

PENGEMBANGAN SISTEM OTOMATISASI PENGENDALI ALAT PENDINGIN BERDASARKAN SUHU RUANGAN DENGAN MENGUNAKAN SENSOR LM35

I Gede Ketut Ari Wirawan¹, I Made Anggi Wahyudi Artha², Rukmi. Sari
Hartati.³, Ida Bagus Gede Manuaba⁴

^{1,2}Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana ^{3,4}Dosen
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana Kampus Bukit, Jl.Raya
Kampus Unud Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali 80361

ABSTRAK

Pengaturan suhu dan kelembapan dalam ruangan memainkan peran penting dalam menciptakan lingkungan yang nyaman dan efisien secara energi, terutama di daerah tropis seperti Denpasar, Bali. Penggunaan pendingin ruangan (AC) secara manual sering kali kurang optimal karena tidak mempertimbangkan kondisi aktual lingkungan secara menyeluruh. Penelitian ini merancang sebuah sistem otomatisasi pengendalian AC berbasis konsep *Internet of Things (IoT)* yang dapat dikendalikan melalui antarmuka web. Sistem ini menggabungkan beberapa sensor, seperti LM35 untuk suhu, DHT22 untuk kelembapan serta PIR untuk deteksi gerak, dan dikendalikan oleh *Mikrokontroler Arduino UNO*. Selain itu, pengiriman data dilakukan melalui modul Bluetooth HM-10 dan antarmuka pemantauan berbasis web yang dibangun menggunakan bahasa pemrograman *Python*. Sistem yang dikembangkan mampu menampilkan data suhu, kelembapan, serta keberadaan pengguna secara *real-time*, dan secara otomatis mengatur operasi AC berdasarkan kondisi lingkungan tersebut. Pengujian menunjukkan bahwa sensor LM35 memiliki galat sebesar 1,42% dan sensor DHT22 sebesar 0,73%, dengan jangkauan efektif sensor PIR dan IR hingga 4 meter. Secara keseluruhan, sistem ini berhasil menghemat konsumsi energi AC hingga 35,49%. Berdasarkan hasil tersebut, sistem ini dianggap layak untuk diterapkan di lingkungan nyata sebagai solusi kendali suhu yang efisien dan adaptif.

Kata Kunci: Internet of Things, Sensor LM35, DHT22, PIR, Efisiensi Energi

ABSTRACT

Indoor temperature and humidity control plays an important role in creating a comfortable and energy-efficient environment, especially in tropical areas such as Denpasar, Bali. Manual use of air conditioners (AC) is often less than optimal because it does not consider the actual environmental conditions as a whole. This study designs an AC control automation system based on the Internet of Things (IoT) concept that can be controlled via a web interface. This system combines several sensors, such as LM35 for temperature, DHT22 for humidity, and PIR for motion detection, and is controlled by an Arduino UNO microcontroller. In addition, data transmission is carried out via the HM-10 Bluetooth module and a web-based monitoring interface built using the Python programming language. The developed system is able to display temperature, humidity, and user presence data in real time, and automatically regulates AC operation based on these environmental conditions. Tests show that the LM35 sensor has an error of 1.42% and the DHT22 sensor is 0.73%, with an effective range of PIR and IR sensors of up to 4 meters. Overall, this system has succeeded in saving AC energy consumption by up to 35.49%. Based on these results, this system is considered feasible to be applied in real environments as an efficient and adaptive temperature control solution.

Keywords: Internet of Things, LM35 Sensor, DHT22, PIR, Energy Efficiency

1. PENDAHULUAN

Suhu merupakan faktor penting yang memengaruhi tingkat kenyamanan, produktivitas, dan kesehatan seseorang. Dalam berbagai lingkungan seperti perkantoran, hunian, hingga tempat penyimpanan barang, pengelolaan suhu menjadi hal yang esensial. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, diperlukan sistem yang mampu memantau dan mengatur suhu secara otomatis sesuai perubahan kondisi [1]. Salah satu perangkat yang lazim digunakan adalah pendingin udara (AC), yang tidak hanya berfungsi untuk menstabilkan suhu, tetapi juga menjaga kelembapan udara di dalam ruangan. Menurut Stoecker (1996), sistem pengondisian udara mencakup pengaturan suhu, kelembapan, kebersihan udara, serta sirkulasinya untuk menciptakan lingkungan yang nyaman [11].

Seiring perkembangan teknologi, konsep *Internet of Things (IoT)* menawarkan pendekatan yang lebih cerdas dan efisien dalam pengaturan suhu ruangan berbasis data [2], [4], [10]. Penelitian ini merancang sebuah sistem yang dapat memantau dan mengatur suhu serta kelembapan secara *real-time* dengan menggunakan sensor LM35 sebagai pendeteksi suhu [3], sensor DHT22 untuk kelembapan [6], dan sensor PIR untuk mendeteksi keberadaan manusia [4]. Data dari sensor-sensor ini diproses oleh *Mikrokontroler* guna menyesuaikan kecepatan kerja AC secara otomatis, tanpa perlu pengaturan manual oleh pengguna [3], [4].

Sistem diuji coba pada ruang kelas D1.1 di Kampus Universitas Udayana Soedirman yang memiliki ventilasi dan sirkulasi udara terbatas. Kondisi ini membuat suhu dan kelembapan di dalam ruangan cepat berubah, khususnya saat digunakan dalam durasi yang lama. Berdasarkan data dari BMKG, suhu udara juga dipengaruhi oleh fenomena IOD negatif dan La Nina lemah, yang menyebabkan kondisi cuaca menjadi lembap dan relatif sejuk.

