

ARTICLE

Implementasi Internet of Things Pada Pengolah Sampah Organik Rumah Tangga Menggunakan Metode Anaerob Dengan Penambahan Bioaktivator EM4

Implementation of Internet of Things in Household Organic Waste Processor Using Anaerobic Method With the Addition of Bioactivator EM4

Miswan Miswan,^{*} Makhsun Makhsun, dan Ferhat Aziz

Magister Teknik Informatika, Fakultas Teknik Informatika, Universitas Pamulang, Tangerang Selatan, Indonesia

*Penulis Korespondensi: wanwanvm@gmail.com

(Disubmit 23-07-26; Diterima 23-11-02; Dipublikasikan online pada 24-02-05)

Abstrak

Menurut data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan tahun 2021, Indonesia menghasilkan 18,8 juta ton sampah per tahun, di mana 27,9% merupakan sampah sisa makanan rumah tangga. Sampah organik sisa makanan rumah tangga belum terkelola dan menimbulkan beban lingkungan serta bau busuk serta berdasarkan undang-undang Republik Indonesia No. 18 tahun 2008 tentang pengolahan sampah saat ini sampah menjadi permasalahan nasional. Sehingga dibutuhkan alat pengolah sampah yang tidak menimbulkan bau busuk, alat tersebut akan secara otomatis mencampurkan bahan bioaktivator Bioaktivator EM4 (Effective Microorganisms 4) dan molase berbasis internet of things, serta menghasilkan pupuk cair yang sesuai standar kementerian pertanian nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 dengan nilai pH 4 - 9. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengangkat penelitian ini guna mengurangi masalah sampah organik. Penggunaan metode anaerob pada pengolahan sampah dapat mengurangi bau busuk saat dekomposisi sampah, serta metode perancangan eksperimen dalam mengembangkan alat sehingga dapat menghasilkan alat pengolah sampah sesuai kriteria yang diharapkan. Dalam penelitian ini dihasilkan alat pengolah sampah yang dapat mengotomatisasi pencampuran bioaktivator dan molase, menjaga suhu ideal 30 - 37 derajat Celsius secara otomatis untuk mengoptimalkan perkembangan mikroorganisme, dan menghasilkan pH rata-rata 5.06 pada usia 5.25 hari yang memenuhi standar kementerian pertanian dan dalam proses dekomposisi sampah tidak menimbulkan bau busuk serta data sensor hasil dari pengolahan dapat dimonitoring melalui website dan pesan telegram secara realtime.

Kata kunci: Sampah Organik Rumah Tangga; Arduino; Bioaktivator; Pupuk Organik Cair; Internet of Things

Abstract

According to data from the Ministry of Environment and Forestry in 2021, Indonesia produces 18.8 million tonnes of waste per year, of which 27.9% is household food waste. Organic household food waste has not been managed and causes environmental burdens and foul odors and based on Law of the Republic of Indonesia No. 18 of 2008 concerning waste processing, currently waste has become a national problem. So we need a waste processing tool that doesn't cause a bad smell, this tool will automatically mix the bioactivator material Bioactivator EM4 (Effective Microorganisms 4) and molasses based on the internet of things, and produce liquid fertilizer that complies with the Ministry of Agriculture standard number 261/KPTS/SR.310 /M/4/2019 with a pH value of 4 - 9. Therefore, it is very important to carry out this research to reduce the problem of organic waste. The use of anaerobic methods in waste processing can reduce bad smells during waste decomposition,

as well as experimental design methods in developing equipment so that waste processing equipment can be produced according to the expected criteria. In this research, a waste processing tool was produced that can automate the mixing of bioactivator and molasses, maintain the ideal temperature of 30 - 37 degrees Celsius automatically to optimize the development of microorganisms, and produce an average pH of 5.06 at 5.25 days of age which meets the standards of the Ministry of Agriculture and in the decomposition process The waste does not cause a bad smell and the sensor data resulting from processing can be monitored via the website and telegram messages in real time.

KeyWords: Household Organic Waste; Arduino; Bioactivator; Liquid Organic Fertilizer; Internet of Things

1. Pendahuluan

Menurut data website <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/> dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan tahun 2021, Indonesia terdapat timbunan sampah di 152 kabupaten atau kota di Indonesia, dengan total mencapai 18,8 juta ton per tahun. Komposisi sampah tersebut berdasarkan sumber sampah sebesar 40,7% berasal dari rumah tangga, dan jenis sampah terbesar adalah sisa makanan, yaitu sebesar 27,9%. Pada saat penelitian dilakukan, hanya sebesar 47% pengolahan sampah yang terkelola di Tempat Penampungan Akhir, sedangkan 28,26% tidak terkelola atau setara dengan 5,3 juta ton per tahun sampah yang tidak terkelola [1]. Penumpukan sampah organik yang berasal dari rumah tangga tersebut mengakibatkan terjadinya pencemaran lingkungan hidup seperti polusi udara dengan bau busuk dan menyebarkan penyakit. Berdasarkan undang-undang Republik Indonesia Nomor 18 tahun 2008 tentang pengolahan sampah saat ini sampah menjadi permasalahan nasional [2].

