

IMPLEMENTASI MESIN PENCACAH SAMPAH ORGANIK BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI PENGELOLAAN BANK SAMPAH DAN PRODUKSI KOMPOS DI DESA

Mochamad Saleh¹, Syaiful Anwar², Bambang Triono³
^{1,2,3}Universitas Sunan Giri Surabaya, Indonesia
Email Korespondensi : ¹moch.sholeh70@gmail.com

Abstract

Organic waste management at the village level continues to face several challenges, including limited shredding capacity, labor-intensive processing methods, and the lack of digital technology integration to support waste bank operations. These challenges reduce the efficiency of waste management and compost production. This study aims to implement an Internet of Things (IoT)-based organic waste shredding machine to improve the efficiency of waste bank management and compost production in rural areas. The research employed a Research and Development (R&D) approach combined with an experimental method, consisting of needs assessment, system design, machine fabrication, IoT integration, implementation, and performance evaluation. The developed system utilizes an ESP32 microcontroller integrated with temperature, electric current, and rotational speed (RPM) sensors, along with a Wi-Fi communication module, enabling real-time monitoring of machine performance. Performance evaluation was conducted by comparing the machine's operational performance before and after IoT implementation based on shredding capacity, processing time, energy consumption, shredded material quality, and compost production. The results indicate that the implementation of the IoT-based shredding machine increased the shredding capacity from 45.3 kg/h to 152.6 kg/h, reduced the processing time by 71.2%, shortened the composting period from 35 days to 23 days, and increased compost production by 69.4%. Furthermore, the monitoring system successfully transmitted operational data in real time with a transmission success rate of 97.8%. Statistical analysis revealed a significant difference in operational performance before and after machine implementation ($p < 0.05$). Therefore, the implementation of an IoT-based organic waste shredding machine has proven effective in improving waste bank operational efficiency, increasing compost production, and enhancing the quality of organic waste management in rural communities. This study contributes to the development of IoT-based appropriate technology to support sustainable environmental management and strengthen the implementation of the smart village concept.

Keywords: *Internet of Things (IoT); organic waste shredding machine; waste bank; compost; waste management efficiency; smart village.*

Abstrak

Pengelolaan sampah organik di tingkat desa masih menghadapi berbagai kendala, seperti rendahnya kapasitas pencacahan, proses pengolahan yang masih manual, serta belum optimalnya pemanfaatan teknologi digital dalam mendukung operasional bank sampah. Kondisi tersebut berdampak pada rendahnya efisiensi pengelolaan sampah dan produksi kompos. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan mesin pencacah sampah organik berbasis Internet of Things (IoT) guna meningkatkan efisiensi pengelolaan bank

sampah dan produksi kompos di desa. Metode penelitian menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) yang dipadukan dengan metode eksperimen melalui tahapan analisis kebutuhan, perancangan sistem, fabrikasi mesin, integrasi perangkat IoT, implementasi, dan evaluasi kinerja. Sistem yang dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor suhu, sensor arus listrik, sensor putaran (RPM), dan modul komunikasi Wi-Fi untuk melakukan monitoring kondisi mesin secara real time. Pengujian dilakukan dengan membandingkan kinerja mesin sebelum dan sesudah implementasi berdasarkan parameter kapasitas pencacahan, waktu proses, konsumsi energi, kualitas hasil cacahan, serta produksi kompos. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi mesin pencacah berbasis IoT meningkatkan kapasitas pencacahan dari 45,3 kg/jam menjadi 152,6 kg/jam, menurunkan waktu pencacahan sebesar 71,2%, mempercepat proses pengomposan dari 35 hari menjadi 23 hari, serta meningkatkan volume produksi kompos hingga 69,4%. Sistem monitoring juga mampu mengirimkan data operasional secara real time dengan tingkat keberhasilan transmisi sebesar 97,8%. Hasil uji statistik menunjukkan terdapat perbedaan yang signifikan sebelum dan sesudah implementasi mesin ($p < 0,05$). Dengan demikian, penerapan mesin pencacah sampah organik berbasis IoT terbukti mampu meningkatkan efisiensi operasional bank sampah, produktivitas produksi kompos, dan kualitas pengelolaan sampah organik di tingkat desa. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi tepat guna berbasis IoT untuk mendukung pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan dan penguatan konsep smart village.

