

Sistem Kendali dan *Monitoring* Kelembaban, Suhu, dan pH pada Proses Dekomposisi Pupuk Kompos dengan Kendali Logika Fuzzy

Control and Monitoring System of Humadity, Temperature, and pH in the Compost Fertilizer Decomposition Process with Fuzzy Logic Control

Sandi, Rodi Hartono

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer

Universitas Komputer Indonesia

Jl. Dipati Ukur No.112-116, Bandung, Jawa Barat 40132

Email: sandi.inisandi@gmail.com

Abstrak – Sampah merupakan hasil samping yang dianggap sudah tidak terpakai. Pengolahan perlu dilakukan untuk meminimalisir efek pencemaran lingkungan yang terjadi. Pengolahan dalam konteks ini secara umum merupakan proses transformasi sampah baik secara fisik, kimia maupun biologi. Transformasi secara biologi yaitu perubahan bentuk sampah dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk mendekomposisi sampah menjadi bahan stabil yaitu kompos. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menghasilkan sistem komposter yang mampu menghasilkan kompos dengan bantuan rekayasa teknologi. Aspek yang diperhatikan dalam menghasilkan pupuk kompos dari sampah organik salah satunya adalah nilai suhu dan kelembaban lingkungan pengomposan yang perlu dipertahankan mendekati nilai ideal yang seharusnya. Untuk menjaga kondisi parameter tersebut penulis menerapkan sistem kendali yang dibangun menggunakan metode *fuzzy logic control* (FLC). Level suhu dan kelembaban yang diset dan dikendalikan tersebut, melalui sensor datanya kemudian dikirim ke sebuah webserver untuk kemudahan dalam proses analisa terhadap hasil yang didapatkan pada proses pengomposan saat itu dan menjadi referensi data untuk penentuan parameter kendali pada pengomposan berikutnya. Pengujian keseluruhan proses dekomposisi pupuk dilakukan selama 30 hari didapatkan hasil yang memenuhi standarisasi kualitas pupuk kompos yang memiliki tingkat kelembaban 50.35%, suhu 25°C dan pH 6.7, serta memiliki warna kehitaman dan berbau tanah, hal ini dapat dibuktikan dengan mengacu kepada aturan Badan Standarisasi Nasional (SNI 19-7030-2004) tentang kualitas kompos.

Kata Kunci: Sampah Organik, Dekomposisi Pupuk Kompos, Kendali Logika Fuzzy, *Internet of Things*

Abstract - Garbage is a byproduct that is considered unused. Processing needs to be done to minimize the effects of environmental pollution that occur. Processing in this context is generally a process of transforming waste physically, chemically, and biologically. Biological transformation is a change in the form of waste by utilizing the activity of microorganisms to decompose the waste into a stable material, namely compost. This study aims to design and produce a composter system capable of producing compost with the help of technological engineering. One of the aspects that should be considered in producing compost from organic waste is the temperature and humidity of the composting environment which need to be maintained close to the ideal values that should be. To maintain these parameter conditions, the authors apply a control system built using the *fuzzy logic control* (FLC) method. The temperature and humidity levels that are set and controlled, are then sent to a web server for ease of analysis of the results obtained in the composting process at that time and become reference data for determining control parameters for subsequent composting. The whole process of fertilizer decomposition testing was carried out for 30 days, the results obtained were that met the standardized quality of compost which had a humidity level of 50.35%, a temperature of 25 °C and a pH of 6.7, and had a blackish color and smelled of soil, this can be proven by referring to the rules of the National Standardization Agency. (SNI 19-7030-2004) regarding the quality of compost.

Keywords: Organic Garbage, Compos Fertilizer, Fuzzy Logic Control, *Internet of Things*

I. PENDAHULUAN

Sampah merupakan masalah umum yang dihadapi oleh manusia, baik sampah organik maupun anorganik yang dihasilkan dari limbah rumah tangga, hewan ternak maupun dari alam secara langsung. Jika sampah tidak diolah dengan baik, maka akan menimbulkan pencemaran lingkungan yang berdampak pada kehidupan manusia sehari-sehari. Salah satu upaya pemanfaatan sampah organik seperti daun kering, jerami padi, sekam, sayuran sisa, buah-buahan dan lainnya yang mudah terurai oleh mikroorganisme, dengan menjadikannya pupuk kompos organik, hal ini perlu dilakukan untuk mengurangi masalah lingkungan. Penanganan limbah yang baik dan tepat dapat mengurangi dampak lingkungan sekaligus dapat mengatasi minimnya ketersediaan pupuk buatan[1].

Pengolahan sampah organik untuk keperluan pembuatan pupuk kompos dapat dilakukan secara sederhana, yaitu dengan menggunakan teknologi komposter yang terbuat dari tong atau ember. Komposter itu sendiri dapat bersifat aerob, anaerob dan semi anaerob. Secara alami bahan-bahan organik akan mengalami penguraian di alam dengan bantuan mikroba maupun biota tanah lainnya. Namun proses pengomposan yang terjadi secara alami berlangsung lama dan lambat. Untuk mempercepat proses pengomposan perlu dilakukan pengembangan terhadap teknologi pengomposan, baik itu pengomposan dengan teknologi sederhana, maupun teknologi tinggi. Pada prinsipnya pengembangan teknologi pengomposan didasarkan pada proses penguraian bahan organik yang terjadi secara alami. Proses penguraian dioptimalkan sedemikian rupa sehingga pengomposan dapat berjalan dengan lebih cepat dan efisien. Teknologi pengomposan saat ini menjadi sangat penting artinya terutama untuk mengatasi permasalahan sampah organik, seperti untuk mengatasi masalah sampah di sekitaran rumah, limbah organik industri, serta limbah pertanian dan perkebunan [2].

Beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam proses pengomposan atau dekomposisi yaitu temperatur, kelembapan dan pH. Semakin tinggi temperatur akan semakin banyak konsumsi oksigen dan akan semakin cepat pula proses dekomposisi. Peningkatan suhu dapat terjadi dengan cepat pada tumpukan kompos. Temperatur yang berkisar antara 40-60°C menunjukkan aktivitas pengomposan yang cepat. Suhu yang lebih tinggi dari 40°C akan membunuh sebagian mikroba dan hanya mikroba termofilik saja yang

akan tetap bertahan hidup. Suhu yang tinggi juga akan membunuh mikroba-mikroba patogen tanaman dan benih-benih gulma. Kelembapan memegang peranan yang sangat penting dalam proses metabolisme mikroba dan secara tidak langsung berpengaruh pada suplai oksigen. Mikroorganisme dapat memanfaatkan bahan organik apabila bahan organik tersebut larut di dalam air. Kelembapan 40-60 % adalah kisaran optimum untuk metabolisme mikroba. Apabila kelembapan di bawah 40%, aktivitas mikroba akan mengalami penurunan dan akan lebih rendah lagi pada kelembapan 15%. Apabila kelembapan lebih besar dari 60%, hara akan tercuci, volume udara berkurang, akibatnya aktivitas mikroba akan menurun dan akan terjadi fermentasi anaerobik yang menimbulkan bau tidak sedap. Selain temperatur dan kelembapan ada pH atau tingkat keasaman yang perlu diperhatikan pada saat proses dekomposisi, pH yang optimum untuk proses pengomposan berkisar antara 6,50 sampai 7,49. pH kotoran ternak umumnya berkisar antara 6.8 hingga 7.4. Proses pengomposan sendiri akan menyebabkan perubahan pada bahan organik dan pH bahan itu sendiri. pH kompos yang sudah matang biasanya mendekati netral yaitu 7 [3].