Penelitian terdahulu dalam mengatasi masalah sampah organik masih menggunakan metode manual yaitu dengan menambahkan Bioaktivator EM4 (*Effective Microorganisms 4*) dan Molase sebagai bahan tambahan ke dalam drum berisi sampah organik untuk menghasilkan pupuk organik cair. EM4 adalah campuran dari mikroorganisme yang menguntungkan dengan jumlah berkisar 80 jenis mikroorganisme yang bekerja secara efektif dalam memfermentasi sampah organik [3]. Dalam penelitian lain pengolahan sampah berbasis *internet of things* untuk memonitor ketinggian sampah serta mencampurkan bioaktivator EM4 kedalam pengolah sampah [4], penelitian tentang penggunaan *internet of things* untuk sistem tempat sampah pintar pengolah sampah organik yang dikembangkan pada *smart city*[5].

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan pupuk organik cair yang cepat serta sesuai standar minimal yang sarankan kementerian pertanian. Sehingga perlu dikembangkan alat pengolah sampah menjadi pupuk organik yang dapat secara otomatis mencampurkan bahan bioaktivator dan molase serta menjaga temperatur ruang pengolah sampah sesuai suhu yang disarankan yang diharapkan bakteri pengurai dapat hidup dengan maksimal, proses dekomposisi sampah tidak menimbulkan bau busuk serta dapat di monitoring secara *realtime* melalui *website* dan aplikasi pesan telegram. Dalam mengembangkan alat pengolah sampah secara *internet of things* yaitu menggunakan mikrokontroler Arduino ESP32 yang memungkinkan koneksi ke internet dikarenakan sudah terdapat modul *WiFi*. Data hasil dari sensor pH(*potential of hydrogen*) dan data hasil temperatur dari sensor DHT 11 akan dikirimkan melalui *WiFi* ke *webserver* serta aplikasi pesan telegram secara *realtime* [4].

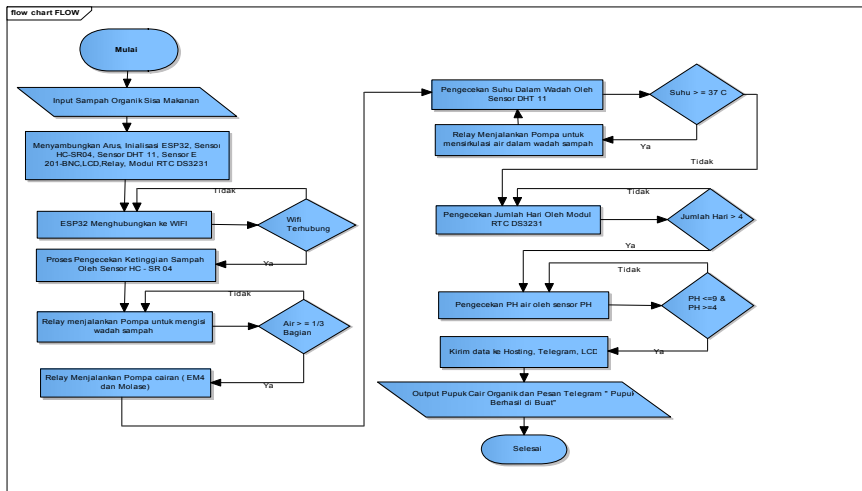
2. Metode

Terdapat tiga metode dalam penelitian ini yaitu metode dalam mengembangkan perangkat keras dan metode dalam mengembangkan perangkat lunak serta metode dalam mengumpulkan data.

2.1 Diagram Alir Sistem

Diagram alir sistem menggambarkan alur sistem yang dibangun, diawali dengan memasukkan sampah organik, dilanjutkan dengan *inisialisasi mikrokontroler* dan sensor-sensor. Kemudian, *mikrokontroler ESP32* terhubung ke *WiFi* dan melakukan pengecekan ketinggian sampah untuk menentukan jumlah air yang akan dicampurkan ke dalam wadah. Selanjutnya, ditambahkan EM4 dan molase, dengan melakukan pengecekan suhu dalam wadah untuk memastikan suhu tetap di bawah 37°Celsius. Pengukuran pH dapat dilakukan setelah jumlah hari lebih besar dari 4 hari oleh sensor E201-BNC dengan hasil pH 4-9, dan proses diakhiri dengan mengirimkan informasi pesan telegram dan menyimpan data pH ke *hosting website*

seperti yang gambarkan pada Gambar 1.



