



PENURUNAN LOGAM KADMIUM (CD) DALAM AIR MENGUNAKAN ADSORBEN BERBASIS MAHKOTA NANAS

Nazla Zaharani Fatih¹, Puji Lestari², Eko Siswoyo³

¹*Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jalan Kaliurang KM 14,5, Krawitan, Umbulmartani, Ngemplak, Sleman, Yogyakarta 55584*

^{2,3}*Staf Pengajar, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jalan Kaliurang KM 14,5, Krawitan, Umbulmartani, Ngemplak, Sleman, Yogyakarta 55584*

Korespondensi email: 21513090@students.uii.ac.id

Abstrak

Cadmium (Cd) is a heavy metal that can harm ecosystems and human health even at low concentrations. Elevated Cd levels may contaminate the food chain and cause health disorders, including kidney damage. Adsorption is considered a promising removal method due to its simplicity, efficiency, and low cost. This study investigates the potential of pineapple crown as a natural adsorbent for cadmium removal from water. A batch adsorption system was applied using non-activated pineapple crown with variations in pH, cadmium concentration, and contact time to determine optimal conditions. Humic acid was also added at different concentrations to evaluate its effect on adsorption performance. The adsorbent was characterized using FTIR and SEM, while cadmium levels were analyzed using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). The findings indicate that optimal adsorption occurred at pH 7, 10 ppm Cd concentration, and 120 minutes contact time. The adsorption process followed the Langmuir isotherm and second-order kinetic model. The addition of humic acid showed an optimum response at 5%, but its influence was not significant. The maximum removal efficiency reached 88.77%, demonstrating that pineapple crown is an effective and sustainable adsorbent for Cd removal.

Informasi Artikel

Diterima: 2 September 2025
Direvisi: 17 September 2025
Dipublikasikan: 26 September 2025

Keywords

Adsorpsi, Kadmium, Mahkota Nanas, Asam Humat

I. Pendahuluan

Air bersih adalah salah satu bagian dari kebutuhan makhluk hidup dan termasuk sebagai sumber daya terbatas yang harus dikelola agar terciptanya keseimbangan kebutuhan dan ketersediaan air bersih [1]. Tidak sedikit air yang dikonsumsi masyarakat telah terkontaminasi logam berat seperti Kadmium (Cd) [2]. Sumber logam berat kadmium dapat berasal dari sumber alami seperti pelapukan batuan maupun sumber antropogenik seperti pabrik besi, industri pertambangan, dan sumber lainnya [3]. Walaupun kadar kontaminasi kadmium relatif rendah, namun kadmium masih berdampak buruk pada lingkungan maupun kesehatan manusia seperti gangguan pada rantai makanan serta gangguan kesehatan seperti gangguan ginjal.

Adapun salah satu metode pengolahan untuk menurunkan kadar kadmium dalam air adalah metode adsorpsi. Metode adsorpsi adalah metode untuk menurunkan adsorbat (zat pencemar) menggunakan adsorben sebagai zat penyerap [4]. Metode adsorpsi merupakan salah satu metode yang umum di masyarakat karena metode ini efektif, efisien, dan membutuhkan biaya yang rendah karena memanfaatkan biomassa sebagai adsorben [5]. Limbah yang berasal dari bahan organik seperti limbah tanaman nanas dapat menjadi bioadsorben. Diketahui bagian nanas yang memiliki kandungan selulosa tinggi adalah bagian daun mahkota nanas dengan struktur yang berserat, permukaan dan porositas yang besar [6]. Unsur-unsur karbon menyusun struktur senyawa selulosa sehingga bagian mahkota nanas ini cocok untuk dijadikan adsorben karbon aktif [7]. Pada penelitian ini, efektivitas adsorben mahkota nanas kemungkinan dapat ditingkatkan dengan menambah senyawa organik yang memiliki kemampuan untuk menyerap polutan seperti senyawa asam humat. Asam humat merupakan senyawa organik dengan gugus fungsional -COOH, -OH fenolat, dan -OH alkoholat yang mampu mengikat logam [8]. Gugus-gugus fungsional ini memiliki sifat penting dalam mempengaruhi kemampuan adsorpsi melalui keasamannya, pertukaran ion, koloid, dan sifat yang kompleks. Hal ini yang menjadikan asam humat dapat memurnikan air dari logam berat dan meningkatkan kualitas air [9].

Adsorben mahkota nanas pernah diuji pada penelitian [4] untuk mengadsorpsi Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), dan amonia (NH₃) pada air limbah industri karet. Adsorben tersebut diaktivasi menggunakan basa kuat KOH dengan efisiensi penyisihan BOD tertinggi adalah 94,35%, COD sebesar 95,19%, dan amonia sebesar 97,87%. Adapun penelitian yang menggunakan biomassa nanas pada penelitian [10] untuk mengadsorpsi limbah artifisial kadmium. Adsorben biomassa nanas dibagi menjadi dua yaitu adsorben biomassa nanas murni tanpa aktivasi dan biomassa nanas teraktivasi NaOH 10% dengan efisiensi penyisihan kadmium menggunakan biomassa nanas murni sebesar 98,87% dan menggunakan biomassa nanas teraktivasi sebesar 98,83%. Pada penelitian ini, akan dilakukan analisis efektivitas adsorben mahkota nanas dalam penurunan logam kadmium (Cd) di air. Kemudian dilakukan analisis pengaruh variasi parameter pH, waktu kontak, dan konsentrasi logam kadmium terhadap adsorben mahkota nanas pada penurunan logam kadmium. Selain itu, dilakukan penambahan senyawa asam humat untuk mengetahui pengaruhnya terhadap adsorben mahkota nanas dalam melakukan adsorpsi. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi pengetahuan tambahan dalam pemanfaatan mahkota nanas sebagai adsorben untuk penurunan logam kadmium di air.

