

Sistem Pemantauan Suhu dan Kelembapan di Ruang Laboratorium Pengujian Mekanik & Kimia menggunakan Internet of Things (IOT)

Adlian Jefiza ¹, Dio Imron Yusfi ¹

¹, Program Studi Mekatronika, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Batam, Batam

¹Jl. Ahmad Yani, Tlk. Tering, Kec. Batam Kota, Kota Batam, Kepulauan Riau 29461, Indonesia

email: ¹adlianjefiza@polibatam.ac.id , ¹dioimron@gmail.com

Abstract — Temperature and humidity are critical parameters in laboratory environments, especially in mechanical and chemical testing laboratories, as they directly affect the accuracy and reliability of test results. The ISO/IEC 17025 standard requires laboratories to control and monitor these environmental conditions to ensure compliance. However, traditional manual monitoring methods are prone to errors and inefficiencies, as they rely on periodic checks and manual data recording. This research proposes an Internet of Things (IoT)-based monitoring system to address these challenges by providing real-time temperature and humidity monitoring with automatic alerts. The system utilizes DHT22 sensors connected to ESP8266 and ESP32 microcontrollers to collect environmental data. The data is processed using fuzzy logic to classify room conditions into three categories: Safe, Alert, and Danger. The system is designed to send notifications via Telegram and activate a buzzer when temperature or humidity exceeds predefined thresholds. The implementation includes a web-based interface for real-time data visualization and historical data recording. Testing was conducted in both mechanical and chemical testing laboratories, demonstrating the system's ability to accurately monitor and classify environmental conditions. The results showed stable temperature and humidity levels within acceptable ranges, with the system effectively triggering alerts during abnormal conditions. The integration of IoT and fuzzy logic provides a robust solution for maintaining optimal laboratory conditions, ensuring compliance with ISO/IEC 17025 standards, and improving operational efficiency.

Keywords - Internet of Things; Fuzzy Logic; Monitoring; Temperature Sensor; Humidity

Abstrak – Suhu dan kelembapan merupakan parameter penting dalam lingkungan laboratorium, terutama di laboratorium pengujian mekanik dan kimia, karena memengaruhi akurasi dan keandalan hasil pengujian. Standar ISO/IEC 17025 mengharuskan laboratorium untuk mengendalikan dan memantau kondisi lingkungan ini. Namun, metode pemantauan manual tradisional rentan terhadap kesalahan, karena mengandalkan pemeriksaan berkala dan pencatatan data manual. Penelitian ini mengusulkan sistem pemantauan berbasis Internet of Things (IoT) untuk memberikan pemantauan suhu dan kelembapan secara real-time serta peringatan otomatis. Sistem ini menggunakan sensor DHT22 yang terhubung dengan mikrokontroler ESP8266 dan ESP32 untuk mengumpulkan data. Data tersebut diproses dengan logika fuzzy untuk mengklasifikasikan kondisi ruangan ke dalam tiga kategori: Aman, Waspada, dan Bahaya. Sistem mengirimkan notifikasi melalui Telegram dan mengaktifkan buzzer ketika suhu atau kelembapan melampaui ambang batas. Implementasi ini juga mencakup antarmuka berbasis web untuk visualisasi data secara real-time dan pencatatan historis. Pengujian di laboratorium pengujian mekanik dan kimia menunjukkan kemampuan sistem

dalam memantau dan mengklasifikasikan kondisi lingkungan dengan akurat. Hasil pengujian menunjukkan suhu dan kelembapan yang stabil dalam rentang yang dapat diterima, dengan sistem efektif memicu peringatan saat kondisi abnormal terjadi. Integrasi IoT dan logika fuzzy memberikan solusi untuk mempertahankan kondisi laboratorium yang optimal, memastikan kepatuhan terhadap standar ISO/IEC 17025, dan meningkatkan efisiensi operasional.

Kata Kunci – Internet of Things; Logika Fuzzy; Pemantauan; Sensor Suhu; Kelembapan.

I. PENDAHULUAN

Suhu dan kelembapan merupakan dua faktor krusial dalam pengelolaan laboratorium pengujian dan kalibrasi, yang secara langsung memengaruhi akurasi dan keandalan hasil pengujian. Pentingnya pengendalian parameter ini ditegaskan dalam standar internasional ISO/IEC 17025, yang mewajibkan laboratorium untuk memantau dan mengendalikan kondisi lingkungan guna memastikan kompetensi teknis dan kualitas data [1]. Namun, metode pemantauan tradisional yang masih banyak diterapkan, seperti pencatatan manual pada awal shift atau saat pengujian dimulai, memiliki kelemahan signifikan. Pendekatan manual ini rentan terhadap kesalahan manusia, tidak mampu memantau fluktuasi kondisi secara berkelanjutan, dan menyebabkan keterlambatan informasi apabila terjadi perubahan suhu atau kelembapan di luar batas toleransi [5]. Keterbatasan ini dapat berdampak pada integritas hasil pengujian dan kepatuhan terhadap standar ISO/IEC 17025 [1].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan pengembangan dan implementasi sistem pemantauan suhu dan kelembapan berbasis Internet of Things (IoT). Sistem ini dirancang untuk memberikan pemantauan real-time, otomatisasi pencatatan data, serta sistem peringatan dini yang terintegrasi [5]. Dengan memanfaatkan teknologi IoT, data suhu dan kelembapan dapat diakses secara langsung melalui antarmuka berbasis web, memungkinkan teknisi dan manajer laboratorium untuk memantau kondisi dari lokasi yang berbeda dan merespons perubahan secara cepat [3]. Selain itu, sistem ini akan mengintegrasikan logika fuzzy untuk mengklasifikasikan kondisi ruangan dan memicu notifikasi otomatis melalui Telegram serta aktivasi buzzer jika parameter lingkungan melampaui ambang batas yang ditetapkan.

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis dan menerapkan sistem Internet of Things (IoT) untuk memantau suhu dan kelembapan secara real-time di ruang laboratorium pengujian mekanik dan kimia, guna meningkatkan efisiensi dan akurasi pengujian.

2. Menggantikan metode pencatatan manual dengan sistem otomatisasi, sehingga perubahan suhu dan kelembaban dapat terpantau secara lebih konsisten dan terkendali.
3. Menyediakan sistem peringatan otomatis yang terintegrasi untuk mendeteksi dan merespons perubahan suhu dan kelembaban yang melampaui batas toleransi, sehingga menghasilkan analisis lebih cepat dan respons yang lebih tepat waktu terhadap kondisi lingkungan ekstrem demi menjaga kualitas dan integritas hasil pengujian.

Dengan demikian, implementasi sistem ini diharapkan tidak hanya memenuhi persyaratan standar ISO/IEC 17025, tetapi juga meningkatkan efisiensi operasional dan kualitas hasil pengujian secara keseluruhan di laboratorium.

II. PENELITIAN YANG TERKAIT

Beberapa penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan upaya dalam pengembangan sistem pemantauan lingkungan berbasis IoT:

1. Abraham Heksa Martin dkk. (2019) mengembangkan sistem pemantauan suhu dan kelembaban lingkungan berbasis IoT dengan sumber listrik tenaga surya [4]. Meskipun inovatif, sistem ini memiliki kelemahan pada ketergantungan energi matahari dan biaya implementasi yang tinggi.
2. Wang, L., et al. (2021) mengimplementasikan IoT untuk pemantauan lingkungan secara real-time di laboratorium [5]. Namun, penelitian ini kurang memberikan informasi detail mengenai implementasi praktisnya.
3. Rizki Fauzi, M. (2022) fokus pada sistem pemantauan suhu dan kelembaban berbasis IoT pada ruang server [6]. Fokus yang terbatas ini tidak secara umum mencakup aplikasi di lingkungan laboratorium yang lebih luas.
4. Susilo, B., et al. (2023) membahas integrasi teknologi IoT dalam sistem pemantauan lingkungan untuk mendukung keberlanjutan industri [2]. Namun, informasi mengenai validitas dan akurasi data IoT masih kurang.
5. Pratama, R., et al. (2021) menerapkan sensor DHT22 dan IoT dalam pemantauan suhu dan kelembaban pada laboratorium pangan [6]. Ruang lingkup penelitian ini terbatas pada konteks laboratorium pangan.
6. Suprava Ranjan Laha, Binod Kumar Pattanayak, & Saumendra Pattnaik (2023) membahas sistem pemantauan lingkungan canggih menggunakan IoT, teknologi sensor, dan pembelajaran mesin [3]. Tantangan yang dihadapi meliputi manajemen data, keamanan dan privasi, serta masalah catu daya di daerah terpencil.

Dari ulasan penelitian terkait di atas, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar sistem yang telah dikembangkan berfokus pada fungsi pemantauan dasar. Kelemahan yang sering ditemukan adalah keterlambatan informasi yang diterima oleh teknisi apabila terjadi perubahan suhu dan kelembaban di luar standar yang dibutuhkan, karena sistem umumnya tidak dilengkapi dengan mekanisme peringatan yang cerdas atau responsive. Perbedaan mendasar antara penelitian-penelitian sebelumnya dengan penelitian yang dilakukan oleh penulis terletak pada penambahan sistem peringatan menggunakan logika fuzzy. Penelitian ini secara spesifik bertujuan untuk mengatasi kelemahan keterlambatan informasi dengan mengintegrasikan logika fuzzy untuk mengklasifikasikan kondisi ruangan ke

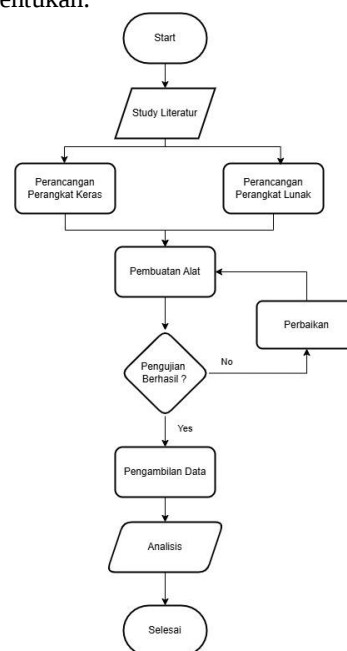
dalam level peringatan (Aman, Waspada, Bahaya) secara otomatis. Dengan adanya sistem peringatan berbasis logika fuzzy ini, diharapkan teknisi dapat segera menerima notifikasi melalui Telegram dan aktivasi buzzer saat kondisi abnormal terdeteksi, sehingga memungkinkan tindakan korektif yang lebih cepat dan efektif. Inovasi ini berkontribusi pada peningkatan efektivitas pemantauan dan respons terhadap kondisi lingkungan yang tidak sesuai standar, serta memastikan kepatuhan yang lebih baik terhadap persyaratan ISO/IEC 17025.

III. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, sistem pemantauan suhu dan kelembaban dirancang menggunakan teknologi Internet of Things (IoT) yang memungkinkan pemantauan secara real-time di dua ruangan laboratorium, yaitu Ruang Mechanical dan Ruang Chemical. Setiap ruangan dilengkapi dengan perangkat keras dan lunak yang dirancang untuk mendeteksi kondisi lingkungan serta memberikan peringatan dengan level berdasarkan kondisi suhu dan kelembaban jika terjadi penyimpangan suhu atau kelembaban. Berikut perancangan sistem yang akan dilakukan secara keseluruhan dalam penyelesaian Jurnal ini.

A. Perancangan Sistem

Perancangan pada jurnal ini memuat keseluruhan proses dan bagian dari alat secara garis besar. Keseluruhan rancangan dibuat sebagai acuan pembuatan alat agar mencapai tujuan yang telah ditentukan.



Gbr. 1 Diagram Alir Perancangan Sistem.

Pada Gbr 1. Diagram alir perancangan system, menjelaskan tentang Perancangan Perangkat Penelitian Jurnal ini, diawali dengan proses studi literatur, lalu memulai perancangan sistem. Pada tahap ini terbagi menjadi dua, yaitu perancangan perangkat keras meliputi desain mekanik dan elektrik, lalu perancangan perangkat lunak meliputi pemrograman, desain, dan pembuatan antarmuka untuk menampilkan hasil pembacaan ruangan serta metode yang digunakan. Setelah itu, proses dilanjutkan ke tahap pembuatan alat. Setelah alat siap, dilakukan pengujian. Proses ini akan dilakukan sampai alat berhasil. Apabila gagal, maka akan diulang dalam pembuatan

alat. Apabila telah berhasil, dilanjutkan dengan proses pengambilan data. Setelah itu, pada proses akhir penulis akan membuat analisis dari seluruh proses yang telah dilakukan.

1. Perancangan Perangkat Keras

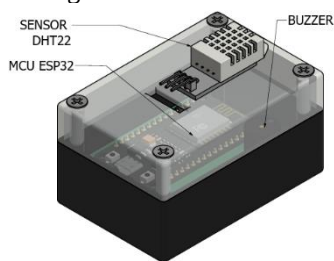
Perangkat keras yang digunakan di setiap ruangan berbeda, disesuaikan dengan karakteristik masing-masing ruangan. Berikut adalah rincian perangkat keras yang digunakan:

- ESP8266 untuk Ruang Mechanical & ESP32 untuk Ruang Chemical: Mikrokontroler ini dipilih karena memiliki konektivitas Wi-Fi yang stabil dan cocok untuk aplikasi IoT dengan daya rendah.
- Sensor DHT22: Sensor ini digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban. DHT22 dipilih karena akurasi yang baik dalam pengukuran kedua variabel ini dan kemampuannya untuk bekerja di lingkungan dengan kelembaban tinggi.
- Module OLED: Layar OLED digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran suhu dan kelembaban secara langsung di setiap ruangan. Informasi ini berguna bagi operator di lokasi untuk melihat kondisi lingkungan tanpa harus membuka aplikasi di perangkat lain.
- Buzzer: Buzzer dipasang untuk memberikan peringatan suara apabila suhu atau kelembaban keluar dari batas toleransi yang telah ditentukan. Buzzer akan berbunyi sebagai tanda bahwa kondisi ruangan tidak normal.
- Catu Daya: Setiap perangkat keras membutuhkan catu daya yang stabil agar dapat beroperasi dengan baik. Catu daya di setiap ruangan diatur untuk memberikan tegangan yang sesuai dengan kebutuhan perangkat.

Dengan komposisi perangkat keras di atas, sistem ini mampu melakukan pengukuran suhu dan kelembaban secara berkala, menampilkan informasi tersebut secara lokal di OLED, serta memberikan peringatan jika terjadi kondisi lingkungan yang tidak sesuai.

a) Desain Mekanik

Berikut perencanaan gambar desain mekanik untuk alat ini:

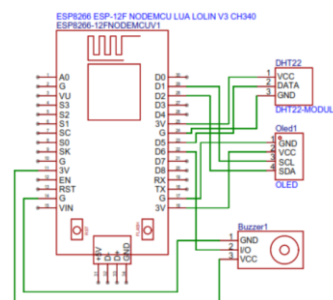


Gbr. 2 Design Mekanik alat

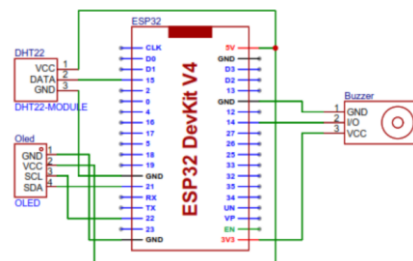
Pada Gbr. 2 di atas menunjukkan perencanaan desain mekanik alat yang akan dibuat. Desain dirancang sedemikian rupa dengan pertimbangan ukuran sensor dan perangkat yang digunakan, agar penempatan tata letak dari komponen dapat diatur seefisien mungkin sehingga ukuran dari alat ini dapat menjadi lebih ringkas, dan memudahkan untuk peletakan alat saat nantinya dioperasikan. Rencana penempatan alat ini akan ditempel di dinding di dekat dengan sumber listrik sehingga diharapkan alat ini tidak akan mengganggu karyawan dalam melaksanakan kegiatan pengujian di ruang Laboratory.

b) Desain Elektrikal

Berikut perencanaan desain elektrikal untuk alat ini:



Gbr. 3 Design Elektrikal ESP8266



Gbr.4 Design Elektrikan ESP32

Pada Gbr.3 menunjukkan tentang rancangan elektrikal yang akan dibuat dalam mengerjakan proyek akhir ini dengan menggunakan ESP8266 dan Gbr.4 menunjukkan tentang rancangan elektrikal menggunakan ESP32. Perbedaan pada kedua perancangan elektrikal hanya pada mikrokontroler yang digunakan, yaitu ESP32 dan ESP8266.

2. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak dirancang untuk mengelola perangkat keras dan memastikan perangkat lunak dirancang untuk menjalankan fungsi-fungsi berikut:

- Membaca data Suhu dan Kelembaban dari sensor.
- Memproses data menggunakan logika fuzzy untuk menghasilkan peringatan dengan tingkatan level.
- Menampilkan informasi ke antarmuka IoT dan memberikan notifikasi ke Telegram.
- Mengaktifkan buzzer jika kondisi kritis terjadi.

Komponen Utama Perangkat Lunak:

- Antarmuka Web IoT

Sistem ini dirancang untuk mengirimkan data secara *real-time* ke antarmuka web yang dapat diakses dari mana saja. Data suhu dan kelembaban yang diterima dari sensor ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel untuk mempermudah pemantauan. Antarmuka ini dirancang dengan prinsip *user-friendly*, sehingga pengguna dapat dengan mudah memahami kondisi lingkungan di ruang laboratorium.

- Logika Fuzzy untuk Pemrosesan Data

Data suhu dan kelembaban dari sensor dikonversi menjadi variabel linguistik (Aman, Waspada, Bahaya) menggunakan fungsi keanggotaan fuzzy. Sistem memproses data menggunakan aturan fuzzy Mamdani untuk menentukan status lingkungan.

- Notifikasi Alarm via Telegram

Sistem ini dilengkapi dengan fitur pengiriman notifikasi otomatis ke aplikasi Telegram. Ketika suhu atau kelembaban berada di luar batas toleransi, sistem akan mengirimkan pesan peringatan ke grup Telegram yang telah ditentukan sebelumnya. Hal ini memungkinkan teknisi untuk segera mengambil tindakan terhadap kondisi abnormal.

- Pengaturan Alarm Suara (Buzzer)
Jika kondisi berada dalam Level 3 ke atas, buzzer akan diaktifkan sebagai peringatan lokal.

B. Implementasi Fuzzy

Implementasi fuzzy pada penelitian ini digunakan untuk memproses data suhu dan kelembaban dengan metode Mamdani untuk menghasilkan *output* berupa kondisi ruangan. Langkah-langkah utama dalam implementasi fuzzy mencakup: pembentukan himpunan fuzzy, fuzzifikasi, penerapan aturan inferensi fuzzy, komposisi aturan, dan defuzzifikasi.

1. Pembentukan Himpunan Fuzzy

Pembentukan himpunan Fuzzy merupakan salah satu langkah penting dalam penerapan logika fuzzy, yang dikenal dengan istilah fuzzifikasi. Fuzzifikasi adalah proses mengubah *input* himpunan tegas (*crisp*) menjadi himpunan fuzzy, yang memungkinkan data diolah berdasarkan derajat keanggotaan (*membership degree*) terhadap fungsi keanggotaan tertentu. Sistem ini menggunakan dua variabel *input* utama, dan satu *output* yaitu:

a. Fuzzy Input

Suhu: Nilai dalam derajat Celsius (°C) dan Kelembaban: Nilai dalam persentase kelembaban relatif (%RH)

b. Fuzzy Output

Kondisi Ruangan: Aman, Waspada, dan Bahaya

a) Variable Input Suhu

Variabel Suhu dibagi menjadi tiga kategori berbasis fungsi keanggotaan fuzzy sebagai berikut:

- Suhu Dingin (0–18°C)

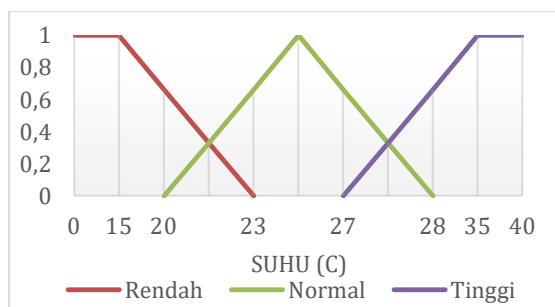
$$\mu_{\text{Dingin}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ \frac{18-x}{18-0}, & 0 < x \leq 18 \\ 0, & x > 18 \end{cases}$$

- Suhu Normal (18–28°C)

$$\mu_{\text{Stabil}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 18 \\ \frac{x-18}{28-18}, & 18 < x \leq 28 \\ \frac{46-x}{46-28}, & 28 < x \leq 46 \\ 0, & x > 46 \end{cases}$$

- Suhu Hangat (28–46°C)

$$\mu_{\text{Hangat}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 28 \\ \frac{x-28}{46-28}, & 28 < x \leq 46 \\ 1, & x > 46 \end{cases}$$



