

Sistem Otomatisasi Dengan Pemantauan Data *Real-Time* Untuk Komposter Digital Berbasis Iot

1st Irgi Faisal Putra Danila
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

irgifaisal@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Sofia Naning Hertiana
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

sofiananing@telkomuniversity.ac.id

3rd Danu Dwi Sanjoyo
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

danudwj@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Peningkatan populasi di Kota Bandung menyebabkan lonjakan volume sampah dengan mayoritas berupa sampah organik yang berakhir di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) menggunakan metode *open dumping*. Hal ini memicu emisi gas rumah kaca dan kontaminasi lingkungan. Pengomposan dapat menjadi solusi pengelolaan sampah organik, tetapi metode manual kompos seringkali tidak optimal dari segi waktu dan keberhasilan. Implementasi *Internet of Things* (IoT) dapat dikembangkan sebagai solusi permasalahan sampah tersebut. Sistem Dicompos berbasis IoT untuk otomatisasi dan pemantauan proses pengomposan *aerobic* melalui aplikasi dan *website*. Sistem ini menggunakan sensor PR-3001-ECTHPH-N01 untuk mengawasi suhu, kelembapan, dan pH, serta aktuator untuk otomatisasi kontrol. Hasil pengujian menunjukkan sistem ini mampu mengoptimalkan suhu pada fase mesofilik 17,8% lebih baik dari metode manual, dengan suhu optimal 35°C dan kelembapan 40-65% dan fase termofilik dipercepat menjadi 5 hari. Sensor PR-3001-ECTHPH-N01 memiliki akurasi tinggi dengan 98,18% untuk suhu, 98% kelembapan, dan 97,63% pH. Koneksi LoRa mampu mencapai 400m dan performa API cukup dengan *response time* rata-rata 257,142 ms. Tingkat kepuasan pengguna mencapai 90,74% untuk *website* dan 91,13% untuk aplikasi, menjadikan Dicompos solusi efektif untuk proses pengomposan *aerobic*.

Kata kunci — sampah organik, kompos, *aerobic*, IoT, otomatisasi

I. PENDAHULUAN

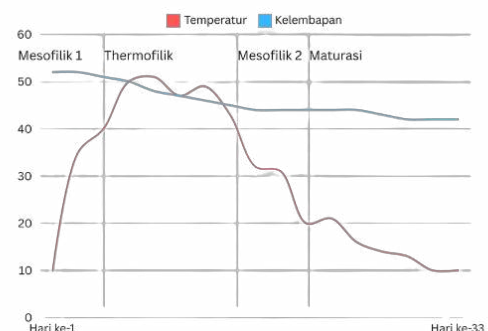
Peningkatan populasi di Kota Bandung menyebabkan lonjakan volume sampah dengan mayoritas berasal dari sampah rumah tangga dan 61,62% berjenis sampah organik. 83% sampah ini berakhir di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang menggunakan metode *open dumping* [1], [2], [3], [4], [5]. Metode ini berdampak buruk terhadap emisi gas rumah kaca, kontaminasi lingkungan, dan kesehatan [6], [7]. Pengomposan dapat menjadi solusi yang menjanjikan untuk pengelolaan sampah organik, namun proses manual pengomposan tergolong rumit, memerlukan pemantauan konstan terhadap suhu dan kelembapan [6], [8], [9]. Program Buruan SAE yang mendukung pengomposan tingkat komunitas di Kota Bandung menghadapi tantangan dalam mencapai standar proses pengomposan, terutama suhu ideal 55°C, yang menyebabkan pengomposan lambat dan bersiko mengandung patogen [10], [11], [12]. Untuk mengatasi masalah ini, sistem Dicompos berbasis *Internet of Things* (IoT) dikembangkan guna memantau dan mengontrol

parameter kompos secara otomatis melalui aplikasi dan *website*, memastikan proses berjalan sesuai standar dan mengurangi intervensi manual. Sistem ini bertujuan untuk menyediakan sistem otomatisasi pada proses pengomposan, meningkatkan efisiensi dan efektifitas proses pengomposan, dan memastikan kompos aman serta sesuai standar.

