

Karbon Aktif Limbah Serbuk Kayu Jati Termodifikasi Kitosan sebagai Adsorben Ion Logam Kadmium(II)

ADNAN FARRAS SUHENDI^{1*}, VINA AMALIA¹, DAN ADI MULYANA SUPRIATNA¹

¹Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung

* alamat email korespondensi: adnanfarras12@gmail.com

Informasi Artikel

Abstrak/Abstract

Kata Kunci:
adsorpsi; isoterm;
karbon aktif;
kitosan; logam berat;
modifikasi.

Perkembangan industri dan aktivitas manusia menyebabkan peningkatan pencemaran ion logam kadmium(II). Adsorpsi menggunakan karbon aktif merupakan metode yang efektif dalam menurunkan kadar logam berat. Untuk meningkatkan efisiensi dan kapasitas adsorpsi dari karbon aktif maka dilakukan modifikasi menggunakan kitosan. Pada penelitian ini modifikasi dilakukan dengan menambahkan kitosan ke dalam karbon aktif hasil preparasi dari limbah serbuk kayu jati selanjutnya dilakukan karakterisasi menggunakan instrumen SEM dan FTIR. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa karbon aktif hasil modifikasi memiliki permukaan yang lebih teratur dan rata. Kemudian ditemukan gugus fungsi -OH, gugus fungsi imina (C=N), gugus fungsi C-H simetris dan gugus fungsi alkohol primer pada karbon aktif hasil modifikasi. Selanjutnya, karbon aktif termodifikasi kitosan diaplikasikan kepada ion logam kadmium. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karbon aktif dari limbah serbuk kayu jati mempunyai kadar air sebesar 3,01% yang memenuhi SNI 06-3730-1995. Selain itu, karbon aktif hasil modifikasi memiliki nilai kapasitas adsorpsi sebesar 69,99 mg/g dan efisiensi sebesar 99,992%, yang lebih baik dibandingkan karbon aktif sebelum modifikasi. Isoterm adsorpsi juga ditentukan pada penelitian ini untuk mengetahui model isoterm mana yang cocok digunakan, hasilnya model isoterm Freundlich lebih cocok digunakan untuk adsorben karbon aktif limbah serbuk kayu jati termodifikasi kitosan terhadap ion logam kadmium.

Keywords:
activated carbon;
adsorption;
chitosan; heavy
metal; isotherm;
modification.

The development of industries and human activities has increased the pollution of metal ion cadmium(II). Adsorption using activated carbon is an effective method for reducing heavy metal concentrations. To enhance the efficiency and adsorption capacity of activated carbon, modification using chitosan is performed. In this study, the modification is carried out by adding chitosan to the activated carbon prepared from waste teakwood powder, followed by characterization using SEM and FTIR instruments. The characterization results indicate that the modified activated carbon has a more regular and uniform surface. Additionally, functional groups such as -OH, imina (C=N), symmetric C-H, and primary alcohol groups are identified in the modified activated carbon. Furthermore, the chitosan-modified activated carbon is applied to cadmium metal ions. The research findings show that the activated carbon derived from waste teakwood powder has a moisture content of 3,01%, meeting the requirements of the Indonesian National Standard (SNI 06-3730-1995). Moreover, the modified activated carbon exhibits an adsorption capacity of 69,99 mg/g and an efficiency of 99,992%, which is superior to the non-modified activated carbon. The adsorption isotherm is also determined in this study to identify the suitable model, and the Freundlich isotherm model is found to be more suitable for the chitosan-modified activated carbon derived from waste teakwood powder in adsorbing cadmium metal ions.

PENDAHULUAN

Perkembangan industri dan aktivitas manusia telah meningkatkan pembuangan limbah cair yang mengandung logam berat ke lingkungan. Kadar logam berat yang terkandung dalam limbah

cair sangat tinggi sehingga menimbulkan masalah terhadap lingkungan [1].

Salah satu logam non esensial yang berbahaya untuk manusia adalah kadmium. Kadmium (Cd) memiliki karakteristik berwarna putih keperakan yang mirip dengan logam

aluminium, serta tahan panas dan tahan korosi. Kadmium (Cd) digunakan dalam elektrolisis dan merupakan pigmen dalam industri cat, enamel, dan plastik. Kadmium (Cd) merupakan logam berat yang berbahaya karena unsur ini memiliki resiko tinggi terhadap pembuluh darah, kadmium memiliki efek jangka panjang pada tubuh manusia dan terakumulasi dalam tubuh terutama pada hati dan ginjal [1]. Pada bentuk ioniknya kadmium adalah logam berat yang kerap ditemukan pada perairan. Sifatnya yang non-biodegradasi, biomagnifikasi, dan mudah terakumulasi dalam rantai makanan membuat ion logam berat ini menjadi ancaman serius bagi kesehatan dan lingkungan [2] [3].

Adsorpsi merupakan metode yang cocok digunakan untuk menghilangkan ion logam berat di lingkungan [4]. Adsorpsi bila dibandingkan dengan metode-metode lainnya seperti metode pengendapan, *ion exchange*, elektrokoagulasi, fotokatalis, ekstraksi pelarut, elektrodialisis, elektrokimia, filtrasi dengan membran, dan evaporasi, memiliki kelebihan yang tidak dimiliki oleh metode lain yaitu mudah diaplikasikan dan ramah lingkungan sehingga tidak menimbulkan efek samping yang beracun dan mampu menghilangkan bahan-bahan polutan organik maupun anorganik [5] [6].

