

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan timbulan sampah menjadi permasalahan lingkungan yang semakin kompleks seiring dengan pertumbuhan populasi, urbanisasi, dan perubahan pola konsumsi masyarakat. Secara global, produksi sampah diperkirakan akan terus meningkat dari sekitar 2 miliar ton pada tahun 2016 menjadi sekitar 3,4 miliar ton pada tahun 2050 apabila tidak dilakukan intervensi pengelolaan yang efektif (Khan *et al.*, 2022). Peningkatan ini menunjukkan bahwa pengelolaan sampah menjadi tantangan serius, terutama di negara berkembang yang masih memiliki keterbatasan infrastruktur dan teknologi pengolahan limbah. Kondisi tersebut berpotensi meningkatkan risiko pencemaran lingkungan, khususnya pada tanah dan air tanah akibat akumulasi polutan berbahaya. Permasalahan sampah tidak hanya berkaitan dengan jumlahnya, tetapi juga dengan kualitas polutan yang dihasilkan, seperti gas beracun, partikulat, serta lindi yang terbentuk selama proses dekomposisi limbah.

Permasalahan serupa juga terjadi di Indonesia, salah satunya pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Jatibarang di Kota Semarang. TPA ini menerima sekitar 800–950 ton sampah per hari dan masih menerapkan sistem *open dumping*, yaitu pembuangan sampah secara terbuka tanpa pengolahan yang memadai (Hasthi *et al.*, 2023; Saputra *et al.*, 2020). Sistem tersebut meningkatkan potensi pencemaran lingkungan karena memungkinkan infiltrasi lindi yang membawa kontaminan organik maupun anorganik ke tanah dan air tanah. Selain itu, keterbatasan kapasitas TPA serta peningkatan volume sampah dari tahun ke tahun berpotensi meningkatkan beban pencemaran di lingkungan sekitar TPA apabila

tidak diimbangi dengan sistem pengelolaan yang lebih baik (Satriani *dkk.*, 2025; Ermilinda *et al.*, 2022).

Lindi yang dihasilkan dari aktivitas TPA mengandung berbagai polutan kompleks, termasuk logam berat seperti Zn, Cd, dan Pb yang bersifat toksik bagi lingkungan (Rezapour *et al.*, 2018; Bouzayani *et al.*, 2014). Pada TPA Jatibarang, kandungan Zn dilaporkan telah melebihi ambang batas 160 mg/kg tanah kering berdasarkan *Ecological Soil Screening Level* (Eco-SSL) yang ditetapkan oleh U.S. Environmental Protection Agency U.S. EPA (2007). Tingginya kandungan Zn pada lindi umumnya berasal dari limbah elektronik, baterai, cat, karet, serta tekstil yang mengandung pigmen berbasis Zn (Martin *et al.*, 2021; Shen *et al.*, 2022). Seng (Zn) merupakan unsur mikronutrien esensial bagi tanaman, namun dalam konsentrasi tinggi dapat berubah menjadi kontaminan yang berpotensi toksik (Akhtar *et al.*, 2025). Akumulasi Zn yang berlebihan dapat menurunkan pertumbuhan tanaman, menghambat penyerapan unsur hara, mengganggu proses fotosintesis, serta merusak sistem perakaran. Oleh karena itu, remediasi Zn pada tanah tercemar lindi di TPA Jatibarang menjadi penting baik dari aspek ekologis maupun praktis.

Berbagai teknologi telah dikembangkan untuk mengolah lindi, seperti adsorpsi, solidifikasi/stabilisasi, dan teknologi membran. Namun, metode tersebut umumnya membutuhkan biaya operasional tinggi, teknologi khusus, serta berpotensi menghasilkan residu sekunder yang berbahaya (Yang *et al.*, 2019; Kaparwan *et al.*, 2020). Keterbatasan ini mendorong pengembangan pendekatan yang lebih ramah lingkungan, salah satunya adalah fitoremediasi, yaitu pemanfaatan tanaman untuk menyerap, mengakumulasi, atau menstabilkan kontaminan melalui mekanisme biologis tanaman (El-Shahir *et al.*, 2021).

Fitoremediasi memiliki keunggulan berupa biaya yang relatif rendah, risiko pencemaran sekunder yang minimal, serta penerimaan sosial yang lebih baik. Keberhasilan fitoremediasi dipengaruhi oleh jenis tanaman, karakteristik tanah, bioavailabilitas logam, serta faktor agronomis seperti kepadatan tanaman dan ketersediaan bahan organik.

