

BAB 1

SPEKIFIKASI KEBUTUHAN PERANGKAT LUNAK

1.1 Latar Belakang Masalah

Yayasan Pendidikan Islam Fitri melalui Laboratorium Olah Sampah Organik Berkah Barokah memiliki komitmen kuat dalam menjaga kelestarian lingkungan sebagai implementasi nilai-nilai Islam mengenai tanggung jawab manusia sebagai pengelola bumi (*khalifah fil ardh*). Salah satu bentuk nyata dari komitmen tersebut adalah kegiatan pengolahan sampah organik menjadi pupuk organik cair (POC) dan kompos padat. Kegiatan ini bertujuan untuk mengurangi dampak limbah domestik sekaligus memberikan manfaat ekonomi dan ekologis bagi masyarakat sekitar melalui pemanfaatan kembali sampah organik yang sebelumnya tidak dimanfaatkan secara optimal.

Permasalahan sampah merupakan isu lingkungan yang terus meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk dan aktivitas manusia. Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2025, kontribusi terbesar terhadap timbulan sampah nasional berasal dari sektor rumah tangga yang mencapai 54,69%. Jika ditinjau dari karakteristiknya, sampah didominasi oleh sisa makanan sebesar 40,76%, diikuti oleh sampah plastik sebesar 20%, dan kayu/ranting sebesar 12,97%. Dominasi sampah organik yang sangat tinggi ini menunjukkan bahwa pengelolaan sampah yang tepat sangat diperlukan agar limbah tidak menimbulkan pencemaran lingkungan. Salah satu metode yang efektif adalah mengolah sampah organik menjadi kompos atau pupuk organik yang bermanfaat bagi tanaman (Sulistiyorini & Lingkungan, n.d.).

Selain dapat dimanfaatkan menjadi kompos dan pupuk organik, sampah organik yang tidak dikelola dengan baik juga berpotensi menghasilkan gas metana (CH_4) melalui proses dekomposisi secara anaerob. Gas metana merupakan salah satu gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap efek rumah kaca dan pemanasan global. Oleh karena itu, pengelolaan sampah organik yang tepat tidak hanya bertujuan mengurangi volume limbah, tetapi juga berperan dalam menekan emisi gas rumah kaca sehingga mendukung upaya pelestarian lingkungan secara berkelanjutan (Ling et al., n.d.).

Namun, dalam praktiknya proses pengolahan pupuk organik di Laboratorium Berkah Barokah masih menghadapi beberapa kendala teknis. Proses pemantauan kondisi

fermentasi masih dilakukan secara manual sehingga pengelola tidak dapat mengetahui aktivitas mikroorganisme di dalam wadah komposter secara akurat. Padahal, keberhasilan proses pengomposan sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter penting seperti suhu, kelembapan, serta kondisi lingkungan yang harus berada dalam rentang tertentu agar proses dekomposisi dapat berjalan secara optimal (Nurkhasanah et al., 2021).

Selain suhu dan kelembapan, proses pengomposan juga menghasilkan berbagai emisi gas, seperti metana (CH_4), amonia (NH_3), dan dinitrogen oksida (N_2O), yang dapat menjadi indikator berlangsungnya aktivitas mikroorganisme selama proses dekomposisi. Pengendalian kondisi pengomposan yang baik mampu menekan terbentuknya emisi gas tersebut sekaligus meningkatkan kualitas kompos yang dihasilkan. Oleh karena itu, pemantauan kondisi pengomposan secara real-time menjadi salah satu langkah penting untuk menjaga proses tetap berlangsung secara optimal (Li et al., 2023).

Selain itu, proses pengomposan secara konvensional umumnya membutuhkan waktu yang cukup lama, yaitu sekitar dua hingga tiga bulan hingga kompos terbentuk secara sempurna. Proses yang relatif lama tersebut sering kali menyebabkan masyarakat kurang tertarik untuk mengolah sampah organik secara mandiri. Oleh karena itu, diperlukan inovasi teknologi yang mampu membantu mempercepat proses pengomposan sekaligus mempermudah pemantauan kondisi kompos secara lebih akurat (Rahman et al., 2024).

Perkembangan teknologi *Internet of Things (IoT)* memberikan peluang besar dalam meningkatkan efisiensi proses pengolahan sampah organik. Teknologi IoT memungkinkan berbagai perangkat sensor saling terhubung melalui jaringan internet sehingga mampu melakukan pemantauan kondisi lingkungan secara *real-time*. Dalam sistem pengomposan, teknologi ini dapat digunakan untuk memantau parameter penting seperti suhu, kelembapan, serta kondisi fermentasi sehingga proses penguraian bahan organik dapat berjalan lebih optimal. Selain itu, sistem monitoring berbasis IoT juga dapat meningkatkan efisiensi proses produksi serta membantu pengelola dalam mengontrol kualitas pupuk yang dihasilkan (Abdurrozzaq et al., 2025).

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan suatu sistem otomatisasi yang mampu membantu pengelola Laboratorium Berkah Barokah dalam memantau dan mengontrol proses pengomposan secara lebih efektif. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan sebuah sistem otomatisasi pengomposan pupuk organik cair berbasis *Internet of Things (IoT)* yang dilengkapi dengan sensor suhu, kelembapan, dan sensor gas untuk memantau kondisi komposter secara *real-time*. Dengan adanya sistem ini diharapkan proses

pengomposan dapat berjalan lebih optimal, kualitas pupuk yang dihasilkan menjadi lebih stabil, serta mendukung pengelolaan sampah organik yang lebih efisien dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian dan rancang bangun sistem *TRAKS-OM* ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem otomatisasi pada *Smart Composter* berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 agar dapat melakukan pencacahan organik secara otomatis serta mengendalikan proses pengadukan dan penyiraman secara tepat?
2. Bagaimana membangun sistem monitoring *real-time* berbasis platform *ThingSpeak* dan dashboard website guna memantau parameter suhu, kelembapan media, kadar gas fermentasi, serta ketersediaan air pada sistem komposter?
3. Bagaimana mengintegrasikan sistem notifikasi otomatis melalui Telegram Bot dan alarm suara (*buzzer*) untuk mendeteksi serta memberikan peringatan dini terhadap kondisi abnormal pada proses pengomposan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, tujuan yang ingin dicapai dalam proyek akhir ini adalah:

1. Merancang dan mengembangkan sistem otomatisasi pada *Smart Composter* berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 untuk melakukan pencacahan bahan organik secara otomatis, serta mengevaluasi ketepatan sistem dalam mengendalikan proses pengadukan dan penyiraman berkala.
2. Membangun sistem monitoring *real-time* menggunakan platform *ThingSpeak* dan dashboard website, serta mengukur efektivitas dan akurasi visualisasi parameter suhu, kelembapan media, kadar gas fermentasi, hingga volume ketersediaan air.
3. Mengintegrasikan sistem notifikasi otomatis via Telegram Bot dan alarm suara (*buzzer*), serta menguji responsivitas sistem dalam mendeteksi dan memberikan peringatan dini saat terjadi kondisi abnormal pada proses pengomposan.

1.4 Spesifikasi Kebutuhan Perangkat Lunak

Spesifikasi Kebutuhan Perangkat Lunak (SKPL) merupakan dokumen yang digunakan untuk mendefinisikan kebutuhan sistem secara rinci sebagai pedoman dalam proses pengembangan sistem TRAKS-OM (*Transformasi Komposter Semi-Otomatis*) berbasis *Internet of Things* (IoT). SKPL menjelaskan kebutuhan sistem, ruang lingkup, karakteristik pengguna, kebutuhan fungsional, serta kebutuhan nonfungsional yang menjadi dasar dalam proses perancangan, pengembangan, pengujian, dan evaluasi sistem. Sistem TRAKS-OM dikembangkan sebagai sistem *Smart Composter* yang mengintegrasikan perangkat keras dan perangkat lunak untuk membantu proses pengolahan sampah organik. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali yang terhubung dengan sensor dan aktuator. Data yang diperoleh dari sensor digunakan untuk memantau kondisi proses pengomposan secara *real-time*, sedangkan aktuator digunakan untuk menjalankan proses otomatisasi seperti pengadukan dan penyiraman. Data monitoring selanjutnya dapat dikirimkan melalui jaringan internet dan ditampilkan pada *dashboard monitoring website*.

