

SISTEM MONITORING KUALITAS UDARA RUANGAN DENGAN PROTOKOL MQTT BERBASIS INTERNET OF THINGS

Hairunisa Br Surbakti¹, Jafaruddin Gusti Amri Ginting^{*2}, Shinta Romadhona², Melinda Br Ginting⁴,
Khoirun Ni'amah⁵

^{1,2,3,4,5} Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi, Institut Teknologi Telkom Purwokerto

*e-mail: jafaruddin@ittelkom-pwt.ac.id

Abstrak

Kualitas udara di dalam ruangan merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi kesehatan dan kenyamanan manusia. Paparan terhadap polutan udara dalam ruangan dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, seperti alergi, asma, penyakit pernapasan, dan bahkan kanker. Sistem pemantauan kualitas udara dapat dipantau dengan menggunakan sensor DHT22 dan mikrokontroler ESP32. Sensor DHT22 dipilih karena keakuratannya dalam mendeteksi suhu dan kelembapan. Mikrokontroler ESP32 memungkinkan sistem untuk terhubung dengan jaringan WiFi, mendukung komunikasi dan pengolahan data secara akurat. Monitoring bertujuan untuk menciptakan alat yang dapat menjaga stabilitas suhu dan kelembapan secara otomatis, mendukung kenyamanan dan kesehatan penghuni ruangan. Protokol MQTT berbasis *Internet of Things* (IoT) diimplementasikan dalam sistem ini untuk mengintegrasikan komponen-komponen tersebut. Metode yang digunakan mencakup perancangan dan pengujian sistem, pemantauan menggunakan DHT22 dan ESP32 yang terhubung melalui MQTT. Hasil monitoring menunjukkan bahwa implementasi protokol MQTT memberikan kontribusi positif terhadap pengembangan teknologi monitoring kualitas udara dalam ruangan. Sistem ini membuktikan kemampuannya untuk memantau dan menjaga kondisi udara secara efektif dan efisien.

Kata kunci: DHT22; ESP32; *Internet of Things*; Kelembapan; Suhu.

1. PENDAHULUAN

Penelitian mengenai kualitas udara dalam ruang dan dampaknya terhadap kesehatan telah menjadi fokus utama dalam berbagai studi. Dewi, Raharjo, dan Wahyuningsih melakukan *literature review* yang menunjukkan adanya hubungan signifikan antara kualitas udara dalam ruang dan gangguan kesehatan pada pekerja, yang menyoroti pentingnya pemantauan dan pengelolaan kualitas udara untuk kesehatan kerja [1]. Arjani, juga meneliti kualitas udara dalam ruang kerja dan menemukan bahwa faktor-faktor seperti ventilasi yang buruk dan polusi dalam ruang dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan pada pekerja [2]. Winardi, lebih lanjut mengkaji pengaruh suhu dan kelembapan terhadap konsentrasi Pb di udara kota Pontianak, menekankan pentingnya faktor lingkungan dalam menentukan kualitas udara [3]. Dalam perkembangan teknologi terkini, Satryawan dan Susanti (2023) merancang alat pendeteksi kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT), yang memungkinkan pemantauan kualitas udara secara real-time dan memberikan data yang akurat untuk analisis lebih lanjut [4]. Akbar, Arif, dan Irhamsyah (2023) melakukan analisis performansi protokol MQTT pada sistem pemantauan kualitas udara ruangan berbasis IoT, menunjukkan bahwa teknologi ini tidak hanya efektif dalam memantau kualitas udara tetapi juga efisien dalam hal transmisi data [5].

Kualitas udara di dalam ruangan merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi kesehatan dan kenyamanan manusia. Paparan terhadap polutan udara dalam ruangan dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, seperti alergi, asma, penyakit pernapasan, dan bahkan kanker. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kualitas udara dalam ruangan antara lain ventilasi yang tidak memadai, asap rokok, bahan bangunan yang mengandung bahan kimia berbahaya, dan aktivitas manusia. Egratek, sebagai penyedia layanan ruangan, menghadapi tantangan dalam pemantauan dan pengelolaan kualitas udara yang konsisten dan efektif. Masalah yang mendasari pemilihan topik ini adalah kurangnya sistem yang dapat memberikan pemantauan yang akurat dan responsif terhadap perubahan kondisi udara didalam ruangan, seperti fluktuasi suhu, kelembapan, tekanan, dan kadar gas yang mungkin mengganggu kesehatan dan kenyamanan.