Akar wangi (*Chrysopogon zizanioides*) merupakan salah satu tanaman yang direkomendasikan untuk fitoremediasi karena memiliki sistem perakaran yang dalam, toleransi tinggi terhadap kondisi lingkungan ekstrem, biomassa besar, serta kemampuan akumulasi logam yang baik. Tanaman ini termasuk famili Poaceae, tumbuh cepat, bersifat tahunan, serta memiliki sistem akar yang padat, berserat, dan mampu menembus tanah dalam. Akar wangi juga toleran terhadap kekeringan serta mampu tumbuh pada kondisi tanah alkali dan salin, serta mampu mentoleransi berbagai logam beracun dalam tanah (Gautam & Agrawal, 2017). Selain itu, akar wangi merupakan tanaman non pangan yang menghasilkan minyak atsiri dari akarnya, sehingga biomassa hasil fitoremediasi dapat dikelola tanpa risiko masuk ke rantai makanan manusia (Mukherjee *et al.*, 2025).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa akar wangi mampu menurunkan mobilitas Zn dalam tanah (Masinire *et al.*, 2021). Tanaman ini tidak hanya menyerap logam secara pasif, tetapi juga menunjukkan selektivitas fungsional yang memungkinkan penggunaannya baik untuk stabilisasi maupun ekstraksi logam berat tertentu, tergantung jenis logam dan kondisi tanah (Ondo *et al.*, 2021). Potensi akumulasi logam berat pada jaringan tanaman ditunjukkan oleh nilai *Bio-Concentration Factor* (BCF) dan *Bio-Accumulation Factor* (BAC) yang seringkali lebih besar dari 1 untuk logam seperti Cd, Cu, Mn, Zn, Ni, dan Cr (Ondo *et al.*,

2021) Selain itu, akar wangi juga menunjukkan kemampuan translokasi logam dari akar ke tajuk yang cukup baik (Mahmoudpour *et al.*, 2021). Karakteristik tersebut menjadikan akar wangi sebagai kandidat potensial dalam remediasi logam berat pada tanah TPA.

Selain jenis tanaman, kepadatan tanaman merupakan faktor penting yang mempengaruhi efektivitas fitoremediasi. Kepadatan tanaman mempengaruhi luas permukaan akar, kompetisi unsur hara, produksi eksudat akar, serta interaksi dengan mikroorganisme tanah yang berperan dalam mobilisasi logam di zona rizosfer (Qin *et al.*, 2021; Tan *et al.*, 2023). Penelitian Masinire *et al.*, (2021) menunjukkan bahwa peningkatan kepadatan tanaman dapat meningkatkan efisiensi penurunan Cr(VI), terutama pada konsentrasi awal logam yang tinggi, karena meningkatnya luas permukaan akar dan intensitas penyerapan air. Kepadatan tanaman yang tinggi juga cenderung meningkatkan akumulasi logam di akar dan menurunkan translokasi ke tajuk, sehingga mendukung mekanisme fitostabilisasi. Penelitian Huslina *et al.*, (2026) juga menunjukkan bahwa peningkatan kepadatan tanaman dapat meningkatkan serapan logam, terutama jika dikombinasikan dengan amandemen tanah. Namun, penelitian Lim *et al.*, (2017) menunjukkan bahwa kepadatan tanaman tidak selalu memberikan pengaruh signifikan terhadap akumulasi logam, sehingga efek kepadatan sangat bergantung pada jenis tanaman dan logam yang diteliti.

Penambahan kompos berperan dalam remediasi tanah tercemar karena mampu memperbaiki struktur tanah dan menyediakan substansi humik yang berfungsi sebagai pengkelat logam (Piccolo *et al.*, 2019). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kompos mampu menurunkan fraksi Zn tersedia hingga 71–

76% serta meningkatkan biomassa tanaman (Lacalle *et al.*, 2023). Selain itu, bahan organik juga mendukung pemulihan fungsi tanah melalui peningkatan aktivitas enzim tanah dan efisiensi penyerapan unsur hara (Acharya *et al.*, 2025). Aplikasi kompos dapat menurunkan bioavailabilitas Zn sehingga menurunkan toksisitas logam, yang ditunjukkan melalui peningkatan pertumbuhan tanaman dan penurunan kadar MDA, serta meningkatkan efektivitas fitostabilisasi dengan membatasi penyerapan dan translokasi Zn ke tajuk (Li *et al.*, 2021). Penurunan bioavailabilitas Zn akibat kompos dapat menimbulkan dua efek yang berlawanan, yaitu mengurangi toksisitas bagi tanaman tetapi berpotensi menurunkan efisiensi serapan Zn. Oleh karena itu, interaksi tersebut perlu diuji secara empiris pada kondisi lapangan seperti TPA Jatibarang.