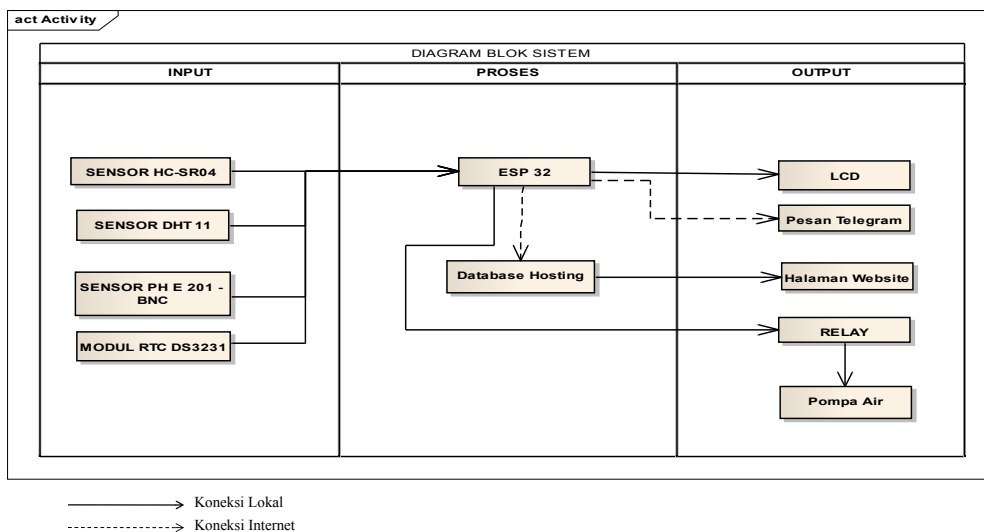
Gambar 1. Diagram Alir sistem

2.2 Metode Pengembangan Perangkat Keras

Penelitian ini menerapkan metode eksperimen untuk merancang perangkat keras, pengembangan perangkat keras yaitu pembuatan wadah pengolah sampah berbahan Plastik *polypropylene* serta rangkaian sensor DHT 11, sensor HC-SR04, mikrokontroler ESP32, LCD, Modul RTC-DS3231, sensor E201-BNC dan Pompa Air yang dihubungkan ke mikrokontroler ESP32. Dalam pengembangannya semua proses melalui serangkaian uji coba berulang hingga berhasil menciptakan sebuah perangkat pengolah sampah organik yang memenuhi kriteria dan mampu menghasilkan pupuk organik sesuai dengan target yang diharapkan [6]. Merancang wadah pengolah sampah yang dapat mengolah sampah organik secara anaerob di mana proses dekomposisi sampah tidak membutuhkan oksigen dari luar yang diharapkan tidak menimbulkan bau busuk di sekitar wadah pengolah sampah organik [7].

2.2.1 Blok diagram

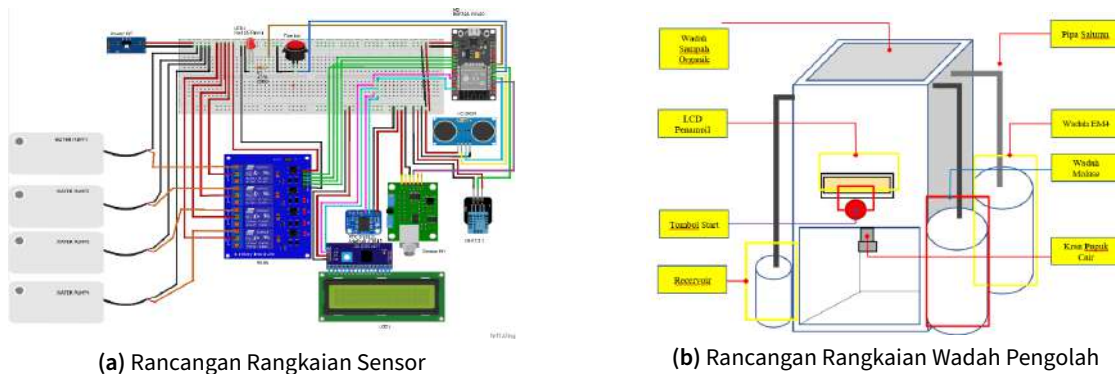
Blok diagram menggambarkan sistem yang akan dirancang dari *input*, proses dan *output* yang akan dihasilkan serta koneksi yang dipergunakan yaitu secara lokal di mana sensor dan modul dihubungkan menggunakan kabel sedangkan koneksi internet menghubungkan secara *wireless* yang ditujukan ke *database server* dan aplikasi pesan telegram. Blok Diagram dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok diagram

2.2.2 Perancangan perangkat keras

Perancangan perangkat keras dilakukan melalui proses pembuatan dan persiapan komponen-komponen yang akan digunakan. Detail perancangan perangkat keras dan skematik rangkaian mikrokontroler serta sensor perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perancangan perangkat keras

Keterangan pada Gambar 3a dan Gambar 3b dapat dijelaskan seperti dibawah ini.

- a. Gambar 3a merupakan rancangan rangkaian hasil dari penggabungan sensor dan modul perangkat keras yang dipergunakan yaitu Sensor HC-SR04, Sensor DHT11, Relay, Sensor pH Meter E201-BNC, Modul RTC DS3231, LCD (Liquid Cristal Display) dengan modul I2C-LCD, dan Pompa Air mini DC. Yang dirangkai dan terhubung ke mikrokontroler ESP32 yang digambar menggunakan *software fritzing*[8].
- b. Gambar 3b Merupakan rancangan pengolah sampah organik menjadi pupuk cair, yang terdiri dari wadah sampah, wadah bioaktivaor, wadah molase kran air, tempat LCD serta rangkaian saluran selang penghubung antar wadah.

2.3 Metode Pengembangan Perangkat Lunak

Metode yang dipergunakan dalam pengembangan perangkat lunak peneliti menggunakan Model *Waterfall*, di mana model ini digunakan sebagai pendekatan umum dalam Siklus Hidup Pengembangan Perangkat Lunak (SDLC). Pendekatan ini sistematis dan berurutan, dimulai dari perencanaan hingga pengelolaan atau pemeliharaan, dilaksanakan secara bertahap. Pengembang perlu memahami proses pengembangan sistem dengan model ini, termasuk karakteristiknya, *website* akan ditulis menggunakan bahasa php (*Hyper-text Preprocessor*) dan *database* akan dikelola menggunakan *MySQL* [9, 10].