Gbr. 5 Grafik Membership Suhu

Dapat dilihat pada Gbr. 5, grafik *membership* fuzzy untuk suhu, yang digunakan dalam logika fuzzy untuk

mengategorikan suhu ke dalam tiga kategori: Rendah (merah) Kategori ini mencakup suhu di bawah 18°C, Normal (hijau) mencakup suhu yang berada di kisaran 18°C hingga 28°C, dan Tinggi (Biru) Kategori ini mencakup suhu yang lebih tinggi dari 28°C.

b) Variable Input Kelembaban

Kelembaban relatif dikelompokkan menjadi tiga kategori dengan rentang sebagai berikut:

- Kelembaban Kering (10-70%)

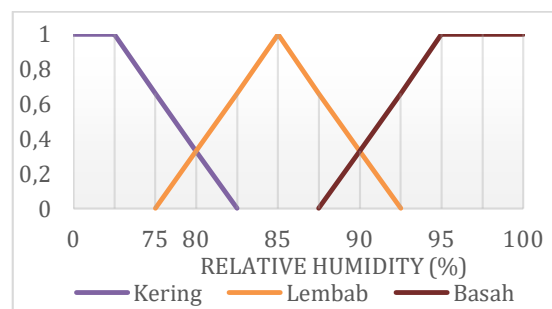
$$\mu_{\text{Kering}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 10 \\ \frac{70-x}{70-10}, & 10 < x \leq 70 \\ 0, & x > 70 \end{cases}$$

- Kelembaban Lembab (70-80%)

$$\mu_{\text{Lembab}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 70 \\ \frac{x-70}{80-70}, & 70 < x \leq 80 \\ \frac{90-x}{90-80}, & 80 < x \leq 90 \\ 0, & x > 90 \end{cases}$$

- Kelembaban Basah (80-90%)

$$\mu_{\text{Basah}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 80 \\ \frac{x-80}{90-80}, & 80 < x \leq 90 \\ 1, & x > 90 \end{cases}$$



Gbr. 6 Grafik Membership Kelembaban

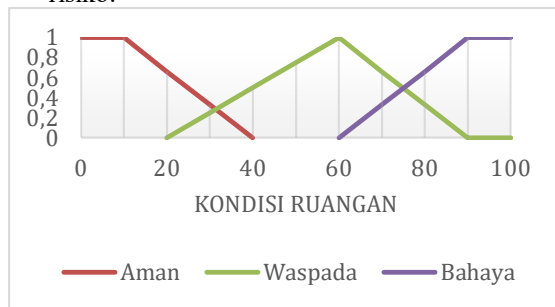
Pada Gbr. 6, grafik fungsi keanggotaan fuzzy untuk kelembaban relatif, yang digunakan untuk mengkategorikan kelembaban ke dalam tiga kategori: Kering (Ungu), kategori ini mencakup kelembaban di bawah 70%; Lembab (Oranye), kategori ini mencakup kelembaban antara 70% hingga 80%; dan Basah (Merah), kategori ini mencakup kelembaban di atas 80%. Grafik ini digunakan dalam logika fuzzy untuk menentukan kondisi kelembaban dan memberikan respons sesuai dengan nilai yang terukur.

c) Variabel Output Kondisi Ruangan

Variabel Kondisi Ruangan dikelompokkan ke dalam tiga kategori berbasis fungsi keanggotaan fuzzy untuk menggambarkan tingkat keamanan kondisi lingkungan. Berikut adalah kategori dan penjelasannya:

- Aman (0-30)
Kondisi ruangan berada dalam zona optimal. Tidak ada ancaman berarti, sehingga ruangan aman untuk digunakan.
- Waspada (30-70)
Ruangan memerlukan perhatian ekstra. Kondisi ini menunjukkan bahwa salah satu parameter (suhu atau kelembaban) mulai mendekati batas toleransi.
- Bahaya (70-100)
Kondisi ruangan berada dalam situasi kritis.

Parameter lingkungan melebihi batas toleransi, memerlukan tindakan segera untuk menghindari risiko.



Gbr. 7 Grafik Variabel Kondisi Ruang

Dapat dilihat pada Gbr. 7, grafik fungsi keanggotaan fuzzy untuk Kondisi Ruang, yang digunakan dalam logika fuzzy untuk mengkategorikan kondisi ruang laboratorium berdasarkan suhu dan kelembaban yang terukur, dengan kategori "Aman" (merah) untuk kondisi stabil, "Waspada" (hijau) yang menunjukkan potensi masalah yang perlu diawasi, dan "Bahaya" (ungu) yang mengindikasikan kondisi kritis yang memerlukan tindakan segera.

2. Penerapan aturan Fuzzy

Penerapan aturan fuzzy dilakukan untuk menghubungkan variabel input (suhu dan kelembaban) dengan variabel output (kondisi ruangan) menggunakan metode inferensi Mamdani. Proses ini melibatkan penggunaan aturan-aturan logis berbasis linguistik untuk menentukan kondisi ruangan berdasarkan kombinasi nilai suhu dan kelembaban.

Aturan fuzzy yang digunakan dirancang dengan mempertimbangkan kondisi laboratorium dan batas toleransi lingkungan yang telah ditentukan. Aturan-aturan tersebut dirumuskan sebagai berikut:

- JIKA Suhu Dingin DAN Kelembaban Kering MAKA Kondisi Ruang Aman.
- JIKA Suhu Dingin DAN Kelembaban Lembab MAKA Kondisi Ruang Waspada.
- JIKA Suhu Dingin DAN Kelembaban Basah MAKA Kondisi Ruang Bahaya.
- JIKA Suhu Stabil DAN Kelembaban Kering MAKA Kondisi Ruang Aman.
- JIKA Suhu Stabil DAN Kelembaban Lembab MAKA Kondisi Ruang Waspada.
- JIKA Suhu Stabil DAN Kelembaban Basah MAKA Kondisi Ruang Bahaya.
- JIKA Suhu Hangat DAN Kelembaban Kering MAKA Kondisi Ruang Waspada.
- JIKA Suhu Hangat DAN Kelembaban Lembab MAKA Kondisi Ruang Bahaya.
- JIKA Suhu Hangat DAN Kelembaban Basah MAKA Kondisi Ruang Bahaya.

Setiap aturan di atas mencerminkan hubungan logis antara suhu, kelembaban, dan kondisi ruangan. Aturan-aturan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Aman: Kombinasi suhu dan kelembaban berada dalam rentang optimal untuk ruangan, sehingga tidak ada risiko yang memengaruhi aktivitas di laboratorium
- Waspada: Kombinasi suhu dan kelembaban mendekati

batas toleransi, sehingga diperlukan perhatian ekstra untuk mencegah kondisi memburuk.

- Bahaya: Kombinasi suhu tinggi dan kelembaban ekstrem melebihi batas toleransi, yang dapat menyebabkan kondisi kritis dan memerlukan tindakan segera.

Aturan-aturan ini diproses menggunakan sistem inferensi Mamdani, di mana masing-masing aturan diaplikasikan berdasarkan derajat keanggotaan input fuzzy. Output fuzzy yang dihasilkan dari penerapan aturan ini akan menentukan kondisi ruangan secara keseluruhan, yang kemudian digunakan untuk langkah defuzzifikasi guna menghasilkan nilai crisp sebagai output akhir. Dengan menggunakan aturan fuzzy di atas, sistem ini mampu mendeteksi dan mengklasifikasikan kondisi ruangan secara efisien, memastikan tindakan peringatan dapat dilakukan tepat waktu jika diperlukan.

3. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses terakhir dalam implementasi logika fuzzy, di mana hasil fuzzy output yang berupa nilai linguistik diubah menjadi nilai tegas (crisp value) agar dapat digunakan dalam pengambilan keputusan. Pada penelitian ini, proses defuzzifikasi menggunakan Metode Centroid (Composite Moment). Metode ini dipilih karena menghasilkan nilai yang mewakili keseluruhan himpunan fuzzy secara proporsional.

Langkah-langkah Defuzzifikasi:

1. Input dari Proses Inferensi Fuzzy

Hasil dari proses inferensi fuzzy adalah himpunan fuzzy yang menggambarkan kondisi ruangan berdasarkan derajat keanggotaan dari aturan fuzzy yang diterapkan. Himpunan fuzzy ini terdiri atas kombinasi keanggotaan untuk kategori Aman, Waspada, dan Bahaya.

2. Menggabungkan Output Fuzzy

Semua aturan fuzzy yang aktif dikombinasikan menggunakan fungsi maksimum (MAX) untuk membentuk satu area fuzzy.

3. Menghitung Centroid

Nilai *crisp* (z) dihitung menggunakan formula berikut:

$$z = \frac{\int \mu_{\text{output}}(z) \cdot z \, dz}{\int \mu_{\text{output}}(z) \, dz}$$

dimana: $\mu_{\text{output}}(z)$: Derajat keanggotaan *output* fuzzy
 z : Nilai pada domain *output* fuzzy

Contoh kasus:

Sebagai ilustrasi, misalkan sistem menerima *input* berikut:
Suhu 27°C, Kelembaban 60%

Langkah-langkah:

1. Fuzzifikasi Input

Suhu 27°C memiliki derajat keanggotaan:

- Stabil: 1
- Dingin dan Hangat: 0

Kelembaban 60% memiliki derajat keanggotaan:

- Kering: 1
- Lembab dan Basah: 0

2. Aplikasi aturan Fuzzy

Berdasarkan aturan fuzzy:

JIKA Suhu Stabil DAN Kelembaban Kering MAKA Kondisi Ruang Aman. Dengan derajat

keanggotaan:
 $\mu_{Aman} = \min(\mu_{Stabil}, \mu_{Kering})$
 $\mu_{Aman} = \min(1, 1) = 1$

3. Komposisi Output

Hasil dari aturan fuzzy akan membentuk *output* fuzzy untuk kondisi Aman. Karena hanya satu aturan yang aktif, hasil fuzzy *output* hanya akan berada dalam domain kategori Aman.

4. Defuzzifikasi

Kategori Aman berada dalam rentang $0 \leq z \leq 30$. Fungsi keanggotaan untuk kondisi Aman adalah linier, menurun dari 1 ke 0 pada rentang ini: Perhitungan Luas Daerah.

