

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air tanah merupakan sumber utama air bersih bagi masyarakat Indonesia, terutama di wilayah yang belum terlayani jaringan distribusi air perpipaan. Namun, kualitas air tanah kini menghadapi ancaman serius akibat pencemaran logam berat yang berasal dari aktivitas industri, domestik, serta lindi dari tempat pembuangan akhir sampah. Salah satu logam berat yang berbahaya dan sering ditemukan adalah kromium dalam bentuk heksavalen (Cr(VI)), yang banyak dihasilkan dari industri penyamakan kulit, pelapisan logam, tekstil, baja, dan cat (Nugraha dkk., 2022).

Keberadaan Cr(VI) di lingkungan perairan perlu mendapat perhatian karena bersifat toksik, karsinogenik, dan mudah larut dalam air, sehingga berpotensi mencemari air tanah. Paparan Cr(VI) dalam jangka panjang dapat menyebabkan gangguan fungsi hati dan ginjal, kerusakan sistem pernapasan, serta meningkatkan risiko kanker pada manusia. Penelitian Kristiyani dan Susilowati (2021) melaporkan bahwa konsentrasi Cr(VI) pada air tanah di kawasan industri tekstil Mojolaban, Sukoharjo, berkisar antara 1,2954 – 1,6996 mg/L, atau lebih dari tiga puluh kali melebihi baku mutu air minum sebesar 0,01 mg/L sebagaimana ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023. Kondisi serupa juga ditemukan di Kota Padang, di mana kandungan kromium (Cr) pada air tanah di kawasan Kampung Kalawi Timur mencapai 0,054 mg/L, nilai yang telah melampaui baku mutu air minum (Fitria, 2016). Temuan tersebut menunjukkan bahwa pencemaran kromium pada air tanah masih menjadi permasalahan yang memerlukan penanganan efektif dan berkelanjutan.

Berbagai teknik telah diterapkan untuk menghilangkan logam berat dari air, seperti presipitasi kimia, koagulasi, pertukaran ion, filtrasi membran, dan proses elektrokimia. Meskipun teknik tersebut cukup efektif, penerapannya sering terkendala oleh biaya tinggi, produksi lumpur yang banyak, serta efisiensi rendah pada konsentrasi logam kecil (Ghosh, 2018). Oleh karena itu, teknik adsorpsi menjadi alternatif unggulan karena prosesnya sederhana dan efisien.

Adsorpsi merupakan peristiwa penjerapan spesies berupa ion atau molekul terlarut di permukaan oleh suatu adsorben (Reynolds & Richards, 1996). Sistem adsorpsi terdiri dari dua macam, yaitu sistem *batch* dan sistem kolom. Adsorpsi *batch* yaitu sistem adsorpsi di mana adsorben dikontakkan dengan larutan adsorbat dan tidak ada aliran masuk dan keluar pada sistem. Sementara pada adsorpsi kolom, dilakukan dengan cara melewati aliran adsorbat ke dalam kolom yang berisi adsorben dalam jangka waktu tertentu (O'Connell dkk., 2008).

Penggunaan adsorben berbasis biomassa limbah pertanian saat ini mendapat perhatian luas karena sejalan dengan konsep teknologi hijau dan ekonomi sirkular. Biomassa pertanian umumnya mengandung lignoselulosa yang memiliki gugus fungsi aktif sehingga berpotensi digunakan sebagai adsorben. Salah satu limbah pertanian yang berpotensi dimanfaatkan adalah mahkota nanas. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS, 2025), produksi nanas nasional pada tahun 2025 mencapai sekitar 3,2 juta ton per tahun, sedangkan produksi di Provinsi Sumatera Barat tercatat sekitar 374,21 ton per tahun.

Sejauh ini, limbah mahkota nanas umumnya hanya dimanfaatkan sebagai pakan ternak atau dibuang begitu saja. Mahkota nanas mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin dengan gugus fungsi aktif seperti hidroksil (-OH), karboksil (-COOH), dan karbonil (-C=O) yang berpotensi mengikat ion logam. Penelitian Dedi Rianto (2021) menunjukkan bahwa adsorben berbahan mahkota nanas mampu menyisihkan *Methylene Blue* hingga 93,75% pada kondisi optimum. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa mahkota nanas memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai material adsorben yang efektif dalam pengolahan air tercemar.

