

Optimasi Suhu *Drosera sessilifolia* Menggunakan Metode Time Proportional Control – Histeresis Berbasis IoT

Rhimba Aulia^{1*}, Christya Aji Putra², Henni Endah Wahanani³

^{1,2,3} Informatika, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

²ajiputra@upnjatim.ac.id

³henniendah.if@upnjatim.ac.id

*Corresponding author email: 22081010095@student.upnjatim.ac.id

Abstrak— *Drosera sessilifolia* merupakan salah satu tanaman karnivora yang membutuhkan lingkungan dengan kondisi suhu udara yang stabil agar dapat tumbuh secara optimal. Pada budidaya indoor, fluktuasi suhu seringkali terjadi dan dapat menghambat perkembangan tanaman, sehingga diperlukan sistem kontrol suhu udara otomatis yang mampu bekerja secara akurat dan responsif. Penelitian ini mengembangkan sistem pengendalian suhu udara berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan menerapkan metode *Time Proportional Control* (TPC) yang dikombinasikan dengan logika histeresis. Sistem ini memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai inti pengolahan data, sensor DS18B20 untuk membaca suhu secara real-time, serta aktuator berupa *Heater* dan *Peltier* sebagai pengatur suhu udara agar optimal. Dengan mekanisme ini, sistem secara otomatis menghitung selisih suhu terhadap setpoint dan menyesuaikan durasi kerja aktuator secara proporsional untuk menjaga kondisi tetap stabil dan efisien. Pemantauan dilakukan melalui aplikasi *Blynk* sehingga pengguna dapat melihat perubahan suhu serta status sistem secara langsung melalui perangkat mobile. Berdasarkan hasil pengujian, metode TPC-Histeresis terbukti mampu mempertahankan suhu pada rentang ideal bagi tanaman, sehingga sistem ini dapat menjadi solusi efektif untuk mendukung keberhasilan budidaya *Drosera sessilifolia* di lingkungan indoor.

Kata Kunci— IoT, Time Proportional Control, Histeresis, Kontrol Suhu, *Drosera sessilifolia*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) sudah memberikan dampak yang besar dalam dunia pertanian modern, terutama dalam menciptakan sistem pemantauan dan pengendalian lingkungan tanaman secara otomatis [1]. Melalui integrasi sensor, mikrokontroler, dan algoritma cerdas, kondisi lingkungan seperti cahaya, suhu, serta kelembapan dapat dikontrol secara real-time untuk mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal [2]. Inovasi ini menjadi sangat penting terutama pada budidaya indoor, di mana faktor lingkungan alami sulit diperoleh tanpa adanya bantuan dari sistem otomatis.

Drosera sessilifolia merupakan salah satu tanaman karnivora

yang cukup unik dan sensitif terhadap lingkungannya. Tanaman ini membutuhkan kondisi suhu udara yang tepat agar dapat tumbuh dengan baik [3]. Ketika dibudidayakan di dalam ruangan, ketidaksesuaian parameter tersebut sering menyebabkan tanaman tumbuh tidak optimal atau bahkan bisa menyebabkan tanaman mati [4]. Oleh karena itu, diperlukan sistem kontrol yang mampu menjaga kestabilan suhu udara agar menyerupai habitat aslinya.

Untuk mengatasi tantangan dalam menjaga kestabilan suhu udara yang dibutuhkan tanaman *Drosera sessilifolia*, penelitian ini mengusulkan penerapan metode *Time Proportional Control* (TPC) yang kemudian dikombinasikan dengan logika histeresis dalam sistem kontrol yang berbasis IoT. Metode TPC bekerja dengan mengatur durasi waktu aktif dan tidak aktif pada aktuator *peltier* dan *heater* secara proporsional terhadap selisih antara nilai aktual dan nilai yang diinginkan yaitu setpoint, sedangkan logika histeresis digunakan untuk menjaga kestabilan sistem dengan memberikan batas toleransi sehingga aktuator tidak sering beralih antara kondisi aktif dan tidak aktif akibat perubahan kecil pada nilai sensor [5], [6]. Kombinasi kedua metode ini memungkinkan suhu udara dapat dipertahankan pada kondisi optimal secara otomatis dan efisien, sehingga dapat mendukung pertumbuhan *Drosera sessilifolia* di lingkungan indoor serta menjadi langkah inovatif dalam pengembangan budidaya tanaman karnivora berbasis IoT.

