

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelolaan lumpur tinja di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan, baik dari sisi teknis maupun kelembagaan. Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2017, penanganan lumpur tinja di Indonesia umumnya menggunakan sistem sanitasi setempat (*on-site*) dengan tangki septik, disedot secara berkala, dan diangkut ke Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT). Namun, layanan penyedotan belum merata, frekuensinya rendah, dan banyak IPLT tidak berjalan optimal sehingga lumpur tinja dibuang tanpa pengolahan dan mencemari lingkungan (Anggraini & Nuraeni, 2016). Situasi ini menekankan pentingnya optimalisasi pengelolaan lumpur tinja, tidak hanya pada pengangkutan dan pengolahan, tetapi juga pada pemanfaatannya sebagai sumber daya bernilai tambah.

Dalam konsep *circular economy*, lumpur tinja dipandang sebagai sumber daya yang dapat dimanfaatkan kembali melalui pemulihan unsur hara dan pengolahannya menjadi produk bernilai seperti kompos (Domini dkk., 2022). Kandungan nitrogen sebesar 5,18% menunjukkan potensinya sebagai bahan baku pembuatan kompos (Wulandari dkk., 2024). Namun, pemanfaatannya di sektor pertanian masih terbatas karena kekhawatiran terhadap patogen (Singh dkk., 2022). Pengomposan lumpur tinja di IPLT Kota Payakumbuh menghasilkan kompos dengan rasio C/N (1,7) jauh di bawah SNI 19-7030-2004 (10-20) dan belum diuji kandungan *Escherichia coli*. Kondisi ini menunjukkan bahwa kualitas dan keamanan biologis kompos masih menjadi tantangan dalam pemanfaatannya.

Permasalahan tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan pengomposan lumpur tinja tidak cukup hanya ditentukan oleh adanya proses pengomposan, tetapi juga oleh pemilihan metode yang tepat. Secara umum, terdapat dua jenis metode pengomposan, yaitu aerobik dan anaerobik. Pengomposan aerobik lebih disarankan karena mengurangi kehilangan nitrogen (Yang dkk., 2019). Berbagai metode pengomposan aerobik telah dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi dekomposisi bahan organik. *Windrow composting* relatif sederhana namun membutuhkan lahan luas dan distribusi suhu yang kurang merata, sedangkan

static pile composting memiliki keterbatasan aerasi sehingga dekomposisi berlangsung lebih lambat (Azis dkk., 2022).

Keterbatasan tersebut mendorong pengembangan metode pengomposan yang mampu meningkatkan efisiensi dekomposisi, pengendalian kondisi proses, serta kualitas kompos yang dihasilkan. Di antaranya, *in-vessel composting* dikembangkan untuk meningkatkan pengendalian kondisi proses melalui reaktor terkontrol dengan mengandalkan aktivitas mikrob, sedangkan vermikomposting menawarkan mekanisme biologis yang berbeda melalui interaksi cacing tanah dan mikroorganisme dalam mempercepat stabilisasi bahan organik (Gyambibi dkk., 2021; Singh dkk., 2024). Metode *in-vessel composting* mampu menghasilkan kompos dengan rasio C/N 17,79–23,41 serta menurunkan koliform tinja dari 10^6 – 10^7 menjadi 10^2 – 10^3 MPN/g melalui peningkatan suhu dan aktivitas mikrob sehingga meningkatkan kualitas kompos (Hidalgo dkk., 2022; Varma & Kalamdhad, 2014). Sementara itu, vermikomposting menghasilkan kompos yang kaya hara dengan rasio C/N 13,9 pada hari ke-65 serta menurunkan koliform tinja dari $1,5 \times 10^6$ menjadi 1.500 MPN/g (Parseh dkk., 2021). Meskipun kedua metode berpotensi meningkatkan kualitas kompos, perbedaan mekanisme tersebut diperkirakan memengaruhi dekomposisi, transformasi unsur hara, reduksi bahan organik, komunitas mikrob, dan kualitas kompos yang dihasilkan.

