Journal of Applied Informatics and Computing (JAIC)
Vol.x, No.x, Oktober 2026, pp. xx~xx
e-ISSN: 2548-6861

Pengembangan dan Evaluasi Keandalan Data Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Laboratorium Berbasis IoT dengan Metode Prototyping Pada Perusahaan Manufaktur

Nathanael Masayuki Paiman [1]*, Ahmadi Irmansyah Lubis [2]**
* Teknologi Rekayasa Perangkat Lunak, Politeknik Negeri Batam
** Teknologi Rekayasa Perangkat Lunak, Politeknik Negeri Batam
nathanael.masayuki2@gmail.com [1], ahmadi@polibatam.ac.id [2],

Article Info

Article history:

Received …
Revised …
Accepted …

Keyword:

Internet of Things, Sistem Monitoring, Keandalan Data, Prototyping, XY-MD02.

ABSTRACT

Temperature and humidity control in manufacturing laboratories is crucial for testing accuracy, yet conventional manual logging remains prone to human error and poor traceability. This study develops an IoT-based laboratory environmental monitoring system using the Prototyping method, integrating XY-MD02 sensors via Modbus RTU serial communication (USB-to-RS485) on a local network. Functional testing via User Acceptance Testing (UAT) achieved a 100% acceptance rate across 36 role-based scenarios. A 72-hour reliability test recorded a 100% Data Completeness Rate with zero missing data (4,320 records). Furthermore, sensor validation against a HIOKI reference calibrator demonstrated that temperature and humidity measurements met company tolerances (MAE < 1°C for temperature and 2.66 % - 3.17% RH for humidity under 75% RH. The system proves optimal, reliable, and precise in supporting manufacturing laboratory digitalization.

This is an open access article under the CC–BY-SA license.

I. PENDAHULUAN

Pengendalian kondisi lingkungan seperti suhu dan kelembaban udara di laboratorium industri manufaktur memegang peranan krusial dalam menjaga akurasi kalibrasi alat, kualitas material, serta validitas hasil pengujian [1]. Fluktuasi parameter fisik yang tidak terdeteksi berpotensi merusak komponen sensitif dan memicu penyimpangan hasil ukur yang berisiko pada kualitas produk [2]. Oleh karena itu, ketersediaan sistem pemantauan (monitoring) yang andal, berkelanjutan, dan memiliki akuntabilitas data yang tinggi menjadi kebutuhan mendasar bagi manajemen laboratorium modern guna menjamin efisiensi serta keamanan operasional.

Meskipun demikian, praktik pemantauan kondisi lingkungan di laboratorium manufaktur umumnya masih mengandalkan perangkat higrometer manual dengan pencatatan berbasis kertas. Pendekatan konvensional ini memicu berbagai keterbatasan operasional, seperti tingginya risiko kesalahan manusia (*human error*) dalam pembacaan skala, ketiadaan sistem peringatan dini (*early warning system*) jika terjadi anomali parameter di luar jam kerja, serta lemahnya keterusuturan (*traceability*) data historis untuk kebutuhan audit. Untuk mengatasi kendala tersebut, digitalisasi pemantauan berbasis *Internet of Things (IoT*) pada jaringan lokal tertutup menggunakan komunikasi serial Modbus RTU melalui jalur RS485 menjadi solusi efektif untuk menjamin transmisi data yang stabil dan bebas dari interferensi gelombang nirkabel [3].

Guna memastikan sistem yang dibangun selaras dengan alur kerja operasional laboratorium yang spesifik, pengembangan perangkat lunak menerapkan metode *Prototyping* [4]. Metode ini memfasilitasi siklus iterasi yang intensif antara pengembang dan pemangku kepentingan hingga diperoleh rancangan antarmuka serta fungsi yang presisi. Kendati beberapa penelitian terdahulu telah mengimplementasikan sistem monitoring berbasis IoT, sebagian besar kajian masih terbatas pada pengujian fungsi dasar tanpa mengevaluasi ketahanan arsitektur perangkat lunak dalam jangka panjang [2] atau hanya berfokus pada penilaian kualitatif kuesioner tanpa pembuktian log basis data empiris [5].

