



Model Matematis Bioadsorben dari Tongkol Jagung Termodifikasi Belimbing Wuluh sebagai Pengolahan Limbah Logam Cu Artifisial

Mathematical Model of Bioadsorbent from Modified Starfruit Corn Cobs Processing of Artificial Cu Metal Waste

Novan Sandhi Pradana¹, Firly Firmalya^{1*}, Ketut Sumada¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Jalan Raya Rungkut Madya No. 1, Gunung Anyar, Surabaya, Indonesia 60294

*Corresponding Author: 19031010156@student.upnjatim.ac.id

Received: 29th May 2025; Revised: 30th December 2025; Accepted: 31st December 2025

ABSTRAK

Zat pencemar berbahaya yang terdapat dalam limbah diantaranya adalah logam berat Cu (Tembaga). Proses adsorpsi dapat digunakan sebagai metode dalam mengurangi kadar logam berat tembaga. Metode adsorpsi dipilih karena pada proses ini tidak menimbulkan racun dan bahan baku untuk adsorben lebih ekonomis seperti tongkol jagung. Tongkol jagung memiliki kandungan kadar unsur karbon 43,42% dan struktur berpori cukup tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh model matematika yang dapat digunakan dalam penentuan proses adsorpsi logam Cu menggunakan bioadsorben dari tongkol jagung. Proses pembuatan bioadsorben digunakan bahan organik belimbing wuluh sebagai aktivator untuk meningkatkan penyerapan terhadap logam berat tembaga. Proses adsorpsi logam berat tembaga dilakukan dengan cara menambahkan bioadsorben ke dalam limbah cair artifisial dengan variasi massa adsorben 2,5, 5, 7,5, 10, 12,5 gram dan divariasi waktu pengontakan mulai 40 hingga 120 menit. Hasil analisa dari metode Spektrofotometri Serapan Atom (AAS) diketahui persentase penyerapan logam tembaga oleh bioadsorben terbaik yakni sebesar 89,55%. Persentase pada penambahan massa adsorben 12,5 gram, dengan waktu kontak 120 menit. Pada hasil perhitungan model matematika adsorpsi logam berat Cu oleh karbon aktif tongkol jagung menggunakan model Isoterm Langmuir, dengan persamaan yang dihasilkan $y = 0,5497x + 9,968$ dengan nilai $R^2 = 0,994$.

Kata kunci: Bioadsorben, Tongkol Jagung, Adsorpsi, Limbah Artifisial

ABSTRACT

Harmful pollutants found in waste include the heavy metal Cu (Copper). Methods that can be used to reduce the heavy metal content of copper include the adsorption process. This adsorption method was chosen because this process does not produce toxins and the raw materials for adsorbent are more economical, such as corn cobs. Corn cobs have a carbon content of 43,42% and have a sufficiently high porous structure. This research aims to determine a compatible mathematical model for the process of adsorption of Cu waste with corn cobs bioadsorbent. The process of making bioadsorbents uses star fruit organic matter as an activator to increase the absorption of copper and heavy metals. The copper heavy metal adsorption process is carried out by adding the bioadsorbent to artificial liquid waste with adsorbent mass variations of 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 grams and varying harvesting times from 40 to 120 minutes. The results of the analysis using the Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) method revealed that the percentage of copper metal absorption by the best bioadsorbent is 89.55%. This percentage was observed with an adsorbent mass addition of 12.5 grams and a contact time of 120 minutes. Based on the calculations of the mathematical model of heavy metal Cu adsorption by activated carbon from corn cobs using the Langmuir Isotherm model, the resulting equation is $y = 0.5497x + 9.968$ with a value of $R^2 = 0.994$.

Keywords: Bioadsorbent, Corn Cobs, Adsorption, Artificial Metal Waste

Copyright © 2026 by Authors, Published by JITK. This is an open-access article under the CC BY-SA License (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>).

How to cite: Firly Firmalya, Novan Sandhi Pradana, & Ketut Sumada. The Mathematical Model of Bioadsorbent from Modified Starfruit Corn Cobs as Processing of Artificial Cu Metal Waste. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 10(1), 51–60.

Permalink/DOI: [10.32493/jitk.v10i1.49351](https://doi.org/10.32493/jitk.v10i1.49351)



PENDAHULUAN

Pembangunan industri juga dapat menimbulkan dampak negatif, terutama dari limbah yang dihasilkan dapat berpotensi mencemari lingkungan dan ekosistem. Setiap hari industri melakukan proses produksi yang menghasilkan limbah industri dan mengandung bahan berbahaya. Bahan pencemar di lingkungan salah satunya logam berat. Logam berat termasuk jenis polutan yang tidak dapat diuraikan.

Banyak metode yang dapat diterapkan dalam menangani limbah tembaga (Cu). Metode yang telah banyak digunakan adalah metode adsorpsi. Metode adsorpsi memiliki sifat *reversible*, sehingga pengoperasian lebih ekonomis. Definisi dari adsorpsi merupakan proses pemisahan molekul gas atau cair yang kemudian diserap zat padat sehingga proses ini hanya terjadi di permukaan. Zat yang diserap yaitu adsorbat, sedangkan zat padat menyerap bahan kontaminan yaitu adsorben. Sedangkan absorpsi merupakan proses penyerapan suatu zat ke dalam seluruh volume media penyerap, sehingga zat yang diserap terdistribusi secara merata. Bioadsorben disintesis dari bahan alami yang terdapat kandungan karbon yang cukup tinggi, dengan proses karbonasi dan aktivasi supaya memiliki kemampuan adsorpsi lebih tinggi. Daya adsorpsi dipengaruhi luas permukaan adsorben, temperatur, dan waktu kontak (Wijayanti dkk., 2018).