Kombinasi kepadatan tanaman dan kompos berperan dalam menentukan keberhasilan fitoremediasi. Penambahan kompos sebagai amandemen organik mampu memperbaiki struktur tanah, meningkatkan aktivitas mikroba, serta memodifikasi bioavailabilitas logam berat sehingga mendukung pertumbuhan tanaman dan proses remediasi secara berkelanjutan. Selain itu, kepadatan tanaman mempengaruhi produksi biomassa dan luas sistem perakaran, yang berkontribusi terhadap total akumulasi logam pada sistem tanaman. Oleh karena itu, pengaturan kepadatan tanaman yang dikombinasikan dengan kompos dapat menjadi strategi efektif untuk meningkatkan kinerja fitoremediasi pada tanah tercemar logam berat.

Penelitian mengenai fitoremediasi logam berat telah banyak dilakukan menggunakan berbagai spesies tanaman, termasuk akar wangi yang menunjukkan potensi tinggi dalam menurunkan konsentrasi logam berat pada media tercemar (Masinire *et al.*, 2021). Selain itu, penggunaan amandemen organik seperti kompos

mampu menurunkan bioavailabilitas logam dan memperbaiki pertumbuhan tanaman, meskipun dalam beberapa kondisi dapat mengurangi serapan logam oleh tanaman (Alam *et al.*, 2020). Namun, penelitian yang secara spesifik mengkaji kombinasi kepadatan tanaman dan kompos pada fitoremediasi logam berat menggunakan *Chrysopogon zizanioides* masih terbatas, khususnya pada kondisi tanah tercemar lindi dan logam Zn. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada evaluasi pengaruh kepadatan tanaman akar wangi dan penambahan kompos terhadap penurunan konsentrasi Zn pada tanah tercemar lindi di TPA Jatibarang. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah bagi pengembangan strategi fitoremediasi yang optimal pada lahan TPA, sekaligus mendukung upaya pengendalian pencemaran lingkungan secara berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dituliskan, maka dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh tingkat kepadatan tanaman yang berbeda terhadap penurunan kadar logam seng (Zn) dan pertumbuhan tanaman akar wangi pada tanah tercemar lindi dari TPA Jatibarang?
2. Bagaimana pengaruh pemberian kompos terhadap penurunan kadar logam seng (Zn) dan pertumbuhan tanaman akar wangi pada tanah tercemar lindi dari TPA Jatibarang?
3. Bagaimana interaksi antara kepadatan tanaman akar wangi dan perlakuan kompos dalam menurunkan kadar logam seng (Zn) serta mempengaruhi pertumbuhan tanaman pada tanah tercemar lindi dari TPA Jatibarang?

4. Kombinasi antara kepadatan tanaman akar wangi dan dosis kompos manakah yang optimal dalam menurunkan kadar logam seng (Zn) dan meningkatkan pertumbuhan tanaman akar wangi pada tanah tercemar lindi dari TPA Jatibarang?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh tingkat kepadatan tanaman akar wangi terhadap penurunan kadar logam seng (Zn) dan pertumbuhan tanaman akar wangi pada tanah tercemar lindi dari TPA Jatibarang.
2. Menganalisis peran kompos dalam menurunkan kadar logam seng (Zn) dan pertumbuhan tanaman akar wangi pada tanah tercemar lindi di TPA Jatibarang.
3. Menganalisis interaksi antara tanaman akar wangi dan kompos dalam menurunkan kadar logam seng (Zn) dan pertumbuhan tanaman akar wangi pada tanah tercemar lindi dari TPA Jatibarang.
4. Menentukan kombinasi optimal antara kepadatan tanaman akar wangi dan dosis kompos untuk menurunkan kadar logam seng (Zn) dan meningkatkan pertumbuhan tanaman akar wangi pada tanah tercemar lindi dari TPA Jatibarang.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian ini yaitu:

1. Manfaat Ilmu Pengetahuan

Penelitian ini memperkaya pemahaman mengenai mekanisme fitoremediasi logam seng (Zn) pada tanah tercemar lindi melalui peran kepadatan tanaman akar wangi dan penambahan kompos, khususnya dalam menjelaskan hubungan

antara ketersediaan logam di tanah, penyerapan oleh sistem perakaran, serta respons pertumbuhan tanaman.

2. Manfaat Masyarakat

Penelitian ini dapat menjadi pedoman dalam menentukan kepadatan tanaman akar wangi dan jumlah kompos yang tepat untuk menurunkan kadar logam seng (Zn) pada tanah yang tercemar lindi di TPA Jatibarang, sehingga membantu upaya perbaikan tanah secara sederhana, ramah lingkungan, dan dengan biaya yang relatif terjangkau.