II. Metodologi

2.1 Alat dan Bahan

A. Alat

Alat yang digunakan adalah ayakan 50 mesh, blender, cawan porselen, corong, Erlenmeyer, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), furnace, gelas beker, gelas ukur, kaca arloji, karet penghisap, kertas saring, labu ukur, oven, pH universal, pipet tetes, pipet ukur, Scanning Electron Microscope (SEM), shaker, dan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

B. Bahan

Bahan yang digunakan adalah asam humat, aquades, daun mahkota nanas, dan larutan kadmium.

2.2 Cara Kerja

Persiapan Larutan Sampel Kadmium

Pada tahapan ini, persiapan larutan logam kadmium dilakukan dengan mengacu pada referensi dari SNI 06-6989.16-2009, Air dan Air Limbah – Bagian 16: Cara uji kadmium (Cd) dengan metode Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) – nyala.

Preparasi Adsorben

Limbah mahkota nanas didapatkan dari penjual buah nanas potong di pinggir Jl. Kaliurang, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Limbah mahkota nanas dicuci hingga bersih dan dikeringkan dengan cara dijemur selama 24 jam. Kemudian limbah mahkota nanas dipanaskan menggunakan oven dengan suhu 110°C selama 24 jam hingga kering. Limbah mahkota nanas tersebut dihaluskan menggunakan blender hingga hampir halus seperti bubuk. Limbah tersebut kemudian diayak menggunakan ayakan dengan ukuran 50 mesh dan dilanjutkan dengan karbonisasi menggunakan *furnace* dengan suhu 350°C selama 1,5 jam.

Karakterisasi Adsorben

Karakterisasi adsorben merupakan tahapan untuk melihat gugus fungsi dari adsorben yang akan digunakan sehingga diketahui karakteristik dari adsorben. Pada tahapan ini digunakan dua instrumen yaitu FTIR dan SEM. Penggunaan instrumen FTIR untuk mengetahui gugus fungsi molekul adsorben mahkota nanas, sedangkan instrumen SEM untuk mengetahui perubahan pada struktur pori adsorben.

Uji Variasi pH

Pengujian adsorpsi pada variasi pH dilakukan dengan menyiapkan erlenmeyer masing-masing berisi 0,02 L larutan sampel kadmium dengan konsentrasi 10 ppm. Variasi pH yang digunakan adalah pH 3, 5, 7, dan 9. Untuk memperoleh pH 3 dan 5 ditambahkan HCl 0,1 M, sedangkan untuk pH 7 dan 9 ditambahkan NaOH 0,1 M. Selanjutnya, ditambahkan adsorben dengan massa 0,05 g ke dalam larutan. Campuran tersebut kemudian diaduk menggunakan *shaker* dengan kecepatan 150 rpm selama 120 menit. Setelah proses kontak selesai, larutan disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan dari adsorben. Hasil penyaringan dianalisis menggunakan SSA.

Uji Variasi Konsentrasi Kadmium

Pengujian adsorpsi pada variasi konsentrasi kadmium dilakukan dengan menyiapkan erlenmeyer masing-masing berisi 0,02 L larutan sampel kadmium dengan variasi konsentrasi 5, 10, 20, 40, dan 60 ppm. Selanjutnya, ditambahkan adsorben dengan massa 0,05 g ke dalam larutan. Campuran tersebut kemudian diaduk menggunakan *shaker* dengan kecepatan 150 rpm selama 120 menit. Setelah proses kontak selesai, larutan disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan dari adsorben. Hasil penyaringan dianalisis menggunakan SSA.

Uji Variasi Waktu Kontak

Pengujian adsorpsi pada variasi waktu kontak dilakukan dengan menyiapkan erlenmeyer masing-masing berisi 0,1 L larutan sampel kadmium dengan konsentrasi 10 ppm. Selanjutnya, ditambahkan adsorben dengan massa 0,25 g ke dalam larutan. Campuran tersebut kemudian diaduk menggunakan *shaker* pada kecepatan 150 rpm dengan variasi waktu kontak 5, 10, 30, 60, 120, 240, dan 1.440 menit. Setelah proses kontak selesai, larutan disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan dari adsorben. Hasil penyaringan dianalisis menggunakan SSA.