Banyak adsorben yang biasa digunakan untuk menghilangkan logam berat, seperti karbon aktif, lempung, oksida logam, silika, dan zeolit. Namun, karbon aktif saat ini lebih disukai sebagai adsorben karena kapasitas dan laju adsorpsinya yang tinggi, struktur makropori dan permukaan internal, non toksisitas, dan ketahanan mekanik dan kimia yang tinggi [7]. Salah satu bahan yang berpotensi untuk dijadikan karbon aktif adalah limbah dari serbuk kayu jati. Menurut penelitian dari Abram *et al*, limbah hasil proses penggergajian kayu yang dihasilkan di Indonesia sebanyak 6 juta ton pertahun yang pada kenyataannya masih ada yang ditumpuk serta dibuang sehingga akan terjadi pencemaran dan merusak lingkungan [8]. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Wijaya *et al*, menyebutkan bahwa karbon aktif dari serbuk kayu jati dengan aktivator H_3PO_4 memiliki kadar air dan kadar abu yang memenuhi standar SNI yaitu sebesar 4,67% untuk kadar air dan kadar abu sebesar 5,67%. Selain itu karbon aktif dari serbuk kayu jati ini memiliki luas permukaan dan pori-pori yang besar, yang memungkinkan untuk mengikat di sejumlah besar situs aktif yang didistribusikan dalam kerangka bahan berpori. Pori-pori besar dapat mengatasi

batasan difusi pori dan memberikan kecepatan tinggi jalur untuk molekul gas. Hal ini dijelaskan dengan menggunakan teori umum polimerisasi silika [9].

Berbagai upaya telah banyak dilakukan baik secara fisika, kimia, dan biologi dengan tujuan untuk terus meningkatkan kapasitas adsorpsi agar dapat menghilangkan polutan secara maksimal. Saat ini, modifikasi kimia seperti perlakuan asam, basa, dan penambahan gugus fungsi lebih disukai sebab menunjukkan hasil yang lebih tinggi dan lebih efisien jika dibandingkan dengan modifikasi lain [10]. Banyak penelitian tentang modifikasi kimia terhadap adsorben salah satunya dengan penambahan biopolimer kitosan.

Kitosan merupakan material yang telah dikenal luas sebagai adsorben yang selektif, terutama untuk ion logam golongan transisi. Selektivitas kitosan berhubungan dengan kandungan gugus $-NH_2$ dan $-OH$ yang dapat bertindak sebagai ligan bagi ion logam. Namun, penggunaan kitosan secara langsung sebagai adsorben kurang efektif, karena kitosan mudah larut dalam asam yang dapat mengganggu dalam proses adsorpsi. Dalam beberapa tahun kebelakang, penelitian tentang adsorben kitosan terhadap ion logam berat timbal, kadmium, dan tembaga telah dilakukan dengan hasil kapasitas adsorpsi 10,37 mg/g dengan efisiensi 95,69% untuk ion logam timbal, efisiensi 98,7% dalam bentuk nanopartikel kitosan untuk ion logam kadmium, dan efisiensi 99,42% dengan waktu kontak 100 menit untuk ion logam tembaga [11] [111] [13]. Kitosan menjadi zat yang berpotensi dalam meningkatkan efisiensi dan kapasitas adsorpsi dari karbon aktif. Maka dari itu perlu dilakukan kajian mengenai karbon aktif dari limbah serbuk kayu jati yang dimodifikasi menggunakan kitosan sebagai adsorben untuk penyerapan ion logam kadmium(II).

EKSPERIMEN

Material

Bahan yang digunakan meliputi limbah serbuk kayu jati dari, kitosan komersil dengan derajat deasetilasi 88% dengan berat molekul sedang, larutan induk logam $Cd(NO_3)_2$ (100 ppm), padatan $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$, padatan NaOH (p.a), CH_3COOH 98% (Teknis), H_3PO_4 85% (p.a), HNO_3 Pekat, kertas saring whatman no 42, indikator pH universal, Aquadest dan AquaDM.

Alat yang digunakan meliputi gelas kimia (50,250, dan 1000 ml), labu ukur (25; 50; 100;

250; dan 500 ml), labu erlenmeyer (100 dan 250 ml), pipet volume (0,5; 1; 5; 10; dan 50 ml), pipet ukur (0,1; 0,5 dan 5 ml), botol vial, spatula, pipet tetes, *syringe*, corong, saringan 100 mesh, mortar alu, cawan porselen (90 mm), neraca analitik, oven, *furnace*, *hot plate*, *ballfiller*, dan *magnetic stirrer*.

Instrumentasi

Instrumen yang digunakan meliputi *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) (*Agilent Technologies 200 series AA, 240FS-AA*), *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) (*Thermo Scientific BDM1910155*) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) (*JSM-6380*).

Prosedur

Penelitian ini terdiri dari 5 tahap, yaitu tahap preparasi karbon aktif, tahap modifikasi karbon aktif, tahap karakterisasi, tahap aplikasi, dan tahap penentuan isoterm adsorpsi.

Preparasi Karbon Aktif Limbah Serbuk Kayu Jati

Serbuk kayu yang didapatkan dibersihkan menggunakan AquaDm kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 110 °C selama 5 jam, kemudian dikarbonisasi pada *furnace* dengan suhu 350 °C selama 15 menit. Kemudian karbon aktif yang terbentuk diayak menggunakan saringan 100 Mesh. Setelah itu Karbon aktif direndam dalam larutan H_3PO_4 dengan kemurnian 85% pada konsentrasi 15% selama 24 jam, kemudian dicuci dengan aquaDM hingga netral dan dikeringkan pada oven selama 2 jam dengan suhu 110 °C..

Modifikasi Adsorben Karbon Aktif-Kitosan

Sebanyak 4,0344 gram kitosan dilarutkan ke dalam 240 ml larutan CH_3COOH 2% kemudian diaduk secara terus menerus pada suhu kamar selama 4 jam hingga terbentuk gel. Selanjutnya, karbon aktif hasil aktivasi ditambahkan secara perlahan dengan perbandingan (1:1) ke dalam gel kitosan tersebut lalu diaduk kembali selama 2 jam hingga larutan homogen. Sementara itu, siapkan 300 ml larutan NaOH 0,5 M dari bahan padatannya kemudian dituangkan ke dalam gelas kimia. Hasil campuran larutan karbon aktif-kitosan kemudian diteteskan ke dalam larutan NaOH 0,5 M secara perlahan menggunakan *syringe* hingga terbentuk *beads* sambil sesekali diaduk menggunakan batang pengaduk. *Beads*

yang dihasilkan kemudian dilakukan pencucian dengan aquaDM hingga pH netral lalu dikeringkan dengan oven pada suhu 60°C selama 24 jam. Setelah itu, dinginkan dalam desikator. *Beads* kering yang dihasilkan kemudian digerus menggunakan mortar dan alu lalu disaring menggunakan saringan 100 mesh.