- Perhitungan Luas Daerah

$$A_{Aman} = \frac{1}{2} \times (30 - 0) \times 1 = 15$$

- Perhitungan Momentum:

$$M_{Aman} = \int_0^{30} z \cdot \mu_{Aman}(z) dz$$

- Karena fungsi $\mu_{Aman}(z)$ adalah linier:

$$M_{Aman} = \frac{1}{2} \times 30 \times (30/3) = 150$$

- Hitung Centroid:

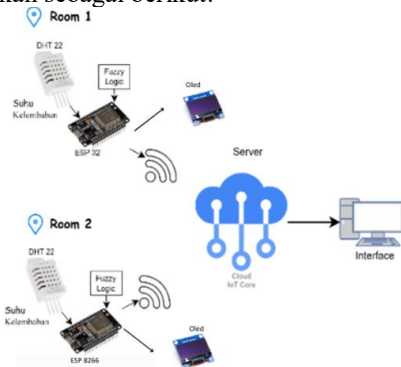
$$z = \frac{M_{Aman}}{A_{Aman}} = \frac{150}{15} = 10$$

Berdasarkan perhitungan di atas, nilai *crisp* untuk kondisi ruangan adalah 10, yang berarti kondisi ruangan berada dalam kategori Aman.

C. Alur Sistem

1. Sistem Perangkat Lunak

Flowchart berikut menjelaskan alur kerja sistem pemantauan suhu dan kelembaban berbasis IoT yang dirancang untuk ruang laboratorium. Sistem ini menggunakan sensor DHT22, mikrokontroler ESP32, dan metode logika fuzzy untuk memproses data lingkungan secara *real-time*. Alur kerja sistem dapat dijelaskan sebagai berikut:

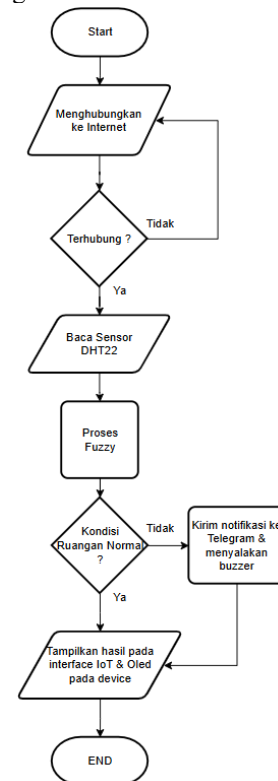


Gbr. 8 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem pada Gbr.8, ini menggambarkan dua perangkat utama yang ditempatkan di laboratorium berbeda untuk memantau suhu dan kelembaban menggunakan sensor DHT22. Data yang diperoleh dari sensor diproses oleh mikrokontroler ESP32 dan ESP8266 yang menjalankan logika fuzzy, kemudian dikirim ke server lokal. Server ini berfungsi untuk menyimpan data, menampilkan informasi di komputer, dan memicu alarm apabila kondisi tertentu terdeteksi.

2. Alur Kerja Sistem

Flowchart berikut menjelaskan alur kerja sistem pemantauan suhu dan kelembaban berbasis IoT yang dirancang untuk ruang laboratorium. Sistem ini menggunakan sensor DHT22, mikrokontroler ESP32, dan metode logika fuzzy untuk memproses data lingkungan secara *real-time*. Alur kerja sistem dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gbr.9 Flowchart Diagram Sistem

Gbr.9 menunjukkan proses flowchart diagram sebagai berikut:

- Start: Sistem dimulai dengan mengaktifkan perangkat keras dan perangkat lunak.
- Menghubungkan ESP32 ke internet.
- Memeriksa koneksi, jika ESP32 sudah terhubung, sensor akan membaca data dari sensor. Jika koneksi gagal, ESP32 akan mencoba kembali menghubungkan ke internet.
- Inisialisasi Sensor DHT22: Mikrokontroler ESP32 menginisialisasi sensor DHT22 untuk mulai membaca data suhu dan kelembaban.
- Pengumpulan Data: Sensor DHT22 mengukur suhu dan kelembaban ruangan secara berkala, kemudian mengirimkan data ke ESP32.
- Pemrosesan Data Menggunakan Logika Fuzzy: Data suhu dan kelembaban diolah menggunakan logika fuzzy untuk menentukan status lingkungan (misalnya, normal, waspada, atau bahaya). Logika fuzzy digunakan karena fleksibilitasnya dalam menangani data yang tidak pasti.
- Sistem Notifikasi: Jika kondisi lingkungan berada di luar batas toleransi (misalnya kondisi lingkungan bahaya), sistem akan memutuskan untuk mengirimkan notifikasi. Jika kondisi normal, data hanya akan disimpan ke server/database dan ditampilkan pada sistem IoT serta Oled tanpa peringatan.
- Pengiriman Notifikasi: Sistem mengirimkan notifikasi melalui aplikasi Telegram kepada teknisi yang bertugas

jika kondisi dianggap tidak aman. Selain itu, buzzer akan diaktifkan sebagai alarm lokal di lokasi laboratorium.

- Antarmuka IoT: Data suhu dan kelembaban ditampilkan secara real-time pada antarmuka web berbasis IoT dalam bentuk grafik dan tabel.
- End: Proses berulang hingga sistem dihentikan.

D. Alat dan Bahan

Berikut perencanaan alat dan bahan serta estimasi biaya yang akan dibutuhkan dalam pembuatan perangkat ini agar dapat berfungsi dengan baik:

Tabel 1. Alat dan Bahan

No	Alat/bahan	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah	Total (Rp.)
1	ESP32	85.000	1 Buah	85.000
2	ESP8266	32.000	1 Buah	32.000
3	DHT 22	30.000	2 Buah	60.000
4	Module Oled 0.96"	30.000	2 Buah	60.000
5	Buzzer Module	5.000	2 Buah	10.000
6	Adaptor	35.000	2 Buah	70.000
7	Box Custom	57.000	2 Buah	114.000
8	Kabel Jumper	21.000	-	21.000
Total				452.000

Deskripsi Komponen:

- ESP32 & ESP8266: ESP32 digunakan sebagai mikrokontroler utama di Ruang Kimia, sedangkan ESP8266 digunakan di Ruang Mekanik. data ke server tanpa perangkat tambahan.
- DHT 22: Sensor ini digunakan untuk mengukur suhu (dalam derajat Celsius) dan kelembaban (dalam persen).
- Module OLED: Layar OLED berfungsi untuk menampilkan data suhu dan kelembaban secara *real-time* di lokasi.
- Buzzer Module: Digunakan sebagai alarm suara yang akan aktif ketika suhu atau kelembaban berada di luar batas toleransi, Memberikan peringatan langsung kepada pengguna di Lokasi.
- Adaptor: Menyediakan sumber daya listrik yang stabil untuk semua komponen perangkat keras.
- Box Custom: Berfungsi sebagai pelindung perangkat dari debu, kelembaban, atau gangguan eksternal lainnya, Desain box dirancang agar perangkat dapat bertahan lebih lama dan mudah dipasang di laboratorium.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil implementasi dari pengukuran suhu dan kelembaban yang diperoleh dari dua lokasi, yaitu Ruang Mechanical dan Ruang Chemical. Data dikumpulkan menggunakan sistem pemantauan berbasis Internet of Things (IoT) yang dirancang untuk memantau kondisi lingkungan secara real-time. Perangkat dipasang di lokasi strategis di masing-masing ruangan untuk memastikan akurasi pengukuran dan efektivitas pemantauan.

A) Implementasi Hasil Penelitian

1. Hasil Implementasi Perangkat Keras

Berikut adalah implementasi Perangkat keras yang telah dirancang dan dirakit untuk sistem pemantauan suhu dan kelembaban berbasis IoT, terdapat dua perangkat utama yang ditempatkan di ruangan berbeda, Ruang mechanical Menggunakan ESP8266 dengan sensor DHT22, dan Ruang Chemical: Menggunakan ESP32 dengan sensor DHT22.



Gbr. 10 Tampilan Alat

Pada Gbr.10 menunjukkan hasil pembuatan perangkat keras. Komponen perangkat keras ditempatkan dalam box pelindung custom yang dirancang untuk melindungi alat dari gangguan eksternal seperti debu atau kelembaban. Desain box dibuat ringkas agar mudah dipasang di lokasi strategis di laboratorium.

2. Hasil Implementasi Perangkat Lunak

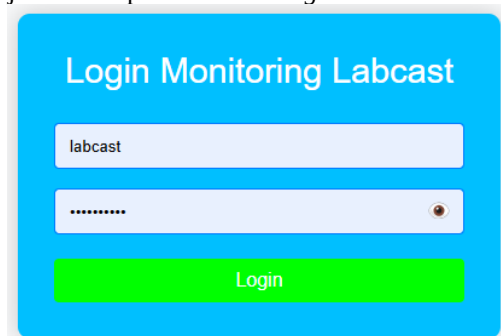
Berikut ini adalah implementasi dari perangkat lunak yang telah diimplementasikan:

- Program Mikrokontroler
- Implementasi software pada ESP32/ESP8266 mencakup:
 - Pembacaan sensor setiap 1 menit
 - Pengolahan data menggunakan logika fuzzy
 - Pengiriman data ke server via MQTT
 - Aktivasi alarm saat parameter melewati batas
- Sistem Monitoring

Bagian ini menjelaskan tampilan antarmuka berbasis web yang dirancang untuk memantau kondisi suhu dan kelembaban di Ruang Mekanik dan Ruang Kimia secara real-time. Antarmuka ini dilengkapi dengan fitur-fitur utama yang memudahkan pengguna dalam mengakses data, memantau kondisi lingkungan, agar dapat segera mengambil tindakan jika diperlukan.

a) Login Screen

Sebelum mengakses sistem, pengguna harus melalui halaman *login* untuk autentikasi. Halaman *login* ini memastikan bahwa hanya pengguna yang berwenang dapat mengakses sistem pemantauan laboratorium. Gbr.11 berikut menunjukkan tampilan halaman *login*



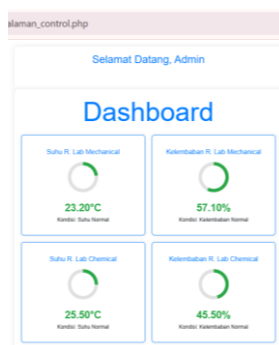
Gbr. 11 Login Screen

Pada Gbr. 11 terdapat fitur *login* di mana *user* diminta untuk memasukkan *username* dan *password*. Fitur ini dirancang untuk menjaga keamanan data dan mencegah akses tidak sah ke sistem pemantauan.

b) Dashboard Utama

Setelah berhasil *login*, pengguna akan diarahkan ke dasbor utama. Dapat dilihat pada Gbr.12, Dasbor ini menampilkan data suhu dan kelembaban dari Ruang Mekanik dan Ruang Kimia secara visual menggunakan grafik dan indikator

warna. Dua panel utama pada dasbor memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi kedua ruangan secara bersamaan.

