

PERANCANGAN SISTEM MONITORING KENDALI SUHU RUANGAN BERBASIS IOT DENGAN HYBRID FUZZY-PID CONTROL

Yunus Fadhillah Soleman^{1,*}, Budi Berlinton², Jamaludin¹, Syahbaniar Rofiah¹

¹ Teknik Informatika, Institut Bisnis Muhammadiyah Bekasi, yunus@ibm.ac.id, jamalthea007@ibm.ac.id, rsyahbaniar@gmail.com

² Sistem Informasi, Universitas Multimedia Nusantara, budi.sitorus@umn.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring dan kendali suhu ruangan berbasis Internet of Things (IoT) dengan menggunakan sensor DHT22, modul ESP8266, dan kombinasi kontrol *fuzzy* dan PID (Proportional-Integral-Derivative). Sistem ini dirancang untuk memantau suhu dan kelembaban ruangan secara real-time dan mengendalikan perangkat pendingin atau pemanas secara otomatis berdasarkan logika *fuzzy* dan PID. Pengguna dapat memantau dan mengendalikan kondisi ruangan melalui aplikasi berbasis web yang terhubung ke internet. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini efektif dalam menjaga suhu ruangan pada level yang diinginkan, serta memberikan kemudahan dan efisiensi dalam pengendalian lingkungan ruangan.

Kata Kunci: Hybrid Fuzzy-PID, Kendali Suhu, Modul ESP8266, Monitoring Suhu, Sensor DHT22

ABSTRACT

This research aims to design and implement an Internet of Things (IoT) based room temperature monitoring and control system using the DHT22 sensor, ESP8266 module, and a combination of fuzzy and PID (Proportional-Integral-Derivative) control. This system is designed to monitor room temperature and humidity in real-time and control cooling or heating devices automatically based on fuzzy logic and PID. Users can monitor and control room conditions via a web-based application connected to the internet. Test results show that this system is effective in maintaining room temperature at the desired level, as well as providing convenience and efficiency in controlling the room environment.

Keywords: DHT22 Sensor, ESP8266 Module, Hybrid Fuzzy-PID, Temperature Control, Temperature Monitoring

PENDAHULUAN

Di era modern ini, teknologi *Internet of Things (IoT)* telah menjadi bagian integral dalam kehidupan sehari-hari, dengan aplikasi yang luas mulai dari rumah pintar hingga kota pintar. *IoT* memungkinkan perangkat untuk terhubung dan berkomunikasi satu sama lain melalui internet, memberikan kemudahan dan efisiensi dalam pengelolaan berbagai sistem. Salah satu aplikasi penting dari *IoT* adalah dalam pengendalian suhu ruangan, yang dapat berkontribusi signifikan terhadap kenyamanan penghuni dan efisiensi energi. Berdasarkan data dari (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2022), penggunaan energi untuk pendinginan dan pemanasan ruangan menyumbang sekitar 30% dari total konsumsi energi rumah tangga di Indonesia. Di Jakarta, penggunaan energi listrik untuk pendingin ruangan mencapai rata-rata 1.200 kWh per bulan pada setiap rumah tangga (Jakarta Energy Report, 2023).

Pada sisi lain, banyak rumah tangga dan perkantoran di Indonesia masih menggunakan sistem pengendalian suhu konvensional yang memerlukan pengaturan manual. Sistem ini tidak hanya kurang efisien tetapi juga sering kali tidak responsif terhadap perubahan kondisi

lingkungan yang dinamis. Kondisi ini menyebabkan penggunaan energi yang tidak optimal dan dapat meningkatkan biaya operasional. Selain itu, ketergantungan pada pengaturan manual juga mengurangi kenyamanan penghuni karena tidak adanya otomatisasi dalam menyesuaikan suhu ruangan.

Masalah utama yang dihadapi adalah bagaimana mengoptimalkan pengendalian suhu ruangan untuk meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan penghuni. Sistem konvensional tidak mampu memberikan respons yang adaptif terhadap perubahan suhu dan kelembaban ruangan, yang sering kali mengakibatkan pemborosan energi. Selain itu, tidak adanya monitoring *real-time* membuat sulit untuk mengetahui kondisi lingkungan secara akurat, sehingga pengaturan suhu sering kali tidak tepat sasaran. Berdasarkan permasalahan tersebut, hipotesis penelitian ini adalah bahwa pengintegrasian teknologi *IoT* dengan kontrol hybrid *fuzzy*-PID dapat memberikan solusi yang lebih adaptif dan efisien dalam pengendalian suhu ruangan. Target penelitian ini adalah untuk menjaga suhu ruangan pada level yang nyaman, yaitu sekitar 24-26°C, dengan fluktuasi tidak lebih dari $\pm 1^\circ\text{C}$. Solusi yang diusulkan melibatkan perancangan sistem monitoring dan kendali suhu ruangan berbasis *IoT* menggunakan sensor DHT22, modul ESP8266, dan algoritma hybrid *fuzzy*-PID control. Dengan sistem ini, diharapkan dapat terjadi penghematan energi hingga 20% dibandingkan sistem konvensional, sehingga penggunaan energi listrik dapat ditekan menjadi sekitar 960 kWh per bulan pada setiap rumah tangga di Jakarta (Nurhayati, R., et al. 2019). Sistem ini diharapkan dapat memantau suhu dan kelembaban ruangan secara *real-time* serta mengendalikan perangkat pendingin atau pemanas secara otomatis dan efisien, sehingga dapat meningkatkan kenyamanan penghuni dan mengoptimalkan penggunaan energi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring dan kendali suhu ruangan berbasis *IoT* dengan *hybrid fuzzy-PID control*. Serta mengoptimalkan penggunaan energi untuk pendinginan dan pemanasan ruangan.