Kualitas kompos dapat ditingkatkan melalui ko-komposting lumpur tinja dengan residu pertanian seperti jerami dan sekam padi. Ko-komposting lumpur tinja dengan jerami dan sekam padi dilaporkan mampu menghasilkan rasio C/N sebesar 12,5–14,7 (Ardianto & Anasstasia, 2024). Jerami padi merupakan sumber karbon dan unsur hara, sedangkan sekam padi berperan sebagai bahan pembenah struktur yang meningkatkan porositas media pengomposan. Kombinasi kedua bahan tersebut mendukung proses dekomposisi sekaligus meningkatkan pemanfaatan residu pertanian sebagai bahan baku kompos (Kolar & Jin, 2019; Orozco dkk., 2024; Pandey dkk., 2023). Efektivitas pengomposan dievaluasi tidak hanya berdasarkan kualitas kompos, tetapi juga kuantitas kompos yang mencerminkan tingkat reduksi massa selama dekomposisi. Penyusutan massa umumnya mencapai 40–50% akibat pelepasan karbon dioksida dan uap air, dengan kehilangan berat yang lebih tinggi menunjukkan dekomposisi yang lebih

sempurna (Oshins dkk., 2022; Verma dkk., 2014). Kompos terbaik ditentukan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan pendekatan *Multi Criteria Decision Analysis* (MCDA) dengan teknik *Weighted Sum Model* (WSM) berdasarkan hasil uji karakteristik kompos, sehingga kedua metode pengomposan dapat dibandingkan secara terukur untuk memperoleh variasi terbaik (Anvari, 2022; Mishra & Yadav, 2021).

Selain itu, perbedaan organisme utama kedua metode menjadi dasar kajian variasi komunitas mikroorganisme dekomposer. Identifikasi dominasi mikrob dekomposer menggunakan *Next-Generation Sequencing* (NGS) berbasis gen 16S rRNA penting untuk memahami efektivitas proses pengomposan (Cruz dkk., 2021). Keanekaragaman mikrob berubah sebelum dan sesudah pengomposan akibat perubahan fisikokimia, memengaruhi efisiensi dan kualitas (Wan dkk., 2021). Pada vermikomposting, komunitas mikrob berperan dalam penekanan patogen dan pembentukan kompos, sedangkan pada *in-vessel composting* berperan dalam dekomposisi bahan organik dan pembentukan karakteristik kompos (Pathma & Sakthivel, 2012; Tan dkk., 2025).

Penelitian mengenai *in-vessel composting* maupun vermikomposting pada lumpur tinja telah banyak dilaporkan, namun umumnya masih dilakukan secara terpisah sehingga evaluasi terpadu kedua metode berdasarkan kualitas, kuantitas, dan komunitas mikrob masih terbatas. Selain itu, keterkaitan komunitas mikrob dengan karakteristik kompos yang dihasilkan belum banyak dilaporkan. Keterbatasan tersebut menyebabkan belum tersedianya dasar ilmiah dalam menentukan metode pengomposan lumpur tinja yang sesuai dengan karakteristik lumpur tinja dan kebutuhan operasional IPLT. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan pendekatan terpadu untuk mengevaluasi kedua metode pada bahan baku yang sama dan menentukan metode pengomposan yang paling sesuai menggunakan MCDA berbasis AHP–WSM guna mendukung penerapan *circular economy* melalui pemanfaatan kembali lumpur tinja menjadi kompos.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja metode *in-vessel composting* dan vermikomposting pada ko-komposting lumpur tinja dan residu

pertanian dalam menghasilkan kompos yang optimal berdasarkan karakteristik kompos dan identifikasi kelimpahan komunitas mikrob yang terlibat pada proses pengomposan, dengan tujuan sebagai berikut:

1. Menganalisis karakteristik kompos hasil ko-komposting lumpur tinja dan residu pertanian menggunakan metode *in-vessel composting* dan vermikomposting berdasarkan Standar Nasional Indonesia 19-7030-2004.
2. Menganalisis pengaruh metode pengomposan, komposisi bahan, dan interaksi keduanya terhadap karakteristik kompos menggunakan uji *Two-Way ANOVA* dan *Scheirer-Ray-Hare*.
3. Menentukan variasi kompos terbaik pada ko-komposting lumpur tinja dan residu pertanian menggunakan pendekatan *Multi-Criteria Decision Analysis* dengan metode *Analytical Hierarchy Process* dan metode *Weighted Sum Model*.
4. Mengidentifikasi dan membandingkan komposisi serta keanekaragaman komunitas mikrob pada awal dan akhir pengomposan antara *in-vessel composting* dan vermikomposting menggunakan *Next-Generation Sequencing* berbasis gen 16S rRNA, serta mengkaji keterkaitannya dengan karakteristik kompos yang dihasilkan.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat bagi IPLT dan Pemerintah Kota Payakumbuh
Penelitian ini bermanfaat bagi IPLT dan Pemerintah Kota Payakumbuh dalam mendukung pemulihan sumber daya lumpur tinja dan sampah organik menjadi kompos bernilai guna serta sebagai dasar pemilihan metode pengomposan dalam pengolahan lumpur tinja yang lebih optimal.
2. Manfaat bagi Masyarakat
Manfaat bagi masyarakat adalah untuk mendukung ketersediaan pupuk organik berkualitas yang dapat meningkatkan produktivitas pertanian dan mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia.
3. Bagi Akademisi dan Peneliti
Penelitian ini menambah referensi ilmiah mengenai efektivitas metode *in-vessel composting* dan vermikomposting dalam pengolahan lumpur tinja dan

residu pertanian serta memberikan informasi mengenai karakteristik kompos dan komposisi komunitas mikrob pada awal dan akhir proses pengomposan.

