

Monitoring Soil Temperature and Humidity in an IoT-Based Green House to Improve Plant Management

Monitoring Suhu dan Kelembaban Tanah pada Green House Berbasis IoT untuk Meningkatkan Pengelolaan Tanaman

Muthmainnah^{1*}, Ninik Chamidah¹, Kusairi¹

¹Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

*Correspondence: inna@fis.uin-malang.ac.id

Abstract

This study aims to develop and validate a soil temperature and humidity monitoring system using DHT 11 and YL 69 sensors connected to an ESP 8266 microcontroller. Calibration was performed by comparing sensor data with a reference instrument, followed by regression analysis to determine sensor accuracy. Validation involved calculating the standard deviation and accuracy of the sensor measurements. Temperature and soil humidity monitoring was conducted over five days in September, with average temperature measurements ranging from 22.4°C to 32.6°C and soil humidity ranging from 66.47% to 88.78%. The results showed that the temperature sensor had an average accuracy of 99.19%, while the humidity sensor had an average accuracy of 97.95%. The low standard deviation values for both sensors indicate good measurement consistency. These findings align with the literature emphasizing the importance of high-performance sensors for environmental monitoring in smart agriculture systems. The implementation of this system is expected to enhance the efficiency and effectiveness of agricultural management and support the sustainability of agricultural practices.

Keywords: Agriculture, Monitoring, Sensor.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan memvalidasi sistem pemantauan suhu dan kelembaban tanah menggunakan sensor DHT 11 dan YL 69 yang terhubung dengan mikrokontroler ESP 8266. Proses kalibrasi dilakukan dengan membandingkan data sensor dengan alat referensi, diikuti dengan analisis regresi untuk menentukan akurasi sensor. Validasi dilakukan melalui perhitungan standar deviasi dan akurasi pengukuran sensor. Pemantauan suhu dan kelembaban tanah dilakukan selama lima hari pada bulan September, dengan pengukuran suhu rata-rata berkisar antara 22.4°C hingga 32.6°C dan kelembaban tanah berkisar antara 66.47% hingga 88.78%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor suhu memiliki akurasi rata-rata 99.19%, sedangkan sensor kelembaban memiliki akurasi rata-rata 97.95%. Nilai standar deviasi yang rendah pada kedua sensor menunjukkan konsistensi yang baik dalam pengukuran. Temuan ini sejalan dengan literatur yang menyatakan pentingnya penggunaan sensor berkinerja tinggi untuk pemantauan lingkungan dalam sistem pertanian cerdas. Implementasi sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas manajemen pertanian, serta mendukung keberlanjutan pengelolaan pertanian.

Kata Kunci: Pertanian, Monitoring, Sensor.

This is an open access article under the [CC - BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.



PENDAHULUAN

Pertanian modern menghadapi berbagai tantangan, termasuk perubahan iklim, penurunan lahan pertanian, dan peningkatan kebutuhan pangan (Giménez et al. 2020). Green house atau rumah kaca telah menjadi solusi penting untuk menciptakan lingkungan yang terkendali bagi pertumbuhan tanaman, memungkinkan produksi pangan yang lebih konsisten dan berkelanjutan (M. E. Karar et al. 2020). Teknologi Internet of Things (IoT) menawarkan kemampuan untuk memantau dan mengendalikan kondisi lingkungan secara real-time dan otomatis (Mohamed Esmail Karar et al. 2021; Thomas, O'Hare, and Coyle 2023). Penggunaan sensor suhu dan kelembaban berkinerja tinggi dalam sistem monitoring pertanian sangat penting

untuk memungkinkan pertanian cerdas yang secara otomatis memantau dan mengendalikan kondisi lingkungan seperti suhu dan tingkat air (Rawi, Hasnan, and Sajak 2020; Wang et al. 2019).