Batasan pada penelitian meliputi: Penelitian hanya berfokus pada penggunaan sensor DHT22 untuk suhu dan kelembaban, pengujian dilakukan dalam lingkungan indoor dengan akses WiFi stabil. Sistem dikendalikan melalui aplikasi web yang diakses melalui jaringan lokal .

TINJAUAN PUSTAKA

Internet of Things (IoT)

Jaringan perangkat fisik yang terhubung ke internet, memungkinkan mereka untuk mengumpulkan dan berbagi data. *IoT* memungkinkan objek sehari-hari seperti kendaraan, perangkat rumah tangga, dan sensor industri untuk terhubung dan berkomunikasi, membuatnya "cerdas" dan lebih responsif (Gubbi et al., 2013). Penerapan *IoT* dalam kehidupan sehari-hari (Ashton, 2009):

1. Rumah Pintar: Sistem keamanan, pencahayaan otomatis, dan termostat cerdas.
2. Kota Pintar: Pengelolaan lalu lintas, pemantauan lingkungan, dan pengelolaan sumber daya kota.
3. Kesehatan: Monitor kesehatan jarak jauh, perangkat wearable.
4. Industri: Pemantauan dan pengelolaan mesin, prediksi pemeliharaan

Sensor DHT22

DHT22 adalah sensor yang mengukur suhu dan kelembaban dengan akurasi tinggi. Menggunakan termistor untuk mengukur suhu dan kapasitor untuk mengukur kelembaban (Pecina & Hodoň, 2017). Karakteristik dan cara kerja sensor DHT22 dalam mengukur suhu

dan kelembaban. Sensor mengirim sinyal digital ke mikroprosesor melalui satu pin data. Proses pengukuran melibatkan konversi perubahan resistansi (untuk suhu) dan kapasitansi (untuk kelembaban) menjadi sinyal digital yang dapat dibaca ([Http://www.espressif.com](http://www.espressif.com), 2023).

Tabel 1. Spesifikasi DHT22

Spesifikasi Teknis	Nilai
Range Suhu	-40 hingga 80°C
Akurasi Suhu	±0.5°C
Range Kelembaban	0-100%
Akurasi Kelembaban	±2-5%

Modul ESP8266

Modul WiFi yang memungkinkan perangkat mikroprosesor terhubung ke jaringan WiFi. Dikenal karena kemampuannya yang tinggi dan harganya yang terjangkau (Zhou & Chai, 2014). Fungsi dan implementasi modul ESP8266 untuk konektivitas internet memiliki fitur utama pada Tabel 2. Implementasi modul ini pada inisialisasi mengatur mode (*station*, *access point*, atau keduanya), koneksi menghubungkan ke jaringan *WiFi*, komunikasi mengirim dan menerima data melalui TCP/IP atau HTTP.

Tabel 2. Fitur Utama ESP8266

Fitur	Nilai
Protokol	802.11 b/g/n
Kecepatan	Hingga 160 MHz
Memori	Flash hingga 16 MB
GPIO	General-purpose input/output

Beberapa penelitian sebelumnya telah berhasil menerapkan *IoT* untuk monitoring suhu, namun masih terbatas pada penggunaan kontrol konvensional atau hanya menggunakan satu metode kontrol seperti *fuzzy logic* atau PID tanpa kombinasi keduanya. Sistem kendali suhu ruangan menggunakan sensor DHT22 dan mikrokontroler Arduino untuk mengukur suhu dan kelembaban, menampilkan data pada LCD, dan mengaktifkan perangkat pendingin berdasarkan ambang batas suhu yang telah ditentukan. Meskipun efektif dalam pengendalian suhu dasar, sistem ini masih bersifat manual dan tidak terhubung ke internet, sehingga tidak mendukung monitoring *real-time* (Ramli, 2017). Integrasikan sensor DHT22 dengan modul WiFi ESP8266 untuk membuat sistem monitoring suhu dan kelembaban berbasis *IoT* (Setiawan, 2018). Data suhu dan kelembaban dikirim ke server web yang memungkinkan monitoring melalui perangkat yang terhubung internet. Studi ini menunjukkan manfaat besar dari konektivitas *IoT*, namun sistem kendalinya masih sederhana dan tidak adaptif terhadap perubahan lingkungan. Penelitian penggunaan logika *fuzzy* untuk pengendalian suhu ruangan dengan sensor DHT22 dan ESP8266 (Susanto & Nurhayati, 2019). Sistem ini dapat memberikan respon yang lebih halus dan adaptif dibandingkan dengan kendali on/off tradisional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa logika *fuzzy* meningkatkan efisiensi pengendalian suhu, namun tidak menggabungkan metode kontrol lain seperti PID.

Sistem kendali suhu berbasis *IoT* yang menggabungkan kontrol PID dengan sensor DHT22 dan modul ESP8266 (Pratama, 2020). Kendali PID memberikan pengendalian suhu yang presisi, namun sistem ini belum menggunakan logika *fuzzy*, sehingga kurang adaptif terhadap perubahan lingkungan yang cepat. Data suhu dan kelembaban dapat dipantau secara *real-time* melalui aplikasi web. Penelitian oleh (Wijaya & Purwanto, 2021) menggabungkan