II. KAJIAN TEORI

A. Proses Pengomposan *Aerobic*

Pengomposan adalah proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme, baik *anaerobic* maupun *aerobic* [13]. Pengomposan *anaerobic* berlangsung tanpa oksigen, menghasilkan metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂), serta ditandai dengan bau tidak sedap, suhu rendah, dan waktu penguraian lambat [14]. Sebaliknya pengomposan *aerobic* membutuhkan oksigen, berlangsung cepat, menghasilkan CO₂ tanpa CH₄, dan mencapai suhu tinggi yang mampu membunuh patogen berbahaya [13]. Proses pengomposan *aerobic* dibagi menjadi tiga fase seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1, yaitu mesofilik (20-50°C), termofilik (45-75°C), dan pematangan. Selama proses ini, kelembapan harus dijaga pada rentang 40-65% [13], [15], [16]. Studi membuktikan bahwa pengontrolan eksternal terhadap proses pengomposan pada suhu tinggi (43-57°C) dan rentang kelembapan 50-65% dapat meningkatkan aktivitas mikroba secara signifikan [17]. keberhasilan dalam proses pengomposan sangat bergantung terhadap parameter temperatur, dan kelembapan kompos. Dengan memberikan lingkungan yang optimal bagi mikroorganisme untuk hidup pada kompos di setiap fase pengomposan, proses penguraian diharapkan dapat berlangsung secara efektif.



GAMBAR 1

Tren Suhu dan Kelembapan Pengomposan *Aerobic*

B. 4-Layer IoT Architecture

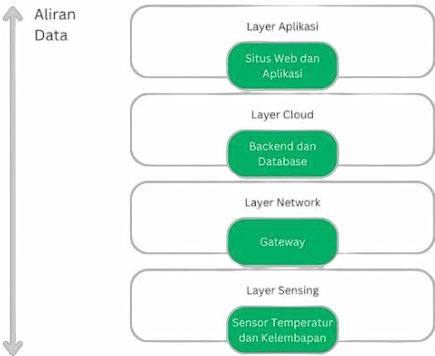
Dicompos menggunakan teknologi IoT untuk memudahkan pengguna dalam memantau dan mengontrol proses pengomposan. Sistem ini diimplementasikan melalui 4-Layer IoT Architecture dengan struktur berupa lapisan *sensing*, *network*, *cloud*, dan aplikasi seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2 [18]. Lapisan *sensing* melibatkan sensor dan aktuator yang mendeteksi dan mengatur suhu serta kelembapan kompos, kemudian mengirimkan data pemantauan ke lapisan *cloud* melalui *gateway* di lapisan *network*. Lapisan *cloud* akan menyimpan dan mengolah data untuk dapat dikonsumsi oleh lapisan aplikasi maupun lapisan *sensing* kembali. Lapisan aplikasi berfungsi sebagai antarmuka pengguna melalui *website* atau aplikasi dengan memanfaatkan data yang di peroleh dari lapisan *cloud*, memungkinkan pemantauan dan penyesuaian nilai ambang batas kompos.

III. METODE

A. Desain Rancangan

Sistem Dicompos dirancang untuk mengimitasi proses pengomposan *aerobic* ideal yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya. Dengan memberikan kondisi ideal bagi bakteri pada setiap fase pengomposan, diharapkan proses penguraian dapat berlangsung secara lebih optimal. Sistem ini terdiri dari empat lapisan, yaitu lapisan *sensing*, *network*, *cloud*, dan aplikasi, yang mengikuti 4-Layer IoT Architecture, ditunjukkan pada Gambar 3.

Pada lapisan *sensing*, digunakan sensor PR-3001-ECTHPH-N01 dan aktuator PTC heater, exhaust fan, intake fan, pompa air, dan motor mixer yang dikontrol oleh Micro Controller Unit (MCU) untuk mendeteksi suhu, kelembapan, dan pH serta mengintervensi kondisi kompos di dalam tabung pengomposan secara akurat [19]. Data dari lapisan *sensing* dikirim melalui *gateway* LoRa yang terhubung dengan internet via WiFi untuk berkomunikasi dengan lapisan *cloud*. Di lapisan *cloud*, layanan dijalankan di Google Cloud Platform menggunakan aplikasi *backend* berbasis Express.js pada Google Cloud Run dan *database* PostgreSQL pada Supabase. REST API disediakan untuk mengakses data dari *database* dalam bentuk JSON [20]. Lapisan aplikasi mencakup *website* berbasis React dan aplikasi Android berbasis Kotlin, yang memungkinkan pemantauan dan kontrol terhadap ambang batas dan dimulainya proses pengomposan melalui API. Rancangan tabung pengomposan dan *gateway* LoRa pada sistem Dicompos dapat dilihat pada Gambar 4.