Green house menyediakan lingkungan yang dikendalikan untuk pertumbuhan tanaman dengan menyediakan kondisi ideal seperti suhu, kelembaban, cahaya, dan ventilasi. Struktur green house dapat bervariasi dari rumah kaca sederhana hingga sistem otomatis berteknologi tinggi yang dilengkapi dengan sensor dan sistem kontrol iklim (Mohamed Esmail Karar et al. 2021). Manajemen faktor lingkungan dalam green house, seperti suhu dan kelembaban tanah sangat penting untuk memaksimalkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Penggunaan sistem otomatis dalam green house yang mengintegrasikan teknologi IoT memungkinkan pemantauan jarak jauh dan pengambilan keputusan berbasis data (Geng et al. 2019; Sahour et al. 2021).

Masalah utama dalam pengelolaan green house adalah ketidakmampuan untuk memantau dan mengendalikan kondisi lingkungan secara efektif dan efisien. Pengelolaan manual sering kali tidak mampu merespons perubahan kondisi lingkungan dengan cepat, yang dapat berdampak negatif pada pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Hal ini menunjukkan perlunya solusi yang dapat memantau kondisi lingkungan secara *real-time* dan memberikan umpan balik untuk tindakan korektif yang cepat (Feng 2022). Solusi yang ditawarkan adalah penggunaan sistem monitoring berbasis IoT yang mengintegrasikan sensor untuk mengukur suhu dan kelembaban tanah, mikrokontroler untuk memproses data, serta modul komunikasi untuk mengirimkan data ke platform *cloud* (Ismiwati Chalifah 2024). Sistem ini memungkinkan pengelolaan kondisi lingkungan yang lebih akurat dan responsif, yang pada akhirnya dapat meningkatkan produktivitas tanaman dan efisiensi operasional. Teknologi IoT dan layanan *cloud* memungkinkan pengumpulan dan pemrosesan data secara *real-time* untuk memantau berbagai parameter yang penting bagi produksi dan manajemen pertanian (Barik 2019; Schröder et al. 2021).

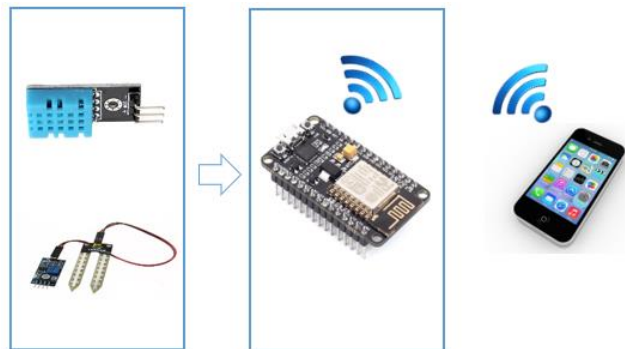
Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis IoT dalam pertanian dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas secara signifikan. Sebagai contoh, studi oleh Barik et al. (2019) menunjukkan bahwa sistem monitoring *real-time* berbasis IoT dapat mengurangi kebutuhan intervensi manual dan meningkatkan hasil panen secara substansial. Sistem ini memungkinkan pengawasan tanaman, kondisi tanah dan udara, suhu, kelembaban, serta lingkungan tanah secara lebih efektif (Ruslan et al., n.d.; Almalki et al. 2021). Selain itu, penggunaan platform manajemen berbasis *cloud* untuk pengolahan data sumber daya pertanian mendukung pertanian presisi dan pemantauan ekologi (Niu et al. 2023).

