

## Sistem Monitoring Temperatur Dan Heat Index Ruangan Dengan Peringatan Visual Dan Suara

### *Room Temperature and Heat Index Monitoring System With Visual and Audio Warnings Based on Arduino*

Syayid Makdum Ibrahim<sup>1</sup>, M. Sahda Rafiqul A'la<sup>2</sup>, Alycia Wilmaghfiroh Sa'dyah<sup>3</sup>, Hasna Nadiyah Fitri<sup>4</sup>, M. Hisyam Al Firdaus<sup>5</sup>, Miladina Rizka Aziza<sup>6</sup>, Maulina Safitri<sup>7\*</sup>.

Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

Jl. Gajayana No. 50, Malang, Jawa Timur 65144, Indonesia

syayidmakdum.i@gmail.com<sup>1</sup>, msahdarafiqul@gmail.com<sup>2</sup>, alyciawilma@gmail.com<sup>3</sup>,  
nadiyahhasna291104@gmail.com<sup>4</sup>, alfirdaus248@gmail.com<sup>5</sup>, miladinarizka@uin-malang.ac.id<sup>6</sup>,  
maulinasafitri@uin-malang.ac.id<sup>7\*</sup>

**Abstrak** - Temperatur dan kelembapan udara merupakan faktor utama yang memengaruhi kenyamanan dan kesehatan di lingkungan dalam ruangan. Kombinasi antara suhu tinggi dan kelembapan dapat menghasilkan indeks panas (heat index) yang berpotensi membahayakan kesehatan manusia, terutama pada ruangan dengan sirkulasi udara terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring temperatur dan heat index ruangan secara real-time dengan peringatan visual dan suara berbasis mikrokontroler Arduino UNO. Sensor DHT22 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan, sedangkan sensor ultrasonik HC-SR04 berfungsi mendeteksi keberadaan pengguna. Hasil pembacaan sensor ditampilkan melalui LCD dengan dua mode tampilan, yaitu Temperature Mode dan Heat Index Mode, yang dapat diubah menggunakan push button. LED dan buzzer digunakan sebagai indikator peringatan saat suhu atau indeks panas melebihi ambang batas aman. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu menampilkan data dengan akurasi yang baik dan memberikan peringatan secara cepat terhadap kondisi berisiko. Sistem ini dinilai efektif dalam membantu pemantauan kondisi lingkungan ruangan dan memiliki potensi pengembangan lebih lanjut dengan menambahkan fitur konektivitas Internet of Things (IoT) untuk pemantauan jarak jauh.

**Kata kunci** : monitoring temperatur, heat index, Arduino UNO, sensor DHT22, sistem peringatan

**Abstract** - Air temperature and humidity are key factors affecting comfort and health in indoor environments. The combination of high temperature and humidity can produce a heat index that may endanger human health, particularly in enclosed spaces with limited air circulation. This study aims to design and implement a real-time room temperature and heat index monitoring system equipped with visual and audio warning features based on the Arduino UNO microcontroller. The DHT22 sensor is used to measure temperature and humidity, while the HC-SR04 ultrasonic sensor detects user presence. Sensor readings are displayed on an LCD screen through two modes, Temperature Mode and Heat Index Mode, which can be switched using a push button. LED and buzzer components serve as warning indicators when temperature or heat index values exceed safe thresholds. The experimental results show that the system provides accurate measurements and responsive alerts under various environmental conditions. This monitoring system is considered effective for maintaining safe indoor environments and has potential for further development through the integration of Internet of Things (IoT) connectivity for remote monitoring and data analysis.

**Keyword** : temperature monitoring, heat index, Arduino UNO, DHT22 sensor, warning system

## 1. Pendahuluan

Temperatur dan kelembapan udara merupakan dua faktor lingkungan yang sangat memengaruhi kenyamanan serta kesehatan manusia, terutama di ruang tertutup seperti kantor, laboratorium, maupun ruang server. Kombinasi suhu tinggi dan kelembapan yang berlebihan dapat menimbulkan *heat index* yang berpotensi membahayakan tubuh karena menghambat proses penguapan keringat. Kondisi tersebut tidak hanya berdampak pada kesehatan, seperti kelelahan dan dehidrasi, tetapi juga dapat memengaruhi kinerja perangkat elektronik dan efisiensi energi ruangan. Oleh karena itu, pemantauan kondisi lingkungan dalam ruangan menjadi penting untuk menjaga kenyamanan dan keselamatan pengguna [1], [2], [3].

