

Penerapan *Fuzzy Logic* pada Sistem *Controlling Suhu dan Kelembapan Solar Dryer Berbasis Internet of Things*

DOI: <http://dx.doi.org/10.35889/progresif.v21i2.3079>

Creative Commons License 4.0 (CC BY – NC)



Kristian Juri Damai Lase^{1*}, Antonius Bima Murti Wijaya², Gogor C. Setyawan³

Informatika, Universitas Kristen Immanuel, Yogyakarta, Indonesia

*e-mail *Corresponding Author*: kristian@ukrimuniversity.ac.id

Abstract

The utilization of solar dryer technology as a renewable energy-based drying solution still faces challenges, particularly in monitoring and controlling temperature and humidity in remote areas with unstable internet connectivity. This research aims to design and develop a temperature and humidity control system for solar dryers based on the Internet of Things (IoT), implementing fuzzy logic as an adaptive decision-making method. The system employs Arduino Uno, DHT22 sensor, SIM800L, Raspberry Pi, and a GSM modem. Temperature and humidity data are transmitted via SMS to the Raspberry Pi as a gateway, then forwarded to a cloud server and processed using fuzzy logic to automatically control the fan when thresholds are exceeded. The test results show that the system operates in real-time, is responsive and accurate, and reliably performs fuzzy logic-based automatic control even in areas with limited internet access. This system proves effective as a solution for remote IoT-based temperature and humidity monitoring and control.

Keywords: *Solar Dryer; Fuzzy Logic; Raspberry Pi; Arduino; Internet of Things.*

Abstrak

Pemanfaatan teknologi solar dryer sebagai solusi pengeringan energi terbarukan masih menghadapi kendala, khususnya dalam aspek pemantauan dan pengendalian suhu serta kelembapan di lokasi terpencil yang tidak terjangkau jaringan internet stabil. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem pengendali suhu dan kelembapan *solar dryer* berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan menerapkan logika *fuzzy* sebagai metode pengambilan keputusan adaptif. Sistem ini menggunakan perangkat Arduino Uno, sensor DHT22, SIM800L, Raspberry Pi, dan modem GSM. Data suhu dan kelembapan dikirim melalui SMS ke Raspberry Pi sebagai gateway, lalu diteruskan ke *server cloud* dan diproses oleh logika *fuzzy* untuk mengendalikan kipas secara otomatis jika ambang batas terlampaui. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja secara *real-time*, responsif, dan akurat, serta mampu menjalankan kontrol otomatis berbasis *fuzzy logic* secara andal meskipun berada di lokasi minim internet. Sistem ini terbukti efektif sebagai solusi monitoring dan kontrol suhu kelembapan jarak jauh berbasis IoT.

Kata Kunci: *Solar Dryer; Fuzzy Logic; Raspberry Pi; Arduino; Internet of Things.*

1. Pendahuluan

Dalam Laporan Kinerja Ditjen EBTKE Tahun 2024, potensi energi surya di Indonesia masih sangat besar namun belum dimanfaatkan secara optimal. Indonesia memiliki distribusi radiasi matahari yang cukup stabil [1]. Capaian porsi energi baru terbarukan (EBT) dalam bauran energi nasional hingga tahun 2024 baru mencapai 14,68%, meningkat dibandingkan tahun sebelumnya, namun masih jauh dari target 23% pada 2025. Meskipun teknologi energi surya terus berkembang dan terbukti layak secara teknis, tingkat pemanfaatannya di Indonesia

masih rendah. Pemanfaatan energi surya baru mencakup sebagian kecil dari potensi nasional, menandakan perlunya strategi dan insentif tambahan untuk mendorong transisi dari energi konvensional ke energi terbarukan yang berkelanjutan [2].

Pemanfaatan energi surya (*solar energy*) salah satunya untuk tujuan pengeringan [3]. Pengeringan merupakan metode yang telah dikenal sejak lama, salah satunya melalui penjemuran langsung di bawah sinar matahari [4]. Metode ini dianggap sebagai cara paling sederhana dan ekonomis dalam proses pengeringan [5]. Namun, apabila ditinjau lebih lanjut, penjemuran langsung memerlukan waktu yang relatif lama dan menghasilkan kualitas pengeringan yang kurang optimal. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, dikembangkan teknologi rekayasa surya sebagai bentuk perbaikan dari metode tradisional. Salah satu bentuk teknologi ini adalah pengering surya (*solar dryer*), yaitu sistem pengeringan yang menggunakan kolektor atau alat khusus untuk memanfaatkan radiasi energi matahari secara lebih maksimal dan efisien [5] [6].

Teknologi *solar dryer* (pengering surya) telah diterapkan di Desa Karangmojo, Kabupaten Gunung Kidul, dengan memanfaatkan unit pengering surya milik Universitas Kristen Immanuel (UKRIM) Yogyakarta. Namun, lokasi *solar dryer* yang berjarak ± 47 km dari kampus UKRIM di Jl. Solo KM 11.1 Yogyakarta menimbulkan kendala dalam proses pemantauan dan pengawasan secara langsung di lapangan. Tantangan tersebut diperparah oleh kondisi infrastruktur jaringan di Desa Karangmojo yang sangat terbatas. Berdasarkan observasi lapangan, wilayah tersebut belum terjangkau oleh layanan internet dan hanya memiliki akses jaringan komunikasi berbasis GSM/GPRS dengan kecepatan dan kestabilan yang rendah. Kondisi ini menjadi kendala utama dalam penerapan sistem pemantauan berbasis web atau *cloud* yang umumnya membutuhkan konektivitas internet stabil. Oleh karena itu, diperlukan inovasi sistem kendali berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dapat beroperasi secara andal menggunakan jalur komunikasi alternatif, seperti SMS melalui jaringan GSM [7].

Untuk mengatasi kendala pengeringan di daerah terpencil, dibutuhkan konsep solusi yang adaptif melalui integrasi teknologi *solar dryer* dengan *Internet of Things* (IoT). Sistem ini dirancang agar mampu melakukan pemantauan dan pengendalian suhu serta kelembapan secara real-time, meskipun berada di wilayah dengan keterbatasan infrastruktur jaringan. Penerapan logika fuzzy dipilih karena kemampuannya menyesuaikan pengambilan keputusan terhadap perubahan kondisi lingkungan yang dinamis [5][8][9]. Selain itu, penggunaan jalur komunikasi alternatif seperti SMS berbasis GSM/GPRS menjadikan sistem tetap andal meskipun tanpa akses internet stabil. Dengan kombinasi teknologi ini, *solar dryer* tidak hanya lebih efisien dibanding metode tradisional, tetapi juga dapat diterapkan secara luas di wilayah perdesaan sebagai solusi berkelanjutan dalam pengolahan hasil pertanian.

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan, diperlukan suatu solusi yang adaptif dan efisien untuk mengontrol suhu dan kelembapan pada sistem pengeringan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem *controlling* suhu dan kelembapan pada *solar dryer* berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan menerapkan logika fuzzy sebagai metode pengambilan keputusan yang mampu menyesuaikan perubahan kondisi lingkungan secara *real-time*.

2. Tinjauan Pustaka

Penelitian oleh Saputra et al. [10] menerapkan metode *fuzzy logic* pada sistem kontrol suhu dan kelembapan di kumbung jamur tiram berbasis IoT. Sistem ini menggunakan sensor DHT22, mikrokontroler Arduino Uno dan NodeMCU ESP8266. Output kontrol berupa kipas dan pompa embun buatan, yang secara otomatis diaktifkan berdasarkan hasil evaluasi fuzzy terhadap suhu dan kelembapan. Hasilnya, sistem mampu menjaga suhu rata-rata 24–25°C dan kelembapan 86–88% selama pengujian, serta dapat diakses melalui web secara *real-time*. Penelitian ini menunjukkan efektivitas metode fuzzy dan IoT dalam menjaga kestabilan kondisi lingkungan tertutup, yang relevan diterapkan pada sistem *solar dryer* untuk menjaga kualitas dan efisiensi proses pengeringan.

