

Adaptive PID Kontrol Berbasis IoT pada ESP32 untuk Kontrol Suhu dan Kelembapan Kumbung Jamur Tiram Putih

Rizky Fatkhur Rohman¹, Mohammad Idhom^{2*}, Henni Endah Wahanani³

^{1,3} Informatika, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

³henniendah.if@upnjatim.ac.id

² Sains Data, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

²idhom@upnjatim.ac.id

*Corresponding author email: 21081010051@student.upnjatim.ac.id

Abstrak— Pengendalian suhu dan kelembapan merupakan faktor penting dalam menjaga produktivitas dan kualitas hasil budidaya jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*). Ketidakstabilan kondisi lingkungan dapat menghambat pertumbuhan miselium dan menurunkan hasil panen. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem otomatis berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan metode Proportional-Integral-Derivative (PID) untuk mengatur suhu dan kelembapan pada kumbung jamur tiram secara real time. Perangkat sistem terdiri dari mikrokontroler ESP32, sensor SHT31 sebagai pembaca suhu dan kelembapan, serta aktuator berupa kipas, pemanas PTC, dan mist maker sebagai pengendali lingkungan. Data hasil pembacaan sensor dikirim ke Firebase dan ditampilkan melalui aplikasi Blynk untuk pemantauan jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga suhu di kisaran 26 ± 1 °C dan kelembapan 85 ± 3 %RH dengan rata-rata steady-state error di bawah ± 2 %. Sistem memberikan respon cepat terhadap perubahan kondisi lingkungan dan mampu menyesuaikan kerja aktuator secara otomatis tanpa intervensi manual. Dengan demikian, penerapan metode PID berbasis IoT terbukti efektif dalam menjaga kestabilan suhu dan kelembapan kumbung jamur tiram, sekaligus mendukung penerapan pertanian cerdas (smart farming) yang efisien dan adaptif terhadap perubahan lingkungan.

Kata Kunci— IoT, ESP32, PID, Kumbung Jamur Tiram, Pengendalian Suhu, Kelembapan, Smart Farming.

I. PENDAHULUAN

Pengendalian suhu dan kelembapan merupakan aspek penting dalam proses budidaya jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*) untuk menjaga kondisi pertumbuhan yang optimal dan hasil panen yang maksimal [1]. Ketidakstabilan suhu dan kelembapan lingkungan dapat menurunkan produktivitas, baik dari segi kualitas maupun kuantitas jamur yang dihasilkan [2]. Oleh sebab itu, diperlukan sistem otomatis dengan penerapan Internet of Things (IoT) yang dapat memonitor serta mengendalikan kedua parameter tersebut secara real-time sehingga kondisi iklim pada kumbung dapat disesuaikan dengan ideal.

Teknologi IoT dengan dukungan mikrokontroler seperti ESP32 memungkinkan integrasi sensor dan aktuator dalam satu sistem pengendalian yang efisien. Sistem ini mampu melakukan pengukuran, pemrosesan, serta pengendalian suhu dan kelembapan secara otomatis [3][4]. Dalam konteks pengendalian, algoritma Proportional-Integral-Derivative (PID) merupakan metode yang banyak digunakan karena kesederhanaannya dan kemampuannya menjaga kestabilan suhu serta kelembapan. Namun, efektivitas PID konvensional cenderung menurun ketika sistem menghadapi perubahan lingkungan yang dinamis dan tidak linier [5]. Oleh karena itu, pendekatan Adaptive PID, yang dapat menyesuaikan parameter kendali secara otomatis terhadap kondisi perubahan lingkungan, dinilai lebih efisien dan responsif dibandingkan dengan PID tradisional.

Lebih lanjut, kombinasi teknologi IoT dengan pendekatan cerdas seperti Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) juga menunjukkan hasil yang sangat baik dalam pengendalian lingkungan budidaya jamur. Sistem ini memiliki kemampuan adaptif untuk belajar dari data lingkungan, sehingga meningkatkan stabilitas dan respons pengendalian suhu serta kelembapan [1]. Prototipe sistem semacam ini umumnya menggunakan sensor digital presisi tinggi seperti SHT31 untuk memperoleh data suhu dan kelembapan, serta perangkat aktuator seperti kipas, relay, dan mist maker untuk menyesuaikan kondisi iklim di kumbung.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan alat uji coba dalam kendali suhu dan kelembapan penerapan Adaptive PID menggunakan ESP32 dan sensor SHT31, dengan dukungan aktuator otomatis untuk mempertahankan kondisi lingkungan yang ideal bagi pertumbuhan jamur tiram. Selain mampu menjaga kestabilan kondisi lingkungan, sistem ini juga diharapkan dapat memberikan kemudahan dalam proses pemantauan dan pengendalian jarak jauh melalui platform IoT, sehingga mendapatkan pencapaian dalam efisiensi dan efektivitas dalam mengelola jamur tiram secara modern.

