

Implementasi Proportional-Integral-Derivative pada Sistem Kontrol Suhu dan Kelembapan Vivarium Berbasis IoT

Bamaramzy Rakan Faishal¹, Henni Endah Wahanani^{2*}, Retno Mumpuni³

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

¹122081010056@student.upnjatim.ac.id

³retnomumpuni.if@upnjatim.ac.id

²Informatika, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

*Corresponding author email: henniendah.if@upnjatim.ac.id

Abstrak— Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sistem kontrol otomatis pada ekosistem buatan atau vivarium berbasis Internet of Things (IoT) dengan metode Proportional Integral Derivative (PID) sebagai pengendali suhu, kelembapan udara, dan kelembapan media tanam. Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor DHT22 dan YL-69, serta aktuator berupa elemen pendingin Peltier, mist maker, dan pompa untuk penyiraman otomatis. Pengujian dilakukan secara berkelanjutan selama 10 hari dengan setpoint suhu 24,0°C, kelembapan udara 80% RH, dan kelembapan media tanam 70%. Hasil pengujian menunjukkan suhu udara berhasil dipertahankan pada rentang 23,6°C–24,4°C dengan rata-rata 24,18°C, kelembapan udara pada rentang 76%–81% RH dengan rata-rata 79,38% RH, serta kelembapan media tanam pada rentang 69%–71% dengan rata-rata 70,01%. Dibandingkan dengan kontrol konvensional on-off, metode PID menunjukkan transisi parameter yang lebih halus dengan lonjakan nilai (overshoot) yang minimal. Sistem juga dilengkapi dengan platform IoT Blynk yang memungkinkan pemantauan data secara real-time dan jarak jauh melalui jaringan internet.

Kata Kunci—Internet of Things, Vivarium, Proportional Integral Derivative, ESP32, Sistem Kontrol, Otomatisasi

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pemanfaatan teknologi IoT (Internet of Things) telah menjadi basis fundamental dalam mewujudkan mekanisme otomatisasi yang berdaya guna tinggi. Hal ini dicapai melalui kapabilitas antarperangkat digital untuk saling terhubung dan mendistribusikan data secara berkesinambungan melalui koneksi internet. Secara struktural, sistem IoT terdiri dari komponen perangkat keras seperti sensor dan mikrokontroler untuk pengumpulan data, perangkat lunak untuk analisis informasi, serta layanan cloud untuk pemrosesan data secara langsung [1], [2]. Arsitektur ini mencakup physical layer (sensor dan aktuator), network layer (konektivitas Wi-Fi/Bluetooth), dan application layer yang memfasilitasi interaksi pengguna dengan sistem. Dalam pengaplikasiannya, IoT telah terbukti efektif dalam pengelolaan lingkungan dan pemantauan industri untuk meningkatkan efisiensi operasional [3], [4].

Penerapan IoT dalam pemantauan lingkungan mikro terbukti sangat efektif untuk menjaga parameter ideal secara jarak jauh

[1]. Melalui integrasi platform seperti Blynk, data yang diperoleh dari sensor diproses secara langsung oleh mikrokontroler dan dikirimkan ke server agar dapat diawasi oleh pengguna melalui perangkat pintar. Teknologi ini memungkinkan adanya mitigasi risiko melalui pengawasan berkelanjutan terhadap variabel fisik yang dinamis [5].

Dalam konteks replikasi habitat, vivarium merupakan sebuah ekosistem buatan dalam wadah tertutup yang dirancang untuk mensimulasikan lingkungan alami secara presisi bagi komponen hayati di dalamnya [6]. Fokus utama dalam pengembangan vivarium adalah menjaga keseimbangan parameter fisik seperti suhu udara, kelembapan udara, serta kelembapan media tanam agar tetap stabil [7]. Pengaturan kondisi lingkungan mikro ini menjadi fondasi penting untuk mewujudkan sebuah sistem ekosistem buatan yang sehat dan berkelanjutan dengan intervensi manusia yang minimal. Kegagalan dalam menjaga stabilitas parameter tersebut dapat mengganggu siklus biologis dan merusak stabilitas ekosistem secara keseluruhan [8].