Untuk mengisi celah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi

e-ISSN: 2548-6861

sistem monitoring suhu dan kelembaban laboratorium terpusat berbasis web yang terintegrasi dengan sensor industri XY-MD02. Evaluasi sistem dilakukan secara komprehensif di bawah kerangka kerja *Software Quality Assurance (SQA)*, yang mencakup:

1. Kelayakan fungsional melalui *User Acceptance Testing (UAT)* berbasis *Black-box Testing* untuk menguji mekanisme *Role-Based Access Control* (*RBAC*);
2. Keandalan non-fungsional (*Software Reliability*) dengan mengukur persentase *Data Completeness Rate (DCR)* dan *Missing Data Count* dari log basis data server selama 72 jam beroperasi secara kontinu [6]; serta
3. Validasi presisi data input menggunakan metrik statistik *Mean Absolute Error (MAE)* dan *Root Mean Square Error (RMSE)* terhadap instrumen master terkalibrasi *HIOKI* pada rentang operasional laboratorium [7], [8].

Kontribusi utama dari penelitian ini adalah menyajikan kerangka evaluasi terpadu yang mengintegrasikan pengujian kualitas fungsional perangkat lunak, analisis reliabilitas ketersediaan data database, serta validasi ketepatan pengukuran sensor dalam satu kesatuan sistem pemantauan laboratorium industri.

II. METODE

Cara termudah untuk mengikuti aturan format halaman JAIC adalah menggunakan format dalam dokumen ini. Simpanlah file ini dengan nama lainnya, lalu ketikkan isi makalah anda ke dalamnya.

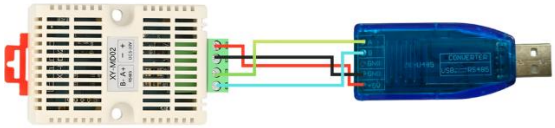
A. Alur dan Kerangka Penelitian

Penelitian ini berfokus pada pengembangan dan evaluasi keandalan sistem monitoring suhu dan kelembaban laboratorium berbasis *Internet of Things (IoT)* di lingkungan industri manufaktur. Sebagai landasan kebaruan (*novelty*), sistem ini dirancang untuk mengatasi kelemahan metode konvensional berbasis pencatatan kertas yang rentan terhadap human error dan lemahnya *traceability* [2], [3]. Kerangka kerja pengembangan perangkat lunak mengadopsi model *Prototyping* yang terdiri atas tahapan *communication*, *quick design*, *modeling*, *construction of prototype*, *deployment*, *delivery*, dan *feedback*, hingga implementasi akhir [4]. Pendekatan iteratif ini memastikan bahwa antarmuka dan fungsionalitas sistem selaras dengan kebutuhan operasional pengguna (*end-user).*

B. Perancangan Sistem dan Arsitektur Perangkat Keras

Sistem monitoring dirancang menggunakan topologi jaringan lokal tertutup (*closed-loop Local Area Network*) guna menjamin keamanan data industri tanpa paparan internet publik [1]. Arsitektur sistem terdiri dari:

- Perangkat Akuisisi Data: Menggunakan sensor industri XY-MD02 untuk mengukur parameter suhu dan kelembaban udara dengan tingkat stabilitas tinggi terhadap derau kelistrikan (noise) [3].
- Jalur Komunikasi: Transmisi data menggunakan protokol *Modbus RTU* melalui kabel diferensial *serial RS-485* yang dihubungkan ke unit pemroses menggunakan konverter *USB-to-RS485*, guna mengeliminasi latensi nirkabel.
- Server dan Basis Data: Data sensor diproses melalui lingkungan *Node.js* dan disimpan secara terpusat pada *Microsoft SQL Server* untuk mendukung visualisasi real-time dan analitik riwayat data.



Gambar 1.Gambar diatas merupakan koneksi antara sensor XY-MD02 kepada USB to RS485 *converter* yang memang dilakukan pada penelitian kali ini untuk proses komunikasi-nya.