II. BAHAN DAN METODE

A. Internet Of Things (IOT)

Pada bagian ini dijelaskan bahan, perangkat, dan metode yang digunakan dalam penelitian untuk merancang serta membangun alat untuk monitoring serta mengendalikan suhu dan kelembapan menggunakan (IoT) pada kumbung jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*). Alat ini dikembangkan dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali utama dan algoritma Adaptive PID untuk menjaga kestabilan suhu serta kelembapan sesuai kondisi ideal pertumbuhan jamur (Setiawan, 2021; Rohmah, 2019)[6][7].

Penelitian ini mengadaptasi prinsip rancangan sistem kendali yang menerapkan kontrol PID berbasis IoT, kemudian dimodifikasi agar sesuai dengan karakteristik lingkungan kumbung jamur yang bersifat lebih lembap, dinamis, dan terbuka. Sistem ini terdiri atas beberapa tahap utama, yaitu perancangan arsitektur IoT, pengembangan perangkat keras (hardware), penerapan algoritma kontrol Adaptive PID, pembuatan aplikasi pemantauan berbasis Firebase, serta pengujian performa sistem pada lingkungan budidaya jamur tiram (Penulis, 2020; Fitriawan, 2020)[8][9].

Setiap tahapan saling terhubung untuk menciptakan sistem yang mampu menjaga suhu di kisaran 24–28 °C dan kelembapan antara 80–90% RH secara otomatis dan real time (Rohmah, 2019; Setiawan, 2021)[7][6]. Dengan demikian, sistem ini memiliki harapan bisa meringankan petani jamur dalam memantau dan mengendalikan kondisi kumbung secara jarak jauh melalui aplikasi seluler, sehingga efisiensi dan produktivitas budidaya jamur tiram dapat ditingkatkan (Fitriawan, 2020)[9].

B. Mikrokontroler ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler dengan kemampuan Wi-Fi dan Bluetooth yang sering digunakan pada aplikasi IoT karena memiliki performa tinggi dan efisiensi daya yang baik (Prabowo et al., 2024). Dalam sistem ini, ESP32 bertindak sebagai pengendali utama yang membaca data dari sensor suhu dan kelembapan, mengolahnya menggunakan algoritma kontrol PID, dan memberikan sinyal ke aktuator untuk menyesuaikan kondisi lingkungan kumbung jamur tiram agar tetap berada dalam rentang optimal.

C. Sensor Suhu dan Kelembapan

Pengaplikasian sensor SHT31 dalam penggunaan pengambilan data suhu serta kelembapan di lingkungan kumbung karena memiliki akurasi tinggi dan stabil terhadap perubahan lingkungan (Dakhole et al., 2023). Data dari sensor dikirimkan ke ESP32 untuk diproses dan digunakan sebagai umpan balik bagi sistem kontrol agar suhu dan kelembapan tetap berada dalam kisaran ideal yaitu 24–28 °C dan 80–90 % RH. Aktuator dan Komponen Pengendali

D. Algoritma Kontrol PID

Aktuator yang digunakan meliputi kipas, pemanas PTC, dan mist maker yang dikendalikan melalui relay oleh mikrokontroler. Kipas berfungsi untuk menurunkan suhu dan mengatur sirkulasi udara, pemanas menjaga kestabilan suhu saat kondisi terlalu dingin, dan mist maker meningkatkan kelembapan saat udara kering (Widyasmoro et al., 2023). Komponen ini bekerja secara otomatis sesuai perintah sistem PID yang diatur oleh ESP32.

E. Adaptive PID

Kontrol *Proportional–Integral–Derivative* (PID) merupakan metode pengendalian otomatis yang banyak digunakan karena mampu menjaga kestabilan sistem dengan respon yang cepat terhadap perubahan variabel proses (Zhou et al., 2023). Persamaan PID secara umum dituliskan sebagai:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

$e(t)$ sebagai selisih antara nilai aktual dan nilai yang diinginkan (setpoint). Dalam penerapan pada kumbung jamur tiram, PID berfungsi untuk menyesuaikan daya pemanas dan mist maker agar suhu serta kelembapan tetap berada dalam batas optimal secara stabil.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Gambaran Umum Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan dalam pencapaian perancangan serta meralisasikan alat dalam pengendalian suhu kelembapan berbasis (IoT) menggunakan metode PID (Proportional–Integral–Derivative) pada kumbung jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*).