Selama ini, pemantauan suhu dan kelembapan umumnya dilakukan secara manual menggunakan termometer atau alat ukur sederhana. Cara tersebut memiliki keterbatasan karena membutuhkan perhatian terus-menerus dan tidak mampu memberikan peringatan dini saat terjadi perubahan kondisi lingkungan secara mendadak. Perkembangan teknologi mikrokontroler memberikan solusi terhadap permasalahan tersebut melalui sistem pemantauan otomatis yang mampu membaca, menganalisis, dan menampilkan data lingkungan secara *real-time* [4], [5]. Dengan dukungan sensor digital dan algoritma perhitungan *heat index*, sistem semacam ini dapat memberikan peringatan visual maupun suara apabila kondisi ruangan berada di luar batas aman.

Penelitian ini mengusulkan perancangan dan implementasi sistem monitoring temperatur dan *heat index* berbasis mikrokontroler Arduino UNO yang dilengkapi dengan peringatan visual menggunakan LED dan peringatan suara melalui buzzer. Sistem memanfaatkan sensor DHT22 untuk membaca suhu dan kelembapan udara, serta sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi keberadaan pengguna sehingga tampilan LCD hanya aktif ketika terdapat aktivitas di depan perangkat. Selain itu, *push button* digunakan untuk mengubah mode tampilan antara *Temperature Mode* dan *Heat Index Mode*. Integrasi beberapa sensor ini bertujuan untuk menciptakan sistem yang efisien, hemat energi, dan mudah digunakan [6].

Tujuan utama penelitian ini adalah merancang sistem pemantauan kondisi ruangan yang mampu bekerja secara otomatis, memberikan informasi suhu dan kelembapan secara akurat, serta memberikan peringatan ketika kondisi lingkungan melebihi ambang batas aman. Penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan lebih lanjut, seperti integrasi dengan teknologi Internet of Things (IoT) untuk pemantauan jarak jauh melalui jaringan internet [7], [8]. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi sensor DHT22 dan HC-SR04 yang tidak hanya berfungsi untuk pemantauan lingkungan, tetapi juga untuk mengoptimalkan konsumsi daya dengan mengaktifkan tampilan LCD hanya ketika pengguna terdeteksi. Pendekatan ini menjadikan sistem lebih efisien dan adaptif terhadap interaksi pengguna, sehingga dapat diaplikasikan di berbagai lingkungan, baik rumah tangga, perkantoran, maupun industri kecil [9].

## 2. Metode Penelitian

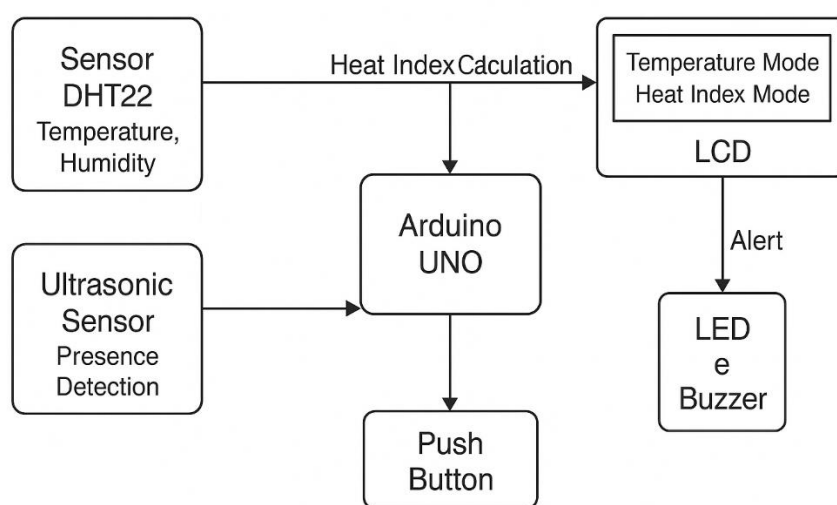
Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan utama, mulai dari perancangan sistem, pemilihan komponen, perakitan rangkaian, hingga pengujian fungsi keseluruhan. Pendekatan yang digunakan adalah metode eksperimental dengan tujuan menguji kinerja sistem monitoring temperatur dan *heat index* berbasis Arduino UNO yang dilengkapi peringatan visual dan suara.