II. KAJIAN TEORITIS

A. *Drosera sessilifolia*

Drosera sessilifolia adalah salah satu spesies tanaman karnivora dari famili *Droseraceae* yang tersebar di wilayah Amerika Selatan khususnya di Brazil [3]. Tanaman ini tumbuh rendah di permukaan tanah dengan daun yang tersusun membentuk roset. Pada permukaan daunnya terdapat rambut-rambut kecil yang menghasilkan lendir lengket untuk menangkap dan mencerna serangga kecil sebagai tambahan nutrisi. Secara ekologis, *D. sessilifolia* biasanya tumbuh di area terbuka dengan kondisi lingkungan yang stabil, di mana suhu udara alami cenderung tetap seimbang, sehingga kestabilan

parameter lingkungan tersebut menjadi faktor penting untuk mendukung pertumbuhan optimalnya [7]. Karena habitat alamnya yang spesifik, budidaya tanaman *D. sessilifolia* di dalam ruangan memerlukan pengaturan faktor lingkungan secara cermat, terutama pada suhu udara agar menyerupai kondisi habitat aslinya.

B. Time Proportional Control

Time Proportional Control (TPC) adalah metode pengendalian yang bekerja dengan mengatur lama waktu sebuah aktuator menyala dan mati sesuai dengan selisih antara suhu yang terbaca dan suhu yang ditargetkan. Semakin besar selisihnya, semakin lama aktuator akan menyala. Dengan cara ini, proses pengendalian menjadi lebih halus dan stabil dibandingkan dengan sistem on-off biasa [8]. Metode ini sangat efektif digunakan pada sistem berbasis IoT karena mampu menjaga kestabilan suhu udara dengan lebih efisien [9].

C. Logika Histeresis

Logika histeresis adalah teknik pengendalian yang menggunakan dua batas nilai, yaitu batas atas dan batas bawah, untuk menjaga agar sistem tetap stabil. Dengan cara ini, aktuator tidak akan terus-menerus hidup dan mati hanya karena perubahan kecil saat pembacaan sensor [10]. Dalam sistem kontrol suhu berbasis mikrokontroler, logika histeresis memastikan bahwa *heater* menyala ketika suhu turun di bawah batas minimum, lalu mati setelah suhu mencapai batas atas. Begitu juga sebaliknya, *peltier* akan menyala saat suhu melewati batas maksimum dan mati setelah suhu turun kembali di bawah batas yang ditentukan. Pendekatan ini membuat sistem lebih stabil dan efisien, sekaligus mencegah terjadinya fluktuasi atau perubahan on-off yang terlalu sering [11].

D. Internet of Things

Internet of Things (IoT) adalah konsep yang menghubungkan berbagai perangkat fisik ke internet, sehingga perangkat-perangkat tersebut bisa saling bertukar data dan berkomunikasi secara otomatis tanpa campur tangan manusia secara langsung [12]. Teknologi ini memungkinkan kita melakukan pemantauan dan pengendalian dari jarak jauh dengan bantuan sensor, aktuator, dan koneksi nirkabel [13]. Dalam sistem pertanian cerdas, IoT memegang peran penting untuk memantau dan mengatur kondisi lingkungan seperti suhu, cahaya, dan kelembapan secara real-time, sehingga tanaman bisa tumbuh dalam kondisi yang ideal [14].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen terapan dengan merancang dan menguji sistem kontrol suhu udara berbasis IoT. Tujuannya adalah untuk menerapkan dan mengevaluasi kinerja metode *Time Proportional Control*

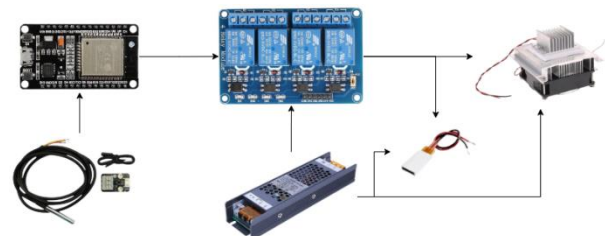
(TPC) dalam menjaga kestabilan suhu udara secara otomatis. Tahapan penelitian meliputi observasi dan studi literatur, perancangan *hardware* dan *software*, pengujian sistem, serta analisis hasil untuk mendapatkan kinerja yang optimal.

A. Observasi dan Studi Literatur

Pada tahap ini, dilakukan observasi awal dan studi literatur untuk memahami sistem kontrol lingkungan berbasis IoT serta karakteristik tanaman *Drosera sessilifolia* secara mendalam. Prosesnya mencakup penelusuran berbagai sumber seperti jurnal ilmiah, artikel, dan situs web terpercaya untuk menentukan metode pengendalian yang sesuai, yaitu *Time Proportional Control* (TPC). Hasil dari tahap ini menjadi landasan dalam merancang sistem dan menetapkan parameter lingkungan yang akan dikontrol pada penelitian