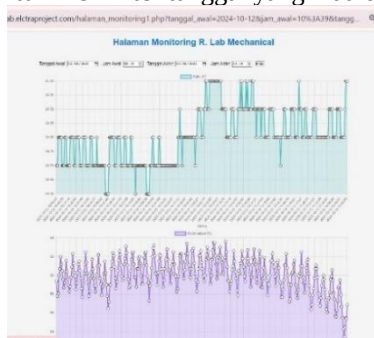


Gbr. 12 Dashboard Utama

Tampilan Dasbor pada gbr.12 dibuat *simple* agar dapat memberikan informasi secara langsung mengenai apakah suhu dan kelembapan berada dalam batas aman atau memerlukan perhatian lebih lanjut terhadap kedua ruangan.

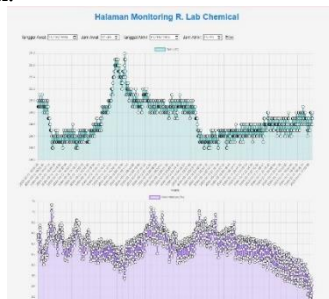
c) Monitoring

Fitur *monitoring* memungkinkan pengguna untuk melihat grafik perubahan suhu dan kelembapan secara rinci dari kedua ruangan. Dapat dilihat pada gbr 13 dan 14. Grafik ini memvisualisasikan data suhu dan kelembapan dari waktu ke waktu, membantu manajer laboratorium dalam mengidentifikasi pola fluktuasi kondisi lingkungan, terdapat juga menu untuk memfilter tanggal yang mau dianalisis.



Gbr. 13 Monitoring Screen R.Mechanical

Grafik pada Gbr.13 memberikan wawasan lebih mendalam tentang stabilitas kondisi lingkungan pada ruang mechanical dengan rentng waktu yang dapat diatur atau seluruh nya sehingga teknisi dapat merencanakan tindakan pencegahan jika diperlukan.



Gbr. 14 Monitoring Screen R.Chemical

Grafik pada Gbr.14 memberikan wawasan lebih mendalam tentang stabilitas kondisi lingkungan di ruang chemical selama periode tertentu, atau seluruh data, sehingga teknisi dapat merencanakan tindakan pencegahan jika diperlukan.

d) Record

Fitur catatan (record) menyediakan akses ke data historis suhu dan kelembapan yang telah tercatat pada periode tertentu. Pada Gbr. 15 dan 16 menampilkan data ditampilkan dalam format tabel yang mencakup informasi suhu, kelembapan, waktu pengukuran, serta opsi tindakan seperti menghapus data lama.

No	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Waktu	Aksi
1	24.80	67.30	2024-10-12 16:10:08	Hapus
2	24.70	60.80	2024-10-12 16:09:16	Hapus
3	24.70	59.40	2024-10-12 16:05:44	Hapus
4	24.10	57.60	2024-10-12 16:10:47	Hapus
5	24.80	68.10	2024-10-12 16:10:08	Hapus
6	24.80	60.80	2024-10-12 16:09:38	Hapus
7	24.80	60.70	2024-10-12 16:09:36	Hapus
8	24.80	60.60	2024-10-12 16:09:34	Hapus
9	24.80	60.70	2024-10-12 16:07:38	Hapus
10	24.70	60.80	2024-10-12 16:08:24	Hapus

Gbr. 15 Record R.Mechanical

Gbr 15 menunjukkan tabel yang memuat data rekaman pada ruang mechanical, yang dapat diunduh untuk keperluan pencatatan data laboratorium. Fitur yang tersedia memungkinkan pengguna untuk memfilter berdasarkan tanggal, sehingga data yang diunduh dapat berupa data harian, mingguan, atau bulanan sesuai kebutuhan untuk pencatatan atau analisis kondisi ruangan. Untuk memastikan penyimpanan database tetap efisien dan tidak penuh, sistem dilengkapi dengan fitur penghapusan data lama yang sudah tidak digunakan. Pengguna dapat secara berkala menghapus data yang sudah kadaluarsa atau tidak relevan, sehingga ruang penyimpanan tetap optimal.

No	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Waktu	Aksi
1	24.90	62.10	2024-10-12 15:57:24	Hapus
2	24.90	62.10	2024-10-12 15:57:14	Hapus
3	25.90	61.80	2024-10-12 15:56:25	Hapus
4	24.90	65.80	2024-10-12 15:54:21	Hapus
5	24.90	65.50	2024-10-12 15:53:10	Hapus
6	24.90	65.50	2024-10-12 15:52:18	Hapus
7	24.90	65.20	2024-10-12 15:51:18	Hapus
8	24.90	64.90	2024-10-12 15:50:10	Hapus
9	24.90	61.50	2024-10-12 15:49:10	Hapus
10	24.90	62.50	2024-10-12 15:48:10	Hapus

Gbr. 16. Record R.Chemical

Gbr 16 menunjukkan tabel yang memuat data rekaman pada ruang chemical, dimana fitur yang terdapat pada menu tersebut sama seperti Record R.Mechanical yang membedakan hanya ruangan yang di observasi. sehingga data yang diunduh dapat digunakan untuk keperluan audit dan Analisa.

Antarmuka berbasis web yang dikembangkan memungkinkan pengelolaan sistem pemantauan laboratorium secara efektif. Sistem ini dilengkapi dengan mekanisme *login* yang menjamin keamanan akses data, sehingga hanya pengguna terotorisasi yang dapat menggunakan sistem. Dasbor utama menyajikan informasi kondisi ruangan secara langsung, memudahkan pemantauan parameter lingkungan tanpa jeda waktu.

Perubahan suhu dan kelembapan divisualisasikan dalam bentuk grafik yang informatif, memberikan gambaran jelas tentang tren dan fluktuasi kondisi ruangan. Seluruh data pengukuran tersimpan dalam format tabel terstruktur, menciptakan rekam jejak lengkap untuk keperluan dokumentasi dan evaluasi jangka panjang. Fitur-fitur ini memungkinkan manajer laboratorium memantau kondisi

Ruang Mekanik dan Kimia dengan mudah, serta merespons cepat jika terjadi penyimpangan parameter lingkungan yang dapat memengaruhi kualitas pengujian.

B) Data Hasil Penelitian

Pada proses pengambilan data, pengukuran suhu dan kelembaban ini dilakukan menggunakan sensor DHT22 yang terhubung dengan mikrokontroler ESP8266 (untuk Ruang Mechanical) dan ESP32 (untuk Ruang Chemical). Data dikumpulkan selama periode tertentu untuk mengevaluasi stabilitas kondisi lingkungan di kedua ruangan.

Dapat dilihat pada gbr.17 menunjukkan Lokasi penempatan alat di laboratorium *mechanical* dan *chemical*, ditempatkan di lokasi yang dapat mewakili pengukuran ruangan tersebut.



Gbr.17 Lokasi Penempatan Alat Suhu dan Kelembaban

Pada Gbr.17 Penempatan alat dilakukan dengan pertimbangan kemudahan akses ke sumber listrik. Alat tersebut dipasang dekat dengan stop kontak agar dapat terhubung langsung dengan sumber daya listrik. Posisi alat yang ditempel permanen pada dinding untuk memastikan alat terpasang dengan kokoh, meminimalkan risiko alat terjatuh saat digunakan. Dengan demikian, penempatan ini memudahkan akses untuk perawatan atau pemeriksaan, serta menjamin fungsionalitas alat berjalan dengan lancar tanpa hambatan yang berarti.

1. Data Pengujian Suhu & Kelembaban R.Mechanical

Pengujian suhu dan kelembaban di Ruang Mechanical dilakukan selama tiga hari, yaitu dari tanggal 18 Oktober hingga 21 Oktober 2024. Tujuan pengujian adalah untuk mengevaluasi stabilitas kondisi lingkungan laboratorium serta memastikan sistem pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) dapat berfungsi sesuai dengan rancangan. Data hasil pengujian diproses menggunakan metode logika fuzzy, yang memungkinkan klasifikasi kondisi ruangan menjadi tiga kategori: Aman, Waspada, dan Bahaya.

Tabel 2 menunjukkan sebagian data yang didapat dari pengukuran pada ruang *mechanical*:

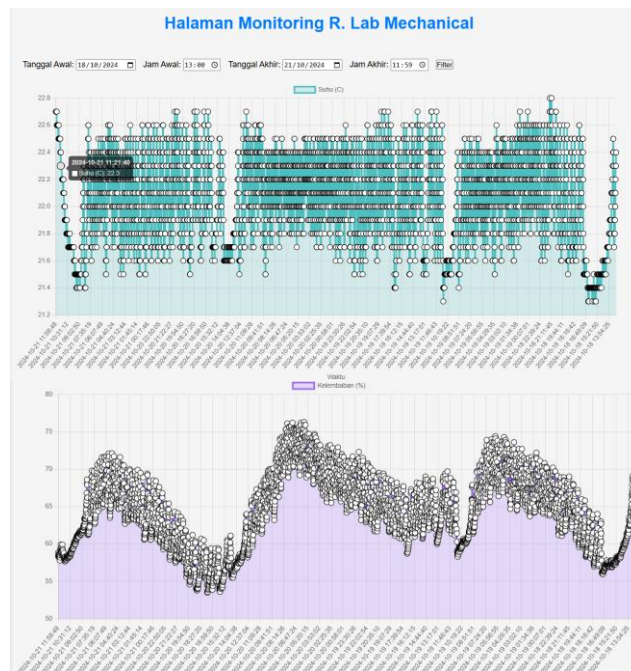
Tabel 2 Data Pengujian di Ruang Mechanical

ID	Suhu	Kelembaban	Waktu
18211	22.40	69.10	18/10/2024 13:00
18212	22.40	67.60	18/10/2024 13:01
18213	22.30	67.00	18/10/2024 13:02
18214	22.30	66.80	18/10/2024 13:04
18215	22.20	65.80	18/10/2024 13:05
18216	22.10	65.40	18/10/2024 13:06

Pada tabel 2 menampilkan sebagian data yang di-*download* dari banyaknya data yang didapat pada pengukuran di ruang

mechanical. Format data yang diunduh yaitu nomor id yaitu informasi data yang dikirim sesuai urutan sehingga pengguna juga dapat melihat apabila ada data yang gagal terkirim apabila no id terlangkau, lalu data suhu, kelembaban, serta tanggal dan waktu data diambil.