C. Perancangan Sistem dan Arsitektur Perangkat Keras

Evaluasi kualitas sistem dilakukan secara komprehensif di bawah kerangka *Software Quality Assurance (SQA)* [5], yang mencakup tiga dimensi utama:

- Analisis Kelayakan Fungsional *(UAT & Black-box)*

Menggunakan sensor industri XY-MD02 untuk mengukur parameter suhu dan kelembaban udara dengan tingkat stabilitas tinggi terhadap derau kelistrikan (*noise*) [3].

- Analisis Keandalan Perangkat Lunak *(Reliability Testing)*

Keandalan sistem diukur dengan memantau stabilitas penerimaan dan penyimpanan data secara kontinu selama 72 jam penuh. Dengan interval pengiriman data 1 menit, ekspektasi total data yang terekam adalah 4.320 baris data. Ketersediaan data dihitung menggunakan *Data Completeness Rate (DCR)* untuk memastikan tidak adanya kehilangan data *(zero data loss)* [6]:

$$\mathrm{DCR} = \frac{N_{\mathrm{actual}}}{N_{\mathrm{expected}}} \times 100\%$$

- Validasi Akurasi Sensor (MAE dan RMSE)

Untuk menjamin kredibilitas data masukan sistem, dilakukan perbandingan simultan (*paired measurement analysis*) antara hasil pembacaan sensor XY-MD02 dengan instrumen master terkalibrasi HIOKI LR4850 di dalam *Temperature and Humidity Chamber ARL-0680* [7]. Tingkat galat dihitung menggunakan metrik *Mean Absolute Error (MAE)* dan *Root Mean Square Error (RMSE)* [8]:

$$\mathrm{MAE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|x_i - y_i|$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - y_i)^2}$$

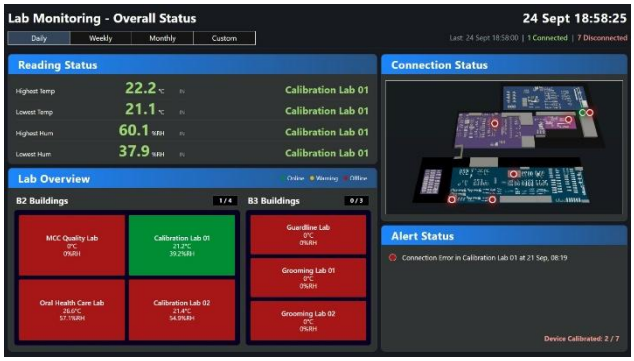
di mana x_i adalah nilai sensor uji, y_i adalah nilai instrumen referensi, dan n adalah jumlah sampel data. Evaluasi akhir disesuaikan dengan batas toleransi operasional perusahaan, yakni ±1°C untuk suhu dan ±5% RH untuk kelembapan pada batas maksimal 75% RH.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

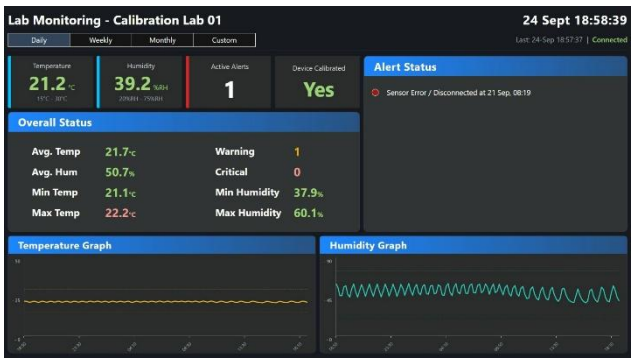
Semua baris pertama pada permulaan paragraf harus diformat menjorok ke dalam, dengan format rata kiri dan kanan (*justified*).