B. Perancangan Software

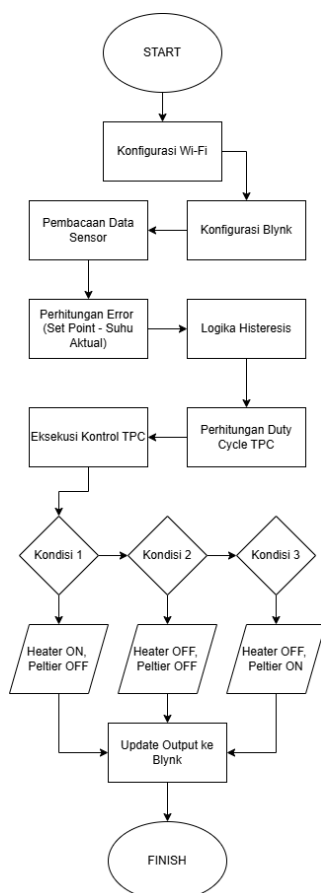
Pada tahap ini dilakukan perancangan konfigurasi perangkat keras untuk membangun sistem kontrol suhu berbasis IoT. Melalui rangkaian ini, pengaturan suhu dapat dilakukan secara otomatis sesuai dengan kondisi yang terdeteksi oleh sensor. Desain rancangan *hardware* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gbr 1 berikut.:



Gbr. 1 Perancangan Hardware

Gambar tersebut menunjukkan rancangan perangkat keras untuk sistem kontrol suhu udara. Sensor DS18B20 membaca suhu udara lalu mengirimkan data ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses. Selanjutnya, ESP32 memberikan sinyal ke modul *relay* untuk mengaktifkan rangkaian *peltier* beserta kipasnya sebagai aktuator pengendali suhu dan juga begitupun dengan aktuator *heater*. Sistem ini juga didukung oleh power supply sebagai sumber daya utama. Dengan rangkaian tersebut, sistem mampu memantau suhu secara real-time dan menjalankan tindakan pengendalian secara otomatis sesuai dengan kebutuhan. Alur kerja sistem ditunjukkan pada Gbr. 2.

Sistem diawali dengan koneksi ke Wi-Fi dan *Blynk*, kemudian sensor membaca suhu secara berkala. Nilai suhu dibandingkan dengan setpoint, lalu logika histeresis dan TPC menentukan lama kerja aktuator. Berdasarkan hasil tersebut, *peltier* atau *heater* diaktifkan melalui *relay* untuk menjaga suhu tetap stabil. Data suhu dan status sistem selanjutnya ditampilkan secara real-time di *Blynk*.



Gbr. 2 Workflow Sistem

C. Perancangan Software

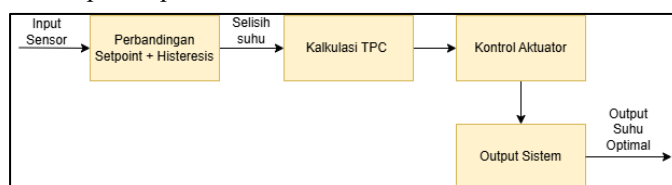
Tahapan perancangan *software* ini meliputi pembuatan logika kontrol suhu berbasis metode TPC dan histeresis, serta konfigurasi komunikasi antara ESP32, sensor, dan *Blynk*. Tahapan perancangan *software* dapat dilihat pada Tabel I berikut :

Tabel I Perancangan Software

No	Proses	Respon Sistem
1	Konfigurasi Wi-Fi	Sukses: ESP32 terhubung ke Wi-Fi Gagal: Reconnect Wi-Fi otomatis
2	Konfigurasi Blynk	Sukses : Terhubung ke Blynk Gagal : Re-connect
3	Pembacaan Data Sensor	Sukses: Nilai suhu berhasil didapatkan kemudian dikirim ke Blynk & LCD Gagal: Baca ulang sensor
4	Perhitungan Error (Setpoint – Suhu Aktual)	Sistem menghitung selisih suhu terhadap setpoint. Error

No	Proses	Respon Sistem
		= Setpoint (24°C) – Suhu aktual.
5	Logika Histeresis	Sistem menentukan apakah suhu berada di bawah batas bawah, dalam deadband, atau di atas batas atas (misal low = 22°C, high = 24°C) untuk mencegah switching berulang.
6	Perhitungan Duty cycle TPC	Duty cycle dihitung berdasarkan besarnya error untuk menentukan durasi ON/OFF aktuator (heater / peltier / kipas)
7	Eksekusi Kontrol Aktuator	Sistem mengaktifkan aktuator secara proporsional dalam rentang waktu tertentu sesuai duty cycle
8	Kondisi Suhu Rendah (< 22°C)*	Heater ON (duty cycle besar), Peltier OFF, Kipas ON.
9	Zona Stabil ± Deadband (22–24°C)*	Heater OFF (atau duty cycle kecil), Kipas ON, Peltier OFF.
10	Suhu Tinggi (> 24°C)	Peltier ON, Kipas ON, Heater OFF.
11	Update Output ke Blynk	Status aktuator dan data suhu ditampilkan pada dashboard