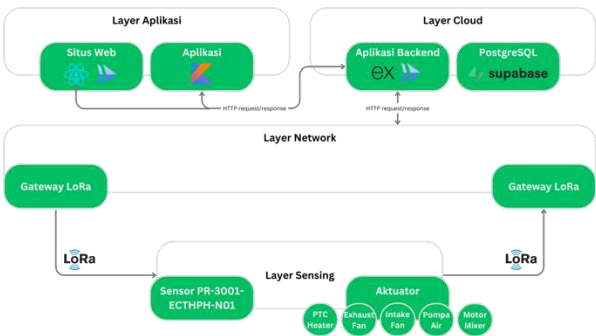
GAMBAR 2
4-Layer IoT Architecture

B. Implementansi

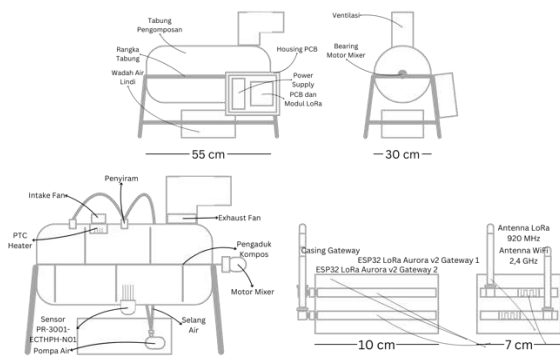
Alur logika sistem Dicompos dapat dilihat pada Gambar 5. Logika ini berjalan secara berulang dengan dimulai dari lapisan aplikasi. Pengguna dapat memulai atau menghentikan proses pengomposan melalui aplikasi, yang kemudian mengirimkan status alat dan data ambang batas ke *backend* melalui API. Setelah status alat di *backend* aktif, *gateway* LoRa pada lapisan *network* menerima data ini dan mengirimkannya ke MCU di lapisan *sensing* menggunakan LoRa. MCU akan menjalankan logika pengomposan berdasarkan status aktif, data waktu, dan nilai ambang batas yang diterima. MCU menentukan fase pengomposan dengan membandingkan data waktu dan suhu dari sensor. Nilai target suhu dipilih sesuai fase, dan sensor membaca kondisi terkini kompos, seperti suhu, kelembapan, dan pH. Jika nilai aktual tidak sesuai dengan target, MCU mengaktifkan aktuator untuk menyesuaikan kondisi. Intervensi yang dapat dilakukan aktuator dijelaskan pada Tabel 1. Data parameter ini kemudian dikirimkan kembali ke *gateway* dan disimpan di *database backend* melalui API. API *backend* juga menjalankan logika *Fuzzy Inference System* (FIS) untuk menentukan output *Pulse Width Modulation* (PWM) bagi aktuator. Proses ini terus berulang, sementara data pemantauan dapat diakses secara *realtime* melalui *dashboard* di *website* dan aplikasi, yang juga menampilkan grafik parameter setiap dua jam. Implementasi umum *hardware* dan *software* sistem Dicompos dapat dilihat pada Gambar 6.

TABEL 1
Intervensi Aktuator

	Kompos terlalu dingin	Kompos terlalu panas	Suhu sesuai
Kompos terlalu kering	intake fan (ON) motor mixer (ON) pompa air (ON)	intake fan (OFF) motor mixer (ON) pompa air (ON)	intake fan (OFF) motor mixer (ON) pompa air (ON)
Kompos terlalu lembap	intake fan (ON) motor mixer (ON) pompa air (OFF)	intake fan (ON) motor mixer (ON) pompa air (OFF)	intake fan (ON) motor mixer (ON) pompa air (OFF)
Kelembapan sesuai	intake fan (ON) motor mixer (OFF) pompa air (OFF)	intake fan (OFF) motor mixer (ON) pompa air (OFF)	intake fan (OFF) motor mixer (OFF) pompa air (OFF)