Guna menjamin akurasi kontrol pada lingkungan mikro tersebut, diperlukan metode kendali otomatis yang responsif seperti Proportional-Integral-Derivative (PID). Mekanisme kendali PID beroperasi melalui integrasi tiga parameter fundamental, yaitu Proportional (Kp), Integral (Ki), dan Derivative (Kd), guna merumuskan sinyal kontrol yang dibutuhkan. Implementasi algoritma ini difokuskan untuk mengondisikan keluaran sistem agar selaras dengan titik referensi (setpoint) serta menjaga stabilitasnya pada tingkat presisi yang optimal [9]. Dengan sinergi ketiga komponen tersebut, sistem mampu mengelola respons secara efektif, mengurangi kesalahan (error), dan meningkatkan stabilitas operasional perangkat [10].

Berdasarkan tinjauan terhadap teknologi yang ada, integrasi metode PID menawarkan keunggulan signifikan dibandingkan metode kontrol konvensional on-off. Kendali PID mampu meminimalkan lonjakan nilai (overshoot) yang sering terjadi pada sistem sensitif, sehingga menciptakan transisi parameter yang lebih halus. Diharapkan, pada penelitian ini sistem tidak hanya mampu meningkatkan presisi kontrol lingkungan mikro, tetapi juga memberikan solusi bagi pengelolaan ekosistem buatan yang membutuhkan perawatan minimal namun tetap terjaga kualitas stabilitasnya secara real-time.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang arsitektur IoT berbasis mikrokontroler ESP32 untuk pemantauan parameter suhu dan kelembapan pada vivarium?
2. Bagaimana mengintegrasikan teknologi IoT agar proses pemantauan seluruh parameter suhu dan kelembapan dapat dilakukan secara real-time dan jarak jauh?
3. Bagaimana efektivitas implementasi algoritma PID dalam menjaga akurasi stabilitas suhu dan kelembapan guna menjamin keberlangsungan kondisi mikro lingkungan yang ideal?

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Internet of Things

Internet of Things (IoT) adalah teknologi yang memungkinkan perangkat elektronik untuk saling terhubung dan berbagi data melalui jaringan internet guna menciptakan sistem otomatisasi yang efisien. Arsitektur sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu perangkat keras seperti sensor dan mikrokontroler untuk pengumpulan data, perangkat lunak untuk pemrosesan informasi, serta layanan cloud untuk pengolahan data secara langsung [1]. Secara struktural, IoT terbagi menjadi beberapa lapisan, meliputi Physical Layer, Network Layer, serta Application Layer yang menghubungkan lapisan fisik dan jaringan untuk memfasilitasi interaksi antara pengguna dan sistem [3].

B. Vivarium

Vivarium merupakan sebuah wadah tertutup yang dirancang untuk mereplikasi habitat alami secara presisi guna mendukung kehidupan satu atau lebih filum tanaman serta organisme hidup [11]. Dalam pengelolaannya, sistem ini berfokus pada keseimbangan biologis serta kondisi lingkungan yang mendukung kenyamanan organisme melalui kontrol kualitas parameter lingkungan mikro secara akurat [7]. Parameter utama dalam vivarium meliputi suhu, kelembaban udara, dan kelembaban media tanam. Suhu berperan krusial karena memengaruhi metabolisme dan stabilitas ekosistem secara langsung [8]. Kelembaban udara berpengaruh pada kesehatan flora serta aktivitas mikroorganisme dekomposer dalam siklus nutrisi [12]. Sementara itu, kelembaban media tanam menggambarkan kandungan air dalam substrat yang memengaruhi hidrasi bagi flora dan mikroorganisme [13].