Untuk menjaga kondisi kadar air pada saat proses pengomposan agar tetap berjalan dengan baik dan hasil sesuai dengan yang diinginkan serta memenuhi parameter-parameter mengenai kualitas dari pupuk kompos itu, maka diperlukan sebuah metode pengendalian proses atau *control plant* yang dapat menjaga dan merekayasa keadaan. Salah satu metode kendali yang dapat diterapkan adalah Fuzzy Logic merupakan metode sistem kendali yang dapat memberikan keputusan yang menyerupai keputusan manusia.

Tren penggunaan pupuk organik di dunia pertanian terus meningkat menyusul gaya hidup masyarakat yang ingin menggunakan produk pangan sehat. Tren tersebut kemudian mendorong munculnya produsen pupuk organik, termasuk petani yang membuat sendiri dengan berbagai bahan. Namun dibalik penggunaan yang tinggi terdapat kegagalan dalam proses pembuatan pupuk kompos dikarenakan beberapa penyebab kurangnya keseriusan dalam pengolahan dan komposisi bahan seperti kurang tepatnya rasio C/N, kelembapan atau kadar air yang terlalu sedikit atau terlalu banyak, suhu dan tingkat keasaman (pH) yang tidak optimal sehingga menimbulkan bau tak sedap dan memakan waktu yang lebih lama dari biasanya[4].

Berdasarkan kriteria SNI 19-7030-2004, yang dikeluarkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) tentang Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik hanya ada 2 pupuk yang paling sesuai dari 10 jenis pupuk kompos, yaitu pupuk Bioextrim Trubus dan Putri Liman Simantri 096 Blahbatuh, Gianyar. Hal ini dipicu oleh beberapa kandungan didalam proses yang belum optimal seperti kadar air, pH dan lain sebagainya[5]. Maka dari itu untuk meningkatkan kualitas yang lebih baik dan menjaga kondisi saat proses dekomposisi pupuk kompos dibutuhkan sebuah sistem pendukung yang mampu memantau dan menjaga kondisi pengomposan dengan bantuan rekayasa teknologi, yang mampu memberikan data hasil pengukuran yang akurat sebagai acuan untuk meningkatkan kualitas produk pupuk organik yang lebih optimal. Sistem Pendukung tersebut berupa sebuah sistem pengendalian yang mampu menjaga kondisi kelembapan dan temperatur yang menyerupai keputusan manusia yaitu penerapan logika fuzzy[6]. Serta sistem pendukung tambahan saat ini sedang mengalami tingkat peminat yang tinggi yaitu sistem *Internet of Things*, dimana teknologi tersebut dapat ditujukan untuk objek yang berbeda, dengan kemajuan teknis yang sangat pesat memungkinkan pengguna dapat mengatur dan mengelola objek (dekomposisi pupuk) dengan bantuan jaringan internet[7][8].

Tujuan dari penelitian ini untuk memberikan keputusan yang tepat pada saat berjalannya proses pengomposan untuk menjaga kondisi beberapa parameter seperti unsur kelembapan, suhu dan pH dengan menerapkan kendali logika fuzzy serta teknologi jarak jauh dengan memanfaatkan internet sebagai media penghubung yang mampu memberikan informasi secara *realtime* pada saat proses pembuatan pupuk kompos guna meningkatkan hasil kualitas produk yang lebih optimal serta sebagai kumpulan data yang akan digunakan dalam penentuan set nilai tiap parameter kendali pada pengomposan berikutnya. Bahan-bahan dasar pembuatan kompos pada penelitian ini adalah sampah organik yaitu daun kering, daun hijau dan sisa buah-buahan. Data acuan standar kualitas kompos berdasarkan Badan Standarisasi Nasional (BSN- SNI 19-7030-2004) dapat dilihat pada **Tabel I** berikut.

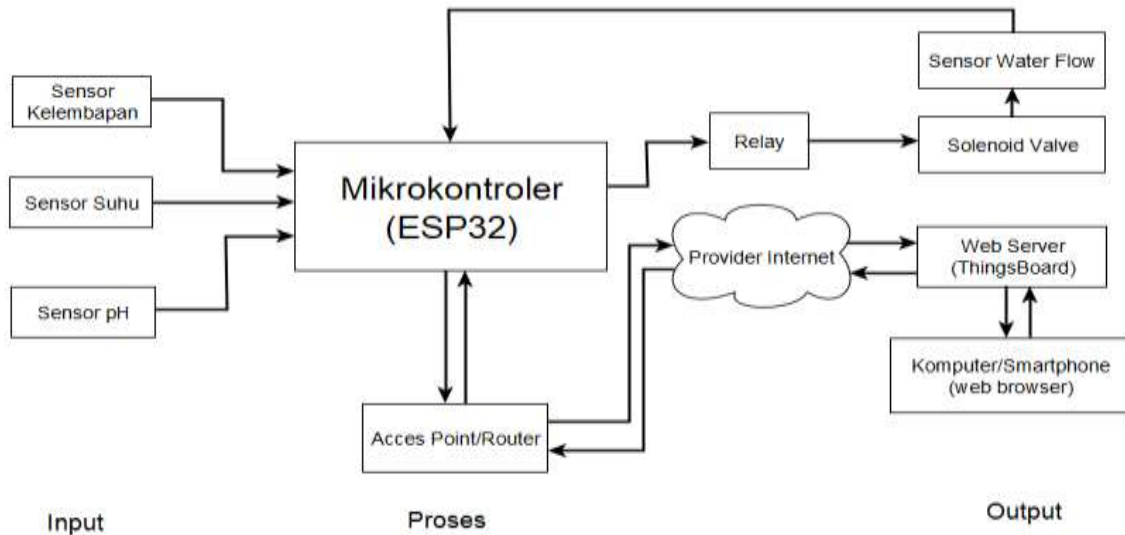
Tabel I. Standar Kualitas Kompos

No.	Parameter	Satuan	Minimum	Maksimum
1.	Kadar Air	%	-	60
2.	Temperatur	°C	-	Suhu Tanah
3.	Warna			Kehitaman
4.	Bau			berbau tanah
5.	Ukuran partikel	mm	0,55	25
6.	Kemampuan ikat air	%	58	-
7.	pH		6,50	7,49