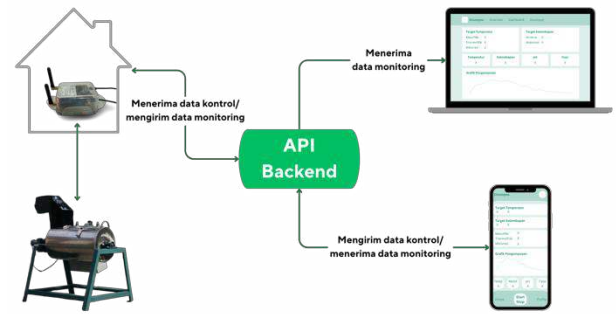


GAMBAR 3
Arsitektur Sistem Dicompos



GAMBAR 4

Rancangan Tabung Pengomposan dan Gateway



GAMBAR 6

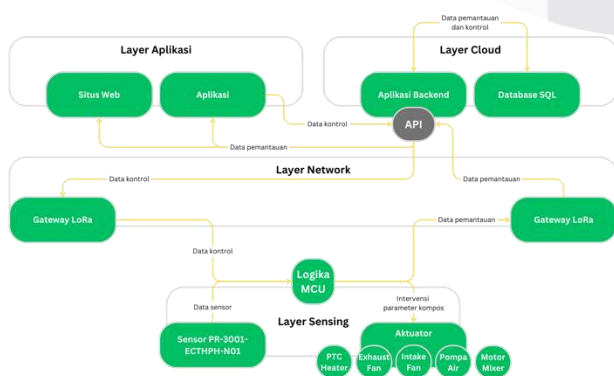
Implementasi Umum Sistem Dicompos

C. Pengujian Sistem Dicompos

Pengujian sistem Dicompos dilakukan untuk memberikan analisis pada kinerja sistem Dicompos terhadap spesifikasi perancangan yang telah ditentukan. Pengujian ini dilakukan pada setiap lapisan sistem. Secara keseluruhan, terdapat tujuh pengujian yang dilakukan pada sistem Dicompos, yaitu pengujian komparatif proses pengomposan, pengujian akurasi sensor, pengujian intervensi aktuator, pengukuran *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), pengujian *response time* API, pengujian *black box*, dan survei kepuasan pengguna..

Pengujian komparatif proses pengomposan dilakukan terhadap dua metode pengomposan, yaitu pengomposan *aerobic* manual dan pengomposan *aerobic* dengan sistem Dicompos. Kedua proses ini menggunakan bahan organik yang sama dan ditempatkan dalam kondisi serupa dengan wadah pengomposan berupa tabung 40 liter, jumlah bahan organik 4,5 kg, rasio bahan organik segar dan kering 1:2 (C/N 25:1 - 40:1) dengan durasi waktu pengomposan selama 6 hari. Komparasi dilakukan berdasarkan fase pengomposan yang dicapai oleh kedua metode.

Pengujian akurasi sensor dilakukan terhadap tiga parameter pengomposan, yaitu suhu, kelembapan, dan pH, dengan membandingkan hasil pengukuran sensor PR-3001-ECTHPH-N01 dengan alat pembanding yang lebih akurat. Akurasi suhu dan kelembapan diuji dengan membandingkan hasil sensor dengan sensor analog, sedangkan akurasi pH dibandingkan dengan larutan pH *buffer* yang telah ditentukan. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengukur deviasi sensor dalam mendeteksi ketiga parameter tersebut dan menghitung persentase akurasi sensor yang diharapkan mencapai lebih dari 90%.



GAMBAR 5

Alur Logika Sistem Dicompos

Pengujian intervensi aktuator dilakukan untuk menguji kombinasi fungsi tiga aktuator, yaitu *intake fan*, pompa air, dan motor *mixer*. Terdapat sembilan skenario suhu dan kelembapan yang memicu intervensi aktuator sesuai ekspektasi. Pada suhu kompos yang lebih rendah dari target, PTC *heater* akan memiliki nilai PWM tinggi, sedangkan pada suhu lebih tinggi, nilai PWM akan rendah. *Exhaust fan* akan berfungsi dengan nilai PWM rendah pada suhu rendah, dan tinggi pada suhu tinggi. *Intake fan* menyala bersama PTC *heater* jika suhu lebih tinggi dari target dan berhenti jika suhu lebih rendah. Pompa air akan menyala jika kelembapan kurang dari target dan tidak menyala jika kelembapan melebihi target. Motor *mixer* akan berfungsi selama proses pendinginan, penyiraman, dan pengeringan, namun berhenti saat proses pemanasan.

Pengujian *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) dilakukan untuk memastikan implementasi LoRa pada alat Dicompos mampu mencapai jarak target sesuai perencanaan, dengan pengukuran nilai RSSI di tempat terbuka. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi apakah kekuatan sinyal yang diterima dapat diandalkan. Standar penilaian kualitas RSSI yang digunakan adalah: RSSI > -30 dBm (Baik), -30 dBm > RSSI > -120 dBm (Cukup), dan RSSI < -120 dBm (Buruk) [21]. Diharapkan *gateway* dan lapisan *network* mampu mengirimkan data pada jarak lebih dari 300 m dengan nilai RSSI yang cukup.