Kusmiyati et al. [8] merancang sistem pengeringan biji kopi berbasis IoT yang dapat dikendalikan dan dipantau secara *real-time*. Sistem tersebut mengintegrasikan sensor suhu dan kelembapan DHT22, aktuator berupa kipas dan pemanas PTC, serta mikrokontroler ESP32 yang terkoneksi ke internet. Keputusan kontrol dalam sistem ini didasarkan pada logika fuzzy untuk mengatur suhu dan kelembapan secara otomatis agar berada dalam batas optimal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mesin mampu mengeringkan biji kopi secara efisien pada suhu

optimal 80°C dengan kelembapan akhir 15% dalam waktu 883 detik (± 15 menit), yang setara dengan pengeringan tradisional selama 10 hari. Penggunaan *fuzzy logic* terbukti memberikan fleksibilitas dan presisi yang lebih baik dibandingkan sistem berbasis kontrol biner, karena mampu menangani ketidakpastian dalam fluktuasi suhu dan kelembapan selama proses berlangsung.

Berdasarkan penelitian Sahrul Alam et al. [11], melakukan penelitian dengan menerapkan sistem *solar dryer* tipe *dome* berbasis *hybrid* energi gas LPG dengan kontrol berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas pengeringan rumput laut di Desa Laikang, Sulawesi Selatan. Teknologi ini dikembangkan sebagai solusi atas permasalahan pengeringan konvensional yang selama ini sangat dipengaruhi oleh cuaca dan sering menyebabkan kerusakan kualitas rumput laut akibat kontaminasi atau fermentasi saat musim hujan. Sistem pengering ini mengkombinasikan pemanfaatan energi matahari pada siang hari dengan energi panas dari pembakaran gas LPG yang dialirkan melalui *blower* ke ruang pengering saat malam hari atau cuaca tidak mendukung. Hasilnya, proses pengeringan dapat dilakukan dalam waktu 1–2 hari, jauh lebih singkat dibandingkan metode tradisional. Selain itu, sistem kontrol IoT memungkinkan monitoring suhu, kelembapan, dan kontrol perangkat melalui aplikasi Android, meskipun tantangan penerimaan teknologi masih ditemukan di kalangan petani karena rendahnya literasi digital. Penerapan sistem ini terbukti mampu meningkatkan pengetahuan masyarakat sebesar 40,43% dan keterampilan sebesar 41,33%, yang mengindikasikan potensi besar sistem ini untuk direplikasi dalam konteks pengeringan komoditas lain, seperti sistem *solar dryer* berbasis *fuzzy logic*, dengan penyesuaian pada mekanisme kontrol dan integrasi sensor cerdas.

Penelitian oleh Liefson et al. [3] merancang dan membangun sistem pengontrol suhu dan kelembapan dalam *solar dryer* menggunakan mikrokontroler Arduino UNO, sensor DHT22, serta aktuator berupa kipas DC dan pemanas. Sistem ini bekerja berdasarkan pembacaan sensor yang dikirim ke Arduino, kemudian diproses untuk mengaktifkan aktuator guna menjaga suhu dan kelembapan sesuai ambang batas yang telah ditentukan. Selain itu, sistem dilengkapi dengan tampilan LCD 16x2 untuk monitoring lokal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga suhu di kisaran 38–47°C dan kelembapan 43–64% secara stabil dalam ruang pengering tertutup. Kendati sistem masih bersifat lokal dan belum dilengkapi fitur kendali jarak jauh, penelitian ini memberikan landasan penting untuk pengembangan sistem pengering berbasis *smart control*, khususnya ketika dikombinasikan dengan *fuzzy logic* dan IoT untuk kontrol adaptif dan *monitoring real-time*.

Berangkat dari temuan-temuan sebelumnya, state of the art penelitian ini terletak pada perancangan arsitektur IoT hibrid berbasis *GSM-gateway-cloud* untuk *solar dryer* yang mengintegrasikan kendali adaptif berbasis logika fuzzy dan komunikasi SMS agar pemantauan serta pengendalian suhu–kelembapan tetap berjalan andal di wilayah tanpa internet stabil. Berbeda dari Saputra dkk. [10] dan Kusmiyati dkk. [8] yang mengandalkan koneksi Wi-Fi/Internet langsung ke perangkat, pendekatan ini memutuskan ketergantungan pada broadband melalui skema *store-and-forward* SMS ke *Raspberry Pi gateway* yang meneruskan data ke komputasi awan untuk inferensi fuzzy dan eksekusi perintah pada aktuator lokal. Pendekatan ini juga melampaui Liefson dkk. [3] yang masih bersifat lokal tanpa kendali adaptif, serta Sahrul Alam dkk. [11] yang menitikberatkan pada hibridisasi sumber energi tanpa perancangan algoritma kendali cerdas. Kebaruan utama studi ini ialah: (i) solusi pengering surya yang network-resilient melalui jalur SMS/GSM untuk konteks perdesaan, (ii) perancangan basis aturan dan fungsi keanggotaan fuzzy spesifik proses pengeringan guna menjaga stabilitas suhu dan kelembapan, dan (iii) evaluasi terpadu mencakup respons kontrol, stabilitas kondisi, serta reliabilitas alat sebagai ukuran keterterapan di lapangan [3][8][10][11].

3. Metodologi

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen rekayasa (*engineering experimental approach*), di mana peneliti secara langsung merancang, membangun, dan menguji sistem kontrol suhu dan kelembapan pada alat *solar dryer* berbasis logika *fuzzy* dan teknologi *Internet of Things* (IoT).

3.1 Fase Analisis Kebutuhan

Penelitian ini merancang sebuah sistem yang dapat mengontrol *solar dryer* secara real time menggunakan jaringan GSM untuk komunikasi data. Alat yang dibangun terdiri dari 2 antara lain *Transmitter* dan *Receiver*.

Transmitter dirancang untuk membaca data suhu dan kelembapan di dalam maupun diluar *solar dryer* menggunakan sensor DHT22 [12]. Data tersebut kemudian dikirim melalui jaringan GSM menggunakan modul SIM800L yang dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino Uno. Selain itu, *transmitter* dilengkapi dengan modul motor driver L298N yang berfungsi mengendalikan kipas pendingin secara otomatis apabila rata-rata suhu dan kelembapan telah mencapai ambang batas minimum yang telah ditentukan [13]. Pengiriman data dilakukan melalui pesan menggunakan modul SIM800L yang terintegrasi dengan kartu GSM, sehingga *transmitter* harus memastikan ketersediaan pulsa secara berkelanjutan guna menjamin kestabilan komunikasi data [14][15].

