



# Evaluasi Kenyamanan Termal Lingkungan Kerja Menggunakan Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Berbasis *Internet of Things* (IoT)

**Ayu Puspa Wirani<sup>1✉</sup>, Czidni Sika Azkia<sup>2</sup>, Claudia Shinta Octa Wibowo<sup>3</sup>, Muhammad Faizahassan<sup>1</sup>**

<sup>(1)</sup>Jurusan Teknik Industri, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang, Indonesia

<sup>(2)</sup>Jurusan Informatika, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang, Indonesia

<sup>(3)</sup>Jurusan Teknik Kimia, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang, Indonesia

DOI: 10.31004/jutin.v9i2.56380

✉ Corresponding author:  
[ayu.puspa@untirta.ac.id]

Article Info	Abstrak
<p><i>Kata kunci:</i> <i>Kenyamanan termal;</i> <i>Suhu;</i> <i>Kelembaban Relatif;</i> <i>Internet of things;</i> <i>Thermal humidity index</i></p>	<p>Kondisi lingkungan kerja, khususnya suhu dan kelembaban udara, berpengaruh signifikan terhadap kenyamanan termal pekerja. Pemantauan lingkungan secara manual belum mampu merepresentasikan fluktuasi kondisi termal secara menyeluruh. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem monitoring suhu dan kelembaban berbasis Internet of Things (IoT) untuk mengevaluasi tingkat kenyamanan termal pada ruang kerja. Sistem dirancang menggunakan sensor yang terintegrasi dengan mikrokontroler dan modul komunikasi data sehingga memungkinkan pemantauan secara real-time. Data hasil pengukuran dianalisis menggunakan metode Temperature Humidity Index (THI) untuk menentukan kategori kenyamanan termal. Hasil menunjukkan suhu rata-rata berada pada rentang 26,2–27,8 °C dan kelembaban relatif 67–76 %, dengan nilai THI sebesar 24,95–25,97 yang termasuk dalam kategori cukup nyaman. Peningkatan suhu menyebabkan penurunan tingkat kenyamanan, terutama pada periode siang hingga sore hari. Integrasi sistem IoT dengan evaluasi berbasis THI memberikan informasi objektif dan aktual sebagai dasar pengambilan keputusan dalam pengelolaan lingkungan kerja berbasis ergonomi dan K3 secara berkelanjutan.</p>
<p><i>Keywords:</i> <i>Thermal comfort;</i> <i>Temperature;</i> <i>Relative umidity;</i> <i>Internet of things;</i> <i>Thermal humidity index</i></p>	<p><b>Abstract</b></p> <p><i>Work environment conditions, particularly air temperature and humidity, significantly affect workers' thermal comfort. Manual monitoring methods often fail to capture thermal fluctuations comprehensively. This study aims to develop an Internet of Things (IoT)-based temperature and humidity monitoring system to evaluate thermal comfort in a workplace environment. The system integrates sensors, a microcontroller, and a communication module to enable real-time monitoring. Collected data were analyzed using the Temperature Humidity Index (THI) to determine comfort categories. Results show that the average temperature</i></p>

*ranged from 26.2 to 27.8 °C and relative humidity from 67 to 76%, with THI values between 24.95 and 25.97, indicating moderately comfortable conditions. Higher temperatures were associated with reduced comfort, especially during midday to afternoon periods. The proposed system provides objective, real-time information to support sustainable ergonomics and occupational health and safety based workplace environmental management.*

---

## 1. PENDAHULUAN

Lingkungan kerja yang nyaman merupakan faktor penting dalam menjaga kesehatan, keselamatan, dan produktivitas pekerja. Salah satu aspek utama yang menentukan kualitas lingkungan kerja adalah kondisi termal, khususnya suhu dan kelembaban udara. Penelitian menunjukkan bahwa deviasi suhu dari kondisi optimal dapat menurunkan performa kerja dan meningkatkan tingkat ketidaknyamanan (Lan et al., 2011; Seppänen et al., 2006). Oleh karena itu, pengendalian kondisi termal menjadi bagian penting dalam pengelolaan lingkungan kerja, khususnya dalam konteks ergonomi dan keselamatan dan kesehatan kerja (K3).