Tabel perancangan *software* ini menjelaskan urutan kerja sistem, mulai dari proses koneksi ke Wi-Fi dan *Blynk*, pembacaan suhu oleh sensor, hingga pengendalian aktuator berdasarkan selisih suhu dengan setpoint. Sistem menggunakan logika histeresis dan metode TPC untuk menentukan durasi kerja aktuator, mencegah switching berlebihan, serta memastikan perangkat bekerja otomatis dengan pembaruan data suhu dan status secara real-time di *Blynk*. Alur kerja metode TPC dan logika histeresis ditampilkan pada Gbr. 3 berikut :



Gbr. 3 Alur Kerja TPC dan Logika histeresis

Alur kerja sistem ini dimulai dari pembacaan suhu sensor, kemudian nilai tersebut dibandingkan dengan setpoint menggunakan logika histeresis untuk menentukan selisih suhu. Hasil perhitungan tersebut lalu diproses oleh metode

TPC untuk mengatur kerja aktuator, sehingga sistem dapat menghasilkan suhu udara yang stabil dan optimal.

D. Pengujian dan Analisis Hasil

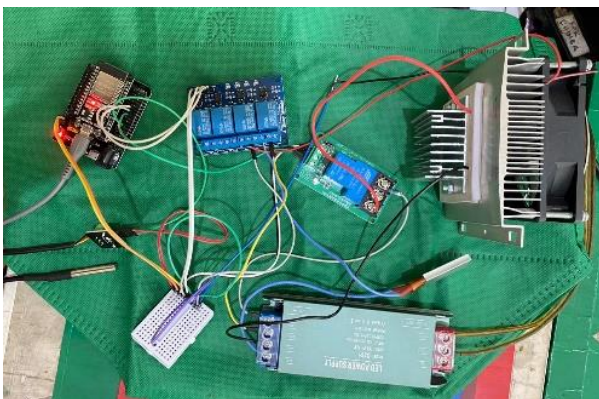
Tahap ini bertujuan untuk menguji bagaimana sistem kontrol suhu berbasis TPC dan logika histeresis bekerja pada lingkungan budidaya tanaman *Drosera sessilifolia*. Pengujian dilakukan dengan mengamati respons sistem terhadap perubahan suhu udara, serta memastikan aktuator menyala dan mati sesuai dengan durasi yang dihitung. Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk melihat seberapa efektif algoritma dalam menjaga suhu tetap pada rentang optimal dan menilai keandalan sistem dalam kondisi nyata. Hasil analisis ini menjadi dasar untuk menarik kesimpulan mengenai kemampuan sistem dalam mendukung pertumbuhan tanaman secara stabil dan efisien.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menampilkan hasil implementasi dan pengujian prototipe sistem kontrol suhu berbasis IoT yang dirancang sebagai model awal untuk mendukung budidaya tanaman *Drosera sessilifolia*. Fokus penelitian berada pada pengembangan sistem pemantauan dan pengendalian suhu otomatis menggunakan metode *Time Proportional Control* (TPC) yang dikombinasikan dengan logika histeresis agar suhu tetap stabil sesuai setpoint yang telah ditetapkan.

A. Hasil Perancangan Hardware

Pada tahap implementasi prototipe, sistem dibangun menggunakan beberapa komponen utama, yaitu sensor DS18B20 untuk membaca suhu udara, mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pemrosesan data, serta modul *relay* yang mengatur kerja aktuator. Modul *Peltier* digunakan sebagai pendingin dan *heater* digunakan sebagai pemanas untuk mensimulasikan proses pengendalian suhu, sementara power supply eksternal dipakai untuk memastikan pasokan daya tetap stabil bagi seluruh rangkaian dan aktuator.



Gbr 4 Prototipe Hardware

Gbr 4.1 menampilkan rangkaian prototipe sistem kontrol suhu udara yang telah dirakit untuk kebutuhan tanaman *Drosera sessilifolia* di dalam ruangan. Pada rangkaian ini, modul ESP32 dihubungkan dengan sensor DS18B20 untuk

membaca suhu udara, sementara modul *relay* berfungsi sebagai saklar elektronik yang mengontrol aktuator berupa rangkaian modul *Peltier* dan *heater*. Sistem memperoleh daya dari power supply eksternal 12V untuk memastikan suplai arus tetap stabil, terutama bagi modul *Peltier* yang membutuhkan daya lebih tinggi untuk bekerja secara optimal.

B. Hasil Perancangan Software

Subbab ini menjelaskan proses pembuatan program yang digunakan untuk mengoperasikan sistem kontrol suhu udara. Perangkat lunak dirancang agar ESP32 dapat terhubung ke Wi-Fi, berkomunikasi dengan aplikasi *Blynk*, membaca data suhu dari sensor, serta menjalankan aktuator menggunakan metode TPC dan logika histeresis.