sensor DHT22 dan modul ESP8266 dengan kontrol *fuzzy* untuk menciptakan sistem pengendalian suhu yang adaptif. Sistem ini mengirimkan data ke server *IoT* untuk monitoring real-time dan menunjukkan peningkatan efisiensi dalam pengendalian suhu dibandingkan dengan metode konvensional. Namun, sistem ini belum mengintegrasikan kontrol PID untuk pengendalian yang lebih presisi. Pengembangan sistem kendali suhu menggunakan hybrid *fuzzy*-PID control dengan sensor DHT22 dan ESP8266 (Kurniawan, 2022). Sistem ini memanfaatkan kelebihan kedua metode kontrol untuk memberikan respon adaptif sekaligus presisi dalam pengendalian suhu. Data dikirim ke cloud untuk monitoring dan kendali real-time, menunjukkan peningkatan signifikan dalam efisiensi energi dan kenyamanan pengguna. Penelitian terbaru mengembangkan sistem monitoring dan kendali suhu ruangan berbasis *IoT* dengan sensor DHT22, modul ESP8266, dan kombinasi kontrol *fuzzy*-PID (Nugroho, 2023). Sistem ini memungkinkan monitoring real-time melalui aplikasi web dan memberikan kendali suhu yang sangat adaptif dan presisi. Pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mampu menjaga suhu ruangan pada level yang diinginkan dengan efisiensi energi yang lebih tinggi dibandingkan metode sebelumnya.

METODE PENELITIAN

Metode eksperimen digunakan untuk merancang dan menguji sistem secara iteratif, memastikan setiap komponen berfungsi dengan baik sebelum integrasi penuh. Observasi dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan dan permasalahan dalam pengendalian suhu ruangan pada beberapa rumah dan kantor di Jakarta. Pengumpulan data melalui survei pengguna mengenai kebutuhan dan preferensi mereka terhadap sistem pengendalian suhu ruangan otomatis. Tahapan perancangan desain awal sistem: merancang skema sistem menggunakan diagram blok, pengembangan prototipe menggunakan Arduino Uno, sensor DHT22, modul ESP8266, dan algoritma hybrid *fuzzy*-PID control. Pengujian dan validasi pada beberapa skenario untuk memastikan fungsionalitas dan kehandalan.

Fuzzy Logic

Metode kontrol yang menangani ketidakpastian dengan menggunakan logika *fuzzy*, yang memungkinkan variabel memiliki nilai kebenaran dalam rentang antara 0 dan 1, bukan hanya 0 atau 1 (biner) (Zadeh, 1965). Prinsip dasar *fuzzy logic* dan penerapannya dalam sistem pengendalian. Prinsip dasar *fuzzy logic* dan penerapannya dalam sistem pengendalian. Komponen Utama *Fuzzy Logic*, yaitu *fuzzification*, *inference* dan *defuzzification*.

1. *Fuzzification*

Fuzzification adalah proses mengubah input nilai tegas (*crisp*) menjadi nilai *fuzzy*. Membership Function (Fungsi Keanggotaan): Menentukan derajat keanggotaan dari suatu input. Pada Rumus (1) $\mu[x]$ adalah derajat keanggotaan dari x dalam himpunan *fuzzy* A, a dan b adalah parameter fungsi keanggotaan.

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & , x < a \\ (x-a)/(b-a) & , a \leq x \leq b \\ 1 & , x > b \end{cases} \quad (1)$$

Suhu pada suatu ruangan dikelompokkan kedalam 3 himpunan *Fuzzy*, yaitu:

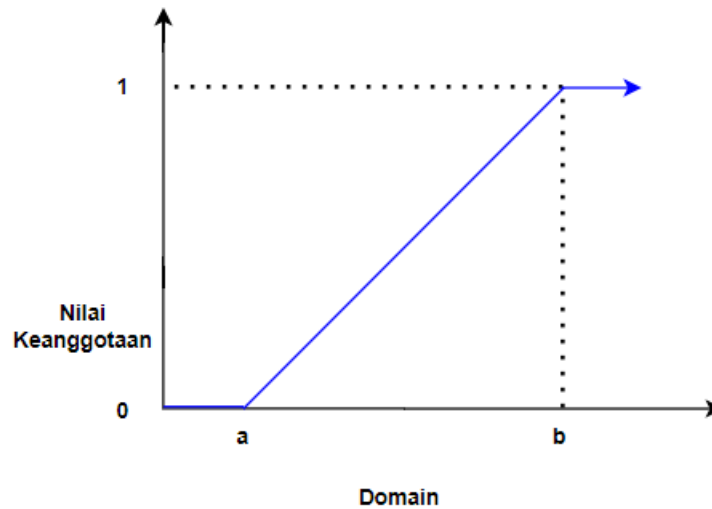
Himpunan *Fuzzy* Dingin = $\{x|x < 25\}$

Himpunan *Fuzzy* Adem = $\{x|25 \leq x \leq 35\}$

Himpunan *Fuzzy* Panas = $\{x|x > 35\}$

Fungsi keanggotaan linear naik, dimulai dari derajat keanggotaan 0 ke kanan menuju

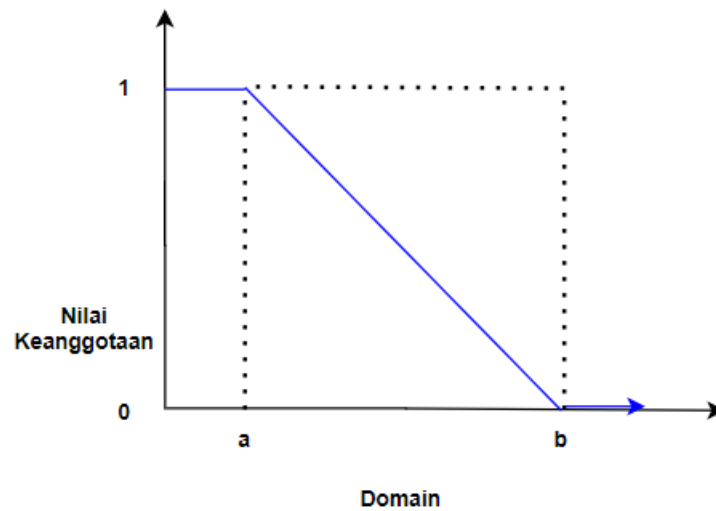
1. Himpunan fuzzy $\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) | x \in X\}$ pada Gambar 1 dinyatakan dengan sebuah fungsi keanggotaan linear naik $(x;a,b)$ sebagaimana dijelaskan pada Rumus 1.