1.4.1 Deskripsi Umum Sistem

TRAKS-OM merupakan sistem *Smart Composter* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dirancang untuk membantu proses pengolahan sampah organik secara otomatis dan terpantau. Sistem menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali yang menghubungkan sensor, aktuator, serta sistem monitoring berbasis website.

Pada proses pengomposan, pengguna terlebih dahulu memasukkan bahan organik ke dalam wadah *Smart Composter*. Setelah sistem diaktifkan, ESP32 menjalankan proses pengolahan sesuai dengan kondisi dan data yang diperoleh dari sensor. Sensor digunakan untuk membaca parameter kondisi kompos, seperti suhu, kelembapan, kadar gas fermentasi, pH, dan level air. Data hasil pembacaan sensor kemudian diproses oleh ESP32 dan dikirimkan ke sistem penyimpanan atau *server* untuk dapat ditampilkan pada *dashboard monitoring website*.

Selain melakukan monitoring, sistem juga mendukung otomatisasi proses pengomposan melalui aktuator. Sistem dapat menjalankan pengadukan dan penyiraman berdasarkan kondisi yang terdeteksi oleh sensor. Penyiraman dapat dilakukan ketika kelembapan berada pada kondisi yang tidak ideal dan dihentikan ketika kelembapan telah mencapai kondisi yang sesuai. Sistem juga dapat memberikan notifikasi kepada pengguna apabila terjadi kondisi tertentu, seperti suhu terlalu tinggi, kelembapan tidak ideal, tangki air kosong, sensor mengalami gangguan, atau wadah perlu dikosongkan.

Data monitoring yang diperoleh dari sistem dapat ditampilkan dalam bentuk angka, indikator status, grafik, riwayat monitoring, dan ringkasan siklus pengomposan. Pengguna juga dapat mengunduh data monitoring dalam bentuk laporan Excel melalui *dashboard website*.

Dengan demikian, TRAKS-OM mengintegrasikan proses pengolahan, *monitoring*, otomatisasi, penyimpanan data, dan pemberian notifikasi dalam satu sistem untuk membantu pengelola melakukan pemantauan proses pengomposan secara lebih efektif.

1.4.2 Tujuan Penulisan SKPL

Dokumen Spesifikasi Kebutuhan Perangkat Lunak (SKPL) disusun sebagai pedoman dalam proses pengembangan sistem TRAKS-OM berbasis *Internet of Things* (IoT). Dokumen ini bertujuan untuk mendefinisikan kebutuhan sistem secara rinci sehingga proses penelitian dan pengembangan dapat dilakukan secara terarah, sistematis, dan sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Adapun tujuan penulisan SKPL ini adalah sebagai berikut:

1. Mendokumentasikan kebutuhan sistem TRAKS-OM secara terstruktur sebagai dasar dalam proses pengembangan sistem.
2. Mendefinisikan kebutuhan pengguna terhadap sistem *Smart Composter*, baik kebutuhan perangkat keras maupun sistem monitoring website.
3. Menjelaskan fungsi utama sistem, meliputi monitoring sensor, otomatisasi pengadukan dan penyiraman, penyimpanan data, dashboard monitoring, serta notifikasi.
4. Menjadi acuan dalam perancangan dan implementasi sistem, sehingga perangkat keras dan perangkat lunak dapat dikembangkan sesuai dengan kebutuhan yang telah ditentukan.
5. Menjadi dasar dalam proses pengujian dan evaluasi sistem untuk memastikan setiap fungsi yang dikembangkan dapat berjalan sesuai dengan kebutuhan.
6. Mendokumentasikan batasan sistem agar ruang lingkup pengembangan TRAKS-OM tetap terarah dan sesuai dengan tujuan penelitian.

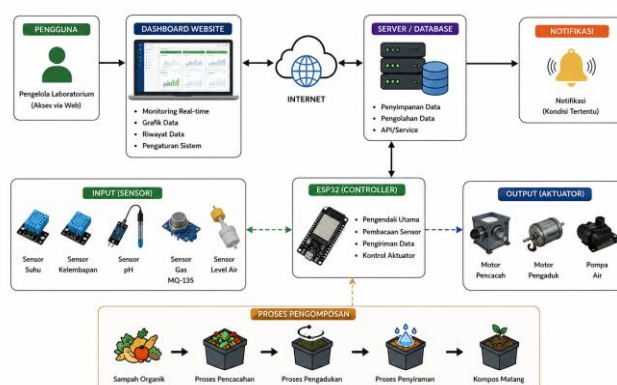
1.4.3 Ruang Lingkup Sistem

Ruang lingkup sistem TRAKS-OM mencakup pengembangan *Smart Composter* berbasis IoT dan sistem monitoring berbasis website. Sistem dirancang untuk membantu pengelola dalam melakukan monitoring kondisi proses pengomposan dan menjalankan beberapa fungsi otomatisasi.

Ruang lingkup sistem meliputi:

1.4.3.1 Smart Composter Berbasis IoT

Smart Composter merupakan bagian utama sistem yang digunakan untuk melakukan pengolahan sampah organik. ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali yang menghubungkan sensor dan aktuator. Sistem mencakup proses pencacahan bahan organik, pengadukan, penyiraman, pembacaan sensor, serta pengendalian perangkat berdasarkan kondisi yang terdeteksi.



Gambar 1 Desain Traks-Om

Gambar 1 menunjukkan desain *TRAKS-OM (Transformasi Komposter Semi-Otomatis)* yang terdiri atas beberapa bagian utama, yaitu wadah komposter, mekanisme pencacah, mekanisme pengaduk, sistem penyiraman, sensor, serta wadah penampungan lindi. Setiap bagian memiliki fungsi yang saling terintegrasi untuk mendukung proses pengomposan.

Pada bagian atas komposter terdapat mekanisme pencacah yang digunakan untuk memperkecil ukuran sampah organik sebelum masuk ke dalam proses pengomposan. Di dalam wadah komposter terdapat mekanisme pengaduk yang berfungsi mencampurkan bahan organik agar proses penguraian berlangsung lebih merata. Sistem penyiraman digunakan untuk menjaga kelembapan bahan kompos berdasarkan hasil pembacaan sensor kelembapan.

Selain itu, beberapa sensor digunakan untuk memantau kondisi kompos, seperti sensor suhu, sensor kelembapan, sensor gas, dan sensor level air. Data hasil pembacaan sensor diproses oleh ESP32 untuk menentukan pengendalian aktuator. Sistem juga dilengkapi dengan wadah penampungan lindi yang berfungsi menampung cairan hasil penguraian bahan organik sehingga cairan tidak bercampur kembali dengan bahan kompos.

Dengan rancangan tersebut, *TRAKS-OM* dapat membantu mengurangi proses pemantauan dan pengolahan yang sebelumnya dilakukan secara manual. Sistem memungkinkan proses pencacahan, pengadukan, dan penyiraman dilakukan secara semi-otomatis, sementara kondisi kompos dapat dipantau berdasarkan data sensor yang diperoleh selama proses pengomposan.

1.4.3.2 Sistem Monitoring

Sistem monitoring digunakan untuk memperoleh informasi mengenai kondisi proses pengomposan secara *real-time*. Parameter yang dipantau meliputi suhu, kelembapan media, kadar gas fermentasi, pH, dan ketersediaan air. Data hasil pembacaan sensor dikirimkan ke sistem penyimpanan dan dapat ditampilkan melalui *dashboard monitoring website*.

1.4.3.3 Dashboard Monitoring Website

Dashboard monitoring website digunakan sebagai media bagi pengguna untuk memantau kondisi *Smart Composter*. Dashboard menampilkan data sensor, grafik monitoring, riwayat monitoring harian, ringkasan siklus pengomposan, pengaturan sistem, serta laporan monitoring dalam format Excel.