Pengujian *response time* dilakukan untuk mengukur kinerja dan responsivitas API *backend* Dicompos menggunakan Postman. Setiap *endpoint* diuji dengan mengirimkan 30 *request* sesuai *body* yang ditentukan. API diharapkan merespon dalam rentang waktu yang tidak mengganggu pengguna. Standar penilaian *response time* yang digunakan adalah *response time* < 100 ms (Baik, respon instan), 100 ms < *response time* < 1000 ms (Cukup, pengguna mengalami sedikit delay), dan *response time* > 1000 ms (Buruk, perhatian pengguna terganggu) [22].

Pengujian *black box* merupakan teknik yang berfokus pada pengujian fungsi eksternal perangkat lunak. Pengujian ini bertujuan untuk mengidentifikasi masalah seperti fungsi yang tidak berjalan dengan benar, kesalahan *database*, struktur data yang salah, masalah akses data, antarmuka, kesalahan pengguna, kinerja, serta kesalahan inisialisasi dan terminasi [23].

Survei kepuasan pengguna bertujuan untuk mengukur kepuasan pengguna terkait kenyamanan dan kemudahan penggunaan aplikasi atau website Dicompos dengan fokus pada *User Interface* (UI), *User Experience* (UX), fungsionalitas, dan fitur yang ada. Kuesioner terbagi menjadi

5 pertanyaan tertutup untuk *website* dan 9 pertanyaan tertutup untuk aplikasi, mencakup aspek seperti tampilan, navigasi, dan pemahaman data *realtime*. Responden menilai menggunakan skala 1-5, hasilnya akan dikonversi ke persentase untuk menilai tingkat kepuasan pengguna, dari sangat tidak puas (10-30%) hingga sangat puas (90-100%).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Komparatif Proses Pengomposan

Grafik suhu pada Gambar 7 selama proses pengomposan dengan sistem Dicompos menunjukkan tren suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode manual. Pada hari pertama hingga hari kelima, suhu mencapai 35°C, optimal untuk fase mesofilik, lalu meningkat hingga lebih dari 40°C untuk fase termofilik. Sebaliknya, pengomposan manual hanya mencapai 32°C di hari kedua dan terus menurun setelahnya. Dicompos mampu mempertahankan suhu sekitar 35°C selama 17,78% dari total waktu, sementara metode manual tidak mampu sama sekali. Selain itu, Dicompos menyelesaikan fase mesofilik dan memulai fase termofilik lebih cepat dibandingkan metode manual yang masih berada di fase mesofilik. Meski begitu, fluktuasi suhu pada Dicompos lebih tinggi akibat penyiraman kompos dan *heater* yang kurang efektif.

Grafik kelembapan pada Gambar 8 menunjukkan bahwa kedua metode mampu menjaga kelembapan pada kisaran optimal dengan rentang 40-65%. Namun Dicompos cenderung mengalami penurunan kelembapan lebih sering jika dibandingkan dengan metode manual. Hal ini karena penguapan dari aliran udara panas yang terjadi pada sistem Dicompos.



GAMBAR 7
Grafik Komparasi Tren Suhu Kompos

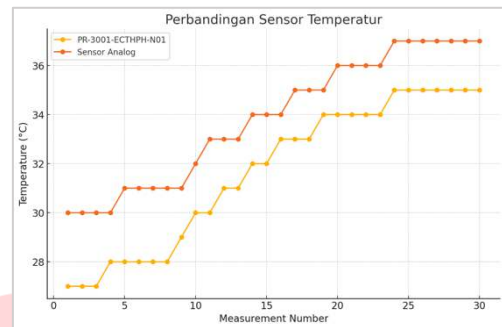


GAMBAR 8
Grafik Komparasi Tren Kelembapan Kompos

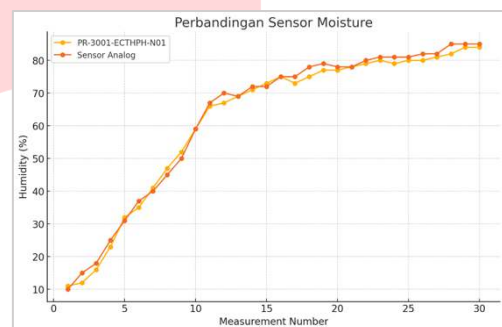
B. Pengujian Akurasi Sensor PR-3001-ECTHPH-N01