C. Proportional-Integral-Derivative

Proportional Integral Derivative (PID) adalah metode kontrol otomatis yang mengombinasikan tiga komponen utama: Proportional (K_p), Integral (K_i), dan Derivative (K_d) [10], [14]. Komponen Proportional memberikan respons yang sebanding dengan besarnya error saat ini guna mempercepat respons sistem. Komponen Integral berfungsi menghilangkan steady-state error dengan mengakumulasi error seiring waktu agar sistem mencapai target secara tepat. Komponen Derivative

berperan dalam mengantisipasi perubahan dengan memperhatikan laju perubahan galat guna membantu mengurangi overshoot dan meningkatkan stabilitas sistem [15].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen rekayasa (experimental research) yang bertujuan untuk merancang, membangun, dan menguji sistem kontrol parameter lingkungan pada vivarium berbasis IoT menggunakan metode Proportional Integral Derivative (PID) sebagai pengendali suhu dan kelembapan secara otomatis dan presisi. Gambaran umum metodologi yang digunakan dalam penelitian ini mengikuti alur sistematis yang menjelaskan tahapan-tahapan penelitian mulai dari proses observasi, perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, hingga diperolehnya hasil akhir. Setiap tahapan saling berhubungan dan tersusun secara terstruktur untuk memastikan pencapaian tujuan penelitian dilakukan secara terarah dan efisien.



Gambar 1 Alur Penelitian

A. Observasi

Tahapan observasi dilakukan melalui proses pengumpulan data dan informasi yang relevan melalui studi literatur dari berbagai sumber terpercaya seperti artikel ilmiah dan buku.

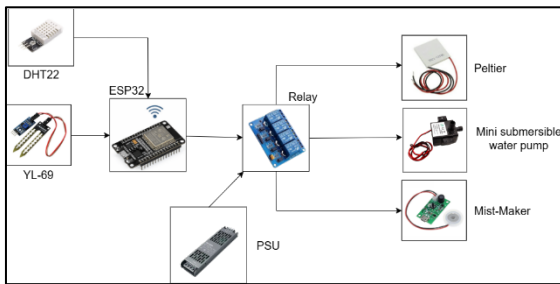


Gambar 2 Alat yang digunakan

Fokus utama dalam tahap ini adalah melakukan analisis terhadap kebutuhan iklim tropis yang memerlukan stabilitas suhu dan kelembapan tinggi, serta mengidentifikasi masalah teknis pada sistem kendali konvensional yang sering mengalami fluktuasi kasar. Hasil observasi ini menjadi dasar dalam menentukan spesifikasi perangkat keras dan parameter target pada algoritma kontrol.

B. Perancangan Perangkat Keras

Gambar 2 di atas menjelaskan skema rangkaian sistem kontrol iklim vivarium berbasis IoT. Sumber daya utama berasal dari power supply 12V yang memiliki dua jalur distribusi utama, yaitu untuk menyuplai daya ke aktuator Peltier dan Heater, serta untuk modul buck converter 12V–5V yang berfungsi menurunkan tegangan menjadi 5V guna menyuplai daya ke mikrokontroler ESP32 dan modul relay. Modul relay 5V berperan sebagai saklar otomatis yang diatur oleh pin GPIO16 pada ESP32 untuk mengendalikan arus menuju Peltier dan Heater secara presisi sesuai dengan kondisi suhu yang terdeteksi di dalam wadah vivarium.



Gambar 3 Skema Perangkat Keras

Sementara itu, sensor DHT22 terhubung ke pin GPIO4 ESP32 dan berfungsi untuk mengukur suhu serta kelembapan lingkungan di dalam ruang vivarium, dengan suplai daya 3.3V yang bersumber dari ESP32. Seluruh komponen elektronik dihubungkan menggunakan referensi Ground (GND) bersama agar sistem memiliki referensi tegangan yang seragam dan stabil guna meminimalisir gangguan sinyal pada proses pembacaan data. Dengan konfigurasi perangkat keras ini, ESP32 dapat secara otomatis mengatur intensitas kerja Peltier untuk pendinginan dan Heater untuk pemanasan berdasarkan umpan balik data suhu dan kelembapan dari sensor, sehingga kondisi iklim tetap berada pada rentang optimal.