1.4.3.4 Otomatisasi Sistem

Sistem mencakup otomatisasi pengadukan dan penyiraman berdasarkan kondisi yang diperoleh dari sensor. Sistem dapat melakukan penyiraman ketika kelembapan berada di bawah kondisi yang ditentukan dan menghentikan penyiraman ketika kondisi kelembapan telah sesuai. Sistem juga memiliki mekanisme untuk mencegah pompa bekerja ketika air pada tangki penyimpanan telah habis.

1.4.3.5 Notifikasi dan Peringatan

Sistem menyediakan notifikasi dan peringatan untuk memberikan informasi kepada pengguna ketika terjadi kondisi tertentu pada sistem. Kondisi tersebut meliputi suhu terlalu tinggi, kelembapan tidak ideal, sensor tidak terbaca, tangki air kosong, wadah perlu dikosongkan, serta kesalahan teknis pada sistem.

1.4.3.6 Integrasi Sistem

Integrasi sistem mencakup komunikasi antara perangkat *Smart Composter*, ESP32, jaringan internet, server/database, dan *dashboard monitoring website*. Data sensor dikirimkan melalui jaringan internet untuk disimpan dan ditampilkan kepada pengguna. Dashboard juga dapat mengirimkan parameter pengaturan sistem yang selanjutnya diproses oleh ESP32 untuk menjalankan fungsi otomatisasi.

1.4.3.7 Batasan Sistem

Untuk membatasi ruang lingkup pengembangan, sistem TRAKS-OM tidak mencakup beberapa fungsi berikut:

A. Dashboard Monitoring Website tidak mencakup:

1. Fitur pengelolaan pengguna dengan *multi-role*.
2. Fitur analisis kualitas kompos berbasis *Artificial Intelligence* (AI).
3. Fitur prediksi waktu panen kompos secara otomatis.
4. Fitur aplikasi berbasis mobile Android atau iOS.

B. Smart Composter berbasis IoT tidak mencakup:

1. Sistem pemilah sampah otomatis antara sampah organik dan anorganik.
2. Kamera berbasis kecerdasan buatan untuk identifikasi jenis sampah.
3. Sistem monitoring kapasitas penuh tempat kompos secara otomatis.
4. Sistem cadangan daya otomatis ketika terjadi pemadaman listrik.
5. Sistem pengemasan hasil kompos secara otomatis.

Batasan tersebut digunakan agar pengembangan sistem berfokus pada fungsi utama, yaitu monitoring dan otomatisasi proses pengomposan berbasis IoT.

1.4.4 Karakteristik dan Kebutuhan Pengguna

Sistem TRAKS-OM dirancang untuk digunakan oleh pengguna yang bertanggung jawab dalam melakukan pengoperasian dan pemantauan proses *Smart Composter*. Pengguna berinteraksi dengan sistem melalui perangkat *Smart Composter* dan *dashboard monitoring website*. Kebutuhan pengguna dibagi menjadi dua kelompok utama, yaitu kebutuhan berdasarkan perangkat keras dan kebutuhan berdasarkan sistem monitoring website.

1.4.4.1 Kebutuhan Berdasarkan Perangkat Keras

Kebutuhan pengguna terhadap perangkat keras sistem meliputi:

1. Pengguna dapat menyalakan dan mematikan sistem menggunakan tombol utama ON/OFF.
2. Pengguna dapat mengetahui kondisi daya perangkat melalui indikator daya.
3. Wadah kompos tidak mudah bocor untuk mencegah tumpahan cairan.
4. Wadah penampungan lindi terpisah dari wadah utama.
5. Pompa air untuk lindi dilengkapi dengan filter penyaring.
6. Sistem memiliki ventilasi udara terkontrol untuk menjaga sirkulasi udara.
7. Sistem dapat melakukan pengadukan secara otomatis.
8. Sistem menyediakan opsi pengadukan secara manual apabila diperlukan.
9. Sistem dapat melakukan penyiraman secara otomatis ketika kelembapan rendah.
10. Sistem menghentikan penyiraman ketika kelembapan telah mencapai kondisi ideal.
11. Sistem mencegah pompa bekerja ketika air pada tangki penyimpanan habis.
12. Pengguna dapat mengetahui level air pada tangki penyimpanan.
13. Sistem dapat mendeteksi kondisi wadah lindi ketika hampir penuh.
14. Pengguna dapat mengetahui status proses pengomposan, seperti proses atau matang.
15. Pengguna mendapatkan notifikasi ketika kapasitas wadah hampir penuh.
16. Pengguna mendapatkan peringatan apabila sistem mengalami kesalahan teknis.

1.4.4.2 Kebutuhan Berdasarkan Sistem Monitoring Website

Kebutuhan pengguna terhadap sistem monitoring website meliputi:

1. Pengguna dapat melakukan login menggunakan akun pribadi.
2. Pengguna dapat memantau kondisi *Smart Composter* melalui website.
3. Pengguna dapat melihat suhu kompos secara *real-time*.
4. Pengguna dapat melihat tingkat kelembapan kompos.
5. Pengguna dapat mengetahui lama proses pengomposan yang telah berjalan.
6. Pengguna dapat mengatur durasi penyiraman melalui *dashboard*.
7. Pengguna mendapatkan notifikasi ketika suhu terlalu tinggi.
8. Pengguna mendapatkan notifikasi ketika kelembapan berada pada kondisi yang tidak ideal.
9. Pengguna mendapatkan notifikasi ketika sensor tidak terbaca atau mengalami kerusakan.
10. Pengguna mendapatkan notifikasi ketika tangki penyimpanan air kosong.
11. Pengguna mendapatkan notifikasi ketika wadah perlu dikosongkan karena telah matang atau penuh.
12. Pengguna dapat melihat riwayat data monitoring harian.
13. Pengguna dapat melihat grafik performa sistem.
14. Pengguna dapat melihat ringkasan setiap siklus pengomposan.
15. Pengguna dapat mengunduh laporan data monitoring dalam format Excel.

1.4.4.3 Kebutuhan Legal

Pengembangan TRAKS-OM disepakati melalui Surat Perjanjian Implementasi antara Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi Universitas YARSI, dengan Klien. Dengan : Nomor Program Studi Teknik Informatika: /Prodi.TI/HK.20/IV/2026 yang berisikan mengenai apa saja aturan yang harus dipenuhi dalam aplikasi dan perangkat keras.

1.4.4.4 Kelas dan Karakteristik Pengguna

Sistem *Smart Composter* berbasis *Internet of Things* (IoT) TRAKS-OM dirancang untuk digunakan oleh 1 pengguna utama yaitu pengelola Laboratorium Olah Sampah Organik Berkah Barokah, yaitu Ibu Rita. Pengguna bertugas melakukan proses pengolahan sampah organik sekaligus memantau kondisi kompos melalui sistem monitoring berbasis *website*.

Tabel 1 Kelas Dan Karakteristik Pengguna

Pengguna	Karakteristik	Hak Akses
Pengelola Kompos (Ibu Rita)	Pengguna utama sistem yang bertugas mengelola proses pengomposan sampah organik menggunakan <i>smart composter</i> berbasis IoT.	- Mengoperasikan <i>smart composter</i> .- Memantau suhu, kelembapan, gas, pH, dan level air.- Melihat <i>dashboard monitoring</i> .- Menerima notifikasi .- Memantau proses pengomposan secara <i>real-time</i> .

1.5 Kebutuhan Fungsional Sistem

Kebutuhan fungsional merupakan kebutuhan yang menjelaskan fungsi-fungsi yang harus dapat dilakukan oleh sistem TRAKS-OM untuk memenuhi kebutuhan pengguna. Kebutuhan fungsional sistem mencakup pengendalian *Smart Composter*, monitoring sensor, pemberian notifikasi dan peringatan, dashboard monitoring website, penyimpanan data, serta pengelolaan riwayat dan laporan monitoring.