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, sensor pada Dicompos bekerja sesuai dengan spesifikasi. Dari 30 percobaan, sensor suhu menunjukkan rata-rata akurasi sebesar 98,18% yang ditunjukkan pada Gambar 9, sensor kelembapan 98% yang ditunjukkan pada Gambar 10, dan

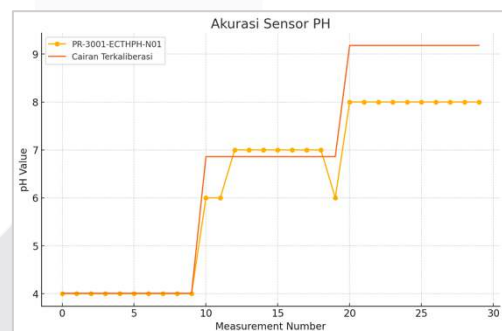
sensor pH 97,63% yang ditunjukkan pada Gambar 11. Akurasi pH yang lebih rendah disebabkan oleh proses pembersihan sensor yang kurang optimal. Meskipun demikian, semua sensor telah memenuhi spesifikasi yang diharapkan dengan akurasi di atas 90%.



GAMBAR 9
Grafik Komparasi Akurasi Pengukuran Suhu



GAMBAR 10
Grafik Komparasi Akurasi Pengukuran Kelembapan



GAMBAR 11
Grafik Komparasi Akurasi Pengukuran pH

C. Pengujian Intervensi Aktuator

Pengujian aktuator dilakukan dengan mensimulasikan kondisi kompos yang tidak ideal pada fase mesofilik 1, dengan target suhu 35°C. Ketika suhu kompos di bawah target, PTC *heater*, *intake fan*, dan motor pengaduk menyala untuk menaikkan suhu. Sebaliknya, saat suhu kompos di atas target, *exhaust fan* menyala untuk menurunkan suhu. Kelembapan ideal kompos berada di kisaran 40%-65%. Jika kompos lebih kering dari batas minimal, pompa air dan motor menyala untuk menyiram kompos, sementara jika kelembapan melebihi ambang batas, *intake fan* dan motor diaktifkan untuk menurunkan kelembapan.

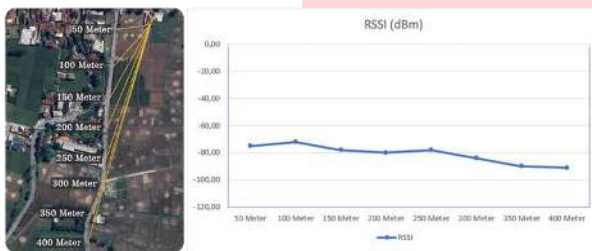
D. Pengukuran RSSI Gateway LoRa

Hasil pengujian RSSI *gateway* LoRa ditunjukkan pada Gambar 12. Pada area terbuka, nilai tertinggi RSSI tercatat pada jarak 100 meter sebesar -72dBm, sedangkan nilai

terendah adalah -91dBm pada jarak 400 meter. Kekuatan sinyal menurun seiring bertambahnya jarak, namun tetap berada dalam rentang -30dBm hingga -120dBm, yang sesuai dengan standar LoRa untuk komunikasi yang dapat diandalkan.

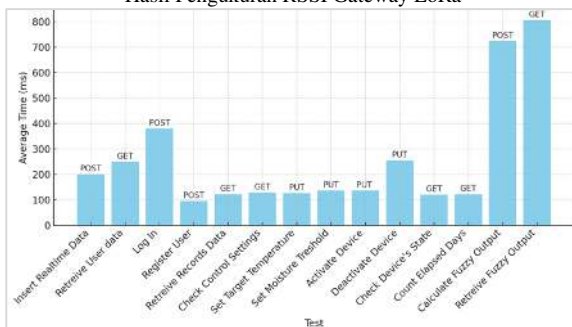
E. Pengukuran Response Time API

Hasil pengujian *response time* API ditampilkan pada Gambar 13. Dari 30 kali pengujian, rata-rata *response time* didapatkan sebesar 257,142 ms, yang dikategorikan sebagai "cukup." *Response time* terendah tercatat 95 ms, tergolong "baik," dan tertinggi 806 ms, masih dalam kategori "cukup." Secara keseluruhan, performa API Dicompos dapat diandalkan dan memberikan pengalaman yang nyaman bagi pengguna.