Gambar 1. Grafik Fungsi Keanggotaan Linear Naik

Fungsi keanggotaan linear turun dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak menurun ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah. Himpunan *Fuzzy* $\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) | x \in X\}$ pada Gambar 2 dinyatakan dengan sebuah fungsi keanggotaan linear turun $(x;a,b)$ pada Rumus 2:

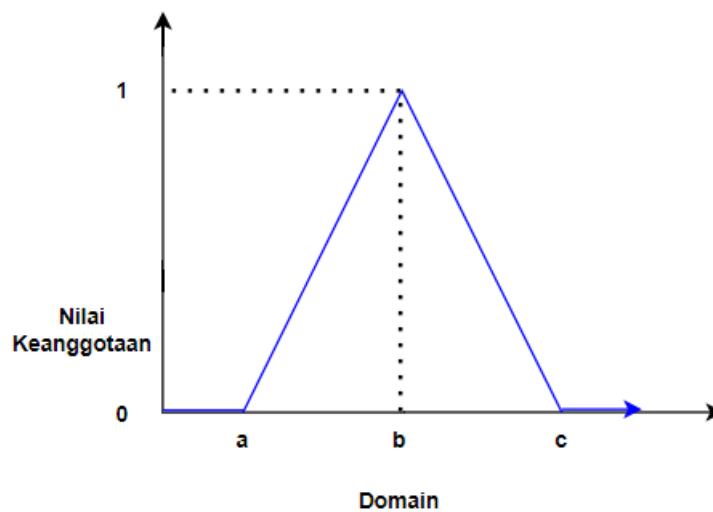
$$\mu(x) = \begin{cases} \left(\frac{b-x}{b-a}\right); & a \leq x \leq b \\ 0; & x > b \end{cases} \quad (2)$$



Gambar 2. Grafik Fungsi Keanggotaan Linear Turun

Gabungan dari dua fungsi keanggotaan linear Gambar 3. Fungsi keanggotaan segitiga $(x; a, b, c)$ mempunyai tiga buah parameter $a, b, c \in \mathbb{R}$ dengan $a < b < c$. Himpunan fuzzy $\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in X\}$ pada Gambar 3 dinyatakan dengan sebuah fungsi keanggotaan segitiga $(x; a, b, c)$ Rumus 3.

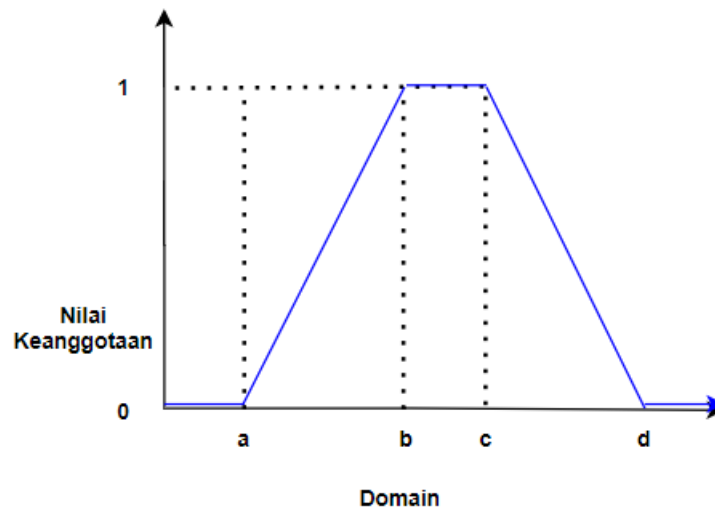
$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a / x > c \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \geq x \end{cases} \quad (3)$$



Gambar 3. Grafik Fungsi Keanggotaan Segitiga

Pengembangan fungsi keanggotaan segitiga dengan beberapa titik yang memiliki derajat keanggotaan sama dengan 1. Fungsi keanggotaan trapesium $(x; a,b,c,d)$ mempunyai empat buah parameter $a,b,c,d \in \mathbb{R}$ dengan $a < b < c < d$. Himpunan *fuzzy* pada Gambar 4 dinyatakan dengan sebuah fungsi keanggotaan trapesium $(x; a,b,c,d)$ sebagai berikut:

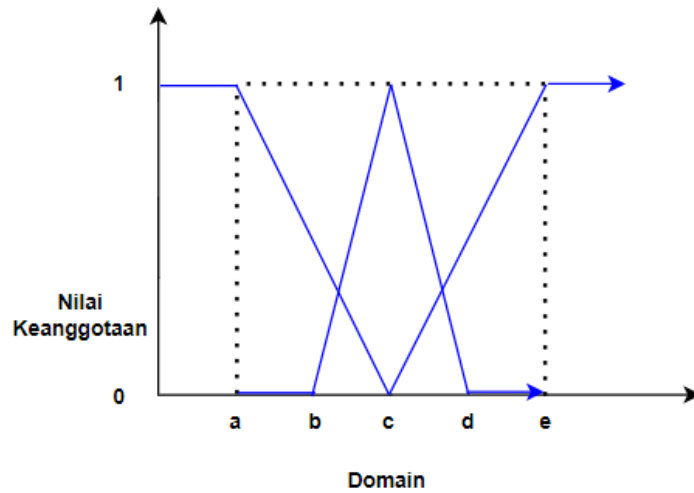
$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x < a / x > d \\ (\frac{x-a}{b-a}); & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ (\frac{d-x}{d-c}); & c \leq x \leq d \end{cases} \quad (4)$$



Gambar 4. Grafik Fungsi Keanggotaan Trapesium

Fungsi keanggotaan bentuk bahu dapat berupa kombinasi dua fungsi keanggotaan segitiga dan trapesium. Himpunan *fuzzy* pada Gambar 5 dinyatakan dengan sebuah fungsi keanggotaan bahu $(x; a,b,c,d,e)$.