II. METODE

Sistem kendali dan *monitoring* yang dirancang merupakan sistem yang mampu menjaga kondisi parameter penentu dan memberikan informasi penting seperti unsur kelembapan, suhu dan pH untuk mencapai parameter yang ideal sebagai tolak ukur keberhasilan proses pengomposan. Sistem diterapkan pada sebuah komposter yang memiliki ukuran tinggi 30 cm, lebar 30 cm. Disamping perancangan sistem komposter, akan dijelaskan pula pada bagian ini yaitu desain kendali logika fuzzy yang akan digunakan dan sistem *monitoring* jarak jauh dengan menggunakan konsep *Internet of Things* (IoT). Perancangan sistem melibatkan beberapa bagian penyusun, yaitu blok *input*, blok *process* serta blok *output*. Blok inilah akan menentukan keberhasilan dari sistem yang dirancang. Blok diagram sistem dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Dari gambar blok diagram **Gambar 1** didapat tiga bagian utama yaitu *input*, *process*, dan *output*. Dari setiap bagian blok mempunyai fungsi dan peranan masing-masing yang membuat sistem dapat bekerja dengan baik. Bagian *input* berfungsi menerima masukan dari parameter yang diukur dengan menggunakan sensor, kemudian bagian *process* bekerja sebagai pusat pengendali atau pengolah data yang diterima, dan bagian *output* bekerja sebagai *actuator* yang memberikan aksi sesuai reaksi dari sensor. Data hasil pengukuran sensor yang telah diolah *microcontroller* akan di *upload* ke server yang dapat dilihat pada sebuah komputer atau *smartphone* melalui *web browser*.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Sesuai dengan blok diagram di **Gambar 1** proses berjalannya sistem kendali monitoring yaitu :

1. Parameter ukur seperti unsur kelembapan, suhu dan pH serta sensor *water flow* merupakan blok *input* yang dapat diukur oleh sensor, keluaran sensor tersebut diubah ke besaran tertentu seperti tegangan, arus, maupun hambatan.
2. Nilai pembacaan sensor tersebut dikirim dan dibaca oleh *microcontroller* di bagian *process* dan pada saat yang bersamaan pembacaan nilai parameter tersebut dikirim ke web server dengan bantuan modul WiFi yang sudah tertanam pada *microntrroller* (penelitian ini menggunakan ESP32) yang terhubung dengan internet.
3. Hasil pembacaan parameter ukur dapat diamati pada sebuah komputer/*smartphone* melalui *web browser* dengan mengakses link yang digunakan. Di dalam sebuah *dashboard* IoT tersebut terdapat panel *monitor* yang tersusun dengan menggunakan *widget* untuk menampilkan dan mengalisa datanya.
4. Untuk bagian *output* yaitu *solenoid valve* yang bekerja untuk mengeluarkan air yang dibutuhkan sesuai dengan perhitungan *fuzzy logic*, air tersebut akan mengalir dan terdeteksi oleh sensor *water flow* yang akan memberikan informasi jumlah air yang dikeluarkan, apabila kebutuhan air sudah terpenuhi maka *valve* akan menutup kembali.

Seperti yang telah disinggung di bagian sebelumnya bahwa komposter memiliki beberapa kriteria dan juga jenis yang menjadi pertimbangan

dalam pengaplikasiannya. Perancangan komposter menggunakan sebuah wadah yang memiliki diameter 30 cm serta tinggi 30 cm dengan konsep komposter aerob. Selain itu, bahan-bahan dasar pembuatan pupuk kompos sangat banyak jenisnya, maka pada penelitian ini bahan dasar yang digunakan yaitu sampah organik (daun hijau, daun kering, dan sisa buah-buahan). Dapat dilihat pada **Gambar 2** berikut ini.



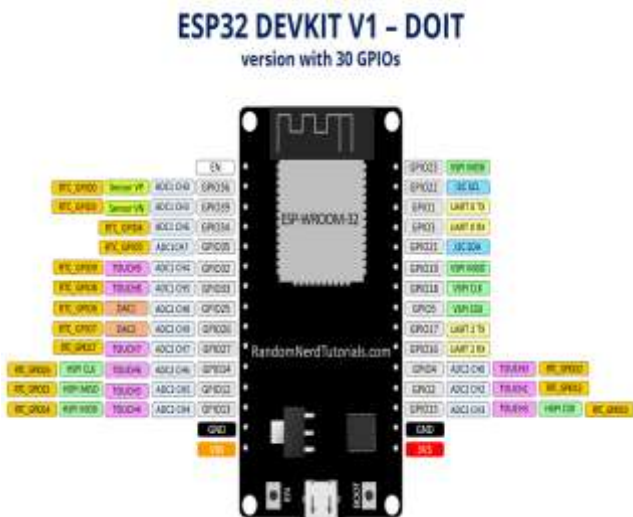
Gambar 2. Komposter

Pemilihan komponen dan metode bersifat mutlak dalam sebuah perancangan sistem, karena dengan pemilihan komponen yang baik maka akan menentukan kualitas sistem, efisiensi, efektivitas, akurasi dari sistem yang dirancang. Pemilihan jenis komponen perlu memperhatikan beberapa hal seperti kualitas komponen, keakuratan pembacaan, kecepatan, keandalan dan sensitivitas

terhadap pengaruh internal maupun eksternal, dan tidak lupa juga harga komponen yang harus relevan dengan sistem yang dibuat.

A. Mikrokontroler (ESP32)

Jenis mikrokontroler yang digunakan untuk perancangan sistem kendali dan monitoring ini adalah jenis mikrokontroler ESP32. ESP32 adalah mikrokontroler yang dikenalkan oleh *Espressif System* merupakan penerus dari mikrokontroler ESP8266. Pada mikrokontroler ini sudah tersedia modul WiFi dalam chip sehingga sangat mendukung untuk membuat sistem aplikasi *Internet of Things*[9]. Fungsi mikrokontroler antara lain yaitu sebagai otak atau pengendali dari rangkaian elektronik untuk suatu tujuan tertentu, suatu data *input* sensor akan diproses oleh mikrokontroler yang terdapat pada sebuah sistem minimum sehingga dapat memberikan keputusan yang tepat untuk menggerakkan sebuah actuator. ESP32 beroperasi pada tegangan 3.3 VDC-5VDC serta memiliki 30 pin I/O, 15 pin ADC (*Analog to Digital Converter*), 3 *UART Interface*, 3 *SPI Interface*, 2 *I2C Interface*, 16 pin PWM (*Pulse Width Modulation*), 2 pin DAC (*Digital to Analog Converter*), memiliki resolusi ADC 12 bit (0-4095). **Gambar 3** mikrokontroller ESP32 dapat dilihat di bawah ini.