Meskipun demikian, pemanfaatan biomassa alami sebagai adsorben sering kali memiliki keterbatasan berupa luas permukaan dan jumlah situs aktif yang relatif rendah. Oleh sebab itu, pengembangan material adsorben melalui proses aktivasi diperlukan untuk meningkatkan karakteristik adsorben. Aktivasi dapat dilakukan secara fisika maupun kimia. Aktivasi fisika umumnya dilakukan melalui pemanasan pada suhu tertentu, sedangkan aktivasi kimia dilakukan menggunakan aktivator seperti HCl, NaOH, dan H₂O₂. Proses aktivasi diketahui mampu

meningkatkan luas permukaan spesifik, volume pori, serta jumlah gugus fungsi aktif pada adsorben sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsinya (Tsai dkk., 2023).

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa aktivasi fisika mampu meningkatkan karakteristik adsorben biomassa melalui perlakuan termal pada suhu tertentu. Proses ini berperan dalam mengembangkan struktur pori dan meningkatkan luas permukaan spesifik adsorben. Iamsaard dkk. (2022) melaporkan bahwa biochar daun nanas hasil pirolisis pada suhu 600°C memiliki permukaan yang kasar dan berpori akibat degradasi lignoselulosa dan pembentukan matriks karbon. Temuan tersebut diperkuat oleh Martini dan Yuliwati (2019) yang menggunakan variasi suhu karbonisasi 200°C, 300°C, dan 400°C pada proses aktivasi adsorben, menghasilkan struktur pori yang lebih berkembang dan dapat mempertahankan gugus fungsi pada adsorben. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa aktivasi fisika berpotensi meningkatkan karakteristik permukaan adsorben sehingga mendukung peningkatan kinerja adsorpsi.

Sementara itu, aktivasi kimia banyak diterapkan untuk mengaktifkan gugus fungsi aktif dan meningkatkan kapasitas adsorpsi biomassa. Sirajuddin dkk. (2019) melaporkan bahwa aktivasi menggunakan H_3PO_4 dan $NaOH$ menghasilkan arang aktif dengan porositas yang lebih tinggi. Silalahi (2022) menemukan bahwa aktivasi menggunakan KOH mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi hingga dua kali lipat dalam menyisihkan parameter *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan amonia (NH_3) pada air limbah industri karet. Selain itu, Cano dkk. (2025) melaporkan bahwa biochar biomassa nanas yang diaktivasi menggunakan $ZnCl_2$ mampu mencapai efisiensi penyisihan zat warna organik hingga 90%. Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa aktivasi kimia dapat meningkatkan performa adsorben melalui pengembangan porositas dan mengaktifkan sifat kimia permukaan.

Meskipun berbagai penelitian mengenai pemanfaatan dan aktivasi biomassa nanas telah dilakukan, kajian mengenai pengembangan material mahkota nanas sebagai adsorben untuk penyisihan kromium heksavalen ($Cr(VI)$) masih sangat terbatas. Selain itu, informasi mengenai pengaruh berbagai metode aktivasi terhadap kinerja

adsorben mahkota nanas dalam menyisihkan Cr(VI) juga masih belum banyak dilaporkan. Kesenjangan penelitian tersebut menunjukkan perlunya kajian lebih lanjut untuk mengembangkan adsorben berbasis limbah pertanian yang efektif dan berkelanjutan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh berbagai metode aktivasi fisika dan kimia pada serbuk mahkota nanas terhadap efektivitas penyisihan logam Cr(VI) menggunakan sistem adsorpsi *batch*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memperkaya informasi ilmiah mengenai pengembangan limbah mahkota nanas sebagai adsorben, sekaligus mendukung penerapan teknologi pengolahan air yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengeksplorasi metode aktivasi fisika maupun kimia dalam meningkatkan kemampuan adsorben berbasis serbuk mahkota nanas untuk menyisihkan logam berat Cr(VI) dari air tanah melalui proses adsorpsi sistem *batch*.

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi pengaruh variasi aktivasi fisika dan kimia terhadap karakteristik adsorben serbuk mahkota nanas.
2. Menganalisis pengaruh variasi aktivasi terhadap kinerja adsorpsi meliputi efisiensi penyisihan Cr(VI) dari larutan artifisial dan kapasitas adsorpsi dari adsorben serbuk mahkota nanas.
3. Menentukan metode aktivasi terbaik serbuk mahkota nanas berdasarkan hasil evaluasi kinerja adsorpsi dalam penyisihan Cr(VI).
4. Menganalisis kemampuan adsorben dengan metode aktivasi terbaik dalam menyisihkan Cr(VI) pada sampel air tanah asli.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan alternatif teknologi pengolahan air tanah yang efektif dan mudah diterapkan untuk mengurangi kadar logam kromium Cr(VI) melalui proses adsorpsi sistem *batch*.