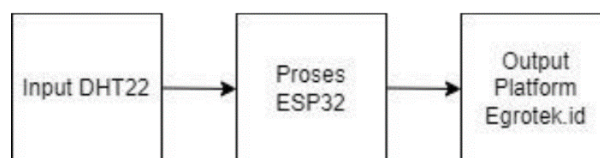
Udara merupakan komponen penting dalam kehidupan, kualitas udara berubah karena pembangunan kota dan pusat industri. Terutama beberapa aktivitas manusia yang tidak banyak disadari yang dapat menurunkan kualitas udara didalam ruangan juga menjadi salah satu permasalahan. Dengan demikian

dibuatlah alat untuk mendeteksi kualitas udara dengan menggunakan WEMOS ESP32 D1 R32, sensor MQ-135 sebagai pendeteksi gas CO₂, sensor MQ-7 sebagai pendeteksi gas CO, sensor DHT22 sebagai pengukur suhu dan kelembapan, buzzer dan lampu LED digunakan untuk menandakan polusi udara. Disini ditambahkan juga sebuah monitoring yang bisa diakses melalui *smartphone* menggunakan aplikasi Blynk untuk memudahkan Pemantauan kualitas udara yang terdeteksi oleh alat misalnya, untuk memastikan apakah kadar udara berada pada tingkat yang normal, Sehingga dapat mengatasi polusi udara dan dapat memantau secara terus menerus. Hasil akhir dari alat yang dibuat adalah akan mendeteksi polusi udara seperti gas karbon dioksida dan gas karbon dioksida, serta mengetahui suhu dan kelembapan sekitar, yang akan membantu mengukur kualitas udara dengan memantau terus menerus. Salah satu perangkat yang relevan dalam pemantauan kualitas udara adalah sensor DHT22. Sensor ini mampu mengukur suhu, kelembapan, dan dapat memberikan informasi yang berguna dalam mengidentifikasi perubahan kondisi lingkungan ruangan secara langsung. Namun, penggunaan sensor saja tidak cukup efektif tanpa adanya sistem pemantauan yang terintegrasi dan responsif untuk mengelola data yang dihasilkan oleh sensor tersebut. Oleh karena itu, sistem pemantauan kualitas udara ruangan berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan protokol *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) menawarkan solusi yang efektif dan efisien untuk mengatasi permasalahan ini, dimana data sensor akan dikirimkan ke *server cloud* melalui protokol MQTT dan ditampilkan secara *real-time* pada *web* Egrotek.id. Pengembangan sistem akan mencakup desain dan pembuatan perangkat keras sistem, pengembangan perangkat lunak sistem dan pengujian dan evaluasi sistem.

Dengan demikian, penting untuk melakukan upaya-upaya untuk mengurangi emisi *polutan* seperti meningkatkan kualitas udara dan air, serta meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya menjaga lingkungan. Untuk mengembangkan sistem monitoring pemantauan kualitas udara di ruangan dengan protokol (*Queuing Telemetry Transport*) MQTT berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan sensor DHT22 diharapkan dapat menciptakan sebuah sistem yang mampu memberikan informasi yang akurat mengenai kondisi udara di dalam ruangan, serta memberikan respons yang cepat terhadap perubahan yang terdeteksi, sehingga dapat menjaga kualitas udara yang optimal dan mendukung kesehatan serta kenyamanan penghuni ruangan.