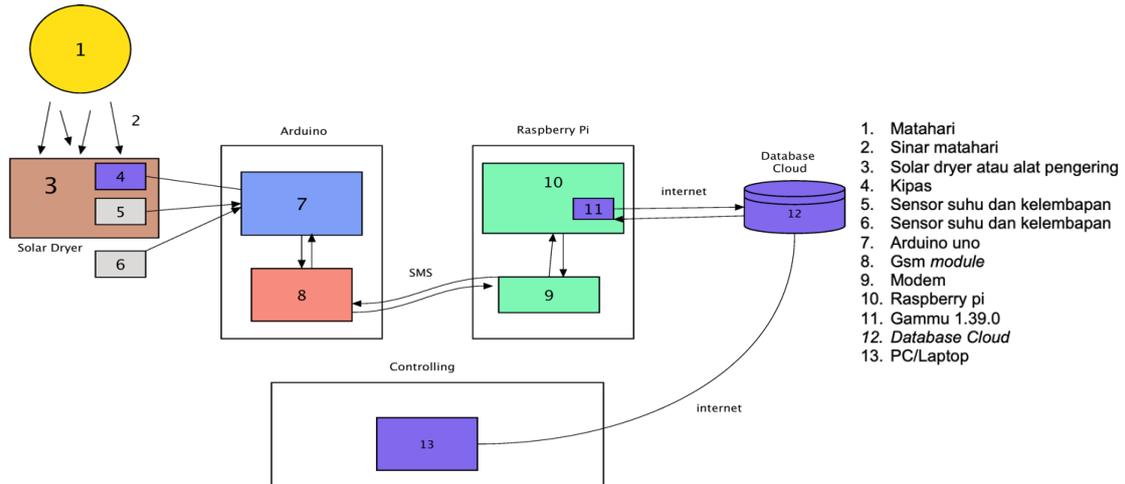
Receiver didesain untuk dapat menerima data suhu dan kelembapan dengan menggunakan kartu GSM yg terpasang Modem dan Raspberry Pi 3. Data suhu dan kelembapan yang diterima akan diolah dengan bantuan *library* gammu python untuk dikirim ke *cloud database* menggunakan jaringan internet sehingga user bisa melihat kondisi suhu dan kelembapan langsung via website [16]. Fitur-fitur yang dibangun di aplikasi web antara lain menampilkan data suhu dan kelembapan menggunakan grafik dan tabel, mengelola data user, kategori suhu, kategori kelembapan, kategori waktu dan *rule fuzzy logic* [17].

Kebutuhan fungsionalitas alat atau aplikasi yang dikembangkan antara lain:

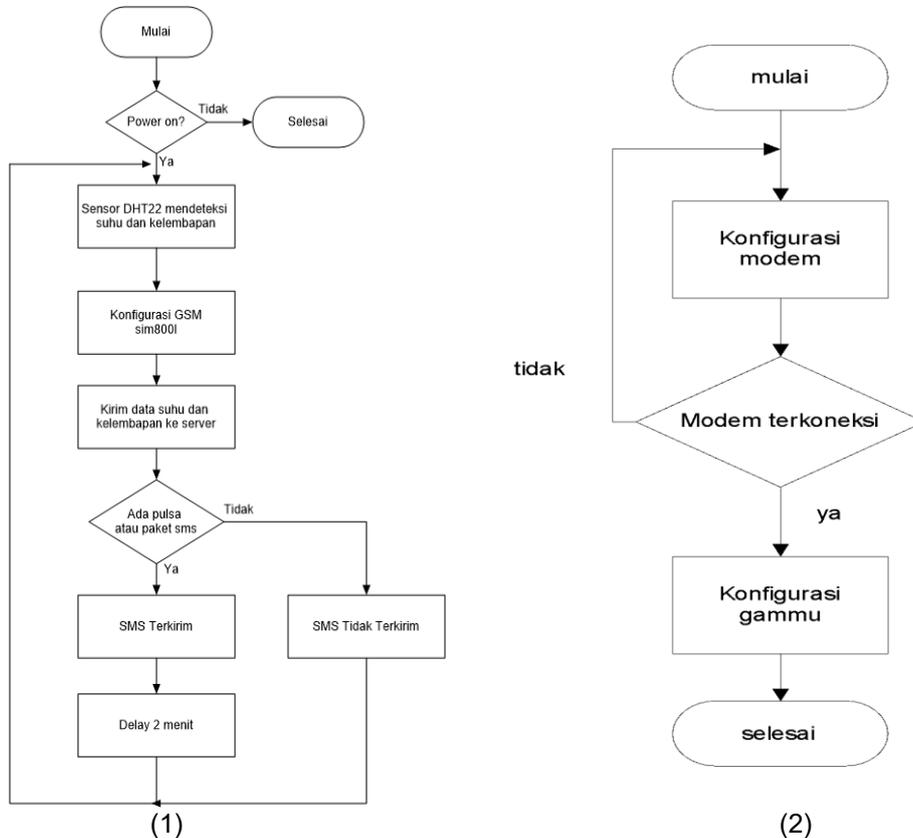
1. Kebutuhan fungsional perangkat keras pada sistem ini mencakup kemampuan untuk membaca data suhu dan kelembapan secara akurat menggunakan sensor DHT22, mengirimkan data tersebut dari Arduino melalui modul GSM SIM800L ke Raspberry Pi dalam format SMS, serta mengaktifkan kipas pendingin secara otomatis sesuai perintah kontrol. Selain itu, sistem juga harus mampu menjaga kestabilan komunikasi data meskipun kondisi jaringan GSM tidak selalu stabil.
2. Kebutuhan fungsional komunikasi data meliputi kemampuan Raspberry Pi untuk menerima data dari modul SIM800L melalui modem GSM dan menyimpannya ke dalam database server. Sistem juga harus menyediakan mekanisme pencatatan (logging) terhadap seluruh data sensor yang masuk guna mendukung proses verifikasi, serta menampilkan status komunikasi antara *transmitter* dan *receiver*, baik dalam kondisi berhasil maupun gagal.
3. Kebutuhan fungsional pengambilan keputusan mencakup kemampuan web server untuk menampilkan data suhu dan kelembapan secara *real-time*, penerapan logika *fuzzy* dalam menentukan pengendalian kipas, serta penyediaan notifikasi atau pencatatan (log) setiap kali keputusan otomatis, seperti aktivasi kipas, dijalankan oleh sistem.
4. Kebutuhan fungsional validasi output meliputi kemampuan sistem untuk memverifikasi apakah perintah aktivasi kipas benar-benar dijalankan oleh perangkat keras, menampilkan status kipas (ON/OFF) pada antarmuka web, serta memberikan umpan balik apabila terjadi kegagalan eksekusi output, misalnya kipas tidak aktif meskipun kondisi telah memenuhi syarat aktivasi.

3.2 Fase Desain dan Pemodelan Sistem

Sensor suhu dan kelembapan (DHT22) ditempatkan di dalam dan di luar pengering surya (*solar dryer*) untuk dapat membandingkan suhu dan kelembapan yang di luar maupun di dalam *solar dryer*. Kemudian data suhu dan kelembapan tersebut disimpan dalam arduino dan dikirim ke *server* dengan menggunakan modul gsm sim800l melalui sms, dan diterima oleh Raspberry Pi dengan menggunakan modem, modem Raspberry Pi secara otomatis mengirim data ke *database server cloud* menggunakan internet, kemudian data suhu dan kelembapan ditampilkan melalui web, melalui web diatur titik maksimal suhu dalam, suhu luar, kelembapan dalam, kelembapan luar sebagai *trigger* untuk menurunkan suhu atau kelembapan, jika sudah mencapai titik maksimal sistem akan mengkalkulasikan waktu yang dibutuhkan kipas untuk menurunkan suhu atau kelembapan menggunakan metode *fuzzy logic*, sistem (web) mengirim perintah ke Raspberry Pi melalui internet, Raspberry Pi memproses dan mengirim sms ke arduino, arduino memproses dan menggerakkan kipas sesuai waktu yang telah ditentukan. Arsitektur sistem *controlling* suhu dan kelembapan dapat dilihat pada Gambar 1:



Gambar 1. Arsitektur Sistem

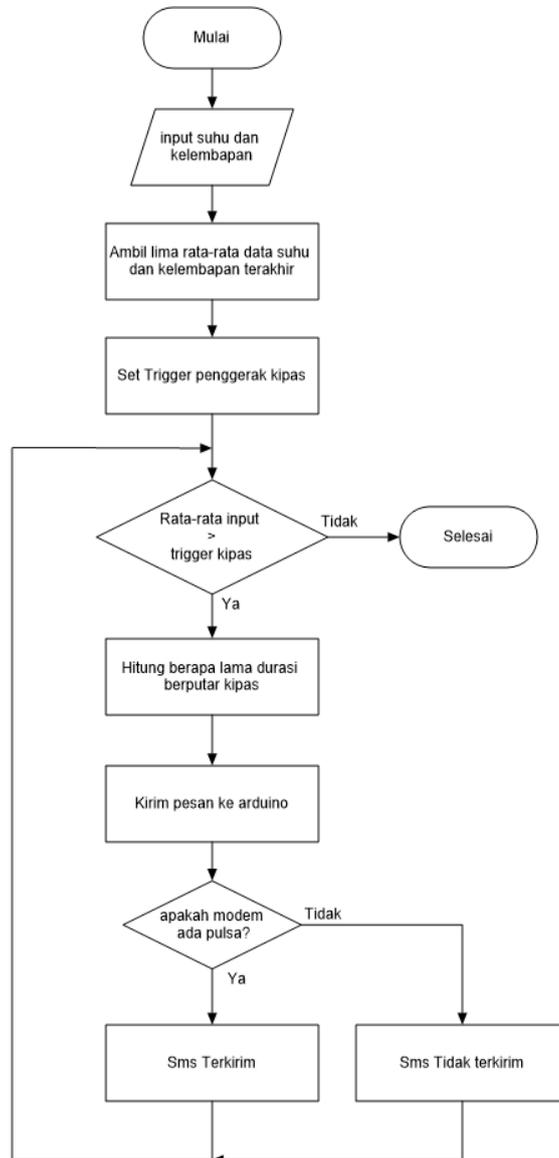


Gambar 1. Flowchat Transmisi data Transmitter (1) Proses Pengiriman data ke cloud database (2)

Data pada *transmitter* ditransmisikan ke *receiver* dengan menggunakan jaringan GSM. Data-suhu dan kelembapan akan dikirim melalui pesan singkat atas SMS. Data suhu dan kelembapan yang telah diterima *receiver* akan dikirim ke *cloud database* dengan memanfaatkan *library* gammu, gammu akan mengekstrak pesan yang diterima menjadi data yang bisa di simpan ke *database*, sehingga bisa dilihat via web *browser*. Proses pengiriman data ke *cloud database* dapat dilihat pada Gambar 2.

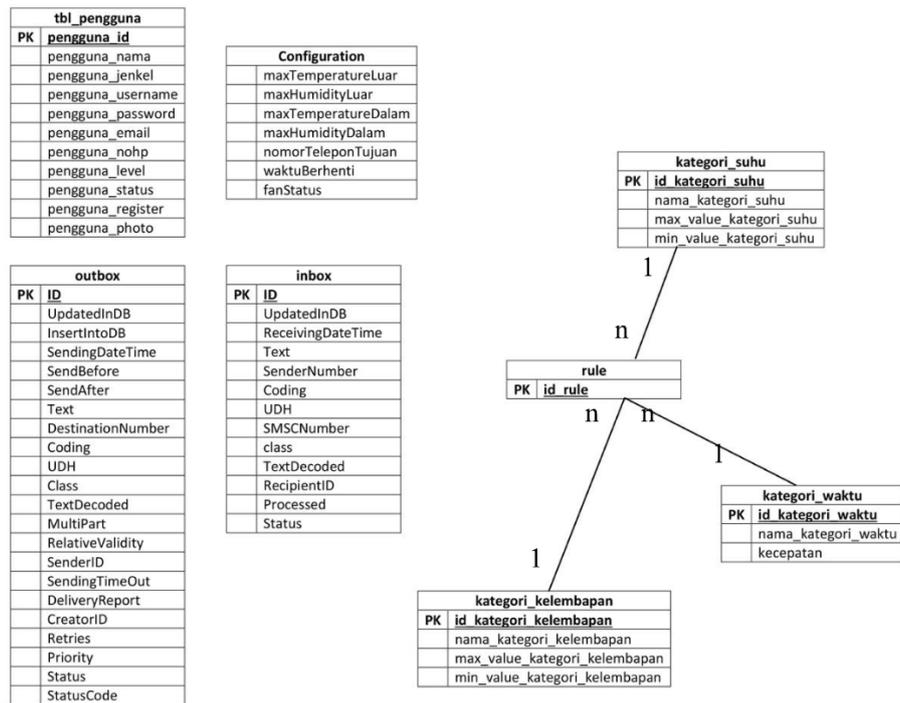
Data suhu dan kelembapan yang telah dikirim akan di oleh dengan menggunakan *fuzzy logic* di website dengan memanfaatkan *rule fuzzy* yang diberikan oleh pakar. Jika 5 rata-rata suhu dan kelembapan terakhir telah mencapai ambang batas minimum maka algoritma *fuzzy*

logic akan bekerja untuk menghitung berapa lama kipas dihidupkan pada solar dryer. Data berapa lama kipas dihidupkan akan dikirim oleh web ke *Raspberry Ri* dengan gammu kemudian meneruskan ke solar dryer dengan bantuan jaringan GSM. Proses pengiriman data untuk menghidupkan kipas dapat dilihat pada Gambar 3.