C. Perancangan Perangkat Lunak

Tahap perancangan software melibatkan pengembangan logika pemrograman pada mikrokontroler untuk menjalankan algoritma PID. Logika ini dirancang untuk memproses data dari sensor secara real-time dan menghitung sinyal kontrol berdasarkan error yang terdeteksi agar aktuator bekerja secara responsif dalam mengejar nilai target. Selain itu, perancangan ini mencakup konfigurasi komunikasi antara ESP32 dengan

platform Blynk sebagai antarmuka IoT, sehingga seluruh data parameter dapat dipantau secara jarak jauh melalui website.

Tabel 1 menjelaskan alur kerja sistem dalam proses pengendalian parameter lingkungan mikro pada vivarium menggunakan metode Proportional Integral Derivative (PID). Proses ini dimulai dari pembacaan data oleh sensor DHT22 dan YL-69, dilanjutkan dengan pemrosesan perhitungan error terhadap nilai target oleh mikrokontroler ESP32, hingga pengambilan keputusan untuk mengatur daya keluaran aktuator (seperti Peltier, Heater, Mist Maker, dan Pompa) berdasarkan sinyal kontrol yang dihasilkan dari algoritma PID. Dengan rancangan perangkat lunak tersebut, sistem mampu menjaga stabilitas suhu, kelembapan udara, dan kelembapan media tanam secara otomatis.

TABEL I
ALUR SISTEM

No	Proses	Respon Sistem
1	Pembacaan sensor DHT22 (suhu dan kelembapan udara) dan YL-69 (kelembapan Media Tanam).	Data parameter lingkungan mikro dikirim ke ESP32 secara real-time.
2	ESP32 menghitung error antara nilai aktual sensor dengan set-point yang ditentukan.	Menghasilkan nilai konstanta K_p , K_i , dan K_d untuk menentukan sinyal kontrol.
3	Pengaturan daya PWM (Pulse Width Modulation) pada aktuator berdasarkan hasil perhitungan PID.	Peltier/Heater: Aktif untuk suhu. Mist Maker: Aktif untuk kelembapan udara. Pompa: Aktif untuk kelembapan tanah.
4	Transmisi data hasil pemrosesan ke platform Blynk melalui jaringan Wi-Fi.	Pengguna dapat data parameter melalui website.

D. Perancangan Perangkat Lunak

Pengujian kinerja sistem kontrol lingkungan mikro berbasis Proportional Integral Derivative (PID) pada ruang vivarium dilakukan dengan mengamati respons sistem terhadap dinamika perubahan suhu, kelembapan udara, dan kelembapan media tanam. Pengujian ini mencakup verifikasi fungsionalitas aktuator, seperti Peltier, heater, mist maker, dan pompa peristaltik, agar bekerja secara sinkron sesuai dengan sinyal kontrol yang dihasilkan oleh algoritma PID, serta memastikan seluruh parameter lingkungan tetap berada dalam rentang target yang telah ditentukan. Selain itu, dilakukan analisis terhadap data hasil pengujian untuk mengevaluasi efektivitas kendali PID dalam menjaga kestabilan iklim serta menilai keandalan operasional sistem secara nyata dan real-time. Hasil

analisis ini menjadi landasan utama dalam penarikan kesimpulan mengenai kapabilitas sistem dalam mendukung terciptanya kondisi ekosistem buatan yang stabil, sehat, dan berkelanjutan.

