Rancang Bangun Sistem Monitoring Real-Time dan Pemetaan Spasial Suhu serta Intensitas Cahaya Berbasis IoT untuk Evaluasi Kenyamanan Ruang Baca

Design and Development of an IoT-Based Real-Time Monitoring and Spatial Mapping System for Temperature and Light Intensity to Evaluate Reading Room Comfort

Abdul Muid[1*], Fiqkri Putra Riswanda[1]

[1]Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tanjungpura, Jl. Prof. Dr. Hadari Nawawi, Pontianak, 78124, Indonesia

Email: *muid@physics.untan.ac.id; fiqkriputrariswanda18@gmail.com

Received: 14th September 2026; Revised: 15th October 2026; Accepted: 27th October 2026

Abstrak – *Kondisi termal dan pencahayaan merupakan parameter yang berpengaruh terhadap kenyamanan ruang baca. Pada bangunan di wilayah tropis seperti Kalimantan Barat, distribusi suhu dan pencahayaan yang tidak seragam dapat terjadi akibat beban panas eksternal dan karakteristik bukaan bangunan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi distribusi spasial suhu udara, kelembaban relatif, dan intensitas cahaya pada ruang baca Perpustakaan Provinsi Kalimantan Barat menggunakan sistem pemantauan berbasis Internet of Things (IoT). Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor DHT22 untuk pengukuran suhu dan kelembaban serta sensor BH1750 untuk mengukur intensitas cahaya. Akuisisi dan transmisi data dilakukan secara real-time menggunakan protokol Message Queuing Telemetry Transport (MQTT). Pengukuran dilakukan pada 20 titik pengamatan untuk mengidentifikasi variabilitas spasial kondisi lingkungan ruang baca. Data hasil pengukuran divisualisasikan dalam bentuk peta distribusi menggunakan metode interpolasi Inverse Distance Weighting (IDW) dan plot permukaan tiga dimensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu udara rata-rata sebesar 26,7 °C masih berada dalam rentang kenyamanan yang ditetapkan, sedangkan kelembaban relatif rata-rata sebesar 72% menunjukkan kondisi yang relatif tinggi. Distribusi intensitas cahaya memperlihatkan ketidakseragaman yang signifikan, dengan area di sekitar jendela memiliki intensitas lebih dari 800 lux yang berpotensi menimbulkan silau, sementara sekitar 70% area ruang baca memiliki intensitas kurang dari 200 lux. Hasil pemetaan spasial menunjukkan bahwa sistem pendingin dan tata letak pencahayaan yang ada belum mampu menghasilkan kondisi lingkungan yang homogen. Sistem monitoring dan pemetaan yang dikembangkan dapat digunakan sebagai instrumen evaluasi kondisi lingkungan ruang baca serta sebagai dasar untuk menentukan strategi perbaikan sistem pendinginan dan pencahayaan.*

Kata kunci: *Intensitas cahaya; internet of things; kenyamanan lingkungan; pemetaan spasial; suhu.*

Abstract – *Thermal and lighting conditions are important parameters affecting reading comfort, particularly in tropical buildings where external heat loads and building openings may cause non-uniform environmental conditions. This study evaluates the spatial distribution of air temperature, relative humidity, and illuminance in the reading room of the West Kalimantan Library using an Internet of Things (IoT)-based monitoring system. The system was developed using an ESP32 microcontroller integrated with DHT22 and BH175 sensors to measure temperature, relative humidity, and illuminance. Real-time data acquisition and transmission were conducted using the Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) protocol. Measurements were performed at 20 observation points to characterize the spatial variability of indoor environmental conditions. The collected data were visualized through spatial distribution maps using the Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation method and three-dimensional surface plots. The results showed that the average air temperature was 26.7 °C, which remained within the specified thermal comfort range. However, the average relative humidity of 72%*

indicated relatively high humidity conditions. Illuminance showed substantial spatial non-uniformity. Areas near windows recorded illuminance levels exceeding 800 lux, which may cause glare, whereas approximately 70% of the reading room area had illuminance levels below 200 lux. These findings indicate that the existing cooling and lighting systems have not provided homogeneous environmental conditions throughout the reading room. The developed IoT-based monitoring and spatial mapping system can serve as an effective evaluation tool for assessing indoor environmental conditions and supporting improvement strategies for cooling and lighting systems.

Keywords*: Light intensity; internet of things; environmental comfort; spatial mapping; temperature*.

1. Pendahuluan

Keberadaan perpustakaan umum merupakan elemen penting dalam pembangunan infrastruktur pendidikan untuk meningkatkan kemampuan literasi masyarakat. Mengingat fungsinya sebagai tempat membaca dan bekerja dalam durasi yang panjang, penyediaan fasilitas yang menjamin kenyamanan termal dan visual menjadi persyaratan mutlak. Parameter umum yang paling berhubungan dengan kondisi tersebut adalah suhu dan pencahayaan. Kedua parameter ini memegang peranan sangat penting karena terbukti berdampak signifikan terhadap aspek psikologis dan fisiologis pengunjung [1, 2]. Menurut studi yang dilakukan oleh Chang et al. [2], dalam berbagai preferensi usia, suhu sekitar 38 - 40 °C memiliki kaitan erat dengan penurunan kewaspadaan, akurasi perencanaan, penilaian buruk, dan lebih mudah tersinggung. Di sisi lain, penelitian yang dilakukan oleh Huibert et al. [3] menunjukkan bahwa tingkat iluminansi yang lebih tinggi memiliki hubungan positif dengan peningkatan gairah fisiologis dan kemampuan kognitif manusia, hal ini berbeda secara signifikan jika dibandingkan dengan kondisi pencahayaan rendah (≤ 300 lux). Distribusi cahaya yang buruk dapat menyebabkan gangguan visual berupa kelelahan mata akibat otot mata yang harus terus-menerus beradaptasi antara area terang dan gelap saat pengunjung bergerak atau mengalihkan pandangan di ruang baca [4]. Temuan-temuan ini berkorelasi dengan kebijakan Standar Nasional Indonesia (SNI) dalam mengatur kedua parameter tersebut [5, 6].

Dalam konteks studi kasus, objek penelitian ini difokuskan pada Ruang Baca Perpustakaan Provinsi Kalimantan Barat. Lokasi perpustakaan yang terletak di Kota Pontianak dan dilalui garis khatulistiwa membuat bangunan memiliki potensi terpapar radiasi matahari yang lebih tinggi. Beban termal eksternal ini sering kali menciptakan ketidakmerataan suhu (*non-uniformity*) di dalam ruangan. Permasalahan utama yang sering terjadi adalah kegagalan pengukuran konvensional satu titik dalam mendeteksi anomali distribusi spasial, seperti adanya titik panas (*hotspot*) ataupun area gelap (*dark spot*) di sudut-sudut ruang baca. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan berbasis instrumentasi yang mampu memetakan profil lingkungan secara akurat untuk evaluasi yang objektif.

Sejumlah penelitian terdahulu telah berupaya mengembangkan metode evaluasi kenyamanan ruang. Yu et al. [7] memanfaatkan visualisasi distribusi spasial *Inverse Distance Weighting* (IDW) untuk evaluasi pascahunian. Sementara itu, Cui dan Ahn [8] menggunakan simulasi perangkat lunak untuk melihat pemerataan cahaya alami, dan Choi [9] mengembangkan peta distribusi *Indoor Environmental Quality* (IEQ) dengan akurasi tinggi. Berbeda dengan pendekatan sebelumnya yang sering kali terbatas pada simulasi atau pengukuran titik tunggal, penelitian ini menawarkan integrasi sistem monitoring *real-time* dengan pemetaan spasial untuk melihat kondisi umum perpustakaan pada setiap waktu.

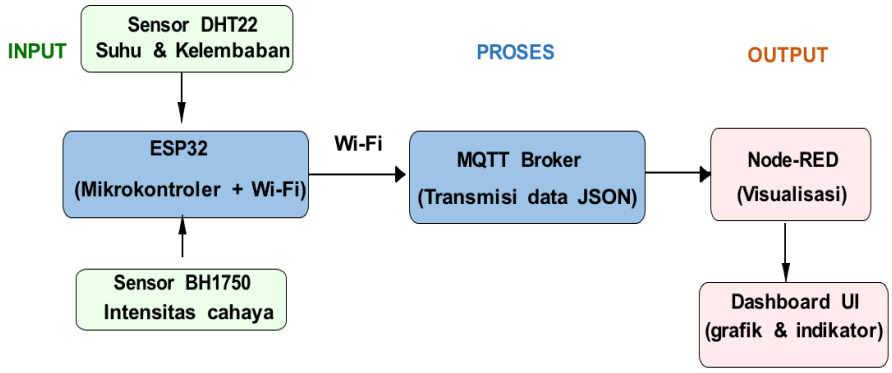
Secara spesifik, penelitian ini bertujuan untuk: (1) Merancang sistem akuisisi data lingkungan berbasis mikrokontroler ESP-WROOM-32 serta sensor DHT22 dan BH1750 yang terintegrasi MQTT melalui *software* Node-Red; (2) Memetakan profil distribusi suhu dan intensitas cahaya pada ruang baca Perpustakaan Provinsi Kalimantan Barat untuk mengidentifikasi pola ketidakmerataan (*non-uniformity*); (3) Mengevaluasi kesesuaian kondisi lingkungan ruang baca terhadap standar kenyamanan termal dan standar pencahayaan.