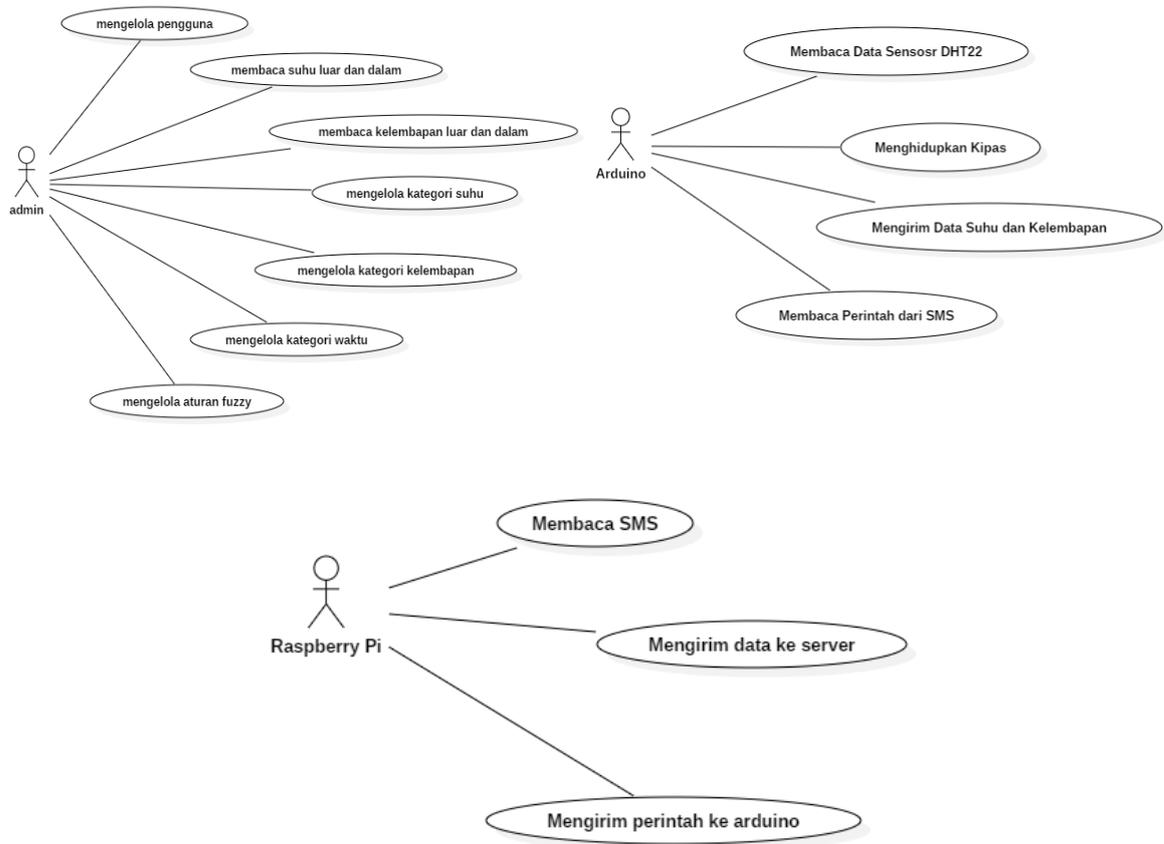


Gambar 2. Proses pengiriman data untuk menghidupkan kipas

Aplikasi *monitoring* via web dibangun menggunakan *framework* codeigniter 3 dan menggunakan *database* mysql, rancangan *database* dan desain *use case* diagram dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 3. Rancangan Basis Data Aplikasi Monitoring



Gambar 4. Use Case Diagram Sistem

3.3 Fase Pengembangan Sistem

Pada fase pengembangan sistem, diperlukan berbagai perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*) untuk membangun sistem sesuai rancangan yang telah disusun. *Tools* yang digunakan disesuaikan dengan kebutuhan sistem, baik dalam pengolahan data, komunikasi antar perangkat, maupun dalam proses kontrol dan pemantauan secara *real-time*.

Salah satu komponen utama yang digunakan adalah arduino uno, yaitu sebuah mikrokontroler berbasis ATmega328P yang berfungsi sebagai otak dari sistem. Arduino Uno digunakan untuk membaca data dari sensor suhu dan kelembapan DHT22, serta mengontrol aktuator seperti kipas atau motor berdasarkan logika yang ditentukan. Arduino dipilih karena sifatnya yang fleksibel, mudah diprogram, dan kompatibel dengan berbagai modul tambahan seperti modul GSM untuk komunikasi data melalui jaringan seluler.

Selain Arduino Uno, digunakan pula beberapa tools lainnya seperti:

1. Arduino IDE: perangkat lunak untuk menulis dan mengunggah program (sketsa) ke papan Arduino. IDE ini mendukung berbagai pustaka (*library*) yang mempermudah integrasi dengan sensor dan modul komunikasi.
2. Modul GSM SIM800L: digunakan untuk mengirim dan menerima data menggunakan jaringan GSM, memungkinkan sistem untuk berkomunikasi dengan *server* melalui SMS atau GPRS.
3. Modul Sensor DHT22: untuk mendeteksi suhu dan kelembapan di dalam dan luar solar dryer.
4. Modul Driver Motor L298N: sebagai pengendali aktuator (kipas) yang bekerja menyesuaikan kondisi suhu dan kelembapan yang terdeteksi.
5. Raspberry Pi: digunakan sebagai penerima data dan pemroses utama untuk logika *fuzzy*, serta pengiriman data ke *server cloud*.
6. Modem GSM USB pada Raspberry Pi: berfungsi untuk menerima dan mengirim pesan dari dan ke Arduino melalui jaringan GSM. Modem ini memungkinkan Raspberry Pi menerima SMS berisi data suhu dan kelembapan, sekaligus mengirim perintah kontrol balik berdasarkan hasil pemrosesan data.
7. *Database Server & Web Interface*: digunakan untuk menyimpan data suhu dan kelembapan secara *online* serta menampilkan data tersebut dalam antarmuka berbasis web yang memungkinkan pengguna memantau dan mengatur parameter sistem dari jarak jauh.
8. Visual Studio Code: digunakan sebagai editor utama dalam pengembangan antarmuka web berbasis *framework* CodeIgniter. VS Code mendukung berbagai ekstensi dan integrasi dengan Git, terminal, serta fitur debugging yang mempercepat proses pengembangan aplikasi web.

3.4 Fase Pengujian Sistem

Fase pengujian bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh komponen sistem, baik perangkat keras maupun perangkat lunak, berfungsi secara menyeluruh dan sesuai dengan spesifikasi yang telah dirancang. Teknik pengujian yang digunakan adalah pengujian langsung (*end-to-end testing*), yang mencakup seluruh alur sistem mulai dari input sensor hingga output kontrol sistem.

Pengujian dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

- 1) Pengujian Perangkat Keras (Arduino – SIM800L – Sensor – Kipas):
Pengujian dimulai dengan memastikan bahwa Arduino Uno dapat membaca data suhu dan kelembapan dari sensor DHT22 dengan akurat. Selanjutnya, Arduino mengirimkan data tersebut melalui modul GSM SIM800L dalam bentuk pesan (SMS) ke modem GSM yang terhubung dengan Raspberry Pi.
- 2) Pengujian Komunikasi (*Transmitter – Receiver*):
Data yang diterima oleh modem GSM di Raspberry Pi akan diproses dan disimpan ke dalam *database server*.
- 3) Pengujian Pengambilan Keputusan Otomatis:
Setelah data tersimpan dalam *database*, *web server* akan menampilkan informasi suhu dan kelembapan secara *real-time* melalui antarmuka berbasis web. Di sisi ini, sistem juga akan memproses data dengan logika *fuzzy* untuk menentukan apakah kipas perlu diaktifkan.
- 4) Validasi *Output* (Kipas Aktif):
Pengujian akhir dilakukan untuk memastikan bahwa kipas benar-benar aktif sesuai perintah sistem ketika suhu/kelembapan melebihi batas maksimum.

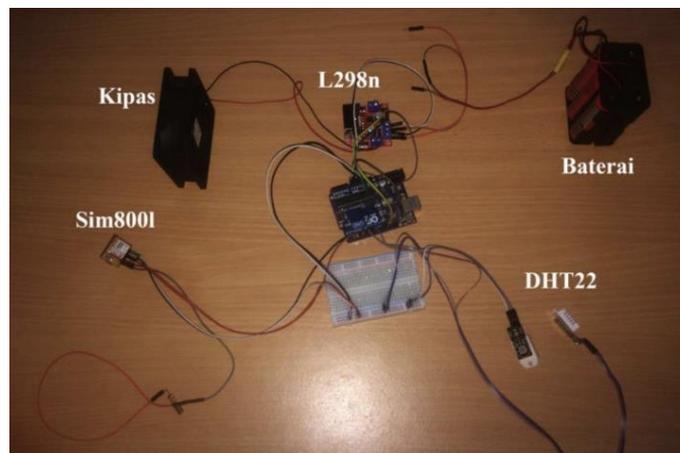
4. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari sistem *controlling* suhu dan kelembapan solar dryer berbasis *internet of things* menggunakan *fuzzy logic*, adalah sebagai berikut.