E. *Tuning Parameter PID*

Penentuan nilai parameter K_p , K_i , dan K_d pada penelitian ini dilakukan secara manual melalui metode trial and error, dengan mengamati respons sistem terhadap perubahan nilai masing-masing parameter. Proses tuning dimulai dengan menetapkan nilai K_p untuk mendapatkan respons dasar sistem, kemudian nilai K_i ditambahkan secara bertahap untuk mengurangi steady-state error, dan nilai K_d disesuaikan untuk meredam lonjakan nilai yang muncul akibat perubahan nilai K_p dan K_i . Proses ini dilakukan secara berulang hingga diperoleh respons sistem yang stabil dengan overshoot minimal dan waktu menuju kestabilan yang relatif singkat. Nilai parameter PID final yang digunakan pada penelitian ini adalah $K_p=9,04$, $K_i=0,72$, dan $K_d=35,10$ untuk kendali suhu udara pada aktuator Peltier; $K_p=34,48$, $K_i=1,15$, dan $K_d=0,00$ untuk kendali kelembapan udara pada aktuator mist maker; serta $K_p=32,35$, $K_i=0,00$, dan $K_d=3,74$ untuk kendali kelembapan media tanam pada aktuator pompa.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

"Bagian ini memaparkan hasil implementasi arsitektur monitoring suhu dan kelembapan yang menghubungkan mikrokontroler ESP32 dengan sensor DHT22 dan YL-69, serta menggunakan Blynk Cloud sebagai media observasi jarak jauh. Evaluasi sistem dilakukan untuk memastikan fungsionalitas perangkat dalam memberikan respon cepat terhadap perubahan variabel lingkungan melalui keterpaduan komponen hardware dan algoritma kontrol PID yang telah dirancang.

A. *Perancangan Perangkat Keras*

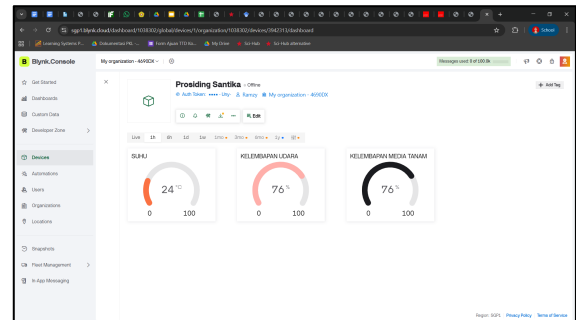


Gambar 4 Rangkaian Alat

Gambar 4 memperlihatkan rangkaian alat sistem pengendali suhu dan kelembapan otomatis berbasis IoT yang telah dirakit secara keseluruhan. Komponen utama yang terintegrasi meliputi mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pemrosesan, modul relay sebagai saklar otomatis, sensor DHT22 untuk suhu dan kelembapan udara, sensor YL-69 untuk kelembapan media tanam, serta aktuator yang terdiri dari elemen pendingin Peltier,

heater, mist maker, dan pompa peristaltik. Sumber daya utama sistem berasal dari power supply 12V yang didistribusikan melalui buck converter untuk menyuplai tegangan 5V bagi ESP32, sementara jalur 12V digunakan langsung untuk menggerakkan aktuator melalui kontrol relay.

B. *Perancangan Perangkat Lunak*



Gambar 5 Tampilan Blynk

Platform pemantauan jarak jauh pada penelitian ini menggunakan Blynk sebagai antarmuka IoT. ESP32 mengirimkan data suhu, kelembapan udara, dan kelembapan media tanam ke server Blynk melalui jaringan Wi-Fi. Apabila koneksi Wi-Fi terputus, sistem secara otomatis melakukan upaya penyambungan ulang setiap 30 detik tanpa mengganggu proses kendali PID yang berjalan secara lokal pada mikrokontroler. Tampilan antarmuka pada dashboard Blynk dirancang untuk memvisualisasikan data sensor secara real-time dalam bentuk indikator gauge dan grafik historis. Melalui fitur pemantauan daring ini, pengguna dapat mengawasi perubahan suhu dan kelembapan lingkungan mikro dari mana saja selama terhubung dengan jaringan internet. Selain sebagai media monitoring, dashboard ini juga berfungsi sebagai pusat notifikasi apabila terjadi anomali pada parameter lingkungan yang telah ditentukan.

