

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran tanah oleh logam berat menjadi isu serius di berbagai daerah akibat aktivitas industri, pertambangan, serta penggunaan bahan kimia pertanian. Salah satu logam berat yang sering ditemukan adalah kadmium (Cd). Menurut *Food and Agriculture Organization* (FAO) dan *United Nations Environment Programme* (UNEP) (2021), sekitar 60% pencemaran tanah oleh logam berat secara global berasal dari sektor industri melalui limbah beracun seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) (Amri & Adifa, 2025). Di Indonesia, Jambi, kadar Cd di lahan bekas tambang batu bara sebesar 1,187 mg/kg (Saputri, 2023) jauh melebihi batas baku mutu *United States Environmental Protection Agency* (US EPA) tahun 2002, yaitu 0,4 mg/kg (US EPA, 2002). Cd yang bersifat toksik, persisten, mudah terakumulasi, serta mudah masuk ke dalam rantai makanan, sehingga dapat menyebabkan klorosis dan stres oksidatif pada tanaman (Niknahad dkk., 2018), serta menimbulkan gangguan ginjal, kanker, dan penyakit kronis pada manusia akibat paparan jangka panjang (Amri & Adifa, 2025).

Berbagai metode telah dikembangkan untuk menurunkan kadar logam dalam tanah, baik secara fisik, kimia, maupun biologis. Metode fisika dan kimia seperti *soil washing* (pencucian tanah), solidifikasi, dan penggunaan agen pengikat kimia dinilai efektif, namun cenderung mahal, kompleks, serta berisiko menimbulkan dampak lingkungan. Alternatif yang biayanya rendah, tidak merusak struktur tanah, hemat energi, dan ramah lingkungan adalah fitoremediasi, yaitu teknologi pemulihan lahan yang tercemar menggunakan tanaman yang mampu menyerap, menstabilkan, atau menurunkan kadar logam berat dalam tanah (Hamzah & Priyadarshini, 2019). Namun, logam yang terakumulasi dalam biomassa tanaman juga memerlukan pendekatan pengolahan yang tepat agar tidak menjadi sumber pencemar baru (Jamilatun dkk., 2024).

Keberhasilan fitoremediasi dipengaruhi oleh jenis tanaman, kondisi lingkungan dan ketersediaan logam berat yang dapat diserap oleh akar (bioavailabilitas). Pemilihan tanaman ideal harus mempertimbangkan kemampuan akumulasi tinggi, biomassa

besar, daya tahan terhadap kondisi ekstrem, serta sifat noninvasif. Beberapa tanaman yang berpotensi sebagai akumulator adalah *Amaranthus hypochondriacus*, *Chrysopogon zizanioides* L., dan *Brassica juncea*. Tanaman ini memiliki kemampuan yang efektif dalam menyerap dan menstabilkan logam berat, termasuk Cd, Pb, Cr, dan As (Amri & Adifa, 2025). Akar wangi merupakan kandidat potensial karena memiliki akar yang dalam dan rapat, toleran terhadap kondisi ekstrem, serta mampu mengakumulasi logam berat tanpa mengalami gejala toksisitas yang berat (Priantoro dkk., 2025).

Meskipun fitoremediasi memiliki potensi besar, efektivitasnya sering kali belum optimal karena sebagian besar logam berat berada dalam bentuk yang tidak mudah diserap oleh akar tanaman. Upaya peningkatan efektivitas dapat dilakukan melalui penambahan *biochar* sebagai amandemen tanah (Meng dkk., 2025). *Biochar* merupakan material berpori dengan luas permukaan dan kapasitas tukar kation yang tinggi, serta mengandung berbagai gugus fungsi aktif seperti karboksil ($-\text{COOH}$), hidroksil ($-\text{OH}$), karbonil ($\text{C}=\text{O}$), dan gugus siloksan ($\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$), sehingga mampu mengadsorpsi serta mengimobilisasi Cd. Akibatnya, mobilitas dan bioavailabilitas Cd di dalam tanah menurun, sehingga toksisitas Cd terhadap tanaman berkurang, menjaga pertumbuhan tanaman tetap optimal, serta proses fitoremediasi dapat berlangsung lebih efektif (Li dkk., 2023).

Karakteristik *biochar* dipengaruhi oleh jenis bahan bakunya, sehingga kemampuan mengikat Cd juga berbeda. *Biochar* sekam padi mengandung silika (SiO_2) yang tinggi, serta gugus fungsi aktif $-\text{OH}$, $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$, dan $-\text{COOH}$ yang dapat mengikat ion Cd^{2+} melalui pertukaran ion dan kompleksasi (Gautam dkk., 2023). *Biochar* tempurung kelapa mengandung gugus fungsi aktif ($-\text{OH}$, $\text{C}=\text{O}$, dan $-\text{COOH}$), karbon tetap yang tinggi, dan struktur karbon aromatik $\text{C}=\text{C}$ -nya yang stabil, serta mikropori yang memiliki kapasitas adsorpsi tinggi dan mampu mengimobilisasi Cd lebih stabil. (Pang dkk., 2025). Sementara itu, *biochar* biopelet daun-ranting mengandung gugus fungsi aktif ($-\text{COOH}$, $-\text{NH}_2$, dan $\text{C}=\text{O}$), yang mampu mengikat ion Cd^{2+} melalui mekanisme kompleksasi dan adsorpsi (Liu dkk., 2022).