1.5.1 Fitur Pengendalian Smart Composter

1.5.1.1 Deskripsi

Fitur Pengendalian *Smart Composter* merupakan fitur yang digunakan untuk mengendalikan proses pengolahan bahan organik melalui perangkat keras yang terhubung dengan ESP32. Setelah pengguna memasukkan bahan organik ke dalam wadah dan mengaktifkan sistem, ESP32 menjalankan fungsi pengolahan berdasarkan program dan kondisi yang diperoleh dari sensor.

Fungsi pengendalian meliputi proses pencacahan bahan organik, pengadukan, serta penyiraman. Sistem juga dapat menghentikan atau mencegah aktuator bekerja apabila kondisi yang diperlukan tidak terpenuhi, seperti ketika ketersediaan air pada tangki tidak mencukupi.

1.5.1.2 Trigger

Fitur aktif ketika:

1. Pengguna menyalakan *Smart Composter*.
2. Pengguna memasukkan bahan organik ke dalam wadah.
3. Sistem menerima data kondisi dari sensor.
4. Kondisi tertentu memenuhi parameter otomatisasi yang telah ditentukan.

1.5.1.3 Input

Input dari fitur ini berupa:

1. Status ON/OFF sistem.
2. Data suhu kompos.
3. Data kelembapan kompos.
4. Data level air.
5. Parameter durasi penyiraman.
6. Perintah pengendalian dari sistem.

1.5.1.4 Output

Output dari fitur ini berupa:

1. Motor pencacah bekerja.
2. Motor pengaduk bekerja.
3. Pompa penyiraman bekerja.
4. Pompa berhenti ketika kondisi penyiraman telah terpenuhi.
5. Status aktuator dikirimkan ke sistem monitoring

1.5.1.5 Skenario Utama

1. Pengguna memasukkan bahan organik ke dalam wadah *Smart Composter*.
2. Pengguna menyalakan sistem.
3. ESP32 melakukan inisialisasi sistem.
4. Sistem membaca data dari sensor.
5. Sistem menjalankan proses pencacahan bahan organik.
6. Sistem menjalankan proses pengadukan.
7. Sistem memeriksa kondisi kelembapan.
8. Jika kelembapan berada di bawah kondisi yang ditentukan, sistem menjalankan pompa penyiraman.
9. Sistem menghentikan penyiraman ketika kelembapan telah mencapai kondisi yang sesuai.
10. Sistem melanjutkan proses pengomposan dan monitoring.

1.5.1.6 Skenario Eksepsional

1. Sistem mendeteksi tangki air kosong.
2. ESP32 mencegah pompa penyiraman bekerja.
3. Sistem memberikan informasi atau peringatan kepada pengguna bahwa air tidak tersedia.

1.5.2 Fitur Monitoring Sensor

1.5.2.1 Deskripsi

Fitur Monitoring Sensor merupakan fitur yang digunakan untuk membaca dan memantau kondisi proses pengomposan secara *real-time*. Sensor terhubung dengan ESP32 untuk memperoleh data kondisi kompos yang kemudian diproses dan dikirimkan ke sistem monitoring.

Parameter monitoring yang digunakan dalam sistem meliputi suhu, kelembapan, kadar gas fermentasi, pH, dan level air. Data hasil pembacaan sensor digunakan sebagai informasi kondisi kompos serta sebagai dasar dalam menjalankan fungsi otomatisasi sistem. Sistem monitoring real-time ini sesuai dengan kebutuhan yang telah ditetapkan dalam dokumen TRAKS-OM.

1.5.2.2 Trigger

Fitur aktif secara otomatis ketika:

1. Sistem *Smart Composter* dinyalakan.
2. ESP32 berhasil melakukan inisialisasi sensor.
3. Sistem melakukan pembacaan sensor secara berkala.

1.5.2.3 Input

Input berupa:

1. Data suhu.
2. Data kelembapan.
3. Data gas fermentasi.
4. Data pH.
5. Data level air.

1.5.2.4 Output

Output berupa:

1. Nilai suhu kompos.
2. Nilai kelembapan kompos.
3. Nilai kadar gas fermentasi.
4. Nilai pH.
5. Nilai level air.
6. Status kondisi sensor.
7. Data monitoring yang dikirim ke server/database.

1.5.2.5 Skenario Utama

1. ESP32 melakukan inisialisasi sensor.
2. Sensor membaca kondisi kompos.
3. ESP32 menerima data hasil pembacaan sensor.
4. ESP32 memproses data sensor.
5. Data monitoring dikirimkan ke server.
6. Data ditampilkan pada *dashboard monitoring website*.
7. Data digunakan sistem sebagai dasar pengendalian otomatisasi.

1.5.2.6 Skenario Eksepsional

1. ESP32 melakukan pembacaan sensor.
2. Salah satu sensor tidak memberikan data.
3. Sistem mendeteksi sensor tidak terbaca.
4. Sistem memberikan status kesalahan sensor.
5. Pengguna mendapatkan notifikasi mengenai gangguan sensor.

1.5.3 Fitur Notifikasi dan Peringatan

1.5.3.1 Deskripsi

Fitur Notifikasi dan Peringatan merupakan fitur yang digunakan untuk memberikan informasi kepada pengguna apabila sistem mendeteksi kondisi yang memerlukan perhatian. Notifikasi digunakan sebagai peringatan dini agar pengguna dapat mengetahui kondisi abnormal atau kebutuhan tertentu pada *Smart Composter*.

Notifikasi yang dirancang meliputi kondisi suhu terlalu tinggi, kelembapan tidak ideal, sensor tidak terbaca, tangki air kosong, wadah perlu dikosongkan, serta kesalahan teknis sistem.

1.5.3.2 Trigger

Fitur aktif ketika sistem mendeteksi kondisi tertentu berdasarkan hasil pembacaan sensor atau status perangkat.

1.5.3.3 Input

Input berupa:

1. Data suhu.
2. Data kelembapan.
3. Status sensor.
4. Status level air.
5. Status wadah kompos.
6. Status perangkat sistem.

1.5.3.4 Output

Output berupa:

1. Notifikasi kepada pengguna.
2. Peringatan suhu tinggi.
3. Peringatan kelembapan tidak ideal.
4. Peringatan sensor bermasalah.
5. Peringatan tangki air kosong.
6. Peringatan wadah perlu dikosongkan.
7. Alarm suara (*buzzer*) apabila kondisi tersebut ditentukan sebagai kondisi peringatan.

1.5.3.5 Skenario Utama

1. Sensor membaca kondisi kompos.
2. ESP32 menerima data sensor.
3. Sistem membandingkan data dengan kondisi yang telah ditentukan.
4. Sistem mendeteksi kondisi abnormal.
5. Sistem mengaktifkan peringatan.
6. Notifikasi dikirimkan kepada pengguna.
7. Pengguna menerima informasi mengenai kondisi sistem.

1.5.3.6 Skenario Eksepsional

1. Sistem mendeteksi kondisi normal.
2. Sistem tidak mengirimkan notifikasi peringatan.
3. Sistem melanjutkan proses monitoring dan otomatisasi.

1.5.4 Fitur Dashboard Monitoring Website

1.5.4.1 Deskripsi

Fitur *Dashboard Monitoring Website* merupakan fitur yang digunakan sebagai media pemantauan dan pengelolaan data *Smart Composter* berbasis IoT. Dashboard memungkinkan pengguna melihat kondisi kompos secara *real-time* melalui antarmuka yang mudah dipahami.

Dashboard menampilkan data sensor, grafik monitoring, riwayat monitoring harian, ringkasan siklus pengomposan, pengaturan sistem, serta fitur pengunduhan laporan dalam format Excel.

1.5.4.2 Trigger

Fitur aktif ketika pengguna membuka halaman *website monitoring Smart Composter*.

1.5.4.3 Input

Input berupa:

1. Username dan password pengguna.
2. Data monitoring sensor dari server/database.
3. Parameter pengaturan sistem dari pengguna.