C. *Parameter Performa Sistem*

Evaluasi performa sistem kontrol PID dilakukan dengan mengukur tiga indikator utama, yaitu overshoot, settling time, dan error steady-state. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kontrol PID berhasil menekan lonjakan nilai pada ketiga parameter lingkungan hingga 0%. Pada parameter suhu udara, sistem mencapai kestabilan dalam kurun waktu sekitar 6 jam dengan error steady-state sebesar $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ terhadap setpoint. Pada parameter kelembapan udara, sistem mencapai kestabilan dalam waktu sekitar 30 menit dengan error steady-state sebesar $\pm 4\%$ RH. Sementara itu, pada parameter kelembapan media tanam, sistem mencapai kestabilan dalam waktu sekitar 60 menit dengan error steady-state sebesar $\pm 1\%$. Hasil ini menunjukkan bahwa metode kontrol PID mampu menjaga stabilitas parameter lingkungan dengan error yang relatif kecil terhadap setpoint yang ditetapkan.

D. *Perbandingan dengan Kontrol On-Off*

Sebagai pembandingan, dilakukan analisis terhadap kontrol on-off konvensional tanpa komponen proporsional, integral, maupun derivative, di mana aktuator hanya dikendalikan oleh ambang batas tunggal. Tabel II menunjukkan perbandingan performa antara kedua metode kontrol tersebut.

TABEL II
PERBANDINGAN KONTROL PID DAN ON-OFF

Indikator	Kontrol On-Off	Kontrol PID
Overshoot	Tinggi, dapat melebihi 1°C	0%
Settling Time	Lebih lambat	Lebih cepat
Frekuensi Switching Relay	Tinggi	Rendah

Berdasarkan Tabel II, kontrol PID menunjukkan keunggulan dibandingkan kontrol on-off konvensional, khususnya dalam menekan overshoot dan mengurangi frekuensi switching relay yang dapat memperpanjang usia pakai aktuator.

E. Kode Program

```

Kode Program 1
#define DHTPIN 4
#define DHTTYPE DHT22
#define RELAY_PELTIER 16
#define RELAY_MIST 17
#define RELAY_PUMP 18

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

double setpointSuhu = 24.0;
double Kp = 9.04, Ki = 0.72, Kd = 35.10;
double errSuhu, lastErr, integral;

```

Kode Program 1 mendefinisikan pin yang digunakan untuk relay Peltier, mist maker, dan pompa, serta inisialisasi objek sensor DHT22. Baris terakhir mendefinisikan setpoint suhu sebesar 24,0°C beserta parameter Kp, Ki, dan Kd hasil tuning manual yang digunakan sebagai dasar perhitungan sinyal kontrol.

```

Kode Program 2
double computePID(double sp, double pv) {
    double err = pv - sp;
    integral += err;
    double deriv = err - lastErr;
    double out = Kp*err + Ki*integral +
    Kd*deriv;
    lastErr = err;
    return out;
}

```

Fungsi `computePID()` pada Kode Program 2 merepresentasikan persamaan PID standar. Komponen proporsional dihitung dari error saat ini (`err`), komponen integral diakumulasikan dari seluruh error sebelumnya (`integral`), dan komponen derivative dihitung dari selisih

error terhadap iterasi sebelumnya (`deriv`). Ketiga komponen dijumlahkan dengan bobot masing-masing untuk menghasilkan sinyal kontrol `out`.

```

Kode Program 3
void controlSuhu() {
    float suhu = dht.readTemperature();
    errSuhu = suhu - setpointSuhu;
    double out = computePID(setpointSuhu,
    suhu);

    if (out > 0) {
        digitalWrite(RELAY_PELTIER, HIGH);
    } else {
        digitalWrite(RELAY_PELTIER, LOW);
    }
}