Kenyamanan termal didefinisikan sebagai kondisi psikologis yang merepresentasikan tingkat kepuasan individu terhadap lingkungan termalnya (Fanger, 1970). Konsep ini kemudian diadopsi dalam standar internasional seperti ASHRAE 55 dan ISO 7730 yang menekankan pentingnya pengendalian parameter lingkungan, termasuk suhu dan kelembaban, untuk memastikan kondisi hunian yang aman dan nyaman. Dalam praktik operasional, evaluasi kenyamanan termal dapat dilakukan melalui pendekatan subjektif maupun objektif. Pendekatan objektif berbasis pengukuran parameter fisik lebih banyak digunakan karena bersifat praktis, terukur, dan memungkinkan pemantauan berkelanjutan.

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) telah mendorong transformasi sistem pemantauan lingkungan dari metode manual dan periodik menjadi sistem berbasis sensor yang terintegrasi dan mampu melakukan pengukuran secara real-time. Implementasi jaringan sensor nirkabel berbasis IoT memungkinkan pengumpulan data suhu dan kelembaban secara kontinu, sehingga meningkatkan akurasi dan keandalan data lingkungan dalam ruang tertutup (Tsang et al., 2024). Selain itu, sistem embedded berbasis IoT juga telah dikembangkan untuk mendukung pengumpulan data kenyamanan termal bangunan secara lebih efisien (Nila et al., 2024). Pendekatan ini memberikan peluang untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis data dalam pengelolaan lingkungan kerja.

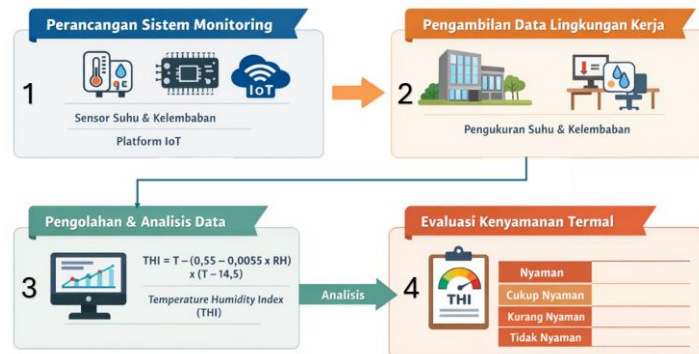
Beberapa penelitian telah mengembangkan sistem monitoring suhu dan kelembaban berbasis IoT, akan tetapi sebagian besar masih berfokus pada penyediaan data parameter fisik tanpa mengintegrasikan hasil pengukuran tersebut dengan model evaluasi kenyamanan termal yang terstandar. Padahal, interpretasi data suhu dan kelembaban menjadi informasi tingkat kenyamanan termal sangat penting untuk mendukung evaluasi kondisi kerja secara kuantitatif (Broday & Silva, 2022). Interpretasi data suhu dan kelembaban menjadi informasi tingkat kenyamanan termal sangat penting untuk mendukung evaluasi kondisi kerja secara lebih terukur (Liang et al., 2024). Secara fisik, suhu dan kelembaban merupakan dua parameter kunci yang memengaruhi kenyamanan termal karena keduanya berkaitan dengan proses pertukaran panas dan penguapan pada tubuh manusia. Suhu udara memengaruhi arah dan besarnya perpindahan panas antara tubuh dan lingkungan, sedangkan kelembaban udara memengaruhi kemampuan tubuh melepaskan panas melalui evaporasi keringat (Fanger, 1970). Oleh sebab itu, data suhu dan kelembaban yang diperoleh dari sensor IoT perlu diolah lebih lanjut menggunakan indeks kenyamanan termal agar pemantauan tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi juga evaluatif dan lebih mudah ditafsirkan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam pengelolaan lingkungan kerja (Liang et al., 2024).

