, "Penyerapan Ion Pb(II) Menggunakan Adsorben dari Limbah Padat Lumpur Aktif Pengolahan Air Minum," *Chem. Prog,* vol. 13, no. 2, pp. 68-76, 2020.

[31] D. A. Ningsih, I. Said and P. Ningsih, "Adsorpsi Logam Timbal (Pb) dari Larutannya dengan Menggunakan Adsorben dari Tongkol Jagung," *Jurnak Akad. Kim,* vol. 5, no. 2, pp. 55-60, 2016.

[32] F. C. Yaacoubi, *et al*, "Synthesis of composites from activated carbon based on olive stones and sodium alginate for the removal of methylene blue," *International Journal of Biological Macromolecules,* vol. 254, p. 127706, 2024.

[33] Verayana, M. Paputungan and H. Iyabu, "Pengaruh Aktivator HCl dan H3PO4 terhadap Karakteristik (Morfologi Pori)

Arang Aktif Tempurung Kelapa serta Uji Adsorpsi pada Logam Timbal (Pb)," *Jurnal Entropi,* vol. 13, no. 1, pp. 67-75, 2018.

[34] A. G. Dumanli and A. H. Windle, "Carbon fibres from cellulosic precursors: a review," *J. Mater Sci,* vol. 47, pp. 4236-4250, 2012.