```

Fungsi `controlSuhu()` pada Kode Program 3 membaca nilai suhu dari sensor DHT22, menghitung keluaran PID melalui fungsi `computePID()`, kemudian mengaktifkan relay Peltier apabila nilai keluaran PID bernilai positif yang menandakan suhu aktual berada di atas setpoint.

```

Kode Program 4
void sendToBlynk() {
    Blynk.virtualWrite(V0, suhu);
    Blynk.virtualWrite(V1, errSuhu);
}

```

Fungsi `sendToBlynk()` pada Kode Program 4 mengirimkan nilai suhu aktual dan error suhu ke platform Blynk melalui virtual pin V0 dan V1, sehingga dapat dipantau secara real-time melalui aplikasi pada perangkat pintar pengguna.

Secara keseluruhan, sistem kontrol lingkungan mikro berbasis IoT dengan metode PID telah berhasil dirancang untuk menjaga kestabilan suhu dan kelembapan vivarium sesuai dengan rentang parameter yang telah ditetapkan. Hasil pengujian pada tingkat prototipe menunjukkan respons aktuator yang presisi dalam mengejar nilai target (set-point) serta sistem pemantauan secara real-time melalui platform Blynk yang berjalan secara optimal. Dengan demikian, perancangan sistem ini telah memenuhi tujuan penelitian dan menciptakan kondisi habitat buatan yang stabil.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa prototipe sistem kontrol suhu dan kelembapan pada vivarium berbasis IoT menggunakan metode Proportional Integral Derivative (PID) telah berhasil dibangun dan berfungsi sesuai dengan rancangan teknis. Implementasi algoritma PID pada mikrokontroler ESP32 efektif dalam menjaga stabilitas parameter lingkungan mikro pada rentang target suhu dan kelembapan dengan presisi serta lonjakan nilai (overshoot) yang minimal dibandingkan metode kontrol konvensional.

Integrasi platform Blynk Cloud memungkinkan seluruh data sensor dipantau secara real-time dan jarak jauh melalui jaringan internet, sehingga memberikan kemudahan akses bagi pengguna dalam mengawasi kondisi ekosistem buatan secara berkelanjutan. Dengan demikian, sistem ini dapat menjadi solusi cerdas dan efisien untuk manajemen lingkungan mikro sensitif yang membutuhkan akurasi kontrol tinggi serta perawatan minimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, serta motivasi dalam proses penyusunan dan penyelesaian makalah ini. Penulisan prosiding ini tidak lepas dari bimbingan dan arahan berharga yang diberikan oleh Ibu Henni Endah Wahanani, ST, M.Kom dan Ibu Retno Mumpuni, S.Kom., M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah memberikan motivasi serta fasilitas pendukung dalam terlaksananya penelitian mengenai implementasi sistem kontrol pada vivarium ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada keluarga, tim SANTIKA, serta rekan-rekan mahasiswa Program Studi Informatika Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur atas dukungan moral dan bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung selama penelitian berlangsung hingga selesai. Implementasi riset ini diharapkan dapat menjadi landasan empiris dalam pengembangan arsitektur kontrol otomatis yang terintegrasi dengan jaringan IoT untuk berbagai kebutuhan teknologi di masa depan.