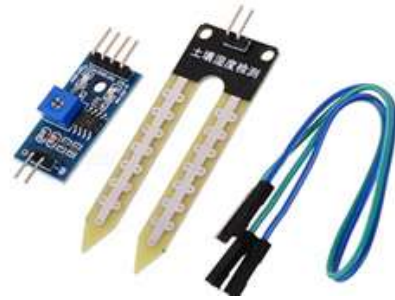


Gambar 3. Mikrokontroller ESP32 (Source : <http://RobotixS.com>)

B. Sensor Kelembapan (YL-69)

Sensor kelembapan merupakan jenis sensor yang berfungsi untuk mendeteksi keberadaan tingkat air di dalam tumpukan kompos, sensor ini dapat mendeteksi tingkat air dengan sebuah *probe* dengan dua sisi berbeda. Dua sisi *probe* inilah yang berfungsi sebagai variabel resistor, dan pada prinsipnya jika variabel resistor pada probe ini

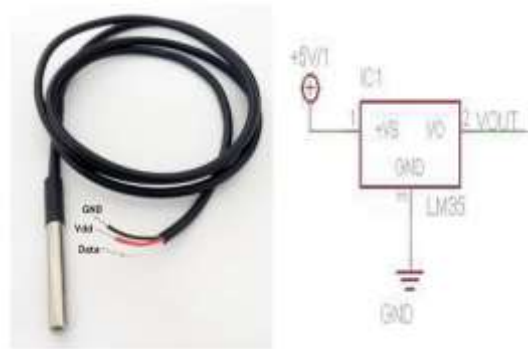
mendeteksi banyak air di dalam tanah. **Gambar 4** merupakan sensor kelembapan (YL-69).



Gambar 4. Sensor kelembapan (YL-69) (Source : <http://calcuttaElectronics.com>)

C. Sensor Suhu DS18B20

Sensor suhu DS18B20 berbasis IC LM33 adalah suatu komponen yang dapat mengubah besaran panas menjadi besaran listrik sehingga dapat mendeteksi perubahan suhu pada obyek tertentu bekerja dengan mengubah suhu di sekitar sensor menjadi besaran elektris dalam bentuk perubahan tegangan. **Gambar 5** merupakan sensor suhu DS18B20 yang digunakan dalam perancangan sistem ini.



Gambar 5. Sensor DS18B20 (Source : <http://Ardutech.com>)

D. Sensor pH Tanah

Sensor pH dapat mengetahui karakteristik keasaman sebuah medium (*acid*) atau basa (*alkaline*). **Gambar 6** merupakan sensor pH tanah yang di gunakan dalam perancangan ini.



Gambar 6. Sensor pH Tanah

E. Sensor Water flow

Water Flow sensor adalah sensor yang mempunyai fungsi sebagai penghitung debit air yang mengalir yang dimana terjadi pergerakan motor yang akan dikonversi kedalam nilai satuan Liter. Sensor ini terdiri dari beberapa bagian yaitu katup plastik, rotor air, dan sensor hall efek. Motor yang ada di module akan bergerak dengan kecepatan yang berubah-ubah sesuai dengan kecepatan aliran air yang mengalir. Sedangkan pada sensor hall efek yang terdapat pada sensor ini akan membaca sinyal yang berupa tegangan yang diubah menjadi pulsa dikirim ke mikrokontroler dan diolah sebagai data laju akan debit air yang mengalir. Prinsip kerja sensor *water flow*, air yang mengalir akan melewati katup dan akan membuat rotor magnet berputar dengan kecepatan tertentu sesuai dengan tingkat aliran yang mengalir. Medan magnet yang terdapat pada rotor akan memberikan efek pada sensor efek hall dan itu akan menghasilkan sebuah sinyal pulsa yang berupa tegangan (*Pulse Width Modulator*). Output dari pulsa tegangan memiliki tingkat tegangan yang sama dengan input dengan frekuensi laju aliran air. **Gambar 7** merupakan sensor *water flow*.

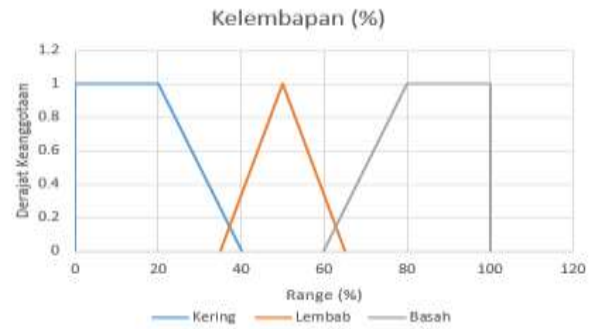


Gambar 7. Sensor *Water flow*

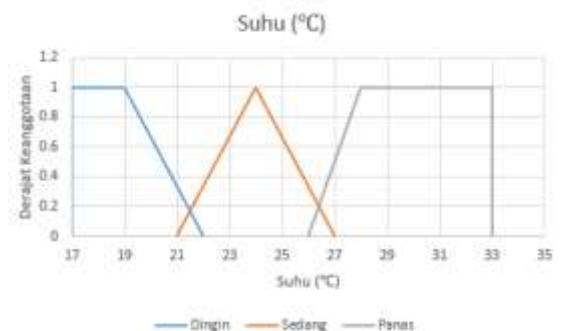
F. Fuzzy Logic Control (FLC)

Logika fuzzy (logika samar) merupakan peningkatan dari logika Boolean oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965 berbasiskan teori matematika himpunan fuzzy, yang merupakan generalisasi dari teori himpunan klasik. Dengan memperkenalkan pengertian derajat dalam verifikasi suatu kondisi, sehingga memungkinkan suatu kondisi untuk berada dalam kondisi selain benar atau salah, logika fuzzy memberikan nilai yang sangat fleksibilitas untuk penalaran, yang memungkinkan untuk memperhitungkan ketidakakuratan dan ketidakpastian. Salah satu keuntungan logika fuzzy dalam rangka

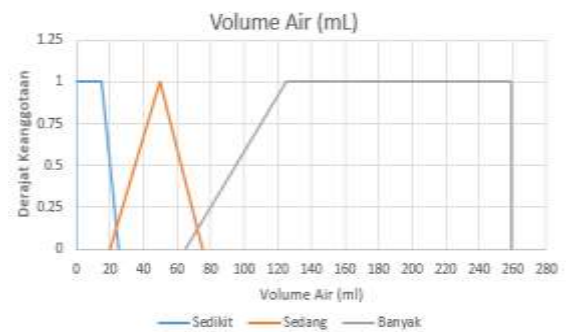
memformalkan penalaran manusia adalah aturannya diatur dalam bahasa alami (*linguistic*), pada prinsipnya himpunan fuzzy adalah perluasan himpunan crisp, yaitu himpunan yang membagi sekelompok individu ke dalam dua kategori, yaitu anggota dan bukan anggota[10]. Desain *input* dan *output* serta *fuzzy rule* pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 8**, **Gambar 9**, **Gambar 10** dan **Tabel II**.