Meskipun banyak penelitian telah dilakukan mengenai penggunaan IoT dalam pengelolaan green house, masih terdapat beberapa kesenjangan penelitian yang perlu diatasi. Sebagian besar studi hanya berfokus pada aspek teknis dari sistem monitoring tanpa mempertimbangkan faktor-faktor lain seperti kalibrasi dan validasi sensor yang dapat menjamin hasil pengukuran sensor (Geng et al. 2019; Prayitno, Muttaqin, and Syauqy 2017). Selain itu, sebagian besar penelitian dilakukan dalam skala kecil atau kondisi yang sangat terkendali, sehingga hasilnya belum tentu dapat diterapkan secara luas di berbagai kondisi geografis dan iklim yang berbeda (Muthmainnah et al. 2024).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendesain dan menguji sistem monitoring suhu dan kelembaban tanah berbasis IoT yang dapat meningkatkan produktivitas tanaman dalam green house. Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi beberapa kesenjangan yang ada dengan menguji sistem dalam kondisi lingkungan yang sebenarnya. Selain itu, penelitian ini akan mencakup proses kalibrasi dan validasi sensor yang digunakan dalam sistem, mengingat pentingnya kalibrasi dan validasi untuk memastikan akurasi dan keandalan data yang dikumpulkan. Lingkup penelitian meliputi desain, pengembangan, dan pengujian sistem monitoring berbasis IoT dalam lingkungan sebenarnya di green house. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan bagi peningkatan praktik pertanian berkelanjutan dan efisien.

METODE

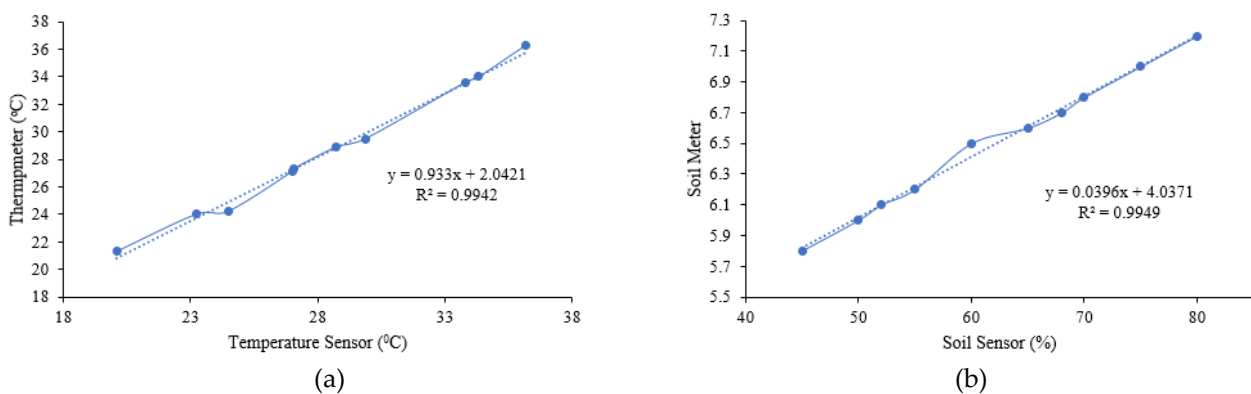
Proses persiapan dimulai dengan kalibrasi sensor. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan nilai yang diperoleh dari sensor dengan nilai referensi yang diukur menggunakan alat kalibrasi standar. Setelah itu, data kalibrasi dianalisis menggunakan metode regresi untuk menentukan korelasi antara nilai sensor dan nilai referensi. Sensor-sensor ini kemudian dirangkai seperti gambar 1 dan dipasang di lokasi pengamatan, dengan DHT 11 ditempatkan pada ketinggian tertentu untuk mengukur suhu udara, dan YL 69 ditanam di dalam tanah untuk mengukur kelembaban tanah. Pengaturan eksperimen melibatkan instalasi sensor suhu DHT 11 dan sensor kelembaban YL 69 yang terhubung ke mikrokontroler ESP 8266. Mikrokontroler ini diprogram untuk mengumpulkan data setiap jam selama periode lima hari. Data ditampilkan pada platform *Blynk*. Data yang terkumpul mencakup suhu dan kelembaban tanah yang kemudian dikirim secara nirkabel ke platform penyimpanan data untuk analisis lebih lanjut. Prosedur eksperimen meliputi pengumpulan data berkelanjutan selama lima hari di bulan September 2023. Analisis statistik yang diterapkan dalam penelitian ini mencakup perhitungan nilai rata-rata, standar deviasi, dan akurasi sensor. Nilai standar deviasi digunakan untuk validasi sensor dengan mengukur konsistensi pembacaan sensor selama periode pengamatan. Akurasi sensor dihitung dengan membandingkan nilai sensor dengan nilai referensi dari alat kalibrasi standar. Semua analisis statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak statistik untuk memastikan keakuratan dan reliabilitas data yang diperoleh.