2. METODE

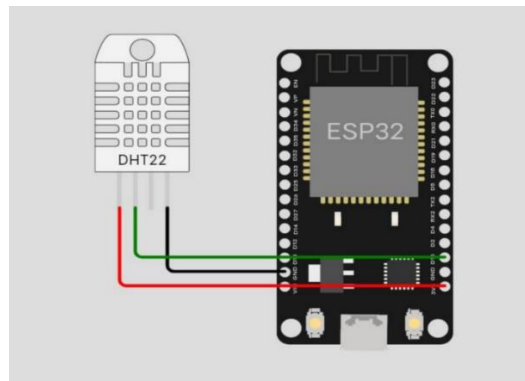
Metode yang digunakan adalah metode R&D, metode R&D (*Research and Development*) adalah proses yang sistematis dan terstruktur yang digunakan untuk mengembangkan dan meningkatkan solusi atau sistem IoT baru. Metode ini melibatkan beberapa tahap, mulai dari penelitian dasar hingga pengembangan sistem yang dapat diimplementasikan. Dalam penelitian ini, dibuat alat yang mampu memantau suhu dan kelembapan ruangan secara otomatis dan *real-time* menggunakan sensor DHT22 dan mikrokontroler ESP32 berbasis IoT pada platform Egrotek. Rancangan sistem untuk monitoring suhu dan kelembapan ruangan secara umum tampak seperti Gambar 1.



Gambar 1. Rancangan secara umum sistem monitoring suhu dan kelembapan

Sensor DHT22 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan, ESP32 sebagai mikrokontroler dan modul komunikasi WiFi, serta platform Egrotek ID untuk penyimpanan dan analisis data. Sensor DHT22 terhubung dengan ESP32, yang akan mengirimkan data ke platform Egrotek ID menggunakan protokol MQTT melalui koneksi WiFi.

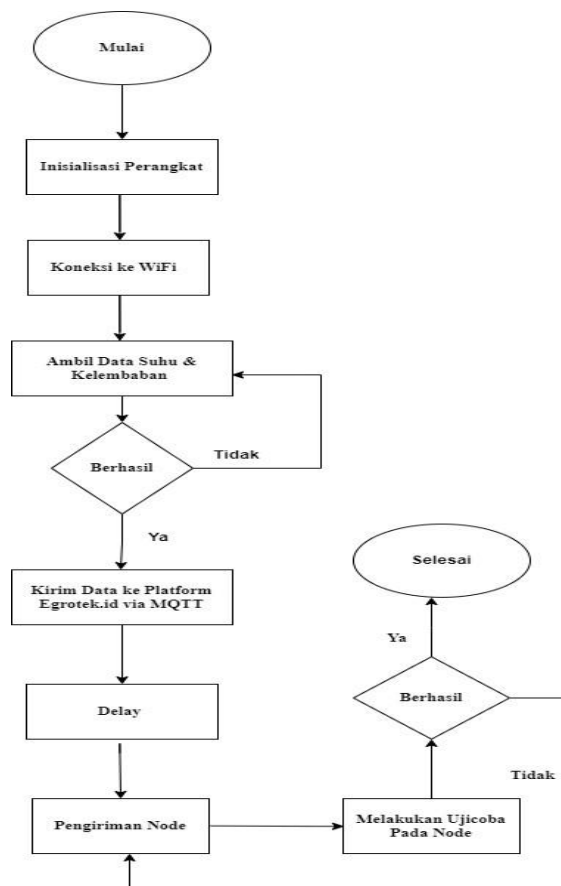
Perancangan alat monitoring suhu dan kelembapan menggunakan sensor DHT22 dengan mikrokontroler ESP32 sebagai berikut, langkah pertama adalah mempersiapkan semua komponen yang dibutuhkan, termasuk sensor DHT22, ESP32, resistor 4.7kΩ, dan kabel jumper. Sensor DHT22 memerlukan sumber daya yang tepat agar dapat berfungsi dengan baik, sehingga langkah awal adalah menyambungkan pin VCC pada sensor ke pin 3V3 pada ESP32. Ini memberikan tegangan 3.3V yang diperlukan oleh sensor. Selanjutnya, sambungkan pin GND pada DHT22 ke pin GND pada ESP32 untuk memastikan bahwa keduanya memiliki referensi ground yang sama, yang penting untuk akurasi data.



Gambar 2. Skematik perancangan alat

Kemudian, pin DATA pada DHT22, yang bertanggung jawab untuk mengirimkan data suhu dan kelembapan, harus dihubungkan ke salah satu pin GPIO pada ESP32. Untuk memastikan sinyal DATA tetap stabil, dipasang resistor *pull-up* 4.7k Ω antara pin DATA dan pin VCC pada DHT22. Resistor ini menjaga sinyal DATA pada level tinggi ketika tidak ada sinyal aktif yang dikirimkan oleh sensor, yang membantu mencegah gangguan sinyal [11].