Tahapan penelitian dimulai dari studi literatur yang dilakukan untuk memahami karakteristik sensor DHT22, sensor ultrasonik HC-SR04, serta konsep *heat index* yang digunakan dalam sistem. Data dari studi literatur menjadi dasar dalam menentukan parameter batas suhu dan kelembapan, serta dalam merancang logika sistem yang diimplementasikan melalui pemrograman mikrokontroler Arduino [4], [7].

## 2.1. Desain Sistem

Sistem monitoring ini terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu mikrokontroler Arduino UNO sebagai pusat kendali, sensor DHT22 sebagai pendeteksi suhu dan kelembapan, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi keberadaan pengguna, LCD 16x2 sebagai penampil data, LED sebagai indikator visual, dan buzzer sebagai indikator suara. Semua komponen dihubungkan melalui rangkaian pada *breadboard* dengan sumber daya 5V dari Arduino.

Arduino UNO menerima data digital dari sensor DHT22 yang kemudian digunakan untuk menghitung *heat index* dengan rumus dari *National Weather Service* (NWS) [10], [11]. Sensor HC-SR04 bekerja berdasarkan pantulan gelombang ultrasonik untuk mendeteksi objek di depan sistem, dan hasilnya digunakan untuk mengaktifkan tampilan LCD hanya saat pengguna terdeteksi. Dengan demikian, sistem dapat menghemat daya dan tetap efisien dalam penggunaan komponen.



Gambar 15 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem ditunjukkan pada *Gambar 1* yang menggambarkan hubungan antar komponen mulai dari input sensor hingga output indikator.

**Alur kerja sistem** dijelaskan sebagai berikut:

- Sensor DHT22 membaca suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ) dan kelembapan relatif (%).
- Arduino memproses data tersebut untuk menghitung *heat index* berdasarkan rumus empiris.
- Sensor ultrasonik mendeteksi keberadaan pengguna dan mengaktifkan LCD.
- LCD menampilkan data dalam dua mode: *Temperature Mode* dan *Heat Index Mode*.
- Jika nilai suhu atau *heat index* melebihi batas aman, sistem mengaktifkan LED dan buzzer sebagai peringatan.
- Push button* digunakan untuk berpindah mode tampilan.

## 2.2. Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Perangkat keras sistem dirancang menggunakan simulasi pada platform Tinkercad sebelum implementasi fisik dilakukan. Mikrokontroler Arduino UNO bertugas mengatur aliran data dari seluruh sensor dan mengendalikan output berdasarkan kondisi yang terdeteksi.

- Sensor DHT22** digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan dengan akurasi tinggi ( $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  untuk suhu dan  $\pm 2-5\%$  untuk kelembapan). Data digital dari sensor dikirim ke pin data Arduino.

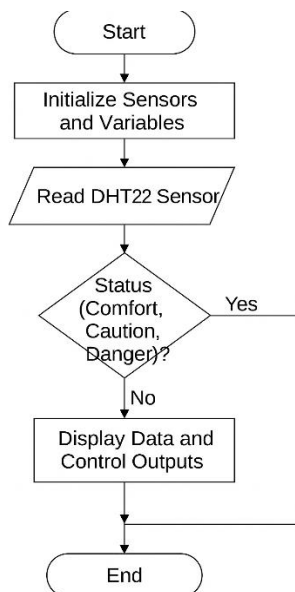
- **Sensor Ultrasonik HC-SR04** berfungsi mendeteksi keberadaan pengguna melalui pantulan gelombang suara berfrekuensi tinggi, dengan jangkauan 2 cm–4 m.
- **LCD 16x2 I2C** menampilkan hasil pengukuran suhu, kelembapan, dan nilai *heat index*.
- **LED dan Buzzer** memberikan peringatan visual dan suara ketika nilai suhu atau *heat index* berada di atas ambang batas.
- **Push Button** digunakan untuk mengubah mode tampilan antara *Temperature Mode* dan *Heat Index Mode*.