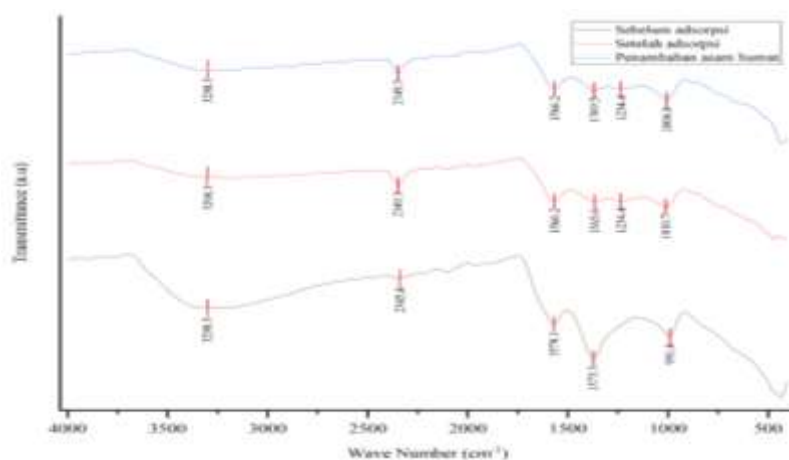
Uji Variasi Kadar Asam Humat

Pengujian adsorpsi pada variasi kadar asam humat dilakukan dengan menyiapkan erlenmeyer masing-masing berisi 0,02 L larutan sampel kadmium dengan konsentrasi 10 ppm. Selanjutnya, ditambahkan asam humat dengan variasi 5%, 10%, dan 20%. Kemudian ditambahkan adsorben dengan massa 0,05 g ke dalam larutan. Campuran tersebut kemudian diaduk menggunakan *shaker* dengan kecepatan 150 rpm selama 120 menit. Setelah proses kontak selesai, larutan disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan dari adsorben. Hasil penyaringan dianalisis menggunakan SSA.

III. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakterisasi Adsorben Mahkota Nanas Menggunakan FTIR

Instrumen *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia atau gugus fungsi dari suatu senyawa organik. Penggunaan FTIR pada adsorben mahkota nanas ini dapat menentukan perbandingan perubahan pada gugus fungsi adsorben sebelum terjadi proses adsorpsi dan setelah digunakan untuk proses adsorpsi. Selain itu, hasil karakterisasi adsorben menggunakan FTIR ini juga dapat digunakan untuk membandingkan apakah terjadinya perubahan gugus fungsi setelah ditambahkan asam humat. Berikut merupakan grafik hasil karakterisasi adsorben mahkota nanas menggunakan instrumen FTIR sebelum dilakukan proses adsorpsi, setelah terjadi proses adsorpsi, dan setelah dilakukan adsorpsi dengan penambahan asam humat yang telah digabung yang dapat dilihat pada Gambar 1.



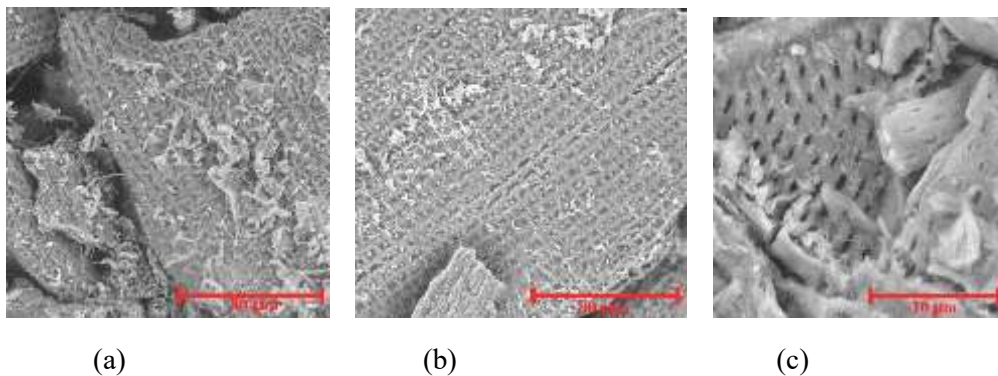
Gambar 1. Gabungan Hasil Uji FTIR Adsorben Mahkota Nanas

Berdasarkan Gambar 1, pada adsorben sebelum proses adsorpsi terdapat gugus fungsi C-H *bending* pada 991 cm^{-1} dan 1373 cm^{-1} , gugus fungsi C=C pada 1570 cm^{-1} , dan gugus fungsi O-H pada 3298 cm^{-1} . Hal ini menunjukkan bahwa adanya senyawa organik dengan kandungan gugus metil, adanya kadar karbon dengan indikasi lignin, dan adanya gugus hidroksil. Setelah terjadinya proses adsorpsi, terjadi pergeseran pada beberapa gugus yang dapat terjadi dikarenakan interaksi dengan ion Cd^{2+} dan perubahan lingkungan oleh proses adsorpsi. Pada adsorben setelah proses adsorpsi terdapat gugus fungsi C-H *bending* pada 1010 cm^{-1} dan 1365 cm^{-1} , munculnya gugus fungsi C-O *stretching* pada 1234 cm^{-1} , gugus fungsi C=C pada 1566 cm^{-1} , dan gugus fungsi O-H pada 3298 cm^{-1} . Kemunculan gugus C-O ini dapat terjadi karena terbentuknya ikatan baru setelah adanya interaksi langsung dengan ion Cd^{2+} membentuk senyawa kompleks. Pada adsorben mahkota nanas setelah adsorpsi dengan penambahan asam humat tidak adanya perubahan gugus fungsi, hanya pergeseran nilai puncak. Adapun puncak pada $2345\text{-}2349\text{ cm}^{-1}$ yang tidak umum hadir dalam adsorben mahkota

nanas sehingga kemunculan pada rentang ini dapat disebabkan oleh kontaminasi gas CO₂ yang berasal dari fluktuasi pembersih dan dapat dikesampingkan saja. Hasil FTIR ini menunjukkan bahwa pada adsorben mahkota nanas terdapat asam karboksilat, senyawa selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang sesuai keberadaannya dalam struktur mahkota nanas sehingga adsorben mahkota nanas ini cocok untuk dijadikan adsorben [11].