1.5.4.4 Output

Output berupa:

1. Tampilan *dashboard monitoring*.
2. Data sensor secara *real-time*.
3. Grafik performa sistem.
4. Riwayat monitoring.
5. Ringkasan siklus pengomposan.
6. Status sistem.
7. Pengaturan sistem.
8. Laporan monitoring.

1.5.4.5 Skenario Utama

1. Pengguna membuka *website* monitoring.
2. Pengguna memasukkan username dan password.
3. Sistem melakukan validasi akun.
4. Sistem menampilkan *dashboard monitoring*.
5. Sistem mengambil data monitoring dari server.
6. Pengguna melihat data sensor dan grafik monitoring.
7. Pengguna dapat melakukan pengaturan sistem sesuai fungsi yang tersedia.
8. Pengguna dapat melihat riwayat monitoring.
9. Pengguna dapat mengunduh laporan monitoring.

1.5.4.6 Skenario Eksepsional 1 – Login Gagal

1. Pengguna memasukkan username dan password.
2. Sistem melakukan validasi.
3. Username atau password tidak sesuai.
4. Sistem menampilkan pesan gagal login.
5. Pengguna tetap berada pada halaman login.

1.5.4.7 Skenario Eksepsional 2 – Data Monitoring Tidak Tersedia

1. Website meminta data monitoring kepada server.
2. Server/database tidak memberikan respons.
3. Sistem gagal mengambil data monitoring.
4. Dashboard menampilkan pesan gangguan server.

1.5.5 Fitur Penyimpanan Data

1.5.5.1 Deskripsi

Fitur Penyimpanan Data digunakan untuk menyimpan data hasil monitoring *Smart Composter* ke dalam database server. Penyimpanan dilakukan agar data monitoring dapat digunakan untuk melihat riwayat, mengevaluasi proses pengomposan, dan menganalisis performa sistem.

Data yang disimpan meliputi suhu, kelembapan, gas fermentasi, pH kompos, level air, serta status otomatisasi sistem.

1.5.5.2 Trigger

Fitur aktif secara otomatis ketika ESP32 berhasil membaca data sensor.

1.5.5.3 Input

Input berupa:

1. Data suhu.
2. Data kelembapan.
3. Data gas fermentasi.
4. Data pH.
5. Data level air.
6. Status otomatisasi sistem.

1.5.5.4 Output

Output berupa:

1. Data monitoring tersimpan pada database.
2. Data dapat digunakan untuk menampilkan riwayat monitoring.
3. Data dapat digunakan untuk menghasilkan laporan monitoring.

1.5.5.5 Skenario Utama

1. Sensor membaca kondisi kompos.
2. ESP32 menerima data sensor.
3. ESP32 mengirimkan data ke server/database.
4. Server menyimpan data monitoring.
5. Sistem memperbarui data monitoring pada dashboard.
6. Data tersedia untuk ditampilkan sebagai riwayat monitoring.

1.5.5.6 Skenario Eksepsional

1. ESP32 membaca data sensor.
2. ESP32 mencoba mengirimkan data ke server.
3. Server/database tidak dapat menerima data.
4. Sistem mendeteksi kegagalan penyimpanan.
5. Sistem memberikan informasi mengenai gangguan penyimpanan data.

1.5.6 Fitur Riwayat dan Laporan Monitoring

1.5.6.1 Deskripsi

Fitur Riwayat dan Laporan Monitoring digunakan untuk menyediakan data hasil monitoring yang telah tersimpan sehingga pengguna dapat melihat perkembangan proses pengomposan dari waktu ke waktu. Fitur ini membantu pengguna dalam melakukan evaluasi terhadap proses pengomposan dan performa sistem.

Data monitoring dapat ditampilkan dalam bentuk riwayat harian, grafik performa sistem, serta ringkasan setiap siklus pengomposan. Pengguna juga dapat mengunduh data monitoring dalam format Excel. Fitur riwayat, grafik, ringkasan siklus, dan laporan Excel telah ditetapkan sebagai kebutuhan pengguna dalam dokumen TRAKS-OM.

1.5.6.2 Trigger

Fitur aktif ketika:

1. Pengguna membuka menu riwayat monitoring.
2. Pengguna memilih periode data yang ingin dilihat.
3. Pengguna memilih opsi untuk mengunduh laporan.

1.5.6.3 Input

Input berupa:

1. Data monitoring yang tersimpan pada database.
2. Periode atau tanggal monitoring yang dipilih pengguna.
3. Permintaan pengunduhan laporan.

1.5.6.4 Output

Output berupa:

1. Riwayat data monitoring harian.
2. Grafik performa sistem.
3. Ringkasan siklus pengomposan.
4. Laporan monitoring dalam format Excel.

1.5.6.5 Skenario Utama

1. Pengguna membuka menu riwayat monitoring.
2. Sistem mengambil data monitoring dari database.
3. Sistem menampilkan data berdasarkan periode yang dipilih.
4. Pengguna melihat riwayat monitoring.
5. Sistem menampilkan grafik performa sistem.
6. Pengguna melihat ringkasan siklus pengomposan.
7. Pengguna memilih opsi unduh laporan.
8. Sistem menghasilkan file laporan dalam format Excel.

1.5.6.6 Skenario Eksepsional

1. Pengguna membuka menu riwayat monitoring.
2. Sistem meminta data kepada server/database.
3. Data tidak tersedia atau server tidak memberikan respons.
4. Sistem tidak dapat menampilkan riwayat monitoring.
5. Sistem menampilkan pesan bahwa data monitoring tidak tersedia.

1.6 Kebutuhan Antarmuka

Kebutuhan antarmuka menjelaskan hubungan dan interaksi antara sistem TRAKS-OM dengan pengguna, perangkat keras, perangkat lunak, serta media komunikasi yang digunakan. Antarmuka diperlukan agar setiap komponen dalam sistem dapat saling berkomunikasi dan menjalankan fungsi sesuai dengan kebutuhan yang telah ditentukan.

Sistem TRAKS-OM terdiri dari *Smart Composter* berbasis IoT dan *dashboard monitoring website*. *Smart Composter* menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali yang terhubung dengan sensor dan aktuator, sedangkan *dashboard monitoring website* digunakan pengguna untuk memantau data dan kondisi sistem. Data dari perangkat dikirim melalui jaringan internet untuk disimpan dan ditampilkan pada sistem monitoring.

1.6.1 Antarmuka Pengguna

Antarmuka pengguna merupakan media yang digunakan pengguna untuk berinteraksi dengan sistem TRAKS-OM. Antarmuka utama pengguna tersedia dalam bentuk *dashboard monitoring website* yang dapat diakses menggunakan perangkat seperti komputer, laptop, atau *smartphone* melalui *web browser*.

Antarmuka pengguna menyediakan beberapa informasi dan fungsi utama, yaitu:

1. **Halaman Login**

Digunakan pengguna untuk melakukan autentikasi sebelum mengakses sistem monitoring.

2. **Dashboard Monitoring**

Menampilkan kondisi *Smart Composter* dan data sensor secara *real-time*.

3. **Informasi Suhu**

Menampilkan nilai suhu kompos dan status kondisi suhu.

4. **Informasi Kelembapan**

Menampilkan tingkat kelembapan kompos serta status kondisi kelembapan.

5. **Informasi Gas Fermentasi**

Menampilkan data kadar gas yang diperoleh dari sensor.

6. **Informasi pH**

Menampilkan nilai pH kompos sebagai salah satu parameter kondisi pengomposan.

7. **Informasi Level Air**

Menampilkan kondisi ketersediaan air pada tangki penyimpanan.

8. **Grafik Monitoring**

Menampilkan perubahan data sensor dalam bentuk grafik sehingga pengguna dapat melihat perkembangan kondisi kompos.

9. **Riwayat Monitoring**

Menampilkan data monitoring yang telah tersimpan berdasarkan periode tertentu.

10. **Ringkasan Siklus Pengomposan**

Menampilkan informasi mengenai perkembangan siklus pengomposan.

11. **Pengaturan Sistem**

Digunakan untuk mengatur parameter sistem yang tersedia, seperti durasi penyiraman.