Sistem ini dirancang untuk bekerja pada tegangan 5V DC dengan konsumsi daya yang rendah. Rangkaian disusun secara modular agar mudah diperbaiki dan dikembangkan.

### 2.3. Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Pemrograman sistem dilakukan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa C++. Logika utama dalam program ini terdiri dari tiga bagian:

- Inisialisasi sensor dan variabel**, meliputi konfigurasi pin input/output, pustaka sensor DHT, dan komunikasi I2C dengan LCD.
- Pembacaan dan pemrosesan data sensor**, yaitu membaca nilai suhu dan kelembapan, menghitung *heat index*, serta menentukan status lingkungan berdasarkan ambang batas (*comfort*, *caution*, *danger*).
- Kendali output**, yaitu menampilkan data pada LCD dan mengatur LED serta buzzer sesuai kondisi lingkungan.
- 



Gambar 16 Diagram Alir (*flowchart*)

Algoritma utama sistem digambarkan pada *Gambar 2* dalam bentuk diagram alir (*flowchart*). Proses dimulai dari pembacaan sensor DHT22, dilanjutkan dengan perhitungan *heat index*, dan sistem memutuskan apakah akan menyalakan peringatan visual maupun suara.

### 2.4. Pengujian Sistem

Tahap pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa semua komponen bekerja sesuai fungsi yang diharapkan. Pengujian dilakukan dengan mengukur:

- Akurasi pembacaan sensor DHT22 dibandingkan dengan termometer digital standar;

- b. Respon sensor ultrasonik terhadap jarak deteksi objek;
- c. Kecepatan respon peringatan LED dan buzzer;
- d. Kinerja sistem saat perpindahan mode tampilan.

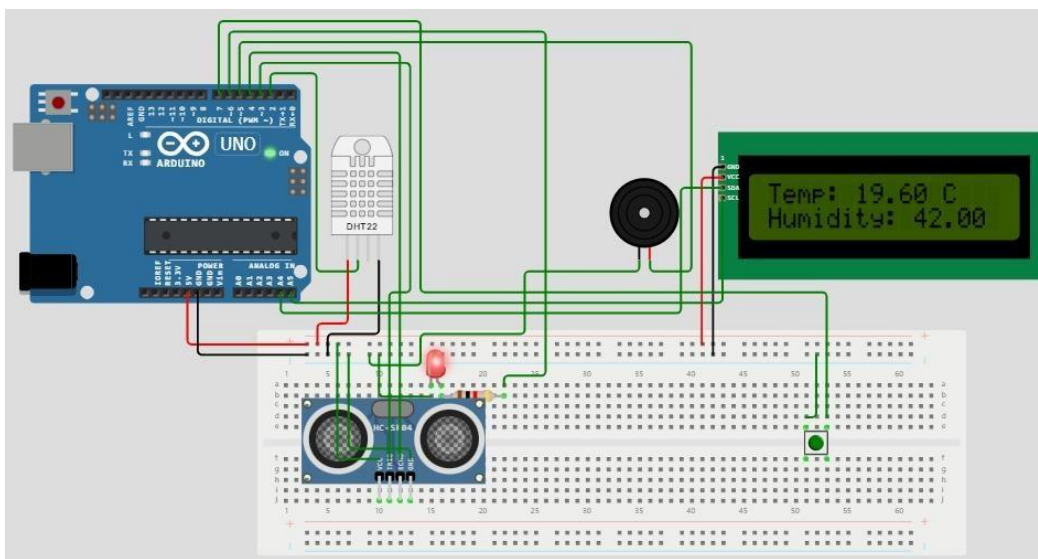
Data hasil pengujian dianalisis untuk menilai akurasi, efisiensi daya, dan keandalan sistem dalam berbagai kondisi lingkungan.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Bab ini menjelaskan hasil perancangan dan implementasi sistem monitoring temperatur serta *heat index* berbasis mikrokontroler Arduino UNO. Pembahasan meliputi tahapan pembuatan rangkaian, pengujian perangkat keras dan perangkat lunak, serta analisis hasil pengukuran dan kinerja sistem secara keseluruhan.