Pengujian sistem monitoring suhu dan kelembapan yang telah dirancang dilakukan pada ruangan berukuran 5x4 meter (20 m²) melibatkan pengujian perangkat lunak dan perangkat keras. Tahapan pengujian sistem monitoring dalam penelitian ini dapat digambarkan dalam *flowchart* seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. *Flowchart* Pengujian Sistem Monitoring Kualitas Udara

Gambar 3 menunjukkan tahapan perancangan sistem monitoring dimulai dengan inisialisasi perangkat yaitu mencakup mengaktifkan sensor, mengatur konfigurasi awal, dan memastikan bahwa semua komponen berfungsi dengan baik sebelum melanjutkan ke langkah berikutnya. Tahapan selanjutnya, perangkat akan mencoba untuk terhubung ke jaringan WiFi, mencakup pencarian jaringan yang tersedia, dan memastikan koneksi stabil sehingga perangkat dapat berkomunikasi dengan platform Egrotek.id. Kemudian, dilakukan

pengambilan data suhu & kelembapan. Data ini dikumpulkan untuk dianalisis dan dikirim ke platform. pengambilan data berhasil perangkat berhasil mengambil data dari sensor, maka data tersebut akan dikirimkan ke platform Egrotek.id via *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT).

Selanjutnya dari sisi perangkat melakukan penundaan selama 60 detik. untuk memastikan tidak ada pengiriman data yang berlebihan atau untuk menjaga interval pengiriman data. Pengiriman *Node*: Setelah penundaan, perangkat mengirimkan status atau data dari *node* untuk memastikan bahwa data sebelumnya telah berhasil dikirim dan diterima oleh platform. Melakukan Uji Coba pada *Node*: Jika pengiriman *node* tidak berhasil, maka perangkat melanjutkan ke langkah melakukan uji coba pada *node*. Setelah uji coba selesai, perangkat kembali ke langkah pengiriman *node* untuk mencoba pengiriman ulang. Jika Pengiriman *Node* berhasil maka proses selesai dan perangkat masuk ke tahap selesai. Setelah tahap identifikasi kebutuhan dan desain alat selesai, langkah selanjutnya adalah proses validasi website *monitoring*. Langkah pertama adalah *login* ke platform Egrotek ID menggunakan akun email dan *password* yang sudah terdaftar sebelumnya, serta memastikan tampilan yang responsif dan *user-friendly*. Selanjutnya, Konfigurasi Sensor dan Mikrokontroler menggunakan Arduino ide untuk mengatur program pada mikrokontroler. Pastikan sensor suhu terhubung dengan mikrokontroler dan program dapat membaca nilai suhu dan kelembapan, kemudian pastikan mikrokontroler terhubung ke jaringan WiFi atau koneksi internet yang stabil untuk mengirim data suhu secara berkala ke platform Egrotek ID dengan menggunakan protokol komunikasi MQTT untuk mentransmisikan data.

3. HASIL PENELITIAN

Hasil perancangan sistem monitoring suhu dan kelembapan dibagi menjadi dua bagian, yaitu hasil dari pengujian *software* dan pengujian *hardware*. Pengujian *software* mencakup uji fungsionalitas untuk memastikan fitur website berfungsi sesuai spesifikasi, uji kinerja untuk menilai responsivitas dan kecepatan website, serta uji keamanan untuk melindungi data pengguna. Pengujian *hardware* melibatkan penggunaan sensor DHT22 dan anemometer *kestrel*. Sensor DHT 22 memiliki akurasi rentang suhu 40 °C hingga 80 °C, dan rentang kelembapan 0% hingga 100%.

A. Hasil Pengujian *Software*

Pengujian *software* untuk menguji fungsionalitas dan kesesuaian sistem monitoring dengan kebutuhan pengguna. Pengujian ini akan mencakup pengujian antarmuka pengguna (*user interface*) untuk memastikan tampilan dan navigasi *website* responsif dan mudah digunakan. Sistem juga diuji untuk memastikan website dapat menerima dan menampilkan data suhu dan kelembapan yang akurat.



Gambar 4. Tampilan *user interface* website monitoring suhu dan kelembapan.

Selain itu juga akan diuji kemampuan website dalam menerima dan menyimpan data suhu dan kelembapan secara berkala ke dalam database dengan akurat. Hasil dari pengujian *software* akan ditampilkan dalam Tabel 1.

