

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air tanah merupakan sumber utama air minum bagi jutaan orang di seluruh dunia (Plata et al., 2025). Di daerah pertanian intensif termasuk kawasan vulkanik seperti Gunung Etna, Italia kontaminasi nitrat (NO_3^-) menjadi ancaman serius terhadap kualitas air tanah. Struktur hidrogeologi khas Etna, dicirikan oleh lava yang retak dan sangat permeabel yang diselingi dengan lapisan piroklastik permeabilitas rendah yang terputus-putus, mempercepat infiltrasi air permukaan yang memungkinkan air hujan dan irigasi membawa nitrat dari permukaan ke akuifer (Aiuppa et al., 2003). Nitrat ini terutama berasal dari sumber antropogenik, khususnya pupuk organik dan kotoran ternak, yang mengalami nitrifikasi di zona tanah sebelum terlarut dan terbawa ke dalam sistem akuifer (Awaleh et al., 2022). Fenomena serupa teramati di lereng Merapi, di mana permeabilitas tinggi endapan vulkanik memfasilitasi pergerakan cepat nitrat dari permukaan ke akuifer dangkal, terutama di kawasan perkotaan Yogyakarta yang padat penduduk (Razi et al., 2024). Di Jimma, Ethiopia, meskipun aktivitas vulkanik sudah tidak aktif, batuan vulkanik kompleks tetap menciptakan sistem akuifer yang rentan terhadap pencemaran nitrat dari aktivitas pertanian dan sanitasi yang tidak memadai (Kitessa et al., 2024). Akuifer di lereng Merapi dan Gunung Etna menunjukkan kerentanan yang serupa terhadap kontaminasi nitrat karena sama-sama tersusun oleh material vulkanik muda yang berpori tinggi, permeabel, dan memfasilitasi infiltrasi cepat air permukaan. Kondisi ini memungkinkan kontaminan dari permukaan, termasuk nitrat dari sumber antropogenik, untuk dengan mudah mencapai akuifer dalam waktu singkat.

Kontaminan nitrat menjadi perhatian serius di sekitar wilayah vulkanik yang sangat bergantung pada air tanah untuk konsumsi domestik, karena tingginya konsentrasi nitrat berdampak buruk bagi kesehatan manusia. Penyisihan nitrat pada air dapat menggunakan metode biologi, fisika serta kimia. Salah satu pengolahan fisika yang dapat mengurangi tingkat pencemaran air adalah metode adsorpsi. Adsorpsi merupakan metode pemisahan kontaminan menggunakan material berpori yang

mampu menarik zat-zat tertentu dari air. Mekanisme adsorpsi melibatkan tahapan seperti difusi molekul adsorbat pada permukaan adsorben, ikatan melalui gaya van der Waals (fisisorpsi) atau pembentukan ikatan kimia (kemisorpsi), serta adsorpsi pada dinding pori. Pada *biochar* bambu, mekanisme ini difasilitasi oleh struktur pori-pori mikro dan gugus fungsi aktif seperti OH dan C=O (seperti yang terdeteksi melalui analisis analisis Fourier Transform Inframerah Spektroskopi atau FTIR), yang memungkinkan pertukaran ion, ikatan hidrogen, atau kompleksasi dengan ion nitrat (Darusman, 2022; Viglasova et al., 2018). Nitrat dipilih sebagai adsorbat utama dalam proses ini karena merupakan ion anorganik yang mudah larut, stabil secara kimia, dan sering menjadi kontaminan utama di air tanah akuifer vulkanik akibat sumber antropogenik seperti pupuk pertanian dan kotoran ternak. Methemoglobinemia menjadi salah satu penyakit yang disebabkan oleh konsumsi air yang mengandung nitrat tinggi, di mana hemoglobin mengakibatkan kehilangan kemampuan untuk mengangkut oksigen dengan efektif. Ini dapat menyebabkan gejala seperti kebiruan pada kulit, kesulitan bernapas, dan bahkan kematian jika tidak ditangani (Plata et al., 2025).