3.2 Karakterisasi Adsorben Mahkota Nanas Menggunakan SEM

Instrumen *Scanning Electron Microscopy* (SEM) bertujuan untuk mengetahui pola hingga ukuran permukaan dari suatu adsorben. Penggunaan SEM ini dapat menentukan perbandingan pada permukaan adsorben sebelum dilakukan proses adsorpsi dan setelah dilakukan proses adsorpsi. Berikut merupakan hasil SEM dari adsorben mahkota nanas sebelum dilakukan proses adsorpsi, setelah terjadi proses adsorpsi, dan setelah dilakukan adsorpsi dengan penambahan asam humat pada Gambar 2.



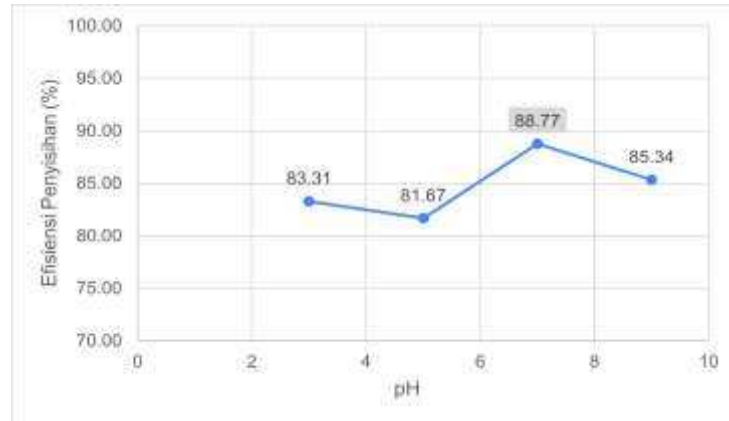
Gambar 2. Hasil Uji SEM Adsorben Mahkota Nanas (a) Sebelum Adsorpsi (b) Setelah Adsorpsi (c) Setelah Penambahan Asam Humat

Pada **Gambar 2**, dapat dilihat pori-pori adsorben mahkota nanas sebelum adsorpsi memiliki pori-pori yang banyak, seragam, dan terbuka. Kemudian terlihat sedikit perbedaan dibandingkan dengan setelah dilakukan adsorpsi yaitu banyak pori-pori yang terlihat sedikit tertutup dan pori-pori masih seragam. Hal ini dapat terjadi karena pori-pori adsorben tersebut telah menjerap logam kadmium dalam sampel pada saat dilakukan kontak. Pada gambar (c) dapat dilihat bahwa warna pori-pori sedikit menggelap dibandingkan dengan gambar (a) dan (b) dan seperti tertutup. Pori-pori masih seragam tetapi jumlah pori-pori tidak sebanyak pada gambar (a) dan (b). Hal ini dapat terjadi karena pori-pori adsorben tersebut menjerap logam kadmium dan asam humat dalam sampel pada saat dilakukan kontak.

3.3 Uji Variasi Adsorpsi

Variasi pH

Pengujian adsorpsi variasi pH ini dilakukan untuk mendapatkan keadaan pH yang optimum dalam penyerapan logam kadmium. Berikut merupakan grafik efisiensi penyisihan berdasarkan hasil dari uji variasi pH yang dapat dilihat pada Gambar 3.