12. Laporan Monitoring

Menyediakan fungsi untuk mengunduh data monitoring dalam format Excel.

13. Notifikasi dan Peringatan

Menampilkan informasi apabila sistem mendeteksi kondisi yang memerlukan perhatian pengguna.

Kebutuhan antarmuka tersebut sesuai dengan rancangan *dashboard* yang mencakup monitoring *real-time*, grafik, riwayat monitoring harian, ringkasan siklus, pengaturan sistem, serta pengunduhan laporan Excel.

1.6.2 Antarmuka Perangkat Keras

Antarmuka perangkat keras menjelaskan hubungan antara ESP32 dengan sensor dan aktuator yang digunakan pada *Smart Composter*. ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali yang menerima data dari sensor, memproses data, serta memberikan perintah kepada aktuator berdasarkan kondisi sistem.

Komponen perangkat keras yang berinteraksi dengan ESP32 meliputi:

Tabel 2 antarmuka perangkat keras

Komponen	Fungsi Antarmuka
ESP32	Pusat kendali dan pemrosesan data sistem
Sensor suhu	Mengirimkan data suhu kompos ke ESP32
Sensor kelembapan	Mengirimkan data kelembapan kompos ke ESP32
Sensor gas	

	Mengirimkan data kadar gas fermentasi ke ESP32
Sensor pH	Mengirimkan data tingkat keasaman kompos ke ESP32
Sensor level air	Mengirimkan informasi ketersediaan air ke ESP32
Motor pencacah	Menjalankan proses pencacahan bahan organik
Pompa air	Menjalankan proses penyiraman kompos
Buzzer	Memberikan peringatan suara ketika kondisi tertentu terjadi
Tombol ON/OFF	Mengaktifkan atau menonaktifkan sistem

Antarmuka perangkat keras memungkinkan ESP32 menerima data dari sensor dan mengendalikan aktuator berdasarkan program yang telah ditentukan. Data sensor juga digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan untuk proses otomatisasi, seperti pengadukan dan penyiraman.

1.6.3 Antarmuka Perangkat Lunak

Antarmuka perangkat lunak menjelaskan hubungan antara perangkat lunak yang digunakan untuk menjalankan, menyimpan, mengolah, dan menampilkan data sistem TRAKS-OM.

Perangkat lunak yang terlibat dalam sistem meliputi:

1. ESP32

ESP32 menjalankan program pengendalian *Smart Composter*. Program digunakan untuk membaca sensor, mengolah data, mengendalikan aktuator, serta mengirimkan data monitoring melalui jaringan internet.

2. Server dan Database

Server digunakan sebagai perantara dalam pengiriman dan pengelolaan data antara perangkat *Smart Composter* dan *dashboard monitoring website*. Database digunakan untuk menyimpan data monitoring yang dikirimkan oleh ESP32.

Data yang disimpan meliputi suhu, kelembapan, gas fermentasi, pH, level air, serta status otomatisasi sistem.

3. ThingSpeak

ThingSpeak digunakan sebagai bagian dari sistem untuk mendukung pengiriman dan pemantauan data IoT. Data yang dikirim dari perangkat dapat digunakan untuk kebutuhan monitoring dan pengelolaan data.

4. Dashboard Monitoring Website

Dashboard monitoring website digunakan untuk mengambil data dari sistem penyimpanan dan menyajikannya kepada pengguna dalam bentuk angka, indikator status, grafik, riwayat, serta laporan.

5. Telegram Bot

Telegram Bot digunakan sebagai media pengiriman notifikasi kepada pengguna ketika sistem mendeteksi kondisi tertentu yang memerlukan perhatian.

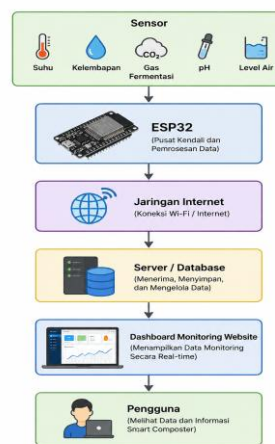
Dengan demikian, antarmuka perangkat lunak memungkinkan data bergerak dari **ESP32** → **server/database** → **dashboard**, sedangkan informasi peringatan dapat diteruskan kepada pengguna melalui sistem notifikasi.

1.6.4 Antarmuka Komunikasi

Antarmuka komunikasi menjelaskan mekanisme pertukaran data antara *Smart Composter*, server, database, *dashboard monitoring website*, dan layanan notifikasi.

Sistem menggunakan koneksi jaringan internet sebagai media komunikasi antara perangkat IoT dan sistem monitoring. ESP32 mengirimkan data hasil pembacaan sensor melalui jaringan internet menuju server/database. Data tersebut kemudian dapat diakses oleh *dashboard monitoring website* untuk ditampilkan kepada pengguna.

Secara umum, proses komunikasi sistem adalah sebagai berikut:



Gambar 2 Proses komunikasi sistem

Untuk proses notifikasi:



Gambar 3 Proses notifikasi sistem

Antarmuka komunikasi memiliki fungsi utama sebagai berikut:

1. Mengirimkan data sensor dari ESP32 ke server.
2. Mengirimkan data monitoring untuk disimpan dalam database.
3. Mengirimkan data dari server/database ke *dashboard monitoring website*.
4. Memungkinkan pengguna melihat data monitoring secara *real-time*.
5. Mengirimkan informasi peringatan kepada pengguna melalui layanan notifikasi.
6. Mendukung pertukaran parameter pengaturan dari sistem monitoring menuju perangkat *Smart Composter*.

Dengan antarmuka komunikasi tersebut, perangkat *Smart Composter* dan *dashboard monitoring website* dapat terintegrasi sehingga proses pengolahan, monitoring, penyimpanan data, dan pemberian notifikasi dapat berjalan dalam satu sistem.

1.6 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) karena bertujuan untuk menghasilkan suatu produk berupa sistem otomatisasi pengomposan pupuk organik cair berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dapat membantu proses monitoring dan pengendalian pengolahan sampah organik di Laboratorium Olah Sampah Organik Berkah Barokah. Metode R&D dipilih karena tidak hanya berfokus pada pengembangan produk, tetapi juga pada proses pengujian dan penyempurnaan produk agar sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Dalam proses pengembangan sistem, penelitian ini menerapkan model *Prototype*. Model ini dipilih karena memungkinkan pengembang dan pengguna untuk berinteraksi secara langsung selama proses pengembangan sehingga kebutuhan sistem dapat diidentifikasi dan disempurnakan secara bertahap. Melalui pendekatan ini, prototype yang dibangun dapat dievaluasi oleh pengguna sebelum dikembangkan menjadi sistem yang lebih lengkap.

Tahapan pengembangan sistem yang dilakukan pada penelitian ini meliputi:

1. Identifikasi Masalah

Tahap awal dilakukan dengan mengidentifikasi permasalahan yang terjadi pada proses pengolahan sampah organik di Laboratorium Olah Sampah Organik Berkah Barokah. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara, diketahui bahwa proses monitoring suhu, kelembapan, dan kondisi fermentasi masih dilakukan secara manual sehingga kurang efektif dalam menjaga kualitas proses pengomposan.

2. Pengumpulan Kebutuhan

Tahapan ini dilakukan melalui observasi lapangan dan wawancara dengan Ibu Rita Zakia selaku pengelola Laboratorium Olah Sampah Organik Berkah Barokah. Informasi yang dikumpulkan meliputi kebutuhan perangkat keras, perangkat lunak, parameter yang harus dipantau, serta kebutuhan pengguna terhadap sistem monitoring dan kontrol berbasis IoT.

3. Perancangan Sistem

Pada tahap ini dilakukan perancangan arsitektur sistem secara keseluruhan, meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Perancangan perangkat keras mencakup pemilihan mikrokontroler ESP32, sensor suhu dan kelembapan, sensor pH, sensor gas, sensor level air, serta aktuator yang digunakan. Perancangan perangkat lunak meliputi desain database, *dashboard monitoring* berbasis web, dan mekanisme komunikasi data melalui internet.