2.3.1 Perancangan antar muka perangkat lunak

A. Struktur *website*

Perancangan antarmuka perangkat lunak yang akan dibuat pada struktur website adalah sebagai berikut.

B. Diagram *use case*

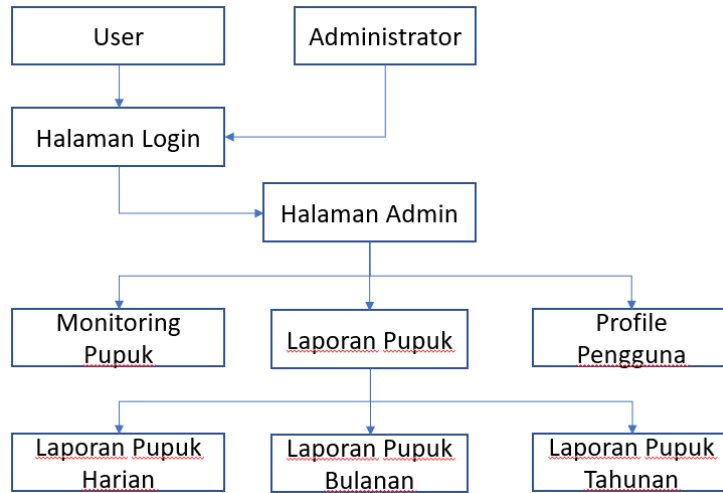
Use case diagram menjelaskan bagaimana aplikasi IoT (*internet of things*) pada perangkat lunak berfungsi, serta memperlihatkan perspektif kebutuhan sistem dari sudut pandang pengguna dan bagaimana hubungan antara pengguna dan kasus penggunaan tersebut.

C. *Activity Diagram*

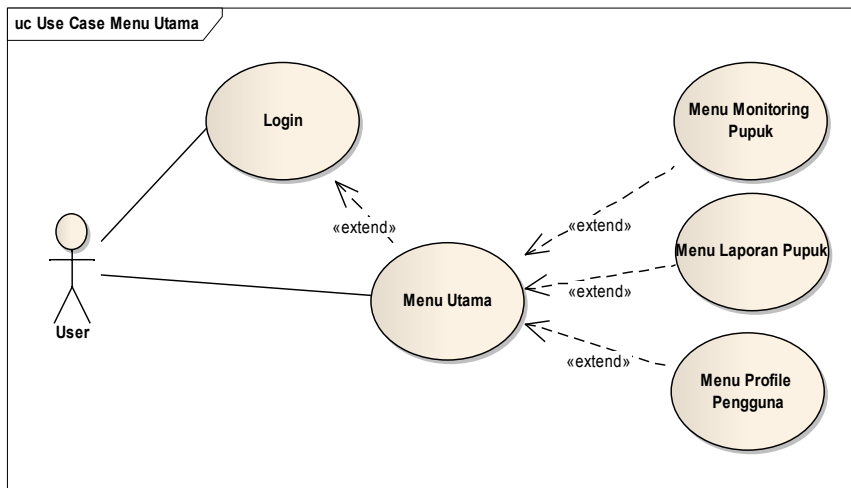
Diagram aktivitas (*Activity Diagram*) menjelaskan aktivitas urutan dari *user* dalam memilih menu monitoring pupuk. Kemudian sistem akan menampilkan tampilan menu monitoring pupuk selanjutnya sistem akan menampilkan data suhu, data jumlah hari, data pH (*potential of hydrogen*) dan sistem akan menampilkan hasil dari status pupuk yang akan ditampilkan pada *website*.

2.4 Motode Pengumpulan Data

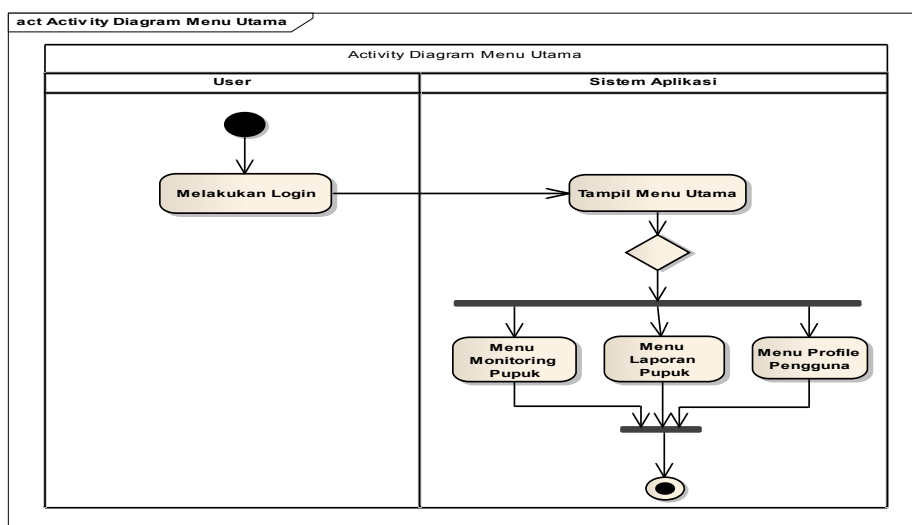
Motode yang dilakukan untuk melakukan pengumpulan data dalam penelitian ini adalah observasi langsung, wawancara dan studi pustaka [11].