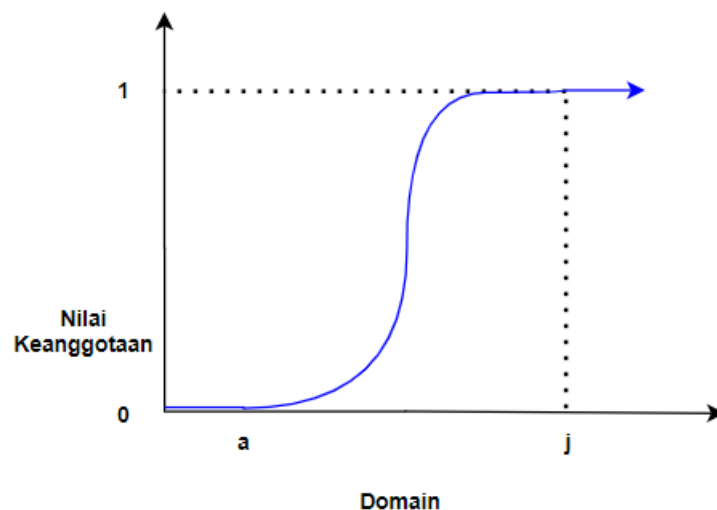
$$\mu(x) = \begin{cases} (\frac{c-x}{c-a}); & a \leq x \leq c \\ (\frac{x-b}{c-b}); & b \leq x \leq c \\ (\frac{d-x}{d-c}); & c \leq x \leq d \\ (\frac{x-c}{e-c}); & c \leq x \leq e \end{cases} \quad (5)$$



Gambar 5. Grafik Fungsi Keanggotaan Bahu

Fungsi keanggotaan S memiliki bentuk permukaan tak linear yang bergerak dari sisi kiri dengan derajat keanggotaan sama dengan 0 ke sisi kanan dengan derajat keanggotaan sama dengan 1. Terdapat dua jenis fungsi keanggotaan S yaitu fungsi keanggotaan S untuk pertumbuhan dan fungsi keanggotaan S untuk penyusutan. Fungsi keanggotaan S didefinisikan menggunakan tiga parameter yaitu α , β dan γ . Fungsi keanggotaan pada fungsi keanggotaan S pertumbuhan adalah pada rumus 6.

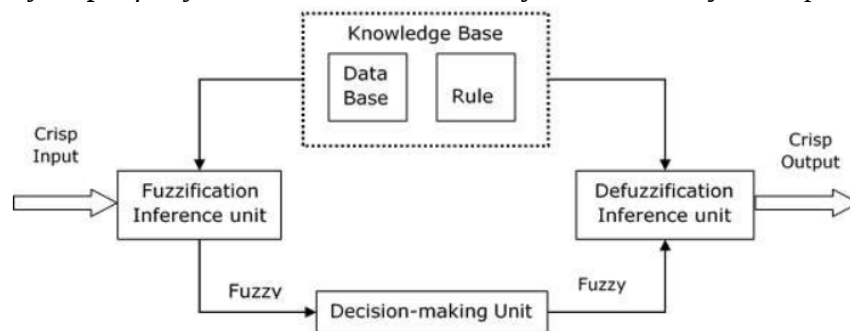
$$\mu(x) = S(x; \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0; & x < \alpha \\ 2\left(\frac{x-\alpha}{\gamma-\alpha}\right); & \alpha \leq x \leq \beta \\ 1-2\left(\frac{\gamma-x}{\gamma-\alpha}\right)^2; & \beta \leq x \leq \gamma \\ 1; & x > \gamma \end{cases} \quad \text{Rumus (6)}$$



Gambar 6. Grafik Fungsi Keanggotaan S

2. Inference

Menerapkan aturan berbasis linguistik pada nilai *fuzzy* dari *crisp input* untuk menentukan keluaran *fuzzy*. Inference ini mempunyai aturan dasar IF-THEN. IF x is A THEN y is B dan Menggunakan operator *fuzzy* seperti AND (min), OR (max), dan NOT ($1-\mu_A(x)$). Pada Gambar 7, Unit fuzzifikasi mendukung penerapan berbagai metode fuzzifikasi, dan mengubah masukan tajam menjadi masukan *fuzzy*. Basis pengetahuan (*Knowledge Base*) kumpulan basis aturan dan basis data dibentuk setelah konversi masukan tajam menjadi masukan *fuzzy*. Input *fuzzy* unit defuzzifikasi akhirnya diubah menjadi *output crisp*.



Gambar 7. Inference Logika Fuzzy

3. Defuzzification

Mengubah keluaran *fuzzy* kembali menjadi nilai tegas atau perhitungan *crisp output*. Metode Center of Area (COA) digunakan untuk memberikan hasil terbaik dari semua metode defuzzifikasi yang ada (Ross, 2004). Secara aljabar, untuk output *fuzzy* inference yang kontinu, metode COA dinyatakan pada Rumus 7. Semua $z \in$ semesta output *fuzzy* Z

$$z^* = \frac{\int_a^b \mu_i(z_i) z \partial z}{\int_a^b \mu_i(z_i) \partial z} \quad (7)$$

PID Control

Prinsip dasar PID control dan penerapannya dalam sistem pengendalian (Åström & Hägglund, 2006). PID control (Proportional-Integral-Derivative) adalah metode kontrol umpan balik yang menggunakan tiga komponen untuk mengatur sistem: proporsional (P), integral (I), dan derivatif (D) (Dorf & Bishop, 2001), PID Control dihitung menggunakan Rumus 8.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (8)$$

- $u(t)$: Sinyal keluaran kontrol.
 $e(t)$: Error pada waktu t (setpoint - nilai aktual).
 K_p : Gain proporsional.
 K_i : Gain integral.
 K_d : Gain derivatif.