Karakterisasi Adsorben Karbon Aktif dan Adsorben Karbon Aktif-Kitosan

1) *Uji Kadar Air*

Ditimbang sebanyak 1 gram arang aktif kemudian dimasukkan ke dalam wadah yang sudah diketahui massanya. Kemudian wadah dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 30 menit. Setelah itu didinginkan dalam desikator selama 15 menit dan ditimbang berat arang sampai konstan.

2) *Karakterisasi SEM*

Sampel dipolish terlebih dahulu, kemudian dimasukkan ke dalam instrumen SEM pada keadaan vakum. Dilakukan penyesuaian tata letak untuk perbesaran. Diperbesar gambar sebesar 5000 kali.

3) *Karakterisasi FTIR*

Diteteskan sampel pada dua plat KBr dan NaCl sampai membentuk film yang tipis. Kemudian diletakkan plat ke dalam tempat sampel yang sudah disediakan pada alat FTIR.

Aplikasi Karbon Aktif, Karbon Aktif-Kitosan sebagai Adsorben

1) *Variasi Massa*

Ditimbang masing-masing 0,02; 0,04; 0,06; 0,08 dan 0,1 gram karbon aktif hasil aktivasi dan hasil modifikasi lalu ditambahkan 50 mL larutan ion logam kadmium(II) dengan konsentrasi 100 ppm, kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit dengan kecepatan putaran 100 rpm, kemudian disaring menggunakan kertas saring whatman no 42. Filtrat yang dihasilkan ditampung dan dianalisis dengan AAS.

2) *Variasi Waktu*

Ditimbang karbon aktif sesuai penyerapan maksimum pada variasi massa ke dalam labu erlenmeyer 100 ml lalu ditambahkan 50 mL larutan ion logam kadmium(II) dengan konsentrasi 100 ppm, kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan variasi

waktu 30; 60; 90; 120 dan 150 menit dengan kecepatan putaran 100 rpm, kemudian disaring menggunakan kertas saring whatman no 42. Filtrat yang dihasilkan ditampung dan dianalisis dengan AAS.

3) *Varisasi Konsentrasi*

Larutan ion logam kadmium(II) disiapkan dalam labu erlenmeyer 100 ml dengan variasi konsentrasi 60 ppm; 80 ppm; 100 ppm; 120 ppm; dan 140 ppm. Selanjutnya ditambahkan adsorben karbon aktif hasil aktivasi dan hasil modifikasi pada masing-masing larutan sesuai massa penyerapan terbaik, lalu dilakukan pengadukan menggunakan magnetic stirrer 100 rpm dengan waktu kontak 90 menit. Setelah proses adsorpsi selesai, disaring menggunakan kertas saring Whatman no 42. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS).

Penentuan Isoterm Adsorpsi

Pada karbon aktif hasil modifikasi, setelah diketahui konsentrasi dari logam, nilai kapasitas dan efisiensi adsorpsi yang didapatkan kemudian digunakan untuk menentukan model isoterm adsorpsi. Adapun model isoterm adsorpsi yang dipilih ialah model isoterm Langmuir dan Freundlich.

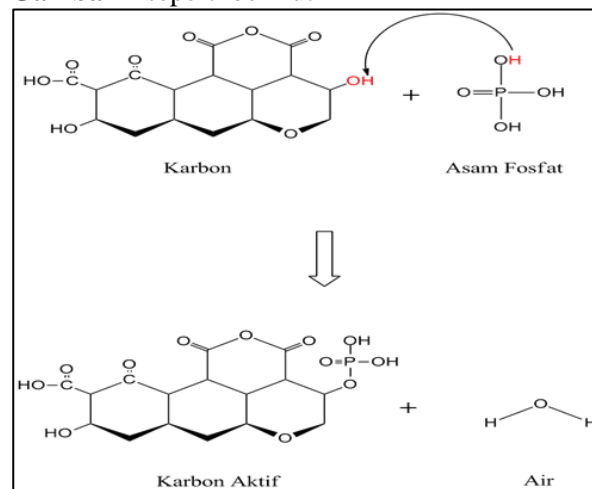
HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi Karbon Aktif Limbah Serbuk Kayu Jati

Rendemen karbon yang dihasilkan dipengaruhi oleh jenis bahan baku, berat jenis bahan baku, komposisi karbon, hidrogen dan oksigen bahan baku serta proses karbonisasi itu sendiri [14]. Rendemen karbon aktif yang didapat pada penelitian ini adalah sebesar 86,40%. Hasil ini lebih baik dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Erawati (2018) yang mendapatkan hasil sebesar 72,42% untuk karbon aktif serbuk kayu jati menggunakan aktivator NaCl 10% [15].

Pada proses aktivasi dengan meningkatkan temperatur dan menggunakan bahan pengaktif berupa asam fosfat dapat mengakibatkan transformasi asam fosfat menjadi asam polifosfat pada matriks prekursor. Disatu sisi senyawa H_3PO_4 dapat menguap yang menyebabkan ikatan fosfat dan polifosfat terputus, di sisi lain asam fosfat dapat bereaksi dengan karbon yang terkandung