Kata kunci: Internet of Things (IoT); mesin pencacah sampah organik; bank sampah; kompos; efisiensi pengelolaan sampah; smart village.

Pendahuluan

Peningkatan jumlah penduduk, aktivitas rumah tangga, serta perkembangan sektor pertanian dan perdagangan di wilayah pedesaan telah menyebabkan peningkatan timbunan sampah organik setiap tahunnya. Sampah organik yang tidak dikelola secara optimal menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan, seperti pencemaran tanah, penurunan kualitas sanitasi, munculnya bau tidak sedap, serta peningkatan emisi gas rumah kaca akibat proses dekomposisi yang berlangsung secara alami. Di sisi lain, sampah organik memiliki potensi besar untuk diolah menjadi kompos yang bernilai ekonomi dan bermanfaat dalam mendukung pertanian berkelanjutan. Oleh karena itu, pengelolaan sampah organik memerlukan pendekatan yang tidak hanya berorientasi pada pengurangan volume limbah, tetapi juga mampu menghasilkan nilai tambah bagi masyarakat desa (Reyes-Torres et al., 2018; Leow et al., 2018).

Salah satu kelembagaan yang memiliki peran strategis dalam pengelolaan sampah berbasis masyarakat adalah bank sampah. Keberadaan bank sampah tidak hanya berfungsi sebagai tempat pengumpulan dan pemilahan sampah, tetapi juga menjadi sarana edukasi lingkungan, pemberdayaan masyarakat, serta penguatan ekonomi sirkular di tingkat desa. Namun demikian, sebagian besar bank sampah di Indonesia masih menghadapi berbagai kendala, antara lain keterbatasan peralatan, rendahnya kapasitas pengolahan sampah organik, proses pencacahan yang masih dilakukan secara manual, serta belum optimalnya sistem monitoring terhadap proses produksi kompos. Kondisi tersebut menyebabkan produktivitas pengolahan sampah relatif rendah dan belum mampu memenuhi potensi

sumber daya organik yang tersedia di masyarakat (Rahman et al., 2024; Arbaatun et al., 2020).

Perkembangan teknologi digital, khususnya Internet of Things (IoT), memberikan peluang baru dalam meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah melalui sistem yang lebih cerdas, terintegrasi, dan berbasis data. Teknologi IoT memungkinkan berbagai perangkat mekanik dilengkapi dengan sensor, mikrokontroler, dan jaringan komunikasi sehingga mampu mengirimkan informasi operasional secara real time kepada pengguna. Dalam konteks pengelolaan sampah organik, integrasi IoT pada mesin pencacah memungkinkan proses pemantauan kapasitas kerja, konsumsi energi, durasi operasi, suhu mesin, hingga produktivitas pencacahan dilakukan secara otomatis. Pemanfaatan data tersebut mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat, meningkatkan efektivitas pemeliharaan mesin, serta mengoptimalkan proses produksi kompos secara berkelanjutan (Nikoloudakis et al., 2018; Miraz et al., 2017).

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengembangkan teknologi IoT pada sistem pengelolaan sampah maupun proses pengomposan. Penelitian Nikoloudakis et al. (2018) mengembangkan konsep Composting as a Service berbasis IoT yang mampu melakukan monitoring proses pengomposan secara daring. Sementara itu, Rahman et al. (2024) merancang sistem otomatisasi pengomposan berbasis IoT yang menunjukkan peningkatan efektivitas pengelolaan limbah organik. Penelitian lain lebih banyak berfokus pada pengembangan smart waste bin, monitoring suhu kompos, maupun otomatisasi proses fermentasi. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berorientasi pada proses monitoring pengomposan dan belum mengintegrasikan teknologi IoT dengan mesin pencacah sampah organik sebagai tahapan awal yang sangat menentukan efisiensi keseluruhan proses produksi kompos.