Sistem diharapkan bisa mempertahankan kondisi lingkungan kumbung pada kisaran suhu 24–28 °C dan kelembapan 80–90% RH, yang merupakan kondisi ideal untuk pertumbuhan jamur tiram.

Proses penelitian dilakukan secara eksperimental dengan tahapan mulai dari observasi, perancangan perangkat keras dan lunak, implementasi, hingga pengujian performa sistem.

B. Tahapan Penelitian

Pada perancangan sistem pintar kelola suhu serta kelembapan pada kumbung jamur tiram, terdapat beberapa tahapan yang dilakukan agar alat dapat berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian.

Setiap tahap dilakukan secara sistematis mulai dari pengumpulan informasi, perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan lunak, hingga proses pengujian dan evaluasi kinerja sistem.

Tahapan lengkap proses penelitian bisa dilihat pada Gambar 1, memperlihatkan alur penelitian dari awal perencanaan hingga evaluasi akhir sistem pengendalian suhu dan kelembapan berbasis Internet of Things (IoT) dengan metode PID.



Gambar 1. Prosedur penelitian

C. Rancangan Perangkat Keras

Perangkat keras sistem terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terhubung untuk membentuk sistem kendali otomatis, seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dari Word (Diagram Blok Sistem).

Komponen utama yang digunakan:

Tabel 1. Rincian Alat

No	Alat dan Bahan	Unit
1	ESP 32	1 Unit
2	Sensor SHT31	1 Unit
3	OLED Display	1 Unit
4	Modul Relay 4Ch 5V	1 Unit
5	Kipas DC 12V	4 Unit
6	Mistmaker (Pengkabut)	2 Unit
7	Lampu Pijar	1 Unit
8	Power Supply 12V	1 Unit
9	Breadboard	1 Unit
10	Kabel Jumper	1 set
11	Kabel DC & Terminal	1 unit
12	Smartphone (dengan Blynk)	1

Sistem ini bekerja dengan prinsip bahwa data sensor dikirim ke ESP32 untuk diproses. Jika suhu dan kelembapan menyimpang dari setpoint, ESP32 mengaktifkan atau mematikan aktuator melalui relay secara otomatis.

D. Rancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak dikembangkan memakai software Arduino IDE dan C/C++. Algoritma PID digunakan untuk menghasilkan aksi kendali berdasarkan selisih antara nilai aktual dan nilai setpoint. Tahapan proses kerja sistem ditunjukkan pada Gambar 3 dari Word (Flowchart Sistem).

Rumus pengendalian PID yang digunakan adalah:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \left(\frac{de(t)}{dt} \right) \quad (1)$$

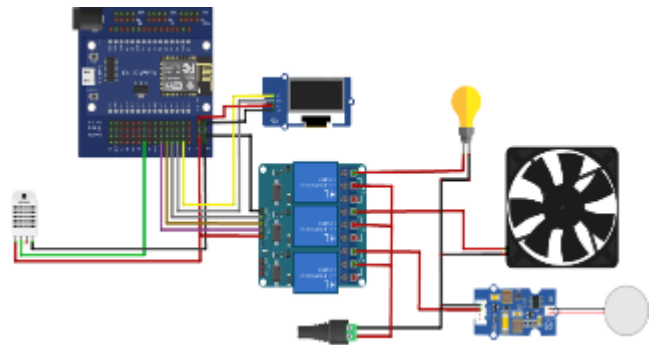
Keterangan:

- $e(t)$: selisih antara nilai setpoint dan nilai aktual,
- K_p : konstanta proporsional,
- K_i : konstanta integral,
- K_d : konstanta derivatif.

ESP32 akan menghitung nilai error dari suhu dan kelembapan aktual, lalu mengatur besar keluaran ke relay untuk menyalakan kipas, pemanas, atau mist maker.

E. Arsitektur IoT dan Integrasi Firebase

Sistem IoT yang dibangun mengirimkan data suhu dan kelembapan ke Firebase Realtime Database, yang kemudian dapat diakses melalui aplikasi mobile secara real time. Arsitektur ini dijelaskan pada Gambar 2 Arsitektur IoT, yang memperlihatkan koneksi antara sensor, ESP32, Firebase, dan antarmuka pengguna.