dalam biomassa dengan mekanisme reaksi pada **Gambar 1** seperti berikut

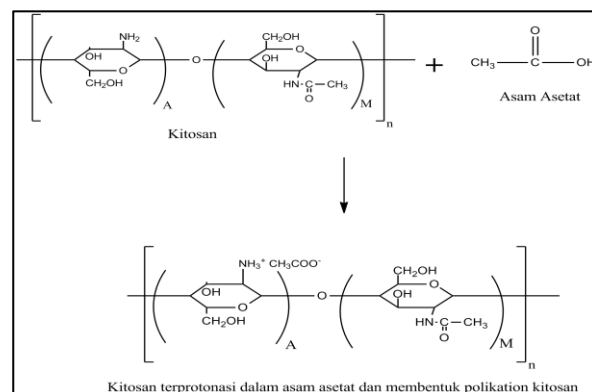


Gambar 1 Reaksi aktivasi antara karbon dengan H_3PO_4

Modifikasi Adsorben Karbon Aktif-Kitosan

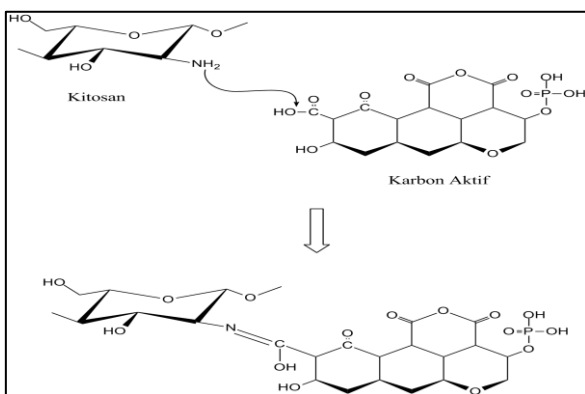
Dalam rangka meningkatkan efisiensi pori karbon aktif sebagai adsorben ion logam berat, dilakukan modifikasi menggunakan biopolimer kitosan. Modifikasi karbon aktif ini melibatkan penambahan kitosan dalam proses pembuatan adsorben. Sebelum memasuki tahap modifikasi tersebut, dilakukan preparasi terhadap kitosan sebagai zat pemodifikasi guna mencapai hasil yang optimal. Tindakan ini dilakukan untuk memastikan pori karbon aktif mampu memperbaiki dan memaksimalkan kinerjanya dalam menyerap ion logam berat.

Secara kimia pelarutan kitosan terjadi karena adanya reaksi antara gugus karboksil pada asam asetat dengan gugus amina pada proses ionisasi yang mengakibatkan pori kitosan lebih terbuka dan kepolaran kitosan meningkat. Mekanisme yang terjadi dapat dilihat pada **Gambar 2** dibawah ini.



Gambar 2 Mekanisme Reaksi Protonasi Kitosan

Setelah kitosan diprerasi selanjutnya kitosan di reaksikan dengan karbon aktif dengan perbandingan 1:1 dengan adanya pengadukan. Selama proses tersebut, ketika kitosan ditambahkan sebagai zat pemodifikasi ke dalam karbon aktif, gugus hidroksil yang ada di permukaan karbon akan berinteraksi dengan gugus amina pada kitosan, membentuk ikatan hidrogen. Terjadinya ikatan hidrogen antara karbon aktif dengan kitosan menunjukkan bahwa adsorben karbon aktif-kitosan memiliki ikatan yang lebih kuat sehingga apabila diaplikasikan terhadap ion logam berat akan menghasilkan daya adsorpsi yang lebih tinggi. Interaksi yang terjadi antara kitosan dan karbon aktif dapat dilihat pada **Gambar 3** sebagai berikut :



Gambar 3 Mekanisme reaksi antara karbon aktif dengan kitosan

Karakterisasi Adsorben Karbon Aktif dan Adsorben Karbon Aktif–Kitosan

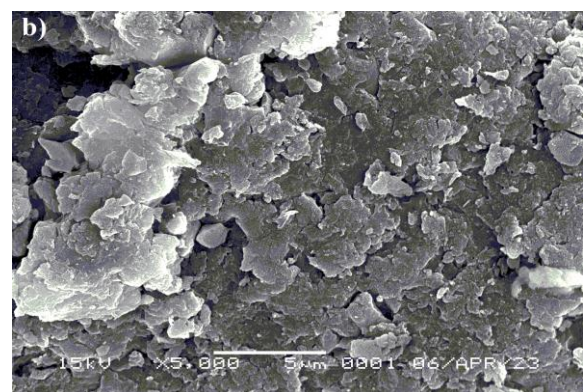
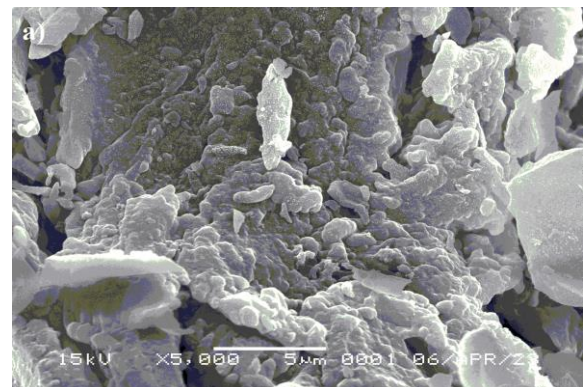
Uji Kadar Air

Pengujian kadar air dilakukan untuk mengetahui kandungan air terdapat dalam karbon aktif setelah mengalami karbonisasi. Kadar air yang dihasilkan merupakan ukuran kemampuan zat aktivator sebagai zat pendehidrasi. Karbon aktif serbuk kayu jati memiliki kadar air sebesar 3,01% di mana kadar air dari karbon-aktif serbuk kayu jati memenuhi standar dari SNI 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis yaitu maksimal 15 % untuk bentuk serbuk [16]. Kadar air yang sedikit akan meningkatkan kemampuan karbon aktif karena meningkatkan daya serap terhadap cairan, dengan semakin kecil molekul air dalam karbon aktif maka halangan molekul lain untuk masuk akan semakin kecil [17]. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Afuza tentang pembuatan karbon aktif dari serbuk kayu jati menggunakan aktivator H_3PO_4 dengan

modifikasi TiO_2 menyatakan bahwa kadar air terbaik dari karbon-aktif sebesar 8,75% [18].

Karakterisasi SEM

Hasil instrumensasi SEM untuk karbon aktif dan karbon-kitosan menunjukkan hasil yang cukup berbeda antara karbon aktif pada **Gambar 4 a)** dan karbon-kitosan pada **Gambar 4 b)**. Pada karbon aktif morfologi permukaan yang terlihat permukaan dari karbon aktif kurang rata sedangkan pada karbon-kitosan morfologi permukaan dari sampel terlihat lebih rata namun terdapat penumpukkan di beberapa bagian, penumpukkan ini biasa disebut dengan aglomerasi. Aglomerasi terjadi karena pembentukan kristal yang tidak sempurna yang disebabkan karena susunan dan jarak antar partikel yang tidak teratur [19].