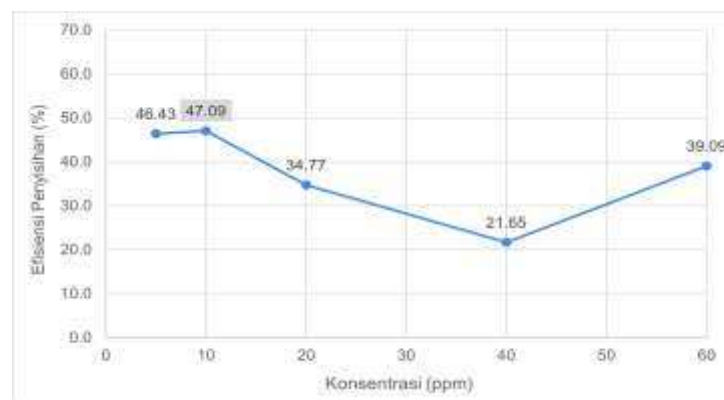


Gambar 3. Grafik Efisiensi Penyisihan Mahkota Nanas Variasi pH

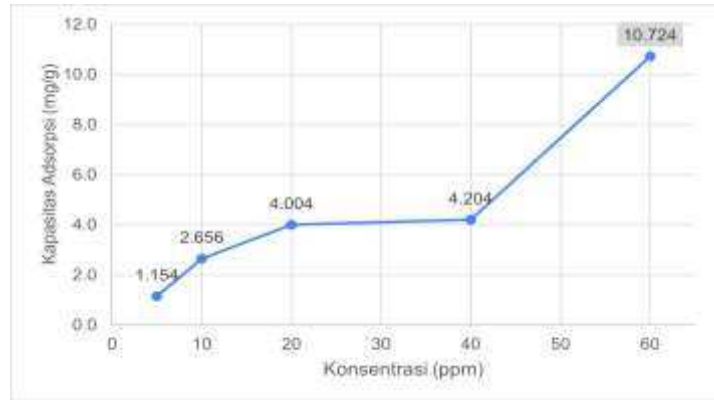
Berdasarkan hasil pengujian variasi pH yang telah dilakukan, kondisi pH yang optimum dalam proses penyerapan logam kadmium adalah pH 7. Hal ini mengindikasikan bahwa ion pada adsorben dapat mengadsorpsi ion Cd^{2+} lebih optimum pada kondisi pH netral yang dimana mulai terjadinya deprotonasi ion H^+ . Pada pH 9 terjadi penurunan efisiensi penyisihan dibandingkan dengan pH 7. Hal ini dapat disebabkan karena terjadinya hidrolisis yang mengubah ion Cd^{2+} menjadi CdOH^+ [12]. Kondisi pH basa dapat menyebabkan gugus fungsi yang terdapat pada adsorben mengalami deprotonasi sehingga adsorben akan memiliki ion OH^- . Ion bermuatan negatif ini yang kemudian berikatan dengan ion Cd^{2+} menyebabkan penyisihan logam kadmium. Ion OH^- yang terlalu banyak akan menyebabkan ion tersebut mengikat logam kadmium membentuk endapan. Sedangkan pada pH 3 dan 5, hasil efisiensi penyisihan yang relatif rendah. Hal ini dikarenakan pada kondisi pH asam, gugus fungsi pada adsorben akan mengalami protonasi yang meningkatkan ion H^+ . Peningkatan ion H^+ ini akan menyebabkan persaingan antara ion H^+ dengan ion Cd^{2+} sehingga permukaan adsorben mahkota nanas akan berkurang karena adsorben berikatan dengan ion H^+ [13].

Variasi Konsentrasi Kadmium

Pengujian adsorpsi variasi konsentrasi kadmium ini dilakukan untuk mengetahui konsentrasi kadmium yang maksimum dalam kapasitas adsorpsi adsorben mahkota nanas pada proses adsorpsi kadmium. Berikut merupakan grafik efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi berdasarkan hasil dari uji variasi konsentrasi Cd yang dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Grafik Efisiensi Penyisihan Mahkota Nanas Variasi Konsentrasi Cd

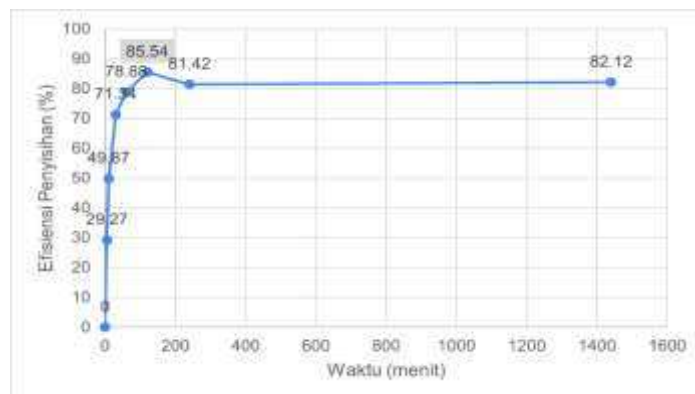


Gambar 5. Grafik Kapasitas Adsorpsi Mahkota Nanas Variasi Konsentrasi Cd

Berdasarkan hasil pengujian variasi konsentrasi kadmium yang telah dilakukan, konsentrasi kadmium yang optimum dalam proses adsorpsi adalah konsentrasi 10 ppm. Pada konsentrasi 20, 40, dan 60 ppm terjadi penurunan efisiensi penyisihan yang berbanding terbalik dengan kapasitas adsorpsi yang mengalami kenaikan. Peningkatan kapasitas adsorpsi dapat disebabkan karena masih adanya kekosongan pada situs aktif adsorben sehingga penyerapan kadmium masih dapat ditampung. Sedangkan penurunan efisiensi penyisihan dapat disebabkan karena jumlah adsorbat yang terserap tidak sebanding dengan jumlah situs aktif yang tersedia sehingga efisiensi penyerapan menurun tetapi adsorbat yang terserap naik [14]. Akan tetapi pada konsentrasi 60 ppm, efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi mengalami peningkatan. Hal ini dapat terjadi karena konsentrasi kadmium yang sangat besar sehingga meningkatkan *driving force* yang menyebabkan ion kadmium bergerak menuju permukaan adsorben. Semakin besar konsentrasi di sekeliling adsorben, maka semakin besar pula *driving force* yang terjadi [15].