4.1 Hasil Alat *Transmitter* dan *Receiver*

1) Rangkaian Arduino, DHT22, L298n, Fan, Baterai, dan Sim800l

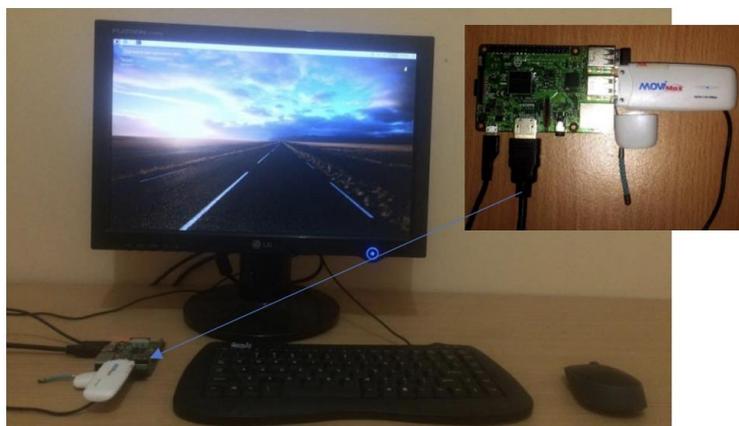
Baterai dihubungkan dengan motor driver (L298n) yaitu VCC pada baterai dihubungkan di input 12V di *motor driver* sedangkan *ground* baterai dihubungkan di *ground* motor driver. Motor driver dihubungkan ke kipas yaitu out1 motor driver dihubungkan ke VCC kipas, out2 dihubungkan ke *ground* kipas. Motor driver dihubungkan ke arduino sebagai sumber arus arduino yaitu output 5V dari motor driver dihubungkan ke vIn Arduino sebagai sumber daya sedangkan *ground* motor driver dihubungkan ke *ground* arduino. Output 5V dari arduino akan dibagikan/dihubungkan ke VCC DHT22 dan VCC sim800l sebagai sumber daya, begitu juga *ground* dari arduino akan dihubungkan kepada *ground* DHT22 dan *ground* sim800l. Pin data DHT22 pertama akan dihubungkan ke pin 7 arduino sedangkan pin HT22 kedua akan dihubungkan ke pin 8 arduino. Pin TX sim800l akan dihubungkan ke pin 2 arduino sedangkan pin RX sim800l akan dihubungkan ke pin 3 arduino. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5. Rangkaian Arduino, DHT22, L298n, Fan, Baterai, dan Sim800l

2) Rangkaian Raspberry Pi dengan Modem

Raspberry pi sebagai perantara pengiriman data ke *server* menggunakan jaringan GSM akan dihubungkan ke modem dan perangkat komputer lainnya seperti keyboard dan mouse. Rangkaian Raspberry Pi pada sistem *controlling* suhu dan kelembapan dapat dilihat pada gambar berikut.

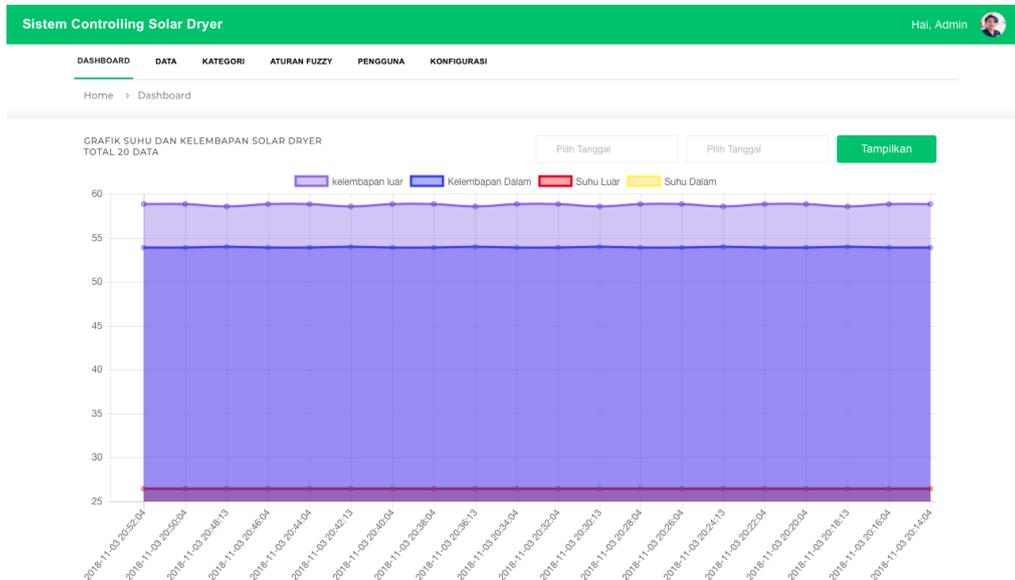


Gambar 6. Rangkaian Raspberry Pi dengan Modem

4.2 Hasil Tampilan Antarmuka Aplikasi Monitoring Sistem

1) Tampilan Antarmuka Dashboard

Hasil tampilan antarmuka dashboard sistem sesuai dengan perancangan perangkat lunak sistem yaitu untuk menampilkan data di web yang berhasil dikirim dari *transmitter* ke *cloud database* dan ditampilkan pada aplikasi sistem controlling suhu dan kelembapan solar dryer. Tampilan halaman antarmuka sistem dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 7. Tampilan Antarmuka Dashboard Sistem

2) Tampilan Antarmuka Keloka Kategori Suhu

User yang dapat mengelola data kategori suhu adalah user dengan hak akses admin, pengelolaan data kategori suhu antara lain menambah data kategori suhu, mengubah data kategori suhu dan menghapus data kategori suhu. Tampilan halaman pengelolaan data kategori suhu dapat dilihat pada gambar berikut.

The screenshot shows the 'KATEGORI SUHU' configuration page. It includes a table with columns for 'NO', 'KATEGORI SUHU', 'MIN SUHU', and 'MAX SUHU'. There are 'Tambah' and 'Search' buttons. The table lists five temperature categories: Dingin, Sejuk, Normal, Hangat, and Panas, each with its corresponding minimum and maximum temperature values.

NO	KATEGORI SUHU	MIN SUHU	MAX SUHU
1	Dingin	-10 °C	3 °C
2	Sejuk	0 °C	15 °C
3	Normal	12 °C	27 °C
4	Hangat	24 °C	39 °C
5	Panas	36 °C	50 °C

Gambar 8. Tampilan Antarmuka Keloka Kategori Suhu

4.3 Hasil Pengujian Data Sensor

1) Hasil Pengujian Perangkat Keras (Arduino – SIM800L – Sensor – Kipas)

Pengujian data sensor dilakukan untuk memastikan bahwa sensor DHT22 mampu membaca dan mengirimkan data suhu dan kelembapan secara akurat dan konsisten melalui sistem yang dirancang. Data pengujian terdiri dari 20 titik pengamatan yang dikumpulkan secara berkala, dengan rata-rata interval waktu pengiriman sebesar ± 60 detik antar data.

Tabel 1. Tabel hasil pengujian data sensor

No	Kelembapan Luar (%)	Kelembapan Dalam (%)	Suhu Luar (°C)	Suhu Dalam (°C)	Waktu
1	94.9	74.3	25.3	25.0	7/16/25 12:55
2	95.1	75.4	25.6	25.1	7/16/25 12:56
3	83.3	80.1	25.6	25.8	7/16/25 12:57
4	86.7	79.9	26.2	25.7	7/16/25 12:58
5	91.7	80.0	26.1	25.7	7/16/25 12:58
6	92.5	80.2	26.1	25.7	7/16/25 12:59
7	93.1	79.9	26.1	25.7	7/16/25 13:00
8	93.0	79.7	26.1	25.7	7/16/25 13:00
9	93.1	79.6	26.0	25.6	7/16/25 13:01
10	93.1	79.8	26.0	25.7	7/16/25 13:02
11	93.0	79.1	26.0	25.6	7/16/25 13:03
12	93.1	79.1	26.0	25.6	7/16/25 13:03
13	93.2	79.1	26.0	25.6	7/16/25 13:03
14	93.3	79.0	26.0	25.6	7/16/25 13:04
15	93.3	78.4	26.0	25.6	7/16/25 13:06
16	93.2	78.5	26.0	25.6	7/16/25 13:07
17	93.2	78.3	26.0	25.5	7/16/25 13:08
18	93.3	77.8	26.0	25.6	7/16/25 13:10
19	93.3	78.0	26.0	25.5	7/16/25 13:11
20	93.4	77.9	26.0	25.5	7/16/25 13:13

Data pada tabel menunjukkan bahwa suhu di dalam ruang pengering relatif stabil pada kisaran 25,0–25,8°C, sedangkan suhu luar berkisar 25,3–26,2°C. Kelembapan dalam ruang cenderung lebih rendah (74,3–80,2%) dibanding kelembapan luar (83,3–95,1%). Hal ini menunjukkan sensor bekerja baik, data terbaca konsisten, dan tidak ditemukan anomali pembacaan.