Diantara limbah pertanian yang mudah dipadatkan yaitu tongkol jagung. Data Badan Pusat Statistik pada tahun 2020, Indonesia menghasilkan limbah bonggol jagung sekitar 5,7 juta ton setiap tahunnya. serta berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber daya yang bernilai. Produksi jagung meningkat setiap tahun yang menyebabkan jumlah limbah tongkol jagung ini semakin bertambah dan melimpah. Pemanfaatan limbah tongkol jagung diharapkan dapat mengatasi permasalahan limbah yang ada di lingkungan. Tongkol jagung dimanfaatkan sebagai bioadsorben karena memiliki struktur yang berpori serta terdapat unsur 41 % selulosa dan 36% hemiselulosa. Selulosa memiliki

gugus fungsi yang dapat melakukan pengikatan dengan ion logam.

Belimbing wuluh merupakan buah yang memiliki banyak kandungan senyawa bioaktif seperti saponin, tannin, glukosa sulfur, asam format, peroksida, flavonoid, dan triterpenoid. Kandungan senyawa ini digunakan dalam proses aktivasi bioadsorben dalam bentuk asam, basa, atau garam. Sebagai alternatif limbah tongkol jagung dimanfaatkan menjadi karbon aktif dan belimbing wuluh sebagai aktivator alami sehingga, mengurangi limbah pertanian yang sangat banyak dan berlimpah. Belimbing wuluh digunakan sebagai aktivator yang berpengaruh terhadap kemampuan daya adsorpsi iodium (Kurniasih dkk., 2020). Konsentrasi aktivator dalam proses pembuatan karbon memiliki peranan yang sangat penting dalam menentukan standar kualitas dan karakteristik bioadsorben, dalam penyerapan bioadsorben. Semakin tinggi konsentrasi aktivator yang digunakan, maka akan semakin tinggi kemampuan daya serap yang dimiliki. Belimbing wuluh mengandung asam organik alami yang berperan sebagai aktivator dalam pembentukan pori karbon. Meskipun kekuatan aktivasinya lebih rendah dibandingkan aktivator kimia seperti HCl, belimbing wuluh memiliki keunggulan dari segi ketersediaan, biaya, aspek lingkungan sehingga berpotensi sebagai aktivator alami yang berkelanjutan. Selama proses karbonasi dan aktivasi bioadsorben, unsur gas, hidrogen, dan air dihilangkan dari permukaan karbon. Pemberian aktivator pada proses pembuatan karbon bertujuan untuk meningkatkan efisiensi adsorben melalui pengembangan struktur pori dan peningkatan luas permukaan yang spesifik. Aktivator bekerja dengan cara melarutkan komponen non-karbon, membuka pori yang tertutup, memperbesar ukuran pori. Terdapat perubahan pada struktur permukaan. Kemampuan penyerapan bergantung pada luas permukaan partikel dan kapabilitas dapat ditingkatkan melalui proses aktivasi (Dewi, dkk., 2020). Temperatur dalam karbonasi merupakan parameter yang digunakan untuk melihat pengkarbonan yang baik, sehingga diperoleh biokarbon yang sesuai standar yang ditetapkan.



Standar karbon aktif yang digunakan adalah SNI 06-3730-1995, kadar air yang diizinkan maksimal 15% dan kadar abu maksimal sebesar 10% (BSN 1995). Hilangnya molekul air pada karbon aktif mengakibatkan pori-pori membesar dan memperluas permukaan biokarbon. Penyumbatan pori-pori pada karbon aktif disebabkan karena kadar abu yang berlebihan. Dikarenakan kadar abu merupakan sisa mineral yang tidak terbakar, sehingga saat pengarang dapat membentuk partikel-partikel halus dari garam mineral yang dapat menyumbat pori-pori (Ramadhani, 2024).

Bioadsorben dapat dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) ditunjukkan untuk mengamati bentuk dan struktur permukaan bioadsorben. Pengamatan terhadap morfologi permukaan karbon aktif dan struktur pori-pori dari berbagai variasi konsentrasi dengan perbesaran antara 250 hingga 500x. Sehingga memungkinkan analisa morfologi lebih akurat mampu menampilkan detail karakteristik bioadsorben yang terbentuk.