Sedangkan data secara grafik untuk suhu dan kelembaban pada ruang *mechanical* dapat dilihat pada gbr.18



Gbr.18 Grafik Data Suhu dan Kelembaban Ruang Mechanical

Pada gbr.18, ditampilkan dua grafik yang menunjukkan pemantauan suhu dan kelembaban di ruang *mechanical*. Grafik pertama menggambarkan perubahan suhu (ditunjukkan dengan warna hijau). Sumbu X pada grafik ini mewakili waktu pengukuran, sedangkan sumbu Y menunjukkan nilai suhu yang terukur di ruangan tersebut. Grafik kedua menampilkan perubahan kelembaban (ditunjukkan dengan warna ungu), dengan sumbu X juga menunjukkan waktu yang sama, dan sumbu Y menunjukkan persentase kelembaban ruangan tersebut.

a) Analisa Data Suhu Ruang Mechanical

Hasil pengujian suhu yang dilakukan di ruang *mechanical* menunjukkan bahwa nilai rata-rata selama tiga hari adalah 22.05°C, dengan nilai minimum 21.30°C dan maksimum 22.80°C. Grafik data suhu ruang *mechanical* dapat dilihat dari gambar 4.9 pada grafik berwarna hijau. Berdasarkan hasil ini, analisis suhu adalah sebagai berikut:

- Klasifikasi Fuzzy untuk Suhu:
 - Suhu 22.05°C dikategorikan sebagai Stabil, sesuai dengan aturan fuzzy yang menetapkan rentang suhu stabil antara 18°C hingga 28°C.
 - Derajat keanggotaan untuk kategori Stabil sangat tinggi, menunjukkan bahwa kondisi suhu ruangan berada dalam rentang aman selama periode pengujian.
- Stabilitas Suhu:
 - Fluktuasi suhu yang kecil (dengan rentang hanya 1.5°C) menunjukkan kondisi lingkungan yang stabil. Stabilitas suhu ini sangat penting untuk menjaga

keakuratan alat dan bahan yang digunakan di laboratorium

Berdasarkan data suhu dan hasil pengolahan fuzzy, kondisi suhu di Ruang Mechanical diklasifikasikan sebagai Aman selama periode pengujian. Tidak ada tindakan perbaikan yang diperlukan pada sistem kontrol suhu.

b) Analisa Data Kelembaban Ruang Mechanical

Hasil pengujian kelembaban yang dapat dilihat juga pada gambar 4.9 pada grafik berwarna ungu menunjukkan bahwa nilai rata-rata selama tiga hari adalah 64.4%, dengan nilai minimum 53.5% dan maksimum 76.3%. Beberapa nilai kelembaban melebihi batas toleransi 70%, yang memicu sistem alarm untuk memberikan peringatan. Berikut analisis berdasarkan hasil pengujian:

- Klasifikasi Fuzzy untuk Kelembaban:
 - Rata-rata kelembaban 64.4% dikategorikan sebagai Kering, yang masih dalam rentang aman untuk operasional laboratorium.
 - Kelembaban yang melebihi 70% pada beberapa waktu dikategorikan sebagai Basah, yang memicu status Waspada sesuai dengan aturan fuzzy.
- Frekuensi Lonjakan Kelembaban:
 - Lonjakan kelembaban hingga 76.3% terjadi di luar jam operasional laboratorium, biasanya pada malam hari saat suhu lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi tersebut tidak berdampak langsung pada aktivitas laboratorium.
- Sistem Alarm dan Respons:
 - Sistem berhasil mendeteksi lonjakan kelembaban yang melampaui batas toleransi. Peringatan dikirimkan secara otomatis melalui notifikasi Telegram kepada teknisi untuk memastikan pemantauan lebih lanjut. Meskipun lonjakan kelembaban terdeteksi, durasinya yang singkat membuat kondisi ini masih dapat ditoleransi.

Berdasarkan analisis fuzzy, kelembaban rata-rata berada dalam kategori Aman, meskipun terdapat kondisi Waspada yang terjadi. Tidak diperlukan tindakan tambahan selama lonjakan kelembaban tetap singkat dan terjadi di luar jam kerja.

2. Data Pengujian Suhu & Kelembaban R.Chemical

Pengujian suhu dan kelembaban di Ruang Chemical dilakukan selama enam hari, yaitu dari tanggal 17 Oktober hingga 23 Oktober 2024. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kestabilan kondisi lingkungan laboratorium serta mengukur efektivitas sistem pemantauan berbasis IoT yang dilengkapi dengan metode logika fuzzy.

Tabel 3 menunjukkan data yang didapat dari pengukuran pada ruang *chemical*:

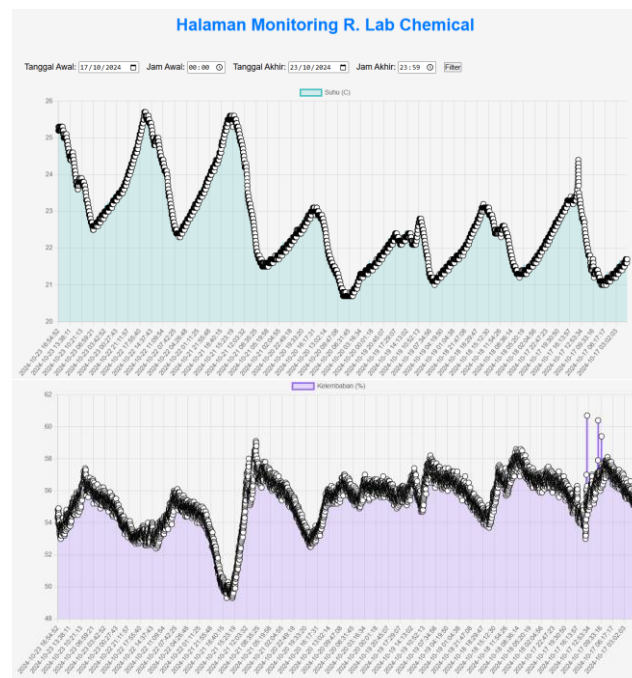
Tabel 3 Data Pengujian di Ruang Chemical

ID	Suhu	Kelembaban	Waktu
14682	21.70	55.30	17/10/2024 00:00
14683	21.70	55.30	17/10/2024 00:01
14684	21.70	55.30	17/10/2024 00:02
14685	21.70	55.60	17/10/2024 00:03
14686	21.60	55.30	17/10/2024 00:04

14687	21.70	55.30	17/10/2024 00:05
14688	21.70	55.80	17/10/2024 00:06
14689	21.70	55.60	17/10/2024 00:07

Pada Tabel 3, ditampilkan sebagian data yang diunduh dari banyaknya data yang diperoleh selama pengukuran di ruang kimia. Format data yang diunduh mencakup nomor ID, yang berfungsi sebagai informasi urutan pengiriman data. Hal ini memungkinkan pengguna untuk mendeteksi jika ada data yang gagal terkirim, yaitu dengan memeriksa apakah ada nomor ID yang terlewat. Selain itu, tabel ini juga mencantumkan data suhu, kelembaban, serta tanggal dan waktu pengambilan data.

Sedangkan data secara grafik untuk suhu dan kelembaban pada ruang *chemical* dapat dilihat pada gbr.19.



Gbr.19 Grafik Data Suhu dan Kelembaban Ruang Chemical

Pada Gbr.19, ditampilkan dua grafik yang menunjukkan pemantauan suhu dan kelembaban di ruang *chemical*. Grafik pertama menggambarkan perubahan suhu (ditunjukkan dengan warna hijau). Sumbu X pada grafik ini mewakili waktu pengukuran, sedangkan sumbu Y menunjukkan nilai suhu yang terukur di ruangan tersebut. Grafik kedua menampilkan perubahan kelembaban (ditunjukkan dengan warna ungu), dengan sumbu X juga menunjukkan waktu yang sama, dan sumbu Y menunjukkan persentase kelembaban ruangan tersebut.

a) Analisa Data Suhu Ruang Chemical

Hasil pengujian suhu menunjukkan bahwa rata-rata suhu selama enam hari adalah 22.65°C dengan nilai terendah 20.70°C dan nilai tertinggi 25.70°C. Grafik perubahan suhu pada ruangan tersebut dapat dilihat pada gambar 4.10 grafik berwarna hijau. Berdasarkan hasil ini, analisis suhu adalah sebagai berikut:

- Klasifikasi Fuzzy untuk Suhu:
 - Rata-rata suhu 22.65°C masuk ke dalam kategori Stabil, sesuai dengan aturan fuzzy yang menetapkan rentang suhu stabil antara 18°C hingga 28°C.
 - Seluruh data suhu selama pengujian menunjukkan

derajat keanggotaan tinggi pada kategori Stabil, yang mengindikasikan bahwa kondisi suhu berada dalam zona aman.

- Stabilitas Suhu:
 - Rentang fluktuasi suhu dari 20.70°C hingga 25.70°C menunjukkan kestabilan yang baik. Tidak ada suhu yang melebihi ambang batas aman untuk operasional laboratorium.

Berdasarkan pengolahan fuzzy, kondisi suhu selama pengujian diklasifikasikan sebagai Aman, dan tidak ada indikasi kebutuhan tindakan korektif pada sistem kontrol suhu.

b) Analisa Data Kelembaban Ruang Chemical

Hasil pengujian kelembaban menunjukkan bahwa rata-rata kelembaban selama enam hari adalah 55.4%, dengan nilai terendah 49.3% dan nilai tertinggi 60.7%. Grafik perubahan suhu pada ruangan tersebut dapat dilihat pada gambar 4.10 grafik berwarna ungu. Berikut adalah analisis kelembaban berdasarkan data yang diperoleh:

- Klasifikasi Fuzzy untuk Kelembaban:
 - Rata-rata kelembaban 55.4% masuk dalam kategori Kering, yang merupakan kondisi ideal untuk aktivitas laboratorium.
 - Nilai kelembaban tertinggi 60.7% juga masih berada dalam batas toleransi (<70%) dan tidak memicu kondisi Waspada.
- Stabilitas Kelembaban:
 - Fluktuasi kelembaban yang kecil menunjukkan kestabilan lingkungan ruangan. Sistem kontrol kelembaban bekerja secara optimal untuk menjaga kelembaban tetap dalam rentang aman.

Seluruh data kelembaban selama pengujian menunjukkan kategori Aman, tanpa indikasi kebutuhan tindakan perbaikan pada sistem pemantauan kelembaban.