Salah satu pendekatan objektif yang relatif sederhana dan aplikatif untuk mengevaluasi kenyamanan termal adalah Temperature Humidity Index (THI). Indeks ini mengombinasikan parameter suhu dan kelembaban untuk mengklasifikasikan tingkat kenyamanan atau tekanan panas suatu lingkungan (Thom, 1959; Dikmen & Hansen, 2009). Integrasi THI dalam sistem monitoring berbasis IoT berpotensi menjembatani kesenjangan antara penyediaan data lingkungan dan interpretasi kondisi kenyamanan termal secara kuantitatif, sehingga sistem tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi juga evaluatif. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring suhu dan kelembaban ruang kerja berbasis IoT yang mampu melakukan pemantauan secara real-time serta mengintegrasikan hasil pengukuran dengan evaluasi kenyamanan termal menggunakan Temperature Humidity Index (THI). Sistem yang dikembangkan diharapkan dapat menyediakan informasi kondisi lingkungan secara kuantitatif sebagai dasar pendukung pengambilan keputusan dalam

pengelolaan lingkungan kerja, khususnya dalam upaya peningkatan kenyamanan, produktivitas, serta keselamatan dan kesehatan kerja secara berkelanjutan.

## 2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimental untuk mengembangkan dan menguji sistem monitoring suhu dan kelembaban ruang kerja berbasis Internet of Things (IoT) serta mengevaluasi kenyamanan termal berdasarkan parameter lingkungan. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan Gambar 1, tahapan penelitian meliputi perancangan sistem monitoring, pengambilan data lingkungan kerja, pengolahan data, dan evaluasi kenyamanan termal.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

### 1) Perancangan Sistem Monitoring

Perangkat keras yang digunakan meliputi mikrokontroler, sensor DHT22 untuk pengukuran suhu dan kelembaban udara, serta modul WiFi ESP8266 sebagai media komunikasi data ke platform IoT. Perakitan prototipe dilakukan menggunakan breadboard, sedangkan pemrograman sistem menggunakan Arduino IDE dan visualisasi data dilakukan melalui platform Blynk. Sistem dirancang untuk melakukan akuisisi data suhu dan kelembaban secara periodik dengan interval sampling setiap 1 menit. Data hasil pengukuran dikirimkan ke platform IoT dan ditampilkan secara real-time dalam bentuk visualisasi time-series untuk mendukung pemantauan kondisi lingkungan kerja secara berkelanjutan.

### 2) Pengambilan Data Lingkungan Kerja

Pengambilan data dilakukan pada ruang kerja di Laboratorium Rekayasa Sistem Kerja & Ergonomi. Parameter yang diukur meliputi suhu udara ( $^{\circ}\text{C}$ ) dan kelembaban relatif (%). Pengukuran dilakukan secara kontinu selama 7 hari pengamatan dengan waktu pengambilan data pada pukul 08.00-16.00 untuk mengetahui kondisi lingkungan kerja.

### 3) Pengolahan dan Analisis Data

Data suhu dan kelembaban yang diperoleh dari sistem monitoring selanjutnya diolah untuk mengevaluasi tingkat kenyamanan termal. Evaluasi dilakukan menggunakan pendekatan objektif dengan menghitung nilai Temperature Humidity Index (THI) berdasarkan kombinasi suhu dan kelembaban udara. Nilai THI yang dihasilkan digunakan untuk mengklasifikasikan kondisi kenyamanan termal ruang kerja.

### 4) Evaluasi Kenyamanan Termal

Hasil evaluasi kenyamanan termal dianalisis secara deskriptif untuk menggambarkan kondisi lingkungan kerja selama periode pengamatan. Informasi yang diperoleh digunakan sebagai dasar evaluasi kesesuaian kondisi lingkungan kerja dan rekomendasi pengelolaan lingkungan kerja, khususnya dalam konteks ergonomi dan keselamatan dan kesehatan kerja (K3).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

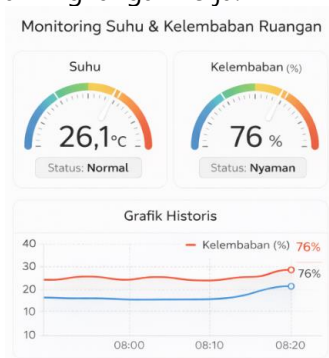
Sistem monitoring suhu dan kelembaban berbasis Internet of Things (IoT) yang dirancang pada penelitian ini berhasil diimplementasikan dan berfungsi dengan baik dalam melakukan pemantauan kondisi lingkungan kerja

secara real-time. Sistem terdiri dari sensor suhu dan kelembaban yang terintegrasi dengan mikrokontroler serta modul komunikasi data, sehingga memungkinkan proses pengukuran dan pengiriman data lingkungan kerja secara kontinu selama periode pengamatan.