Gambar 4. Struktur Menu Website



Gambar 5. Diagram Use Case



Gambar 6. Activity Diagram

1. Observasi langsung

Melakukan pengamatan terhadap jenis-jenis sampah organik yang bisa di jadikan pupuk cair organik dengan penambahan bioaktivator em4 dan dapat dilakukan pembusukan dengan metode anaerob

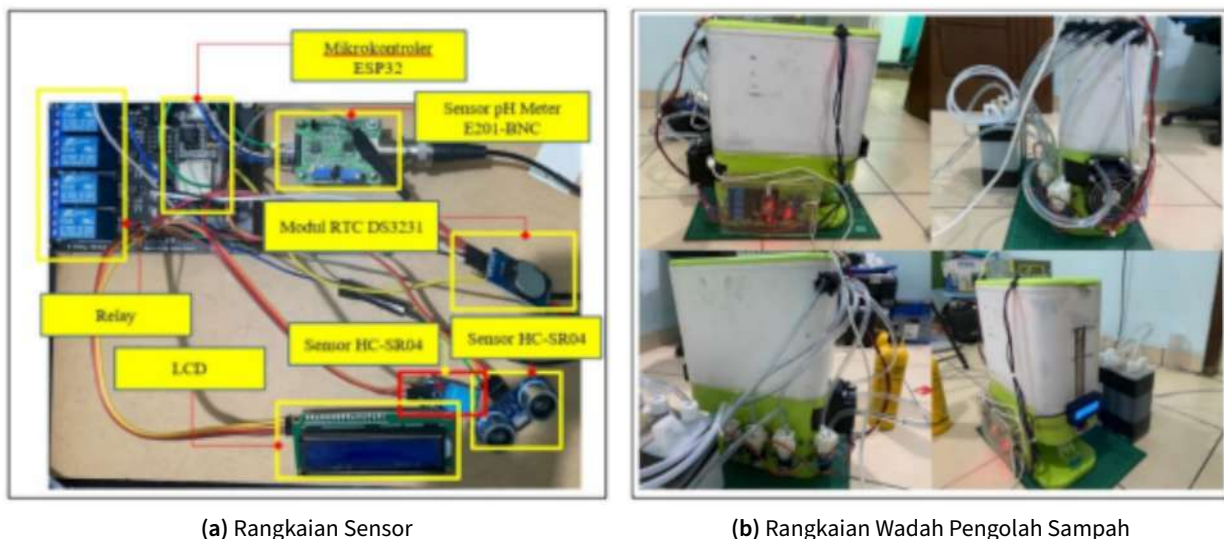
2. Wawancara
Melakukan wawancara di lingkungan keluarga terhadap pemanfaatan sampah organik sisa makanan
3. Studi Pustaka Peneliti membaca artikel penelitian sebelumnya dengan studi kasus tentang pengembangan alat pengolah sampah organik rumah tangga

3. Hasil

Penelitian ini menghasilkan dua buah yaitu hasil pembuatan perangkat keras dan hasil pembuatan perangkat lunak. Perangkat keras di pergunakan sebagai alat pengolah sampah organik menjadi pupuk organik cair sedangkan perangkat lunak dipergunakan untuk memonitoring hasil melalui website dan aplikasi telegram.

3.1 Hasil pembuatan perangkat keras

Hasil pembuatan perangkat keras terbagi menjadi dua yaitu hasil rangkaian *mikrokontroler* dan rangkaian wadah pengolah sampah, yang dapat di lihat pada Gambar 7.



(a) Rangkaian Sensor

(b) Rangkaian Wadah Pengolah Sampah

Gambar 7. Pembuatan perangkat keras

Keterangan pada Gambar 7a dan Gambar 7b dapat dijelaskan seperti di bawah ini.

- a. Gambar 7a merupakan rangkaian hasil dari penggabungan sensor dan modul perangkat keras yang dipergunakan yaitu Sensor HC-SR04, Sensor DHT11, Relay, Sensor pH Meter E201-BNC, Modul RTC DS3231, LCD (Liquid Cristal Display) dengan modul I2C-LCD, dan Pompa Air mini DC. Yang dirangkai dan terhubung ke mikrokontroler ESP32 yang sudah ditanamkan perintah ditulis dengan IDE Arduino [12].
- b. Gambar 7b merupakan Hasil dari rangkaian wadah pengolah sampah yang terdiri dari wadah bio-aktivator EM4, wadah molase dan wadah sampah, wadah tersebut terbuat dari bahan Plastik *polyp-ropylene* dengan ukuran 18.3 x 35 x 37 cm.

3.2 Hasil Pembuatan Perangkat Lunak

3.2.1 Hasil tampilan website

Hasil pengkodean menggunakan teknologi *website* server Bahasa pemrograman php dan MySQL yang diletakan pada server dengan nama domain <https://pupukcairorganik.com>, Informasi yang ditampilkan melalui *website* adalah data yang diolah oleh server sesuai dengan data yang diterima dari *mikrokontroler* secara *realtime*.

Hasil Halaman *website* dapat dilihat pada Gambar 8a dan Gambar 8b [13]. Keterangan pada Gambar 8a dan Gambar 8b dapat dijelaskan seperti di bawah ini.