Dengan demikian, dibutuhkan sistem yang dapat secara adaptif mengatur kinerja AC untuk mempertahankan kenyamanan termal sekaligus menghemat energi [4], [5]. Logika pengendalian sistem ini dibangun

berdasarkan parameter suhu dan kelembapan, yakni: jika suhu di bawah 25°C, AC akan dimatikan, jika suhu berada antara 25°C hingga 27°C, AC akan diatur ke kecepatan sedang dan jika suhu mencapai atau melebihi 27°C, maka AC akan beroperasi pada kecepatan maksimum [4]. Informasi dari sensor ditampilkan pada LCD,

dan pengaturan perangkat dilakukan secara nirkabel melalui modul NRF24L01 [8]. Seluruh pengoperasian sistem dikendalikan oleh Arduino UNO [9] yang diprogram menggunakan bahasa *Python* [5].

Dengan pendekatan ini, diharapkan sistem dapat meningkatkan efisiensi energi listrik dan memberikan kenyamanan optimal bagi pengguna [4]. Selain itu, sistem ini membuka peluang pengembangan lebih lanjut dalam pengendalian suhu berbasis IoT untuk aplikasi di berbagai sektor [2], [5].

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Otomatisasi

Otomatisasi merujuk pada pemanfaatan perangkat mekanis maupun elektronik untuk menjalankan fungsi-fungsi tertentu yang sebelumnya dilakukan secara manual oleh manusia [15]. Tujuannya adalah untuk meminimalkan keterlibatan manusia dalam proses pengendalian. Dalam penerapannya, sistem otomatis sering dikombinasikan dengan sistem manual guna saling melengkapi dan mengatasi keterbatasan masing-masing pendekatan.

2.2 Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan sebuah perangkat komputasi mini yang menggabungkan unit pemrosesan (CPU), memori, serta port input dan output dalam satu chip terpadu [22]. Salah satu contoh *Mikrokontroler* yang paling banyak digunakan adalah Arduino UNO, yang berbasis pada *Mikrokontroler* AVR. Arduino dikenal luas dalam dunia pemrograman dan pengendalian perangkat elektronik karena kemudahan penggunaannya. Platform ini memanfaatkan bahasa pemrograman C dan menyediakan berbagai pin input/output yang memungkinkan integrasi dengan beragam perangkat elektronik.



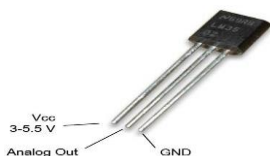
Gambar 1. Modul Arduino UNO
Sumber: Arif, 2014 [9]

2.3 Internet of things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah konsep yang menggambarkan jaringan perangkat fisik yang saling terhubung dan mampu bertukar data melalui jaringan internet [10]. Contoh penerapan teknologi ini dapat ditemukan pada sistem pengawasan berbasis CCTV dan rumah pintar (smart home) yang dapat dikendalikan melalui perangkat seluler. Dalam sistem IoT, sensor mengirimkan data ke server yang kemudian diproses dan digunakan untuk pengambilan keputusan secara otomatis [2], [4]. Struktur arsitektur IoT dirancang agar setiap objek fisik memiliki identitas tersendiri melalui alamat IP, sehingga memungkinkan terjadinya komunikasi antarperangkat secara langsung dan efisien.

2.4. LM35

LM35 adalah sensor analog yang digunakan untuk mengukur suhu dengan tingkat akurasi dan stabilitas yang baik [1], [3], [13]. Sensor ini dapat mendeteksi suhu dalam kisaran 0 hingga 100°C dan menghasilkan output tegangan yang proporsional terhadap suhu dalam derajat Celsius. Karena keandalannya, LM35 sering diaplikasikan dalam berbagai sistem pengendalian suhu, termasuk pada perangkat otomatisasi dan sistem kenyamanan termal.



Gambar 2. Sensor LM35
Sumber: G. Shinde and A. Thorat, 2019 [1]

2.5. Sensor DHT22

Sensor DHT22 merupakan alat digital yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan dengan tingkat akurasi yang tinggi [6]. Sensor ini mampu mendeteksi suhu mulai dari -40 hingga 80°C serta kelembapan dari 0 hingga 100% RH. Karena

kemampuannya tersebut, DHT22 sering diaplikasikan dalam sistem yang berkaitan dengan kenyamanan termal.



Gambar 3. Sensor DHT22
Sumber: Adafruit, 2019 [6]

2.6 Bluetooth Low Energy (BLE) dalam IoT

Bluetooth Low Energy (BLE) menjadi teknologi utama dalam *Internet of Things (IoT)* berkat konsumsi dayanya yang hemat serta kemampuannya untuk terhubung dengan perangkat mobile secara luas [29]. Modul HM-10 yang mengadopsi BLE sangat cocok digunakan pada sistem monitoring jarak jauh yang membutuhkan pengiriman data secara *real-time* dengan penggunaan energi yang minimal. Modul ini menggunakan chipset CC2541, memiliki jangkauan komunikasi antara 50 hingga 100 meter, serta mendukung mode operasi Master dan Slave.



Gambar 4. Modul HM-10
Sumber: Xu et al., 2017 [29]

2.7. Sensor PIR (Passive Infrared Receiver)

Sensor PIR bekerja dengan mendeteksi perubahan energi panas yang dipancarkan oleh objek, terutama dari tubuh manusia, kemudian mengubahnya menjadi sinyal digital berupa status tinggi atau rendah [18]. Pengujian sensor ini mengacu pada standar ISO 12201:2010 untuk perangkat deteksi gerakan. Komponen utama sensor PIR meliputi filter inframerah (IR), sensor piroelektrik, penguat sinyal (amplifier), serta lensa Fresnel.



Gambar 5. Sensor PIR
Sumber: ISO 12201:2010 [18]

2.8. Modul Pemancar IR KY-005

Modul KY-005 merupakan perangkat pemancar cahaya inframerah dengan panjang gelombang sekitar 940 nm [13]. Modul ini umum digunakan dalam komunikasi nirkabel, seperti

pada remote control dan sistem otomasi rumah. KY-005 biasanya dikendalikan oleh *Mikrokontroler* yang mengatur pengiriman sinyal inframerah melalui teknik *PWM (Pulse Width Modulation)*.