Perubahan data dari waktu ke waktu menunjukkan bahwa sistem mampu menangkap dinamika perubahan suhu dan kelembapan secara responsif. Tidak terdapat nilai ekstrim yang menandakan error pembacaan sensor, serta data terlihat stabil dan berurutan, mencerminkan keberhasilan proses komunikasi antar perangkat.

2) Hasil Pengujian Komunikasi (Transmitter – Receiver)

Pengiriman data dari Arduino melalui SIM800L berhasil diterima oleh modem GSM pada Raspberry Pi. Seluruh data sensor terekam di database server sesuai urutan waktu tanpa kehilangan paket data. Interval pengiriman ± 60 detik berjalan konsisten, menunjukkan proses komunikasi antar perangkat berlangsung stabil meskipun menggunakan jaringan GSM yang berpotensi fluktuatif.

3) Hasil Pengujian Pengambilan Keputusan Otomatis

Ambang Batas Minimum:

Kelembapan Luar: 93%
Kelembapan Dalam: 79%
Suhu Luar: 26°C
Suhu Dalam: 25.6°C

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa suhu dan kelembapan dalam ruang pengering cenderung lebih rendah dibandingkan lingkungan luar sedangkan suhu cenderung sama baik didalam maupun diluar. Data pada waktu 13.05 (baris ke-14). Suhu dalam 25.6°C dan suhu luar 26°C dan kelembapan dalam 79% dan kelembapan luar 93% sistem mendeteksi kondisi kritis dan memprosesnya menggunakan logika *fuzzy* yang telah diprogram. Berdasarkan aturan fuzzy, sistem memutuskan kipas harus diaktifkan untuk menurunkan suhu dan kelembapan dalam ruang pengering.

4) Hasil Validasi Output (Kipas Aktif)

Pengujian akhir membuktikan bahwa kipas benar-benar aktif saat kondisi suhu atau kelembapan melebihi ambang batas yang telah ditentukan. Aktivasi kipas terdeteksi sesuai perintah sistem, dan status kipas yang ditampilkan pada antarmuka web sesuai dengan kondisi aktual perangkat. Tidak ditemukan kegagalan eksekusi output, sehingga dapat dipastikan proses kendali berjalan efektif.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja secara optimal dan sesuai dengan tujuan perancangan. Sensor yang digunakan terbukti berfungsi dengan baik dan responsif terhadap perubahan suhu serta kelembapan di lingkungan sekitarnya. Proses pengiriman data dari sensor ke *server* berlangsung secara periodik dan *real-time*, dengan interval waktu yang konsisten. Data yang ditampilkan melalui antarmuka web juga sesuai dengan kondisi aktual yang tercatat oleh sensor, sehingga memberikan informasi yang akurat kepada pengguna. Selain itu, sistem mampu mengidentifikasi kondisi suhu dan kelembapan yang melebihi ambang batas, dan secara otomatis memicu aktivasi kipas pendingin sebagai bentuk respons kendali yang tepat berdasarkan logika *fuzzy* yang diterapkan.

4.4 Pembahasan

Sistem *controlling* suhu dan kelembapan solar dryer berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan *fuzzy logic* telah berhasil dirancang dan diimplementasikan sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan. Berdasarkan hasil percobaan dan pengujian, sistem terbukti dapat bekerja secara otomatis dan dapat dikontrol melalui antarmuka web. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi antara sensor, mikrokontroler, logika *fuzzy*, serta komunikasi data melalui jaringan GSM dapat berjalan baik dalam satu sistem terintegrasi.

Sistem ini menggunakan Raspberry Pi sebagai SMS Gateway, yang mampu beroperasi secara terus-menerus dan efisien. Sensor DHT22 membaca nilai suhu dan kelembapan baik dari dalam maupun luar ruang pengering. Data kemudian dikirimkan oleh Arduino Uno melalui modul GSM SIM800L ke Raspberry Pi dalam bentuk pesan teks (SMS). Raspberry Pi menggunakan *library* Gammu untuk membaca pesan dan meneruskan data ke *server* melalui koneksi internet. Data yang diterima ditampilkan melalui antarmuka web secara *real-time*, sehingga dapat dipantau dari jarak jauh.

Pengambilan keputusan dilakukan menggunakan algoritma *fuzzy logic*, yang telah dirancang berdasarkan aturan dan kategori suhu serta kelembapan yang telah ditentukan. Ketika suhu atau kelembapan melebihi ambang batas, sistem akan memproses data menggunakan logika *fuzzy* dan mengirimkan perintah aktivasi kipas melalui Raspberry Pi kembali ke Arduino. Arduino kemudian mengaktifkan kipas untuk periode waktu tertentu berdasarkan hasil inferensi *fuzzy*.

Penelitian ini memberikan kontribusi nyata terhadap pengembangan sistem kontrol berbasis *fuzzy logic* pada lingkungan IoT, khususnya dalam implementasinya pada *solar dryer*. Hasil ini sejalan dengan penelitian oleh Kusmiyati [8] yang menggunakan *fuzzy logic* untuk pengaturan suhu dalam sistem pengering, di mana logika *fuzzy* terbukti memberikan kontrol yang lebih adaptif terhadap fluktuasi suhu. Selain itu, penelitian ini juga memperkuat temuan dari Saputra [10] yang menerapkan *fuzzy logic* pada sistem kontrol suhu dan *monitoring* kumbang jamur tiram menunjukkan kelebihan *fuzzy* dalam menangani data lingkungan yang bersifat tidak pasti.

Penelitian ini mengintegrasikan keunggulan *fuzzy logic* dalam pengambilan keputusan dengan keunggulan komunikasi IoT melalui GSM dan tampilan *real-time* berbasis web. Hal ini merupakan penguatan dari penelitian oleh Liefosn et al. [3] yang mengembangkan alat pengatur buka tutup solar dryer berbasis Arduino untuk mengontrol suhu dan kelembapan namun belum mengintegrasikan *fuzzy* sebagai mekanisme kontrol otomatis. Dengan demikian, penelitian ini memperkaya *body of knowledge* dalam bidang kontrol cerdas dan sistem tertanam [18] dengan menambahkan dimensi adaptif yang lebih kuat melalui penerapan *fuzzy logic* dalam sistem *monitoring* dan kontrol jarak jauh. Selain itu, terobosan utama dalam penelitian ini terletak pada pemanfaatan media transmisi berbasis jaringan GSM. Teknologi ini menjadi solusi yang relevan untuk diterapkan pada wilayah yang belum terjangkau jaringan internet. Dengan menggunakan GSM sebagai sarana pengiriman data, sistem tetap dapat melakukan komunikasi secara efektif, bahkan ketika diimplementasikan di daerah terpencil yang memiliki keterbatasan infrastruktur jaringan.