(a) Tampilan Halaman Login

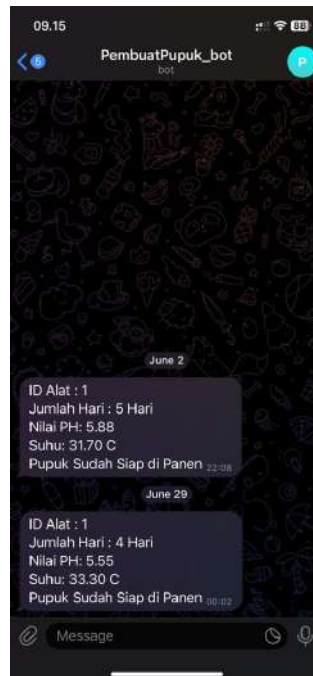
(b) Tampilan Halaman Utama

Gambar 8. Tampilan Website

- Gambar 8a merupakan tampilan website <https://pupukcairorganik.com> untuk halaman *login* yang dipergunakan untuk masuk ke dalam halaman utama.
- Gambar 8b merupakan tampilan halaman utama di mana terdapat beberapa menu yaitu menu monitoring pupuk yang dipergunakan untuk memonitoring secara *realtime* nilai pH dan temperatur, laporan pupuk dipergunakan untuk melihat rekapitulasi pupuk cair yang sudah dihasilkan sedangkan halaman *profile* dipergunakan untuk mengubah *password*.

3.2.2 Hasil tampilan aplikasi telegram

Hasil dari pengkodean telegram dilakukan di dalam mikrontroler Arduino dengan *software Arduino IDE* yang dikirimkan ke aplikasi telegram berikut ini adalah hasil monitoring pH yang dikirimkan ke aplikasi pesan telegram dapat dilihat seperti pada Gambar 9 [4].



Gambar 9. Hasil Pembuatan Perangkat lunak (Aplikasi Telegram)

4. Pembahasan

Pembahasan Pengujian dalam penelitian ini meliputi pembahasan pengujian dan analisis perangkat keras, pembahasan pengujian dan analisis perangkat lunak serta pengujian hasil akhir pupuk organik cair yang dihasilkan dari alat pengolah sampah organik.

4.1 Pembahasan Pengujian dan analisis Perangkat Keras

Pengujian perangkat keras menggunakan metode *Mean Absolut Percentage Error* (MAPE) yang menghitung rata-rata persentase kesalahan secara absolut. Semakin kecil nilai persentase kesalahan pada MAPE (terlihat pada Tabel 1), semakin akurat hasilnya [14].

Tabel 1. Tabel interpretasi MAPE

| Mape (%) | Interpretasi |
|----------|----------------------------|
| <10 | Prediksi sangat akurat |
| 10-20 | Prediksi yang baik |
| 20-50 | Prediksi yang layak |
| >50 | Prediksi yang tidak akurat |

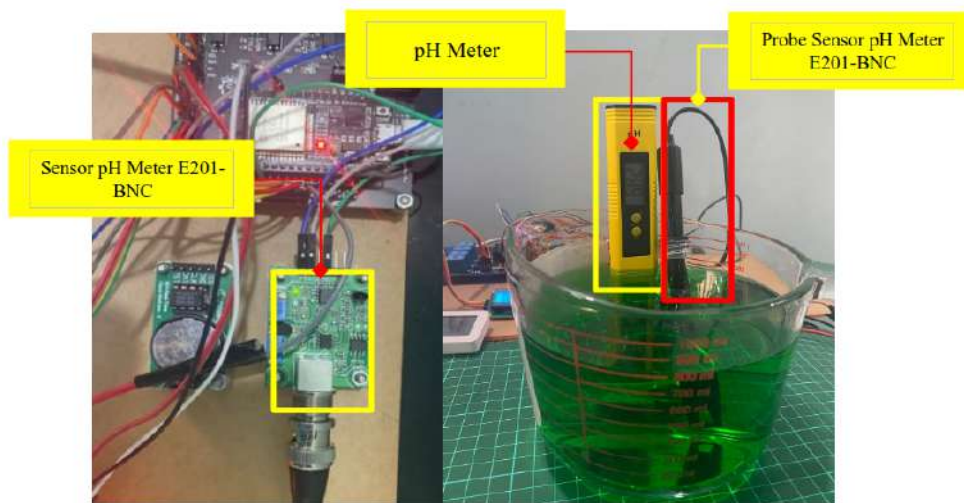
$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \left(\frac{At-Ft}{At} \right) 100 \right|}{n}$$

Keterangan:

At = nilai aktual ke t (nilai hasil pengukuran aktual dari PH meter)

Ft = nilai peramalan ke t (nilai keluaran dari sensor pH)

n = besarnya data yang akan di hitung



Gambar 10. Pengujian Sensor pH Meter E201-BNC

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor pH Meter E201-BNC

| Indeks waktu | Nilai ph Meter | Nilai Sensor | Error | Nilai Absolut Error | Nilai Absolut Error dibagi dengan nilai Aktual |
|--------------|----------------|--------------|----------------|---------------------|--|
| <i>t</i> | <i>At</i> | <i>Ft</i> | <i>At - Ft</i> | $ At - Ft $ | $\frac{ At - Ft }{At}$ |
| 1 | 7,2 | 7,3 | -0,1 | 0,1 | 0,013888889 |
| 2 | 6,9 | 7,1 | -0,2 | 0,2 | 0,028985507 |
| 3 | 8,1 | 7,9 | 0,2 | 0,2 | 0,024691358 |
| 4 | 9,3 | 9,4 | -0,1 | 0,1 | 0,010752688 |
| Total | | | | | 0,078318442 |
| n | | | | | 4 |
| MAPE | | | | | 1,958 |
| formula | | | | | $= (Total/n) * 100$ |

Berdasarkan hasil Tabel 2, pengujian sensor pH meter E201-BNC dengan nilai MAPE nya 1.958 % sesuai dengan tabel kelayakan alat masih di bawah 10% dapat di simpulkan nilai waktu yang dikeluarkan sensor pH Meter E201-BNC dalam kategori akurat.