A. Hasil Implementasi Sistem

Implementasi sistem merupakan perwujudan fisik dari perancangan pemantauan lingkungan laboratorium secara terpusat. Pada aspek perangkat lunak, sistem dikembangkan menggunakan kerangka kerja Laravel dan Node.js dengan basis data *Microsoft SQL Server*, yang menerapkan pembatasan hak akses berbasis peran *(Role-Based Access Control / RBAC)* untuk membedakan antarmuka antara Administrator, Supervisor, dan halaman publik.



Gambar 2.Gambar diatas merupakan halaman *Overall Monitoring Dashboard* yang bertujuan untuk memberikan keseluruhan status terhadap proses suhu dan kelembapan yang ada pada lab di Perusahaan Manufaktur.



Gambar 2. Gambar diatas merupakan halaman Specific Lab yang menampilkan *detail* informasi dari lab yang dipilih.



Gambar 3. Gambar diatas merupakan halaman *Graph Lab* yang halaman dimana pengguna bisa melakukan *export csv* dan *export form-control* dengan memilih rentang tanggal berdasarkan fitur *filtering* di-atas.



Gambar 4. Implementasi Perangkat Keras

Pada aspek perangkat keras, unit pemrosesan diintegrasikan dengan sensor industri XY-MD02 yang dihubungkan melalui kabel diferensial serial RS-485 dan modul konverter USB-to-RS485. Seluruh perangkat keras bersama layar monitor panel dipasang rapi di dalam kotak pelindung (*enclosure*) berstandar industri guna memastikan instalasi kokoh dan tahan terhadap interferensi elektromagnetik di lingkungan manufaktur.

B. Hasil Analisis dan Pengujian Sistem

Pengujian keandalan dilakukan dengan mengoperasikan sistem secara kontinu selama 72 jam (3 hari) dari tanggal 7 hingga 10 September 2026. Dengan interval pengiriman data setiap 60 detik, ekspektasi jumlah data yang masuk ke basis data adalah sebanyak 4.320 baris data. Berdasarkan ekstraksi log basis data, diperoleh hasil sebagai berikut:

e-ISSN: 2548-6861

- ***Data Completeness Rate (DCR)*:** Mencapai **100%,** di mana seluruh 4320 baris data berhasil dikirim dan disimpan secara utuh.
- ***Missing Data Count*:** Bernilai 0, yang menunjukkan tidak adanya kehilangan data *(zero data loss) selama pengujian.*
- ***Interval Timestamp*:** Rata-rata interval pencatatan adalah 60,00 detik dengan interval minimum 59,57 detik dan maksimum 60,04 detik, tanpa adanya jeda waktu (longest data gap) yang abnormal.

Hal ini mengonfirmasi bahwa subsistem komunikasi serial dan basis data local memiliki tingkat stabilitas dan keandalan yang tinggi untuk operasional jangka Panjang.

C. Validasi Akurasi Sensor *(MAE dan RMSE)*

Pengujian akurasi perangkat keras dilakukan di dalam Temperature and Humidity Chamber ARL-0680 dengan membandingkan tiga unit sensor XY-MD02 terhadap instrumen master terkalibrasi HIOKI LR4850.

Berdasarkan pengujian eksploratif awal pada rentang ekstrem hingga 80% RH, ditemukan bahwa sensor mulai mengalami saturasi di atas 80% RH. Mengacu pada Standar Operasional Prosedur (SOP) perusahaan yang menetapkan batas operasional maksimal kelembapan sebesar 75% RH dan suhu 15℃ hingga 25℃, pengujian validasi akhir disesuaikan pada rentang tersebut. Evaluasi metrik *Mean Absolute Error (MAE)* dan *Root Mean Square Error (RMSE)* menunjukkan hasil:

- **Kinerja Suhu:** Sensor 1 dan Sensor 3 memenuhi batas toleransi perusahaan ± 1℃ dengan nilai MAE masing-masing 0,94 ℃ dan 0,84 ℃. Sensor 2 memiliki MAE 1,57 ℃ di luar batas toleransi, namun nilai RMSE yang hampir identik 1,58 ℃ membuktikan bahwa deviasi bersifat linear (kesalahan sistematis konstan) sehingga dapat dikompensasi melalui penyesuaian *offset* perangkat lunak.
- **Kinerja Kelembapan:** Pada rentang operasional maksimal 75% RH, seluruh unit sensor memenuhi batas toleransi perusahaan ± 5% RH. Sensor 1 dan Sensor 2 mencatatkan kelolosan penuh pada seluruh titik uji dengan nilai MAE berturut-turut 2,89% RH dan 2,66% RH, sedangkan Sensor 3 mencatatkan MAE 3,17% RH.