B. Pengujian *Hardware*

Pengujian *hardware* melibatkan simulasi data yang relevan di dalam ruangan, untuk menguji akurasi dan kehandalan sensor DHT11 dan *kestrel* 3000. Pengujian ini mengevaluasi kemampuan sensor untuk

mendeteksi suhu dan kelembapan dengan akurat dan mengirimkan data ke Node MCU ESP32 secara konsisten. Hasil dari pengujian hardware ditampilkan dalam Tabel 2.

Tabel 1. Pengujian website monitoring suhu dan kelembapan.

No	Fitur yang Diuji	Hasil Pengujian	Kesimpulan
1	Responsif, Navigasi baik	Responsif, navigasi baik	Antarmuka pengguna mudah digunakan dan responsif
2	Penerimaan data	Sukses	Website berhasil menerima dan menyimpan data
3	Keakuratan data	Sesuai dengan data asli	Data suhu dan kelembapan sesuai dengan data simulasi
4	Keandalan website	Stabil	Website berjalan dengan stabil dan tanpa kendala

Tabel 2. Pengujian hardware

No	Hardware yang diuji	Hasil pengujian	Kesimpulan
1	Sensor DHT22	Akurat mengirimkan data dengan baik	Sensor DHT22 mendeteksi suhu dan kelembapan dengan akurat, dan mengirimkan data ke Node MCU ESP32 dengan baik
2	ESP32	Mendukung berbagai jenis sensor dan memiliki fitur Wi-Fi dan Bluetooth	ESP32 dapat mendeteksi berbagai jenis sensor dengan akurat, dan mengirimkan data ke platform. ESP32 juga memiliki fitur Wi-Fi dan Bluetooth yang dapat terhubung ke perangkat lain dengan mudah.
3	<i>Kestrel</i> 3000	Menunjukkan pengukuran yang akurat dan konsisten	Untuk membandingkan hasil pengukuran suhu dan kelembapan. Alat ini menunjukkan pengukuran yang akurat dan konsisten, sehingga dapat diandalkan sebagai referensi dalam penelitian lingkungan

Pengujian perangkat keras tidak hanya dilakukan dengan mengumpulkan data dari sensor *hardware* yang dipasang di ruangan, tetapi juga menggunakan perbandingan data dari alat pembanding *kestrel* 3000 yang beroperasi di kondisi yang sama. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk membandingkan data yang dihasilkan oleh kedua jenis sensor tersebut dan mengevaluasi seberapa akurat perangkat keras dalam memantau suhu dan kelembapan.

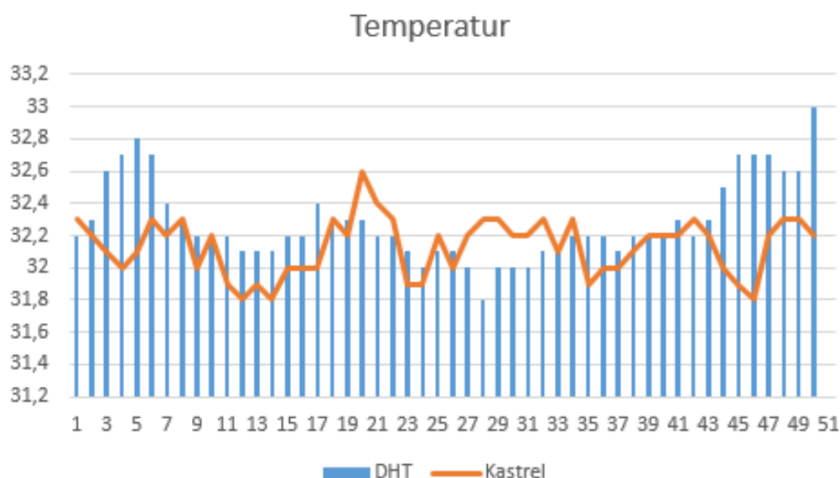
4. DISKUSI

Data pembacaan yang dihasilkan sensor suhu dan kelembapan DHT22 merupakan data digital. Data suhu dan kelembapan di dalam ruangan ditampilkan dalam bentuk grafik pada website berdasarkan data yang dibaca platform Egrotek dan telah disimpan pada *database*. Gambar 5 menunjukkan hasil baca data suhu dan kelembapan pada website secara *real-time* melalui grafik. Mengukur suhu dan kelembapan menggunakan perbandingan yaitu sensor DHT22 dan alat ukur *kestrel*. Grafik ini memberikan gambaran visual tentang sejauh mana perangkat keras konsisten dalam memantau suhu. Tampilan grafik tersebut di desain untuk memudahkan pengguna saat mengakses sistem minotoring suhu dan kelembapan melalui platform Egrotek ID.