REFERENSI

- [1] A. Sagheer, M. Mohammed, K. Riad, And M. Alhajhoj, "A Cloud-Based Iot Platform For Precision Control Of Soilless Greenhouse Cultivation," *Sensors (Switzerland)*, Vol. 21, No. 1, Pp. 1–29, Jan. 2021, Doi: 10.3390/S21010223.
- [2] H. Y. P. Al-Jufri, O. Novianti, G. Muhammad, R. Adytya, And A. N. Pramudhita, "Otomatisasi Pertanian Dengan Sensor Soil Moisture, Sensor Cahaya, Led Grow Lamps, Dan Pompa Air Untuk Pertumbuhan Tanaman Optimal," *J. Inform. Dan Tek. Elektro Terap.*, Vol. 11, No. 3, Aug. 2023, Doi: 10.23960/Jitet.V11i3.3192.
- [3] P. Lin *Et Al.*, "Design Of Iot-Based Greenhouse Monitoring And Control System Using Adaptive Particle Swarm Optimized Fuzzy Pid Controller And Visualization Platform," *Inmateh - Agric. Eng.*, Vol. 75, No. 1, Pp. 1219–1232, 2025, Doi: 10.35633/Inmateh-75-100.
- [4] D. Hercog, T. Lerher, and M. Trunti, "Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices," no. 1, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/s23156739>.
- [5] K. Kutubuddin and S. Liyakat, "Blynk IoT-Powered Water Pump-Based Smart Farming," *MAT JOURNALS*, vol. 1, no. 1, pp. 8–14, 2024.
- [6] A. Tjahjadi and D. Anggraini, "Vivarium: Wisata Ekosistem Rawa Buatan Di Jakarta," *J. Sains, Teknol. Urban, Perancangan, Arsit.*, vol. 1, no. 1, p. 32, 2019, doi: 10.24912/stupa.v1i1.3964.
- [7] W. L. Rodman, "Vivarium systems," vol. 2, 2021.
- [8] C. A. Unger, M. C. Hope, A. K. Aladhami, K. T. Velázquez, and R. T. Enos, "How stable is your vivarium's temperature? Fluctuations in vivarium temperature significantly impact metabolism and behavior impeding scientific reproducibility," *Physiol. Behav.*, vol. 258, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.physbeh.2022.114029.
- [9] Mahmud Iwan Solihin, Lee Fook Tack, and Moey Leap Kean, "Tuning-of-PID-Controller-Using-Particle-Swarm-Optimization-PSO," *Proceeding Int. Conf. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol. 2011*, pp. 458–461, 2011.
- [10] R. P. Borase, D. K. Maghade, S. Y. Sondkar, and S. N. Pawar, "A review of PID control, tuning methods and applications," *Int. J. Dyn. Control*, vol. 9, no. 2, pp. 818–827, 2021, doi: 10.1007/s40435-020-00665-4.
- [11] D. Ecology, J. B. Institutes, and M. Ben-gurion, "State of emergency: Behavior of gerbils is affected by the hunger state of their predators," vol. 91, no. 2, pp. 593–600, 2010.
- [12] J. Read, G. S. Hope, and R. S. Hill, "Phytogeography and climate analysis of Nothofagus subgenus Brassospora in New Guinea and New Caledonia," *Aust. J. Bot.*, vol. 53, no. 4, pp. 297–312, 2005, doi: 10.1071/BT04155.
- [13] L. Zhong, T. Larsen, J. Z. Lu, S. Scheu, and M. M. Pollierer, "High litter quality enhances plant energy channeling by soil macro-detritivores and lowers their trophic position," *Ecology*, vol. 106, no. 2, pp. 1–15, 2025, doi: 10.1002/ecy.70004.
- [14] S. Bennett, "Development of the PID Controller," *IEEE Control Syst.*, vol. 13, no. 6, pp. 58–62, 1993, doi: 10.1109/37.248006.
- [15] A. Ghosh, A. K. Ray, M. Nurujjaman, and M. Jamshidi, "Voltage and frequency control in conventional and PV integrated power systems by a particle swarm optimized Ziegler–Nichols based PID controller," *SN Appl. Sci.*, vol. 3, no. 3, Mar. 2021, doi: 10.1007/s42452-021-04327-8.