Gambar 6. Sensor KY-005

Sumber: G. P. Shinde et al., 2019 [13]

2.9. Modul Penerima IR (IR Receiver)

IR Receiver adalah komponen elektronik yang berfungsi untuk menerima sinyal inframerah dari perangkat pengirim seperti remote control. Modul ini biasanya terdiri dari fotodiode yang mendeteksi sinyal IR, kemudian mengubahnya menjadi sinyal listrik digital yang bisa dibaca oleh *Mikrokontroler* seperti Arduino [13]...



Gambar 7. Modul Penerima IR (IR Receiver)

Sumber: G. P. Shinde et al., 2019 [13]

2.10. Sensor NRF24L01

NRF24L01 merupakan modul transceiver radio yang beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz dengan tingkat konsumsi daya yang rendah [8]. Modul ini mampu melakukan komunikasi nirkabel dalam jarak pendek hingga sekitar 100 meter.



Gambar 8. Sensor NRF24L01

Sumber: Alibaba.com, 2019 [8]

2.11. Modul LCD 16x2

LCD 16x2 adalah layar kristal cair yang mampu menampilkan hingga 32 karakter dalam dua baris [23]. Modul ini sering dilengkapi dengan antarmuka I2C, sehingga jumlah pin yang digunakan menjadi lebih sedikit dan pemasangannya pun menjadi lebih praktis

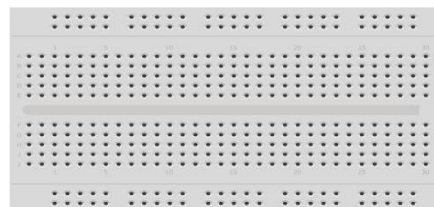


Gambar 9. LCD 16x2 digabung dengan I2C

Sumber: Malvino, 2000 [23]

2.12. Breadboard

Breadboard merupakan papan yang digunakan untuk merakit rangkaian elektronik tanpa perlu melakukan penyolderan, sehingga mempermudah proses prototyping [22]. Papan ini dilengkapi dengan jalur koneksi internal yang terstruktur, sehingga memudahkan penempatan dan pengaturan komponen elektronik.



Gambar 10. Breadboard

Sumber: M. Makodian dan I. Wardhana, 2010 [22]

2.13. Kabel Jumper

Kabel jumper berfungsi sebagai penghubung antar komponen dalam rangkaian elektronik tanpa perlu disolder. Kabel ini tersedia dalam beberapa tipe, seperti male to male, male to female, dan female to female [22].



Gambar 11. Kabel Male to Male Sumber: M. Makodian dan I. Wardhana, 2010 [22]



Gambar 12. Kabel Male to Female

Sumber: M. Makodian dan I. Wardhana, 2010 [22]

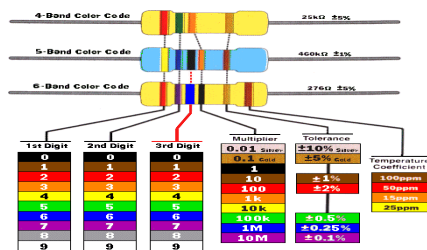


Gambar 13. Kabel Female to Female

Sumber: M. Makodian dan I. Wardhana,
2010 [22]

2.14. Resistor

Resistor adalah komponen elektronik yang berfungsi untuk mengatur besar arus listrik dalam suatu rangkaian. Besarnya resistansi pada resistor ditandai melalui kode warna yang terdapat pada badan komponen. Resistor juga dapat disusun secara seri maupun paralel untuk memperoleh nilai resistansi yang sesuai kebutuhan. [23].



Gambar 14. Kode Warna Resistor
Sumber: G. Shinde and A. Thorat,
2019 [1]

2.15. Rancang Bangun Sistem

Sistem ini dirancang untuk memberikan informasi suhu ruangan secara akurat melalui tampilan pada LCD 16x2 [4]. Sensor suhu LM35 dan sensor DHT22 berfungsi untuk mengukur temperatur dan kelembapan [1], [6], kemudian mengubah hasil pengujian tersebut menjadi sinyal tegangan listrik yang diproses oleh Mikrokontroler Arduino UNO [9]. Konsumsi daya komponen dihitung berdasarkan rumus dasar $P = V \times I$, dan efisiensi energi dievaluasi berdasarkan standar ISO 14955 [19]. tentang standar alat mesin juga dapat menjadi referensi untuk metode penilaian standar yang serupa :

$$\text{Galat Relatif (\%)} = \left(\frac{\text{Nilai Acuan} - \text{Nilai Terukur}}{\text{Nilai Acuan}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Kemudian untuk daya konsumsi masing-masing komponen dihitung dengan rumus dasar:

$$\text{Daya (P)} = \text{Tegangan (V)} \times \text{Arus (I)} \quad (2)$$

Kemudian untuk daya konsumsi masing-masing komponen dihitung dengan rumus. Kemudian, standar energi dapat diperoleh dengan membandingkan daya sistem otomatisasi dibandingkan dengan sistem manual, dihitung dengan rumus:

$$\text{Standar Energi} = \left(1 - \frac{\text{Daya Sistem Manual}}{\text{Daya Sistem Otomatis}} \right) \times 100\% \quad (3)$$

seberapa baik sistem otomatis menggunakan energi dibandingkan dengan sistem manual, rumusnya harus:

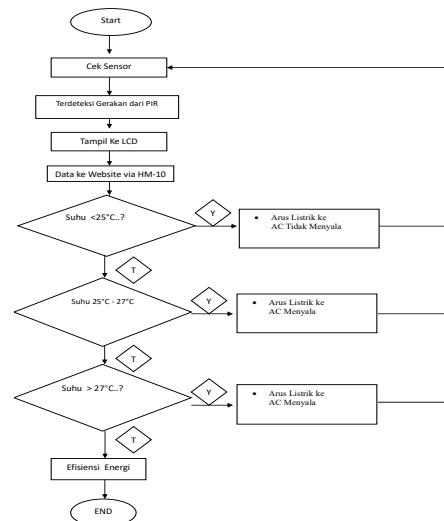
$$\text{Standar Energi} = \left(1 - \frac{\text{Daya Sistem Otomatisasi}}{\text{Daya Sistem manual}} \right) \times 100\% \quad (4)$$

$$\text{rata - rata Efisiensi} = \left(\frac{\text{Efisiensi Energi per Minggu}}{7} \right) \quad (5)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di ruang kelas B 1.1, Kampus Universitas Udayana Jalan PB Sudirman, Denpasar, Bali, selama periode Januari hingga Februari 2024. Pemilihan lokasi didasarkan pada kondisi ruangan yang representatif terhadap penggunaan pendingin ruangan di lingkungan perkuliahan, dengan akses listrik dan sirkulasi udara yang terkontrol pada skematik flowchart dari penelitian.



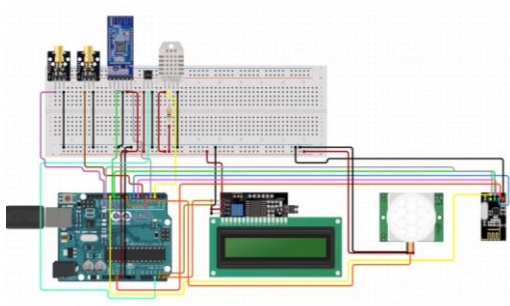
Gambar 16. Diagram Alur (Flowchart) Alur Analisis terdeteksi Pergerakan, suhu dan Kelembapan

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem ini dirancang untuk mengendalikan pendingin berdasarkan suhu ruangan menggunakan sensor LM35 [1], [13]. Penelitian mencakup hasil implementasi sistem, pengujian, dan evaluasi kinerja.

4.1. Skematik Simulasi

Perancangan alat dilakukan dengan menggunakan aplikasi Circuite.io, yang memungkinkan simulasi *real-time* dan pengujian perangkat keras sebelum produksi fisik [5].



Gambar 17. skematik simulator perancangan menggunakan aplikasi Circuite.io

4.2. Penyusunan Perangkat Keras

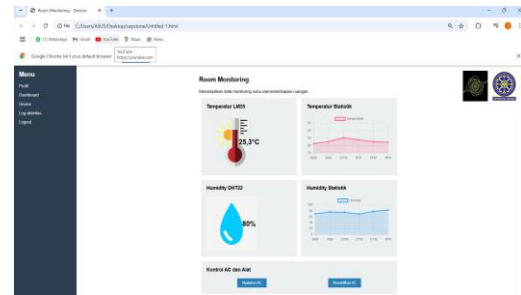
Rangkaian perangkat keras terdiri dari Arduino UNO [9], IR Transmitter, IR Receiver [13], sensor LM35 [1], sensor DHT22 [6], modul NRF24L01 [8], HM-10 Bluetooth [29], dan LCD 16x2 [23]. Masing-masing komponen memiliki fungsi spesifik dalam sistem manajemen otomatisasi AC.



Gambar 18. Realisasi Perangkat Keras.

4.4. Realisasi Tampilan Website Monitoring

Antarmuka pemantauan berbasis web dirancang untuk menampilkan data suhu dan kelembapan secara real-time, menggunakan bahasa pemrograman *Python* dan Arduino IDE [5]. Halaman dashboard menunjukkan data suhu, kelembapan, dan grafik kenaikan suhu per jam.



Gambar 19. Halaman dashboard

4.4.1. Hasil Rancangan Sistem

- Monitoring Ruangan:** Website memungkinkan pengguna melihat data suhu dan kelembapan secara *real-time* [2].
- Pengendalian Perangkat Via Web:** Kontrol perangkat seperti AC dapat dilakukan melalui web dengan tombol on/off dan pengaturan kecepatan [3], [4].
- Fitur Log Aktivitas:** Mencatat suhu dan kelembapan setiap jam untuk analisis [2].
- Integrasi Modul Bluetooth:** Sistem dapat mendeteksi keberadaan manusia dengan sensor PIR [18] dan mengoptimalkan penggunaan energi [4].

4.5. Realisasi Pembangunan Program pada Arduino UNO

Program pada Arduino UNO ditulis menggunakan bahasa C++ pada Arduino IDE dengan Arduino IDE [5]. Script mencakup penggunaan berbagai library untuk komunikasi I2C, pengoperasian sensor DHT22 [6], dan modul NRF24L01 [8]. untuk komunikasi nirkabel.

Listing 4.1 Script Library control application Sensor Node (Arduino UNO)

```
Sensor Node
arduino

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <DHT.h>
#include <SPI.h>
#include <RF24.h>
```

4.6. Realisasi Sistem

Sistem otomatisasi pengendalian pendingin berdasarkan suhu ruangan menggunakan

sensor LM35 [1], [13] telah diimplementasikan. Hasil penelitian mencakup pengujian menyeluruh terhadap sistem yang dirancang.

4.7. Hasil Pengujian Perangkat Keras

Pengujian sistem menggunakan metode black box testing menunjukkan efektivitas pengendalian AC berdasarkan suhu dan kelembapan [3]. Sensor LM35 dan DHT22 menunjukkan galat relatif masing-masing 1,42% dan 0,73% yang memenuhi standar akurasi IEC 60751:2008 [16].



Gambar 20. Pengujian sensor LM35 dan sensor DHT22.