Variasi Waktu Kontak

Pengujian adsorpsi variasi waktu kontak ini dilakukan untuk mengetahui waktu optimum dari kapasitas adsorpsi adsorben mahkota nanas hingga mencapai titik jenuh atau kesetimbangan. Berikut merupakan grafik berdasarkan hasil dari uji variasi waktu kontak yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Efisiensi Penyisihan Mahkota Nanas Variasi Waktu Kontak

Berdasarkan hasil pengujian variasi waktu kontak yang telah dilakukan, waktu kontak yang optimum dalam proses adsorpsi adalah waktu 120 menit. Pada waktu 5 menit hingga 120 menit terjadi kenaikan efisiensi penyisihan sehingga waktu-waktu tersebut efektif dalam menyisihkan Cd. Akan tetapi pada waktu 240 menit hingga 24 jam terjadi penurunan efisiensi penyisihan. Hal ini dapat disebabkan oleh jenuhnya gugus aktif pada adsorben setelah waktu optimum atau keadaan setimbang sehingga penambahan waktu setelah waktu optimum tidak akan mempengaruhi penyerapan kadmium [10].

3.4 Penentuan Isoterm Adsorpsi

Model isoterm langmuir akan menghasilkan kesimpulan apakah proses adsorpsi yang terjadi merupakan adsorpsi tunggal atau *monolayer* yang berarti proses maksimum dari adsorpsi yang terjadi ini dikarenakan adsorbat yang diserap hanya pada lapisan tunggal dari permukaan adsorben. Isoterm langmuir akan menghasilkan kesimpulan apakah proses adsorpsi yang dilakukan merupakan proses dengan ikatan kimia [16]. Sedangkan model isoterm freundlich akan menghasilkan kesimpulan apakah proses adsorpsi yang terjadi merupakan adsorpsi bertingkat atau multilayer. Adsorpsi multilayer berarti proses maksimum dari adsorpsi yang terjadi ini dikarenakan adsorbat yang diserap oleh beberapa lapisan dari permukaan adsorben dengan sifat heterogen akibat perbedaan energi yang mengikat. Isoterm freundlich akan menghasilkan kesimpulan apakah proses adsorpsi yang dilakukan merupakan proses dengan ikatan fisika [16]. Untuk melakukan perhitungan menggunakan metode isoterm Langmuir dan Freundlich, data yang digunakan merupakan data yang dihasilkan dari uji variasi konsentrasi. Berikut merupakan perbandingan kedua data model isoterm yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perbandingan Isoterm Langmuir dan Isoterm Freundlich

Model Isoterm	Indikator	Nilai
Langmuir	<i>Slope</i>	2,5042
	<i>Intercept</i>	0,0953
	Qm (mg/g)	10,493
	kL	0,038
	R ²	0,962
Freundlich	<i>Slope</i>	0,6804
	<i>Intercept</i>	-0,2502
	1/n	0,6804
	n	1,470
	kF (mg/g)	0,562
	R ²	0,8365

Hasil dari kedua isoterm yang telah didapatkan diketahui bahwa nilai R² isoterm langmuir lebih mendekati nilai 1 dengan nilai 0,962. Sedangkan nilai R² isoterm freundlich memiliki nilai 0,8365. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi logam kadmium menggunakan adsorben mahkota nanas ini lebih kuat korelasinya dengan isoterm langmuir. Isoterm langmuir ini menunjukkan bahwa pada proses adsorpsi yang terjadi adsorben mahkota nanas menyerap logam kadmium secara monolayer dengan sifat heterogen dan terjadi ikatan kimia [16].

Tabel 2. Perbandingan Nilai Qmaks. Langmuir Dengan Penelitian Terdahulu

Sumber Data	Jenis Adsorben	Indikator Langmuir	Nilai
Data Primer, 2025	Mahkota nanas	Qm (mg/g)	10,493
Purba, 2023	Biomassa nanas murni		9,597

Kemudian dilakukan perbandingan antara hasil penelitian ini dengan penelitian terdahulu yang melakukan penelitian adsorpsi kadmium menggunakan biomassa nanas murni untuk mengevaluasi perbedaan kapasitas adsorpsi maksimum yang dihasilkan. Berdasarkan perbandingan pada **Tabel 2**, nilai Q_m dari adsorben mahkota nanas penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan biomassa nanas murni pada penelitian [10]. Hal ini menunjukkan bahwa adsorben mahkota nanas memiliki potensi adsorpsi yang lebih tinggi dibandingkan dengan biomassa nanas murni.

3.5 Kinetika Adsorpsi

Penentuan kinetika adsorpsi merupakan penjelasan hubungan bagaimana waktu kontak adsorben dengan adsorbat mempengaruhi kapasitas penyerapan dalam proses adsorpsi. Dari kinetika adsorpsi dapat diketahui karakteristik penyerapan pada proses adsorpsi [17]. Kinetika orde satu akan menghasilkan kesimpulan bahwa jumlah situs pori adsorben yang tersedia akan sebanding dengan laju adsorpsinya, sedangkan kinetika orde dua akan menghasilkan kesimpulan bahwa laju adsorpsi terjadi secara atau dipengaruhi oleh kemisorpsi yang merupakan proses reaksi kimia melibatkan terbentuknya atau terputusnya ikatan ionik [6]. Perhitungan model kinetika adsorpsi ini menggunakan data variasi waktu kontak. Berikut merupakan perbandingan terhadap kedua data model kinetika adsorpsi yang dapat dilihat pada Tabel 3.