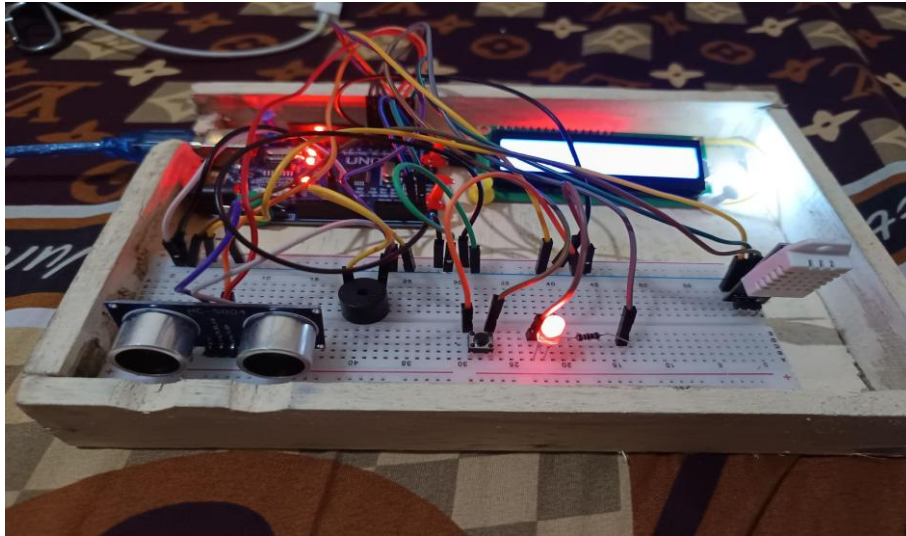
#### 3.1. Hasil Perancangan Sistem

Perancangan sistem monitoring temperatur dan *heat index* dilakukan menggunakan perangkat lunak **Wokwi** untuk simulasi rangkaian elektronik sebelum implementasi fisik dilakukan. Simulasi ini digunakan untuk memverifikasi koneksi antar komponen, logika sistem, serta fungsionalitas sensor. Hasil rancangan ditunjukkan pada *Gambar 3*, yang memperlihatkan hubungan antara mikrokontroler Arduino UNO, sensor DHT22, sensor ultrasonik HC-SR04, LCD 16x2, LED, buzzer, dan *push button*.



Gambar 3 Rangkaian Menggunakan Wokwi

Setelah simulasi selesai, seluruh komponen dirangkai pada papan *breadboard* untuk pengujian nyata. *Gambar 4* menunjukkan tampilan alat setelah dirangkai secara fisik, di mana semua komponen terhubung sesuai dengan hasil simulasi. Mikrokontroler Arduino UNO berfungsi sebagai pusat kendali yang mengatur aliran data antara sensor dan perangkat keluaran.