Gambar 8. Variabel *input* Kelembapan



Gambar 9. Variabel *input* Suhu



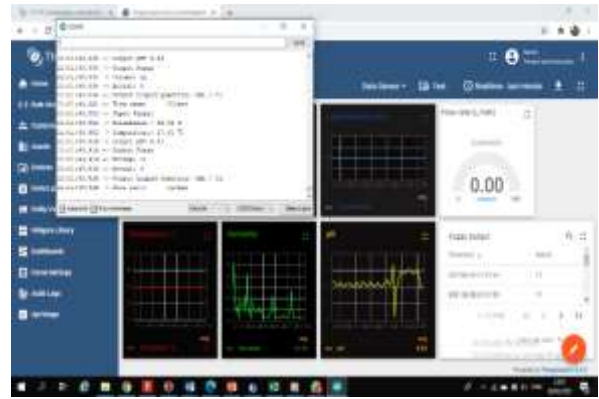
Gambar 10. Variabel *output* Volume Air

Tabel II. *Fuzzy Rule*

Suhu \ Kelembaban	Dingin	Normal	Panas
Kering	Volume air sedang	Volume air banyak	Volume air banyak
Lembab	volume air sedikit	volume air sedikit	volume air sedikit
Basah	volume air sedikit	volume air sedikit	volume air sedikit

Dalam Perancangan perangkat lunak (*software*) yang bertujuan untuk menampilkan data yang terukur dan telah diproses oleh perangkat mikrokontroler yang terhubung dengan jaringan internet sehingga pengguna memungkinkan untuk memantau proses pengomposannya dari mana saja. Data dari setiap parameter ukur yang terdapat di lokal dikirim ke server dengan bantuan jaringan internet.

Kemudian sistem menggunakan sebuah platform IoT berbasis web server yakni *ThingsBoard*. Pada *ThingsBoard* terdapat *Dashboards* yang menampilkan menu-menu pendukung untuk membangun dan memperjelas data yang ditampilkan dengan susunan-susunan *widget* yang terdapat didalamnya sebagai *user interface* (UI) yang akan mempermudah pembacaan data dan keperluan analisa. **Gambar 11** merupakan UI pada sistem.

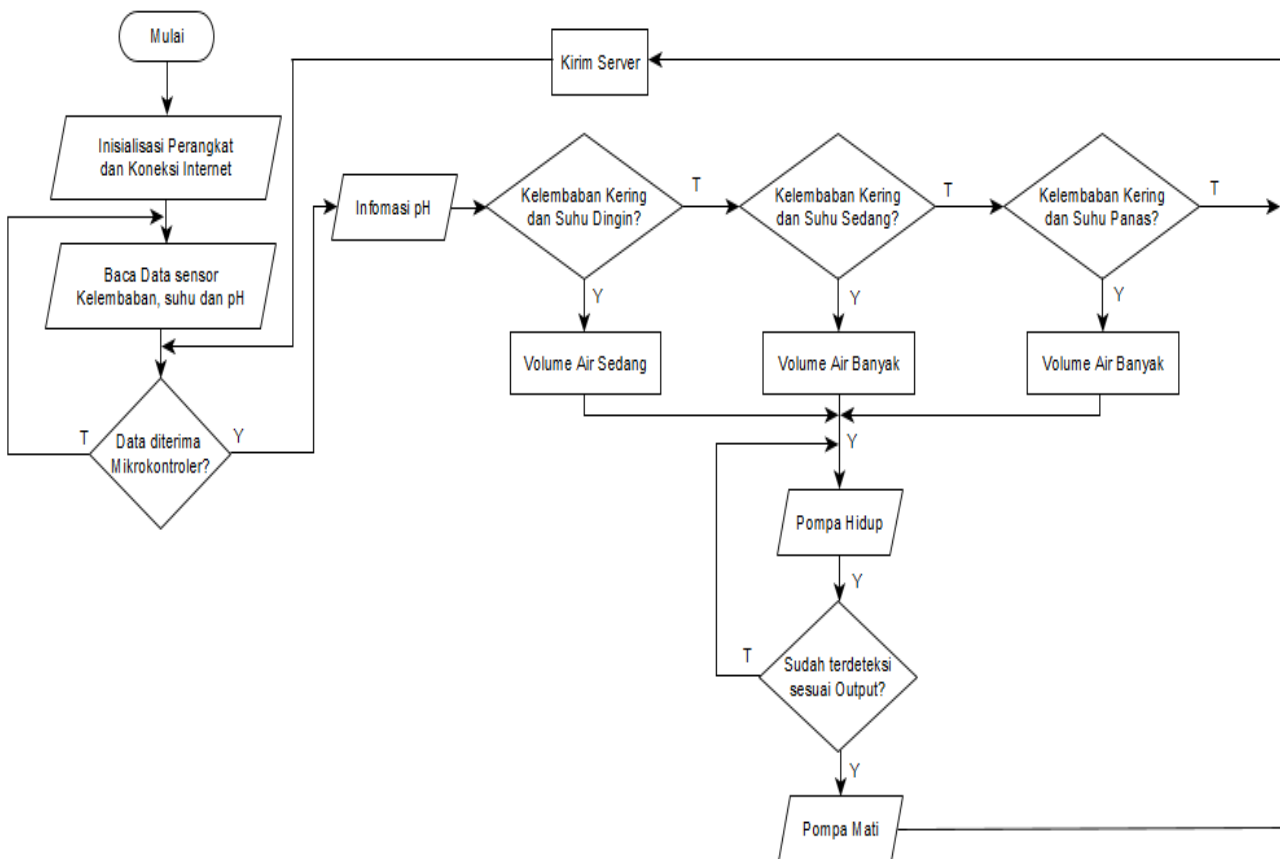


Gambar 11. User Interface (UI)

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Sistem Software

Perancangan perangkat lunak (*software*) bertujuan untuk menentukan setiap alur eksekusi dari perangkat sistem kendali dan monitoring pada proses dekomposisi pupuk kompos. **Gambar 12** merupakan *flowchart* sistem.