Selain itu, penelitian mengenai implementasi mesin pencacah sampah organik pada bank sampah desa masih didominasi oleh pendekatan mekanis konvensional tanpa dukungan sistem monitoring digital. Padahal, proses pencacahan merupakan tahapan penting yang memengaruhi ukuran partikel bahan organik, kecepatan dekomposisi, kualitas kompos, serta efisiensi waktu produksi. Belum optimalnya pemanfaatan teknologi digital pada proses pencacahan menyebabkan pengelola bank sampah mengalami kesulitan dalam melakukan evaluasi kinerja mesin, pengendalian operasional, maupun perencanaan pemeliharaan alat secara preventif. Dengan demikian, masih terdapat kesenjangan penelitian terkait integrasi teknologi mekanik dan IoT dalam mendukung pengelolaan sampah organik berbasis masyarakat.

Implementasi mesin pencacah sampah organik berbasis IoT diharapkan mampu menjawab tantangan tersebut melalui sistem yang mengintegrasikan proses pencacahan otomatis dengan teknologi monitoring berbasis sensor dan jaringan internet. Sistem ini memungkinkan seluruh aktivitas operasional mesin terdokumentasi secara digital sehingga produktivitas, efisiensi waktu, kapasitas produksi, serta kondisi mesin dapat dipantau secara real time. Data yang dihasilkan selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai dasar pengambilan keputusan oleh pengelola bank sampah maupun pemerintah desa dalam meningkatkan kualitas pelayanan dan efektivitas pengelolaan sampah organik.

Dari perspektif teknis, penggunaan mesin pencacah mampu menghasilkan ukuran material organik yang lebih seragam sehingga mempercepat aktivitas mikroorganisme selama proses dekomposisi. Ukuran bahan yang lebih kecil meningkatkan luas permukaan kontak sehingga proses penguraian berlangsung lebih cepat dibandingkan metode konvensional. Kondisi tersebut berdampak pada meningkatnya kualitas kompos, berkurangnya waktu produksi, serta meningkatnya kapasitas pengolahan sampah organik yang dapat dilakukan oleh bank sampah dalam satu periode operasional (Reyes-Torres et al., 2018; Shukor et al., 2018).

Dari aspek sosial dan ekonomi, penerapan teknologi IoT pada mesin pencacah berpotensi meningkatkan profesionalisme pengelolaan bank sampah melalui sistem kerja yang lebih modern, transparan, dan akuntabel. Efisiensi operasional yang dihasilkan dapat menekan biaya produksi, meningkatkan volume kompos yang dihasilkan, serta membuka peluang pengembangan usaha berbasis ekonomi sirkular di tingkat desa. Selain itu, transformasi digital pada pengelolaan sampah juga mendorong peningkatan partisipasi masyarakat dalam melakukan pemilahan sampah dari sumbernya karena hasil pengelolaan dapat dipantau secara lebih terbuka dan terukur.

Kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada integrasi mesin pencacah sampah organik dengan teknologi Internet of Things sebagai sistem monitoring operasional secara real time yang diterapkan pada pengelolaan bank sampah desa. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang lebih banyak berfokus pada monitoring proses pengomposan atau sistem tempat sampah cerdas, penelitian ini mengembangkan pendekatan yang menggabungkan aspek mekanik, otomasi, dan digitalisasi sejak tahap awal pengolahan sampah organik. Integrasi tersebut diharapkan mampu meningkatkan efisiensi proses pencacahan, produktivitas produksi kompos, serta kualitas pengambilan keputusan berbasis data dalam pengelolaan bank sampah.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan mesin pencacah sampah organik berbasis Internet of Things (IoT) dalam meningkatkan efisiensi pengelolaan bank sampah dan produksi kompos di desa. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi ilmiah terhadap pengembangan teknologi tepat guna berbasis IoT dalam bidang teknik mesin dan pengelolaan lingkungan, sekaligus menjadi model implementasi smart village yang mendukung penguatan ekonomi sirkular, pengurangan timbulan sampah organik, serta pencapaian pembangunan berkelanjutan di kawasan perdesaan.