GAMBAR 12

Hasil Pengukuran RSSI Gateway LoRa



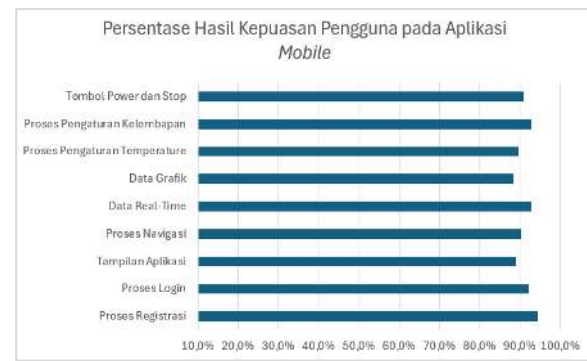
GAMBAR 13

Hasil Pengujian Response Time API menggunakan Postman



GAMBAR 14

Hasil Survei Kepuasan Pengguna terhadap Website Dicompos



GAMBAR 15

Hasil Survei Kepuasan Pengguna terhadap Aplikasi Dicompos

F. Pengujian Black Box

Pengujian *black box* pada *website* dan aplikasi *mobile* Dicompos menunjukkan bahwa semua fitur utama telah berfungsi sesuai ekspektasi. Pada *website*, fitur Navbar dan grafik parameter beroperasi dengan baik, memungkinkan navigasi dan akses data yang akurat. Di aplikasi *mobile*, fitur registrasi, *log in*, pengaturan parameter, serta indikator *realtime* juga bekerja sesuai harapan. Semua fitur mampu menangani berbagai input dan memberikan respon yang tepat. Hasil ini menunjukkan bahwa baik *website* maupun aplikasi *mobile* Dicompos telah memenuhi kriteria fungsionalitas dan siap digunakan.

G. Survei Kepuasan Pengguna

Hasil survei kepuasan pengguna terhadap *website* dan aplikasi Dicompos dapat dilihat pada Gambar 14 dan 15. Berdasarkan grafik, kepuasan pengguna terhadap *website* Dicompos menunjukkan rata-rata kepuasan sebesar 90,74%, terutama pada aspek tampilan, navigasi, dan pengalaman pengguna. Meskipun pengguna umumnya puas, beberapa masukan mencatat perlunya perbaikan dalam penyajian data *realtime* dan akurasi informasi.

Pada aplikasi *mobile*, rata-rata kepuasan mencapai 91,13% dengan pujian pada kemudahan *log in*, tampilan, dan navigasi. Namun, aspek seperti pengaturan kelembapan, suhu, dan grafik sedikit lebih rendah, menunjukkan adanya peluang peningkatan pada fitur-fitur tersebut. Secara keseluruhan, baik *website* maupun aplikasi memenuhi ekspektasi pengguna dengan baik.

V. KESIMPULAN

Sistem Dicompos menunjukkan bahwa sistem ini mampu secara otomatis menjaga suhu proses pengomposan pada fase mesofilik ($35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) hingga 17,78% lebih baik dibanding metode manual, serta mempertahankan kelembapan pada rentang optimal 40-65%. Sistem berhasil mempercepat fase termofilik hingga hari ke-5, meskipun pemanas tidak dapat memulihkan suhu secara instan dan kelembapan cenderung lebih cepat mengering. Dengan sensor berakurasi tinggi (98,18% untuk suhu, 98% untuk kelembapan, dan 97,63% untuk pH), sistem ini dapat memantau kondisi kompos secara akurat untuk mengembalikan kompos ke kondisi ideal secara efektif. Dari sisi konektivitas, sinyal LoRa masih dapat diterima dengan baik hingga jarak 400 meter. Performa API tergolong cukup dengan rata-rata *response time* 257,142 ms, sementara fitur *website* dan aplikasi *mobile* berhasil memenuhi seluruh ekspektasi fungsionalitas dengan kepuasan pengguna mencapai 90,74% untuk *website* dan

91,13% untuk aplikasi *mobile*. Secara keseluruhan, sistem Dicompos berhasil mengimplementasikan teknologi IoT untuk pemantauan dan kontrol secara otomatis. Meskipun begitu, Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk merancang implementasi sistem pemanas yang dapat memanaskan kompos lebih cepat, tanpa menyebabkan pengeringan yang signifikan. Selain itu, diperlukan pengujian proses pengomposan selama minimal 7-8 hari untuk mencapai fase termofilik puncak agar dapat menyimpulkan apakah sistem pengomposan dapat menghilangkan patogen.