2. Material dan Metode

2.1. Perancangan sistem instrumentasi

Sistem dirancang untuk bekerja dengan alur input-proses-output seperti pada Gambar 1. Sensor DHT22 dan BH1750 berfungsi sebagai unit masukan yang mendeteksi parameter fisik lingkungan. Data tersebut

diproses oleh mikrokontroler, kemudian ditampilkan pada perangkat (*device*) melalui perangkat lunak (*software*) *Node-Red.*

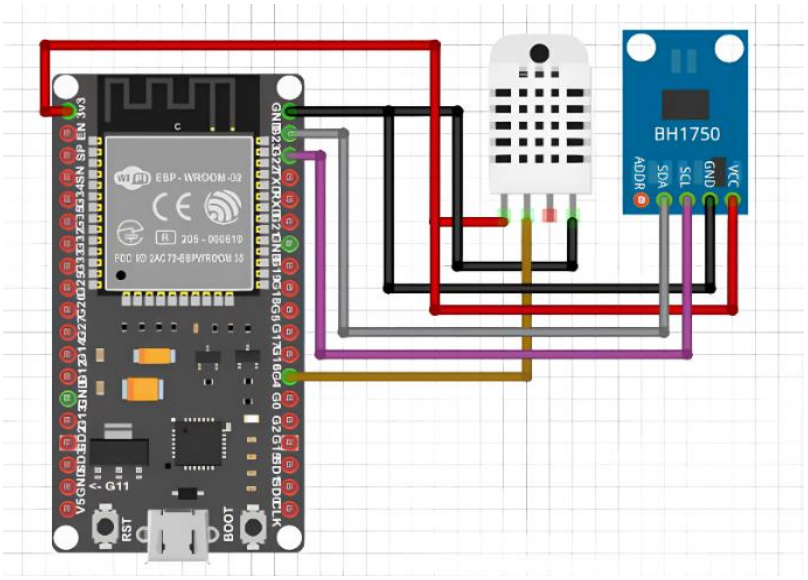


Gambar 1. Diagram blok sistem instrumentasi denagn alur *input-proses-output*.

Perancangan perangkat keras melibatkan pengkabelan (*wiring*) antara mikrokontroler dengan sensor seperti pada Gambar 2. Sistem dirancang berbasis *Internet of Things* (IoT) lokal. Sensor DHT22 dan BH1750 mengakuisisi data lingkungan, yang kemudian diproses oleh ESP32. ESP32 tidak menampilkan data secara fisik, melainkan mengirimkan paket data tersebut melalui protokol Wi-Fi/MQTT ke *server computer*. Data tersebut kemudian diolah dan divisualisasikan real-time dalam bentuk grafik dan indikator warna antarmuka (*dashboard*) *Node-Red*.

Perancangan perangkat lunak terdiri dari dua bagian utama:

1. Logika pemrograman alat disusun dengan menggunakan algoritma sekuensial. Saat sistem dinyalakan, mikrokontroler melakukan inisialisasi sensor. Dalam *loop* utama, sistem akan membaca data suhu dan kelembaban (DHT22) serta data intensitas cahaya (BH1750). Data mentah tersebut kemudian dikonversi oleh mikrokontroler menjadi besaran fisis untuk ditampilkan.
2. Protokol penampilan data diprogram untuk membaca sensor dan mengirimkan data dalam format JSON (*JavaScript Object Notation*), lalu dikirimkan ke topik MQTT. Kemudian pada *Node-Red* dirancang untuk menerima pesan MQTT, memparsing data JSON, dan menampilkan ke elemen UI (*User Interface*) *Dashboard*. Komunikasi data melalui MQTT dikarakterisasi melalui beberapa parameter, yaitu interval pencuplikan (*sampling interval*), jeda transmisi (*latency*), stabilitas koneksi, dan jumlah data yang dikirim.



Gambar 2. Perancangan perangkat keras dan pengkabelan (*wiring*) antara mikrokontroler dengan sensor.

2.2. Karakterisasi dan kalibrasi sensor

Sensor DHT22 merupakan sensor digital yang mengukur suhu udara dan kelembaban relatif secara simultan. Secara internal, sensor ini mengintegrasikan elemen kelembaban tipe kapasitif dan termistor sebagai penginderaan utama, dengan keluaran digital yang ditransmisikan melalui protokol *single wire*. Sensor ini memiliki rentang pengukuran suhu −40 ºC hingga 80 ºC dengan resolusi 0,1 ºC dan ketelitian ±0,5 ºC, serta rentang kelembaban relatif 0–100% dengan ketelitian ±2–5% [16, 17]. Keterbatasan utama sensor ini terletak pada waktu respons yang relatif lambat dan ketergantungan pembacaan pada kesetimbangan termal dengan udara sekitar, sehingga diperlukan periode stabilisasi sebelum akuisisi data. Hal inilah yang menjadi pertimbangan dalam penetapan durasi stabilisasi 120 detik sebagaimana dijelaskan pada Subbab 2.3.

Sensor BH1750 merupakan sensor iluminansi digital berbasis foto dioda dengan penguatan internal dan konverter analog ke digital 16 bit, yang mengkonversi intensitas cahaya menjadi satuan lux secara langsung melalui antarmuka I^2C. Ketelitian atau akurasi sensor BH1750 secara umum memiliki toleransi bawaan sekitar $\pm$ 20%. Respons spektral sensor dirancang mendekati fungsi efikasi luminus fotopik mata manusia V (λ) dengan puncak pada panjang gelombang sekitar 555 nm, sehingga pembacaannya relatif merepresentasikan persepsi visual manusia. Sensor dilengkapi jendela difuser yang sekaligus berfungsi sebagai koreksi kosinus, sehingga pengaruh sudut datang cahaya dapat diredam. Rentang pengukuran sensor berada pada sekitar 1– 65.535 lux, pada intensitas di luar rentang tersebut sensor mengalami saturasi sehingga pembacaan menjadi tidak valid. Beberapa faktor yang memengaruhi pengukuran iluminansi antara lain: distribusi spektral sumber cahaya yang tidak identik dengan V (λ) khususnya pada sumber *non daylight*, orientasi dan sudut pemasangan sensor terhadap bidang kerja, kemungkinan terhalangnya sensor oleh objek, suhu dan kondisi lingkungan sekitar. Oleh karena itu, sensor ditempatkan mendatar menghadap bidang kerja pada ketinggian yang seragam pada setiap titik pengukuran.

Sebelum digunakan untuk pengambilan data lapangan, prototipe sistem monitoring dikarakterisasi dan dikalibrasi melalui metode uji perbandingan (*comparative test*). Sensor disandingkan dengan alat ukur standar di dalam ruang terkontrol selama durasi tertentu. Tahap ini bertujuan untuk menetapkan hubungan antara nilai pembacaan sensor dan nilai acuan, sekaligus mengetahui akurasi dan ketidakpastian sistem. Sensor dan alat standar diletakkan berdampingan (*side by side*) di dalam ruangan dan pembacaan dilakukan secara berkala selama durasi rata-rata 2 menit. Jumlah data yang digunakan untuk kalibrasi sensor adalah 8 data untuk sensor suhu dan 8 data untuk sensor iluminansi. Rentang pengukuran yang digunakan adalah antara 25 - 32°C untuk pengukuran suhu dan 220 - 900 lux untuk pengukuran iluminansi dengan jumlah pengulangan sebanyak 3 kali pada setiap kondisi pengukuran. Pengujian dilakukan dalam kondisi ruang terkontrol. Hasil pembacaan sensor kemudian dibandingkan dengan hasil dari alat ukur standar dalam kondisi pengukuran yang sama.

Alat standar yang digunakan sebagai kalibrator adalah:

1. *Humidity & Temperature Meter* merek Benetech GM1361, dengan tingkat akurasi ±1 ºC untuk suhu dan ±3% (rentang 30–90%) atau ±5% (rentang 10–30%) untuk kelembaban relatif.
2. *Digital Lux Meter* merek AS803, dengan tingkat akurasi < 3% untuk pembacaan < 10.000 lux.