1. Konfigurasi Wi-Fi

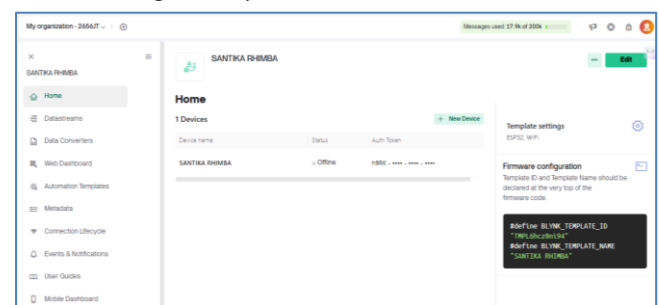
```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>

// Wi-Fi
char ssid[] = "rhimbaaa";
char pass[] = "rhimbacantik";
```

Gbr. 5 Konfigurasi Wi-Fi di *Arduino IDE*

Source code pada Gbr. 5 digunakan untuk mengimpor library yang dibutuhkan agar ESP32 dapat terhubung ke jaringan Wi-Fi dan berkomunikasi dengan aplikasi *Blynk*. Pada bagian `char ssid[]` dan `char pass[]`, dituliskan nama dan password Wi-Fi yang akan digunakan untuk koneksi melalui *Arduino IDE*.

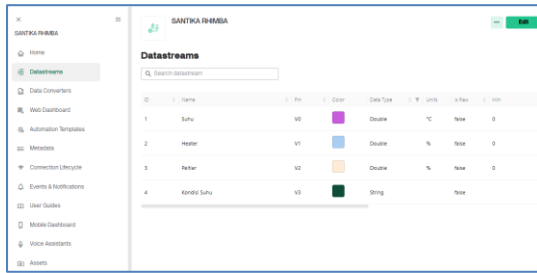
2. Konfigurasi *Blynk*



Gbr. 6 Membuat Template untuk *Dashboard*

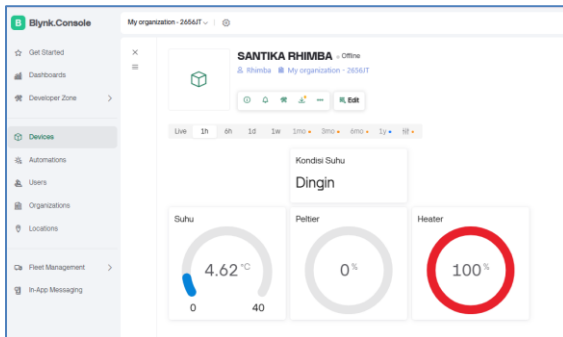
Pada Gbr. 6, penulis membuat satu *dashboard* di platform *Blynk* dengan nama SANTIKA RHIMBA. Kode konfigurasi

yang disediakan di panel *Blynk* bagian kanan bawah kemudian dimasukkan ke dalam *Arduino IDE* agar perangkat IoT dapat terhubung dan mengirim data secara real-time.



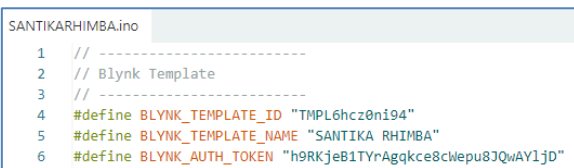
Gbr. 7 Membuat *Datastream*

Gbr. 7 menampilkan pembuatan beberapa *datastream* yaitu Suhu, *Heater*, *Peltier*, dan Kondisi Suhu. Setiap *datastream* diberi pin virtual yang berbeda, sehingga data dari perangkat dapat dipanggil dan ditampilkan di *dashboard Blynk* sesuai dengan fungsinya masing-masing.



Gbr. 8 Tampilan *Dashboard*

Gbr. 8 memperlihatkan tampilan *dashboard* “SANTIKA RHIMBA” yang dibuat untuk menampilkan informasi sensor kondisi suhu, suhu udara, serta kontrol untuk *peltier* dan *heater* yang terhubung, sehingga kondisi sistem dapat dipantau dan diatur secara realtime melalui *Blynk*.



Gbr. 9 Mendefinisikan *Blynk* ke *Arduino IDE*

Source code pada Gbr. 9 digunakan untuk menghubungkan perangkat mikrokontroler ESP32 dengan *dashboard Blynk* yang telah dibuat melalui informasi *Template ID*, *Template Name*, dan *Auth Token*.

```
59 // Connect to Blynk
60 Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, pass);
61 }
```

Gbr. 10 *Connect* ke *Blynk*

Source code pada Gbr. 10 khususnya pada baris `Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, pass);`

berfungsi untuk menghubungkan perangkat ke jaringan WiFi dan platform *Blynk* menggunakan *Auth Token* dan kredensial WiFi yang telah ditentukan.

```
106 // Kirim data ke Blynk (chart pakai V0)
107 Blynk.virtualWrite(V0, tempC);
108 Blynk.virtualWrite(V1, dutyHeater * 100);
109 Blynk.virtualWrite(V2, dutyPeltier * 100);
110 Blynk.virtualWrite(V3, kondisiSuhu);
```

Gbr. 11 Menampilkan data ke *Blynk*

Source code pada Gbr. 11 digunakan untuk mengirimkan data suhu, persentase *heater*, persentase *peltier*, dan kondisi suhu ke *Blynk* melalui pin virtual V0, V1, V2, dan V3 yang nantinya akan ditampilkan pada *dashboard*.