Efektivitas *biochar* dalam menurunkan ketersediaan Cd telah dibuktikan dalam beberapa kajian, termasuk penelitian Han dkk. (2024) melaporkan penurunan

ketersediaan Cd mencapai 71,77% dari konsentrasi awal di tanah, dari 0,202 mg/kg menjadi 0,057 mg/kg, selama 150 hari pada *brown rice* dengan kombinasi *biochar* jerami jagung, pupuk organik, dan fosfat, serta Ketaubon dkk. (2024) yang mencatat penurunan sebesar 61%, yakni dari 4,3 mg/kg menjadi 1,7 mg/kg selama periode 60 hari melalui kombinasi *biochar* tempurung kelapa (2%) dan mineral zeolit (5%). Berdasarkan penelitian terdahulu, sebagian besar penelitian hanya mengevaluasi efektivitas satu jenis *biochar* atau kombinasinya dengan bahan amandemen lainnya. Hingga saat ini, penelitian yang membandingkan berbagai jenis *biochar* terhadap bioavailabilitas Cd menggunakan tanaman akar wangi masih terbatas. Oleh karena itu, studi ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kondisi lingkungan tanah (pH, kelembapan, dan suhu) dan respons morfologi tanaman terhadap penyisihan dan bioakumulasi Cd (*Translocation Factor* dan *Bioaccumulation Factor*), peran berbagai jenis *biochar* (sekam padi, tempurung kelapa, dan biopellet daun-ranting) dalam mengubah kadar Cd yang dihasilkan oleh *biochar*, serta menilai kinerja jenis *biochar* terhadap perubahan konsentrasi Cd pada tanah.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

1.2.1 Maksud Penelitian

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengkaji pengaruh penambahan variasi jenis *biochar* terhadap efektivitas fitoremediasi tanaman akar wangi (*Chrysopogon zizanioides* L.) dalam menyisihkan Cd dari tanah.

1.2.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

- 1 Menganalisis pengaruh kondisi lingkungan tanah dan respons morfologi tanaman akar wangi terhadap penyisihan Cd pada setiap variasi perlakuan.
- 2 Menganalisis kemampuan tanaman akar wangi dengan penambahan *biochar* dalam menyisihkan dan mengakumulasi Cd.
- 3 Menganalisis peran berbagai jenis *biochar* terhadap perubahan kadar Cd pada tanah dengan penambahan *biochar*.
- 4 Mengevaluasi kinerja komparatif dari semua variasi perlakuan terhadap perubahan konsentrasi Cd dalam tanah.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat berikut:

1. Menjadi dasar pengembangan teknologi fitoremediasi berbasis *biochar* yang berkelanjutan dan ekonomis untuk memperbaiki tanah yang tercemar logam berat.
2. Mendukung pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan dan dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya.
3. Memberikan rekomendasi jenis *biochar* yang paling efektif untuk meningkatkan fitoremediasi tanah yang tercemar Cd.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini meliputi:

1. Penelitian dilakukan di *Greenhouse* yang berada di depan Reservoir, dan preparasi sampel dilakukan di Laboratorium Air dan Laboratorium Penelitian, Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, pada periode Oktober 2025 hingga Maret 2026.
2. Tanaman yang digunakan adalah *Chrysopogon zizanioides* L. (akar wangi).
3. Media tanam yang digunakan berupa tanah jenis inceptisol yang dikontaminasi Cd dalam bentuk CdSO_4 dengan konsentrasi 1 mg/kg.
4. Jenis *biochar* yang digunakan terdiri atas *biochar* dari sekam padi, tempurung kelapa, dan biopellet daun-ranting berukuran 100 mesh (0,149 mm), dengan massa masing-masing sebesar 2% dari massa tanah dalam *polybag*.
5. Variasi perlakuan terdiri dari satu variasi tanaman dengan Cd tanpa *biochar*, tiga variasi tanaman dengan Cd dan *biochar* secara terpisah (sekam padi, tempurung kelapa, dan biopellet daun-ranting), serta tiga variasi jenis *biochar* tanpa tanaman dengan Cd. Masing-masing variasi direplikasi dua kali (duplo).
6. Pengamatan dilakukan dalam rentang 50 hari pada hari ke-1, ke-6, ke-12, ke-25, dan ke-50.
7. Konsentrasi Cd pada tanah dan tanaman diukur menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) di Laboratorium Analitik, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Padang.
8. Parameter morfologi tanaman yang diukur yaitu tinggi tanaman.

9. Parameter lingkungan tanah yang diukur adalah pH, temperatur, dan kelembapan tanah.
10. Data dianalisis *menggunakan One-Way ANOVA* untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan rata-rata antarperlakuan, kemudian dilanjutkan dengan *Duncan Multiple Range Test (DMRT)* apabila hasil ANOVA menunjukkan perbedaan yang signifikan.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika Penulisan Tugas Akhir ini terdiri atas:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memuat latar belakang penelitian, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian serta sistematika penulisan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas teori-teori yang berkaitan dengan pencemaran tanah oleh logam Cd, termasuk sumber, dampak, serta cara penanganannya. Selain itu, dijelaskan mengenai fitoremediasi menggunakan tanaman akar wangi serta pemanfaatan *biochar* sebagai upaya perbaikan tanah yang tercemar.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tahapan penelitian yang meliputi studi literatur, persiapan alat dan bahan, percobaan aklimatisasi, percobaan fitoremediasi, analisis parameter penelitian, serta metode analisis data dan pembahasan hasil penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil penelitian berupa data pengukuran, analisis hasil, serta pembahasan yang mengacu pada teori dan penelitian terdahulu.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian serta saran yang dapat digunakan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.