4.2 Pembahasan pengujian dan analisis perangkat lunak

Pengujian perangkat lunak menggunakan metode *blackbox* di mana pengujian dilakukan dengan memasukkan data secara acak untuk memastikan apakah sistem yang dibangun dapat menghasilkan hasil yang sesuai dengan desain pengujian *test case* yang dibuat [15].

Tabel 3. Hasil Pengujian antarmuka halaman laporan

| ID | Skenario Pengujian | Test Case | Hasil Yang Diharapkan | Hasil Pengujian | Kesimpulan |
|------|--|---|---|-----------------|------------|
| T011 | Mengunjungi halaman monitoring pupuk tanpa login terlebih dahulu | Mengunjungi alamat "http://pupukorganikcair.cc/pupuk.php" tanpa l | Sistem akan menolak dan akan mengarahkan ke halaman login | Sesuai Harapan | Valid |
| T012 | Mengunjungi halaman monitoring pupuk setelah login | Mengunjungi alamat "http://pupukorganikcair.cc/pupuk.php" setelah login | Sistem akan menampilkan halaman Monitoring pupuk | Sesuai Harapan | Valid |

Berdasarkan hasil pengujian antarmuka pada Tabel 3, halaman monitoring pupuk dengan hasil pengujian setiap *test case* dengan menghasilkan sesuai harapan sehingga dapat disimpulkan halaman monitoring pupuk valid sesuai dengan yang di harapkan.

4.3 Pembahasan pengujian hasil akhir alat pengolah sampah

Pengujian hasil akhir yaitu dengan membandingkan hasil pengukuran nilai pH dengan standar minimal yang ditetapkan oleh kementerian pertanian yaitu 4 sampai dengan 9 [16].

Tabel 4. Hasil Pengujian hasil akhir alat pengolah sampah organik

| Pengujian | Waktu Pengujian | Usia (hari) | Nilai Ph (Sesuai Standar Minimal) | Nilai pH Pupuk | Kesimpulan |
|-----------------|---------------------------|-------------|-----------------------------------|----------------|------------|
| 1 | 28/05/2023 s.d 02/06/2023 | 5 | 4 - 9 | 5,88 | Valid |
| 2 | 05/06/2023 s.d 09/06/2023 | 6 | 4 - 9 | 4,62 | Valid |
| 3 | 19/06/2023 s.d 23/06/2023 | 6 | 4 - 9 | 4,22 | Valid |
| 4 | 25/06/2023 s.d 29/06/2023 | 4 | 4 - 9 | 5,55 | Valid |
| Nilai Rata-Rata | | 5.25 | 4 - 9 | 5,23 | Valid |

Berdasarkan hasil pada Tabel 4, pengujian rata-rata pH pupuk yang dihasilkan sebesar 5.06 jika dibandingkan dengan nilai pH sesuai standar minimal 4 – 9 sehingga dapat disimpulkan pupuk yang dihasilkan oleh alat pengolah sampah dalam kategori layak. Dengan rata-rata usia proses pembuatan pupuk cair organik di usia 5.25 hari sehingga dapat di simpulkan dari jumlah hari serta ph pupuk cair yang dihasilkan lebih cepat dari yang menggunakan cara manual serta tidak menimbulkan bau busuk.

5. Simpulan

Hasil Perancangan alat pengolah sampah organik rumah tangga dengan menghasilkan pupuk organik cair dengan rata rata pH yang dihasilkan 5.06 dengan usia pengolahan rata rata 5.25 hari, sehingga dapat disimpulkan pupuk organik cair yang dihasilkan telah memenuhi standar minimal yang di saran kan yaitu pH 4 sampai dengan 9 serta proses pengolahannya lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan cara manual.

Hasil dari perancangan pengolah sampah organik rumah tangga dalam proses pengolahannya dengan hasil tidak menimbulkan bau busuk dikarenakan menggunakan metode anaerob, di mana proses pengolahannya

tidak membutuhkan oksigen dari luar dan alat pengolah pupuk tertutup rapat. Hasil dari penelitian tidak menghasilkan bau busuk di sekitar alat pengolah sampah.

Hasil perancangan otomatisasi pencampuran bahan tambahan bioaktivator EM4 dan Molase dari hasil pengolahan sesuai dengan yang diharapkan serta otomatisasi pengaturan suhu ruangan wadah sampah di mana jika suhu melebihi 37 derajat celcius maka pompa akan mensirkulasi air selanjutnya pendingin air akan menyala untuk mendinginkan air sehingga suhu ruangan wadah tetap terjaga sehingga bakteri pengurai akan tumbuh secara efektif. hasil proses pengolahan pupuk termonitoring dengan baik oleh *internet of things* di mana data secara *realtime* dikirimkan ke *website* <http://pupukorganikcair.com> serta hasil akhir pupuk di kirim kan melalui pesan telegram.