3. Implementasi TPC - Histeresis

a) Perhitungan *Error*

```
// --- Perhitungan Error ---
float error = setpoint - tempC;
```

Gbr. 12. Perhitungan *Error*

Source code pada Gbr. 12 berfungsi untuk menghitung selisih antara suhu yang diinginkan (*setpoint*) dan suhu aktual (*tempC*) untuk mendapatkan nilai *error* yang akan digunakan dalam pengendalian sistem.

b) Logika Histeresis

Source code pada Gbr. 13 menerapkan logika histeresis untuk mengatur suhu udara. *Heater* akan menyala ketika suhu turun di bawah batas minimum, sedangkan *peltier* akan aktif jika suhu melewati batas maksimum. Saat suhu berada di area tengah, sistem mengatur kendali secara bertahap agar tetap stabil dan mencegah perubahan kondisi yang terlalu sering.

```
// --- Logika Hysteresis ---
if (tempC < (setpoint - hysteresis)) {
  dutyHeater = 1.0;
  dutyPeltier = 0.0;
}
else if (tempC > (setpoint + hysteresis)) {
  dutyHeater = 0.0;
  dutyPeltier = 1.0;
}
else {
  dutyHeater = error > 0 ? error / hysteresis : 0;
  dutyPeltier = error < 0 ? -error / hysteresis : 0;
  dutyHeater = constrain(dutyHeater, 0, 1);
  dutyPeltier = constrain(dutyPeltier, 0, 1);
}
```

Gbr. 13 Logika Histeresis

c) Perhitungan *Duty cycle* TPC

```
// --- Time Proportional Control (TPC) ---
unsigned long now = millis();
if (now - windowStartTime >= windowSize) {
  windowStartTime = now;
}
```

Gbr. 14 Perhitungan *Duty cycle* TPC

Source code pada Gbr. 14 digunakan untuk mengatur siklus

kerja *heater* dan *peltier* secara proporsional terhadap waktu TPC dengan memanfaatkan fungsi `millis()` sebagai acuan jeda pergantian siklus.

d) Eksekusi Kontrol Aktuator

```
digitalWrite(heaterPin, (now - windowStartTime) < (dutyHeater * windowSize));
digitalWrite(peltierPin, (now - windowStartTime) < (dutyPeltier * windowSize));
```

Gbr. 15 Eksekusi Kontrol Aktuator

Source code pada Gbr. 15 digunakan untuk mengatur status ON/OFF *heater* dan *peltier* berdasarkan perbandingan waktu siklus dengan nilai *duty cycle*, sehingga daya pemanas dan pendingin dikendalikan secara proporsional terhadap kebutuhan suhu.

C. Hasil Pengujian dan Monitoring Blynk

Bagian ini menjelaskan hasil uji sistem kontrol suhu pada ESP32, mulai dari pembacaan suhu sensor, pengaturan *Heater* dan *Peltier* dengan metode TPC-*Hysteresis*, hingga pemantauan real-time di aplikasi *Blynk*. Pengujian dilakukan untuk memastikan sistem berjalan stabil dan sesuai perancangan.

a) Hasil Pengujian

Tabel II berikut menyajikan hasil pengujian terhadap 10 sampel beserta status *Heater* dan *Peltier* sesuai dengan kondisi suhu udara.

Tabel II Hasil Pengujian

No	Suhu (°C)	Status	Heater (%)	Peltier (%)
1	7.81	Dingin	100	0
2	19.81	Dingin	84	0
3	21.12	Dingin	58	0
4	23.06	Normal	19	0
5	24.00	Normal	0	0
6	25.06	Panas	0	21
7	26.81	Panas	0	56
8	28.69	Panas	0	94
9	30.25	Panas	0	100
10	30.75	Panas	0	100

Tabel II ini menampilkan hasil pengujian sistem kontrol suhu udara menggunakan sensor DS18B20 bersama aktuator *Heater* dan *Peltier*. Terdapat 10 sampel data yang menunjukkan tiga kondisi suhu, yaitu dingin, normal, dan panas. Saat suhu berada pada kondisi dingin, *Heater* bekerja dengan persentase tinggi untuk menaikkan suhu, sementara