Tabel 1. Data pengujian sensor LM35

No	Hygrometer (°C)	Sensor LM 35 (°C)	Nyala AC	Selisih	Galat Relatif (%)
1.	25.5	25	Medium	0.5	2.00
2.	25.9	25.2	Medium	0.7	2.78
3.	25.6	25.3	Medium	0.3	1.19
4.	26.3	26.1	Medium	0.2	0.77
5.	26.9	26.8	Medium	0.1	0.37
6.	27.7	27.5	High	0.2	0.73
7.	28.6	28.3	High	0.3	1.06
8.	29.3	29	High	0.6	2.07
9.	28.9	28.5	High	0.4	1.40
10.	27.7	27.2	High	0.5	1.84
	Rata- Rata				1.42 %

Perhitungan ini membantu menentukan selisih pengujian antara kedua alat tersebut dengan rumus berdasarkan standart diatas untuk mnenghitung persentase galat relatif I Gede Ketut Ari Wirawan, dkk.

dibawah ini merujuk pada persamaan rumus 3 :

$$\text{Selisihnya} = \text{Sensor LM35} - \text{Hygrometer}$$

Galat Relatif (%): Persentase kesalahan atau perbedaan antara suhu Hygrometer dan sensor LM35 terhadap suhu Hygrometer, dihitung dengan rumus dibawah ini merujuk pada persamaan rumus 1:

$$\text{Galat Relatif}(\%) = \left(\frac{\text{Nilai Acuan} - \text{Nilai Terukur}}{\text{Nilai Acuan}} \right) \times 100$$

$$\text{Galat Relatif}(\%) = \left(\frac{\text{selisih pengukuran}}{\text{Termometer}} \right) \times 100$$

$$\text{Galat Relatif}(\%) = \left(\frac{0.5}{25} \right) \times 100 = 2.00\%$$

$$\text{Galat Relatif}(\%) = \left(\frac{0.7}{25.2} \right) \times 100 = 2.78\%$$

$$\text{Galat Relatif}(\%) = \left(\frac{0.3}{26.1} \right) \times 100 = 1.19\%$$

$$\text{Galat Relatif}(\%) = \left(\frac{0.1}{26.8} \right) \times 100 = 0.77\%$$

$$\text{Galat Relatif}(\%) = \left(\frac{0.2}{27.5} \right) \times 100 = 0.37\%$$

$$\text{Galat Relatif}(\%) = \left(\frac{0.3}{28.3} \right) \times 100 = 1.06\%$$

$$\text{Galat Relatif}(\%) = \left(\frac{0.6}{29} \right) \times 100 = 2.07\%$$

$$\text{Galat Relatif}(\%) = \left(\frac{0.4}{28.5} \right) \times 100 = 1.40\%$$

$$\text{Galat Relatif}(\%) = \left(\frac{0.5}{27.2} \right) \times 100 = 1.84\%$$

$$\text{Rata - Rata Galat Relatif} =$$

$$\left(\frac{2.00+2.78+1.19+0.77+0.37+0.73+1.06+2.07+1.40+1.84=14.2}{10} \right) \times 100$$

$$= 1.42 \%$$

Hasil pengujian pada Tabel 1 menunjukkan bahwa sensor telah bekerja dengan baik, hasil pengujian pengukuran suhu udara sensor LM35 dari rentang waktu pukul 06.00 pagi sampai 18.00 sore dengan nilai galat relatif sebesar 1,42% dapat dianggap efisien berdasarkan standar IEC 60751:2008. Standar ini mengatur akurasi dan kinerja sensor suhu dan kelembapan, khususnya sensor RTD (resistance temperature detector). Meskipun standar ini lebih berfokus pada sensor suhu dan kelembapan tertentu, sering kali galat relatif sebesar 3-5% dianggap sebagai rentang yang dapat diterima

Tabel 2. Data pengujian sensor DHT22

No	Hygrometer (%)	Sensor DHT22 (%)	Selisih Kelembaban	Waktu Penyesuaian Kelembaban (detik)
1	25.5	25	0.5	20
2	25.9	25.2	0.7	25
3	25.6	25.3	0.3	15
4	26.3	26.1	0.2	12
5	26.9	26.8	0.1	10
6	27.7	27.5	0.2	12
7	28.6	28.3	0.3	15
8	29.3	29.0	0.3	15
9	28.9	28.5	0.4	18
10	27.7	27.2	0.5	20
Rata-rata	-	-	0.42	16.2 detik

$$\text{Galat Relatif}(\%) = \left(\frac{\text{Nilai Acuan} - \text{Nilai Terukur}}{\text{Nilai Acuan}} \right) \times 100$$

$$\text{Galat Relatif}(\%) = \left(\frac{\text{selisih pengukuran}}{\text{Termometer}} \right) \times 100$$

$$\text{Galat Relatif}(\%) = \left(\frac{1}{68} \right) \times 100 = 1.47\%$$

$$\text{Galat Relatif}(\%) = \left(\frac{0}{68} \right) \times 100 = 1.47\%$$

$$\text{Galat Relatif}(\%) = \left(\frac{0}{68} \right) \times 100 = 1.47\%$$

$$\text{Galat Relatif}(\%) = \left(\frac{0}{69} \right) \times 100 = 1.47\%$$

$$\text{Galat Relatif}(\%) = \left(\frac{1}{67} \right) \times 100 = 1.47\%$$

$$\text{Galat Relatif}(\%) = \left(\frac{1}{64} \right) \times 100 = 1.47\%$$

$$\text{Galat Relatif}(\%) = \left(\frac{0}{65} \right) \times 100 = 1.47\%$$

$$\text{Galat Relatif}(\%) = \left(\frac{0}{68} \right) \times 100 = 1.47\%$$

$$\text{Galat Relatif}(\%) = \left(\frac{1}{65} \right) \times 100 = 1.47\%$$

$$\text{Galat Relatif}(\%) = \left(\frac{1}{67} \right) \times 100 = 1.47\%$$

$$\begin{aligned} &\text{RataRata Galat Relatif} \\ &\left(\frac{1.47 + 0 + 0 + 0 + 1.47 + 1.47 + 0 + 1.47 + 1.47 + 0}{10} \right) \times 100 \\ &= 0,73\% \end{aligned}$$