Penelitian terdahulu yang pernah dilakukan oleh Sanjaya, dkk., (2015) mengenai Kinetika Adsorpsi Cu dengan Karbon Aktif dari Kulit Pisang didapatkan hasil adsorpsi Cu melalui proses karbonasi pada konsentrasi 4 ppm melalui proses karbonisasi pada suhu 400°C, massa 2 gram, selama 30 menit, dan waktu kontak selama 60 menit, menunjukkan bioadsorben dari kulit pisang memiliki kemampuan adsorptif yang baik terhadap ion Cu dan menunjukkan tingkat efisiensi daya serap paling efektif, menggunakan persamaan langmuir lebih tepat digunakan dalam penelitian ini. Berbagai jenis bioadsorben menunjukkan perbedaan kapasitas serta penggunaan aktivator dalam proses adsorpsi, nilai kapasitas adsorpsi dari suatu bioadsorben dapat ditentukan menggunakan model kesetimbangan adsorpsi, seperti Langmuir, Freundlich, atau Temkin (Sanjaya dkk., 2015). Mengenai Kesetimbangan Adsorpsi Isotermis Logam Fe (II) menggunakan Karbon Aktif dari Tongkol Jagung dengan

aktivator Natrium Bikarbonat diperoleh kesimpulan bahwa proses adsorpsi yang efisien terjadi pada kecepatan pengadukan 150 rpm selama 15 menit dengan konsentrasi Fe 100 ppm, dapat diwakilkan dengan persamaan Langmuir (Sobah dkk., 2020). Dengan demikian, sangat penting untuk dilakukan penelitian penentuan model matematis yang tepat untuk bioadsorben dari tongkol jagung menggunakan aktivator dari belimbing wuluh sebagai penyerap limbah logam berat tembaga.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Pada penelitian ini bahan utama yang digunakan adalah tongkol jagung, belimbing wuluh, limbah cair artifisial yang mengandung tembaga (Cu) dari padatan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Sedangkan bahan pembantu yang digunakan meliputi, Aquadest dan Etanol 96%.

Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah, Rangkaian alat pirolisis, dan destilasi, erlenmeyer, stirrer, oven, glassware, kertas saring, corong, neraca massa, ayakan, dan kertas pH. Untuk analisis digunakan instrumen Spektrofotometri UV-Vis.

Treatment Bahan

Tongkol jagung dipotong dan dicuci sampai bersih dari kontaminan dan di keringkan dibawah sinar matahari hingga kadar air 20%, kemudian di grinding dengan blender sampai hancur. Selanjutnya karbonasi menggunakan alat pirolisis dengan suhu 270°C selama 45 menit, kemudian dikarbonasi ulang menggunakan furnace dengan suhu 400°C selama 30 menit, untuk meningkatkan derajat karbonisasi dan memperbaiki struktur karbon. Kemudian karbon tongkol jagung digiling dan diayak hingga didapatkan ukuran karbon seragam 50 mesh.

Belimbing wuluh dicuci hingga bersih dari kontaminan kemudian keringkan dibawah sinar matahari hingga kadar air 20%. Giling belimbing wuluh dengan diblender hingga hancur. Kemudian ekstraksi belimbing wuluh dengan etanol 80% selama 24 jam. Destilasi



ekstrak belimbing wuluh agar terpisah dari pelarutnya

Aktifasi Karbon Menjadi Karbon Aktif

Karbon tongkol direndam dalam aktivator ekstrak belimbing wuluh dengan perbandingan volume aktivator dan massa bioadsorben 4 : 1 selama 24 jam, kemudian netralkan bioadsorben dengan aquadest hingga pH = 7, Keringkan bioadsorben menggunakan oven dengan suhu 100°C selama 30 menit untuk mengurangi kadar air yang terkandung dalam bioadsorben. Didapatkan adsorben dari tongkol jagung.

Analisis Karakterisasi Proksimat, SEM dan FTIR

Adsorben dari tongkol jagung diuji proksimat sesuai SNI 06-3730-1995. Kadar tembaga dengan menggunakan perhitungan dan akan dilakukan Analisa *Scanning Electron Microscope* (SEM) mode *secondary electron* dengan perbesaran hingga 250x pada tegangan percepatan 20 kV, jarak kerja 6,0 mm untuk mengamati permukaan dari sebelum dan setelah dilakukan aktivasi dengan aktivator belimbing wuluh. Karakterisasi gugus fungsi permukaan adsorben dilakukan menggunakan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) pada gelombang 4000-400 cm^{-1} .

Pembuatan Larutan Limbah Cu

Sampel dibuat dengan menimbang $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ sebanyak 6,44 gram, kemudian dimasukan ke dalam labu ukur dan dilarutkan dengan aquadest hingga volume 1000 ml. hasil dari pelarutan adalah larutan induk Cu dengan konsentrasi 1000 ppm. Kemudian pipet larutan utama Cu 1000 ppm sebanyak 10 ml kemudian diencerkan dengan aquadest hingga batas atas labu ukur atau 100 ml. Dihasilkan Larutan sampel yang mengandung Cu artifisial dengan kadar 100 ppm.