1.4 Ruang Lingkup

Berikut adalah ruang lingkup penelitian ini:

1. Pengambilan bahan baku lumpur tinja dari unit *Solid Separation Chamber* (SSC) IPLT Kota Payakumbuh yang telah mengalami proses pengeringan selama 14 hari dengan tekstur semi padat (*cake sludge*).
2. Pengambilan bahan baku residu pertanian berupa jerami di lokasi pertanian (sawah) dan sekam padi di tempat penggilingan padi di Kota Payakumbuh.
3. Penelitian mengevaluasi kinerja dua metode ko-komposting, yaitu *in-vessel composting* dan vermikomposting, dengan dua komposisi bahan, yaitu lumpur tinja–jerami–sekam padi serta lumpur tinja–jerami tanpa sekam padi dengan rasio 3:1. Setiap perlakuan dilakukan sebanyak tiga ulangan (*triplicate*), sedangkan kontrol tanpa ulangan (*single replicates*).
4. Metode *in-vessel composting* dilakukan dengan penambahan larutan bioaktivator *Effective Microorganisms 4* (EM4), sedangkan vermikomposting menggunakan cacing tanah dewasa *Perionyx excavatus*. Perlakuan kontrol dilakukan tanpa penambahan EM4 maupun cacing tanah.
5. Pengamatan parameter lingkungan selama proses pengomposan meliputi suhu, pH, warna dan bau hingga sesuai dengan SNI 19-7030-2004 untuk penentuan lama pengomposan.
6. Melakukan uji kualitas pada kompos terhadap parameter suhu, pH, warna, bau, kadar air, C-organik, N-total, rasio C/N, fosfor (P_2O_5), kalium (K_2O), serta kandungan *E. coli* pada ko-komposting lumpur tinja dan residu pertanian menggunakan *in-vessel composting* dan vermikomposting berdasarkan SNI 19-7030-2004, sedangkan kuantitas kompos dievaluasi berdasarkan tingkat reduksi bahan.
7. Pengaruh metode pengomposan, komposisi bahan, dan interaksinya terhadap kualitas dan kuantitas kompos dianalisis menggunakan RStudio dengan uji normalitas (*Shapiro–Wilk*), uji homogenitas (*Levene's test*), serta uji Two-

Way ANOVA untuk data parametrik, serta uji *Scheirer-Ray-Hare* untuk data nonparametrik.

8. Variasi kompos terbaik ditentukan menggunakan pendekatan *Multi-Criteria Decision Analysis* melalui metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk pembobotan kriteria dan *Weighted Sum Model* (WSM) untuk pemeringkatan alternatif.
9. Melakukan identifikasi dan perbandingan komunitas mikrob pada kondisi awal dan akhir pengomposan menggunakan *Next-Generation Sequencing* berbasis gen 16S rRNA.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tesis ini disusun sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pendahuluan berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi landasan teori yang meliputi lumpur tinja, residu pertanian, kompos, proses pengomposan, kualitas, kuantitas, dan komunitas mikrob kompos, karakteristik filum bakteri dan arkea dominan, metode *in-vessel composting* dan vermikomposting beserta prinsip kerja dan mekanismenya, analisis statistik inferensial desain faktorial, analisis multikriteria (MCDA), metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan penelitian terkait, serta gambaran umum lokasi studi.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tahapan penelitian, lokasi dan waktu penelitian, penyediaan dan analisis bahan baku kompos, persiapan reaktor, pelaksanaan pengomposan, pengamatan parameter lingkungan, analisis kualitas dan kuantitas kompos, analisis statistik, penentuan variasi terbaik menggunakan pendekatan MCDA dengan metode AHP dan WSM, serta identifikasi komunitas mikrob menggunakan metode *Next-Generation Sequencing*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil analisis bahan baku kompos, parameter lingkungan selama proses pengomposan, karakteristik kompos, analisis statistik pengaruh perlakuan, penentuan variasi terbaik, analisis komunitas mikrob, serta implikasi dan rekomendasi penerapan hasil penelitian di IPLT Kota Payakumbuh.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisikan simpulan dan saran berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan