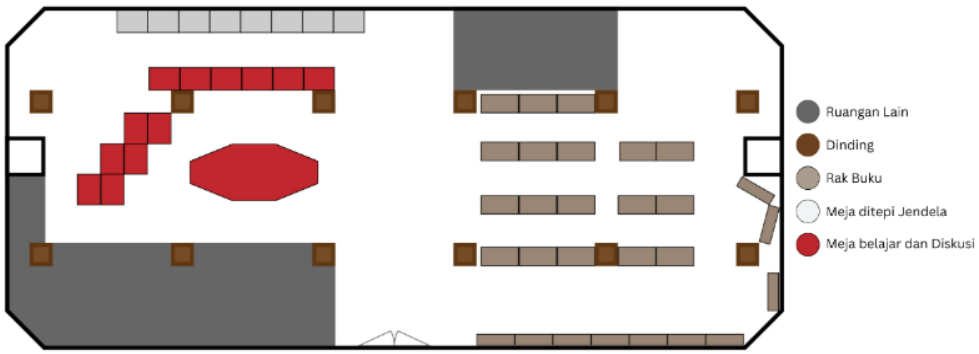
Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan pendekatan regresi linear berdasarkan hubungan antara nilai pembacaan sensor dan nilai yang diperoleh dari alat ukur standar. Persamaan hasil kalibrasi yang diperoleh merupakan model matematis yang digunakan untuk menghitung nilai parameter yang diukur. Nilai simpangan (*error*) dihitung untuk memastikan akurasi alat masih berada dalam batas toleransi yang wajar yaitu < 5% untuk keperluan monitoring non-kritis.

2.3. Pengambilan data lapangan

Pengambilan data lapangan dilakukan dengan menerapkan metode pemetaan *grid* spasial (*spatial grid mapping*) yang terintegrasi dengan sistem telemetri nirkabel. Ruang baca utama didiskritisasi ke dalam sejumlah titik pengukuran berdasarkan sistem koordinat Kartesius dua dimensi (x, y). Titik-titik pengukuran ditentukan dengan jarak antar *grid* (*grid spacing*) sekitar 1 – 2 m, dengan penyesuaian terhadap kondisi dan konfigurasi fisik ruangan, seperti keberadaan rak buku, pilar, meja, serta objek lain yang dapat menjadi penghalang (*obstacle*). Pendekatan ini diterapkan untuk memperoleh representasi distribusi spasial kondisi lingkungan secara lebih menyeluruh dibandingkan dengan pengukuran pada satu titik.

Instrumen pengukuran ditempatkan pada ketinggian sekitar 0,75 - 1,00 m dari permukaan lantai untuk merepresentasikan zona aktivitas pengguna pada area meja baca. Pengukuran dilakukan menggunakan metode *mobile sensing*, yaitu instrumen dipindahkan secara berurutan ke setiap titik pengukuran yang telah ditentukan, kemudian ditempatkan pada tripod dalam posisi statis selama proses akuisisi data. Pada setiap titik, instrumen dibiarkan selama 120 detik sebelum data dicatat untuk memberikan waktu yang cukup bagi sensor DHT22 mencapai kondisi yang relatif stabil dan mendekati kesetimbangan termal dengan udara di sekitarnya. Pemilihan ketinggian 0,75 - 1,00 m dan durasi stabilisasi 120 detik didasarkan pada pertimbangan ilmiah berikut. Ketinggian 0,75 m merepresentasikan zona aktivitas pengguna yang duduk pada meja baca yang mencakup ketinggian bidang kerja sekaligus lapisan udara yang dihirup pengguna, sehingga nilai yang diperoleh menggambarkan kondisi yang dirasakan secara nyata, bukan sekadar kondisi dekat lantai atau langit-langit. Adapun durasi 120 detik ditetapkan karena sensor suhu dan kelembaban DHT22 memiliki waktu respon dan konstanta waktu termal pada orde satuan hingga puluhan detik, dengan demikian durasi tersebut memberikan waktu beberapa kali konstanta waktu bagi elemen sensor untuk mencapai kondisi mendekati kesetimbangan termal (*steady state*) dengan udara di sekitarnya. Interval tersebut juga memastikan sensor BH1750 memperoleh pembacaan rata-rata yang stabil karena sensor memerlukan kesetimbangan termal dengan udara sekitar sehingga diperlukan periode stabilisasi sebelum akuisisi data.

Data suhu, kelembaban relatif, dan intensitas cahaya yang diperoleh pada setiap titik selanjutnya dikirimkan melalui sistem telemetri nirkabel untuk disimpan dan dianalisis. Seluruh titik pengukuran dicatat berdasarkan koordinat *grid* sehingga data dapat diolah lebih lanjut untuk menghasilkan visualisasi dan pemetaan distribusi spasial kondisi lingkungan ruang baca. Gambar 1 menunjukkan denah ruang baca pada lokasi penelitian yang diperlukan untuk memetakan sebaran suhu berdasarkan teori interpolasi menggunakan metode *inverse distance weighting* (IDW).



Gambar 2. Denah ruang baca lokasi penelitian.

2.4. Analisis data lapangan

Data mentah yang diperoleh dari lapangan dianalisis secara kuantitatif menggunakan pendekatan komputasi spasial dengan bantuan bahasa pemograman Python. Tahap awal analisis dimulai dengan pra-pemprosesan data (*pre-processing*). Data parameter yang terakuisisi kemudian dikirimkan secara *realtime* melalui protokol MQTT ke server lokal. Validitas data dipantau langsung melalui antarmuka *Node-Red* untuk memastikan tidak ada anomali sebelum instrument dipindahkan ke titik koordinat dihitung untuk mendapatkan suatu nilai representatif titik (x, y).

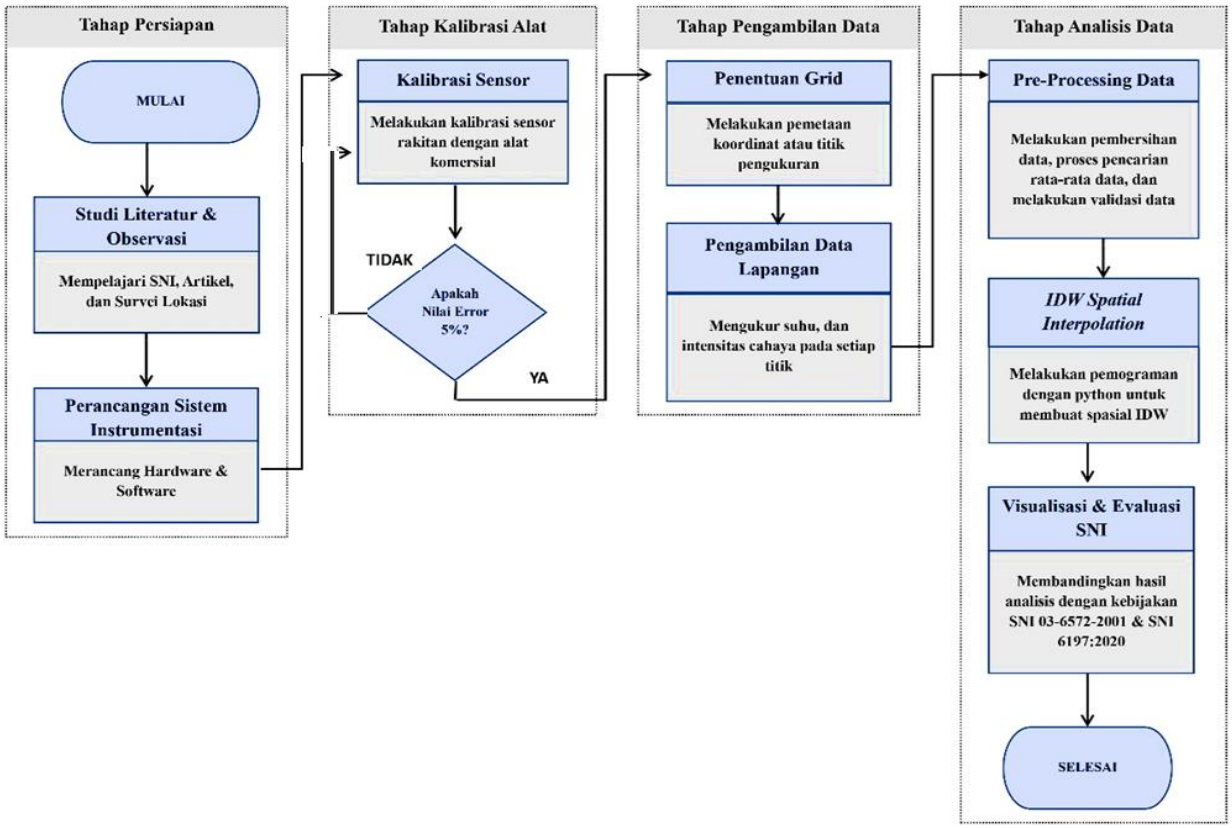
Data diskrit tersebut diolah menggunakan teknik intepolasi spasial untuk menghasilkan peta distribusi kontinu. Algoritma yang ditetapkan adalah *Inverse Distance Weighting* (IDW) yang secara matematis dirumuskan sebagai:

$$\hat{z}(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i z_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i}, \qquad w_i = \frac{1}{[d(x_0,x_i]^p} \tag{1}$$

dengan $\hat{z}(x_0)$ adalah nilai prediksi pada titik interpolasi x_0, z_i adalah nilai observasi pada titik i, n adalah jumlah titik tetangga yang digunakan, $d(x_0, x_i)$ adalah jarak Euclidean antara titik interpolasi dan titik observasi, serta p adalah parameter pangkat (*power parameter*) yang mengatur bobot pengaruh jarak. Pada penelitian ini digunakan nilai p = 2 (nilai yang umum digunakan dan mampu mempertahankan nilai

ekstrem lokal). Mengingat jumlah titik pengukuran relatif sedikit, yaitu 17 titik valid, interpolasi dilakukan secara global dengan menggunakan seluruh titik pengukuran sebagai tetangga pada setiap titik estimasi, sehingga n = 17 (seluruh titik valid) dan tidak diterapkan radius pencarian (*search radius*) tertentu. Estimasi dilakukan pada grid interpolasi beresolusi 200 x 150 piksel yang mencakup seluruh domain ruangan ($x \in [222, 1947]$ dan $y \in [41, 851]$ satuan koordinat denah). Evaluasi ketepatan interpolasi ini dibahas pada Subbab 3.3. Tahap akhir analisis adalah evaluasi kepatuhan (*complieance evaluation*), di mana peta distribusi tersebut dikomparasikan terhadap standar SNI SNI 03-6572-2001 dan SNI 6197:2020 untuk menentukan persentase luas area yang memenuhi kriteria kenyamanan dan kesehatan.

Dalam mencapai keberhasilan penelitian ini, maka diperlukan langkah-langkah terstruktur. Langkah-langkah ini tergambar pada diagram alir atau kerangka kerja penelitian. Gambar 4 merupakan diagram alir atau kerangka kerja pada penelitian ini.



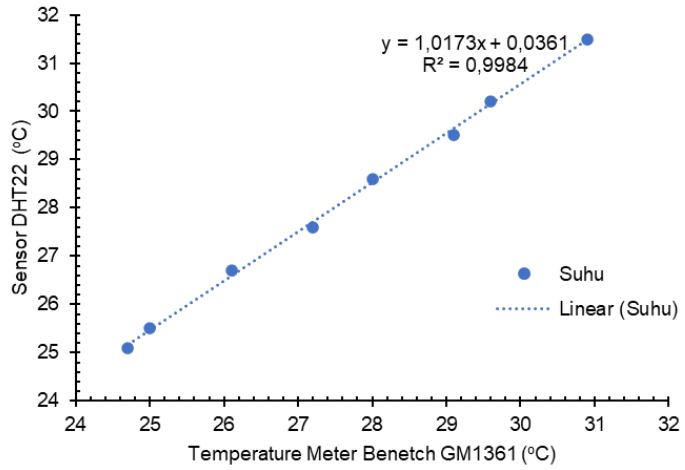
Gambar 4. Diagram alir penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

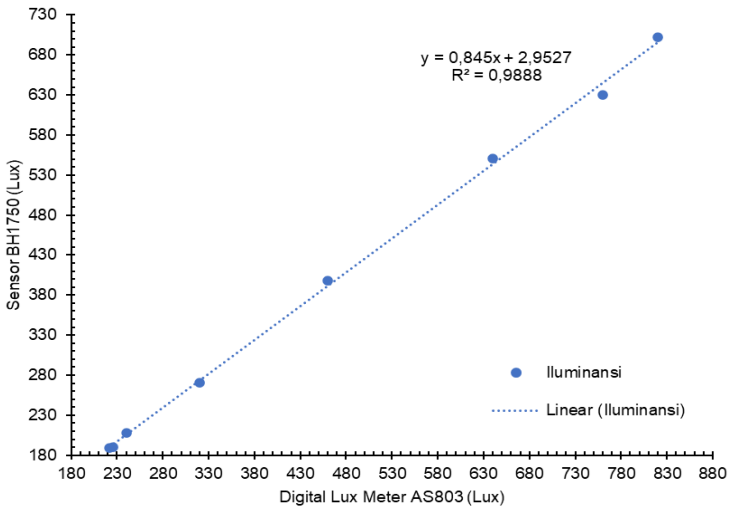
Sebelum digunakan untuk akuisisi data di lapangan, prototipe sistem monitoring berbasis ESP32 terlebih dahulu divalidasi terhadap alat ukur standar. Tahap validasi ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil pengukuran sensor yang digunakan dengan nilai yang diperoleh dari instrumen pembanding, sehingga dapat dipastikan bahwa sistem memiliki kinerja yang memadai untuk digunakan dalam pemetaan kondisi lingkungan ruang baca.

Hasil pengukuran suhu udara ruang baca menggunakan sistem monitoring yang dikembangkan menunjukkan kesalahan rata-rata sebesar 1,8% terhadap alat ukur standar dan analisa regresi liniernya seperti diperlihatkan pada Gambar 5. Nilai kesalahan tersebut menunjukkan tingkat kesesuaian pengukuran yang baik sehingga tidak memerlukan koreksi regresi dan mengindikasikan bahwa sensor DHT22 mampu memberikan respons yang representatif terhadap perubahan suhu udara di lingkungan pengukuran. Dengan tingkat kesalahan yang relatif kecil, data suhu yang diperoleh dari sistem dapat digunakan sebagai dasar dalam analisis distribusi spasial suhu pada ruang baca. Hasil pengukuran intensitas cahaya ruang baca

menggunakan sistem monitoring yang dikembangkan menunjukkan kesalahan rata-rata sebesar 14,7% terhadap alat ukur standar dan analisa regresi liniernya seperti diperlihatkan pada Gambar 6. Karena kesalahan rata-rata masih cukup tinggi (lebih dari 5%) maka regresi linier dengan persamaan y = 0,845x +2,9527 digunakan sebagai faktor koreksi sensor pada pemograman mikrokontroler untuk kalibrasi sensor BH1750. Pengujian sensor BH1750 setelah dikalibrasi dilakukan dengan membandingkan nilai iluminansi hasil pembacaan sensor setelah koreksi kalibrasi dengan nilai yang diperoleh dari digital lux meter sebagai instrumen referensi. Pengujian dilakukan pada 15 tingkat iluminansi dalam rentang 100–900 lux. Tingkat kesesuaian hasil pengukuran dievaluasi menggunakan rata-rata persentase kesalahan absolut (*Mean Absolute Percentage Error*, MAPE) dan diperoleh nilai sebesar 0,28% seperti diberikan pada Tabel 3. Grafik hubungan antara nilai pembacaan sensor BH1750 dan nilai referensi beserta garis regresinya dengan koefisien determinasi R^2 = 0,9988 setelah dilakukan kalibrasi yang ditunjukkan pada Gambar 7. Hasil validasi ini menjadi dasar bahwa data suhu dan intensitas cahaya yang diperoleh pada 20 titik pengukuran dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut mengenai variabilitas spasial dan ketidakseragaman kondisi lingkungan pada ruang baca Perpustakaan Provinsi Kalimantan Barat.



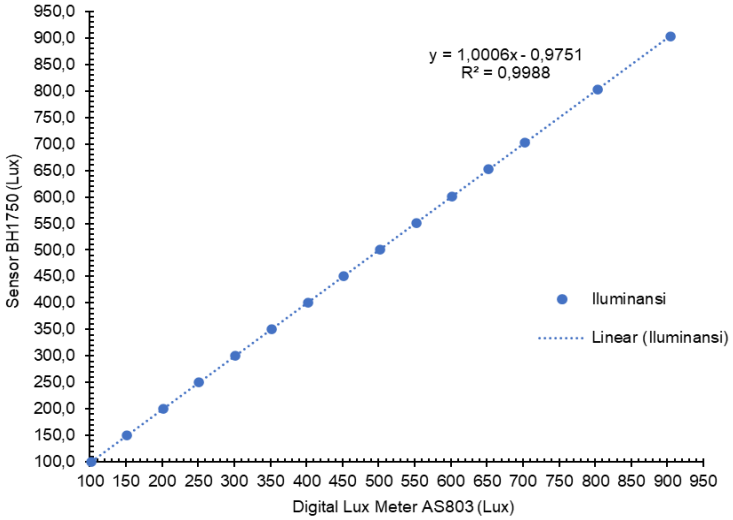
Gambar 5. Kurva kalibrasi sensor suhu terhadap alat ukur standar.



Gambar 6. Kurva kalibrasi sensor iluminansi terhadap alat ukur standar.

Secara fisik, ruang baca menerapkan sistem pencahayaan samping (*side lighting*) dengan jendela yang langsung berhadapan dengan sumber cahaya luar pada satu dinding, sementara sisi lainnya tertutup. Sistem pencahayaan buatan didukung oleh 24 unit lampu LED, namun terdapat 2 unit yang non aktif. Untuk sumber suhu, ruangan memiliki 4 unit *Air Conditioner* (AC), namun saat pengukuran hanya satu unit yang

dapat beroperasi penuh, dan dibantu oleh satu unit kipas angin. Kondisi ini mengindikasikan adanya keterbatasan performa sistem aktif dalam menangani beban pendinginan. Gambar 8 menunjukkan kondisi lingkungan ruang baca di lokasi penelitian.



Gambar 7. Kurva pengujian sensor iluminansi terhadap alat ukur standar setelah dikalibrasi.

Selama periode pengambilan data, kondisi cuaca eksternal terpantau cerah berawan. Berdasarkan pemantauan iklim mikro luar ruangan, suhu lingkungan bergerak pada kisaran 27,8 Celsius sampai 32,2 Celsius dengan kelembaban relatif 66% hingga 89%. Data tersebut diperoleh dari *website https://zoom.earth/maps/temperature* dengan memilih lokasi dan waktu yang sesuai. Tingginya suhu dan kelembaban luar ini memberikan beban panas yang signifikan merambat melalui selubung bangunan secara konduksi dan radiasi, mampu mempengaruhi stabilitas termal di dalam ruangan.



(a) (b)

(c) (d)

Gambar 8. Kondisi lingkungan lokasi penelitian; (a) kondisi ruang baca, (b) kondisi rak buku di ruang baca, (c) kondisi eksternal penetrasi cahaya langsung dan (d) kondisi eksternal tanpa penetrasi cahaya.

3.1 Hasil pengukuran suhu dan cahaya

Bagian ini memaparkan hasil akuisisi data spasial terkait parameter lingkungan dalam ruangan yang meliputi suhu udara dan intensitas pencahayaan. Dari 20 titik ukur yang direncanakan berdasarkan metode *grid sampling*, data valid berhasil diperoleh pada 17 titik, sedangkan 3 titik (titik 1, 5, dan 16) tidak menghasilkan data. Ketidakberhasilan akuisisi pada ketiga titik tersebut bukan disebabkan oleh gangguan pembacaan sensor, melainkan oleh keterbatasan akses fisik ruang. Titik 1 dan titik 5 terletak pada area yang difungsikan sebagai ruang penyimpanan (gudang) yang tertutup dan tidak dapat dimasuki, dengan sistem penerangan pada area tersebut tidak diaktifkan, adapun titik 16 berada di dalam ruang laktasi yang tertutup dan secara etis tidak dapat dijangkau oleh peneliti. Dengan demikian, jumlah data valid berkurang dari 20 menjadi 17 titik. Untuk mendapatkan gambaran karakteristik termal dan visual yang komprehensif, pengukuran dibagi dalam tiga segmen waktu, yakni kondisi pagi, kondisi siang, dan kondisi sore. Nilai rata-rata pada setiap titik ditunjukkan pada Tabel 1, sedangkan ringkasan nilai rata-rata pada setiap kondisi waktu ditunjukkan pada Tabel 2.

Untuk memberikan gambaran statistik yang lebih lengkap, ringkasan statistik deskriptif dari ke-17 titik pengukuran valid disajikan pada Tabel 3. Parameter yang dilaporkan meliputi nilai rata-rata (*mean*), simpangan baku (*standar deviasi*), nilai minimum, dan nilai maksimum.

Tabel 1. Hasil pengukuran rata-rata pada setiap titik.

Titik Pengukuran	Suhu (℃)	Humiditas (%)	Pencahayaan (lux)
1	-	-	-
2	26,7	72,6	184,8
3	26,7	72,2	241,9
4	27,0	72,2	822,7
5	-	-	-
6	26,7	72,5	232,4
7	26,6	72,2	270,7
8	26,7	72,3	759,9
9	26,9	72,6	216,1
10	26,8	72,3	236,0
11	26,8	72,2	246,9
12	26,8	72,2	154,4
13	26,8	72,6	242,1
14	26,8	72,2	180,1
15	25,3	73,1	196,0
16	-	-	-
17	26,7	71,9	164,1
18	26,8	71,7	167,8
19	26,9	72,2	172,8
20	26,8	72,0	157,4

Tabel 2. Hasil rata-rata di setiap kondisi.

Kondisi (waktu)	Suhu (^{0}C)	Humiditas (%)	Pencahayaan (lux)
Pagi	27,1	77,3	265,2
Siang	26,6	70,8	296,5
Sore	26,4	68,8	263,6

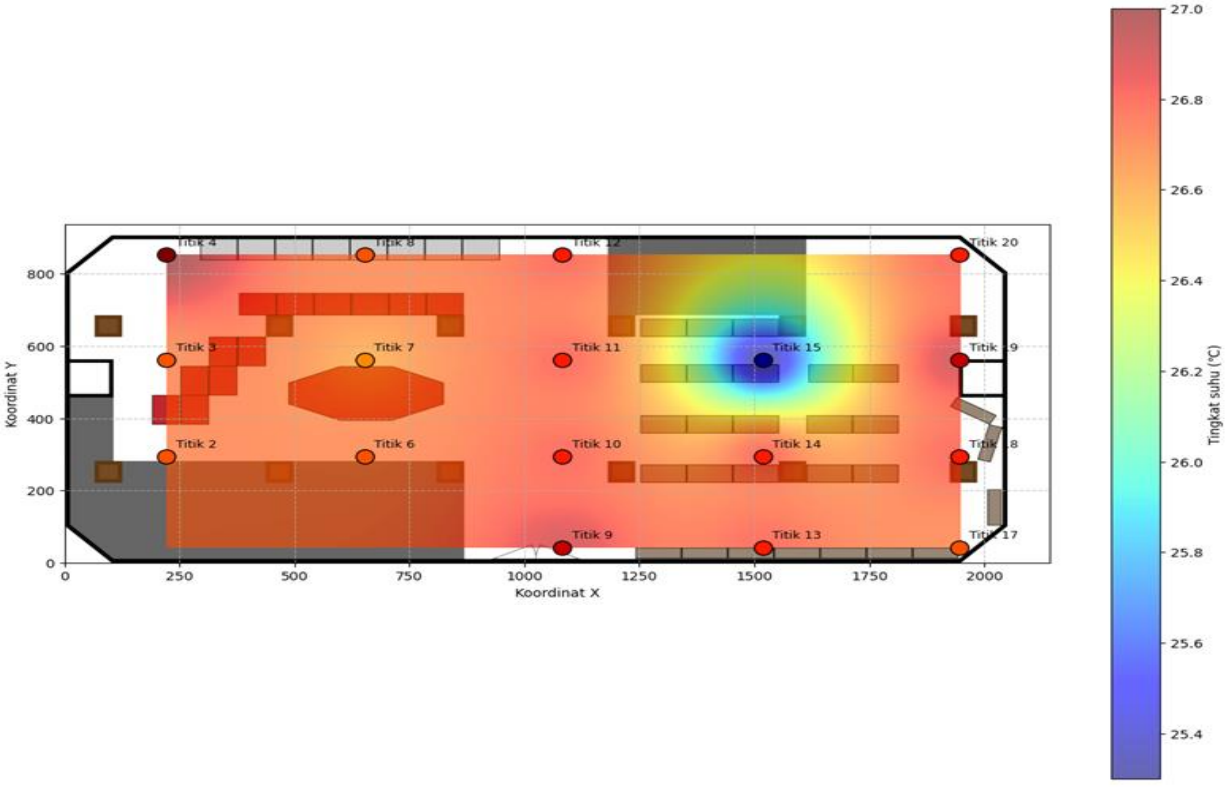
Tabel 3. Ringkasan statistik deskriptif pada 17 titik pengukuran valid.

Statistik	Suhu (^{0}C)	Pencahayaan (lux)	Lux (tanpa area jendela)
Mean	26,69	273,3	204,2
Standar deviasi	0,37	198,6	38,4
Minimum	25,3	154,4	154,4
Maksimum	27,0	822,7	270,7

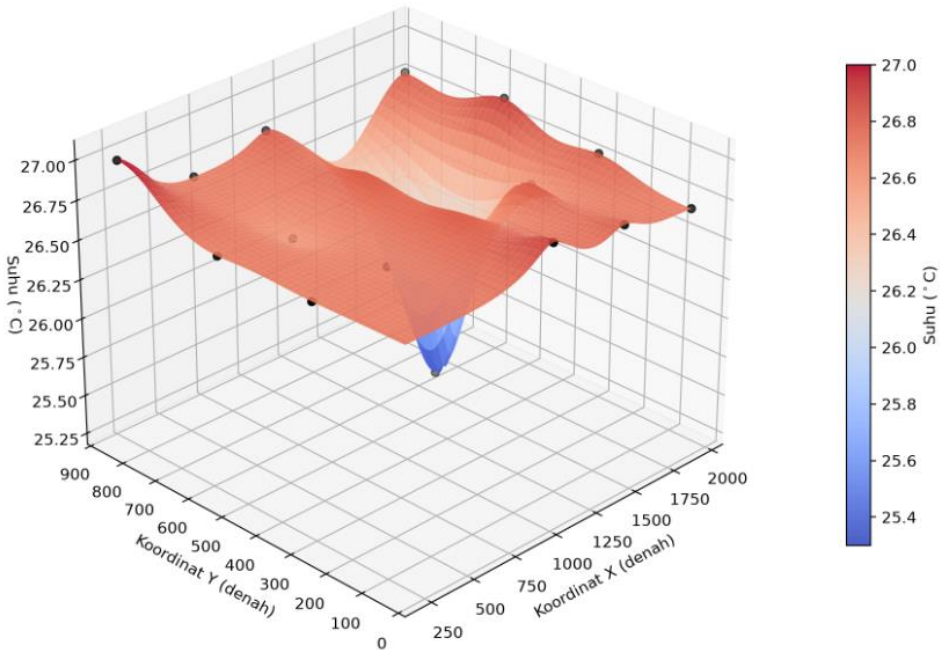
3.2 Analisis distribusi spasial suhu

Evaluasi kinerja termal ruangan dianalisis melalui visualisasi spasial 2D (*heatmap*) dan 3D (*surface plot*). Berdasarkan data pengukuran, suhu ruangan bergerak pada rentang 25,3 sampai 27,0 ^{0}C. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9, pola distribusi suhu teridentifikasi sangat heterogen.

Terbentuk zonasi *localized cooling center* yang signifikan pada area tengah ruangan (Titik 15), dengan suhu terendah mencapai 25,3 ^{0}C. Pola gradasi radial pada titik ini mengindikasikan paparan langsung aliran udara dingin dari unit AC. Fenomena ini kontras dengan kondisi di area perimeter (tepian ruangan), khususnya pada Titik 4 dan 9 yang didominasi zona merah dengan suhu mencapai 27 ^{0}C. Akumulasi panas di *area* tepi ini mengkonfirmasi adanya infiltrasi beban termal eksternal melalui selubung bangunan yang tidak terkompensasi oleh sistem pendinding. Ketidakseragaman ini dipertegas melalui analisis topografi 3D pada Gambar 10.



Gambar 9. Peta distribusi spasial suhu ruangan (*heatmap*) rata-rata.



Gambar 10. Topografi 3D ketidakseragaman distribusi suhu (*thermal non-uniformity profile*).

Profil visual memperlihatkan struktur lembah curam di tengah ruangan dan puncak elevasi di area tepi. Gradien suhu yang tajam dalam jarak spasial yang pendek ini membuktikan bahwa sistem tata udara eksisting gagal menciptakan iklim mikro yang homogen, melainkan hanya efektif melakukan pendinginan secara lokal di pusat ruangan.

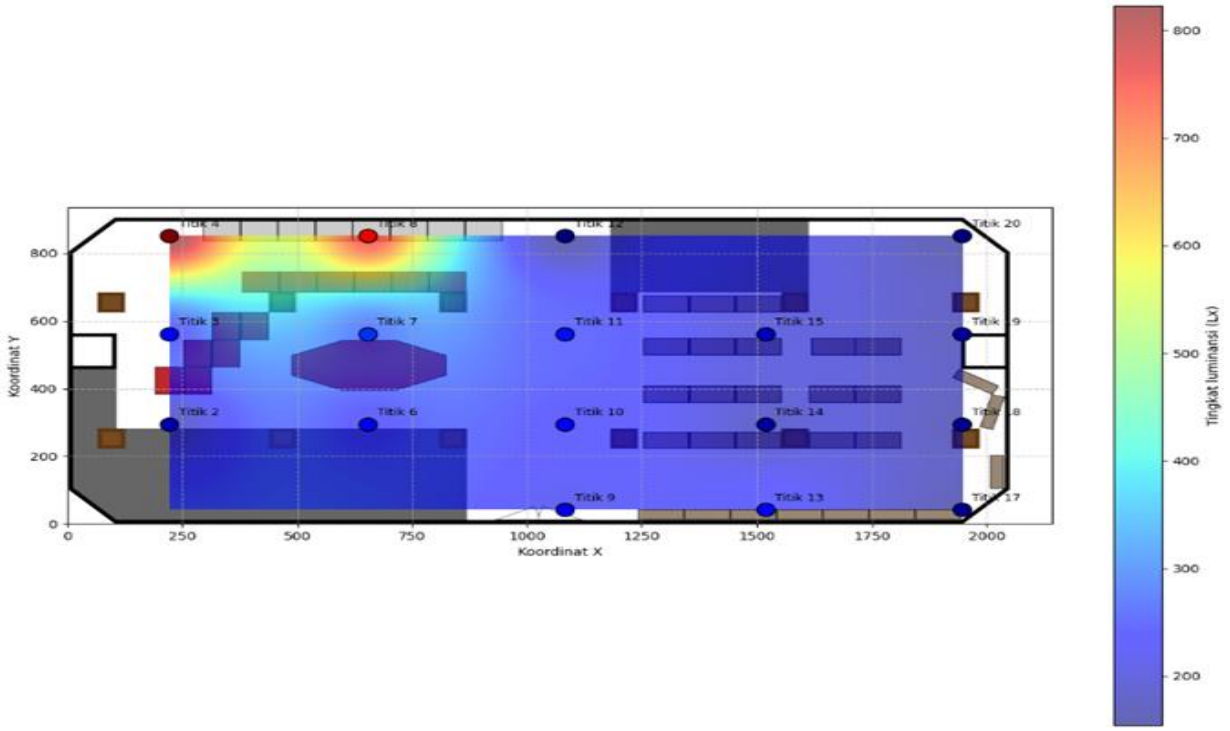
Secara fisis, ketidakseragaman distribusi suhu tersebut dapat dijelaskan melalui mekanisme perpindahan panas yang terjadi di dalam ruangan. Pertama, sistem pengondisian udara mengeluarkan aliran udara dingin yang bersifat terarah dari unit *indoor*, momentum aliran tersebut meluruh terhadap jarak, sehingga efek pendinginan terkonsentrasi pada area yang langsung terpapar aliran (Titik 15), sementara sebagian besar volume ruangan tidak terlayani secara merata. Kedua, beban panas eksternal dari radiasi matahari yang menembus selubung bangunan, terutama pada sisi perimeter yang menerima radiasi langsung, menimbulkan fluks panas konduktif melalui dinding dan kaca, disertai radiasi gelombang panjang dari permukaan interior yang lebih hangat. Ketiga, perpindahan panas konvektif alami membentuk sirkulasi udara di dalam ruangan, udara hangat di dekat permukaan perimeter naik, sedangkan udara yang lebih dingin di pusat ruangan turun, sehingga memperkuat gradien suhu horizontal. Kombinasi beban panas bangunan yang tinggi dengan kapasitas pendinginan yang terbatas menyebabkan sistem aktif belum mampu mencapai kondisi tunak yang homogen pada seluruh ruang baca.

3.3 Analisis distirbusi spasial cahaya

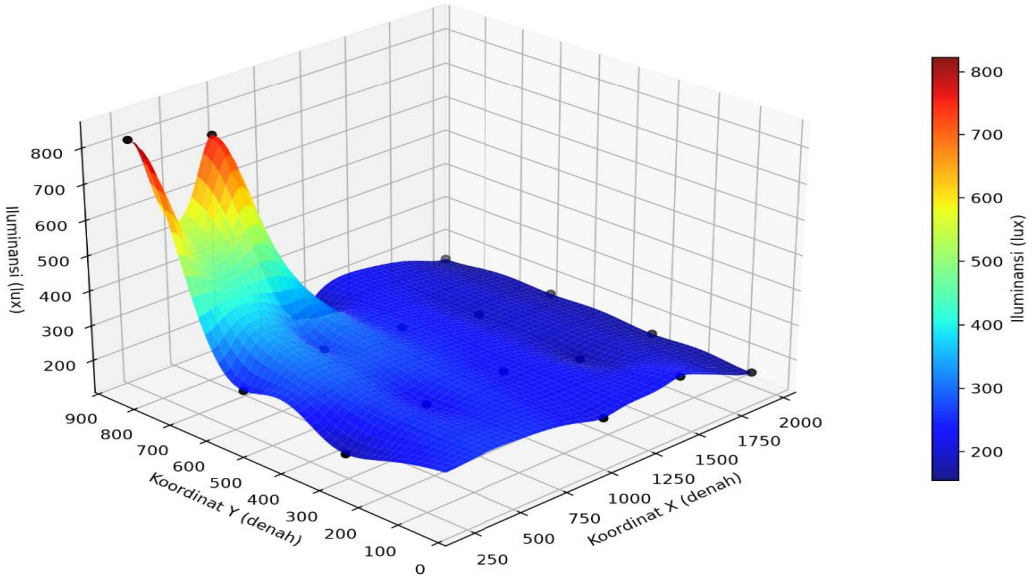
Berbeda dengan profil suhu yang cenderung menunjukkan gradasi termal, distribusi pencahayaan memperlihatkan polarisasi visual yang cukup ekstrem. Berdasarkan pemetaan spasial pada Gambar 11 dan 12, teridentifikasi ketidakseimbangan yang signifikan antara zona perimeter (dekat jendela) dan zona lainnya. Lonjakan intensitas cahaya terpusat secara eksklusif di area tepian jendela, khususnya pada Titik 4 dan 8, dengan intensitas puncak mencapai 822,7 lux. Sebagaimana divisualisasikan pada grafik 3D, *area* ini membentuk puncak elevasi yang curam akibat penetrasi secara langsung oleh cahaya matahari.