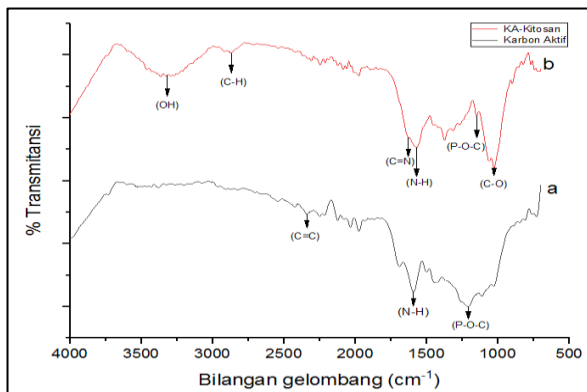


Gambar 4 Hasil Uji SEM Karbon Aktif, (a) Sebelum Modifikasi, (b) Setelah Modifikasi

Karakterisasi FTIR

Pengujian FTIR , dilakukan untuk menganalisis gugus fungsi pada sampel adsorben karbon aktif sebelum dan setelah modifikasi. Hasil

dari karakterisasi FTIR ini dapat dilihat pada **Gambar 5** dibawah ini.



Gambar 5 Spektrum FTIR untuk Adsorben a) Sebelum Modifikasi dan b) Setelah Modifikasi

Adapun hasil analisis FTIR dapat dilihat pada **Gambar 5** Berdasarkan spectrum FTIR pada **Gambar 5 a)** pada adsorben sebelum modifikasi didapatkan beberapa gugus fungsi seperti vibrasi $C = C$ pada bilangan gelombang $2373,40 \text{ cm}^{-1}$, ,gugus amina sekunder ($N - H$) pada panjang gelombang $1587,74 \text{ cm}^{-1}$, gugus fungsi fosfat aromatik ($P - O - C$) pada bilangan gelombang $1206,98 \text{ cm}^{-1}$ dan gugus fosfat alifatik pada panjang gelombang $1033,02 \text{ cm}^{-1}$ [20].

Sedangkan pada adsorben setelah modifikasi menggunakan kitosan pada **Gambar 5 b)**, terlihat beberapa puncak-serapan baru yang muncul seperti gugus fungsi seperti gugus fungsi $-OH$ pada bilangan gelombang $3327,48 \text{ cm}^{-1}$, gugus imina ($C = N$) pada panjang gelombang $1645,98 \text{ cm}^{-1}$, gugus ($C - H$) simetris pada panjang gelombang 2870 cm^{-1} , gugus amina sekunder ($N - H$) pada bilangan gelombang $1570,57 \text{ cm}^{-1}$, gugus fungsi fosfat alifatik ($P - O - C$) dan ikatan alkohol primer ($C - O$) pada bilangan gelombang $1027,79 \text{ cm}^{-1}$ [20].

Dapat diamati bahwa terdapat serapan pada panjang gelombang $1645,98 \text{ cm}^{-1}$ yang teridentifikasi sebagai vibrasi regangan gugus fungsi $C = N$. Serapan pada gelombang ini terjadi pada adsorben karbon aktif yang telah mengalami modifikasi. Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang mengindikasikan bahwa ikatan imina terbentuk pada adsorben tersebut karena adanya komposit antara kitosan karbon dan glutaraldehid [19]. Hasil penelitian lain juga

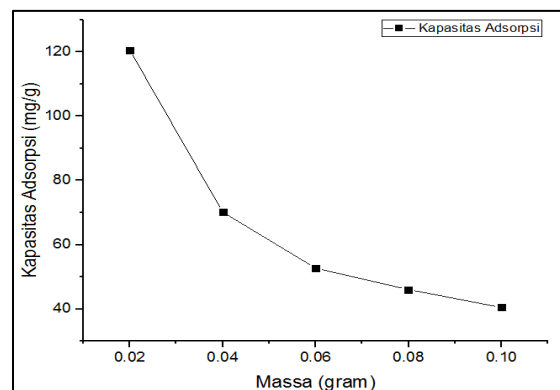
menunjukkan bahwa vibrasi gugus fungsi imina terdeteksi pada bilangan gelombang 1690 cm^{-1} dan 1590 cm^{-1} . Dalam konteks ini, keberadaan vibrasi imina pada karbon aktif hasil modifikasi menunjukkan bahwa kitosan telah berhasil melapisi karbon aktif dalam bentuk komposit, sehingga meningkatkan kemampuan adsorpsi saat diaplikasikan pada adsorbat [20].

Aplikasi Karbon Aktif, Karbon Aktif-Kitosan sebagai Adsorben

Variasi Massa

Pada tahap ini karbon aktif termodifikasi kitosan diuji penyerapannya untuk variasi massa 0,02; 0,04; 0,06; 0,08 dan 0,1 gram dengan konsentrasi larutan ion logam kadmium sebesar 100 ppm dan waktu pengadukan selama 30 menit.

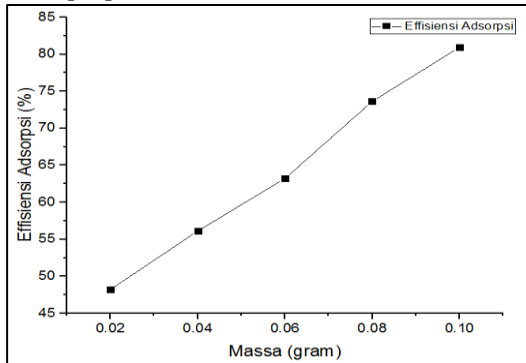
Dari **Gambar 6**, dapat dilihat kurva untuk kapasitas adsorpsi penyerapan ion logam kadmium variasi massa semakin menurun seiring bertambahnya variasi massa, kapasitas adsorpsi menurun dari $120,57 \text{ mg/g}$ pada variasi massa 0.02 gram menjadi $40,467 \text{ mg/g}$ pada variasi massa 0.1 gram, penurunan ini dapat terjadi karena dipengaruhi beberapa faktor seperti sisi aktif yang terbatas pada karbon, kejenuhan pada karbon aktif di mana karbon aktif telah melewati titik optimum penyerapannya, dan kemungkinan interaksi antara adsorbat yang menyebabkan penurunan kapasitas adsorpsi [21].