Gambar 1. Diagram komponen sistem monitoring

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi Sensor



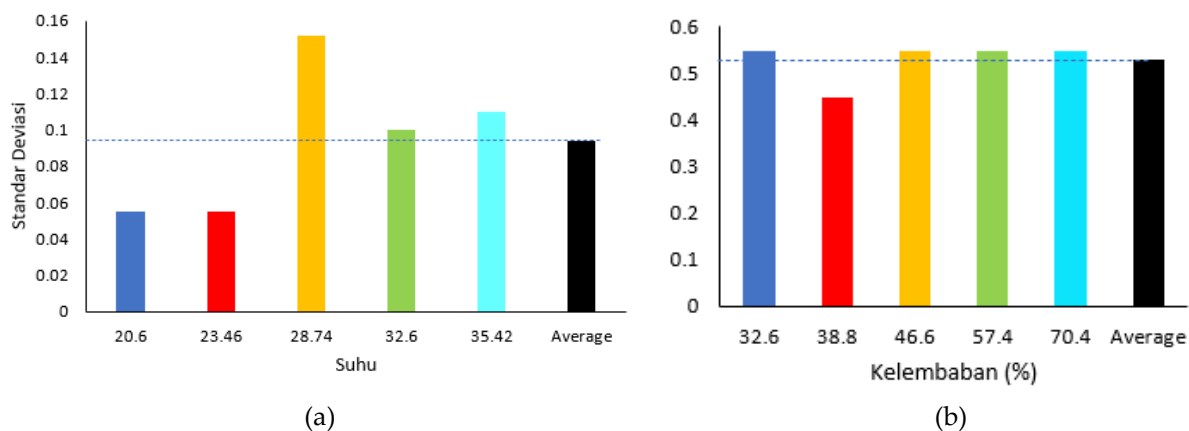
Gambar 2. Hasil kalibrasi sensor (a) suhu dan (b) kelembaban

Pada penelitian ini, dilakukan kalibrasi sensor suhu dan kelembaban yang ditampilkan pada Gambar 2a dan 2b. Gambar 2a menunjukkan kalibrasi sensor suhu dengan persamaan regresi $y = 0.933x + 2.0421$ dan koefisien determinasi $R^2 = 0.9942$. Gambar 2b memperlihatkan kalibrasi sensor kelembaban dengan persamaan regresi $y = 0.0396x + 4.0371$ dan koefisien determinasi $R^2 = 0.981$. Nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan bahwa sensor suhu memiliki akurasi yang sangat tinggi dalam pengukuran suhu lingkungan. Hasil kalibrasi sensor yang akurat dan valid menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis IoT yang digunakan dalam penelitian ini dapat diandalkan untuk memantau kondisi lingkungan dalam green house

secara real-time. Menurut Geng et al., (2019), monitoring suhu, kelembaban, dan lingkungan tanah sangat penting untuk meningkatkan produksi pertanian. Keakuratan sensor dalam sistem monitoring IoT ini mendukung klaim tersebut dengan menyediakan data yang akurat dan konsisten untuk pengambilan keputusan yang lebih baik dalam pengelolaan green house.