Gambar 2. Arsitektur IoT

F. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan untuk menilai tingkat kestabilan dan keakuratan sistem kendali PID dalam menjaga suhu serta kelembapan di kumbung jamur tiram. Pada tahapan saat ini, peneliti terlebih dahulu menetapkan nilai setpoint suhu sebesar 26 °C dan kelembapan 85% RH sebagai kondisi ideal pertumbuhan jamur. Setelah sistem dijalankan, dilakukan pemantauan terhadap perubahan suhu dan kelembapan yang ditampilkan secara real time melalui platform Firebase. Selanjutnya, diamati pula respon sistem ketika terjadi gangguan eksternal, seperti saat pintu kumbung dibuka, untuk menilai kemampuan sistem dalam menyesuaikan diri terhadap perubahan lingkungan. Selama proses pengamatan, data hasil pembacaan sensor dan waktu respon sistem dicatat secara berkala. Nilai hasil pengukuran tersebut kemudian dibandingkan dengan setpoint yang telah ditentukan untuk menghitung tingkat kesalahan (error) dan mengevaluasi performa sistem kendali PID secara keseluruhan.

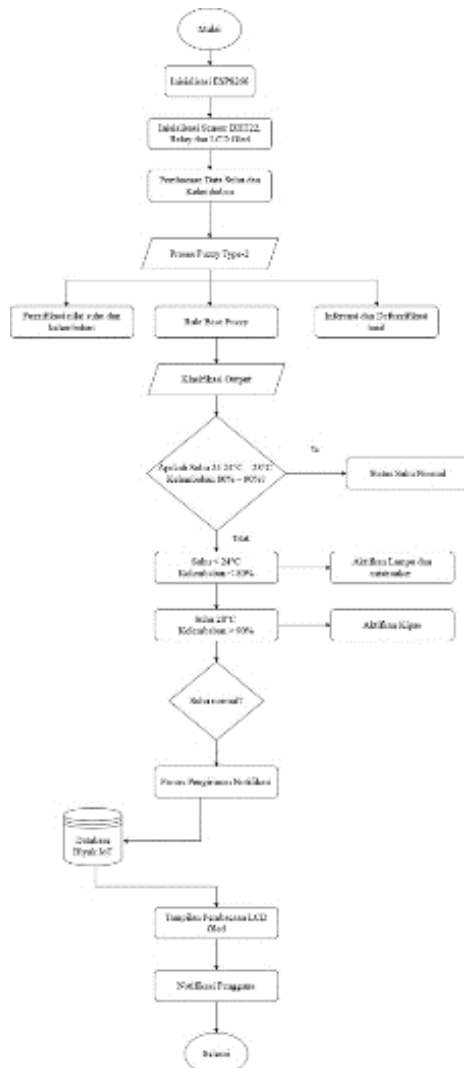
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan Sistem

Alat pengendali suhu dan kelembapan berbasis (IoT) dengan metode PID telah berhasil menyusun konsep menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor SHT31, dan aktuator berupa kipas, pemanas PTC, serta mist maker.

Seluruh komponen dirangkai sesuai dengan rancangan diagram blok sistem pada Gambar 2 dari Word. Sensor SHT31 berfungsi untuk mengukur suhu serta kelembapan di dalam kumbung jamur tiram, sedangkan ESP 32 mengolah data sensor dan menentukan aksi kendali menggunakan algoritma PID.

Hasil pengembangan sistem menunjukkan bahwa komunikasi antara perangkat berjalan baik, di mana data sensor dapat dikirim ke platform Firebase Realtime Database secara real time dan ditampilkan pada antarmuka aplikasi mobile. Tampilan antarmuka pemantauan ditunjukkan pada Gambar 5, yang menampilkan data suhu, kelembapan, serta status aktif atau nonaktif dari aktuator secara langsung.



Gambar 3 Workflow sistem

B. Perancangan Hardware

• Perancangan LCD

Gambar 4. Rangkaian perancangan LCD 16x2 pada sistem kendali suhu serta kelembapan.

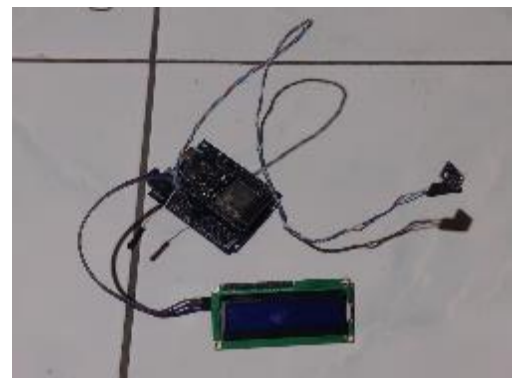
LCD berfungsi untuk menampilkan data suhu dan kelembapan hasil pembacaan sensor SHT31 secara real time. Komponen ini terhubung ke mikrokontroler ESP32 melalui komunikasi I2C sehingga memudahkan pemantauan langsung tanpa menggunakan aplikasi mobile.