Hasil pemetaan spasial menunjukkan adanya ketidakseragaman intensitas pencahayaan yang cukup besar pada ruang baca. *Area* di sekitar jendela menunjukkan intensitas cahaya yang tinggi dan berpotensi menimbulkan silau (*glare*), khususnya pada bidang kerja yang digunakan untuk membaca dan bekerja dengan komputer. Kondisi tersebut sejalan dengan penelitian yang menunjukkan bahwa paparan *direct glare* dapat meningkatkan gejala ketidaknyamanan mata dan menurunkan kemampuan membaca pada pengguna komputer. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa kondisi *glare* dan pencahayaan yang tidak seragam dapat menurunkan kinerja visual serta meningkatkan indikasi kelelahan mata [10, 11].

Sebaliknya, intensitas cahaya mengalami penurunan yang cukup tajam pada area yang semakin jauh dari bukaan jendela. Mayoritas area bagian tengah ruang baca memiliki intensitas pencahayaan di bawah 200 lux. Pola tersebut menunjukkan bahwa penetrasi cahaya alami ke bagian dalam ruangan relatif terbatas. Fenomena penurunan iluminansi terhadap jarak dari jendela juga telah dilaporkan pada penelitian mengenai distribusi cahaya alami, yang menunjukkan bahwa iluminansi dapat mengalami penurunan cepat pada area yang menjauh dari bukaan. Kedalaman penetrasi cahaya sangat dipengaruhi oleh geometri ruangan, ukuran dan posisi jendela, serta karakteristik bukaan bangunan [12, 13].



Gambar 11. Peta zonasi intensitas pencahayaan alami dan buatan (*illuminance heatmap*).



Gambar 12. Profil 3D disparitas intensitas cahaya (*luminous landscape*).

Mengacu pada SNI 03-6572-2001, suhu rata-rata ruangan sebesar 26,7 ºC masih berada dalam batas toleransi kategori "Hangat Nyaman" bagi masyarakat tropis. Namun, analisis termodinamika pada diagram psikometrik menunjukkan isu kritis pada parameter kelembaban spesifik ~ 16 g/kg udara kering. Nilai ini melampaui ambang batas kenyamanan termal standar ASHRAE 55 yang merekomendasikan RH maksimal 60% [14]. Tingginya kelembaban udara dapat mengurangi potensi evaporasi keringat dari permukaan kulit karena perbedaan tekanan uap antara kulit dan udara lingkungan menjadi lebih kecil. Kondisi tersebut meningkatkan *skin wettedness* dan dapat memperbesar sensasi ketidaknyamanan pada kondisi termal hangat. Kondisi kelembaban yang tinggi juga meningkatkan kebutuhan pengendalian kelembaban oleh sistem pengondisian udara, khususnya dalam menangani beban laten [15].

Berdasarkan SNI 6197:2020, intensitas pencahayaan di ruang baca belum memenuhi standar minimal (≥ 350 lux). Meskipun rata-rata global tercatat 273,3 lux, angka ini bisa diakibatkan lonjakan intensitas di dekat jendela. Jika area anomali tersebut diabadikan, maka intensitas rata-rata ruangan hanya mencapai 204,3 lux. Hampir 70% area ruangan hanya memiliki iluminansi 150-180 lux. Defisit cahaya ini berisiko memicu kelelahan mata dan penurunan konsentrasi pengunjung dalam durasi baca panjang.

3.4 Pengujian komunikasi IoT

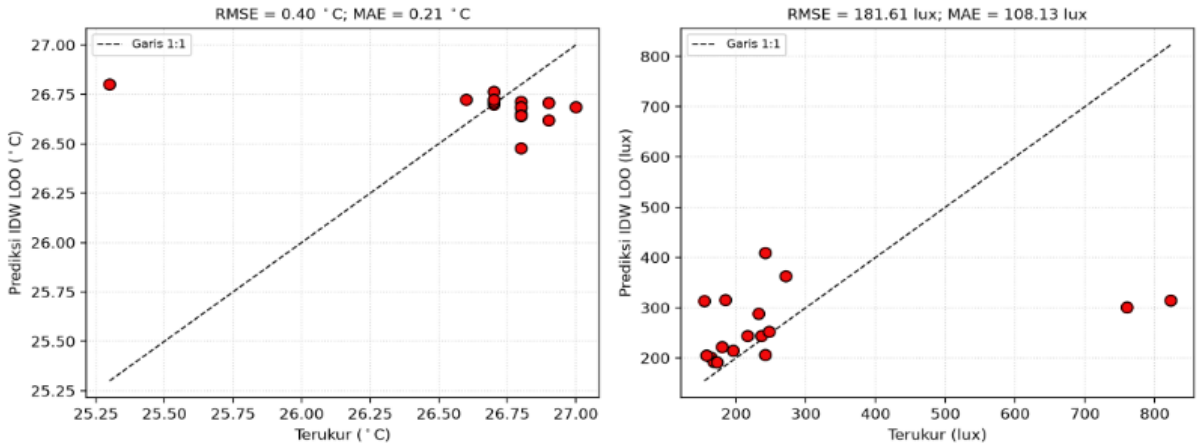
Pengujian komunikasi sistem monitoring berbasis IoT dilakukan untuk mengevaluasi interval sampling, latensi transmisi MQTT, stabilitas koneksi, dan keandalan pengiriman data ke *dashboard Node-Red*. Pengujian dilakukan selama 30 menit dengan interval sampling 5 detik dan dilakukan dalam tiga pengulangan. Setiap pesan MQTT memuat data suhu udara, kelembaban relatif, intensitas cahaya dan *timestamp* pengukuran. Berdasarkan hasil pengujian, sebanyak 360 paket data dikirimkan dan 358 paket berhasil diterima oleh sistem penerima, sehingga diperoleh rasio keberhasilan pengiriman sebesar 99,44% dan rasio kehilangan paket sebesar 0,56%. Latensi transmisi rata-rata tercatat sebesar 185 ms, dengan nilai minimum 85 ms dan maksimum 430 ms. Sementara itu, ketersediaan koneksi selama pengujian mencapai 99,50%. Hasil ini menunjukkan bahwa kondisi koneksi stabil sehingga komunikasi MQTT mampu mendukung pemantauan parameter lingkungan ruang baca dengan interval pengiriman sekitar 5 detik.

3.5 Validasi interpolasi spasial

Untuk memastikan bahwa peta distribusi yang dihasilkan merepresentasikan data observasi secara memadai, dilakukan validasi kinerja interpolasi IDW dengan metode *Leave One Out Cross Validation* (LOOCV). Pada setiap iterasi, satu titik pengukuran dihilangkan dari proses interpolasi, nilai pada titik tersebut diprediksi dari titik-titik lainnya kemudian dibandingkan dengan nilai observasi. Tingkat galat prediksi dikuantifikasi menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Mean Absolute Error* (MAE) yang masing-masing didefinisikan sebagai Persamaan (2).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}(z_i - \widehat{z_i})^2}, \quad MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|z_i - \widehat{z_i}|) \tag{2}$$

dengan z_i adalah nilai observasi, $\widehat{z_i}$ adalah nilai prediksi hasil interpolasi, dan n adalah jumlah data validasi. Dari 17 titik valid yang tersedia, validasi silang untuk parameter suhu menghasilkan RMSE = 0,40 ºC dan MAE = 0,21 ºC, sedangkan parameter intensitas cahaya menghasilkan RMSE = 181,6 lux dan MAE = 108,1 lux. Nilai galat iluminansi yang tampak lebih besar terutama didorong oleh dua titik di dekat jendela dengan iluminansi sangat tinggi (> 700 lux) yang membentuk gradien sangat tajam dan sulit direproduksi oleh interpolasi, relatif terhadap rentang data, RMSE suhu dan iluminansi masing-masing setara dengan 23,4% dan 27,2% dari rentang pengamatan. Secara umum model IDW yang digunakan mampu mereproduksi pola distribusi spasial secara memadai dengan ketidakpastian prediksi terbesar terkonsentrasi pada area transisi dekat jendela. Perbandingan antara nilai terukur dan nilai prediksi hasil validasi silang ditunjukkan pada Gambar 13.



a) Suhu b) Iluminansi

Gambar 13. Validasi silang *leave one out* interpolasi IDW, perbandingan nilai terukur dan nilai prediksi untuk a) suhu dan b) iluminansi. Garis putus-putus adalah garis acuan 1:1.