REFERENSI

- [1] K. Kurnia, A. Sholihah, D. B. Hariyanto, dan M. Pd, "KAJIAN TENTANG PENGELOLAAN SAMPAH DI INDONESIA."
- [2] "SIPSN - Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional | Timbulan Sampah Nasional." Diakses: 20 Agustus 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/timbulan>
- [3] "SIPSN - Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional | Timbulan Sampah Provinsi." Diakses: 20 Agustus 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/timbulan>
- [4] "SIPSN - Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional | Komposisi Sampah Kota Bandung." Diakses: 20 Agustus 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/komposisi>
- [5] G. Puspita dan S. Ainun, "Identifikasi Timbulan dan Komposisi Sampah Rumah Tangga di Kota Bandung."
- [6] B. Ratnawati, M. Yani, Suprihatin, dan H. Hardjomijojo, "Study of Remaining Service Life of a Municipal Solid Waste Landfill with the Composting Method: A Case Study in Klaten Regency," 2022.
- [7] S. C. Kiran, C. Nagarajaiah, M. M. Murthy, dan P. C. Ranjith, "Effect of Municipal Solid Waste Open Dumping on Soil, Water, Crop, Human Health and Its Prospectives," *International Journal of Environment and Climate Change*, hlm. 36–45, Jun 2020, doi: 10.9734/ijec/2020/v10i830216.
- [8] A. A. Hashim dkk., "Overview on food waste management and composting practice in Malaysia," dalam *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Mei 2021. doi: 10.1063/5.0044206.
- [9] H. Sawir dkk., "Pengomposan Sampah Organik di TPA Air Dingin Kota Padang: Potensi Ekonomi dan Manfaat Lingkungan," 2024.
- [10] R. Sutriadi, "Buruan Sae, a Green Action towards a Communicative City in Bandung City, West Java Indonesia," 2022.
- [11] Badan Standardisasi Nasional, "Standar Nasional Indonesia Spesifikasi kompos dari sampah organik domestik Badan Standardisasi Nasional," 2004.
- [12] M. Dietrich, M. Fongen, dan B. Foereid, "Anaerobic digestion affecting nitrous oxide and methane emissions from the composting process," *Bioresour Technol Rep*, vol. 15, Sep 2021, doi: 10.1016/j.biteb.2021.100752.
- [13] A. L. Meena dan M. Karwal, "Aerobic vs Anaerobic Composting: Differences and Comparison," 2021, doi: 10.13140/RG.2.2.21424.69125.
- [14] I. Mckenzie, S. Diana, S. Jaikishun, dan A. Ansari, "Comparative Review of Aerobic and Anaerobic Composting for the Reduction of Organic Waste," *Agricultural Reviews*, no. Of, Jan 2022, doi: 10.18805/ag.r-191.
- [15] N. M. Trautmann dan M. E. Krasny, "THE SCIENCE OF COMPOSTING," Kendall/Hunt Publishing Company, 1996.
- [16] M. Ajmal dkk., "Ultra-high temperature aerobic fermentation pretreatment composting: Parameters optimization, mechanisms and compost quality assessment," *J Environ Chem Eng*, vol. 9, no. 4, Agu 2021, doi: 10.1016/j.jece.2021.105453.
- [17] C. Liang, K. C. Das, dan R. W. McClendon, "The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend."
- [18] M. A. J. Jamali, A. Heidari, P. Allahverdzadeh, F. Norouzi, dan B. Bahrami, "IoT Architecture," *EAI/Springer Innovations in Communication and Computing*, hlm. 9–31, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-18468-1_2.
- [19] 普锐 森社, "五插针土壤变送器 (485型)".
- [20] B. Sutara dan S. S. Gunawan, "COMPARATIVE ANALYSIS OF REST API PERFORMANCE BETWEEN EXPRESS.JS FRAMEWORK AND HAPI.JS USING APACHE JMETER," 2024.
- [21] B. Setiawan, E. S. Putra, I. Siradjuddin, M. Junus, D. Dewatama, dan S. Wiyanto, "Study of LoRa (Long Range) communication for monitoring of a ship electrical system," dalam *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, Des 2019. doi: 10.1088/1742-6596/1402/4/044022.
- [22] Jakob Nielsen, "Response Time: The 3 Important Limits," Nielsen Norman Group. Diakses: 2 September 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.nngroup.com/articles/response-times-3-important-limits/>
- [23] E. Novalia dan A. Voutama, "Black Box Testing dengan Teknik Equivalence Partitions Pada Aplikasi Android M-Magazine Mading Sekolah," 2022.