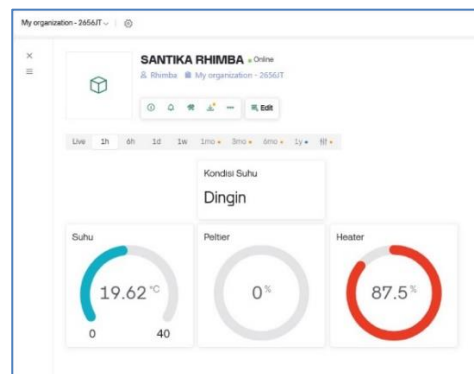
Peltier tetap tidak aktif. Sebaliknya, ketika suhu berada pada kondisi yang panas, *Heater* akan mati dan *Peltier* mulai bekerja dengan tingkat daya yang meningkat sesuai kebutuhan. Pada kondisi normal, kedua aktuator bekerja sangat minimal karena suhu sudah berada dalam rentang yang diinginkan.

b) Monitoring Blynk

Monitoring dilakukan melalui aplikasi *Blynk* untuk mempermudah melihat kinerja sistem kontrol suhu udara secara real-time. Pada *dashboard* ditampilkan informasi suhu, persentase kerja *Heater* dan *Peltier*, serta status kondisi suhu seperti Dingin, Normal, atau Panas. Dengan tampilan ini, pengguna dapat dengan mudah memverifikasi apakah sistem bekerja sesuai dengan logika kontrol yang telah dirancang dan memastikan aktuator merespons kondisi suhu dengan tepat. Berikut adalah beberapa gambar hasil dari monitoring *Blynk* dengan 3 kondisi suhu yang berbeda :

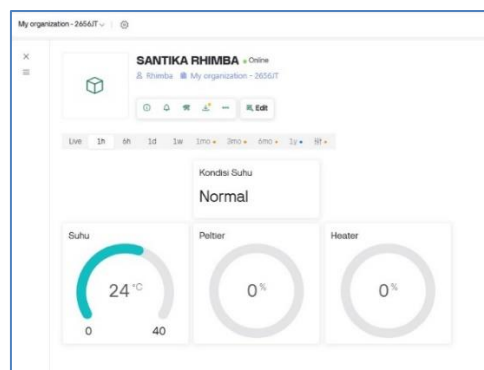
1. Kondisi Suhu Dingin

Pada Gbr. 16 ini, suhu terdeteksi lebih rendah dari batas normal. Sistem otomatis menyalakan *Heater* dengan daya penuh untuk menaikkan suhu, sementara *Peltier* tidak aktif. *Dashboard* menampilkan status kondisi suhu “Dingin” dan menunjukkan persentase kerja *Heater* sebagai indikator proses pemanasan sedang berlangsung.



Gbr. 16 Kondisi Suhu Dingin Blynk

2. Kondisi Suhu Normal

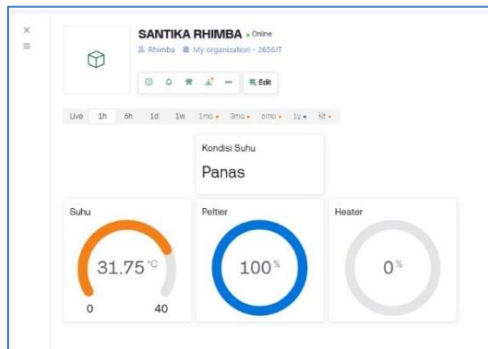


Gbr. 17 Kondisi Suhu Normal Blynk

Pada Gbr. 17 suhu berada di sekitar setpoint normal,

sehingga kedua aktuator tidak bekerja. *Dashboard* menunjukkan indikator suhu normal dan menampilkan status kondisi suhu “Normal”.

3. Kondisi Suhu Panas



Gbr. 18 Kondisi Suhu Panas *Blynk*

Pada Gbr. 18 kondisi suhu terdeteksi lebih tinggi dari setpoint normal. Sistem otomatis mengaktifkan *Peltier* dengan daya penuh untuk menurunkan suhu, sementara *Heater* mati. Di *dashboard*, status berubah menjadi “Panas” dan persentase kerja *Peltier* tampil sebagai indikator proses pendinginan sedang berlangsung.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan proses perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol suhu berbasis IoT pada budidaya *Drosera sessilifolia* mampu bekerja secara otomatis dan efektif. Metode *Time Proportional Control* (TPC) yang dipadukan dengan logika histeresis terbukti dapat menjaga kestabilan suhu dengan menyesuaikan durasi kerja *Heater* dan *Peltier* sesuai selisih suhu terhadap setpoint. Sistem ini menggunakan sensor DS18B20, mikrokontroler ESP32, dan aktuator pemanas serta *Peltier* untuk mengatur suhu secara presisi, sementara pemantauan melalui aplikasi *Blynk* memastikan proses kontrol berlangsung real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat merespons kondisi dingin, normal, maupun panas dengan baik, sehingga prototipe ini dinilai mampu mendukung kondisi tumbuh yang stabil dan sehat bagi tanaman *Drosera sessilifolia* di lingkungan indoor.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan bantuan selama proses penelitian ini, sehingga penulisan

paper ini dapat diselesaikan dengan baik. Ucapan terima kasih khusus disampaikan kepada dosen pembimbing, rekan-rekan, serta institusi yang telah menyediakan fasilitas dan berbagai sumber referensi yang mendukung penelitian ini.