Pengujian Daya Adsorpsi Adsorben Tongkol Jagung

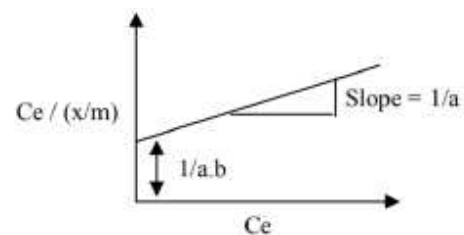
Penentuan Kapasitas Adsorpsi

Adsorpsi logam tembaga digunakan adsorbent tongkol jagung dengan variasi massa 2,5 gram, 5 gram, 7,5 gram, 10 gram dan 12,5gram. Masukkan bioadsorben kedalam Erlenmeyer yang berisi larutan Cu artifisial konsentrasi 100 ppm dan aduk selama 2 menit dengan kecepatan 150 rpm dengan magnetic stirrer. Pengontakan dilakukan dengan variasi waktu adsorpsi 40 menit, 60 menit, 80 menit, 100 menit, dan 120 menit. Kemudian lakukan penyaringan untuk memisahkan residu dan filtrat limbah tembaga.

Filtrat proses adsorbs dianalisa dengan *Atomic Absorption Spectrophotometry* untuk mengetahui daya serap bioadsorben terhadap limbah Cu. Kemudian dibuat model matematika bioadsorben tongkol jagung didasarkan pada data daya serap bioadsorben yang dipengaruhi oleh massa bioadsorben dan lama waktu adsorbs.

Isoterm Langmuir

Model matematis Langmuir mendeskripsikan terjadinya proses adsorpsi monolayer pada permukaan, sehingga tidak ada interaksi antar lapisan, maka di asumsi :



Gambar 1. Hubungan antara $Ce/(x/m)$ dan (Ce)

Persamaan Isoterm Langmuir dinyatakan dengan persamaan:

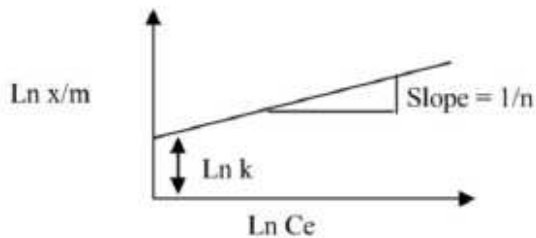
$$\frac{Ce}{\left(\frac{x}{m}\right)} = \frac{1}{a \cdot b} + \frac{1}{a} Ce \dots\dots\dots 1$$

Keterangan : a,b = konstanta empiris isotherm Langmuir, Ce = konsentrasi logam Cu sisa (mg/l), x/m = efektifitas adsorpsi



Isoterm Freundlich

Proses isoterm Freundlich disebut juga proses adsorbs yang terjadi secara fisika, karena dalam prosesnya terjadi ikatan antar molekul di beberapa lapisan, maka diasumsikan:



Gambar 2. Hubungan antara ln (x/m) dan ln Ce

Persamaan isoterm Freundlich dapat dirumuskan:

$$\ln \frac{x}{m} = \ln K + \frac{1}{n} \ln C_e \dots \dots \dots 2$$

Keterangan : k,n = konstanta empiris isotherm Freundlich, Ce = konsentrasi logam Cu sisa (mg/l), x/m = efektifitas adsorpsi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Hasil Uji Proksimat Karbon Aktif

Sifat kimia bioadsorben dari tongkol jagung diperoleh melalui karakterisi EDX dan analisis proksimat. Analisis proksimat dilakukan untuk menilai kualitas dari bioadsorben dari tongkol jagung setelah dilakukan aktivasi,

Tabel 1. Hasil analisis proksimat dan EDX dari karbon aktif tongkol jagung

Parameter	Kadar (%)	SNI 06-3730-1995
Karbon (C)	85,959	Min 65
Kadar Air	0,953	Maks 15
Kadar Abu	1,493	Maks 10

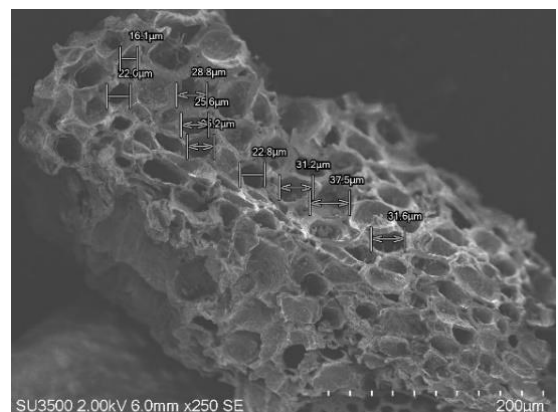
Berdasarkan Tabel 1 hasil analisa, bioadsorben yang dihasilkan telah sesuai dengan standart nasional Indonesia (SNI) 06-3730-1995 yang menandakan bahwa bioadsorben dari limbah tongkol jagung memenuhi syarat sebagai bioadsorben.

Hasil analisa kadar karbon mengalami peningkatan dari bahan baku tongkol jagung sebesar 45,326 % menjadi 85,959 %. Pada proses karbonasi bertujuan mengubah tongkol jagung menjadi material karbon melalui pemanasan tinggi. Tingginya kadar karbon dalam bioadsorben menunjukkan telah banyak senyawa-senyawa volatil dari bahan sumber tongkol jagung yang menguap dalam proses karbonasi dengan temperature tinggi, sehingga tingkat kemurnian karbon dari bioadsorben semakin tinggi (Kosim dkk., 2022). Kadar air yang didapatkan dari bioadsorben kecil sebesar 0,953 %. Kadar air yang rendah dalam bioadsorben menunjukan bahwa banyaknya pori pori dari bioadsorben yang sudah terbuka, karena air yang terkandung didalamnya sudah menguap dalam proses pirolisis dan pengeringan, sehingga semakin baik kualitas bioadsorben tersebut.