C) Uji Akurasi Pengukuran

Pengujian akurasi suhu & kelembaban dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran suhu dari sistem IoT dengan alat ukur suhu Digital Thermometer Krisbow KW06-278, yang telah terkalibrasi oleh badan terakreditasi KAN. Dalam pengujian ini, data suhu dari sensor DHT22 dibandingkan dengan alat terkalibrasi tersebut untuk memastikan akurasi sistem.

Prosedur pengujian:

1. Langkah Uji
 - Alat ditempatkan di lokasi yang sama untuk memastikan kesamaan kondisi lingkungan.
 - Suhu dicatat menggunakan sensor DHT22 dan dibandingkan dengan Digital Thermometer Krisbow KW06-278 pada waktu yang bersamaan.

2. Rumus Perhitungan Error

$$\text{Persentase Error} = \frac{\text{Selisih Nilai Pembacaan}}{\text{Digital Thermometer Krisbow KW06-278}} \times 100\%$$

3. Rumus Perhitungan Rata-rata error

$$\text{Rata-Rata Error} = \frac{\sum \text{Persentase Error}}{\text{Jumlah Percobaan}}$$

a) Pengujian Akurasi Suhu:



Gbr.20 Uji Akurasi Suhu

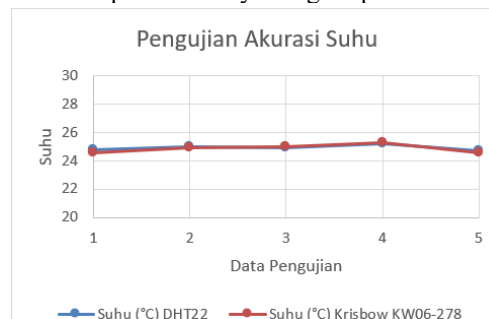
Pada Gbr.20 menunjukkan proses perbandingan pengukuran suhu, dengan kotak hitam yaitu alat ukur dengan sensor DHT22 dan kanan menggunakan termometer digital terkalibrasi.

Tabel 4 di bawah ini menunjukkan hasil perbandingan data suhu yang diukur oleh sensor DHT22 dan Digital Thermometer Krisbow KW06-278:

Tabel 4 Hasil Pengujian Akurasi Suhu

No	Suhu (°C) DHT22	Suhu (°C) Krisbow KW06-278	Selisih (°C)	Persentase Error (%)
1	24.8	24.6	0.2	0.81
2	25.0	24.9	0.1	0.40
3	24.9	25.0	0.1	0.40
4	25.2	25.3	0.1	0.40
5	24.7	24.6	0.1	0.41
Total Error			0.6	2.42%
Rata-Rata Error				0.48%

Hasil pengujian pada tabel 4 menunjukkan bahwa nilai pengukuran suhu dari sistem IoT hampir identik dengan nilai pengukuran dari alat terkalibrasi. Dengan perbedaan yang sangat kecil yaitu 0.48%. Gambar 4.12 menampilkan Grafik perbandingan data Suhu dari sensor DHT22 dan Digital Thermometer Krisbow KW06-278 dari data tersebut terlihat perbandingan suhu warna biru dari DHT22 dan warna merah dari KW06-278 perbedaan nya sangat tipis.



Gbr.21 Grafik Perbandingan Uji Akurasi Suhu

Pada Gbr.21, ditampilkan grafik perbandingan uji akurasi suhu antara sensor DHT22 dan termometer Krisbow KW06-278. Grafik ini menunjukkan perubahan suhu dalam lima kali pengujian, dengan sumbu X mewakili jumlah pengujian dan sumbu Y menunjukkan nilai suhu dalam derajat Celsius. Dari grafik, terlihat bahwa kedua perangkat memiliki hasil pengukuran yang sangat mendekati satu sama lain, ditandai dengan garis data yang hampir berimpit. Perbedaan nilai antara DHT22 dan Krisbow KW06-278 sangat kecil, menunjukkan bahwa sensor DHT22 memiliki tingkat akurasi yang baik dibandingkan dengan termometer referensi.

b) Pengujian Akurasi Kelembaban:



Gbr.22 Uji Akurasi Kelembaban

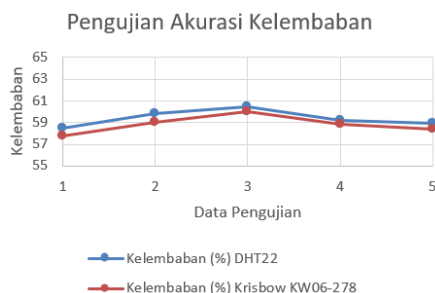
Pada Gbr.22 menunjukkan proses perbandingan pengukuran kelembaban, di bagian kiri kotak hitam yaitu alat ukur dengan sensor DHT22 dan kanan menggunakan termometer digital terkalibrasi. Tabel 6 berikut menunjukkan hasil perbandingan data kelembaban dari sensor DHT22 dan Digital Thermometer Krisbow KW06-278.

Tabel 5 di bawah ini menunjukkan hasil perbandingan data kelembaban yang diukur oleh sensor DHT22 dan Digital Thermometer Krisbow KW06-278:

Tabel 5 Hasil Pengujian Akurasi Kelembaban

No	Kelembaban (%) DHT22	Kelembaban (%) Krisbow KW06-278	Selisih (%)	Persentase Error (%)
1	58,5	57,8	0,7	1,21
2	59,8	59	0,8	1,36
3	60,5	60	0,5	0,83
4	59,2	58,8	0,4	0,68
5	58,9	58,4	0,5	0,86
Total Error			2,9	4,94
Rata-Rata Error				0,99

Hasil pengukuran dari tabel 5 menunjukkan bahwa data kelembaban yang diperoleh dari sistem IoT sangat mendekati hasil pengukuran dari alat terkalibrasi. Dengan rata-rata perbedaan yang kecil yaitu 0.99%, sistem ini terbukti mampu memberikan informasi kelembaban secara akurat. Gambar 4.13 menampilkan Grafik perbandingan data Kelembaban dari sensor DHT22 dan Digital Thermometer Krisbow KW06-278.



Gbr.23 Grafik Perbandingan Uji Akurasi Kelembaban

Pada Gbr.23, ditampilkan grafik perbandingan uji akurasi kelembaban antara sensor DHT22 dan alat ukur kelembaban Krisbow KW06-278. Grafik ini menunjukkan hasil pengujian kelembaban dalam lima kali pengukuran, dengan sumbu X mewakili nomor pengujian dan sumbu Y menunjukkan nilai kelembaban dalam persen (%). Dari grafik, dapat dilihat bahwa nilai kelembaban yang terukur oleh kedua alat ini sangat mirip, dengan perbedaan yang sangat kecil antara kedua perangkat. Garis yang menunjukkan hasil pengukuran oleh sensor DHT22 dan Krisbow KW06-278 hampir berimpit, yang menandakan bahwa kedua alat tersebut memberikan hasil yang konsisten dalam pengukuran kelembaban. Meskipun terdapat sedikit variasi antar pengujian, sensor DHT22 menunjukkan kinerja yang cukup akurat dalam mengukur kelembaban udara jika

dibandingkan dengan alat referensi, yang juga mendukung penggunaan sensor ini untuk aplikasi yang memerlukan pengukuran kelembaban.

D) Pengujian Sistem Peringatan

Pengujian sistem peringatan bertujuan untuk memastikan bahwa sistem pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) yang menggunakan logika fuzzy dapat memberikan peringatan secara *real-time* ketika kondisi suhu dan kelembaban berada di luar batas toleransi. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan data dari pengujian Ruang Mechanical serta simulasi percobaan untuk kondisi suhu tinggi dan kelembaban basah.

1. Prosedur Pengujian Sistem Peringatan

a) Pemantauan Kondisi Nyata:

- Data suhu dan kelembaban dari 4.2.1 digunakan untuk menguji respons sistem berdasarkan hasil pembacaan sensor DHT22.
- Sistem diuji untuk memberikan peringatan jika kelembaban melebihi 70% atau suhu melebihi 28°C.

b) Simulasi Percobaan:

- Simulasi dilakukan untuk kondisi: Suhu tinggi (di atas 28°C), Kelembaban basah (di atas 70%).
- Data simulasi didapat dengan meletakkan alat pada lokasi yang panas dan basah.

2. Hasil dan Analisis Pengujian Sistem Peringatan

a) Pengujian dengan Data Kondisi Nyata

Data pengujian di Ruang Mechanical menunjukkan beberapa kondisi di mana kelembaban mendekati atau melebihi batas toleransi. Berikut adalah tabel hasil pengujian:

Tabel 6 Data Pengujian Sistem Peringatan Kondisi Nyata

Waktu	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Status Fuzzy	Peringatan
18/10/2024 21:10	22.40	69.10	Aman	Tidak Ada
18/10/2024 21:14	22.30	76.30	Waspada	Peringatan: Kelembaban tinggi, buzzer aktif, notifikasi dikirim
18/10/2024 21:21	22.10	65.40	Aman	Tidak Ada

Pada tabel 6 menampilkan hasil Pada pukul 13:04, kelembaban mencapai 76.30%, yang memicu status Waspada. Sistem berhasil mengaktifkan buzzer dan mengirimkan notifikasi melalui Telegram.

b) Simulasi Percobaan

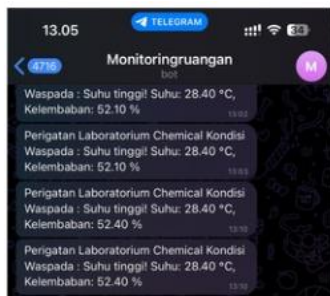
Simulasi dilakukan dengan memasukkan nilai suhu tinggi dan kelembaban basah untuk menguji respons sistem terhadap kondisi ekstrem. Berikut adalah hasil simulasi:

Tabel 7 Data Pengujian Sistem Peringatan Simulasi

Skenario	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Status Fuzzy	Peringatan
Simulasi 1: Suhu Tinggi	28.4	52.10	Waspada	Peringatan: Suhu tinggi, buzzer aktif, notifikasi dikirim
Simulasi 2: Kelembaban Basah	26.5	75.5	Waspada	Peringatan: Kelembaban tinggi, buzzer aktif, notifikasi dikirim
Simulasi 3: Suhu & Kelembaban	30.0	72.0	Bahaya	Peringatan: Suhu dan kelembaban tinggi, buzzer aktif, notifikasi dikirim

Pada tabel 7 menampilkan hasil Sistem berhasil memberikan peringatan untuk ketiga skenario simulasi, sesuai dengan aturan fuzzy:

- Pada Simulasi 1, suhu tinggi memicu status Waspada.
- Pada Simulasi 2, kelembaban tinggi memicu status Waspada.
- Pada Simulasi 3, kombinasi suhu tinggi dan kelembaban basah memicu status Bahaya.