Gambar 4. Rangkaian LCD dan ESP32

• Perancangan Sensor dan LCD

Rangkaian integrasi sensor SHT31 dan LCD 16x2 pada sistem kendali suhu dan kelembapan. Pada perancangan Gambar 5, sensor SHT31 membaca data suhu serta kelembapan pada kumbung, kemudian mengirimkan data tersebut ke mikrokontroler ESP32. Hasil pembacaan selanjutnya ditampilkan melalui LCD 16x2 sebagai indikator visual bagi pengguna untuk memantau kondisi lingkungan secara langsung.

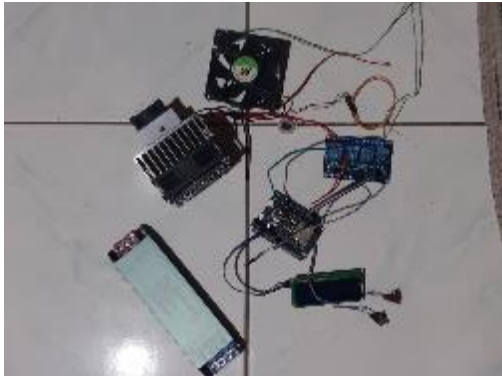


Gambar 5. Rangkaian LCD dan sensor SHT31

• Perancangan Keseluruhan

Rangkaian keseluruhan pada gambar 6 alat kendali suhu serta kelembapan di kumbung berbasis IoT dengan metode PID. Rangkaian ini terdiri atas ESP32 sebagai pusat kendali, sensor SHT31 sebagai input, relay sebagai penghubung aktuator, serta komponen pendukung seperti kipas, pemanas PTC, dan mist maker. Semua komponen dihubungkan dalam satu sistem terpadu yang mampu bekerja otomatis untuk menjaga suhu dan kelembapan pada kisaran ideal dan

pengiriman data untuk Firebase sebagai monitoring jarak jauh.



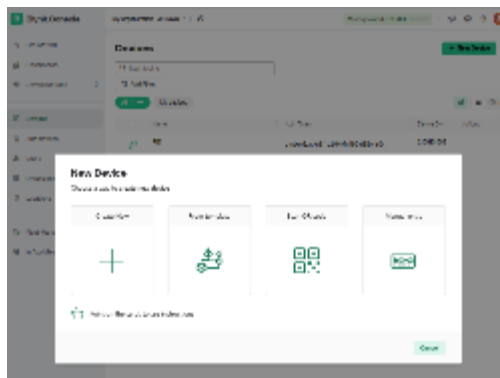
Gambar 6. Rangkaian alat secara keseluruhan

C. Perancangan Software

Pada rancangan yang telah dibuat, maka dihasilkan rangkaian *prototype software* sistem pengendali suhu serta kelembapan di kumbung berbasis IoT penerapan metode PID.

1. Konfigurasi Blynk

- Proses pembuatan template pada platform Blynk berfungsi sebagai kerangka utama dalam pengembangan proyek Internet of Things (IoT). Template ini memuat identitas unik yang menghubungkan perangkat IoT, seperti ESP32, NodeMCU, atau Arduino, dengan akun Blynk pengguna. Melalui template ini, sistem memperoleh parameter dasar yang dibutuhkan agar perangkat dapat terhubung dan berkomunikasi dengan server Blynk secara aman. Tahapan proses set up template dapat dilihat pada Gambar 7.

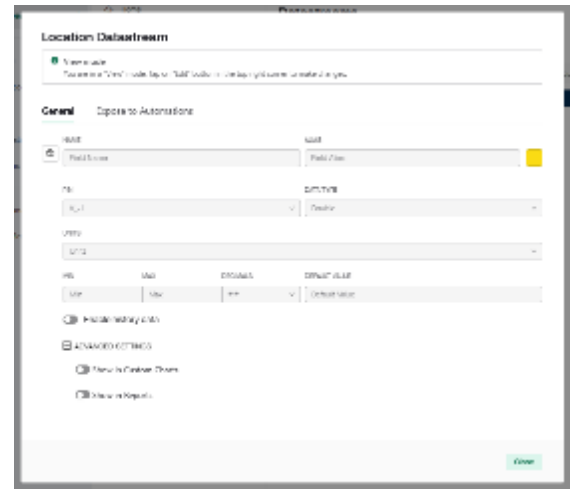


Gambar 7. Template BLYNK

- Set Up Datastream**
Fitur Datastream pada Blynk berperan sebagai pengatur aliran data antara perangkat IoT dan aplikasi pengguna. Dengan datastream, data hasil pembacaan sensor dapat dikirim, sementara perintah kontrol dari