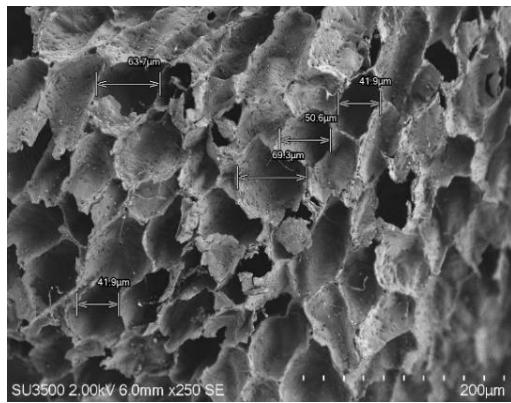
Analisa Morfologi Karbon Aktif

Morfologi bioadsorben dari tongkol jagung dapat diamati menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). SEM-EDX memberikan gambar beresolusi tinggi untuk mengetahui perbedaan jumlah permukaan pori karbon limbah tongkol jagung sebelum dan sesudah aktivasi dengan menggunakan aktivator belimbing wuluh. Berikut ini adalah gambar yang menunjukkan morfologi permukaan bioadsorben dari tongkol jagung.

Morfologi Struktur Pori Bioadsorben Sebelum Aktivasi dan Setelah Aktivasi



(a)



(b)

Gambar 3. Morfologi Bioadsorben sebelum Aktivasi (a) dan Morfologi pori Bioadsorben setelah Aktivasi (b)

Berdasarkan Gambar 3 hasil SEM bioadsorben dari tongkol jagung sebelum dan sesudah diaktivasi dengan belimbing wuluh sebagai aktivator dengan perbesaran 250x. Didapatkan hasil yang berbeda morfologi antara karbon sebelum dan sesudah diaktivasi dengan belimbing wuluh. Pada Gambar (a) karbon tanpa aktivasi. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa pori-pori karbon berdiameter sebesar 26,76 mikrometer. Pada Gambar (b) karbon dengan aktivasi belimbing wuluh dengan konsentrasi aktivator 80% selama 24 jam. Berdasarkan hasil uji yang dilakukan terlihat bioadsorben mempunyai morfologi sisi aktif berongga atau berpori. Rongga – rongga tersebut memiliki ukuran yang beragam dengan rata rata mempunyai diameter sebesar 53,48 mikrometer.

Hal ini menunjukan bahwa struktur rongga dalam permukaan bioadsorben yang digunakan dalam proses adsorpsi molekul adsorbat, dapat di perluas dengan penambahan zat aktivator pada karbon (Tarmidzi dkk., 2021). Karena struktur bioadsorben yang belum dilakukan aktivasi sebagian besar masih tertutup oleh senyawa organik seperti abu, air dan belerang (Wijaya dkk., 2022).

Adsorpsi Isotherm

Kadar tembaga yang dihasilkan dari

penelitian dengan sebelum dan sesudah penggunaan bioadsorben pengujian menggunakan metode AAS.

Tabel 2. Hasil Analisa pengaruh berat bioadsorben dan waktu adsorpsi dengan presentasi penurunan logam tembaga artifisial

Waktu (menit)	Massa Karbon Aktif (gram)				
	2,5	5	7,5	10	12,5
	Persen Penurunan Kadar Cu (%)				
0	88,55	88,55	88,55	88,55	88,55
40	35,01	56,60	70,78	76,42	82,29
60	35,90	57,26	72,26	78,44	83,70
80	36,94	58,60	74,43	80,12	85,70
100	38,61	61,37	76,87	83,12	88,22
120	39,05	63,42	77,94	86,32	89,55

Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui data kadar Cu awal sebelum proses adsorpsi dan kadar Cu akhir setelah proses adsorpsi. Data tersebut digunakan untuk menghitung nilai presentase penurunan kadar Cu dalam limbah cair artifisial. Penurunan kadar Cu terbaik yaitu pada kondisi waktu pengontakkan selama 120 menit dengan massa karbon aktif sebanyak 12,5 gram, diperoleh persentase penurunan kadar Cu sebesar 89,55%. Dalam kondisi kadar logam Cu mula-mula di dalam limbah cair artifisial sebesar 88,55 ppm dan kondisi akhir sebesar 9,49 ppm. Hal tersebut membuktikan bahwa bioadsorben tongkol jagung dapat menurunkan kadar logam berat tembaga dengan baik pada limbah cair artifisial.