### 3.1 Data Lingkungan Kerja

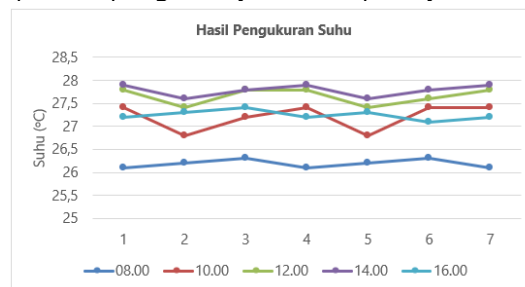
Pengukuran dilakukan pada ruang kerja laboratorium selama kurun waktu satu minggu berturut-turut untuk memperoleh gambaran kondisi termal yang representatif. Parameter yang diamati meliputi suhu udara (°C) dan kelembaban relatif (%RH) sebagai indikator utama kenyamanan termal lingkungan kerja. Pengambilan data dilakukan secara kontinu dengan interval waktu tertentu sehingga fluktuasi kondisi lingkungan dapat terdokumentasi dengan baik.

Gambar 2 berikut ini menunjukkan contoh tampilan sistem monitoring suhu dan kelembaban ruang kerja yang dikembangkan. Berdasarkan gambar tersebut, nilai suhu dan kelembaban ditampilkan secara *real-time* melalui antarmuka digital sehingga pengguna dapat memantau kondisi lingkungan secara langsung. Selain itu, sistem juga menyediakan grafik historis yang menampilkan tren perubahan suhu dan kelembaban selama periode pengukuran. Visualisasi ini memungkinkan identifikasi pola harian, waktu terjadinya puncak suhu maupun kelembaban, serta potensi kondisi yang berada di luar rentang kenyamanan termal. Dengan demikian, sistem monitoring tidak hanya berfungsi sebagai alat pencatat data, tetapi juga sebagai instrumen pendukung evaluasi dan pengambilan keputusan dalam pengelolaan lingkungan kerja.



**Gambar 2 Monitoring Suhu dan Kelembaban Ruangan**

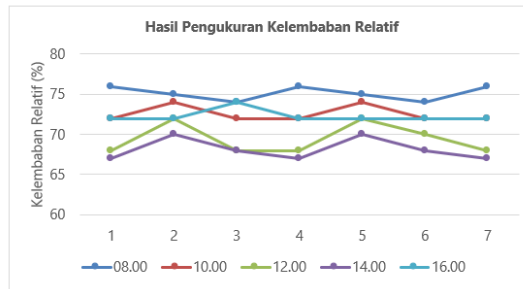
Tahap selanjutnya, data hasil pengukuran yang telah diperoleh diolah dan divisualisasikan dalam bentuk grafik sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Proses pengolahan dilakukan untuk mempermudah analisis terhadap pola perubahan suhu dan kelembaban selama periode pengamatan. Gambar 3 menunjukkan hubungan antara suhu ruangan dengan waktu pengukuran dalam rentang pengamatan selama tujuh hari (satu minggu). Grafik tersebut menggambarkan dinamika fluktuasi suhu yang terjadi pada jam-jam pengukuran setiap harinya, sehingga dapat diamati kecenderungan pola harian maupun variasi antarhari. Melalui visualisasi ini, dapat diidentifikasi waktu terjadinya suhu minimum dan maksimum serta kestabilan kondisi termal ruang kerja selama periode pengamatan. Analisis terhadap grafik ini menjadi dasar dalam mengevaluasi tingkat konsistensi lingkungan kerja serta potensi pengaruhnya terhadap kenyamanan termal ruangan.