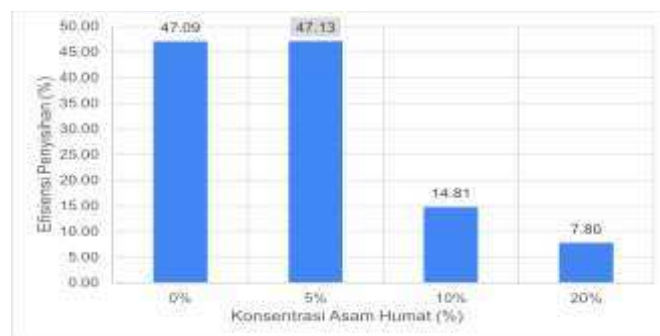
Tabel 3 Hasil Perbandingan Kinetika Orde Satu dan Orde Dua

Kinetika Reaksi	Q_e (mg/g)	K_1 (menit ⁻¹)/ K_2 (g/mg.menit)	R^2
Orde satu	0,785	0,0013	0,3903
Orde dua	3,764	0,0501	0,9999

Hasil dari perhitungan kedua orde yang telah didapatkan diketahui bahwa nilai R^2 orde dua lebih mendekati nilai 1 dengan nilai 0,9999, sedangkan nilai R^2 orde satu memiliki nilai 0,3903. Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi logam kadmium menggunakan adsorben mahkota nanas ini lebih kuat korelasinya dengan kinetika orde dua. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa laju penyerapan logam kadmium oleh adsorben mahkota nanas terjadi secara kimia. Adapun nilai zat yang teradsorpsi berdasarkan kinetika orde dua sebesar 3,764 mg/g dan konstanta laju reaksi orde dua sebesar 0,0501 (g/mg.menit).

3.6 Variasi Asam Humat

Pengujian adsorpsi variasi asam humat ini dilakukan untuk mengetahui kadar optimum dalam penambahan asam humat terhadap kapasitas adsorpsi adsorben mahkota nanas hingga mencapai titik jenuh atau kesetimbangan. Berikut merupakan grafik berdasarkan hasil dari uji variasi waktu kontak yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Grafik Efisiensi Penyisihan Variasi Penambahan Asam Humat

Berdasarkan hasil pengujian variasi asam humat yang telah dilakukan, kadar asam humat yang optimum dalam proses adsorpsi adalah kadar 5%. Namun apabila hasil efisiensi penyisihan pada kadar 5% dibandingkan dengan kadar 0%, penambahan asam humat menunjukkan tidak adanya perbedaan signifikan pada adsorpsi kadmium. Hal ini juga dapat dilihat pada kadar 10% dan 20% yang dimana efisiensi penyisihan pada kadar tersebut mengalami penurunan yang signifikan. Penurunan efisiensi penyisihan logam kadmium ini dapat disebabkan karena konsentrasi asam humat yang ditambahkan telah melebihi kapasitas untuk adsorpsi kadmium. Selain itu asam humat dapat menyebabkan retardasi difusi atau terjadinya perlambatan terhadap proses pergerakan terhadap ion Cd^{2+} dikarenakan bentuknya yang bebas sehingga terjadinya persaingan antara adsorben mahkota nanas dengan asam humat [18]. Selain itu, diketahui bahwa Cd^{2+} memiliki afinitas ikatan atau tingkat kecenderungan untuk berinteraksi yang lebih kuat dengan asam humat dibandingkan dengan logam berat lain. Nilai afinitas komponen seperti asam humat berasal dari kompos berkisar 4,89-5,09 dimana nilai ini lebih besar dibanding dengan senyawa humat lain [19]. Nilai ini menjadikan asam humat bebas rumit untuk dikontrol terhadap Cd^{2+} . Ikatan ini yang menyebabkan Cd^{2+} menempel di asam humat bebas dan membentuk cluster di larutan serta menempel di adsorben yang kemudian memblokir situs aktif adsorben mahkota nanas [18].

IV. Kesimpulan

Limbah mahkota nanas sebagai adsorben efektif untuk menurunkan logam kadmium di air dengan kapasitas adsorpsi tertinggi sebesar 10,724 mg/g. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, efisiensi penyisihan tertinggi pada uji variasi pH sebesar 88,77% pada pH 7, uji variasi konsentrasi kadmium mencapai 46,43% pada konsentrasi 10 ppm, dan variasi waktu kontak sebesar 85,54% pada 120 menit sehingga variasi-variasi tersebut memberikan pengaruh terhadap penurunan logam kadmium di air. Efisiensi penyisihan tertinggi pada penambahan asam humat adalah pada kadar 5% sebesar 47,13%, akan tetapi apabila dibandingkan dengan kadar 0% penambahan asam humat tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap proses adsorpsi kadmium di air.