Secara keseluruhan, sistem monitoring berbasis IoT ini terbukti andal, presisi, dan siap mendigitalisasi proses pengawasan lingkungan di lingkungan manufaktur.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan, implementasi, dan pengujian sistem monitoring lingkungan laboratorium yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

- Sistem pemantauan suhu dan kelembaban berbasis IoT telah berhasil dikembangkan menggunakan metode Prototyping pada jaringan lokal tertutup, menghubungkan sensor XY-MD02 melalui jalur komunikasi serial Modbus RTU untuk menyajikan pemantauan real-time dan riwayat data secara terpusat.
- Pengujian fungsional melalui User Acceptance Testing (UAT) dan Black-box Testing kepada 5 pengguna operasional memperoleh tingkat penerimaan sebesar 100%, yang membuktikan bahwa seluruh fitur sistem telah berjalan sesuai batasan peran wewenang masing-masing.
- Pengujian keandalan perangkat lunak (Reliability Testing) selama 72 jam operasional kontinu mencatatkan tingkat kelengkapan data (Data Completeness Rate) sebesar 100% dengan total 4.320 baris data tersimpan di basis data tanpa ada paket yang hilang (Missing Data Count = 0).
- Validasi akurasi sensor terhadap instrumen referensi HIOKI menunjukkan bahwa sensor XY-MD02 memiliki tingkat presisi yang baik pada rentang operasional di bawah 75% RH, di mana mayoritas sensor memenuhi batas toleransi perusahaan ± 1℃ untuk suhu dan ± 5% RH untuk kelembaban.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada manajemen dan staf Departemen Lab Perusahaan Manufaktur serta Politeknik Negeri Batam atas izin penelitian, fasilitas, serta dukungan penuh yang diberikan selama penyusunan riset ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] D. Harianto, H. S. Bintang, A. Ardiyanto, and V. L. D. Widyawan, "Development and Evaluation of an ESP32-based Temperature and Humidity Control Unit for Textile Storage," *Int. J. Eng. Contin.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–19, Nov. 2024, doi: 10.58291/ijec.v4i1.309.

[2] A. R. Apriani, T. T. Margani, and Muldarisnur, "Penerapan Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Ruangan Berbasis IoT Untuk Optimalisasi Pengujian Di Laboratorium Riset UPT Laboratorium Sentral Universitas Andalas," vol. 15, no. 1, pp. 41–48, 2026.

[3] R. R. Ribeiro, E. Bauer, and R. Lameiras, "HIGROTERM: An Open-Source and Low-Cost Temperature and Humidity Monitoring System for Laboratory Applications," 2021.

[4] S. R. Musva, "Design and Development of a Web-Based Project Monitoring System Using the Prototype Method," vol. 3, no. 2, pp. 1–10, 2025.

[5] M. S. Lamada, A. Sa, and R. Amalia, "Pengujian Aplikasi Sistem Monitoring Perkuliahan Menggunakan Standar ISO 25010," vol. 3, no. 3, 2020.

[6] J. Tian, S. Rudraraju, Z. Li, S. Member, and I. C. Society, "on Workload and Failure Data Extracted from Server Logs," vol. 30, no. 11, pp. 754–769, 2004.

[7] J. A. Abdinoor, Z. K. Hashim, B. Horváth, and S. Zseb, "Performance of Low-Cost Air Temperature Sensors and Applied Calibration Techniques — A Systematic Review," pp. 1–30, 2025.

[8] T. O. Hodson, "Root-mean-square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): when to use them or not," no. 2, pp. 5481–5487, 2022.