4. Pembuatan Prototype

Tahap ini merupakan implementasi awal dari rancangan sistem yang telah dibuat. *Prototype Smart Composter* dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan berbagai sensor untuk memantau kondisi komposter secara real-time. Data yang diperoleh dari sensor kemudian dikirimkan ke *dashboard monitoring* sehingga dapat diakses oleh pengguna.

5. Evaluasi dan Perbaikan Prototype

Prototype yang telah dibuat kemudian dievaluasi bersama pengguna untuk memastikan bahwa seluruh fungsi telah berjalan sesuai kebutuhan. Hasil evaluasi digunakan sebagai dasar untuk melakukan penyempurnaan terhadap perangkat keras maupun perangkat lunak yang dikembangkan.

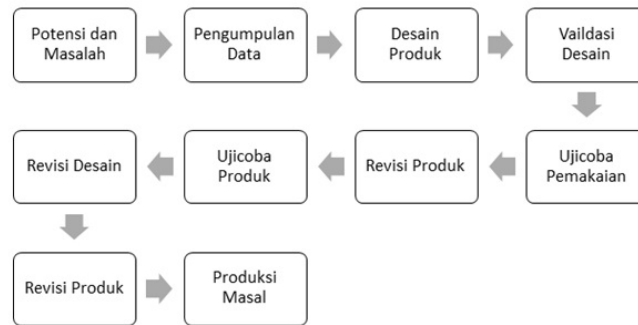
6. Pengujian Sistem

Tahap pengujian dilakukan untuk memastikan seluruh komponen sistem dapat berfungsi dengan baik. Pengujian yang dilakukan meliputi:

1. Pengujian sensor suhu dan kelembapan.
2. Pengujian sensor pH.
3. Pengujian sensor gas.
4. Pengujian sensor level air.
5. Pengujian sistem pengadukan otomatis.
6. Pengujian pengiriman data ke *dashboard monitoring*.
7. Pengujian notifikasi sistem.
8. Pengujian keseluruhan sistem *Smart Composter*.

7. Implementasi Produk

Tahap terakhir adalah implementasi sistem pada lingkungan operasional Laboratorium Olah Sampah Organik Berkah Barokah. Sistem yang telah diuji kemudian digunakan sebagai media monitoring dan pengendalian proses pengomposan secara otomatis guna meningkatkan efisiensi pengolahan sampah organik.



Gambar 4 Tahapan Penelitian dan Pengembangan Sistem yang Diadaptasi dari Metode R&D (Sugiyono, 2022)

1.7 Kesuaian Dalam Nilai Islam

Dalam kaidah fikih yang bersumber dari Hadits Nabi SAW disebutkan:

لَا ضَرَرَ وَلَا ضِرَارَ

Artinya: *"Tidak boleh berbuat mudarat dan tidak boleh membalas kemudaratannya."* (HR. Ibnu Majah).

Hadis tersebut menjelaskan bahwa Islam melarang segala bentuk tindakan yang dapat menimbulkan kerugian, bahaya, maupun pencemaran yang berdampak buruk bagi manusia dan lingkungan. Oleh karena itu, pengelolaan sampah yang tidak tepat harus dicegah agar tidak menimbulkan bau, polusi, maupun kerusakan lingkungan lainnya.

Selain itu, proses pemantauan manual yang tidak akurat dapat menyebabkan kegagalan proses dekomposisi dan menurunkan kualitas kompos yang dihasilkan. Islam mengajarkan bahwa setiap tindakan harus dilakukan berdasarkan ilmu dan informasi yang jelas.:

وَلَا تَقْفُ مَا لَيْسَ لَكَ بِهِ عِلْمٌ إِنَّ السَّمْعَ وَالْبَصَرَ وَالْفُؤَادَ كُلُّ أُولَئِكَ كَانَ عَنْهُ مَسْئُولًا ﴿٣٦﴾

Artinya: *"Dan janganlah kamu mengikuti apa yang kamu tidak mempunyai pengetahuan tentangnya. Sesungguhnya pendengaran, penglihatan dan hati, semuanya itu akan diminta pertanggungjawabannya."* (QS. Al-Isrā' [17]: 36)

Penggunaan sensor suhu dan kelembaban memberikan "ilmu" berupa data yang nyata, sehingga pengelola menjalankan amanahnya secara profesional.

Menurut Tafsir Al-Misbah, ayat tersebut menegaskan bahwa manusia tidak boleh bertindak tanpa dasar ilmu dan pengetahuan yang benar. Setiap keputusan harus didasarkan pada informasi yang jelas agar terhindar dari kesalahan dan kerugian.

Sementara itu, Tafsir Ibnu Katsir menjelaskan bahwa manusia akan dimintai pertanggungjawaban atas apa yang didengar, dilihat, dan dilakukan. Oleh karena itu, penggunaan teknologi sensor dalam sistem ini menjadi bentuk penerapan prinsip kehati-hatian dan ketelitian dalam pengelolaan kompos.

Lama proses pengomposan konvensional (3 bulan) menjadi hambatan bagi masyarakat. Inovasi teknologi untuk mempercepat proses ini sejalan dengan perintah untuk bersegera dalam kebaikan.

وَلِكُلِّ وُجْهَةٌ هُوَ مُوَلِّيُّهَا فَاسْتَثِقُوا الْخَيْرَاتِ أَيْنَ مَا تَكُونُوا يَأْتِ بِكُمْ اللَّهُ جَمِيعًا إِنَّ اللَّهَ عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ ﴿١٤٨﴾

Artinya: "Bagi setiap umat ada kiblat yang dia menghadap ke arahnya. Maka, berlomba-lombalah kamu dalam berbagai kebajikan. Di mana saja kamu berada, pasti Allah akan mengumpulkan kamu semuanya. Sesungguhnya Allah Maha Kuasa atas segala sesuatu." (QS. Al-Baqarah [2]: 148)

Mempercepat produksi pupuk organik berarti mempercepat manfaat ekonomi dan ekologis bagi umat, sehingga permasalahan efisiensi waktu ini sangat layak untuk dicarikan solusinya.

Menurut Tafsir Al-Misbah, ayat tersebut mengandung dorongan agar manusia memanfaatkan kemampuan dan ilmu yang dimiliki untuk menghasilkan manfaat yang lebih besar bagi kehidupan. Kebaikan tidak hanya terbatas pada ibadah ritual, tetapi juga mencakup tindakan yang memberi manfaat sosial dan lingkungan.

Dalam Tafsir Ibnu Katsir dijelaskan bahwa manusia dianjurkan untuk segera melakukan berbagai bentuk amal saleh dan memberikan manfaat kepada sesama. Pemanfaatan teknologi untuk mempercepat proses pengolahan sampah organik dapat menjadi salah satu bentuk kontribusi positif bagi masyarakat dan lingkungan. Selain itu, penggunaan pupuk organik hasil pengomposan juga membantu mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia yang dapat merusak kesuburan tanah dalam jangka panjang. Upaya menjaga dan memakmurkan bumi merupakan bagian dari tanggung jawab manusia sebagai khalifah fil ardh.

﴿وَالِى تَمُودَ أَخَاهُمْ صَالِحًا قَالَ يَاقَوْمِ اعْبُدُوا اللَّهَ مَا لَكُمْ مِنْ إِلَهِ غَيْرُهُ هُوَ أَنشَأَكُمْ مِنَ الْأَرْضِ وَاسْتَعْمَرَكُمْ فِيهَا فَاسْتَغْفِرُوهُ ثُمَّ تَوْبُوا إِلَيْهِ إِنَّ رَبِّي قَرِيبٌ مُّجِيبٌ ﴿٦١﴾﴾

Artinya: "Wahai kaumku, sembahlah Allah! Sekali-kali tidak ada tuhan bagimu selain Dia. Dia telah menciptakanmu dari bumi (tanah) dan menjadikanmu pemakmurnya. Oleh karena itu, mohonlah ampunan kepada-Nya, kemudian bertobatlah kepada-Nya. Sesungguhnya Tuhanku sangat dekat lagi Maha Memperkenankan (doa hamba-Nya)." (QS. Hud [11]: 61).