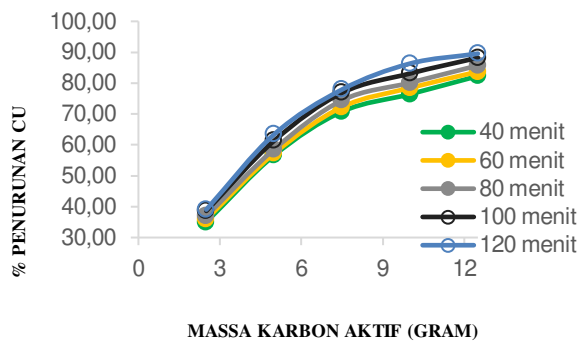
Tabel 3. Perbandingan Adsorpsi Bioadsorben dari Tongkol Jagung dan Karbon Aktif Komersil

Nama Sampel	Waktu (Menit)	Konsentrasi Awal Cu (ppm)	Konsentrasi akhir Cu (ppm)	% Cu Terjerap
Massa 5 gram	40	88,55	38,43	56,6
Karbon aktif komersil	40	88,55	12,26	86,16

Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui bahwa daya serap dari bioadsorben dari tongkol jagung aktivasi belimbing wuluh dengan massa bioadsorben 5 gram dan waktu adsorpsi 40 menit didapat kan penurunan kadar logam tembaga 56,6%. Karbon aktif yang dijual secara komersil dengan massa karbon 5 gram dan waktu adsorpsi 40 menit didapatkan hasil



penurunan logam tembaga sebesar 86,16%.



Gambar 4. Hubungan antara berat bioadsorben dengan presentasi penurunan logam tembaga artifisial dengan variasi waktu adsorpsi

Berdasarkan Gambar 4 menyatakan kadar tembaga yang terkandung dalam sampel mengalami penurunan secara bertahap, sehingga membuat persentase penurunan logam tembaga meningkat hingga menit ke 120 menit. Peningkatan persentase penurunan Cu dan bertambahnya waktu kontak, menunjukkan jumlah ion Cu yang terikat di permukaan bioadsorben meningkat secara bertahap hingga mendekati kondisi setimbang adsorpsi. Persamaan reaksi yang terjadi saat proses adsorpsi yaitu



Berdasarkan persamaan reaksi 1 didapatkan rasio mol antara adsorbat dan bioadsorben 1 : 1, sehingga secara stokiometri terjadi karena berhubungan dengan waktu adsorpsi dengan kadar logam tembaga yang terserap dalam bioadsorben, semakin lama waktu pengontakan maka kesempatan logam tembaga terikat dengan dari sisi aktif bioadsorben juga akan semakin tinggi (Atikah dkk., 2019). Didapatkan juga hasil analisis massa bioadsorben mempengaruhi kemampuan daya penyerapan logam tembaga, karena penurunan logam tembaga yang didapatkan cenderung meningkat setiap pemberian penambahan berat bioadsorben. Karbon aktif dengan massa yang lebih besar akan menyebabkan bertambahnya jumlah partikel dan luas

permukaan karbon aktif sehingga bertambahlah sisi aktif adsorpsi dan menyebabkan efisiensi penyerapannya pun bertambah (Angraini dkk., 2021).

Penelitian yang dilakukan Istighfari tahun 2017 diperoleh hasil pada waktu adsorpsi 120 menit dan massa adsorbent 16 gram tercapai penyerapan logam Cu tertinggi. Namun, terjadi penurunan penyerapan logam tembaga pada massa dan waktu kontak adsorpsi. Pada kondisi jenuh, laju adsorpsi menjadi berkurang karena terjadi pergesekan adsorbat di permukaan bioadsorben, yang menyebabkan bidang kontak tidak mampu menyerap ion logam Cu kembali (Baros dkk., 2003). Pada saat pori-pori adsorben telah terisi penuh oleh molekul molekul adsorbat maka akan terjadi kejenuhan didalamnya dan mengakibatkan kereaktifan menurun dan kesetimbangan adsorpsi tercapai (Ariyanto dkk., 2021)

Tabel 4. Hasil perhitungan harga x/m , $C/(x/m)$, $\ln(x/m)$, dan $\ln C$

Massa Karbon Aktif (gram)	X (mg)	C (ppm)	x/m (mg/g)	$\ln(x/m)$	$C/(x/m)$ (g/l)	$\ln C$ (ppm)
2,50	3,46	53,97	1,38	0,32	39,02	3,99
5,00	5,62	32,39	1,12	0,12	28,84	3,48
7,50	6,90	19,53	0,92	-0,08	21,22	2,97
10,00	7,64	12,11	0,76	-0,27	15,84	2,49
12,50	7,91	9,49	0,63	-0,46	15,00	2,25

Berdasarkan Tabel 4 diketahui data massa bioadsorben (m) gram dan nilai limbah Cu yang terserap (x) mg. Data tersebut digunakan untuk menghitung data (C, ln C) dan $(\frac{x}{m}, \ln \frac{x}{m})$. Data yang telah dihitung dapat digunakan membuat grafik untuk penentuan model matematik isotherm adsorpsi langmuir dan freundlich setiap massa adsorben. Persamaan isotherm adsorpsi langmuir didapat dengan cara membuat grafik hubungan antara C dengan $(\frac{x}{m})$. Sedangkan Persamaan isotherm adsorpsi Freundlich didapat dengan cara