REFERENSI

- [1] A. Rifat, P. Patel, and B. S. Babu, “The *Internet of Things* (IoT) in Smart Agriculture Monitoring,” *Eur. J. Inf. Technol. Comput. Sci.*, vol. 2, no. 1, pp. 14–18, 2022, doi: 10.24018/compute.2022.2.1.49.
- [2] C. Bersani, C. Ruggiero, R. Sacile, A. Soussi, and E. Zero, “*Internet of Things* Approaches for Monitoring and Control of Smart Greenhouses in Industry 4.0,” *Energies*, vol. 15, no. 10, 2022, doi: 10.3390/en15103834.
- [3] P. M. Gonella, P. T. Sano, F. Rivadavia, and A. Fleischmann, “A synopsis of the genus *Drosera* (Droseraceae) in Brazil,” *Phytotaxa*, vol. 553, no. 1, 2022, doi: 10.11646/phytotaxa.553.1.1.
- [4] W. Makowski et al., “Effect of Agitation and Temporary Immersion on Growth and Synthesis of Antibacterial Phenolic Compounds in Genus *Drosera*,” *Biomolecules*, vol. 14, no. 9, 2024, doi: 10.3390/biom14091132.
- [5] O. Lopez-Santos, D. S. Dantonio, F. Flores-Bahamonde, and C. A. Torres-Pinzón, “*Hysteresis* control methods,” in *Multilevel Inverters: Control Methods and Advanced Power Electronic Applications*, 2021. doi: 10.1016/B978-0-323-90217-5.00002-2.
- [6] H. Khalkhali, A. Oshnoei, and A. Anvari-Moghaddam, “Proportional *Hysteresis* Band Control for DC Voltage Stability of Three-Phase Single-Stage PV Systems,” *Electron.*, vol. 11, no. 3, pp. 1–15, 2022, doi: 10.3390/electronics11030452.
- [7] J. Schlauer, A. Fleischmann, S. R. H. Hartmeyer, I. Hartmeyer, and H. Rischer, “Distribution of Acetogenic Naphthoquinones in *Droseraceae* and Their Chemotaxonomic Utility,” *Biology (Basel)*, vol. 13, no. 2, 2024, doi: 10.3390/biology13020097.
- [8] L. C. Mathias, L. M. G. Castanha, A. V. de Oliveira, and E. V. Kuhn, “Assessment of Phase Control and Time-Proportional Control Schemes for TRIAC Applications,” *J. Control. Autom. Electr. Syst.*, vol. 34, no. 6, 2023, doi: 10.1007/s40313-023-01042-0.
- [9] T. L. Narayana et al., “Advances in real time smart monitoring of environmental parameters using IoT and sensor s,” *Heliyon*, vol. 10, no. 7, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e28195.
- [10] R. Z. Sabegh and C. M. Bingham, “Impact of *Hysteresis* Control and Internal Thermal Mass on the Energy Efficiency of IoT-Controlled Domestic Refrigerators,” in *Proceedings of 2019 the 7th International Conference on Smart Energy Grid Engineering, SEGE 2019*, 2019. doi: 10.1109/SEGE.2019.8859886.
- [11] A. Daoud, “An Arduino-based low-cost *hardware* for temperature control,” *WSEAS Trans. Syst.*, vol. 20, pp. 54–66, 2021, doi: 10.37394/23202.2021.20.8.
- [12] K. Elgazzar et al., “Revisiting the *Internet of Things*: New trends, opportunities and grand challenges,” *Front. Internet Things*, vol. 1, no. November, pp. 1–18, 2022, doi: 10.3389/friot.2022.1073780.
- [13] D. I. Săcăleanu, M. G. Matache, Ștefan G. Roșu, B. C. Florea, I. P. Manciu, and L. A. Perișoară, “IoT-Enhanced Decision Support System for Real-Time Greenhouse Microclimate Monitoring and Control,” *Technologies*, vol. 12, no. 11, 2024, doi: 10.3390/technologies12110230.
- [14] V. Kumar, K. V. Sharma, N. Kedam, A. Patel, T. R. Kate, and U. Rathnayake, “A comprehensive review on smart and sustainable agriculture using IoT technologies,” *Smart Agric. Technol.*, vol. 8, no. February, p. 100487, 2024, doi: 10.1016/j.atech.2024.100487.