Metode

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan pendekatan eksperimen untuk merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi mesin pencacah sampah organik berbasis Internet of Things (IoT) dalam pengelolaan bank sampah desa. Tahapan penelitian meliputi analisis kebutuhan melalui observasi dan wawancara dengan pengelola bank sampah, perancangan sistem mekanik dan elektronik, pembuatan prototipe, integrasi sensor IoT, pengujian fungsional, serta implementasi lapangan. Sistem IoT menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor arus listrik, sensor suhu, dan sensor putaran untuk memantau kondisi mesin secara real time melalui jaringan internet.

Pengujian dilakukan dengan membandingkan kinerja pengolahan sampah organik sebelum dan sesudah penggunaan mesin berbasis IoT menggunakan sampel daun, rumput, sisa sayuran, dan limbah pertanian. Parameter yang diamati meliputi kapasitas pencacahan, waktu proses, ukuran hasil cacahan, konsumsi energi, suhu kerja mesin, kecepatan putaran, dan volume produksi kompos. Data dikumpulkan melalui observasi, pengukuran langsung, dan pencatatan sistem IoT, kemudian dianalisis secara deskriptif dan inferensial menggunakan paired sample t-test pada taraf signifikansi 5% untuk mengetahui peningkatan efisiensi pengelolaan bank sampah dan produksi kompos setelah implementasi teknologi IoT.

Hasil dan Pembahasan

Implementasi mesin pencacah sampah organik berbasis Internet of Things (IoT) berhasil diterapkan pada bank sampah desa dan beroperasi sesuai dengan spesifikasi yang telah dirancang. Sistem terdiri atas unit pencacah bermotor listrik berdaya 2 HP yang dipadukan dengan mikrokontroler ESP32, sensor arus listrik, sensor suhu, sensor putaran (RPM), serta modul komunikasi Wi-Fi. Seluruh data operasional dikirimkan secara real time ke dashboard monitoring sehingga pengelola dapat memantau kondisi mesin melalui komputer maupun telepon pintar. Berdasarkan hasil pengujian selama 30 hari operasional, tingkat keberhasilan transmisi data mencapai 97,8%, menunjukkan bahwa sistem monitoring berjalan dengan baik tanpa gangguan konektivitas yang signifikan.

Pengujian kinerja mesin menunjukkan adanya peningkatan kapasitas pencacahan dibandingkan metode manual. Sebelum implementasi mesin, kapasitas pencacahan rata-rata hanya 45,3 kg/jam, sedangkan setelah penggunaan mesin berbasis IoT meningkat menjadi 152,6 kg/jam, atau mengalami peningkatan sebesar 236,9%. Waktu pencacahan untuk 50 kg sampah organik berkurang dari 66 menit menjadi 19 menit, sehingga efisiensi waktu mencapai 71,2%. Selain itu, ukuran hasil cacahan menjadi lebih seragam dengan rata-rata 1–2 cm, sehingga mempercepat proses dekomposisi bahan organik selama pengomposan.

Efisiensi penggunaan energi juga mengalami peningkatan. Konsumsi energi listrik rata-rata tercatat sebesar 0,38 kWh untuk setiap 50 kg bahan organik yang diproses. Nilai tersebut tergolong rendah dibandingkan kapasitas produksi yang dihasilkan, sehingga mesin dinilai ekonomis untuk diterapkan pada skala bank sampah desa. Sensor suhu menunjukkan temperatur kerja mesin berada pada kisaran 39–47°C, sedangkan putaran pisau stabil pada rata-rata 1.420 rpm, yang menunjukkan bahwa sistem mekanik mampu bekerja secara stabil selama proses pencacahan berlangsung.

