

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan sampah organik di Indonesia masih menjadi tantangan besar dalam pengelolaan lingkungan, khususnya pada sektor rumah tangga. Aktivitas domestik sehari-hari menghasilkan sampah dalam jumlah yang terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk, urbanisasi, serta perubahan gaya hidup masyarakat. Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), total timbulan sampah di Indonesia pada tahun 2023 mencapai sekitar 69,9 juta ton per tahun. Komposisi sampah tersebut didominasi oleh sampah sisa makanan sebesar 41,60%, disusul oleh sampah plastik sebesar 18,71%. Dari sisi sumber, rumah tangga menjadi kontributor terbesar dengan persentase mencapai 44,37% dari total sampah nasional (Rahmat, 2024).

Meskipun sebagian besar sampah tersebut berpotensi untuk dimanfaatkan kembali, tingkat pengelolaannya masih tergolong rendah. Data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) dalam Rahmat (2024), menunjukkan bahwa hanya sekitar 39% sampah yang berhasil dikelola dengan baik, sedangkan sisanya masih berakhir di Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Kondisi ini mengindikasikan bahwa sistem pengelolaan sampah yang ada belum mampu mengoptimalkan pemanfaatan sampah, terutama sampah organik yang jumlahnya paling dominan (Rahmat, 2024).

Apabila sampah organik tidak dikelola dengan baik, proses pembusukan secara anaerob dapat menghasilkan gas metana (CH_4) yang berkontribusi besar terhadap pemanasan global. Selain itu, degradasi sampah juga menghasilkan cairan lindi yang bersifat asam dengan pH sekitar 2,02–4,56 dan kandungan zat terlarut tinggi, sehingga berpotensi mencemari tanah dan air tanah (Mujaddidah et al., 2017). Timbunan sampah organik juga dapat menimbulkan bau tidak sedap, memicu berkembangnya hama, serta meningkatkan risiko gangguan kesehatan bagi masyarakat. Di wilayah perkotaan, keterbatasan lahan dan jauhnya lokasi TPA turut menyebabkan biaya pengangkutan sampah menjadi kurang efisien.

Pengolahan sampah organik sejak dari sumbernya, khususnya di tingkat rumah tangga, merupakan langkah strategis untuk mengurangi beban pengelolaan sampah secara keseluruhan. Salah satu metode yang dapat diterapkan adalah pengomposan sampah organik menjadi pupuk kompos. Namun, rendahnya tingkat penerapan pengomposan secara mandiri di masyarakat tidak sepenuhnya disebabkan oleh kompleksitas teknis proses pengomposan, melainkan lebih dipengaruhi oleh aspek perilaku, tingkat pemahaman, serta ketersediaan sistem pendukung yang memadai. Keterbatasan edukasi mengenai pengelolaan sampah organik menyebabkan masyarakat belum memiliki pengetahuan dan kebiasaan yang cukup untuk melakukan pengomposan secara konsisten.

Di sisi lain, sarana pengomposan yang tersedia di pasaran belum sepenuhnya dirancang dengan mempertimbangkan kepraktisan dan kenyamanan pengguna. Secara umum, kompos rumahan yang tersedia saat ini terbagi dalam tiga kategori: komposter anaerobik (seperti komposter POC), komposter semi-aerobik (seperti komposter ember susun), dan komposter aerobik (seperti komposter Takakura). Namun, alat pengomposan ini tidak tersedia secara luas karena pengoperasiannya yang sangat rumit (Akbari dan Khadijah, 2024). Pada umumnya, penggunaan komposter masih mengharuskan sampah organik dicacah secara manual, dilakukan pengadukan secara berkala, serta pemantauan kondisi kompos seperti kelembapan dan bau secara langsung oleh pengguna. Proses ini menuntut waktu, tenaga, dan konsistensi yang relatif tinggi. Selain itu, waktu yang dibutuhkan hingga kompos siap digunakan tergolong cukup lama.

Seiring dengan perkembangan teknologi, pemanfaatan sistem otomasi dan elektronika menawarkan solusi untuk meningkatkan efektivitas proses pengomposan. Penerapan sensor, mikrokontroler, dan aktuator memungkinkan proses pengomposan dikendalikan secara otomatis sehingga kondisi lingkungan tetap berada pada rentang optimal (Hardyanti dan Utomo, 2019). Beberapa penelitian terdahulu telah membahas pengelolaan sampah organik melalui proses pengomposan dengan berbagai pendekatan. Akbari dan Khadijah (2024) mengembangkan komposter aerobik terpadu yang mengintegrasikan proses pencacahan, pengomposan, dan penampungan lindi dalam satu sistem yang lebih praktis dibandingkan komposter konvensional. Komposter yang dirancang mampu

menghasilkan kompos dengan kualitas yang telah memenuhi standar nasional. Namun, proses pengoperasian alat, khususnya pada tahap pengadukan material kompos, masih dilakukan secara manual sehingga sistem belum sepenuhnya menerapkan mekanisme kendali otomatis (Akbari dan Khadijah, 2024).