Hasil pengujian pada Tabel 2 menunjukkan bahwa DHT22 bekerja dengan baik dalam mengukur kelembapan udara, serta nilai rata-rata galat 0,73% yang masih berada dalam batas toleransi berdasarkan dianggap efisien berdasarkan standar IEC 60751:2008. Standar ini mengatur akurasi dan kinerja sensor suhu dan kelembapan, khususnya sensor RTD (resistance temperature detector). Meskipun standar ini lebih berfokus pada sensor suhu

dan kelembapan tertentu, sering kali galat relatif sebesar 3-5% dianggap sebagai rentang yang dapat diterima

4.8. Pengujian Sensor PIR

Pengujian sensor PIR dilakukan di ruangan untuk mengukur jangkauan efektif dalam mendeteksi sinyal gerakan manusia [18] dan letak sensor pada gambar



Gambar 21. Letak dan Pengujian sensor PIR

Tabel 3. Jarak optimal deteksi sensor PIR

Sudut	Jarak (Meter)	Kondisi Sensor	Nyala AC
0°	1	Detection	High
	2	Detection	High
	3	Detection	High
	4	Detection	High
	5	No Detection	Low
	6	No Detection	Low
30°	1	Detection	High
	2	Detection	High
	3	Detection	High
	4	Detection	High
	5	No Detection	Low
	6	No Detection	Low
60°	1	Detection	High
	2	Detection	High
	3	Detection	High
	4	Detection	High
	5	No Detection	Low
	6	No Detection	Low
80°	1	No Detection	Low
	2	No Detection	Low
	3	No Detection	Low
	4	No Detection	Low
	5	No Detection	Low
	6	No Detection	Low

4.8. Pengujian IR Transmitter

Pengujian *IR Transmitter* dilakukan untuk mengetahui efektivitas pengiriman sinyal instruksi ke AC [13].



Gambar 22. Pengujian sensor IR Transmitter dengan maksimal jarak 4 meter

Tabel 4. Hasil pengujian IR Transmitter

Jarak (Meter)	Respon AC(Ada/Tidak)
1	Ada
2	Ada
3	Ada
4	Ada
5	Tidak

4.3 Efisiensi Energi

Sistem otomatisasi dapat menghemat energi hingga 35,49% dibandingkan penggunaan AC manual [4]. Perhitungan daya menunjukkan estimasi penghematan energi mingguan sebesar 35,49% dibandingkan penggunaan AC tanpa otomatisasi. Perhitungan daya menunjukkan sistem otomatisasi lebih efisien, dengan estimasi penghematan energi yang signifikan.

Tabel 5. Skenario Ruangan Berisi Dan Tidak Berisi Mahasiswa

NO	Sensor LM35 (°C)	Sensor DHT 22 (%)	Jumlah orang	Rata-rata Respons (Detik)	Waktu (Jam)	Nyala AC	Catatan
1	25	67	0 Orang	00.00.00 detik	07:00 - 08:00	OFF	Tidak ada aktivitas pagi, jumlah masih sedikit.
2	25	67	2 Orang	00.01.46 detik	08:00 - 08:30	Medium	ada aktivitas pagi, jumlah gerakan masih sedikit.
3	25	67	5 Orang	00.01.80 detik	08:30 - 09:00	Medium	Aktivitas meningkat, lebih banyak gerakan dan orang terdeteksi.
4	26.1	68	10 Orang- 17 Orang	00.03.18 detik- 00.04.85 detik	09:00 - 10:00	Medium	Aktivitas sibuk, banyak gerakan, deteksi melambatkan.
5	27	64	10 Orang - 17 Orang	00.07.14 detik- 00.11.85 detik	10:00 - 11:00	High	Waktu puncak aktivitas, respons melambat akibat banyaknya tumpang tindih sinyal.
6	28.3	67	0 orang	00.00.00 detik	11:00 - 12:00	OFF	Tidak ada aktivitas siang, jumlah gerakan masih sedikit.
7	29.5	67	5 Orang	00.01.46 detik	13:00 - 14:00	High	ada aktivitas sore, jumlah gerakan masih sedikit.
8	29.5	67	5 Orang	00.01.80 detik	15:00 - 16:00	High	Aktivitas meningkat, lebih banyak gerakan dan orang terdeteksi.
9	26.1	68	10 Orang- 17 Orang	00.03.18 detik- 00.04.85 detik	16:00 - 17:00	Medium	Aktivitas sibuk, banyak gerakan, deteksi melambatkan.
10	27	64	0 orang	00.00.00 detik	17:00 - 18:00	OFF	Tidak ada aktivitas sore, jumlah gerakan masih sedikit.

Tabel 6. Estimasi penghematan berdasarkan suhu, kelembapan dan deteksi gerakan pada hari senin

No	Waktu	Sensor LM35 (°C)	Sensor DHT22 (%)	Jumlah Orang Terdeteksi	Nyala AC
1	07:00 - 08:00	25	67..	0 Orang	OFF
2	08:00 - 08:30	25	67..	2 Orang	Medium
3	08:30 - 09:00	25	67..	5 Orang	Medium
4	09:00 - 10:00	26.1	68..	10 Orang- 17 Orang	Medium
5	10:00 - 11:00	27	64..	10 Orang - 17 Orang	High
6	11:00 - 12:00	28.3	67..	0 orang	OFF
7	13:00 - 14:00	29.5	67..	5 Orang	High
8	15:00 - 16:00	29.5	67..	5 Orang	High
9	16:00 - 17:00	26.1	68..	10 Orang- 17 Orang	Medium
10	17:00 - 18:00	27	64..	0 orang	OFF

$$P_{otomatis} = (450 \text{ W} + 0.113125 \text{ W}) \times 10$$

$$= 450.113125 \text{ W} \times 10 \text{ jam}$$

$$= 4501,13125 \text{ Wh}$$

Standar energi:

$$\text{Efisiensi Energi} = \left(1 - \frac{4501,13125 \text{ Wh}}{8100 \text{ Wh.}}\right) \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Energi} = (1 - 0,5557) \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Energi} = 0,4443 \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Energi} = 44,43\%$$