3.6 Analisis ketidakpastian pengukuran

Analisis ketidakpastian pengukuran dilakukan mengikuti pendekatan *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (GUM). Ketidakpastian tipe A (u_A) diperoleh dari sebaran hasil pengukuran berulang dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (3).

$$u_A = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

dengan s adalah simpangan baku dan n adalah jumlah pengulangan. Berdasarkan perhitungan, diperoleh nilai ketidakpastian u_A masing-masing sebesar 0,010 ◦C dan 2,58 lux. Ketidakpastian tipe B (u_B) diestimasi dari spesifikasi alat dengan asumsi distribusi persegi, seperti dinyatakan pada Persamaan (4).

$$u_B = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

dengan *a* adalah nilai batas ketelitian sensor. Persamaan (4) mencakup kontribusi akurasi sensor, resolusi sensor, dan pengaruh instrumen referensi. Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai ketidakpastian u_B masing-masing sebesar 0,289 ºC dan 3,46 lux. Nilai batas a yang digunakan adalah ketelitian DHT22 ± 0,5 ºC untuk suhu dan ± 20% lux untuk iluminanasi serta resolusi sensor 0,1 ºC dan 1 lux. Ketidakpastian gabungan (U_c) dihitung menggunakan Persamaan (5).

$$U_C = \sqrt{\sum_i u_i^2} \quad (5)$$

Dengan u_i adalah ketidakpastian pengukuran ke-i. Ringkasan ketidakpastian diberikan pada Tabel 4 dengan hasil ketidakpastian gabungan sebesar 0,29 ºC untuk suhu dan 4,33 lux untuk iluminansi. Nilai ketidakpastian tersebut relatif kecil terhadap rentang data antar titik pengukuran, sehingga perbedaan antar titik yang teramati (misalnya suhu 25,3 ºC pada Titik 15 dibandingkan 27,0 ºC pada Titik 4 dapat dinyatakan signifikan secara pengukuran.

Tabel 4. Ketidakpastian pengukuran.

Komponen	Suhu (ºC)	Iluminansi (lux)
Tipe A (*repeatability*)	0,010	2,58
Tipe B (akurasi sensor)	0,289	3,46
Resolusi	0,1	1
Gabungan	0,29	4,33

3.7 Keterbatasan penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu kami sampaikan. Pertama, evaluasi kenyamanan termal hanya menggunakan suhu udara tanpa mengukur kecepatan udara dan suhu radiasi rata-rata. Secara fisis, keseimbangan kalor tubuh manusia dinyatakan sebagai $M \pm R \pm C - E = \Delta S$, dengan M adalah laju produksi panas metabolik, R pertukaran panas radiasi, C pertukaran panas konveksi, dan E pelepasan panas melalui evaporasi keringat. Kondisi nyaman tercapai apabila laju penyimpanan panas $\Delta S \approx 0$ [18]. Oleh karena kecepatan udara (yang menentukan suku konveksi C) dan suhu radiasi rata-rata (yang menentukan suku radiasi R) tidak diukur, indeks kenyamanan termal menyeluruh seperti *Predicted Mean Vote* (PMV) dan *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD) tidak dapat dihitung, sehingga kategori "hangat nyaman" yang dilaporkan bersifat indikatif dan belum merepresentasikan kenyamanan termal secara lengkap. Kedua, pada kelembaban relatif (RH) 72%, perbedaan tekanan uap air antara kulit dan udara lingkungan berkurang sehingga laju evaporasi keringat menurun. Kondisi ini meningkatkan *skin wettedness* dan memperbesar sensasi panas, terutama pada kondisi suhu udara yang hangat, dengan demikian meskipun suhu udara berada dalam rentang hangat nyaman, kelembaban yang tinggi dapat memperparah sensasi ketidaknyamanan. Ketiga, sistem yang dikembangkan merupakan prototipe yang diuji pada satu ruang baca dengan jumlah titik pengukuran terbatas, sehingga hasilnya belum dapat digeneralisasi ke seluruh tipe ruangan atau bangunan lain tanpa penyesuaian.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang bangun sistem monitoring suhu dan intensitas cahaya pada ruang baca Perpustakaan Provinsi Kalimantan Barat secara real-time. Sistem instrumentasi yang dikembangkan dapat digunakan untuk mengevaluasi tingkat kenyamanan termal ruang baca dengan peta distribusi spasial suhu dan intensitas cahaya. Sistem direalisasikan menggunakan mikrokontroler ESP-WROOM-32, sensor DHT22, sensor BH1750, dan diintegrasikan dengan platform IoT menggunakan protokol Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) dengan perangkat lunak Node-RED. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan akuisisi, transmisi, dan visualisasi data sensor dengan akurasi 1,8% untuk suhu dan 0,28% untuk intensitas cahaya.

Pemetaan distribusi spasial suhu dan intensitas cahaya berhasil dilakukan menggunakan metode interpolasi Inverse Distance Weighting (IDW) berdasarkan data pengukuran pada sejumlah titik di ruang baca Perpustakaan Provinsi Kalimantan Barat. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa kondisi lingkungan ruang baca di lokasi penelitian belum sepenuhnya memenuhi kondisi kenyamanan yang direkomendasikan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan pemetaan spasial dapat memberikan informasi yang lebih baik dalam mengidentifikasi area yang mengalami ketidakseragaman kondisi lingkungan dibandingkan pengukuran konvensional berbasis satu titik atau nilai rata-rata ruangan. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan merupakan prototipe instrumen untuk mengevaluasi kondisi lingkungan ruang baca secara spasial dan real-time. Temuan dalam penelitian ini terbatas pada objek studi dan parameter yang diukur (suhu, kelembaban relatif, dan intensitas cahaya) serta belum menyertakan parameter kenyamanan termal lengkap seperti kecepatan udara dan PMV/PPD.

Pustaka

[1] Fanpu M, Shou Yi W and Hua F 2024 Research on the health lighting scheme of university library reading room *Heliyon* 10 38089.
[2] Chang L, Permana I, Setiawan T, Agharid A P and Wang F 2025 Evaluating and enhancing thermal comfort and indoor air quality in a library building through measurement and simulation *Ain Shams Eng. J.* 16 103580.
[3] Huiberts L M, Smolders K C H J and de Kort Y A W 2015 Shining light on memory: Effects of bright light on working memory performance *Behav. Brain Res*. 294 234–245.
[4] Coaton J R and Marsden A. M 2012 Lamps and lighting. *Routledge*.
[5] Badan Standardisasi Nasional 2001 SNI 03-6572-2001: Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung Jakarta Badan Standardisasi Nasional.
[6] Badan Standardisasi Nasional, 2020 SNI 6197:2020: Konservasi energi pada sistem pencahayaan Jakarta Badan Standardisasi Nasional.

[7] Song Z Yu Y, Song D and Liu Y 2021 Spatial interpolation-based analysis method targeting visualization of the indoor thermal environment *Build. Environ* 188 107484.
[8] Cui X and Ahn C W 2025 Multi-objective optimization of natural lighting design in reading areas of higher education libraries. *Buildings* 15 1560.
[9] Choi H, Kim H, Yeom S, Hong T, Jeong K, and Lee J 2022 An indoor environmental quality distribution map based on spatial interpolation methods *Build. Environ* 213 108880.
[10] Glimne, S and Cecilia Österman 2019 Eye symptoms and reading abilities of computer users subjected to visually impaired direct glare *International Journal of Industrial Ergonomics* 72 173–179.
[11] Chao-W. L, Feng-Ming Yeh, Bo-Wen Wu, Chang-Hao Yang 2019 The effects of reflected glare and visual field lighting on computer vision syndrome *Scientific Report* 102 513-520.
[12] Cong T D, Nguyen T T D and Ying-Chieh Chan 2025 Daylighting assessment of window layouts and architectural elements in early design stages *Scientific Reports* 15 39507.
[13] Kaminska A 2020 Impact of building orientation on daylight availability and energy savings potential in an academic classroom. *Energies* 13 4916.
[14] ASHRAE ANSI/ASHRAE Standard 55 20253 Thermal environmental conditions for human occupancy Available at: https://www.ashrae.org/technical-resources/ (diakses 7 Januari 2026).
[15] Atmaca I and Abdulvahap Yigit 2006 Predicting the effect of relative humidity on skin temperature and skin wettedness. *Journal of Thermal Biology* 31 442–452.
[16] Jumaila S I and Maulida S 2018 Pemantauan suhu dan kelembaban di laboratorium kalibrasi tekanan dan volume berbasis web secara real time Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi 9 9.
[17] Fatimatuzzahra F, Didik L A and Bahtiar B 2020 Analisis ketidakpastian pengukuran sensor DHT22 Jurnal Fisika dan Aplikasinya 16 33.
[18] Parsons K C 2006 Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort, and Performance Taylor & Francis.