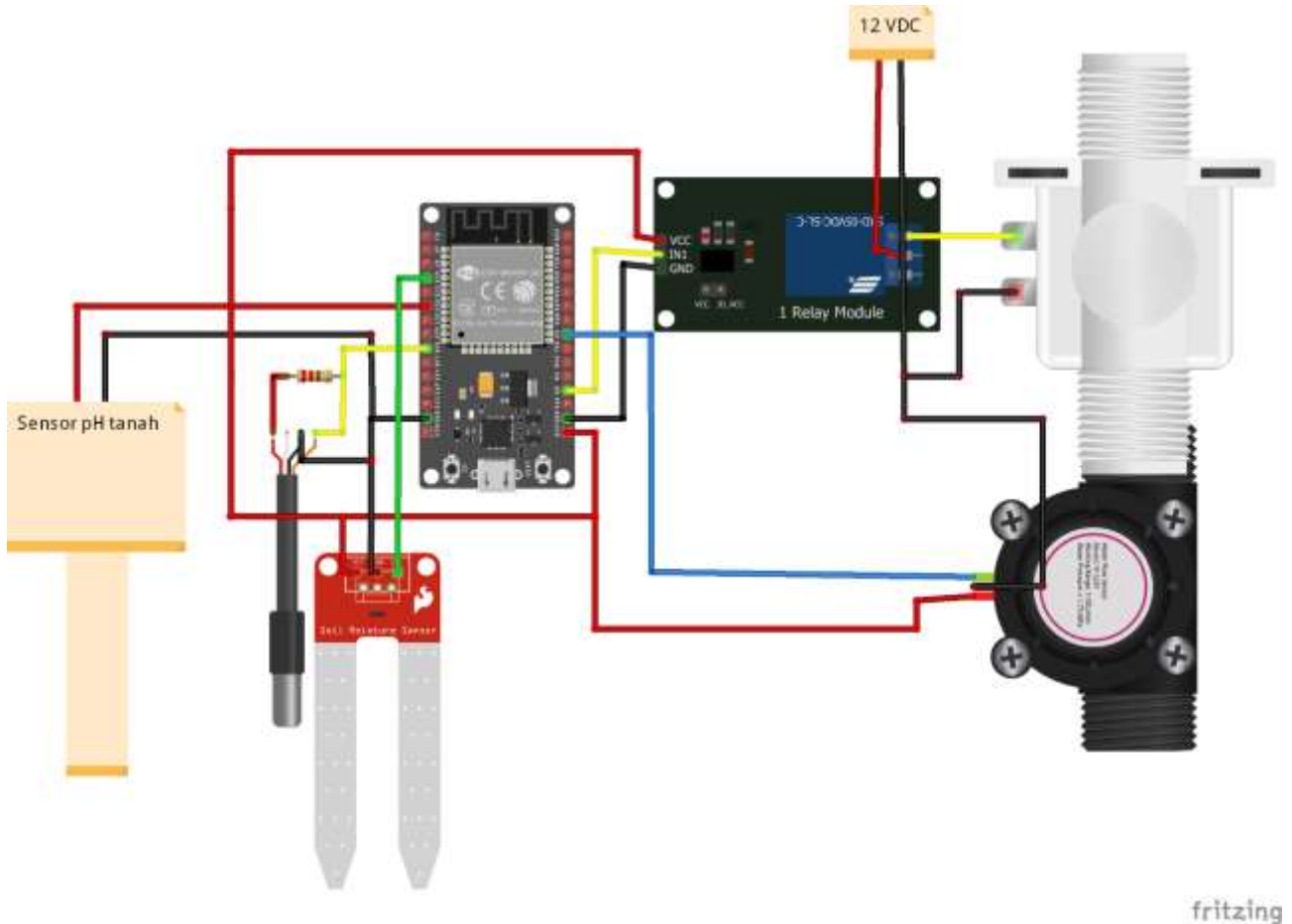


Gambar 12. Diagram alir sistem

B. Perancangan Sistem Hardware

Perancangan sistem kendali dan monitoring pada pembuatan pupuk kompos ini menjelaskan mengenai integrasi berbagai sensor, dan aktuator yang kemudian data keluaran tersebut

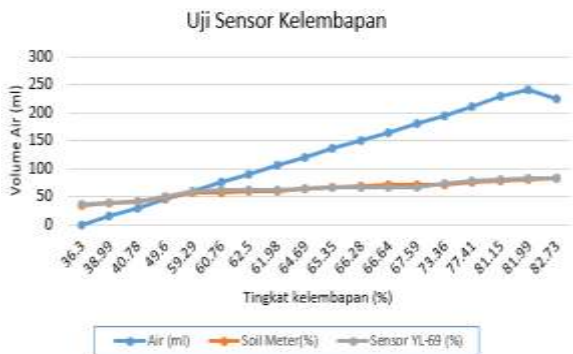
didapatkan oleh mikrokontroler dan kemudian dikirim ke server *user interface* sistem dengan bantuan jaringan internet seperti yang terlihat pada blok diagram di **Gambar 1**. **Gambar 13** merupakan skematik perangkat sistem.



Gambar 13. Skematik perangkat

C. Hasil Pengujian Sensor Kelembapan (YL-69)

Pada pengujian sensor dilakukan dengan alat ukur pembanding terstandarisasi, hasilnya direpresentasikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 14** berikut.



Gambar 14. Uji Sensor Kelembapan (YL-69)

Dari **Gambar 14** tersebut terdapat nilai perbedaan (*error*) hasil pembacaan antara alat ukur (*soil meter*) dan pembacaan sensor (YL-69), rata-rata *error* sebesar 2.95%. Untuk mencari nilai *error* tersebut dapat menggunakan rumus berikut ini.

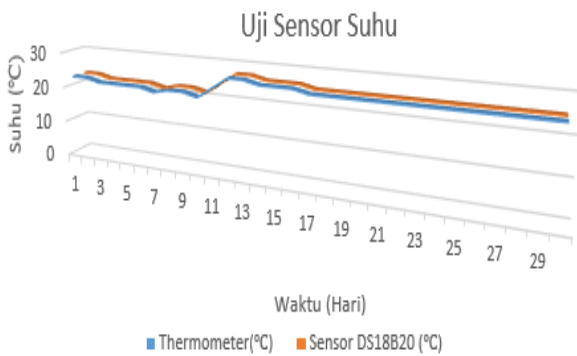
$$\% \text{ Error} = \frac{|\text{Nilai pembanding} - \text{Nilai terukur}|}{\text{Nilai pembanding}} \times 100.. (1)$$

Nilai rata-rata *error* tersebut cukup kecil dan dapat ditoleransi sehingga penggunaan sensor kelembapan (YL-69) ini dirasa cukup baik untuk pengaplikasian sistem.

D. Hasil Pengujian Sensor Suhu

Pengujian sensor suhu dilakukan dengan cara mengukur sampel kompos yang memiliki nilai suhu berbeda, pengujian dilakukan dengan cara membandingkan antara alat ukur (*thermometer*) dan sensor suhu (ds18b20). Hasil pengujian

disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 15** berikut ini.