**Gambar 3 Grafik Hasil Pengukuran Suhu**

Berdasarkan Gambar 3, suhu ruangan terendah secara konsisten terjadi pada pukul 08.00 sepanjang periode pengamatan. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada awal aktivitas kerja, lingkungan termal masih berada pada tingkat yang relatif lebih rendah dibandingkan jam-jam berikutnya. Seiring berjalannya waktu, mulai pukul 10.00 hingga 16.00, suhu ruangan menunjukkan tren peningkatan dengan pola fluktuatif pada masing-masing

hari pengamatan. Variasi tersebut dapat dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti intensitas radiasi matahari, kondisi ventilasi, maupun aktivitas di dalam ruangan. Secara umum, suhu tertinggi rata-rata tercatat pada pukul 14.00, yang mengindikasikan terjadinya akumulasi panas maksimum pada periode siang hari. Setelah itu, mulai pukul 16.00 suhu ruangan cenderung mengalami penurunan kembali. Pola ini menunjukkan adanya siklus harian suhu yang relatif konsisten selama satu minggu pengamatan, sehingga dapat menjadi dasar dalam mengevaluasi kondisi kenyamanan termal di ruang kerja laboratorium.



**Gambar 4 Grafik Hasil Pengukuran Kelembaban Relatif**

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara kelembaban relatif dengan waktu pengukuran selama periode pengamatan. Berdasarkan grafik tersebut, pola perubahan kelembaban relatif secara umum menunjukkan kecenderungan berbanding terbalik dengan suhu ruangan. Ketika suhu mengalami peningkatan, nilai kelembaban relatif cenderung menurun, dan sebaliknya. Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa kelembaban relatif tertinggi terjadi pada pukul 08.00. Selanjutnya, mulai pukul 10.00 hingga 16.00, kelembaban relatif cenderung mengalami penurunan secara bertahap dengan pola fluktuatif antarhari. Pola ini sejalan dengan dinamika peningkatan suhu pada periode siang hari yang memengaruhi kandungan uap air relatif di dalam ruangan.

Fluktuasi suhu dan kelembaban yang diperoleh selama satu minggu pengamatan menggambarkan karakteristik lingkungan kerja yang umum dijumpai pada ruang kerja di wilayah beriklim tropis, di mana intensitas panas siang hari berkontribusi terhadap peningkatan suhu dan penurunan kelembaban relatif. Untuk mempermudah evaluasi tingkat kenyamanan termal selama selang waktu pengamatan, selanjutnya dihitung nilai rata-rata suhu dan kelembaban relatif pada setiap waktu pengukuran, yaitu pukul 08.00, 10.00, 12.00, 14.00, dan 16.00, sebagaimana disajikan pada Tabel 1 berikut.

**Tabel 1 Data Suhu dan Kelembaban Rata-Rata Ruang Kerja**

Waktu Pengukuran	Suhu Rata-Rata (°C)	Kelembaban Relatif Rata-Rata (%)
08.00	26,1	76
10.00	27,4	72
12.00	27,8	68
14.00	27,9	67
16.00	27,2	72