Ayat ini menegaskan bahwa setiap inovasi yang bertujuan untuk "memakmurkan bumi" (seperti alat kompos pintar ini) memiliki kedudukan yang mulia dan layak secara hukum Islam.

Menurut Tafsir Al-Misbah, ayat tersebut mengandung dorongan agar manusia memanfaatkan kemampuan dan ilmu yang dimiliki untuk menghasilkan manfaat yang lebih besar bagi kehidupan. Kebaikan tidak hanya terbatas pada ibadah ritual, tetapi juga mencakup tindakan yang memberi manfaat sosial dan lingkungan.

Dalam Tafsir Ibnu Katsir dijelaskan bahwa manusia dianjurkan untuk segera melakukan berbagai bentuk amal saleh dan memberikan manfaat kepada sesama. Pemanfaatan teknologi untuk mempercepat proses pengolahan sampah organik dapat menjadi salah satu bentuk kontribusi positif bagi masyarakat dan lingkungan. Sistem ini juga dilengkapi dengan fitur wadah anti bocor dan pemisahan lindi untuk mencegah pencemaran lingkungan akibat limbah cair hasil pengomposan. Hal tersebut sejalan dengan firman Allah SWT

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ ﴿٥٦﴾

Artinya: *"Janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah diatur dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat dengan orang-orang yang berbuat baik."* (QS. Al-A'raf [7]: 56)

Menurut Tafsir Al-Misbah, ayat tersebut menegaskan larangan melakukan tindakan yang dapat merusak keseimbangan alam dan kehidupan. Manusia diperintahkan untuk menjaga bumi sebagai amanah dari Allah SWT. sehingga segala bentuk upaya pelestarian lingkungan merupakan bagian dari tanggung jawab manusia sebagai khalifah di bumi.

Sementara itu, Tafsir Ibnu Katsir menjelaskan bahwa kerusakan di bumi mencakup segala perbuatan yang menimbulkan kerugian bagi lingkungan maupun kehidupan manusia. Oleh karena itu, pengelolaan sampah organik melalui teknologi yang ramah lingkungan menjadi salah satu bentuk upaya menjaga bumi dari kerusakan.

Berdasarkan kedua tafsir tersebut, pengembangan *smart composter* berbasis IoT sejalan dengan ajaran Islam dalam menjaga kebersihan, kelestarian lingkungan, serta mencegah pencemaran.

Penggunaan Sensor Suhu dan Kelembapan secara *real-time* serta penyediaan Grafik Performa bertujuan agar proses pengomposan tidak dilakukan secara "kira-kira", melainkan secara presisi dan ilmiah. Hal ini sesuai dengan hadits Rasulullah SAW:

إِنَّ اللَّهَ يُحِبُّ إِذَا عَمِلَ أَحَدُكُمْ عَمَلًا أَنْ يُثِقَّه

Artinya: "Sesungguhnya Allah mencintai seseorang yang apabila mengerjakan suatu pekerjaan, ia melakukannya secara *Itqan* (profesional, teliti, dan sempurna)." (HR. Thabrani).

Hadis tersebut menjelaskan bahwa Islam mengajarkan umatnya untuk bekerja dengan sungguh-sungguh, teliti, dan menghasilkan kualitas terbaik dalam setiap pekerjaan. Dalam konteks penelitian ini, penggunaan sensor suhu dan kelembapan secara *real-time* serta sistem monitoring berbasis IoT merupakan bentuk penerapan prinsip *itqan*, yaitu memastikan proses pengomposan dilakukan secara akurat, profesional, dan optimal.

Transformasi metode manual Ibu Rita menjadi sistem semi-otomatis yang dapat dipantau melalui *Website* bertujuan untuk meringankan beban kerja manusia tanpa mengurangi kualitas hasil. Prinsip ini berpegang pada hadits:

يَسِّرُوا وَلَا تُعَسِّرُوا

"Permudahlah dan janganlah kamu mempersulit..." (HR. Bukhari).

Hadis ini mengandung ajaran bahwa Islam mendorong umatnya untuk menciptakan kemudahan dan memberikan manfaat dalam kehidupan sehari-hari. Pengembangan sistem semi-otomatis pada alat pengolah kompos bertujuan untuk meringankan pekerjaan pengguna, meningkatkan efisiensi, serta membantu proses pengelolaan sampah menjadi lebih praktis tanpa mengurangi kualitas hasil.

Melalui fitur Penyiraman Otomatis dan Proteksi Pompa saat Air Habis, sistem ini mencegah pemborosan air dan kerusakan komponen alat yang tidak perlu.

إِنَّ الْمُبْذِرِينَ كَانُوا إِخْوَانَ الشَّيْطَانِ ۖ وَكَانَ الشَّيْطَانُ لِرَبِّهِ كَفُورًا ﴿٢٧﴾

Artinya: "Sesungguhnya para pemboros itu adalah saudara-saudara setan dan setan itu sangat ingkar kepada Tuhannya." (QS. Al-Isrā' [17]: 27).

Menurut Tafsir Al-Misbah, pemborosan merupakan perilaku menggunakan sesuatu secara berlebihan dan tidak sesuai kebutuhan. Islam mengajarkan manusia untuk memanfaatkan sumber daya alam secara bijaksana dan bertanggung jawab.

Sementara itu, Tafsir Ibnu Katsir menjelaskan bahwa tindakan mubazir termasuk perilaku yang tidak disukai Allah SWT. karena dapat merugikan diri sendiri maupun lingkungan sekitar. Oleh sebab itu, penggunaan sistem otomatis yang mampu mengontrol penggunaan air secara tepat menjadi bentuk penerapan nilai efisiensi dalam Islam.

Selain itu, Islam juga mengajarkan pentingnya menjaga kebersihan lingkungan sebagai bagian dari keimanan. Rasulullah SAW bersabda:FI

الطُّهُورُ شَطْرُ الْإِيمَانِ

“Kesucian (kebersihan) adalah sebagian dari iman.” (HR. Muslim)

Hadis tersebut menjelaskan bahwa kebersihan memiliki kedudukan penting dalam kehidupan seorang muslim, tidak hanya kebersihan diri tetapi juga kebersihan lingkungan sekitar. Menjaga lingkungan dari sampah dan pencemaran merupakan salah satu bentuk implementasi nilai kebersihan yang diajarkan dalam Islam.

Dalam konteks penelitian ini, pengembangan sistem *smart composter* berbasis *Internet of Things* (IoT) menjadi salah satu upaya menjaga kebersihan lingkungan melalui pengolahan sampah organik yang lebih baik, terkontrol, dan ramah lingkungan. Dengan adanya sistem otomatisasi pengomposan, limbah organik dapat dimanfaatkan kembali menjadi pupuk yang bermanfaat sehingga membantu mengurangi pencemaran serta meningkatkan kualitas lingkungan masyarakat.

1.8 Definisi, Singkatan, dan Akronim

Tabel 3 Definisi, Singkatan, dan Akronim

Singkatan	Kepanjangan	Definisi
IoT	<i>Internet of Things</i>	Konsep perangkat yang saling terhubung melalui jaringan internet untuk bertukar data secara otomatis.
TRAKS-OM	Transformasi Komposter	Nama sistem <i>smart</i>

	Semi-Otomatis	<i>composter</i> berbasis IoT yang dikembangkan dalam penelitian.
ESP32	<i>Espressif 32</i>	Mikrokontroler yang digunakan sebagai pengendali utama pada sistem IoT.
R&D	<i>Research and Development</i>	Metode atau tahapan pengembangan sistem.
SDGs	<i>Sustainable Development Goals</i>	Tujuan pembangunan berkelanjutan global yang dicanangkan oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB).
POC	Pupuk Organik Cair	Pupuk cair hasil pengolahan limbah organik.