Gambar 5. Temperatur ruang

Berdasarkan grafik yang terdapat pada website sistem monitoring, suhu ruang terpantau berkisar antara 32°C dengan variasi yang sama, $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Data ini menegaskan pentingnya pemilihan sistem pendingin sesuai dengan kebutuhan spesifik ruangan, di mana pemantauan berkelanjutan dapat memberikan data yang bermanfaat untuk pengelolaan lingkungan yang lebih baik dan efisiensi energi yang optimal. Anemometer *Kestrel* 3000 digunakan sebagai referensi suhu pembandingan terhadap sensor DHT22, hasil perbandingan anemometer *Kestrel* 3000 dan sensor DHT dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Perbandingan temperatur dari sensor DHT22 dan *Kestrel* 3000

Berdasarkan grafik hasil pengukuran suhu menggunakan sensor DHT22 dan alat ukur pembandingan *kestrel* diruangan, dapat dianalisis bahwa kedua grafik menunjukkan pola fluktuasi suhu yang cukup sama meskipun terdapat sedikit perbedaan nilai pada beberapa titik pengukuran. Grafik sensor DHT22 dan alat ukur pembandingan (garis *orange*) memiliki puncak tertinggi sekitar pembacaan ke-50, yang menunjukkan suhu tertinggi yang terukur selama periode pengamatan yaitu 32.7°C. Terdapat beberapa titik di mana pembacaan suhu dari kedua alat ukur cukup berbeda, yang mungkin disebabkan oleh faktor-faktor seperti lokasi penempatan sensor, kondisi lingkungan sekitar, atau akurasi masing-masing alat ukur. Namun secara keseluruhan, grafik menunjukkan bahwa sensor DHT22 memberikan hasil pengukuran suhu yang cukup akurat dan konsisten dengan alat ukur pembandingan *Kestrel*. Alasan utama mengapa sensor DHT22 dianggap cukup akurat dan konsisten adalah karena secara umum tren dan pola pengukuran suhunya selaras dengan alat ukur pembandingan *Kestrel* yang diasumsikan sebagai pembandingan standar atau acuan. Jika terdapat perbedaan yang signifikan atau pola yang sangat berbeda antara kedua alat ukur, maka bisa diragukan keakuratan sensor DHT22. Namun dalam kasus ini, kemiripan pola dan tren yang tinggi mengindikasikan

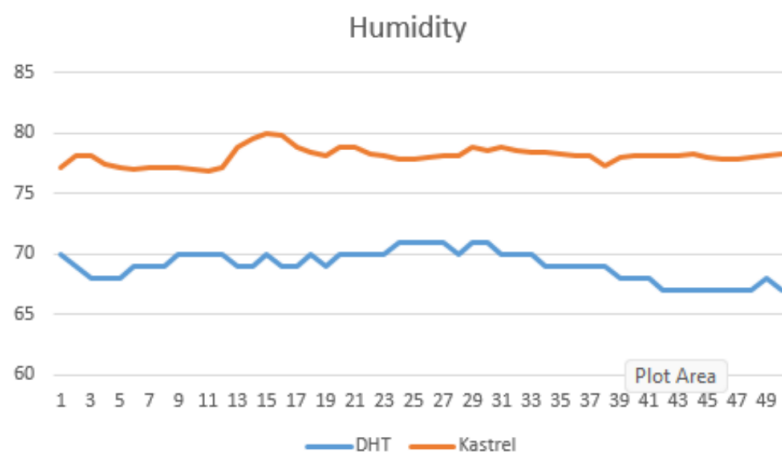
bahwa sensor DHT22 bekerja dengan cukup baik dan akurat dalam mengukur suhu dibandingkan dengan alat ukur standar.