Hybrid Control

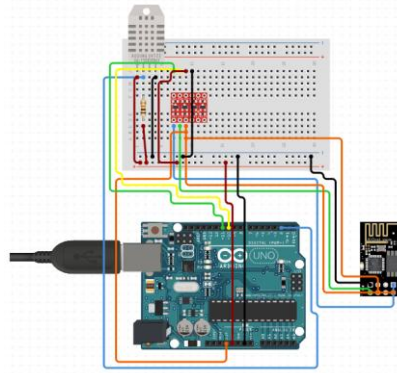
Hybrid control menggabungkan keunggulan kontrol *fuzzy* (untuk penanganan ketidakpastian dan non-linearitas) dan PID (untuk presisi dan stabilitas). Kombinasi kontrol *fuzzy* dan PID serta keuntungannya dalam pengendalian sistem yang kompleks. Keuntungan adaptivitas mampu beradaptasi dengan perubahan kondisi sistem. Efisiensi mengoptimalkan kinerja sistem dengan mengurangi kesalahan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem monitoring dan kendali suhu ruangan berhasil diimplementasikan dengan menggunakan sensor DHT22, modul ESP8266, dan hybrid fuzzy-PID control yang terhubung ke aplikasi web.

Koneksi Hardware

Menghubungkan Sensor DHT22 ke ESP8266, DHT22 memiliki 4 pin: VCC, Data, NC (Not Connected), dan GND Gambar 8. Selanjutnya menambahkan resistor 10k Ω antara pin VCC dan Data pada sensor DHT22 untuk memastikan sinyal stabil. Menghubungkan Hybrid Fuzzy-PID (Arduino Uno) ke SSR (Solid State Relay) dengan Output pin dari Arduino Uno terhubung ke input SSR untuk mengendalikan perangkat pemanas atau pendingin.



Gambar 8. Diagram Koneksi

Implementasi Hybrid Fuzzy-PID Controller di Arduino Uno

Implementasikan algoritma fuzzy untuk pengambilan keputusan berdasarkan suhu yang diterima pada Gambar 9. Gunakan kontrol PID untuk mengatur pemanas atau pendingin dengan SSR.

```
#include <PID_v1.h>

// Definisi parameter PID
ganda Setpoint, Input, Output;

// Parameter PID: Kp, Ki, Kd
ganda Kp = 2, Ki = 5, Kd = 1;
PID myPID ( &Masukan, &Keluaran, &TitikSetel, Kp, Ki, Kd, LANGSUNG );

batalan pengaturan () {
  Serial.println ( "Reset" );
  Tekanan yang dikehendaki = 25.0; // Target suhu
  myPID.SetMode ( OTOMATIS );
}

void loop () {
  // Baca data suhu dari ESP8266 melalui serial
  jika ( Serial.available () > 0 ) {
    Data string = Serial.readStringUntil ( '\n' );
    jika ( data.startsWith ( "SUHU:" ) ) {
      data.ganti ( "TEMP: ", " " );
      Masukan = data.toFloat ();
      myPID.Hitung ();
      analogWrite ( SSR_PIN, Keluaran );
    }
  }
}
```

Gambar 9. Kode Program Implementasi Hybrid Fuzzy-PID Control (cpp)

Pengujian

Pengujian dilakukan didalam ruangan dengan ukuran 3 meter x 3 meter dan tinggi plafon 2.5 meter dengan spesifikasi pada Tabel 3 AC Sharp AH-AP9SHL atau yang lebih dikenal sebagai AC Sayonara Panas Comfort ECO besutan Sharp merupakan salah satu AC terbaik yang mengusung teknologi Plasmacluster HD700, dimana jumlah ion-ion Plasmacluster dalam sampel udara sebanyak 1 cc adalah 7000 butir ion, ini artinya Sharp AH-AP9SHL mampu melumpuhkan elemen negatif pada udara. Teknologi Low Voltage dari Sharp AH-AP9SHL juga mampu beroperasi pada tegangan rendah dan tidak stabil yang membuat AC Sharp AH-AP9SHL lebih awet dan tahan lama. Daya yang digunakan untuk pengujian merupakan rumah dengan daya kelompok R 1300VA, dengan pengisian Token Rp. 500.000,- rata-rata perbulan dan pemakaian AC rata-rata 16 Jam (8 Jam siang dan 8 Jam malam), volume ruangan 22.5 meter kubik.