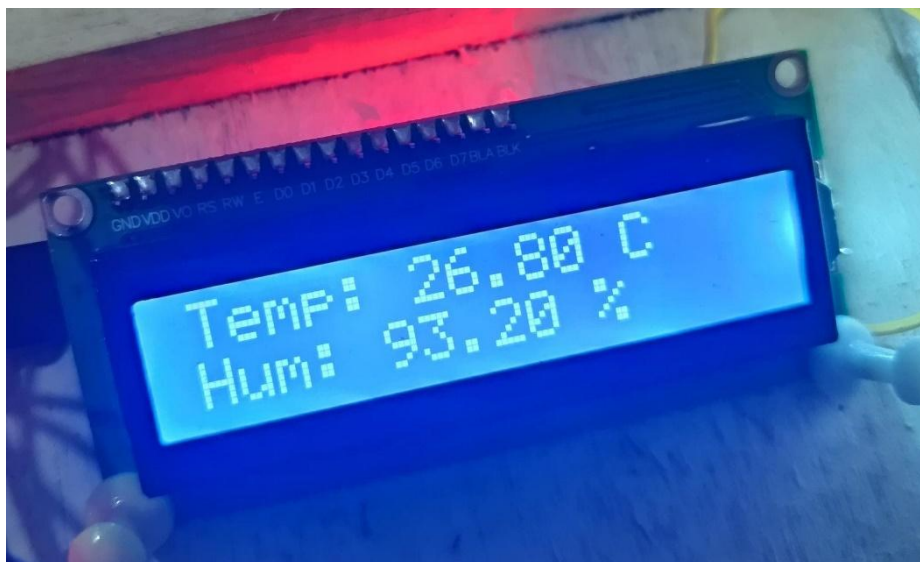


*Gambar 17 Rangkaian Alat Monitoring Temperatur Dan Heat Index Ruangan*

Sistem ini bekerja dengan membaca suhu dan kelembapan dari sensor DHT22, lalu menghitung nilai *heat index* menggunakan rumus empiris yang direkomendasikan oleh National Weather Service (NWS). Nilai hasil pengukuran ditampilkan secara real-time pada LCD 16x2.

### 3.2. Tampilan dan Pengujian Sistem

Tampilan LCD memiliki dua mode utama, yaitu Mode Temperature dan Mode Heat Index. Mode dapat diubah menggunakan *push button* yang telah diprogram untuk mengatur tampilan data. *Gambar 5* menunjukkan tampilan LCD pada *Temperature Mode*, di mana nilai suhu (°C) dan kelembapan (%) ditampilkan secara real-time.



*Gambar 18 LCD Display Mode Temperature*

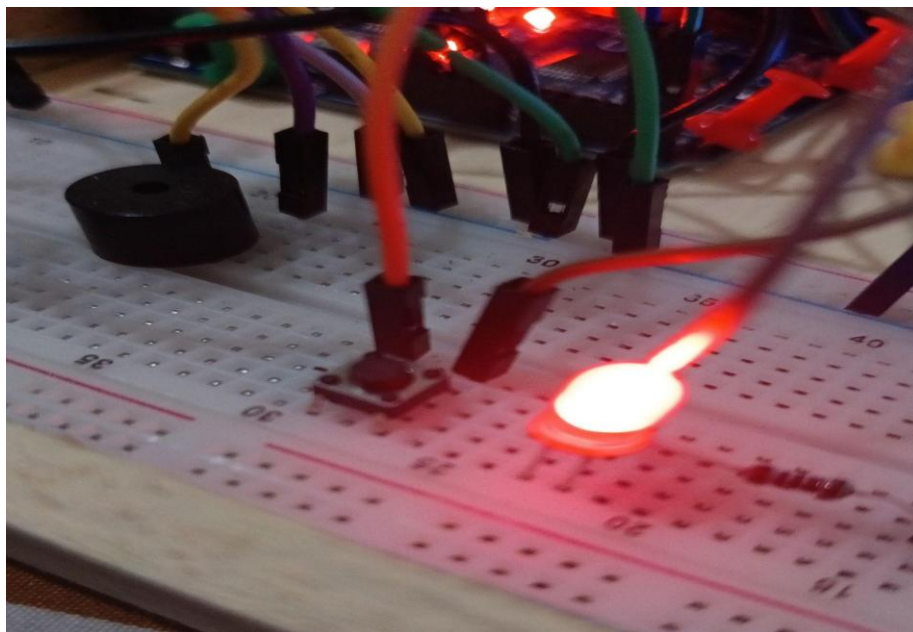
Sementara itu, *Gambar 6* menunjukkan tampilan LCD pada *Heat Index Mode*, di mana nilai suhu dan kelembapan digunakan untuk menghitung serta menampilkan *heat index* ruangan. Nilai ini menggambarkan tingkat kenyamanan termal pada lingkungan dalam ruangan.