Pustaka

- [1] L. dan B. Direktorat Jenderal Pengelolaan Sampah, “Capaian Kinerja Pengelolaan Sampah,” www.sipsn.menlhk.go.id, 2021. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>
- [2] Undang Undang RI, Undang-Undang RI Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah. 2008.
- [3] B. W. R. I. H. Putra dan R. Ratnawati, “Pembuatan pupuk organik cair dari limbah buah dengan penambahan bioaktivator em4,” J. Sains dan Teknol. Lingkung., vol. 11, no. 261, hal. 44–56, 2019.
- [4] M. Hidayat dan N. Mardiyantoro, “Sistem Pemantauan dan Pengendalian pH Air Berbasis IoT Menggunakan Platform Arduino,” J. Penelit. dan Pengabd. Kpd. Masy. UNSIQ, vol. 7, no. 1, hal. 65–70, 2020, doi: 10.32699/ppkm.v7i1.1039.
- [5] B. Jasse et al., “The effectiveness of EM4 and Local Micro-organisms (LOM) Activators in Organic Waste Processing in Brikama Market West Coast Region, the Gambia,” IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci., vol. 1098, no. 1, 2022, doi: 10.1088/1755-1315/1098/1/012010.
- [6] A. Akhmad, N.-Ulhasanah, dan M. M. Sari, “Desain Komposter Sampah Pasar sebagai Solusi Persampahan di Negara Berkembang (Studi Kasus: Jakarta, Indonesia),” J. Ilmu Lingkung., vol. 20, no. 2, hal. 356–364, 2022, doi: 10.14710/jil.20.2.356-364.
- [7] M. F. Syaifuddin dan B. A. Destantyo, “Pembuatan Pupuk organik dari limbah pertanian dengan metode aerob dan anaerob,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018. Diakses: 29 Mei 2022. [Daring]. Tersedia pada: https://repository.its.ac.id/53835/1/02211440000038_02211440000056-Undergraduate_Theses.pdf
- [8] D. Danang, I. S. Suasana, dan K. A. Fatah, “Monitoring Air Limbah Rumah Sakit Berdasarkan Kadar pH Dan Suhu Menggunakan Arduino,” Media Inf. Penelit. ..., hal. 14, 2023, [Daring]. Tersedia pada: <http://journal.sinov.id/index.php/sinov/article/view/573%0Ahttp://journal.sinov.id/index.php/sinov/article/download/573/491>
- [9] Aceng Abdul Wahid, “Analisis Metode Waterfall Untuk Pengembangan Sistem Informasi,” J. Ilmu-ilmu Inform. dan Manaj. STMIK, no. November, hal. 1–5, 2020.
- [10] A. Mubarak, “Rancang Bangun Aplikasi Web Sekolah Menggunakan Uml (Unified Modeling Language) Dan Bahasa Pemrograman Php (Php Hypertext Preprocessor) Berorientasi Objek,” JIKO (Jurnal Inform. dan Komputer), vol. 2, no. 1, hal. 19–25, 2019, doi: 10.33387/jiko.v2i1.1052.
- [11] D. Assyakurrohim, D. Ikhrum, R. A. Sirodj, dan M. W. Afgani, “Metode Studi Kasus dalam Penelitian Kualitatif,” J. Pendidik. Sains dan Komput., vol. 3, no. 01, hal. 1–9, 2022, doi: 10.47709/jpsk.v3i01.1951.
- [12] S.-Samsugi, “Implementasi Sensor Getar Dalam Melakukan Monitoring Anak Gunung Krakatau Berbasis Iot,” JIKO (Jurnal Inform. dan Komputer), vol. 5, no. 1, hal. 32–37, 2020, [Daring]. Tersedia pada: <https://ejournal.akakom.ac.id/index.php/jiko/article/view/418>
- [13] E. Chandra, Y. Sholva, dan H. Muhardi, “Perancangan Sistem Pemantau Ketinggian Sampah Menggunakan Mikrokontroler Arduino dan Aplikasi Berbasis Web,” J. Sist. dan Teknol. Inf., vol. 8, no. 1, hal. 33, 2020, doi: 10.26418/justin.v8i1.34607.

- [14] A. D. W. Sumari, M. B. Musthafa, Ngatmari, dan D. R. H. Putra, “Perbandingan Kinerja Metode-Metode Prediksi pada Transaksi Dompot Digital di Masa Pandemi,” *Rekayasa Sist. dan Teknol. Inf.*, vol. 4, no. 4, hal. 642–647, 2017.
- [15] D. Febiharsa, I. M. Sudana, dan N. Hudallah, “Uji Fungsionalitas (Blackbox Testing) Sistem Informasi Lembaga Sertifikasi Profesi (SILSP) Batik dengan AppPerfect Web Test dan Uji Pengguna,” *Joined J. (Journal Informatics Educ.*, vol. 1, no. 2, hal. 117, 2018, doi: 10.31331/joined.v1i2.752.
- [16] K. Pertanian, Keputusan Menteri Pertanian Tentang Persyaratan Teknis Minimal Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenah Tanah. 2019. [Daring]. Tersedia pada: <http://simpel1.pertanian.go.id/api/dokumen/regulasi/dokumen-1579833905542.pdf>