Berdasarkan Tabel 1, nilai suhu dan kelembaban relatif rata-rata ruang kerja menunjukkan pola perubahan yang konsisten terhadap waktu pengukuran. Pada pukul 08.00, suhu rata-rata tercatat sebesar 26,1°C dengan kelembaban relatif rata-rata sebesar 76%. Kondisi ini menggambarkan keadaan lingkungan kerja pada awal aktivitas yang relatif lebih sejuk dengan tingkat kelembaban yang cukup tinggi. Seiring bertambahnya waktu, suhu rata-rata mengalami peningkatan bertahap hingga mencapai nilai tertinggi pada pukul 14.00 sebesar 27,9°C. Pada periode yang sama, kelembaban relatif rata-rata menunjukkan tren penurunan, dari 76% pada pukul 08.00 menjadi 67% pada pukul 14.00. Pola ini memperlihatkan hubungan yang berbanding terbalik antara suhu dan kelembaban relatif, di mana kenaikan suhu diikuti oleh penurunan kelembaban relatif sebagaimana dijelaskan dalam teori kenyamanan termal oleh P.O. Fanger (1970), yang menyatakan bahwa suhu dan kelembaban merupakan faktor utama yang memengaruhi persepsi kenyamanan termal individu. Selanjutnya mulai pukul 16.00, suhu rata-rata mulai menurun menjadi 27,2°C, sementara kelembaban relatif kembali meningkat menjadi 72%. Secara umum, rentang suhu rata-rata selama periode pengukuran berada antara 26,1°C hingga 27,9°C, sedangkan kelembaban relatif berkisar antara 67% hingga 76%. Pola ini mencerminkan dinamika kondisi termal harian yang khas pada ruang kerja di wilayah beriklim tropis dan menjadi dasar dalam evaluasi tingkat kenyamanan termal pekerja.

Apabila dibandingkan dengan standar internasional seperti International Organization for Standardization melalui ISO 7730 serta ASHRAE Standard 55, rentang suhu tersebut masih berada dalam kisaran yang dapat diterima untuk lingkungan kerja, meskipun evaluasi lebih lanjut untuk menentukan tingkat kenyamanan secara kuantitatif. Pada konteks iklim tropis, pendekatan adaptif juga relevan dipertimbangkan karena pekerja cenderung memiliki tingkat toleransi termal yang lebih tinggi terhadap suhu yang relatif hangat.

### 3.2 Evaluasi Kenyamanan Termal

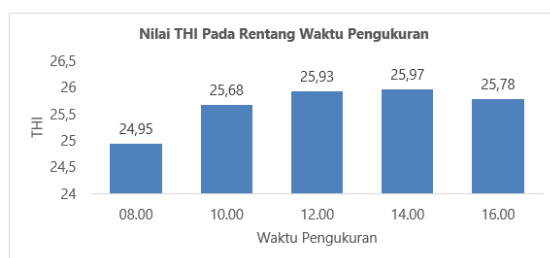
Berdasarkan data suhu dan kelembaban rata-rata yang diperoleh dari sistem monitoring selanjutnya diolah untuk mengevaluasi tingkat kenyamanan termal ruang kerja menggunakan Temperature Humidity Index (THI). Pemilihan indeks THI didasarkan pada kesesuaiannya dengan karakteristik sistem monitoring berbasis IoT yang mengandalkan parameter lingkungan, serta kemudahan penerapannya untuk evaluasi kenyamanan termal secara objektif tanpa melibatkan pengukuran subjektif pekerja. Berbagai formulasi telah dikembangkan untuk mengukur tingkat kenyamanan termal dan telah diterapkan di berbagai wilayah. Beberapa di antaranya meliputi indeks Humidex yang diperkenalkan oleh Masterson dan Richardson (1979), Predicted Mean Vote (PMV), Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) yang diformulasikan oleh Lemke dan Kjellstrom (2012), Relative Strain Index (RSI) sebagaimana dibahas oleh Emmanuel (2005), serta Physiological Equivalent Temperature (PET) yang dikembangkan oleh Mayer dan Höpfe (1987). Selain itu, Temperature Humidity Index (THI) pertama kali diperkenalkan oleh Thom (1959) dan selanjutnya disesuaikan untuk kondisi iklim tropis oleh Nieuwolt (1977).

Dalam penelitian ini, perhitungan tingkat kenyamanan termal menggunakan formulasi THI yang merujuk pada Thom (1959) dengan modifikasi Nieuwolt (1977) agar sesuai dengan karakteristik wilayah tropis. Evaluasi kenyamanan termal dilakukan berdasarkan parameter suhu udara dan kelembaban relatif sebagaimana dijelaskan oleh Effendy (2007). Adapun persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$THI = 0,8 T + (RH \times T)/500$$

Dengan T menyatakan suhu udara (°C) dan RH menyatakan kelembaban relatif (%).