Gambar 6 Kurva kapasitas adsorpsi variasi massa

Disisi lain pada **Gambar 7** terlihat kurva dari efisiensi adsorpsi variasi massa meningkat seiring bertambahnya adsorbat, efisiensi tertinggi dicapai oleh variasi massa 0,1 gram dengan efisiensi adsorpsi ion logam kadmium mencapai 80,93 %. Dari kedua data kapasitas dan efisiensi

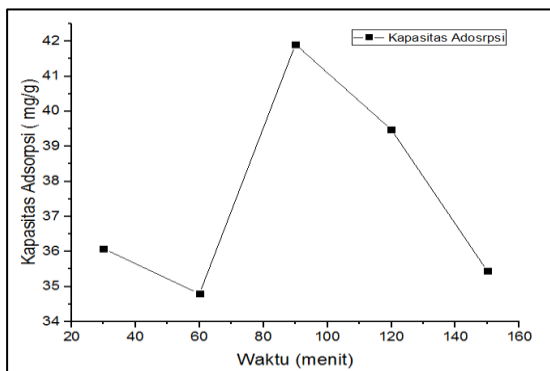
adsorpsi, ditentukan penyerapan terbaik untuk variasi massa adalah pada variasi 0,1 gram, hal ini sesuai dengan penelitian dari Adawiyah, yang menyatakan penurunan ion logam kadmium menggunakan karbon aktif kitosan untuk massa 0,1 gram memiliki kapasitas adsorpsi yang cukup besar yaitu 37,17 mg/g dengan efisiensi sebesar 96% [19].



Gambar 7 Kurva efisiensi adsorpsi variasi massa

Variasi Waktu

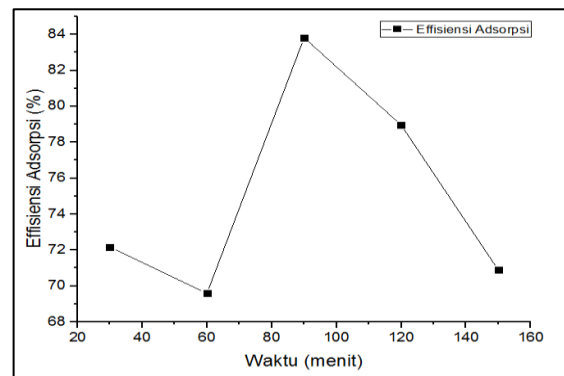
Dari **Gambar 8** dan **Gambar 9**, dapat dilihat kurva untuk kapasitas dan efisiensi adsorpsi penyerapan ion logam kadmium variasi waktu menunjukkan nilai tertinggi pada variasi waktu 90 menit dengan nilai kapasitas adsorpsi 41,91 mg/g dengan efisiensi 83,82 %.



Gambar 9 Kurva kapasitas adsorpsi variasi waktu

Kapasitas adsorpsi meningkat seiring dengan peningkatan waktu kontak hingga mencapai titik tertentu, setelahnya kapasitas adsorpsi akan menurun. Semakin lama waktu kontak, semakin banyak kesempatan bagi partikel karbon aktif untuk berinteraksi dengan logam yang terikat dalam pori-pori karbon aktif, sehingga waktu kontak yang cukup diperlukan untuk mencapai adsorpsi secara optimal. Penyerapan variasi waktu pada 90 menit merupakan variasi waktu terbaik karena nilai

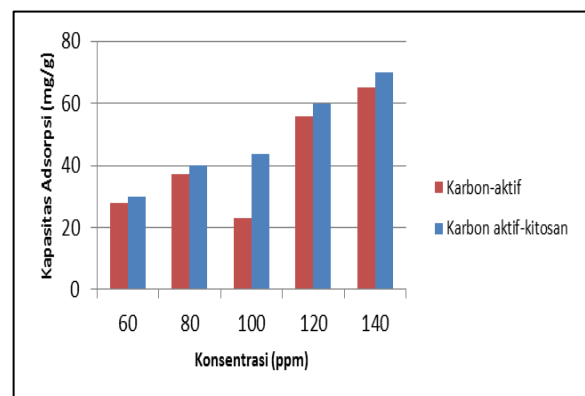
kapasitas dan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi yang lain, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Irwandi *et al*, yang menyatakan kondisi optimum penyerapan variasi waktu karbon aktif dari ampas tebu berada pada variasi 90 menit dengan efisiensi sebesar 94,15% [17].



Gambar 8 Kurva efisiensi adsorpsi variasi waktu

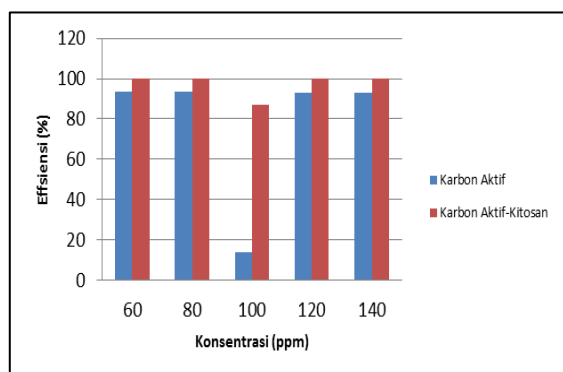
Variasi Konsentrasi

Berdasarkan **Gambar 10**, pada karbon aktif sebelum modifikasi, dapat diketahui bahwa semakin besar konsentrasi ion logam berat semakin meningkat kapasitas adsorpsinya. Kapasitas adsorpsi menyatakan banyaknya jumlah ion logam yang teradsorpsi persekian massa adsorben pada waktu tertentu. Hal menunjukkan bahwa banyaknya ion logam terserap berbanding lurus dengan konsentrasi di mana semakin besar konsentrasi adsorbat semakin banyak ion logam yang terserap. Sedangkan pada adsorben karbon aktif setelah modifikasi, menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi yang didapatkan selalu mengalami peningkatan seiring dengan semakin bertambahnya konsentrasi ion logam.