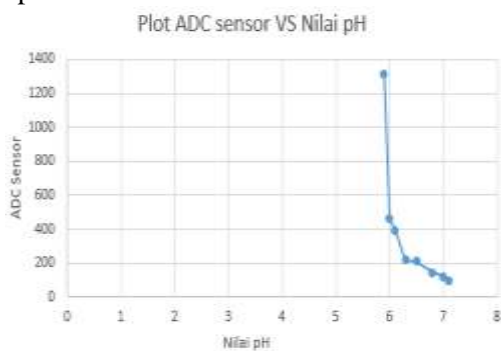


Gambar 15. Uji sensor suhu (DS18B20)

Sensor DS18B20 memiliki akurasi yang tinggi, dimana hal tersebut dapat dibuktikan dengan hasil pengujiannya memiliki nilai yang sama dengan alat ukur (*thermometer*), sehingga sensor ini sangat baik untuk diterapkan pada sistem pengukuran suhu tanah maupun suhu air.

E. Hasil Pengujian Sensor pH

Pengujian sensor pH dilakukan dengan cara ditancapkan pada kompos yang dibandingkan dengan alat ukur (pH meter) untuk mengukur tingkat keakurasiannya. Namun sebelum digunakan pada pengukuran, sensor pH dikalibrasi terlebih dahulu dengan cara mengukur nilai ADC sensor dan nilai pH, hasil tersebut dihitung dengan menggunakan sebuah metode statistika yaitu metode regresi linier, dari hasil inilah akan terlihat sebab dan akibat (korelasi ADC dan nilai pH). **Gambar 16** merupakan korelasi ADC sensor dan nilai pH.



Gambar 16. Korelasi ADC sensor dan nilai pH

Rumus umum regresi linear dapat menggunakan persamaan (2) berikut.

$$Y = a + bX \tag{2}$$

dimana:

Y = variabel akibat

X = variabel faktor penyebab

a = konstanta

b = koefisien regresi (kemiringan)

Melalui persamaan 2 didapat nilai a dan b sebagai berikut.

$$a = \frac{(11471)(1021.41) - (159.4)(69710)}{25(1021.41) - (25408.4)^2}$$

$$a = \frac{604820.11}{126.85}$$

$$a = 4767.9$$

$$b = \frac{25(69710) - (159.4)(11471)}{25(1021.41) - (25408.4)^2}$$

$$b = \frac{-85727.4}{126.8}$$

$$b = -676.08$$

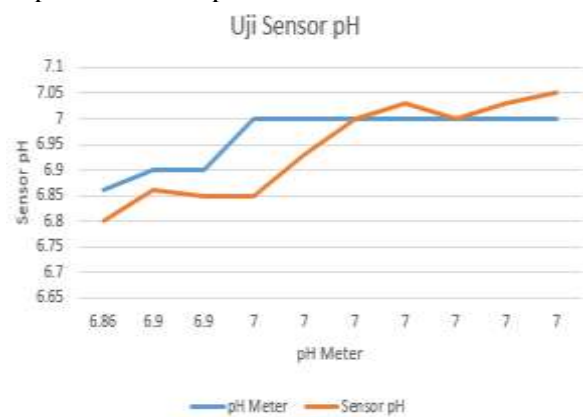
Maka nilai persamaan 2 adalah:

$$Y = 4767.9 - 676.08X$$

Dari nilai Y tersebut diatas, maka dapat disimpulkan persamaan yang akan digunakan pada skrip kode untuk mencari nilai pH adalah sebagai berikut.

$$X (pH) = \frac{4767.9 - Y(ADC)}{676.08} \tag{3}$$

Setelah melakukan kalibrasi dengan metode regresi linear tersebut, maka selanjutnya adalah melakukan pengujian sensor pH pada kompos dengan hasil perbandingan alat ukur (pH meter). Data tersebut disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 17** berikut.



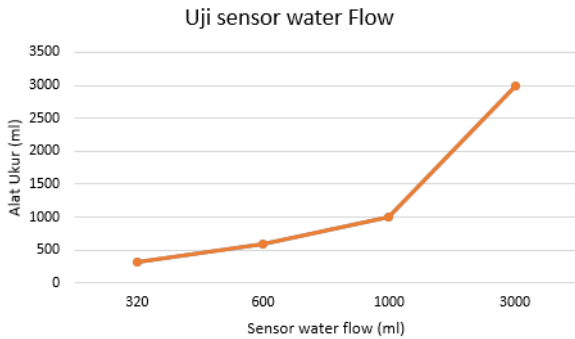
Gambar 17. Uji sensor pH

Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian sensor pH memiliki tingkat akurasi yang tinggi, *error* rata-ratanya yaitu <1%. Maka sensor ini dapat dikatakan baik untuk pengujian dan pengaplikasian sistem.

F. Hasil Pengujian Sensor Water flow

Pengujian sensor *water flow* dilakukan dengan cara memasukan air yang kedalam botol dengan kapasitas yang telah diketahui sebagai acuan untuk mengukur ketepatan sensor, air yang

mengalir melalui sensor akan dihitung sehingga volumenya akan diketahui apakah sesuai dengan kapasitas botol atau tidak. Hasil pengujian sensor *water flow* disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 18** berikut ini.



Gambar 18. Uji Sensor Water flow

G. Pengujian Fuzzy Logic Control (FLC)

Pengujian *fuzzy logic control* bertujuan untuk mengukur hasil ketepatan *output* sesuai dengan perintah dari *input* dan mengevaluasi aturan-aturan sesuai kaidah *Fuzzy*. Data *output fuzzy logic* yang telah diaplikasikan pada mikrokontroler akan dibandingkan dengan menggunakan simulasi *Fuzzy Logic Design* dari MATLAB. Pengujian data *output fuzzy* dapat dilihat pada **Tabel III** berikut ini.

Tabel III. Data Uji Output Fuzzy Logic

Input Fuzzy		Output Fuzzy Aktual	Output MATL AB	Error (%)
Kelembapan (%)	Suhu (°C)	Volume Air (ml)		
36,3	24	156	156	0
38,99	24	104	102	0,01
40,78	24	11	11	0
49,6	24	10	9,64	0,03
59,29	23	11	11	0
61,98	23	11	11,5	0,04
73,36	22	11	11,1	0,009
77,41	22	11	11,1	0,009
81,15	22	11	11,1	0,009
<i>Error rata-rata</i>				0,011

Dapat dilihat dari **Tabel III** bahwa hasil *output fuzzy* yang diaplikasikan pada mikrokontroler relatif sama, meskipun terdapat perbedaan angka dibelakang koma (.). Hal ini dikarenakan perbedaan penggunaan type data, penulis merealisasikan syntax logika fuzzy untuk hasil *outputnya* menggunakan type data integer (int) sehingga tidak dapat menampilkan nilai koma (.), sedang *output* pada MATLAB menggunakan type data *integer* (int) dan *float* sehingga dapat

menampilkan angka yang memiliki koma (.). Perbedaan angka dibelakang koma (.) tidak jadi masalah besar karena perbedaannya sangat kecil, maka performansi dari *fuzzy logic control* (FLC) yang dibangun dapat dikatakan baik.