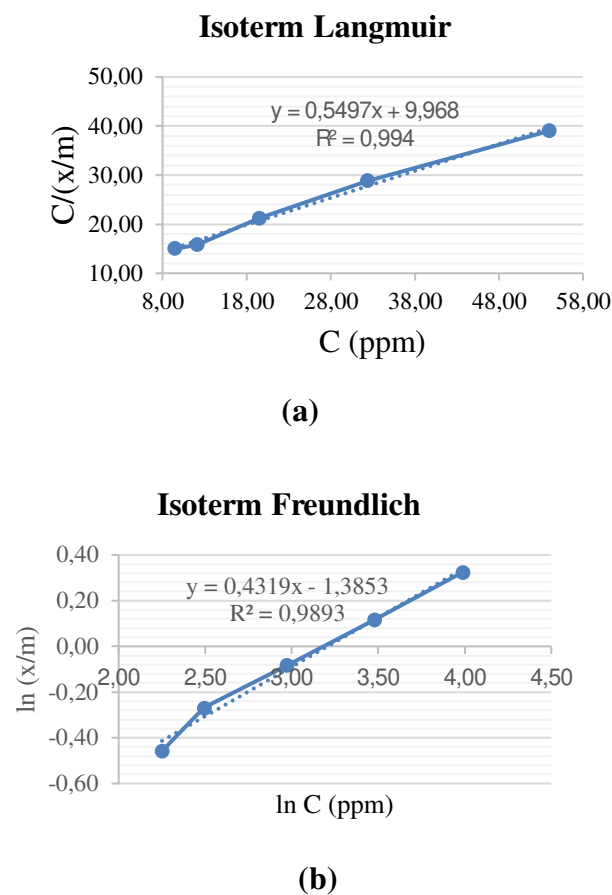


membuat grafik hubungan antara $\ln C$ dengan $\ln \left(\frac{x}{m}\right)$.

Tabel 5. Harga Notasi Isotherm Langmuir dan Freundlich

Isotherm	Konstanta	Nilai
Langmuir	A	1,819
	B	0,031
Freundlich	K	3,996
	N	2,315

Persamaan Adsorpsi Isotherm Langmuir dari C vs $C/\left(\frac{x}{m}\right)$ dan Persamaan Adsorpsi Isotherm Freundlich dari $\ln C$ vs $\ln \left(\frac{x}{m}\right)$



Gambar 5. Grafik model Isotherm Langmuir dengan C vs $C/\left(\frac{x}{m}\right)$ dan Mode Isotherm Freundlich dengan $\ln C$ vs $\ln \left(\frac{x}{m}\right)$

Berdasarkan Gambar 5 isotherm langmuir diatas diperoleh nilai R^2 yaitu 0,994. Pada grafik isotherm Freundlich diperoleh nilai R^2 sebesar 0,9893. Dengan membandingkan nilai regresi linier (R^2) pada

kedua grafik dapat menunjukkan model matematika dari adsorpsi bioadsorben dari tongkol jagung dengan activator belimbing wuluh. Semakin nilai regresi linier mendekati 1 maka semakin kuat pengaruh variable adsorpsi dengan model isotherm adsorpsi. Berdasarkan hasil kedua grafik isotherm di atas, penyerapan logam Cu oleh bioadsorben tongkol jagung cenderung mengikuti persamaan isotherm Langmuir daripada isotherm Freundlich. Hal ini dikarenakan nilai R^2 untuk grafik Langmuir, yaitu 0,994, mendekati 1.

Tabel 6. Model Isotherm Langmuir dengan Hasil Uji

Massa Karbon Aktif (gram)	C ($\frac{x}{m}$) (g/l)	Model Matematis (g/l)	% kesalahan (%)
2,5	39,02	47,538	8,5
5	28,84	35,676	6,8
7,5	21,22	28,607	7,4
10	15,84	24,528	8,7
12,5	15	23,088	8,1
RATA-RATA			7,9

Berdasarkan Tabel 6 diketahui data hasil perhitungan $C_e/(x/m)$ dengan menggunakan persamaan model perhitungan isothermal langmuir setiap massa adsorben. Data yang telah dihitung dapat digunakan untuk menentukan efisiensi kesalahan pengujian dengan persamaan model isotherm adsorpsi langmuir. Massa bioadsorben 5 gram memperoleh efisiensi terbaik dengan persen kesalahan sebesar 5%. Persen kesalahan rata-rata yang di dapatkan dari hasil perhitungan $C/(x/m)$ uji dan $C_e/(x/m)$ perhitungan model sebesar 7,9%. Efisiensi yang didapatkan kurang dari 10%, sehingga dapat disimpulkan bahwa model persamaan adsorpsi isothermal langmuir dapat digunakan pada bioadsorben dari tongkol jagung dengan aktivator ekstrak belimbing wuluh.

Berdasarkan hasil penelitian adsorpsi ion Cu oleh bioadsorben tongkol jagung lebih mengikuti pola isotherm Langmuir dengan persamaan yang dihasilkan $y = 0,5497x + 9,968$ dengan nilai $R^2 = 0,994$. Berdasarkan



persamaan isoterm langmuir dan model persamaan isoterm yang didapatkan dalam penelitian digunakan sebagai menentukan persamaan mencari kebutuhan bioadsorben dalam adsorpsi logam Cu (m) yaitu:

$$m = \frac{m \times ce}{9,968 + 0,5497 \times ce} \dots\dots\dots 4$$

Persamaan ini dapat digunakan di industri dalam pengolahan logam Cu, khususnya untuk menghitung jumlah massa bioadsorben dari tongkol jagung yang dibutuhkan.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Proses adsorpsi dengan bioadsorben dari tongkol jagung yang di aktivasi dengan activator alami asam belimbing wuluh 80% dapat menyerap limbah artifisial logam Cu sebesar 89,55%, pada kondisi optimum waktu pengontakan 120 menit dengan massa adsorben 12,5 gram. Karena akan terjadi kondisi jenuh untuk variable yang lebih tinggi. Adsorpsi logam berat Cu oleh bioadsorben tongkol jagung mengikuti model Isoterm Langmuir dengan persamaan yang dihasilkan $y = 1,8082x - 17,871$ dengan nilai $R^2 = 0,994$.