Analisis tingkat kenyamanan termal pada penelitian ini dihitung menggunakan indeks Temperature Humidity Index (THI), yang didasarkan pada parameter suhu udara dan kelembaban relatif sebagaimana dijelaskan oleh Effendy (2007). Indeks THI digunakan untuk menggambarkan persepsi kenyamanan termal berdasarkan kombinasi kedua parameter tersebut. Secara umum, nilai THI pada rentang 21–24°C menunjukkan bahwa 100% populasi merasa nyaman, rentang 25–27°C menunjukkan sekitar 50% populasi merasa cukup nyaman (sebagian nyaman), sedangkan nilai THI > 27°C mengindikasikan bahwa 100% populasi merasa tidak nyaman.



**Gambar 5 Nilai THI Pada Rentang Waktu Pengukuran**

Hasil perhitungan THI pada ruang kerja laboratorium ditampilkan pada Gambar 5. Berdasarkan hasil tersebut, terlihat bahwa tingkat kenyamanan termal cenderung menurun seiring dengan peningkatan suhu udara, khususnya pada periode siang hingga sore hari. Pada pukul 08.00, nilai THI tercatat sebesar 24,57 yang masih termasuk dalam kategori nyaman. Namun demikian, pada rentang waktu pukul 10.00 hingga 16.00, nilai THI berada pada kategori cukup nyaman, yang menunjukkan adanya penurunan tingkat kenyamanan dibandingkan kondisi pagi hari. Kondisi dengan tingkat kenyamanan terendah terjadi pada pukul 14.00, ditandai dengan nilai THI tertinggi sebesar 25,97. Meskipun kelembaban relatif pada periode tersebut cenderung menurun, peningkatan suhu udara memberikan kontribusi yang lebih dominan terhadap kenaikan nilai THI. Temuan ini mengindikasikan bahwa suhu udara merupakan faktor utama yang memengaruhi persepsi kenyamanan termal pada ruang kerja yang diamati, terutama pada periode puncak panas siang hari.

Secara keseluruhan, integrasi sistem monitoring suhu dan kelembaban berbasis IoT dengan evaluasi kenyamanan termal menggunakan indeks THI menunjukkan bahwa pendekatan ini tidak hanya aplikatif, tetapi juga memiliki nilai strategis dalam pengelolaan lingkungan kerja berbasis data (*data-driven environmental management*). Kemampuan sistem dalam merekam, menyimpan, dan menampilkan data secara kontinu serta *real-time* memungkinkan identifikasi pola fluktuasi termal harian secara lebih akurat dibandingkan metode pengukuran manual yang bersifat sesaat dan periodik.

Dari perspektif ergonomi dan keselamatan dan kesehatan kerja (K3), ketersediaan data historis dan tren perubahan kondisi termal memberikan dasar yang lebih objektif dalam mengendalikan risiko lingkungan kerja. Kondisi termal yang berada pada kategori kurang nyaman, khususnya pada periode puncak suhu siang hari, berpotensi meningkatkan beban termal pekerja yang dalam jangka panjang dapat berdampak pada kelelahan, penurunan konsentrasi, serta penurunan produktivitas kerja. Oleh karena itu, sistem ini tidak hanya berfungsi sebagai alat ukur, tetapi sebagai instrumen pendukung pengambilan keputusan dalam perancangan intervensi teknis maupun administratif, seperti optimalisasi ventilasi, pengaturan kapasitas pendinginan ruangan, hingga penyesuaian waktu kerja berdasarkan periode risiko termal tertinggi. Pendekatan ini membuka peluang pengembangan menuju sistem pemantauan lingkungan kerja yang lebih komprehensif dengan integrasi parameter tambahan, seperti kecepatan aliran udara dan radiasi panas, serta pengembangan model evaluasi berbasis PMV/PPD atau pendekatan adaptif untuk konteks iklim tropis. Dengan demikian, sistem monitoring berbasis IoT yang dikembangkan berkontribusi tidak hanya pada aspek teknis pengukuran, tetapi juga pada penguatan implementasi prinsip ergonomi dan K3 secara berkelanjutan serta berbasis bukti empiris di lingkungan kerja.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan mengimplementasikan sistem monitoring suhu dan kelembaban ruang kerja berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu melakukan pemantauan lingkungan secara *real-time* dan kontinu. Data yang diperoleh digunakan untuk mengevaluasi kenyamanan termal melalui perhitungan Temperature Humidity Index (THI). Hasil analisis menunjukkan bahwa tingkat kenyamanan termal mengalami variasi sepanjang waktu pengamatan dan cenderung menurun pada periode siang hingga sore hari akibat peningkatan suhu udara. Temuan ini menegaskan bahwa suhu merupakan faktor dominan yang memengaruhi kenyamanan termal. Sistem yang dikembangkan berfungsi sebagai alat ukur sekaligus pendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan lingkungan kerja berbasis data.