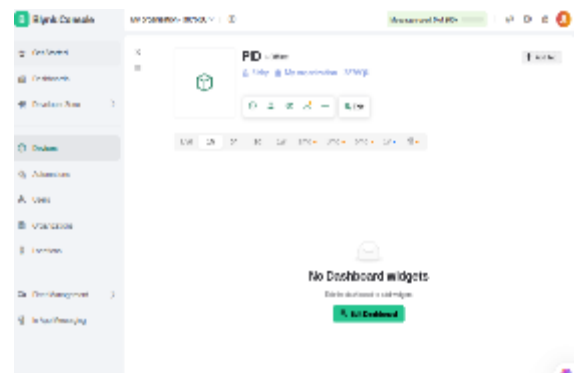
aplikasi dapat diterima secara real time. Setiap datastream dihubungkan dengan Virtual Pin (V0, V1, dan seterusnya) yang berfungsi sebagai alamat komunikasi data dalam program, sehingga pertukaran informasi antara perangkat dan dashboard menjadi lebih efisien serta terorganisir.

Tahapan set up datastream ditunjukkan pada Gambar 8.

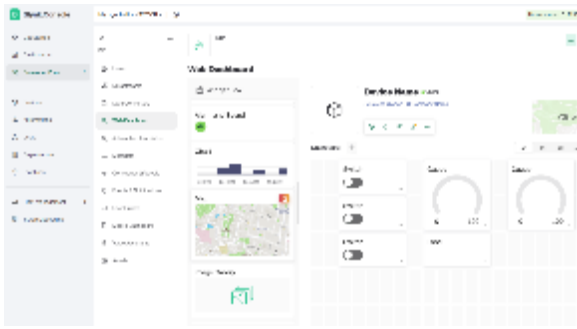


Gambar 8. Set Up Datastream

- Pembuatan Device dan Dashboard**
Tahap pembuatan device dan dashboard pada Blynk dilakukan untuk menghubungkan perangkat IoT dengan aplikasi serta menyediakan tampilan interaktif bagi pengguna. Device berfungsi sebagai representasi dari perangkat fisik (misalnya ESP32) yang telah dikaitkan dengan template dan datastream, sehingga mampu mengirim serta menerima data secara terintegrasi. Sementara itu, Dashboard digunakan untuk menampilkan informasi dari sensor dan mengontrol aktuator melalui berbagai widget seperti tombol, grafik, dan indikator. Dengan adanya device dan dashboard, pengguna dapat memantau kondisi sistem sekaligus melakukan pengendalian secara real time melalui aplikasi Blynk. Proses pembuatan device dan dashboard ditampilkan di Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Menu penambahan Dashboard

Gambar 10. Tampilan *dashboard*

Setelah semua proses set up selesai dilakukan pada platform Blynk, tahap selanjutnya adalah melakukan konfigurasi kode program agar perangkat IoT dapat terhubung ke platform tersebut. Konfigurasi ini mencakup pengisian token autentikasi, nama template, dan template ID pada kode sumber. Potongan kode konfigurasi dapat dilihat pada source code di bawah.

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID
"TMPL6WD63RFqp"

#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "PID"

#define BLYNK_AUTH_TOKEN
"BKUc2LC2pkVrZ3KU0DevU2o51W0IQnTz"
```

2. Konfigurasi *Wifi*

Fungsi dari konfigurasi WiFi adalah untuk menghubungkan perangkat IoT ke jaringan internet agar sistem dapat bertukar data secara nirkabel antara mikrokontroler ESP32, Firebase, dan aplikasi Blynk. Tanpa konfigurasi WiFi, perangkat tidak dapat mengirim data sensor suhu dan kelembapan maupun menerima perintah dari aplikasi. Konfigurasi jaringan dilakukan dengan memasukkan nama SSID dan kata sandi jaringan WiFi ke dalam program ESP32.

Konfigurasi koneksi WiFi dapat dilihat pada source code berikut:

```
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>

char ssid[] = "Coffee_Ground"; // Nama jaringan
WiFi

char pass[] = "GreaterEver"; // Password jaringan
WiFi

void setup() {
  Serial.begin(115200);
```

```
WiFi.begin(ssid, pass);

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  delay(500);
  Serial.print(".");
}

Serial.println("\nKoneksi WiFi Berhasil");
}
```

3. Implementasi PID

Fungsi penerapan metode PID (*Proportional-Integral-Derivative*) adalah untuk pengoperasian suhu serta kelembapan di kumbung agar tetap berada dalam rentang ideal pertumbuhan, yaitu 24–28 °C untuk suhu dan 80–90% RH untuk kelembapan. Metode ini bekerja dengan menghitung selisih (error) antara nilai aktual hasil pembacaan sensor dan nilai setpoint, kemudian menghasilkan aksi kendali berupa sinyal yang menentukan kapan kipas, pemanas, atau mist maker harus aktif.

Secara umum, persamaan kontrol PID dituliskan sebagai berikut:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \left(\frac{de(t)}{dt} \right) \quad (1)$$

Keterangan:

- $e(t)$ = error, selisih antara nilai setpoint dan pembacaan sensor
- K_p = konstanta proporsional
- K_i = konstanta integral
- K_d = konstanta derivatif

Tahapan implementasi metode PID terdiri dari tiga langkah utama berikut.

a. Pembacaan Sensor dan Perhitungan Error

Tahap pertama adalah membaca data suhu dan kelembapan dari sensor SHT31, lalu menghitung selisih antara nilai aktual dengan setpoint yang ditentukan. Nilai selisih inilah yang akan menjadi dasar perhitungan PID.