Selain suhu ruangan, sensor DHT22 juga digunakan untuk memantau kelembapan ruangan. Pada Gambar 7 adalah hasil monitoring kelembapan ruang yang berhasil diperoleh oleh sensor DHT22 yang ditampilkan pada website monitoring.



Gambar 7. Kelembapan ruang

Berdasarkan grafik, kelembapan di ruangan tercatat pada rata rata 69%. Kelembapan normal untuk kenyamanan manusia umumnya berada pada kisaran 30-50%. Kelembapan yang lebih tinggi dari rentang ini, dapat menyebabkan ketidaknyamanan serta potensi pertumbuhan jamur dan bakteri. Kelembapan 69% di ruangan menunjukkan kondisi yang lebih lembap. Ini diakibatkan oleh ventilasi yang tidak dapat mengurangi kelembapan udara secara efektif seperti sistem pendingin udara. Tingkat kelembapan yang tinggi dapat memperparah rasa panas dan menyebabkan ketidaknyamanan lebih lanjut. Analisis ini mengindikasikan bahwa ruangan memerlukan penanganan tambahan untuk menurunkan kelembapan ke tingkat yang lebih nyaman dan sehat dan memperbaiki ventilasi pada ruangan dapat membantu mencapai kelembapan yang lebih optimal.



Gambar 8. Perbandingan kelembapan DHT22 dan *Kestrel* 3000

Dari data kelembapan antara sensor DHT22 dan *Kestrel* pada Gambar 8 menunjukkan variasi yang signifikan dalam pengukuran kelembapan. Dalam 50 pengukuran yang dilakukan, terlihat bahwa sensor *Kestrel* cenderung memberikan nilai kelembapan yang lebih tinggi daripada sensor DHT22. Perbedaan ini tercermin dalam selisih persentase kelembapan antara kedua sensor, yang berkisar antara 6.9% hingga 11.3%. Selain itu, *error* relatifnya juga menunjukkan variasi yang cukup besar, mulai dari 8.90% hingga 14.46%. Namun, penting untuk dicatat bahwa perbedaan ini tidak selalu mengindikasikan keakuratan atau ketidakakuratan sensor. Berbagai faktor dapat memengaruhi hasil pengukuran, seperti sensitivitas terhadap

suhu atau kelembapan relatif. Oleh karena itu, untuk aplikasi yang membutuhkan pengukuran yang akurat dan konsisten, kalibrasi sensor dan pemahaman terhadap karakteristik masing-masing sensor sangatlah penting. Dengan demikian, dapat dihasilkan data yang lebih dapat diandalkan untuk pengambilan keputusan atau analisis lebih lanjut.