2. Mengoptimalkan pemanfaatan limbah pertanian, khususnya serbuk mahkota nanas, sebagai bahan adsorben melalui pengembangan dengan aktivasi fisika dan kimia yang ramah lingkungan.
3. Mendukung upaya pengendalian pencemaran logam berat di lingkungan melalui penerapan prinsip *green technology* yang memanfaatkan limbah pertanian sebagai material pengolahan air.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penelitian ini adalah:

1. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas larutan artifisial untuk percobaan utama dan air tanah asli untuk tahap aplikasi.
2. Parameter yang dianalisis pada larutan artifisial dan sampel air tanah asli adalah logam kromium heksavalen (Cr(VI)), dengan pengujian dilakukan menggunakan sistem adsorpsi *batch*.
3. Selain analisis konsentrasi Cr(VI) , dilakukan pula analisis efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi untuk mengevaluasi kinerja adsorben serbuk mahkota nanas pada setiap perlakuan aktivasi.
4. Bahan adsorben berupa mahkota nanas diperoleh dari limbah pedagang buah di Kota Padang. Mahkota nanas digunakan sebagai bahan baku adsorben tanpa dilakukan identifikasi atau pengelompokan berdasarkan jenis dan varietas nanas.
5. Metode aktivasi adsorben yang diterapkan dalam penelitian ini meliputi:
 - a. Aktivasi fisika dilakukan melalui perlakuan termal (pemanasan) pada variasi suhu 200°C , 300°C , dan 400°C untuk memperbaiki struktur fisik dan karakteristik permukaan adsorben.
 - b. Aktivasi kimia dilakukan menggunakan bahan kimia dengan asam (HCl) 2%, basa (NaOH) 2%, dan oksidator (H_2O_2) 2% untuk meningkatkan jumlah gugus fungsi aktif pada permukaan adsorben.
 - c. Kombinasi aktivasi fisika dan kimia dilakukan pada adsorben menggunakan suhu aktivasi fisika terbaik dan jenis aktivator kimia terbaik untuk memperoleh adsorben dengan karakteristik permukaan yang optimal

sehingga mampu meningkatkan efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi Cr(VI).

6. Percobaan adsorpsi dilakukan dengan sistem *batch* pada skala laboratorium menggunakan kondisi optimum yang mengacu pada hasil optimasi penelitian sebelumnya oleh Belinda (2026), yaitu ukuran partikel 0,075-0,25 mm, dosis adsorben 6 g/L, pH 2, waktu kontak 90 menit, serta larutan artifisial Cr(VI) dengan konsentrasi awal 1 mg/L.
7. Pengujian dilakukan terhadap adsorben serbuk mahkota nanas yang diaktivasi menggunakan dua metode yang berbeda, dan setiap perlakuan dilakukan dalam tiga kali pengulangan (triplo) guna memastikan konsistensi dan keandalan hasil yang diperoleh.
8. Karakterisasi adsorben dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM-EDX) untuk mengamati perubahan morfologi permukaan dan komposisi unsur adsorben, serta *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk mengidentifikasi perubahan gugus fungsi pada permukaan adsorben sebelum dan sesudah proses aktivasi.
9. Analisis konsentrasi logam Cr(VI) dilakukan dengan metode spektrofotometri UV-Vis dengan mengacu pada SNI 6989.71:2009.
10. Konsentrasi akhir Cr(VI) dari proses adsorpsi dibandingkan dengan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Kesehatan Lingkungan.
11. Kegiatan penelitian dilaksanakan di Laboratorium Penelitian Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, serta di Laboratorium Sentral Universitas Andalas.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas mengenai air tanah, parameter logam kromium heksavalen Cr(VI), aktivasi adsorben, pemanfaatan mahkota nanas sebagai adsorben, penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penggunaan mahkota nanas sebagai adsorben, serta teori-teori pendukung lain yang relevan dengan penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang tahapan penelitian yang dilakukan, studi literatur, persiapan percobaan yang mencakup alat dan bahan, metode analisis laboratorium, lokasi, dan waktu penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil penelitian disertai pembahasannya.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dan saran berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan.