Implementasi mesin pencacah memberikan dampak langsung terhadap proses produksi kompos. Ukuran bahan organik yang lebih kecil mempercepat aktivitas mikroorganisme selama proses fermentasi sehingga waktu pengomposan berkurang dari rata-rata 35 hari menjadi sekitar 23 hari. Penurunan waktu pengomposan mencapai 34,3%, sedangkan volume produksi kompos meningkat dari 310 kg/bulan menjadi 525 kg/bulan. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa proses pencacahan merupakan salah satu faktor penting dalam meningkatkan efisiensi produksi pupuk organik.

Dari aspek operasional bank sampah, implementasi teknologi IoT meningkatkan efektivitas pengelolaan melalui sistem monitoring berbasis data. Sebelum penerapan IoT, seluruh pencatatan dilakukan secara manual sehingga evaluasi kinerja mesin sulit dilakukan. Setelah implementasi, data mengenai waktu operasi, jumlah bahan yang

diproses, konsumsi energi, suhu mesin, dan kecepatan putaran tersimpan secara otomatis dalam basis data sehingga memudahkan proses evaluasi, perawatan berkala, dan pengambilan keputusan. Pengelola bank sampah juga dapat mengetahui kondisi mesin secara langsung apabila terjadi penurunan performa atau gangguan operasional.

Hasil kuesioner terhadap 20 orang pengelola dan operator bank sampah menunjukkan tingkat kepuasan pengguna sebesar 91,4% dengan kategori sangat baik. Aspek yang memperoleh nilai tertinggi adalah kemudahan pengoperasian, percepatan proses pencacahan, kemudahan monitoring, serta peningkatan produktivitas kerja. Hasil tersebut menunjukkan bahwa teknologi yang dikembangkan dapat diterima dengan baik oleh pengguna karena tidak memerlukan keterampilan teknis yang kompleks dan mampu mengurangi beban kerja operator.

Secara statistik, hasil uji paired sample t-test menunjukkan nilai $p = 0,001$ ($p < 0,05$) sehingga terdapat perbedaan yang signifikan antara kondisi sebelum dan sesudah implementasi mesin pencacah berbasis IoT terhadap kapasitas pencacahan, waktu proses, dan volume produksi kompos. Temuan ini membuktikan bahwa penerapan teknologi IoT tidak hanya meningkatkan kemampuan monitoring mesin, tetapi juga memberikan pengaruh nyata terhadap efisiensi operasional bank sampah.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Nikoloudakis et al. (2018) yang menyatakan bahwa integrasi teknologi IoT mampu meningkatkan efektivitas monitoring dalam proses pengomposan berbasis masyarakat. Penelitian ini juga memperkuat temuan Rahman et al. (2024) yang menunjukkan bahwa otomatisasi pengelolaan sampah organik berbasis IoT dapat meningkatkan produktivitas dan efisiensi proses pengolahan. Perbedaannya, penelitian ini mengintegrasikan sistem IoT secara langsung pada mesin pencacah sehingga pemantauan dapat dilakukan sejak tahap awal pengolahan sampah, bukan hanya pada proses fermentasi kompos.

Dari perspektif teknik mesin, keberhasilan implementasi dipengaruhi oleh desain pisau pencacah, kestabilan putaran motor, serta integrasi sistem sensor yang mampu menyediakan data operasional secara kontinu. Kombinasi teknologi mekanik dan sistem digital menghasilkan mesin yang lebih efisien, mudah dipelihara, dan mampu mendukung pengelolaan sampah berbasis smart village. Selain meningkatkan produktivitas bank sampah, penerapan teknologi ini juga mendukung konsep ekonomi sirkular melalui optimalisasi pemanfaatan sampah organik menjadi kompos yang memiliki nilai ekonomi. Dengan demikian, implementasi mesin pencacah sampah organik berbasis IoT memiliki potensi yang besar untuk direplikasi pada bank sampah di berbagai wilayah pedesaan sebagai solusi inovatif dalam mendukung pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan.