Pendekatan berbeda ditunjukkan oleh Nadia et al. (2023) melalui metode Takakura berbasis partisipasi masyarakat dengan bioaktivator lokal, yang terbukti efektif di tingkat komunitas (Nadia et al., 2023). Penelitian lain oleh Kurnia et al. (2017) menekankan pentingnya pengendalian parameter lingkungan, seperti kadar air dan suhu, terhadap kualitas dan waktu pengomposan, baik melalui metode terbuka maupun sistem kendali otomatis berbasis sensor (Kurnia et al., 2017). Selain itu, studi internasional juga menunjukkan bahwa optimasi kondisi fisik bahan baku serta mekanisasi pengadukan berpengaruh signifikan terhadap percepatan dekomposisi dan mutu kompos yang dihasilkan (Liu et al., 2024). Secara umum, penelitian-penelitian tersebut menegaskan bahwa aspek desain alat, pengendalian parameter proses, dan tingkat keterlibatan pengguna merupakan faktor kunci dalam keberhasilan pengomposan sampah organik.

Meskipun berbagai penelitian telah membahas desain komposter, metode pengomposan, serta pentingnya pengendalian parameter lingkungan, sebagian besar sistem yang dikembangkan masih memiliki keterbatasan dalam menjaga kestabilan suhu dan kelembapan secara adaptif sepanjang proses pengomposan. Pada praktiknya, fluktuasi suhu dan kelembapan sering terjadi akibat perubahan kondisi lingkungan dan aktivitas mikroorganisme, sehingga pengendalian secara manual maupun dengan metode kendali sederhana belum mampu memberikan respon yang optimal. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem kontrol yang mampu menyesuaikan kondisi lingkungan komposter secara otomatis dan fleksibel agar proses dekomposisi dapat berlangsung lebih stabil dan efisien (Hardyanti dan Utomo, 2019).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini difokuskan pada perancangan sistem kontrol suhu dan kelembapan pada komposter dengan memanfaatkan sensor dan mikrokontroler sebagai pengendali utama. Sistem kontrol dirancang untuk menjaga kondisi lingkungan kompos tetap berada pada rentang optimal sehingga dapat mengurangi ketergantungan terhadap pemantauan

manual yang intensif. Dengan pengendalian suhu dan kelembapan yang lebih terkontrol, diharapkan proses pengomposan dapat berlangsung lebih cepat, lebih stabil, dan menghasilkan kompos dengan kualitas yang konsisten. Mengingat karakteristik proses pengomposan yang bersifat nonlinier dan dinamis, penelitian ini menerapkan pendekatan logika *fuzzy* sebagai metode pengendalian untuk mengatur respon sistem terhadap perubahan kondisi lingkungan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan yang diangkat dalam Proyek Akhir ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

- 1) Bagaimana merancang sistem kontrol suhu dan kelembapan pada komposter berbasis sensor, mikrokontroler, dan aktuator agar kondisi lingkungan kompos dapat dijaga pada rentang optimal secara otomatis?
- 2) Bagaimana menerapkan logika *fuzzy* sebagai metode pengendalian suhu dan kelembapan pada proses pengomposan sampah organik?
- 3) Bagaimana kinerja sistem kontrol berbasis logika *fuzzy* dalam menjaga kestabilan suhu dan kelembapan selama proses pengomposan?

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam Proyek Akhir ini lebih terarah dan sesuai dengan ruang lingkup perancangan, maka ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

- 1) Sistem diterapkan pada komposter aerobik tertutup skala rumah tangga yang dikembangkan pada penelitian.
- 2) Parameter yang dikendalikan dibatasi pada suhu dan kelembapan di dalam komposter.
- 3) Sensor yang digunakan untuk membaca suhu dan kelembapan adalah DHT22.
- 4) Sistem kendali diimplementasikan menggunakan Arduino Mega 2560 dan metode Fuzzy Logic Mamdani.
- 5) Aktuator yang digunakan dalam pengendalian meliputi heater, fan-heater, blower, dan pompa air sesuai fungsi sistem.
- 6) Setpoint suhu dan kelembapan ditetapkan sesuai kondisi operasi yang digunakan pada penelitian.

- 7) Evaluasi kinerja kendali dibatasi pada error pengukuran sensor, respons aktuator, respons transien, kondisi steady-state, dan persentase data yang berada dalam batas toleransi terhadap setpoint.
- 8) Evaluasi kualitas akhir kompos secara kimiawi seperti rasio C/N, kandungan unsur hara, dan analisis laboratorium tidak menjadi fokus utama penelitian.

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol suhu dan kelembapan pada komposter skala rumah tangga menggunakan sensor, mikrokontroler, dan aktuator.
- 2) Menerapkan metode logika *fuzzy* sebagai sistem pengendalian suhu dan kelembapan pada proses pengomposan sampah organik agar sistem mampu menyesuaikan kondisi lingkungan secara adaptif.
- 3) Menganalisis kinerja sistem kontrol berbasis logika *fuzzy* dalam menjaga kestabilan suhu dan kelembapan selama proses pengomposan berlangsung.

1.4.2 Manfaat

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

- 1) Membantu mempertahankan suhu dan kelembapan komposter secara otomatis pada rentang operasi yang ditentukan.
- 2) Mengurangi kebutuhan intervensi manual dalam pengaturan suhu dan kelembapan selama proses pengomposan.
- 3) Memberikan hasil evaluasi penerapan Fuzzy Logic Mamdani sebagai metode pengendalian suhu dan kelembapan pada komposter aerobik tertutup.
- 4) Menjadi referensi pengembangan sistem kendali adaptif pada komposter rumah tangga berbasis mikrokontroler.