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 Tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan, kadar maksimum nitrat yang diperbolehkan adalah 20 mg/L (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2023). Berdasarkan penelitian Aiuppa, dkk (2002), menunjukkan kandungan nitrat pada air tanah di wilayah lereng bawah gunung berapi aktif, Gunung Etna di Italia sebesar 415 mg/L, yang mana kualitas air tanah di Gunung Etna merupakan hasil dari interaksi kompleks antara faktor alami dan antropogenik. Fenomena di kawasan Jimma, Ethiopia menunjukkan kandungan nitrat pada air tanah sebesar 194 mg/L, menjelaskan kombinasi pengaruh pelapukan batuan vulkanik dan polusi dari aktivitas manusia terhadap kualitas air tanah di daerah vulkanik yang kompleks (Kitessa et al., 2024).

Sistem *batch* adalah metode di mana sejumlah adsorben dicampur secara langsung dengan volume air tertentu yang mengandung kontaminan, lalu diaduk dalam waktu tertentu hingga tercapai kesetimbangan (Reynold & Richards, 1996). Metode ini berbeda dari sistem kolom, yang melibatkan aliran kontinyu larutan

melalui kolom berisi adsorben dalam bentuk *fixed bed*, *moving bed*, atau *fluidized bed*. Sistem *batch* lebih sederhana, terkontrol, dan cocok untuk skala laboratorium atau penentuan kapasitas adsorpsi awal, tetapi tidak efisien untuk proses kontinyu dalam skala besar karena memerlukan pengadukan manual dan gratis adsorben setelahnya. Sebaliknya, sistem kolom lebih cocok untuk aplikasi industri karena memungkinkan aliran kontinyu, efisiensi tinggi dalam volume besar, dan kemampuan regenerasi adsorben, meskipun membutuhkan peralatan yang lebih kompleks seperti pompa dan filter. Penelitian oleh Lastarina (2021) menunjukkan sistem *batch* menggunakan *biochar* tempurung kelapa mampu menyisihkan nitrat pada air limbah cair sektor pertanian dengan efisiensi penyisihan 92,59% dengan kapasitas adsorpsi 3,70 mg/g. Menurut Viglasova et al. (2018) bahan *biochar* berbasis bambu (BC-A) dan preparasi bambu *montmorillonite* (BC-D) memiliki efektivitas tinggi untuk menghilangkan ion nitrat. Menurut Fseha, et al. (2022) menunjukkan sistem *batch* menggunakan *biochar* limbah pohon kurma mampu menyisihkan nitrat pada air tanah dengan efisiensi penyisihan 94,94% dengan kapasitas adsorpsi 4,18 mg/g. Sehingga, diperlukan percobaan mengenai kemampuan untuk menyisihkan nitrat dengan adsorbennya *biochar* bambu pada air tanah akuifer vulkanik yang terdampak aktivitas antropogenik.

Bambu memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku *biochar*, karena menjadi salah satu sumber daya yang tersebar luas, hemat biaya dan gampang ditemukan di Indonesia, terutama di daerah pedesaan. *Biochar* memiliki struktur pori-pori mikro yang mempunyai daya serap sangat baik, pada analisis *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) pada *biochar* bambu menunjukkan adanya gugus seperti OH dan C=O yang umum dianggap sebagai senyawa organik aktif dalam *biochar* (Darusman, 2022). Sampai saat ini, diketahui bahwa metode persiapan adsorben berbahan dasar bambu yang umum digunakan adalah aktivasi secara kimia. Alternatif diperlukan untuk pengembangan *biochar* bambu melalui metode fisika, yaitu pirolisis tanpa bahan kimia. Metode ini lebih mudah diterapkan, tidak menghasilkan limbah kimia, serta tetap memiliki kemampuan adsorpsi yang baik sehingga lebih ramah lingkungan, mudah diaplikasikan, dan tetap memiliki kemampuan adsorpsi yang baik. Untuk mengevaluasi kinerja *biochar* bambu hasil pirolisis fisika tersebut, sistem *batch*

digunakan sebagai pendekatan awal karena bersifat sederhana, terkontrol, dan efektif dalam menentukan kapasitas adsorpsi.

Penelitian ini akan menggunakan adsorben dari bambu. Bambu tersebut dipersiapkan untuk menjadi adsorben dengan menggunakan metode fisika (tanpa penggunaan bahan kimia). Data percobaan proses adsorpsi dimodelkan dengan bentuk *non-linier* dari *isotherm* adsorpsi yaitu *Freundlich* dan *Langmuir* untuk evaluasi kapasitas adsorpsi dan menambah penelitian yang menguji *biochar* bambu dengan ukuran 100 *mesh* dan 325 *mesh* pada air tanah dari akuifer vulkanik. Penelitian sebagai upaya menyediakan solusi pengolahan air alternatif yang murah, mudah diterapkan oleh masyarakat, untuk kondisi air tanah akuifer vulkanik.

1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian yaitu menganalisis kemampuan *biochar* bambu sebagai adsorben pada sistem *batch* untuk menyisihkan nitrat dari replika air tanah akuifer vulkanik yang terdampak aktivitas antropogenik.

Tujuan penelitian adalah:

1. Mengukur persentase produk adsorben yang dihasilkan (*yield*) dari proses pirolisis bambu;
2. Menganalisis efisiensi dan kapasitas adsorpsi nitrat menggunakan *biochar* bambu sebagai adsorben untuk menyisihkan nitrat dari replika air tanah akuifer vulkanik yang terdampak aktivitas antropogenik;
3. Menganalisis kondisi optimum penyisihan nitrat dengan adsorben *biochar* bambu pada adsorpsi sistem *batch*;
4. Menganalisis perbandingan kinerja adsorpsi tunggal dan adsorpsi multikomponen dalam penyisihan nitrat;
5. Menentukan *isotherm* dan kinetika adsorpsi yang sesuai dengan proses adsorpsi nitrat oleh *biochar* bambu.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian adalah sebagai upaya menyediakan solusi pengolahan air alternatif yang murah, mudah diterapkan oleh masyarakat, untuk kondisi air tanah akuifer vulkanik yang terdampak aktivitas antropogenik.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah:

1. Percobaan dilakukan menggunakan larutan replika air tanah akuifer vulkanik yang terdampak aktivitas antropogenik;
2. Percobaan menggunakan adsorben berupa *biochar* bambu;
3. *Biochar* bambu dihasilkan dari pirolisis bambu pada suhu 600°C;;
4. Percobaan adsorpsi dilakukan dengan variasi waktu kontak 10, 20, 30, 40, 60, 100, 120, 150, 180 dan 200 menit pada kecepatan pengadukan 120 rpm (Viglasova, 2018);
5. Percobaan adsorpsi menggunakan adsorben berbentuk berukuran 60-100 *mesh* (<0,25 mm-0,149 mm) (Rumi, 2021) dan <325 *mesh* (<0,044 mm);
6. Percobaan dilakukan sebanyak dua kali (duplo);
7. Persamaan *isotherm* adsorpsi yang diuji kesesuaianya yaitu *Isotherm Freundlich* dan *Isotherm Langmuir*;
8. Kinetika adsorpsi yang diuji kesesuaianya yaitu orde nol, orde satu, orde dua, *Pseudo-First Order*, dan *Pseudo-Second Order*.
9. Analisis statistik menggunakan uji normalitas dan uji korelasi;
10. Analisis nitrat dilakukan dengan menggunakan metode brusin sulfanilat sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-2480-1991 pada panjang gelombang 420 nm.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang adsorpsi, adsorben yang digunakan pada proses adsorpsi, adsorbat yang disisihkan melalui proses adsorpsi, teknik adsorpsi, dan terori pendukung lainnya.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan tahapan penelitian yang dilaksanakan, studi literatur, persiapan alat dan bahan percobaan, metode analisis laboratorium, serta lokasi dan waktu penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan hasil penelitian disertai dengan pembahasannya.

BAB V PENUTUP

Bab ini memuat simpulan dan saran yang disusun berdasarkan hasil pembahasan yang telah diuraikan.