Saran

Variabel lain harus digunakan dalam penelitian selanjutnya. Untuk menentukan bagaimana bioadsorben tongkol jagung mempengaruhi penyerapan logam berat Cu, faktor-faktor seperti periode aktivasi, jenis aktivator, dan ukuran penting untuk diperhatikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggriani, M, U., Hasan A. (2021). Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif Dalam Penurunan Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) Dan Timbal (Pb). *Jurnal Kinetika*. 12(02). 29-37
- Kosim, E, M., Siskayanti, R. (2022). Perbandingan Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif Dari Kulit Singkong Dengan Karbon Aktif Komersil

Terhadap Logam Tembaga Dalam Limbah Cair Electroplating. *Jurnal Teknik Kimia*. 7(01). 36-47

- Ariyanto, E., Kharismadewi., (2021). Analisa Kemampuan Dan Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif Dari Cangkang Ketapang Terhadap Zat Warna Metil Oranye, *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*. 32(2), 166-178.
- Badan Pusat Statistik Nasional (BPS),. (2016), 'Produksi Tanaman Jagung', Indonesia, <https://www.bps.go.id/dynamictable/2015/09/09/868/produksi-jagung-menurut-provinsi-ton-1993-2015> diakses 10 Oktober 2021
- Barros Júnior, L. M., Macedo, G. R., Duarte, M. M. L., Silva, E. P., dan Lobato, A. K. C. L. (2003). Biosorption of cadmium using the fungus *Aspergillus niger*. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 20(3), 229-239.
- Dewi, R., Azhari, A. & Nofriadi, I. (2020). Aktivasi Karbon dari Kulit Pinang dengan Menggunakan Aktivator Kimia KOH. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 9(2), 12-22. <https://doi.org/10.29103/jtku.v9i2.3351>
- Kurniasih, A., Pratiwi, D. A. & Amin, M. (2020). Pemanfaatan Ampas Tebu Sebagai Karbon Aktif Dengan Aktivator Larutan Belimbing Wuluh (*Averrhoa Bilimbi* L.). *Jurnal Kesehatan Lingkungan Ruwa Jurai*, 14(2), 56-63. <https://doi.org/10.26630/rj.v14i2.2287>
- Nurafriyanti, N., Prihatini, N. S. & Syauqiah, I. (2017). Pengaruh Variasi pH Dan Berat Adsorben Dalam Pengurangan Konsentrasi Cr Total Pada Limbah Artifisial Menggunakan Adsorben Ampas Daun Teh, *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 3(1), 56–65. <https://doi.org/10.20527/jukung.v3i1.3200>
- Ramadhani, N., Bahri, S., Zulnazri., Sylvia, N. & Dewi, R. (2024). Pembuatan Adsorben dari Tongkol Jagung (*Zea Mays*) Dengan Aktivator CaCl₂ Untuk Penyerapan Logam Fe (II) Dalam Air. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia*



- Universitas Malikussaleh*, 3(1), 2-9.
<https://doi.org/10.29103/sntk.v4.2024>
- Rengga. (2019). Kesetimbangan Adsorpsi Isotermal Logam Cu Dan Cr Pada Limbah Batik Menggunakan Adsorben Tongkol Jagung (*Zea Mays*)', *Journal Of Chemical Process Engineering*. 4(2) SNI 06-3730-1995, Karbon Aktif Teknis, Badan Standarisasi Nasional, Surabaya
- Sobah, S., Adam., Triyatno, J. & Anoi, Y. H. (2020). Kesetimbangan Adsorpsi Isotermis Logam Fe (Ii) Pada Karbon Tongkol Jagung. *Al Ulum Sains dan Teknologi*, 5(2), 58-63.
- Tarmidzi. (2021). Pengaruh Aktivator Asam Sulfat dan Natrium Klorida pada Karbon Aktif Batang Semu Pisang untuk Adsorpsi Fe. *Jurnal Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan*, 5(1), 17-21.
- Wijaya, S. L., Afuza, S. D. & Kurniati, E. (2022). Arang Aktif Serbuk Kayu Jati Menggunakan Aktivator H₃po₄ Dan Modifikasi Tio₂. *Jurnal Teknik Kimia*, 16(2), 76-79.
- Wijayanti, A., Sysatyo, E. B., & Kurniawan, C. (2018). Adsorpsi Logam Cr(VI) dan Cu(II) pada Tanah dan Pengaruh Penambahan Pupuk Organik. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(3), 242-248.
<https://doi.org/10.15294/ijcs.v7i3.22011>