Daftar Pustaka

- [1] Indonesia, “Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air. Lembaran Negara RI Tahun 2019 Nomor 190, Tambahan Lembaran RI Nomor 6405. Sekretariat Negara. Jakarta.” 2019.
- [2] H. Khatimah, A. H., Az-Zahra, A. K. K., Erniwati, E., & Hasnah, “Kombinasi Ekstrak Biji Kelor (*Moringa oleifera*) dan Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata* X *Balbiana*) sebagai Bioadsorben Air yang Mengandung Larutan Pb dan Larutan Cd,” *Pros. Semin. Nas. Pembang. dan Pendidik. Vokasi Pertan.*, vol. Vol. 5, No, pp. 736–747, 2024.
- [3] D. Rahmadani, T. B. C., & Diniariwisan, “Pencemaran Logam Berat jenis Kadmium (Cd) di Perairan dan Dampak terhadap Ikan.,” *Ganec Swara*, vol. 17(2), pp. 440–445, 2023.
- [4] S. A. Silalahi, “Efektivitas Mahkota Nanas Sebagai Adsorben Menggunakan Aktivator KOH Untuk Penyisihan Air Limbah Industri Karet,” (*Bachelor thesis, Univ. Batanghari*), 2022.
- [5] R. Putra, A., Fauzia, S., Arief, S., & Zein, “Preparation, Characterization, and Adsorption Performance of Activated Rice Straw as A Bioadsorbent For Cr (VI) Removal From Aqueous Solution Using A Batch Method. *Desalination and Water Treatment*,” pp. 121–132, 2022.
- [6] S. Mkilima, T., Saspuayeva, G., Kaliyeva, G., Samatova, I., Rakhimova, B., Tuleuova, G., Tauyekel, A., Batyayeva, Y., Karibzhanova, R., & Cherkeshova, “Enhanced Adsorption of Emerging Contaminants from Pharmaceutical Wastewater Using Alkaline-Treated Pineapple Leaf Fiber Integrated with UV-LED Technology,” no. Case Studies in Chemical and

- Environmental Engineering, 2024.
- [7] P. Sirajuddin, S., Harjanto, H., & Trijuniarti, “Karakteristik Arang Aktif Dari Limbah Mahkota Nanas (*Ananas comosus* (L) Merr) Menggunakan Aktivator Kimia H_3PO_4 ,” *Semin. Nas. Has. Penelit. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. Vol. 4, No, 2019.
- [8] I. Setyowati, D., & Ulfin, “Optimasi Kondisi Penyerapan Ion Aluminium Oleh Asam Humat. Akta Kimindo,” vol. 2(2), pp. 85–92, 2007.
- [9] G. Amutenya, E. L., Zhou, F., Liu, J., Long, W., Ma, L., Liu, M., & Lv, “Preparation of Humic Acid-Bentonite Polymer Composite: A Heavy Metal Ion Adsorbent.” 2022.
- [10] C. S. Purba, “Kinetika Adsorpsi Kadmium dengan Limbah Nanas,” *Bachelor thesis, Univ. Batanghari Jambi*, 2023.
- [11] E. Susmanto, P., Yandriani, Y., Midelin, P., Khoirunnisa, S., Maharani, S. V. S., & Armelia, “Pembuatan Superabsorben dari Akrilamida dan Selulosa Serat Daun Mahkota Nanas Dengan Inisiator Amonium Persulfat,” *J. Integr. Proses*, vol. 12(2), pp. 66–72, 2023.
- [12] B. Suhud, I., Tiwow, V. M., & Hamzah, “Adsorpsi Ion Kadmium (II) Dari Larutannya Menggunakan Biomassa Akar Dan Batang Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forks),” *J. Akad. Kim.*, vol. 1(4), 2012.
- [13] L. Farida, A., Ariyani, S., Sulistyaningsih, N. E., & Kurniasari, “Pemanfaatan Limbah Kulit Jagung (*Zea mays* L.) Sebagai Adsorben Logam Kadmium dalam Larutan,” *J. Inov. Tek. Kim.*, vol. 4(2), 2019.
- [14] A. Domiruddin, W. R., & Shofiyani, “Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Cd (II) pada Bioarang Daun Ketapang (*Terminalia catappa* linn),” *J. Kim. Khatulistiwa*, vol. 7(4), 2018.
- [15] S. X. Lei, T., Li, S.J., Jiang, F., Ren, Z.X., Wang, L.L., Yang, X.J., Tang, L.H. & Wang, “Adsorption of Cadmium Ions from An Aqueous Solution on a Highly Stable Dopamine-Modified Magnetic Nano-Adsorbent,” *Nanoscale Res. Lett.*, vol. 14(1), 2019.
- [16] S. Raziah, C., Putri, Z., Lubis, A. R., & Mulyati, “Penurunan Kadar Logam Kadmium Menggunakan Adsorben Nano Zeolit Alam Aceh,” *J. Tek. Kim. USU*, vol. 6(1), pp. 1–6, 2017.
- [17] I. Anggriani, U. M., Hasan, A., & Purnamasari, “Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif dalam Penurunan Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb),” pp. 29–37, 2021.
- [18] X. Zhang, T., Xing, Y., Zhang, J., & Li, “The Competition of Humic Acid Aggregation and Adsorption on Clay Particles and Its Role in Retarding Heavy Metal Ions,” *Sci. Total Environ.*, 2024.
- [19] K. Liu, M., Tang, Z., Lin, Z., Guo, H., Yu, Z., Liu, X., & Fang, “Insight Into the Cadmium and Zinc Binding Potential of Humic Acids Derived from Composts by EEM Spectra Combined with PARAFAC Analysis,” vol. 18(1), pp. 58–68, 2020.