Gbr.24 Notifikasi Alarm via Telegram

Pada Gbr.24, menunjukkan contoh notifikasi yang dikirimkan melalui aplikasi Telegram saat kondisi ruangan berada di luar batas toleransi. Notifikasi ini memungkinkan teknisi untuk segera mengetahui kondisi ruangan yang tidak aman tanpa harus berada di lokasi fisik.

E) Pengujian Penyimpanan Data dan Kehilangan Data
Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi seberapa banyak data yang berhasil dikirim dan disimpan dalam *database* serta mengidentifikasi persentase kehilangan data selama proses pengiriman. Pengujian dilakukan dengan membandingkan dua set data yang diambil dalam rentang waktu tertentu.

1. Metode Pengujian

Pengujian ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

a) Pengumpulan Data

Data dikumpulkan dalam dua skenario pengambilan waktu:

- *Test Data Monitoring 1*: Data dikirim setiap 1 menit.
- *Test Data Monitoring 2*: Data dikirim setiap 10 menit. Data disimpan dalam *database* MySQL. Setiap data memiliki ID unik untuk mengidentifikasi jumlah data yang dikirim.

b) Perhitungan Kehilangan Data

- Data dari *database* diekstrak dan diurutkan berdasarkan ID.
- Dihitung jumlah ID yang seharusnya ada berdasarkan interval waktu pengambilan.
- Dibandingkan dengan jumlah ID yang benar-benar tersimpan di *database*.
- Data yang hilang dihitung berdasarkan jumlah ID yang tidak ditemukan dalam *database*.

c) Analisis Hasil

Persentase kehilangan data dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Persentase Kehilangan Data} = \left(\frac{\text{Jumlah Data yang Hilang}}{\text{Jumlah Data yang Seharusnya Diterima}} \right) \times 100\%$$

2. Hasil Pengujian Penyimpanan Data

Berdasarkan pengujian yang dilakukan pada dua *dataset*, ditemukan bahwa:

- a) *Dataset "Test Data Monitoring 1"* (Interval 1 Menit)
 - Jumlah ID yang seharusnya ada: 2795
 - Jumlah ID yang benar-benar tersimpan: 1402
 - Jumlah ID yang hilang: 1393
 - Persentase kehilangan data: 50.16%

ID	Suhu	Kelembaban	Waktu	Status	Selisi	Data Monitoring 1	
9500	24.80	64.00	14/10/2024 00:00	ID Hilang	2	Jumlah ID Yang dikirim:	2795
9498	24.90	64.50	14/10/2024 00:01	ID Hilang	2	Jumlah Total ID yang Hilang:	1393
9496	24.90	65.10	14/10/2024 00:02	ID Hilang	2	Jumlah Total ID yang diterima:	1402
9494	24.90	64.90	14/10/2024 00:03	ID Hilang	2	Persentase Kehilangan Data:	50,16 %
9492	25.00	64.50	14/10/2024 00:04	ID Hilang	2	Gap dengan selisi 2	1365 Data
9490	25.00	64.20	14/10/2024 00:05	ID Hilang	2	Gap dengan selisi 1	21 Data

Gbr 25. Raw Data Monitoring 1

Dari hasil pengujian Data Monitoring 1 dapat dilihat juga pada Gbr.25 data diolah dengan menghitung menggunakan rumus excel dengan menghitung selisi berdasarkan nomor id yang dikirim, sehingga dapat disimpulkan bahwa *Dataset "Data Monitoring 1"* mengalami kehilangan data sebesar 50.16%, yang menunjukkan bahwa hampir setengah dari data yang dikirim tidak berhasil disimpan dalam *database*. Hal ini disebabkan oleh:

- Frekuensi pengambilan data yang terlalu sering (1 menit sekali) menyebabkan beban tinggi pada *server* dan konflik dalam pengiriman data.
- Koneksi jaringan yang tidak stabil sehingga data tidak terkirim ke *server* secara konsisten.
- Terjadi *buffer overflow* pada mikrokontroler, yang membuat beberapa data gagal dikirim.
- Lonjakan permintaan ke *server* dalam waktu singkat, yang menyebabkan beberapa data gagal diproses dan disimpan dengan benar.

b) *Dataset "Test Data Monitoring 2"* (Interval 10 Menit)

- Jumlah ID yang seharusnya ada: 141
- Jumlah ID yang benar-benar tersimpan: 141
- Jumlah ID yang hilang: 0
- Persentase kehilangan data: 0%

ID	Suhu	Kelembaban	Waktu	Status	Data Monitoring 2	
34570	22.80	53.60	29/01/2025 23:52	OK	Jumlah Total ID:	141 Data
34569	23.00	53.80	29/01/2025 23:42	OK	Jumlah ID yang Hilang:	0 Data
34568	23.10	54.30	29/01/2025 23:32	OK	Jumlah Total ID yang diterima:	141 Data
34567	23.20	55.20	29/01/2025 23:22	OK	Persentase Kehilangan Data:	0 %
34566	23.40	56.70	29/01/2025 23:12	OK		
34565	23.10	57.40	29/01/2025 23:02	OK		
34564	22.80	54.70	29/01/2025 22:52	OK		

Gbr.26 Raw Data Monitoring 2

Dataset "Data Monitoring 2" sesuai pada Gbr.26 tidak mengalami kehilangan data (0%), yang menunjukkan bahwa pengambilan data setiap 10 menit memberikan waktu yang cukup bagi sistem untuk memproses, mengirim, dan menyimpan data dengan lebih andal. Dengan jeda waktu yang lebih lama Beban server menjadi lebih ringan karena tidak ada terlalu banyak permintaan secara bersamaan serta Pengiriman data lebih stabil, karena ada cukup waktu bagi sistem untuk menangani setiap paket data sebelum paket berikutnya dikirim hal ini juga dapat Meminimalkan *buffer overflow*, karena sistem tidak terbebani dengan pengiriman data yang terlalu sering.

V.KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada sistem pemantauan suhu dan kelembaban berbasis *Internet of Things* (IoT) di ruang laboratorium pengujian mekanik dan *chemical*, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

- Penerapan IoT untuk Pemantauan Suhu dan Kelembaban Sistem yang dirancang berhasil memantau suhu dan kelembaban secara *real-time* di Ruang Mechanical dan Ruang Chemical. Data dari sensor DHT22 yang terhubung dengan mikrokontroler ESP8266 dan ESP32 diproses secara otomatis menggunakan metode logika fuzzy, menghasilkan klasifikasi kondisi ruangan yang akurat.
- Otomatisasi Pencatatan Data Sistem otomatisasi berhasil menggantikan metode pencatatan manual yang hanya dilakukan pada awal *shift*. Sistem ini memungkinkan pemantauan data secara kontinu dan konsisten, yang divisualisasikan melalui antarmuka berbasis web. Hal ini membantu pengguna mengidentifikasi tren perubahan suhu

dan kelembaban secara lebih mudah dan cepat.

- Sistem Peringatan yang Efektif Implementasi logika fuzzy pada sistem ini memungkinkan deteksi dan klasifikasi kondisi ruangan ke dalam tiga kategori: Aman, Waspada, dan Bahaya. Sistem peringatan, yang meliputi aktivasi *buzzer* dan pengiriman notifikasilampaui batas toleransi. Pengujian dengan data nyata menunjukkan respon sistem yang tepat ketika suhu atau kelembaban melampaui batas toleransi, dengan aktivasi *buzzer* dan pengiriman notifikasi ke Telegram. Simulasi kondisi ekstrem, seperti suhu tinggi dan kelembaban basah, juga menunjukkan bahwa sistem dapat memberikan peringatan yang sesuai dengan aturan yang telah ditentukan.

Hasil pengujian di Ruang Mechanical dan Ruang Chemical menunjukkan bahwa suhu dan kelembaban berada dalam rentang yang stabil dan aman untuk aktivitas laboratorium. Beberapa lonjakan kelembaban yang terdeteksi pada malam hari berhasil ditangani oleh sistem dengan pemberian peringatan. melalui Telegram, terbukti efektif dalam merespons perubahan suhu dan kelembaban yang melampaui batas toleransi.

Pengujian dengan data nyata menunjukkan respon sistem yang tepat ketika suhu atau kelembaban melampaui batas toleransi, dengan aktivasi *buzzer* dan pengiriman notifikasi ke Telegram. Simulasi kondisi ekstrem, seperti suhu tinggi dan kelembaban basah, juga menunjukkan bahwa sistem dapat memberikan peringatan yang sesuai dengan aturan yang telah ditentukan. Hasil pengujian di Ruang Mechanical dan Ruang Chemical menunjukkan bahwa suhu dan kelembaban berada dalam rentang yang stabil dan aman untuk aktivitas laboratorium. Beberapa lonjakan kelembaban yang terdeteksi pada malam hari berhasil ditangani oleh sistem dengan pemberian peringatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Politeknik Negeri Batam atas fasilitas dan lingkungan akademik yang kondusif selama penelitian. Apresiasi juga disampaikan kepada PT Cast Laboratories Indonesia, khususnya jajaran manajemen dan staf di Mechanical Testing Laboratory, atas izin dan dukungan yang diberikan untuk melakukan pengambilan data di laboratorium mereka. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

DAFTAR PUSTAKA

Daftar pustaka ditulis berurutan sesuai dengan pengacuan pustaka ditulis dengan ukuran font=Times new roman ukuran=8 dengan menggunakan *IEEE Style*. Disarankan untuk menggunakan tools MENDELEY dalam sitasi makalah dan pembuatan daftar pustaka.

- [1] ISO/IEC 17025:2017, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*.
- [2] L. Wang et al., "IoT for real-time environmental monitoring in laboratories," *Journal of Real-time Systems*, 2021.
- [3] S. R. Laha, B. K. Pattanayak, and S. Pattnaik, "Advanced environmental monitoring system using IoT, sensor technology, and machine learning," *Journal of Environmental Informatics*, 2023.
- [4] A. H. Martin et al., "IoT-based environmental monitoring system with solar power," *Journal of Renewable Energy and IoT*, 2019.
- [5] M. R. Fauzi, "IoT-based temperature and humidity monitoring system for server rooms," *Journal of Intelligent Systems*, 2022.
- [6] B. Susilo et al., "Integration of IoT technology in environmental monitoring systems for industrial sustainability," *International Journal of IoT and Industrial Engineering*, 2023.
- [7] R. Pratama et al., "Implementation of DHT22 sensor and IoT in temperature and humidity monitoring in food laboratories," *Journal of Food Science and Technology*, 2021.