Secara umum, penelitian ini tidak hanya membuktikan efektivitas *fuzzy logic* dalam mengendalikan suhu dan kelembapan, tetapi juga mendemonstrasikan bagaimana *fuzzy logic* dapat diintegrasikan secara nyata dalam arsitektur IoT menggunakan perangkat yang hemat daya seperti Arduino dan Raspberry Pi. Temuan ini mendukung pengembangan sistem otomatisasi di bidang pertanian dan energi terbarukan, khususnya dalam pemanfaatan teknologi cerdas untuk mengoptimalkan proses pengeringan menggunakan energi surya.

5. Simpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem *controlling* suhu dan kelembapan solar dryer berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan *fuzzy logic* telah berhasil dibuat dan berjalan sesuai dengan kriteria yang telah didefinisikan. Sistem ini mampu membaca dan menampilkan data suhu luar, suhu dalam, kelembapan luar, dan kelembapan dalam dari alat pengering (*solar dryer*) secara *real-time* melalui antarmuka web. Selain itu, sistem juga dapat menggerakkan kipas secara otomatis apabila nilai suhu atau kelembapan telah mencapai titik *maksimum* yang telah ditetapkan sebelumnya, sebagai bentuk respon dari hasil pemrosesan logika *fuzzy*.

Adapun saran penulis untuk pengembangan sistem ini di masa mendatang adalah agar sistem *controlling* suhu dan kelembapan solar dryer dapat dikembangkan lebih lanjut dalam bentuk aplikasi *mobile*. Dengan demikian, proses *monitoring* dan pengendalian dapat dilakukan secara lebih fleksibel dan praktis melalui *smartphone*, sehingga meningkatkan aksesibilitas dan kenyamanan pengguna dalam mengelola sistem pengering surya berbasis IoT ini.

Daftar Referensi

- [1] F. Afif and A. Martin, "Tinjauan Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia," *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 6, no. 1, pp. 43–52, 2022, doi: 10.30588/jeemm.v6i1.997.
- [2] I. G. Ramadhan, I. A. T. P. Yunen, D. Syahrani, S. Rosdiana, and M. R. Al-Ariki, "Pemanfaatan Energi Surya Dalam Pembuatan Lampu Sebagai Upaya Meminimalisir Penggunaan Listrik," *J. Graha Pengabd.*, vol. 4, no. 2, pp. 102–109, 2022, doi: 10.17977/um078v4i22022p102-109.
- [3] L. Jacobus, K. O. Sandroto, D. Pianka, E. Setyowati, and S. Dwiputranto, "Rancang Bangun Pengontrol Suhu dan Kelembaban di dalam Solar Dryer dengan Arduino," *J. Pendidik. Fis. dan Fis. Terap.*, vol. 2, no. 2, pp. 54–69, 2022.
- [4] N. Tumbal, D. P. . Ludong, and L. C. C. E. Lengkey, "Modification of Rack Type Solar Energy Dryer," *COCOS Univ. Sam Ratulangi Manad.*, vol. 14, no. 4, pp. 1–13, 2022.
- [5] E. A. Dharmawan and E. R. M. A. P. Lilipaly, "Efisiensi Solar Dryer Untuk Pengawetan Ikan Dan Pisang," *J. Simetrik*, vol. 13, no. 1, pp. 638–649, 2023, doi: 10.31959/js.v13i1.1238.
- [6] R. T. A. Pohan, I. Agustian, and A. Kurniawan, "Sistem Kendali Suhu Prototipe Mesin Pengering Biji Kopi Dengan Metode PID dan IOT Monitoring," *J. Amplif. J. Ilm. Bid. Tek. Elektro Dan Komput.*, vol. 13, no. 1, pp. 10–17, 2023, doi: 10.33369/jamplifier.v13i1.27437.
- [7] F. Rozie, Y. Chandra, and I. Suwanda, "Monitoring Konsumsi Energi LPJU Panel Surya Berbasis LoRa dengan Fuzy Inference," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 7, no. 1, pp. 24–32, 2025.
- [8] K. Kusmiyati et al., "Monitoring Sistem Kontrol Mesin Drying Kopi Secara Real Time Berbasis IoT," *Elektrika*, vol. 15, no. 2, pp. 90–96, 2023, doi:

- 10.26623/elektrika.v15i2.7857.
- [9] R. Ridho *et al.*, "Analisis Kinerja Dome Solar Dryer Untuk Pengeringan Kopi Di Desa Karang Sidemen Kabupaten Lombok Tengah," *J. Sains Teknol. Lingkung.*, vol. 11, no. 2, pp. 227–234, 2025.
- [10] C. Saputra, R. Setiawan, and Y. Arvita, "Penerapan Sistem Kontrol Suhu dan Monitoring Serta Kelembapan pada Kumbung Jamur Tiram Berbasis IoT Menggunakan Metode Fuzzy Logic," *J. Sains dan Inform.*, vol. 8, no. 2, pp. 116–126, 2022, doi: 10.34128/jsi.v8i2.504.
- [11] S. Alam, M. Taufiq, M. Maha Jaya, A. Maulana Putra, F. Amir, and M. S. Ahsan Mandra, "Penerapan Teknologi Solar Dryer Berbasis Hybrid Energi Gas LPG Tipe Dome Dengan Sistem Kontrol IoT Pada Petani Rumput Laut," *PENGABDI J. Has. Pengabdi. Masy.*, vol. 4, no. 2, pp. 110–120, 2023.
- [12] A. I. Bakti, Marco Alfiano Laoh, Handy Indra Regain Mosey, Jumriadi, Megastin M. Lumembang, and V. A. Suoth, "Sistem Monitoring Suhu, Kelembaban dan Kadar CO₂ di Udara Berbasis Internet of Things," *J. MIPA*, vol. 13, no. 2, pp. 94–98, 2024, doi: 10.35799/jm.v13i2.56234.
- [13] J. Husein and O. B. Kharisma, "Internet of Things (IOT) Development for The Chicken Coop Temperature and Humidity Monitoring System Based on Fuzzy," *Indones. J. Artif. Intell. Data Min.*, vol. 3, no. 1, pp. 9–20, 2020, doi: 10.24014/ijaidm.v3i1.9294.
- [14] R. Prayoga, S. Herlambang, and G. Megiyanto R, "Prototipe Perhitungan Biaya Perjalanan Menggunakan Arduino Terintegrasi GPS," *Epsil. J. Electr. Eng. Inf. Technol.*, vol. 19, no. 2, pp. 40–44, 2021, doi: 10.55893/epsilon.v19i2.65.
- [15] Abrar, Munandar, and T. Iqbal, "Perancangan Prototype GPS Tracker via SMS Berbasis Mikrokontroler Arduino Nano," *J. Sist. Komput.*, vol. 3, no. 1, pp. 11–25, 2023, doi: 10.35870/siskom.v3i1.790.
- [16] A. Agarkar, S. Shewale, B. Shah, A. Shikalkar, and O. Sangale, "Multi-Server Management System Using Flask, SSH and Paramiko," *Proc. 3rd Int. Conf. Intell. Innov. Technol. Comput. Electr. Electron. IITCEE 2025*, pp. 1–5, 2025, doi: 10.1109/IITCEE64140.2025.10915313.
- [17] F. Qin, X. Qiu, Y. Zhao, W. Ding, and F. Wang, "An Improved Fuzzy Logic Rule Based Energy Management Control for Hybrid Electric Vehicles," *Proc. - 2024 4th Power Syst. Green Energy Conf. PSGEC 2024*, pp. 524–528, 2024, doi: 10.1109/PSGEC62376.2024.10720962.
- [18] B. Rahmani, A. Alfari, I. Ilmi, M. Miftahuddin, et al. "Real-time Multi-Level Wireless Control Model based on IoT for Wheeled Robots. *Jutisi: Jurnal Ilmiah Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 12, no. 3, pp. 955-966, 2023.