*Gambar 19 LCD Display Mode Heat Index*

Ketika nilai suhu dan kelembapan melebihi ambang batas aman (sekitar 32°C), sistem secara otomatis mengaktifkan LED dan buzzer sebagai peringatan bahaya. Kondisi ini dapat dilihat pada *Gambar 5*, di mana LED menyala merah dan buzzer berbunyi sebagai tanda peringatan.



*Gambar 20 Aktivasi LED dan Buzzer Ketika Heat Index Melebihi Ambang Batas Aman*

### 3.3. Hasil Pengujian Sensor

Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor DHT22 terhadap alat ukur standar berupa termometer digital. Data hasil pengukuran ditampilkan pada *Tabel 1*.

Tabel 1. Perbandingan hasil pembacaan sensor DHT22 dengan termometer digital

Pengujian ke-	Suhu Termometer (°C)	Suhu DHT22 (°C)	Selisih (°C)	Kelembapan (%)	Status
1	26.5	26.7	0.2	58	Aman
2	29.0	29.1	0.1	64	Aman
3	31.0	31.3	0.3	70	Waspada
4	33.5	33.7	0.2	75	Bahaya
5	34.0	34.4	0.4	78	Bahaya

Dari hasil pengujian diperoleh rata-rata selisih pembacaan suhu sebesar  $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$ , yang menunjukkan bahwa sensor DHT22 memiliki tingkat akurasi yang cukup baik. Persentase kesalahan pembacaan kelembapan juga rendah, yakni di bawah 3%, sehingga sensor ini layak digunakan untuk aplikasi monitoring lingkungan dalam ruangan.

### 3.4. Analisis dan Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menampilkan data suhu dan kelembapan secara akurat serta memberikan respon cepat ketika terjadi peningkatan *heat index* melebihi ambang batas aman. Penggunaan sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai detektor keberadaan pengguna terbukti efektif dalam menghemat daya, karena LCD hanya aktif saat objek terdeteksi di depan alat.

Respon sistem terhadap kondisi peringatan tercatat cepat, dengan waktu aktivasi LED dan buzzer kurang dari satu detik setelah nilai *heat index* melebihi batas aman. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma kendali berbasis Arduino UNO bekerja dengan stabil dan efisien.

Dari sisi efisiensi energi, penggunaan sensor jarak untuk mengendalikan tampilan LCD merupakan pendekatan baru yang belum banyak digunakan pada sistem sejenis. Sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada pengukuran suhu dan kelembapan tanpa mempertimbangkan konsumsi daya atau interaksi pengguna. Dengan pendekatan ini, sistem tidak hanya berfungsi sebagai pemantau lingkungan, tetapi juga memiliki aspek efisiensi yang lebih baik.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dirancang telah memenuhi tujuan, yaitu memberikan pemantauan suhu dan kelembapan ruangan secara real-time, menampilkan peringatan visual dan suara saat kondisi berbahaya, serta memiliki efisiensi daya yang optimal. Sistem ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan modul komunikasi nirkabel seperti ESP8266 agar mendukung pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk penggunaan jarak jauh.

## 4. Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring temperatur dan *heat index* ruangan berbasis mikrokontroler Arduino UNO yang dilengkapi dengan peringatan visual dan suara. Sistem ini mampu membaca suhu dan kelembapan udara secara real-time menggunakan sensor DHT22 serta menghitung nilai *heat index* berdasarkan rumus empiris dari *National Weather Service* (NWS). Hasil perhitungan kemudian ditampilkan pada LCD 16x2 dalam dua mode tampilan, yaitu *Temperature Mode* dan *Heat Index Mode*, yang dapat diubah menggunakan *push button*.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu bekerja dengan baik dan menunjukkan tingkat akurasi tinggi dengan rata-rata selisih pengukuran suhu sebesar  $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$  dibandingkan dengan termometer digital standar. Selain itu, respon LED dan buzzer terhadap kondisi bahaya juga cepat,



dengan waktu aktivasi kurang dari satu detik setelah nilai *heat index* melewati ambang batas aman. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan deteksi dan peringatan yang andal untuk membantu pengguna mengenali kondisi lingkungan yang berpotensi membahayakan kesehatan.