```
#include "Adafruit_SHT31.h"
Adafruit_SHT31 sht31 = Adafruit_SHT31();

float suhu, kelembapan;
float setSuhu = 26.0;
```

```
float setKelembapan = 85.0;

void loop() {
    suhu = sht31.readTemperature();
    kelembapan = sht31.readHumidity();
    float errorSuhu = setSuhu - suhu;
    float errorKelembapan = setKelembapan - kelembapan;
}
```

b. Perhitungan Nilai PID

Tahap ini menghitung keluaran kendali berdasarkan tiga komponen utama, yaitu Proportional (P), Integral (I), dan Derivative (D), yang masing-masing berperan dalam menentukan tingkat respon sistem terhadap perubahan nilai error dari waktu ke waktu.

Nilai PID yang dihasilkan akan digunakan untuk menentukan aksi aktuator.

```
float Kp = 2.5;
float Ki = 0.3;
float Kd = 0.8;

float errorSuhu, lastErrorSuhu, integralSuhu,
derivativeSuhu, outputSuhu;

void hitungPID() {
    errorSuhu = setSuhu - suhu;
    integralSuhu += errorSuhu;
    derivativeSuhu = errorSuhu - lastErrorSuhu;

    outputSuhu = (Kp * errorSuhu) + (Ki * integralSuhu) +
(Kd * derivativeSuhu);
    lastErrorSuhu = errorSuhu;
}
```

c. Pengendalian Akuator

Nilai keluaran dari PID digunakan untuk mengaktifkan atau menonaktifkan perangkat aktuator seperti kipas, pemanas PTC, dan mist maker agar suhu dan kelembapan tetap berada di kisaran setpoint.

```
int kipas = 26;
int pemanas = 27;
int mistMaker = 25;

void kontrolAktuator() {
```

```
if (outputSuhu > 0.5) {
    digitalWrite(kipas, HIGH);
    digitalWrite(pemanas, LOW);
} else if (outputSuhu < -0.5) {
    digitalWrite(pemanas, HIGH);
    digitalWrite(kipas, LOW);
} else {
    digitalWrite(kipas, LOW);
    digitalWrite(pemanas, LOW);
}