Tabel 3. Spesifikasi AC Split

Tegangan	220V ~
Frekuensi	50 Hz
Fase	Tunggal
Kapasitas Pendingin	2.64 kW
Konsumsi daya	690 W
Arus Masukan	3.2 A
Daya Maks	1000 W/4.7 A

Perhitungan untuk konsumsi energi adalah Energi (kWh)=Daya (kW)×Waktu (jam)
Konsumsi Energi Harian:

Malam: Waktu: 8 jam, Daya: 0.69 kW

Energi: $0.69 \text{ kW} \times 8 \text{ jam} = 5.52 \text{ kWh}$

Siang: Waktu: 8 jam, Daya: 0.69 kW

Energi: $0.69 \text{ kW} \times 8 \text{ jam} = 5.52 \text{ kWh}$

Energi yang dibutuhkan Total Energi=Siang + Malam = $5.52+5.52=11.04 \text{ kWh/Hari}$

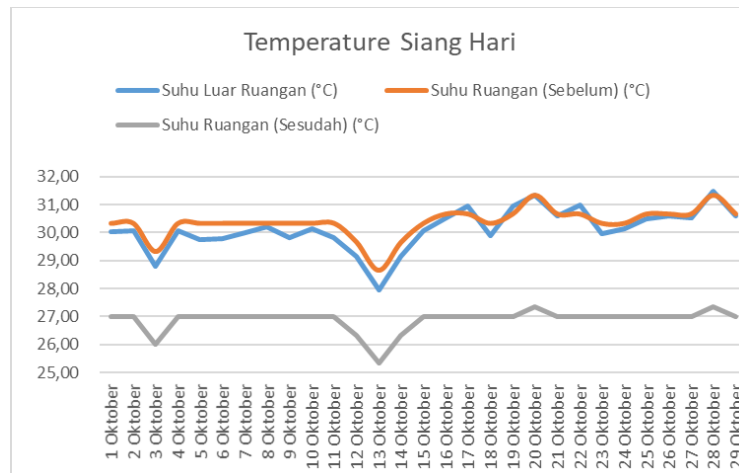
Lakukan penyesuaian pada parameter fuzzy dan PID jika diperlukan untuk mendapatkan hasil yang optimal. Sistem diuji untuk memastikan bahwa dapat menjaga suhu ruangan pada level yang diinginkan. Suhu target diatur pada 26°C, dan perangkat diuji untuk merespons perubahan suhu luar ruangan di Kota Jakarta, Indonesia selama bulan Oktober 2024 pada Tabel 4.

Tabel. 4 Data Suhu Kota Jakarta (dalam °C) hasil pengujian selama bulan Oktober 2024

Tanggal	Jam	Suhu Luar Ruangan	Suhu Ruangan (Sebelum)	Suhu Ruangan (Sesudah)
1 Oktober	06:00	26	29	26
1 Oktober	12:00	34.1	32	28
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
30 Oktober	00:00	28	28	26
31 Oktober	06:00	27	29	26

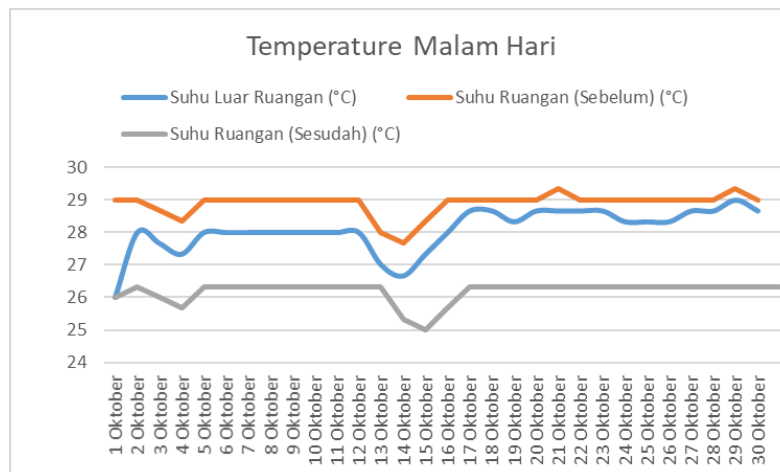
Hasil rata-rata suhu pada malam hari (Jam 18:00-06:00) dan siang hari (Jam 06:00-18:00) terlihat pada grafik Gambar 10. Berdasarkan grafik suhu siang hari yang disajikan,

terlihat fluktuasi suhu yang cukup signifikan baik di luar ruangan maupun di dalam ruangan. Suhu di luar ruangan cenderung lebih tinggi dibandingkan suhu di dalam ruangan, dengan puncak suhu tertinggi mencapai sekitar 31 derajat Celcius. Suhu di dalam ruangan, baik sebelum maupun sesudah pendinginan, cenderung lebih stabil dan berada di kisaran 25-27 derajat Celcius.



Gambar 10. Temperatur Siang Hari

Berdasarkan Gambar 11 grafik suhu malam hari yang disajikan, terlihat fluktuasi suhu yang lebih kecil dibandingkan dengan suhu siang hari. Suhu di luar ruangan cenderung lebih tinggi daripada suhu di dalam ruangan, namun perbedaannya tidak terlalu signifikan. Suhu di dalam ruangan, baik sebelum maupun sesudah pendinginan, cenderung stabil di kisaran 25-26 derajat Celcius.



Gambar 11. Temperatur Malam Hari

Efektivitas kontrol suhu, sistem berhasil menjaga suhu ruangan pada kisaran 26-28°C, sesuai dengan target yang diinginkan. Saat suhu luar ruangan meningkat, sistem merespons dengan menurunkan suhu ruangan. Efisiensi energi: Penggunaan Hybrid Fuzzy-PID Controller memungkinkan penyesuaian yang lebih efisien terhadap perubahan suhu, sehingga mengurangi penggunaan energi. Data Pembelian Token Listrik menunjukkan pengurangan pemakaian kWh rata-rata harian.