Kesimpulan

Implementasi mesin pencacah sampah organik berbasis Internet of Things (IoT) terbukti mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan bank sampah dan produksi kompos di tingkat desa. Integrasi teknologi mekanik dengan sistem monitoring berbasis IoT memungkinkan proses pencacahan berlangsung lebih cepat, kapasitas pengolahan meningkat, konsumsi energi lebih efisien, serta kondisi operasional mesin dapat dipantau secara real time. Selain meningkatkan produktivitas pengolahan sampah organik, penggunaan mesin ini juga mempercepat proses pengomposan melalui ukuran cacahan yang lebih seragam sehingga menghasilkan kompos dengan kualitas yang lebih baik dan waktu produksi yang lebih singkat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan mesin

pencacah berbasis IoT memberikan dampak positif terhadap efektivitas operasional bank sampah melalui sistem pengelolaan yang lebih modern, terukur, dan berbasis data. Teknologi ini mempermudah proses pemantauan kinerja mesin, mendukung pemeliharaan preventif, serta meningkatkan kapasitas pengambilan keputusan bagi pengelola. Dengan demikian, implementasi mesin pencacah sampah organik berbasis IoT dapat menjadi model teknologi tepat guna yang mendukung pengembangan smart village, memperkuat ekonomi sirkular, dan mendorong pengelolaan sampah organik yang berkelanjutan di kawasan perdesaan. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan sistem berbasis kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) dan analisis prediktif guna mengoptimalkan kinerja mesin, meningkatkan efisiensi operasional, serta memperluas penerapan teknologi pada skala pengelolaan sampah yang lebih besar.

Daftar Pustaka

- Borg, W. R., & Gall, M. D. (2003). *Educational research: An introduction* (7th ed.). Boston, MA: Allyn & Bacon.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate data analysis* (8th ed.). Boston, MA: Cengage Learning.
- Leow, C. W., Fan, Y. V., Chua, L. S., Muhamad, I. I., Klemeš, J. J., & Lee, C. T. (2018). A review on application of microorganisms for organic waste management. *Chemical Engineering Transactions*, 63, 85–90.
- Miraz, M. H., Ali, M., Excell, P. S., & Picking, R. (2017). A review on Internet of Things (IoT), Internet of Everything (IoE) and Internet of Nano Things (IoNT). 2017 *Internet Technologies and Applications (ITA)*, 219–224.
- Nikoloudakis, Y., Panagiotakis, S., Manios, T., Markakis, E., & Pallis, E. (2018). Composting as a service: A real-world IoT implementation. *Future Internet*, 10(11), 107.
- Rahman, N., Purnamasari, R., & Eliskar, Y. (2024). Rancang bangun alat otomatisasi pengomposan dari sampah organik berbasis Internet of Things. *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi Bisnis*, 6(4), 674–682.
- Reyes-Torres, M., Oviedo-Ocaña, E. R., Dominguez, I., Komilis, D., & Sánchez, A. (2018). A systematic review on the composting of green waste: Feedstock quality and optimization strategies. *Waste Management*, 77, 486–499.
- Shukor, J. A., Omar, M. F., Kasim, M. M., Jamaludin, M. H., & Naim, M. A. (2018). Assessment of composting technologies for organic waste management. *International Journal of Technology*, 9(8), 1579–1587.
- Sugiyono. (2019). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Bandung, Indonesia: Alfabeta.
- Arbaatun, C. N., Yusuf Alkautsar, Y. Y. N., & Prawita, F. N. (2020). Matrash: Pemanfaatan machine learning pada smart trash bin berbasis IoT yang terintegrasi dengan bank sampah. *eProceedings of Applied Science*, 6(2), 3125–3133.
- Yang, S., Yin, Y., Zhang, W., Li, H., Wang, X., & Chen, R. (2024). Advances in understanding bioaerosol release characteristics and potential hazards during aerobic composting. *Science of the Total Environment*, 926, 171796.