#### 5. REFERENSI

- ASHRAE. (2020). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2020: Thermal environmental conditions for human occupancy*. ASHRAE.
- Brodoy, E. E., & Gameiro da Silva, M. C. (2022). The role of internet of things (IoT) in the assessment and communication of indoor environmental quality (IEQ) in buildings: A review. *Smart and Sustainable Built Environment*, 12(3), 584–606. <https://doi.org/10.1108/SASBE-10-2021-0185>
- Dikmen, S., & Hansen, P. J. (2009). Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment?. *Journal of Dairy Science*, 92(1), 109–116. DOI: [10.3168/jds.2008-1370](https://doi.org/10.3168/jds.2008-1370)
- Effendy, S. (2007). Keterkaitan Ruang Terbuka Hijau dengan Urban Heat Island Wilayah Jabodetabek. Disertasi. Sekolah Pascasarjana IPB, Bogor.
- Emmanuel, R. (2005). Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city: The Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka. *Building and Environment*, 40(12), 1591-1601. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.12.004>
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*. McGraw-Hill.
- ISO. (2005). *ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment—Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. International Organization for Standardization.
- Lan, L., Wargocki, P., & Lian, Z. (2011). Quantitative measurement of productivity loss due to thermal discomfort. *Energy and Buildings*, 46(3), 1057 - 1062. DOI: [10.1016/j.enbuild.2010.09.001](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.09.001)
- Lemke B, and Kjellstrom T. (2012). Calculating workplace WBGT from meteorological data: a tool for climate

- change assessment. *Industrial Health*, 50(4), 267–278. DOI: [10.2486/indhealth.MS1352](https://doi.org/10.2486/indhealth.MS1352)
- Liang, W., Qiang, G., Fan, L., Zhang, H., Ye, Z., & Tang, S. (2024). Automatic indoor thermal comfort monitoring based on BIM and IoT technology. *Buildings*, 14(11), 3361. <https://doi.org/10.3390/buildings14113361>
- Masterton, J. M., & Richardson, F. A. (1979). Humidex: a method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity. Environment Canada, Atmospheric Environment.
- Mayer, H. and P. Höppe. (1987). Thermal comfort of man in different urban environments. *Theoretical and Applied Climatology*, 38, 43-49. <https://doi.org/10.1007/BF00866252>
- Nieuwolt, S. (1977). *Tropical climatology*. John Wiley & Sons.
- Nila, F. S., Tan, W.-H., Ooi, C. P., & Tan, Y.-F. (2024). IoT-based embedded system for streamlined thermal comfort data collection in buildings. *International Journal of Integrated Engineering*, 16(3), 78–91. <https://doi.org/10.30880/ijie.2024.16.03.008>
- Seppänen, O., Fisk, W. J., & Lei, Q. H. (2006). Effect of temperature on task performance in office environment. *Indoor Air*, 16(5), 329–336. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2006.00403.x>
- Thom, E. C. (1959). The discomfort index. *Weatherwise*, 12(2), 57–60. <https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>
- Tsang, T.-W., Mui, K.-W., Wong, L.-T., Chan, A.-C.-Y., & Chan, R.-C.-W. (2024). Real-time indoor environmental quality (IEQ) monitoring using an IoT-based wireless sensing network. *Sensors*, 24(21), 6850. <https://doi.org/10.3390/s24216850>