5. KESIMPULAN

Sensor DHT22 cukup efektif dalam mengukur suhu dan kelembapan di seluruh area ruangan seluas 20 m². Berdasarkan pengujian yang dilakukan, sensor ini mampu memberikan data suhu dan kelembapan yang akurat dan konsisten, meskipun terdapat sedikit perbedaan dibandingkan dengan alat ukur *Kestrel*. Selain itu, sensor DHT22 mampu mendeteksi perubahan kondisi lingkungan secara langsung, memberikan gambaran yang cukup baik mengenai variasi suhu dan kelembapan dalam ruangan tersebut. Dari hasil pengukuran dapat disimpulkan bahwa perlu diambil tindakan untuk mengatur suhu dan kelembapan agar tetap berada dalam kisaran yang dianggap normal, demi menjaga kenyamanan dan kesehatan di dalam ruangan. Pengaturan suhu dan ruangan dilakukan dengan menggunakan perangkat pengatur kelembapan udara atau melalui tindakan lain seperti ventilasi yang baik atau penggunaan *dehumidifier* atau *humidifier* sesuai kebutuhan. Dengan demikian, analisis menunjukkan bahwa sensor DHT22 memberikan hasil pengukuran kelembapan yang cukup baik dan mengikuti pola yang serupa dengan alat ukur pembanding *kestrel*. Jadi secara keseluruhan, sensor DHT22 masih dapat dianggap sebagai alat ukur kelembapan yang cukup akurat dan konsisten.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Egrotek yang telah memberikan ijin kegiatan, ataupun pihak lain yang turut menyelesaikan kegiatan pengabdian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. C. Dewi, M. Raharjo, and N. E. Wahyuningsih, "Literatur Review : Hubungan Antara Kualitas Udara Ruang Dengan Gangguan Kesehatan Pada Pekerja," *An-Nadaa J. Kesehat. Masy.*, vol. 8, no. 1, p. 88, 2021, doi: 10.31602/ann.v8i1.4815.
- [2] I. A. 2011 Arjani, "Kualitas Udara Dalam Ruang Kerja," *J. Skala Husada*, vol. 8, no. 2, pp. 178–183, 2011.
- [3] Winardi, "Pengaruh Suhu dan Kelembapan Terhadap Konsentrasi Pb di Udara Kota Pontianak," *J. Penelit. dan Pengemb. Borneo Akcaya*, vol. 01, no. 1, pp. 16–25, 2014, [Online]. Available: <http://jurnallitbang.kalbarprov.go.id/index.php/litbang/article/download/5/2/>
- [4] M. A. Satryawan and E. Susanti, "PERANCANGAN ALAT PENDETEKSI KUALITAS UDARA DENGAN IoT (Internet of Things) MENGGUNAKAN WEMOS ESP32 D1 R32," *Sigma Tek.*, vol. 6, no. 2, pp. 410–419, 2023, doi: 10.33373/sigmateknika.v6i2.5646.
- [5] R. M. R. Akbar, T. Y. Arif, and M. Irhamsyah, "Analisis Performansi Protokol MQTT Pada Sistem Pemantauan Kualitas Udara Ruangan Berbasis IoT," *KITEKTRO J. Komputer, Inf. Teknol. dan Elektro*, vol. 8, no. 3, pp. 102–109, 2023.
- [6] A. Saepudin, "Teknologi Internet Of Things Dalam Proses Monitoring Suhu dan Kelembapan Di Gudang Penyimpanan Bahan Kulit," *J. Tek. Inform. Dan Sist. Inf.*, vol. 9, no. 4, pp. 2712–2719, 2022, [Online]. Available: <http://jurnal.mdp.ac.id>
- [7] F. Vinola and A. Rakhman, "Sistem Monitoring dan Controlling Suhu Ruangan Berbasis Internet of Things," *J. Tek. elektro dan Komput.*, vol. 9, no. 2, pp. 117–126, 2020.
- [8] M. Yusro and A. Diamah, *Sensor dan Transduser Teori dan Aplikasi*. 2019.
- [9] A. B. Abilovani, *IMPLEMENTASI PROTOKOL MQTT memperoleh gelar Sarjana Komputer Disusun oleh*., vol. 2, no. 12. 2018.
- [10] Y. A. Kurnia Utama, "Perbandingan Kualitas Antar Sensor Suhu dengan Menggunakan Arduino Pro Mini," *e-NARODROID*, vol. 2, no. 2, 2016, doi: 10.31090/narodroid.v2i2.210.
- [11] A. Wiranto and H. Nurwarsito, "Sistem Monitoring Pengatur Suhu dan Kelembapan pada Kandang Jangkrik berbasis Internet of Things (Studi Kasus Budidaya Jangkrik Perorangan di Kabupaten Blitar)," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 6, no. 6, pp. 2673–2680, 2022, [Online].

Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>

- [12] Zenhadi, “Pengenalan Esp32 Board,” vol. 6, 2020.
- [13] M. N. Nizam, Haris Yuana, and Zunita Wulansari, “Mikrokontroler Esp 32 Sebagai Alat Monitoring Pintu Berbasis Web,” *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform. ,* vol. 6, no. 2, pp. 767–772, 2022, doi: 10.36040/jati.v6i2.5713.
- [14] I. Agustine Cahyaningtyas, A. Stefanie, and I. Ibrahim, “Implementasi Esp32 Cam Dan Kodular Berbasis Android Untuk Monitoring Smart Garden,” *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 7, no. 4, pp. 2512–2518, 2024, doi: 10.36040/jati.v7i4.7121.
- [15] A. Nur Alfian and V. Ramadhan, “Prototype Detektor Gas Dan Monitoring Suhu Berbasis Arduino Uno,” *PROSISKO J. Pengemb. Ris. dan Obs. Sist. Komput. ,* vol. 9, no. 2, pp. 61 –69, 2022, doi: 10.30656/prosisko.v9i2.5380.