Gambar 10 Kapasitas adsorpsi adsorben karbon aktif sebelum dan sesudah modifikasi terhadap ion logam kadmium(II)

Setelah dilakukan penentuan terhadap kapasitas adsorpsi selanjutnya dilakukan penentuan terhadap efisiensi adsorpsinya. Adapun hasil yang didapatkan dapat dilihat pada **Gambar 11** di bawah ini:



Gambar 11 Efisiensi adsorpsi adsorben karbon aktif sebelum dan sesudah modifikasi terhadap ion logam kadmium(II)

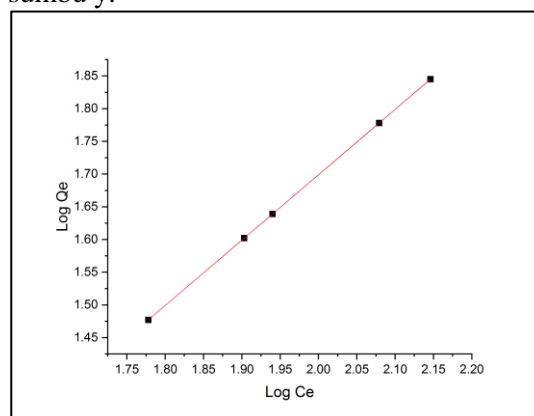
Dari **Gambar 11** di atas, Apabila nilai efisiensi adsorpsi disesuaikan dengan kapasitas adsorpsi yang didapatkan maka dapat diketahui bahwa semakin besar konsentrasi ion logam semakin meningkat kapasitas adsorpsi dan efisiensinya. Adapun sebagian efisiensi adsorpsi menunjukkan tren yang tidak sesuai terjadi karena beberapa faktor seperti massa adsorben, waktu kontak adsorpsi, dan jenis adsorben. Selain itu dari hasil yang didapatkan nilai kapasitas dan efisiensi adsorpsi masih belum mencapai nilai yang maksimal sehingga masih perlu dilakukan suatu upaya yang dapat meningkatkan kapasitas dan efisiensi adsorpsi. Dari hasil yang didapatkan nilai efisiensi adsorpsi terbaik untuk penyerapan ion logam kadmium untuk karbon aktif sebelum dan sesudah modifikasi menggunakan kitosan menunjukkan hasil berturut-turut sebesar 92,968% dan 99,992% untuk variasi konsentrasi 140 ppm.

Penentuan Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi adalah suatu proses adsorpsi yang terjadi pada suhu yang konstan. Dalam adsorpsi, terdapat dua model isoterm yang umum digunakan, yaitu model isoterm Langmuir dan model isoterm Freundlich. Penentuan isoterm adsorpsi dilakukan untuk memperoleh pemahaman tentang laju dan perilaku adsorpsi pada adsorben karbon aktif limbah serbuk kayu jati setelah dilakukan modifikasi menggunakan

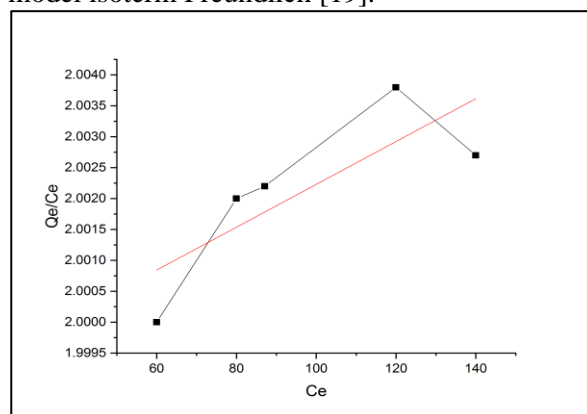
kitosan. Dalam penelitian ini, digunakan kinetika orde kedua, yaitu isoterm Langmuir dan Freundlich, untuk menentukan isoterm adsorpsi pada variasi ion logam kadmium sebagai adsorbat.

Berdasarkan **Gambar 12** dan **Gambar 13**, untuk grafik isoterm Langmuir diperoleh dari hubungan antara konsentrasi yang terserap (C_e) sebagai sumbu x dan konsentrasi yang terserap per daya adsorpsi (C_e/Q_e) sebagai sumbu y. Sedangkan untuk isoterm Freundlich, grafik di atas diperoleh dari hubungan sejumlah komponen yang teradsorpsi per unit adsorben ($\log C_e$) sebagai sumbu x dan konsentrasi komponen tersebut pada kesetimbangan ($\log Q_e$) sebagai sumbu y.



Gambar 12 Model isoterm Freundlich adsorpsi ion logam kadmium

Penentuan isoterm adsorpsi bergantung pada nilai regresi yang diperoleh. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa ion logam kadmium lebih sesuai dengan model isoterm Freundlich dengan regresi sebesar 1 dibandingkan dengan isoterm Langmuir yang memiliki nilai regresi 0.64687. Temuan ini konsisten dengan literatur yang menyatakan bahwa karbon aktif termodifikasi kitosan lebih cocok untuk mengikuti model isoterm Freundlich [19].



Gambar 13 Model isoterm Langmuir adsorpsi ion logam kadmium

Nilai parameter empiris n bervariasi tergantung pada tingkat heterogenitas yang berkaitan dengan distribusi ion yang terikat pada permukaan adsorben. Semakin besar nilai n , semakin tinggi preferensi adsorbat untuk teradsorpsi pada adsorben tertentu, dan semakin kuat intensitas adsorpsi. Hasil ini konsisten dengan kapasitas dan efisiensi adsorpsi yang diperoleh, yang menunjukkan bahwa karbon aktif termodifikasi kitosan lebih efektif dalam menyerap ion logam berat [22].

SIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa karbon aktif limbah serbuk kayu jati termodifikasi kitosan mempunyai kadar air yang memenuhi parameter yang terdapat pada SNI 06-3730-1995.

Modifikasi menggunakan biopolimer kitosan pada karbon aktif limbah serbuk kayu jati berpengaruh terhadap morfologi permukaan dan juga gugus fungsi yang terdapat pada karbon aktif. Dimana pada karbon aktif limbah serbuk kayu jati termodifikasi kitosan terjadi penambahan gugus fungsi $-OH$, gugus fungsi imina ($C = N$), gugus $C - H$ simetris dan gugus alkohol primer yang tidak terdapat pada karbon aktif sebelum modifikasi.