Tabel 7. Estimasi penghematan berdasarkan suhu, kelembapan dan deteksi gerakan pada hari Selasa

No	Waktu	Sensor LM35 (°C)	Sensor DHT22 (%)	Jumlah Orang Terdeteksi	Nyala AC
1	07:00 - 08:00	25	67	0 orang	OFF
2	08:00 - 08:30	25.2	68	2 orang	Medium
3	08:30 - 09:00	25.3	68	5 orang	Medium
4	09:00 - 10:00	26.1	69	10 orang	Medium
5	10:00 - 11:00	26.8	67	15 orang	Medium
6	11:00 - 12:00	27.5	64	17 orang	High
7	13:00 - 14:00	28.3	65	17 orang	High
8	15:00 - 16:00	29	66	10 orang	High
9	16:00 - 17:00	28.5	65	8 orang	High
10..	17:00 - 18:00	27.2	67	5 orang	Medium

$$P_{\text{otomatis}} = (450 \text{ W} + 0.113125 \text{ W}) \times 12 \text{ jam}$$

$$= 450.113125 \text{ W} \times 12 \text{ jam}$$

$$= 5401,3575 \text{ Wh}$$

Standar energi:

$$\text{Efisiensi Energi} = \left(1 - \frac{5401,3575 \text{ Wh}}{8100 \text{ Wh.}}\right) \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Energi} = (1 - 0,6669) \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Energi} = 0,3331 \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Energi} = 33,31\%$$

Tabel 8. Estimasi penghematan berdasarkan suhu, kelembapan dan deteksi gerakan pada hari Rabu

No	Waktu	Sensor LM35 (°C)	Sensor DHT22 (%)	Jumlah Orang Terdeteksi	Nyala AC
1	07:00 - 08:00	25	67	0 orang	OFF
2	08:00 - 08:30	25.2	68	2 orang	Medium
3	08:30 - 09:00	25.3	68	5 orang	Medium
4	09:00 - 10:00	26.1	69	10 orang	Medium
5	10:00 - 11:00	26.8	67	15 orang	Medium
6	11:00 - 12:00	27.5	64	17 orang	High
7	13:00 - 14:00	28.3	65	17 orang	High
8	15:00 - 16:00	29	66	10 orang	High
9	16:00 - 17:00	28.5	65	8 orang	High
10..	17:00 - 18:00	27.2	67	5 orang	Medium

$$P_{\text{otomatis}} = (450 \text{ W} + 0.113125 \text{ W}) \times 12 \text{ jam}$$

$$= 450.113125 \text{ W} \times 12 \text{ jam}$$

$$= 5401,3575 \text{ Wh}$$

Standar energi:

$$\text{Efisiensi Energi} = \left(1 - \frac{5401,3575 \text{ Wh}}{8100 \text{ Wh.}}\right) \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Energi} = (1 - 0,6669) \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Energi} = 0,3331 \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Energi} = 33,31\%$$

Tabel 9. Estimasi penghematan berdasarkan suhu, kelembapan dan deteksi gerakan pada hari Kamis

No	Waktu	Sensor LM35 (°C)	Sensor DHT22 (%)	Jumlah Orang Terdeteksi	Nyala AC
1	07:00 - 08:00	25	67	0 orang	OFF
2	08:00 - 08:30	25.2	68	2 orang	Medium
3	08:30 - 09:00	25.3	68	5 orang	Medium
4	09:00 - 10:00	26.1	69	10 orang	Medium
5	10:00 - 11:00	26.8	67	15 orang	Medium
6	11:00 - 12:00	27.5	64	17 orang	High
7	13:00 - 14:00	28.3	65	17 orang	High
8	15:00 - 16:00	29	66	10 orang	High
9	16:00 - 17:00	28.5	65	8 orang	High
10..	17:00 - 18:00	27.2	67	5 orang	Medium

$$P_{\text{otomatis}} = (450 \text{ W} + 0.113125 \text{ W}) \times 12 \text{ jam}$$

$$= 450.113125 \text{ W} \times 12 \text{ jam}$$

$$= 5401,3575 \text{ Wh}$$

Standar energi:

$$\text{Efisiensi Energi} = \left(1 - \frac{5401,3575 \text{ Wh}}{8100 \text{ Wh.}}\right) \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Energi} = (1 - 0,6669) \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Energi} = 0,3331 \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Energi} = 33,31\%$$

Tabel 10. Estimasi penghematan berdasarkan suhu, kelembapan dan deteksi gerakan pada hari Jumat

No	Waktu	Sensor LM35 (°C)	Sensor DHT22 (%)	Jumlah Orang Terdeteksi	Nyala AC
1	07:00 - 08:00	25	67	0 orang	OFF
2	08:00 - 08:30	25.2	68	2 orang	Medium
3	08:30 - 09:00	25.3	68	5 orang	Medium
4	09:00 - 10:00	26.1	69	10 orang	Medium
5	10:00 - 11:00	26.8	67	15 orang	Medium
6	11:00 - 12:00	27.5	64	7 orang	High
7	13:00 - 14:00	28.3	65	17 orang	High
8	15:00 - 16:00	29	66	10 orang	High
9	16:00 - 17:00	28.5	65	8 orang	High
10..	17:00 - 18:00	27.2	67	0 orang	OFF

$$\begin{aligned}
 P_{\text{otomatis}} &= (450 \text{ W} + 0.113125 \text{ W}) \times 12 \text{ jam} \\
 &= 450.113125 \text{ W} \times 12 \text{ jam} \\
 &= 5401,3575 \text{ Wh}
 \end{aligned}$$

Standar energi:

$$\text{Efisiensi Energi} = \left(1 - \frac{5401,3575 \text{ Wh}}{8100 \text{ Wh}}\right) \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Energi} = (1 - 0,6669) \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Energi} = 0,3331 \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Energi} = 33,31\%$$