H. Pengujian Pengiriman Data

Kondisi dari unsur kelembapan, suhu, pH yang terbaca oleh sensor dan volume air yang telah dikeluarkan dan terbaca oleh sensor *water flow*, selanjutnya data yang telah didapatkan diolah oleh mikrokontroler dan dikirim ke server melalui bantuan jaringan internet sehingga data-data tersebut dapat ditampilkan pada *Dashbord ThingsBoard* oleh pengguna tanpa batasan waktu dan jarak. **Gambar 19** merupakan representasi data sensor yang ditampilkan pada *Dashboard*.



Gambar 19. Tampilan Dashboard

I. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pada pengujian ini keseluruhan integrasi antara beberapa sensor dan aktuator dapat berjalan dengan baik yang langsung diterapkan pada komposter. Menggunakan prinsip *Internet of things* (IoT), dimana seluruh parameter ukur akan dapat langsung dipantau pada sebuah komputer atau *smartphone* melalui laman *ThingsBoard*. Data pengujian keseluruhan dapat dilihat pada **Tabel IV** berikut ini.

Tabel IV. Data Pengujian Keseluruhan

Hari ke:	Input Fuzzy		Input non-fuzzy	Output
	Kelembaban (%)	Suhu (°C)	pH	Volume Air Aktual (ml)
1	38.79	23	6.4	110
2	48.75	23	6.5	10
3	50.89	22	6.8	11
4	50.67	22	6.9	11
5	51.25	22	6.3	11
6	50.55	22	6.5	11
7	53.44	21	6.9	11
8	51.30	22	6.4	11
9	51.70	22	6.7	11
10	55.90	21	6.6	11
11	57.98	24	6.5	10
12	69.50	27	6.7	10
13	60.30	27	6.6	11
14	59.20	26	6.8	12
15	57.48	26	6.6	12
16	57.94	26	6.7	12
17	56.28	25	6.7	10
18	56.55	25	6.8	10
19	55.89	25	6.5	10
20	53.23	25	6.8	10
21	53.44	25	6.9	10
22	52.33	25	7.0	10
23	52.78	25	6.9	10
24	51.93	25	6.6	10
25	51.55	25	6.7	10
26	52.30	25	6.4	10
27	51.77	25	6.8	10
28	51.25	25	6.7	10
29	50.78	25	6.7	10
30	50.35	25	6.7	10

Pengomposan dilakukan selama 30 hari dengan bantuan sistem yang menunjukkan hasil baik sesuai dengan standar kualitas Badan Starisasi Nasional tentang Spesifikasi Kompos, data acuan tersebut dapat dilihat pada **Tabel I**. Standar Kualitas Kompos. Pada hari ke 30, olahan pupuk kompos memiliki tingkat kelembaban atau kadar air sebesar 50.35%, suhu 25°C, pH 6.7 Bahan dasar yang digunakan yaitu daun hijau, daun kering dan sisa buah-buahan.

IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut: Pembuatan pupuk kompos berbahan dasar sampah organik (daun kering, hijau dan sisa buah-buahan) dilakukan selama 30 hari yang ditimbun pada sebuah wadah (komposter). Berdasarkan data yang diperoleh melalui percobaan seperti pada **Tabel IV** hari ke 30, olahan pupuk kompos memiliki tingkat kelembaban atau kadar air

sebesar 50.35%, suhu 25°C, pH 6.7 serta berwarna kehitaman dan berbau tanah. Hal ini menunjukkan bahwasanya pengomposan berhasil dengan kualitas cukup baik yang mengacu kepada aturan yang telah ditetapkan Badan Standarisasi Nasional (BSN-SNI19-7030-2004) tentang Standar Kualitas Kompos. Dari hasil pengujian sensor yang digunakan pada penelitian ini tingkat akurasi dapat dikategorikan baik dengan *error* rata-rata <3%, sehingga sensor-sensor yang digunakan dapat membantu untuk memberikan informasi penting pada berjalannya proses pengomposan secara akurat. Sistem kendali yang dibangun dengan menggunakan metode *fuzzy logic* dapat berfungsi dengan baik, sehingga mampu menjaga kondisi dari unsur kelembaban dan suhu. Serta sistem monitoring jarak jauh dengan memanfaatkan konsep *Internet of Things* dapat mengirimkan data kelembaban, suhu, pH dan volume air yang dideteksi oleh sensor ke server.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. E. Messerle and A. B. Ustimenko, "Simulation of the organic-waste processing in plasma with allowance for kinetics of thermochemical transformations," *Thermophysics and Aeromechanics*, vol. 24, no. 4, pp. 605–614, 2017.
- [2] N. Liu and T. Hou, "Effects of amoxicillin on nitrogen transformation and bacterial community succession during aerobic composting," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 362, pp. 258–265, 2019.
- [3] J. Jalaluddin, N. Za, and R. Syafrina, "Pengolahan Sampah Organik Buah- Buah Menjadi Pupuk Dengan Menggunakan Effektive Mikroorganism," *JTKU*, vol. 5, no. 1, pp. 17–29, Nov. 2017.
- [4] E. S. G. Khater, "Some Physical and Chemical Properties of Compost," *Int J Waste Resources*, vol. 05, no. 01, 2015, doi: 10.4172/2252-5211.1000172.
- [5] TANTYA TANTRI P. T. N, "Uji Kualitas Beberapa Pupuk Kompos yang Beredar di Kota Denpasar," *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, vol. 5, no. 1, pp. 52–62, 2016.
- [6] R. Hartono and T. N. Nizar, "Speed Control of a Mobile Robot Using Fuzzy Logic Controller," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 662, pp. 1–7, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/662/2/022063.
- [7] R. Gunawan, T. Andhika, Sandi, and F. Hibatulloh, "Monitoring System for Soil Moisture, Temperature, pH and Automatic Watering of Tomato Plants Based on Internet of Things," *Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan*, vol. 7, no. 1, pp. 66–78, 2019.
- [8] V. D. K and Zulhelmi, "Monitoring Suhu dan Kelembaban Menggunakan Mikrokontroler ATmega328 pada Proses Dekomposisi Pupuk Kompos," *Jurnal Online Teknik Elektro*, vol. 2, no. 3, pp. 91–98, 2017.
- [9] A. Maier, A. Sharp, and Y. Vagapov, "Comparative Analysis and Practical Implementation of the ESP32 Microcontroller Module for the Internet of Things," *IEEE*, vol. 1, no. 17, p. 7, 2017.
- [10] F. Démoncourt, "Introduction to fuzzy logic," 2013.