Modifikasi menggunakan biopolimer kitosan juga berpengaruh terhadap kapasitas dan efisiensi adsorpsi dari adsorben yang menunjukkan adanya peningkatan kapasitas dan efisiensi adsorpsi dari adsorben setelah dimodifikasi. Kemudian, hasil penentuan model isoterm adsorpsi pada penyerapan ion logam kadmium(II) untuk adsorben karbon aktif limbah serbuk kayu jati termodifikasi kitosan mengikuti model isoterm Freundlich.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati sebagai penyedia laboratorium terpadu. Serta saya ucapkan terima kasih kepada Ibu Vina Amalia, S.Pd., M.Si. serta Bapak Adi Mulyana Supriatna, S.Pd., M.T. atas bimbingannya. Kemudian para dosen dan seluruh pegawai di Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi. Serta saya ucapkan kepada pihak yang tidak bisa saya ucapkan satu persatu.

REFERENSI

- [1] F. Istarani and E.S. Pandebesie, "Studi Dampak Arsen (As) dan Kadmium (Cd) terhadap Penurunan Kualitas Lingkungan," *JURNAL TEKNIK POMITS*, vol. 3, no. 1, 2014.
- [2] A. Susanto, T. Mulyani, and S. Nugraha, "Validasi Metode Analisis Penentuan Kadar Logam Berat Pb, Cd dan Cr Terlarut dalam Limbah Cair Industri Tekstil dengan Metode Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry Prodigy7," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 9, no. 1, pp. 191-200, April 2021.
- [3] M. Akteer et al., "Pb (II) Remediation from Aqueous Environment Using Chitosan-Activated Carbon-Polyvinyl Alcohol Composite Beads," *Water Air Soil Pollut*, pp. 232-272, 2021.
- [4] D. Mehta, S. Mazumdar, and S. Singh, "Magnetic adsorbents for the treatment of water/wastewater—A review," *Journal of Water Process Engineering*, pp. 244-265, Juli 2015.
- [5] D. Arifiyana and V.A. Devianti, "Biosorpsi Logam Besi (Fe) Dalam Media Limbah Cair Artifisial Menggunakan Biosorben Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata*)," *Jurnal Kimia Riset*, vol. 5, no. 2528-0414; e-ISSN: 2528-0422, pp. 1-2, Juni 2020.
- [6] Nurhasni, Hendrawati, and N. Saniyyah, "Sekam Padi untuk Menyerap Ion," *Jurnal Kimia Valensi*, vol. 4, no. 1, pp. 36-44, Mei 2014.
- [7] S. Hydari, M. Sharififard, M. Nabavinia, and M. R. Parvizi, "A comparative investigation on removal performances of commercial activated carbon, chitosan biosorbent and chitosan/activated carbon composite for cadmium," *Chemical Engineering Journal*, pp. 1385-8947, 2012.
- [8] D. Intan, I. Said, and P. H. Abram, "Pemanfaatan Biomassa Serbuk Gergaji sebagai Penyerap Logam Timbal," *Jurnal*

- Akademia Kimia*, vol. 5, no. 4, pp. 166-171, November 2016.
- [9] L. S. Wijaya, D. S. Afuza, and E. Kurniati, "Arang Aktif Serbuk Kayu Jati Menggunakan Aktivator H₃PO₄ Dan Modifikasi TiO₂," *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 16, no. 2, pp. 73-79, April 2022.
- [10] M. Sultana, M. H. Rownok, M. Sabrin, M. H. Rahman, and S. N. Alam, "A review on experimental chemically modified activated carbon to enhance dye and heavy metals adsorption," *Cleaner Engineering and Technology*, vol. 6, p. 100382, 2022.
- [11] A. R. Kusmiati and Nurhayati, "Pemanfaatan Kitosan Dari Cangkang Udang sebagai Adsorben Logam Berat Pb pada Limbah Praktikum Kimia Farmasi," *Indonesian Journal of Laboratory*, vol. 3, no. 1, pp. 6-14, 2020.
- [12] F.R. P. Darmawan, F. Nurentama, and T. Susilowati, "Adsorpsi Logam Berat Tembaga (Cu) dengan Kitosan dari Limbah Cangkang Kupang Putih," *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 14, no. 1, 2019.
- [13] S. Yudhasasmita and A. P. Nugroho, "Sintesis dan Aplikasi Nanopartikel Kitosan Sebagai Adsorben Cd dan Antibakteri Koliform," *Biogenesis*, vol. 5, no. 1, pp. 45-48, 2017.
- [14] Lisna Efiyanti, Suci Aprianty Wati, and Mamay Maslahat, "Pembuatan dan Analisis Karbon Aktif dari Cangkang Buah Karet dengan Proses Kimia dan Fisika," *Jurnal Ilmu Kehutanan*, no. 14, pp. 94 - 108, 202.
- [15] E. Erawati and E. R. Helmy, "Pembuatan Karbon Aktif Dari Serbuk Gergaji Kayu Jati (Tectona Grandis L.f.) (Suhu Dan Waktu Karbonasi)," *Jurnal University Research Colloquium (URECOL)*, pp. 105-103, 2018.
- [16] Badan Standarisasi Nasional, "Arang Aktif Teknis," Badan Standarisasi Nasional, SNI 06-3730-1995, 1995.
- [17] Riki Irawandi, Silvia Reni Yenti, and Chairul Chairul, "Penentuan Massa dan Waktu Kontak Optimum Adsorpsi Karbon Aktif dari Ampas Tebu sebagai Adsorben Logam Berat Pb," *JOM FTEKNIK*, vol. 2, no. 2, 2015.
- [18] Diki Sany Afuza, "Pembuatan Karbon Aktif Serbuk Kayu Jati Menggunakan Aktivator H₃PO₄ dan Modifikikasi TiO₂," Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Skripsi 2021.
- [19] S. R. Adawiyah, "Modifikasi karbon aktif menggunakan biopolimer kitosan sebagai adsorben ion logam berat timbal, kadmium, dan tembaga.," UIN Sunan Gunung Djati, Bandung, Skripsi 2022.
- [20] Asep Bayu Dani Nandiyanto, Rosi Oktiani, and Risti Ragadhita, "How to Read Interpret FTIR Spectroscopy of Organic Material," *Indonesian Journal of Science & Technology*, vol. 1, pp. 97-118, April 2019.
- [21] K Y Foo and B H Hameed, "Insights into the modeling of adsorption isotherm systems," *Chemical Engineering Journal*, vol. 156, no. 1, pp. 2 - 10, 2010.
- [22] Conklin R Alfred, *Introduction to Soil Chemistry: Analysis and Instrumentation*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2005.