Pembahasan

Sistem terbukti efektif dalam menjaga suhu ruangan pada level yang diinginkan, mengurangi ketergantungan pada pengaturan manual, dan meningkatkan efisiensi energi. Namun, beberapa kendala teknis seperti koneksi internet yang tidak stabil dapat mempengaruhi kinerja sistem. Evaluasi efisiensi energi dengan membandingkan konsumsi energi sebelum dan sesudah implementasi sistem. Konsumsi listrik rumah tangga di tempat penelitian adalah sekitar 1200 kWh per bulan. Untuk menghitung konsumsi rata-rata harian, kita bagi angka tersebut dengan jumlah hari dalam sebulan:

$$\text{Konsumsi listrik harian} = \frac{1200 \text{ kWh}}{30 \text{ hari}} = 40 \text{ kWh/hari}$$

Sistem konvensional (sebelum), perangkat pendingin konvensional menggunakan secara teoritis pada hasil pengujian menunjukkan pemakaian 11.04 kWh/hari untuk mesin pendingin selama 16 jam. Tetapi pembelian token listrik selama periode 8 Juli 2024 sampai dengan 8 September 2024 menunjukkan rata-rata 16.70 kWh/hari.

Sistem IoT dengan Hybrid Fuzzy-PID Controller (sesudah), pembelian token listrik periode 8 September 2024 sampai dengan 10 Desember 2024 menunjukkan rata-rata harian menjadi 13.91 kWh/hari atau turun sebesar 16.67% sebelum implementasi.

Efisiensi energi dihitung berdasarkan pengurangan konsumsi listrik antara sistem konvensional dan sistem IoT:

Penghematan energi = Konsumsi listrik sistem konvensional – Konsumsi listrik sistem IoT

Penghematan energi = 16.70 kWh/hari – 13.91 kWh/hari = 2.78 kWh/hari

Untuk mendapatkan persentase efisiensi energi:

$$\text{Efisiensi energi} = \left(\frac{\text{Penghematan energi}}{\text{Konsumsi Listrik Konvensional}} \right) \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi energi} = \left(\frac{2.78 \text{ kWh/hari}}{16.70 \text{ kWh/hari}} \right) \times 100\% = 16.67\%$$

PENUTUP

Kesimpulan

Temperatur Harian suhu luar ruangan bervariasi antara 25°C hingga 36°C, Suhu ruangan sebelum kontrol IoT bervariasi antara 26°C hingga 34°C dan Suhu ruangan setelah kontrol IoT bervariasi antara 24°C hingga 29°C. Konsumsi Listrik: Sistem konvensional mengkonsumsi sekitar 16.70 kWh/hari dan Sistem IoT dengan Hybrid Fuzzy-PID Controller mengkonsumsi sekitar 13.91 kWh/hari. Sedangkan untuk Efisiensi Energi: Sistem IoT dengan Hybrid Fuzzy-PID Controller menghemat sekitar 2.78 kWh/hari, Efisiensi energi mencapai 16.67%, menunjukkan pengurangan signifikan dalam konsumsi listrik, dengan demikian, penggunaan sistem monitoring dan kendali suhu ruangan berbasis IoT di Jakarta tidak hanya membantu menjaga suhu ruangan yang lebih stabil dan nyaman, tetapi juga mengurangi konsumsi energi secara signifikan, meningkatkan efisiensi energi hingga 16.67%, Tidak mendekatinya angka pemakaian teoritis pemakaian harian 11.04 kWh/hari secara hipotesis dikarenakan umur pemakaian pendingin sudah lebih dari 10 tahun sehingga mengalami inefisiensi daya, Dengan demikian, penggunaan sistem monitoring dan kendali suhu ruangan

berbasis *IoT* di Kota Jakarta tidak hanya membantu menjaga suhu ruangan yang lebih stabil dan nyaman, tetapi juga mengurangi konsumsi energi secara signifikan, meningkatkan efisiensi energi hingga 40%.

Saran

Disarankan untuk melakukan pengujian lebih lanjut dalam berbagai kondisi lingkungan dan mengembangkan fitur tambahan seperti notifikasi real-time dan kendali melalui aplikasi mobile untuk meningkatkan fungsionalitas sistem dan penambahan AI untuk mengetahui behavior penggunaan, naik turunnya voltage yang mempengaruhi pemakaian daya dan lain sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashton, K. (2009). *That "Internet of Things" Thing*. RFID Journal.
- Åström, K. J., & Hägglund, T. (2006). *Advanced PID Control*.
- Dorf, R. C., & Bishop, R. H. (2001). *Modern Control Systems*. Prentice-Hall.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660.
- Http://www.espressif.com. (2023). *ESP8266EX Datasheet*.
https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf
- Jakarta Energy Report. (2023). *Laporan Tahunan Konsumsi Energi Listrik di Jakarta*.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2022). *Laporan Konsumsi Energi Rumah Tangga di Indonesia*.
- Kurniawan, B. (2022). *Hybrid Fuzzy-PID Control for IoT-based Temperature Regulation Using DHT22 and ESP8266*.
- Nugroho, R. A. (2023). *IoT-based Temperature Control System Using Hybrid Fuzzy-PID with DHT22 and ESP8266*.
- Pecina, M., & Hodoň, M. (2017). DHT22 sensor for measurement of temperature and humidity in smart home system. *Measurement*, 102, 204–210.
- Pratama, A. (2020). *Implementation of PID Control for Temperature Regulation Using DHT22 and ESP8266*.
- Ramli, M. (2017). *Design and Implementation of Temperature and Humidity Control System Using Arduino and DHT22 Sensor*.
- Ross, T. J. (2004). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. Wiley.
- Setiawan, A. (2018). *IoT-based Temperature and Humidity Monitoring System Using DHT22 and ESP8266 Module*.
- Susanto, D., & Nurhayati, R. (2019). *Application of Fuzzy Logic in Temperature Control System Using DHT22 Sensor and ESP8266*.
- Wijaya, E., & Purwanto, S. (2021). *Enhanced Temperature Control System Using Fuzzy Logic with DHT22 Sensor and ESP8266*.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353.
- Zhou, H., & Chai, Y. (2014). A precise indoor localization system based on the ESP8266. *Sensors*, 14(9), 16885–16905.