// Kontrol kelembapan
if (kelembapan < setKelembapan - 3) {
    digitalWrite(mistMaker, HIGH);
} else if (kelembapan > setKelembapan + 3) {
    digitalWrite(mistMaker, LOW);
}
}
```

D. Hasil Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan dengan menetapkan setpoint suhu sebesar **26°C** dan kelembapan **85% RH**. Data hasil pembacaan sensor dibandingkan dengan nilai setpoint untuk menilai kestabilan sistem.

Tabel berikut menunjukkan hasil rata-rata pengujian selama periode pengamatan:

Parameter	Setpoint	Nilai (Rata-rata)	Aktual (Rata-rata)	Deviasi Maksimum	Steady-State Error	Keterangan
Suhu	26°C	25.9°C		±1.0°C	1.8%	Stabil
Kelembapan	85% RH	84.5% RH		±3%	2.3%	Stabil

Untuk mengetahui akurasi sistem, digunakan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$Akurasi = \left(1 - \frac{|x_{set} - x_{aktual}|}{x_{set}}\right) \times 100\% \quad (2)$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa sistem memiliki:

- Akurasi suhu sebesar **98.2%**
- Akurasi kelembapan sebesar **97.7%**

Nilai akurasi di atas 97% menunjukkan sistem bekerja secara konsisten dalam mempertahankan kondisi lingkungan yang diinginkan.

Dari hasil pengujian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa sistem kendali suhu dan kelembapan berbasis IoT menggunakan metode PID berhasil menjaga mikroklimat kumbung jamur tiram dalam kondisi optimal. Sistem memiliki akurasi di atas 97%, respon kendali cepat, dan kestabilan yang baik. Hal ini membuktikan rancangan sistem telah berfungsi sesuai tujuan penelitian serta mendukung penerapan konsep *smart farming* yang efisien dan adaptif terhadap perubahan lingkungan.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini mengembangkan sistem otomatis untuk mengendalikan suhu serta kelembapan di kumbung jamur berbasis (IoT) dengan menerapkan metode Proportional–Integral–Derivative (PID) pada mikrokontroler ESP32. Alat yang bangun dapat memantau situasi lingkungan secara real-time dengan sensor SHT31, serta mengatur kerja aktuatur berupa kipas, pemanas, dan mist maker guna menjaga suhu dan kelembapan tetap stabil dalam kisaran ideal bagi pertumbuhan jamur tiram putih, yaitu suhu antara 24–28°C dan kelembapan 80–90% RH.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma PID mampu memberikan respon cepat terhadap perubahan kondisi lingkungan, dengan rata-rata steady-state error di bawah $\pm 2\%$. Integrasi dengan aplikasi Blynk memungkinkan pemantauan jarak jauh yang responsif dan mudah diakses melalui perangkat mobile. Dengan demikian, sistem ini terbukti efektif, adaptif, dan efisien dalam menjaga kestabilan mikroklimat kumbung jamur, sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap pengawasan manual oleh petani.

Penerapan sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi energi dan produktivitas budidaya jamur, tetapi juga membuka peluang pengembangan lebih lanjut menuju konsep smart farming yang cerdas dan berkelanjutan melalui integrasi dengan teknologi machine learning untuk optimasi parameter kontrol secara otomatis di masa mendatang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis memanjatkan rasa syukur ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik. Ucapan terima kasih yang tulus penulis sampaikan kepada dosen pembimbing atas segala bimbingan dan arahnya, serta kepada keluarga dan sahabat yang selalu memberikan doa, semangat, dan dukungan moral selama proses penelitian berlangsung. Melalui bantuan dan dukungan dari berbagai pihak tersebut, penelitian mengenai sistem kendali suhu kelembapan

kumbung berbasis (IoT) dengan metode PID ini dapat terealisasi dengan baik dan diharapkan mampu memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan teknologi smart farming yang lebih efisien dan berkelanjutan.

REFERENSI

- [1] D. Dakhole, T. Subramanian, and G. S. Kumaran, "A novel approach for an outdoor oyster mushroom cultivation using a smart IoT-based adaptive neuro fuzzy controller," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 14, no. 5, pp. 973–981, 2023, [Online]. Available: https://thesai.org/Downloads/Volume14No5/Paper_101-A_Novel_Approach_for_an_Outdoor_Oyster_Mushroom_Cultivation.pdf
- [2] et al. Widyasmoro, "Application of Internet of Things (IoT) technology to KWT 'Sido Makmur' oyster mushroom cultivation," *Berdikari J. Inov. dan Penerapan IPTEKS*, vol. 11, no. 1, pp. 26–41, 2023, [Online]. Available: <https://journal.umy.ac.id/index.php/berdikari/article/download/18325/8304/68322>
- [3] H. Afandi, "Rancang bangun penyiram otomatis budidaya jamur tiram dengan pemantauan suhu dan kelembapan udara berbasis pemrograman Arduino & CV-AVR (CodeVision AVR)," 2016.
- [4] S. Patel, S. Kumar, and A. Sharma, "Internet of thing based automatic temperature and humidity control system for agricultural applications," *J. Technol. Eng.*, vol. 19, no. 2, pp. 45–57, 2023.
- [5] Y. Zhou, J. Li, and X. Wang, "Adaptive PID control strategy for temperature and humidity regulation in smart farming," *J. Agric. Informatics*, vol. 12, no. 3, pp. 78–90, 2023.
- [6] M. A. Setiawan, "Pengendali suhu, kelembapan, dan cahaya berbasis Arduino dan IoT pada kumbung jamur tiram," *SmartComp J. Smart Comput. Technol.*, 2021, [Online]. Available: <https://ejournal.poltekharber.ac.id/index.php/smartcomp/article/view/2277>
- [7] A. Rohmah, "Sistem kendali dan akuisisi data suhu serta kelembapan ruang budidaya jamur tiram berbasis Internet of Things (IoT)," *ELinvo J.*, 2019, [Online]. Available: <https://scholarhub.uny.ac.id/cgi/viewcontent.cgi?article=1084&context=elinvo>
- [8] A. S. Penulis, "Sistem monitoring dan control suhu kelembapan pada budidaya jamur tiram berbasis Internet of Things (IoT)," *Zetroem J.*, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal.unibabwi.ac.id/index.php/Zetroem/article/download/1254/833>
- [9] H. Fitriawan, "Pengendalian suhu dan kelembapan pada budidaya jamur tiram secara realtime menggunakan ESP8266," *J. Fis. FLUX*, vol. 1, no. 1, pp. 6–12, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/JTP/article/view/3761>