Data Standar Energi per Hari:

1. Senin: 44,43% (sama seperti pada perhitungan sebelumnya)
2. Selasa: 33,31% (sama seperti pada perhitungan sebelumnya)
3. Rabu: 33,31% (sama seperti pada perhitungan sebelumnya)
4. Kamis : 33,31% (sama seperti pada perhitungan sebelumnya)
5. Jumat : 33,31% (sama seperti pada perhitungan sebelumnya)

Menghitung Rata-Rata Standar Energi per Minggu:

$$\text{Rata - rata Efisiensi} = \left(\frac{\text{Efisiensi Energi per Minggu}}{5} \right)$$

$$\text{Rata - rata Efisiensi} = \left(\frac{44,43\% + 33,31\% + 33,31\% + 33,31\% + 33,31\%}{5} \right)$$

$$\text{Rata - rata Efisiensi} = \left(\frac{177,46}{5} \right) = 35,49 \%$$

Hasil dari rata-rata standar per minggu adalah 35,49 %. Dengan sistem otomatisasi, dapat menghemat sekitar 35,49 % energi per minggu untuk penggunaan AC. Berdasarkan hasil perhitungan data diatas dapat disimpulkan bahwa pada penelitian ini sistem otomatisasi yang menggunakan sensor LM35, DHT22, PIR, IR Receiver dan IR Transmitter dapat mengurangi konsumsi energi AC hingga 35,49 % yang menghasilkan penghematan energi yang sangat signifikan dan berdasarkan standar energi Standar ISO 14955 memberikan landasan penting untuk mengukur dan meningkatkan standar energi melalui teknologi kontrol berbasis sensor. Dalam konteks sistem HVAC, penerapan standar ini membantu menciptakan solusi yang hemat energi dan ramah lingkungan, dengan potensi penghematan energi lebih dari 20% yang sudah dianggap signifikan. Hal ini sejalan dengan tren global menuju standar energi dan keberlanjutan.

5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Sistem monitoring dan kontrol perangkat berbasis web meningkatkan aksesibilitas, standar energi, visualisasi data, dan fleksibilitas, relevan untuk aplikasi di berbagai lingkungan.
2. Hasil pengukuran suhu menggunakan sensor LM35 dan kelembapan DHT22 menunjukkan rata-rata galat 1,42% dan 0,73% yang memenuhi standar IEC 60751:2008 dan SNI T-14-1993-03.
3. Sensor PIR efektif mendeteksi gerakan

hingga 4 meter dengan sudut maksimal 60 derajat, sementara IR Transmitter juga berfungsi dengan baik hingga 4 meter, sesuai standar ISO 12201:2010.

4. Sistem otomatisasi ini berhasil menghemat energi hingga 35,49%, mengurangi konsumsi daya AC secara signifikan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. G. Shinde and A. Thorat, "Automatic Air Conditioning System Using Temperature Sensor," *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 8, no. 4, pp. 637–640, Apr. 2019.
- [2]. D. W. Kusuma Budi and H. Setiawan, "IoT-Based *Real-time* Room Temperature and Humidity Monitoring System," *TELKOMNIKA Telecommunication, Computing, Electronics and Control*, vol. 20, no. 2, pp. 324–332, Mar. 2022.
- [3]. R. R. Patil, "Smart AC Control Using Arduino and IoT," *Int. J. Innov. Res. Comput. Commun. Eng.*, vol. 8, no. 3, pp. 498–502, 2020.
- [4]. S. Venkatesan *et al.*, "Adaptive Automation in AC System for Energy Efficiency," *Int. J. Emerg. Technol. Eng. Res.*, vol. 6, no. 11, pp. 215–219, Nov. 2019.
- [5]. M. Hartanto, "Internet of Things-Based Temperature Control Using Arduino and Blynk," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 10, no. 2, pp. B127–B131, 2021.
- [6]. Adafruit, "Spesifikasi DHT22," 2019. [Online]. Available: <https://www.adafruit.com>
- [7]. B. B. Agam *et al.*, "Pengaruh jenis dan bentuk lampu terhadap intensitas pencahayaan," 2015.
- [8]. Alibaba.com, "Informasi tentang sistem sensor," 2019. [Online]. Available: <https://www.alibaba.com>
- [9]. Arif, "Modul Arduino UNO," 2014.
- [10]. K. Ashton, "That 'Internet of Things' Thing," 1999.
- [11]. ASHRAE, *Standard 55-2017: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, 2017.
- [12]. Duta Jaya Technic, "Spesifikasi AC Split Wall," 2018.
- [13]. G. P. Shinde *et al.*, "Implementasi sistem kontrol AC otomatis menggunakan sensor LM35," 2019.
- [14]. M. Hartanto *et al.*, "Rancang Bangun Sistem Absensi dengan Pemeriksaan Suhu," 2021.
- [15]. Herjanto, *Otomatisasi Adalah Penggunaan*, 2008.
- [16]. IEC 60751:2008, *Industrial Platinum Resistance Thermometers*, International Electrotechnical Commission.
- [17]. IEC 60950-1, *Safety of Information Technology Equipment*, IEC Standard, 2005.
- [18]. ISO 12201:2010, *Safety of Equipment and Systems*, International Organization for Standardization.
- [19]. ISO 14955, *Energy Efficiency of Industrial Machines*, ISO Standard.
- [20]. Kadir, *Panduan Belajar Aplikasi Mikrokontroler*, 2013.
- [21]. D. W. Kusuma Budi, "Sistem Pemantauan Suhu dan Kelembapan Berbasis IoT," 2022.
- [22]. M. Makodian and I. Wardhana, *Mikrokontroler dan Teknologi Mikroprosesor*, 2010.
- [23]. Malvino, *Prinsip-Prinsip Elektronika*, 2000.
- [24]. S. C. Yener *et al.*, "Desain Generator Sinyal ECG Berbasis Mikrokontroler," 2018.