Kelebihan utama dari sistem ini terletak pada penerapan sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai pendeteksi keberadaan pengguna untuk menghemat daya dengan cara mengaktifkan LCD hanya ketika terdapat objek di depan alat. Pendekatan ini menjadikan sistem lebih efisien dan adaptif terhadap kondisi penggunaan di lingkungan nyata. Secara keseluruhan, sistem monitoring ini dinilai efektif, stabil, dan mudah dioperasikan untuk kebutuhan pemantauan kondisi ruangan.

Sebagai tindak lanjut, sistem ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan modul komunikasi nirkabel seperti ESP8266 atau GSM agar mendukung pemantauan jarak jauh berbasis *Internet of Things* (IoT). Selain itu, integrasi dengan basis data atau aplikasi seluler juga dapat dilakukan untuk merekam data historis serta menampilkan tren perubahan temperatur dan kelembapan secara lebih komprehensif.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Progam Studi Teknik Elektro Institut Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang atas dukungan fasilitas laboratorium dan bimbingan akademik selama proses penelitian ini berlangsung. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada rekan-rekan mahasiswa serta dosen pembimbing yang telah memberikan masukan dan arahan dalam penyusunan sistem monitoring ini. Selain itu, apresiasi diberikan kepada pihak-pihak yang membantu dalam tahap perancangan dan pengujian alat sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

### Referensi

- [1] G. M. Masters, *Introduction to Environmental Engineering and Science*, 3rd edv, New Jersey: Prentice Hall, 2013.
- [2] F. D. Silalahi and J. Dian, "Implementasi Internet of Things (IoT) dalam monitoring suhu dan kelembaban ruang produksi obat non steril menggunakan Arduino berbasis web," *JUPITER: Jurnal Penelitian Ilmu dan Teknologi Komputer*, vol. 13, no. 2, p. 62–68, 2021.
- [3] M. R. Siregar, A. Bintoro and R. Putri, "Sistem monitoring suhu dan kelembaban pada penyimpanan gabah untuk menjaga kualitas beras berbasis Internet of Things (IoT)," *Jurnal Energi Elektrik*, vol. 10, no. 1, pp. 14-17, 2021.
- [4] M. H. Hasan and M. A. Rahman, "Design of IoT-Based Real-Time Temperature and Humidity Monitoring System," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 12, no. 3, p. 145–151, 2021.
- [5] M. Srivastava and R. Kumar, "Smart environmental monitoring based on IoT: Architecture, issues, and challenges,," in *Advances in Computational Intelligence and Communication Technology: Proceedings of CICT 2019*, Singapore: Springer, pp. 349–358, 2020.
- [6] T. I. Nasution and S. H. Sinaga, "Design of monitoring system temperature and humidity using DHT22 sensor and NRF24L01 based on Arduino," *Journal of Physics: Conference Series*, Vols. 2421,, no. 1, p. 012018, 2023.
- [7] P. R. S., *Software Engineering: A Practitioner's Approach*, 8th ed, New York: McGraw-Hill, 2019.
- [8] J. J., B. Jo, J. Kim, S. Kim and W. Han, "Development of an IoT-based indoor air quality monitoring platform," *Journal of Sensors*, vol. 2020, p. 8749764, 2020.
- [9] T. L. Narayana, C. Venkatesh, A. Kiran, A. Kumar, S. B. Khan, A. Almusharraf and M. T. Quasim, "Advances in real-time smart monitoring of environmental parameters using IoT and sensors," *Heliyon*, vol. 10, no. 7, 2024.

- [10] W. Paengkaew, A. Limsakul, R. Junggoth and S. Pitaksanurat, "Empirically derived equation from simple heat index for calculating wet bulb globe temperature: A case study of Thailand," *Applied Environmental Research*, vol. 42, no. 3, p. 25–39, 2020.
- [11] D. Sarathkumar, R. A. Raj, M. Ganeshraj, P. Kangiyaraj, K. Kathir and P. Kavin, "IoT-based password secured residential distribution transformer for technical safety," in *1st Int. Conf. Sustainable Technology for Power and Energy Systems (STPES)*, pp. 1–6, IEEE, 2022.