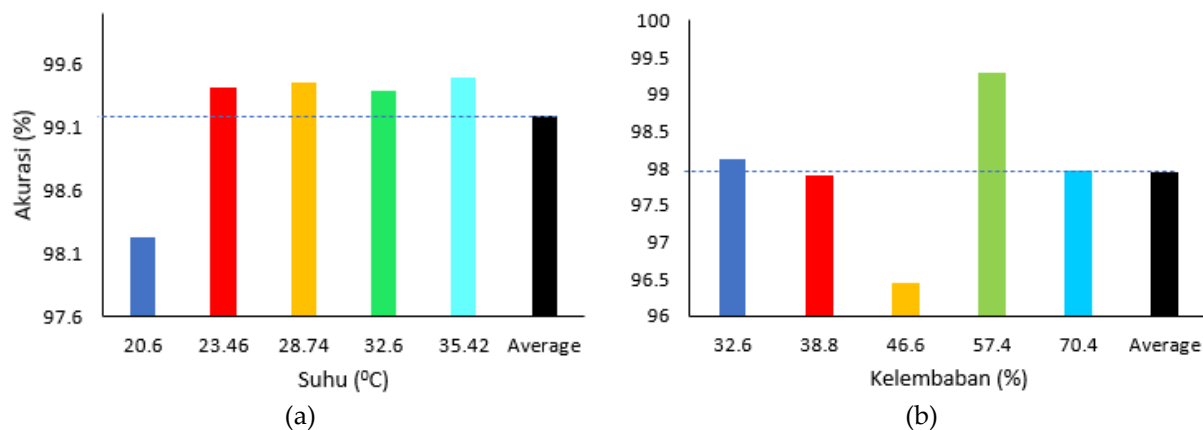
Sistem monitoring berbasis IoT yang menggunakan sensor berkinerja tinggi seperti yang dijelaskan oleh Niew et al. (2022) memfasilitasi pengelolaan kondisi lingkungan yang lebih presisi dan efisien. Dengan kalibrasi dan validasi yang tepat, seperti yang dilakukan dalam penelitian ini, sensor dapat memberikan data yang lebih akurat, yang pada akhirnya mendukung praktik pertanian presisi dan keberlanjutan ekologi. Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan sebelumnya yang menunjukkan pentingnya penggunaan teknologi IoT dalam pertanian untuk memantau dan mengendalikan kondisi lingkungan secara efektif (M. E. Karar et al. 2020; Haseeb et al. 2020; Omar et al. 2020). Kalibrasi dan validasi sensor yang dilakukan dalam penelitian ini memberikan dasar yang kuat untuk memastikan bahwa data yang dikumpulkan adalah akurat dan dapat diandalkan, yang sangat penting untuk pengambilan keputusan dalam pengelolaan green house (Sahour et al. 2021; Mane et al. 2020; Ardiansah et al. 2020a). Dalam literatur, telah banyak dibahas bahwa monitoring lingkungan secara tepat dapat mempengaruhi produktivitas tanaman secara (M. E. Karar et al. 2020; Bouali et al. 2022; Serikul, Nakpong, and Nakjuatong 2018). Penelitian ini menambahkan nilai dengan menunjukkan bahwa kalibrasi dan validasi sensor yang tepat dapat meningkatkan keandalan data yang dikumpulkan, yang pada akhirnya meningkatkan efisiensi pengelolaan green house. Dengan demikian, temuan ini tidak hanya mendukung literatur yang ada tetapi juga memperkuat pentingnya kalibrasi dan validasi sensor dalam sistem monitoring berbasis IoT untuk pertanian.

Validasi Sensor



Gambar 3. Nilai standar deviasi sensor (a) suhu dan (b) kelembaban

Pada penelitian ini, hasil validasi sensor suhu dan kelembaban disajikan pada Gambar 3a dan 3b. Gambar 3a menunjukkan validasi sensor suhu dengan nilai standar deviasi rata-rata sebesar 0.094, nilai terkecil sebesar 0.055, dan nilai terbesar sebesar 0.15. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor suhu memiliki variasi pengukuran yang sangat rendah, yang mengindikasikan konsistensi yang tinggi dalam pengukuran suhu lingkungan. Gambar 3b memperlihatkan validasi sensor kelembaban dengan nilai standar deviasi rata-rata sebesar 0.53, nilai terkecil sebesar 0.45, dan nilai terbesar sebesar 0.55. Meskipun standar deviasi untuk sensor kelembaban lebih tinggi dibandingkan dengan sensor suhu, nilai-nilai ini masih berada dalam rentang yang dapat diterima untuk aplikasi monitoring kelembaban lingkungan dalam green house.

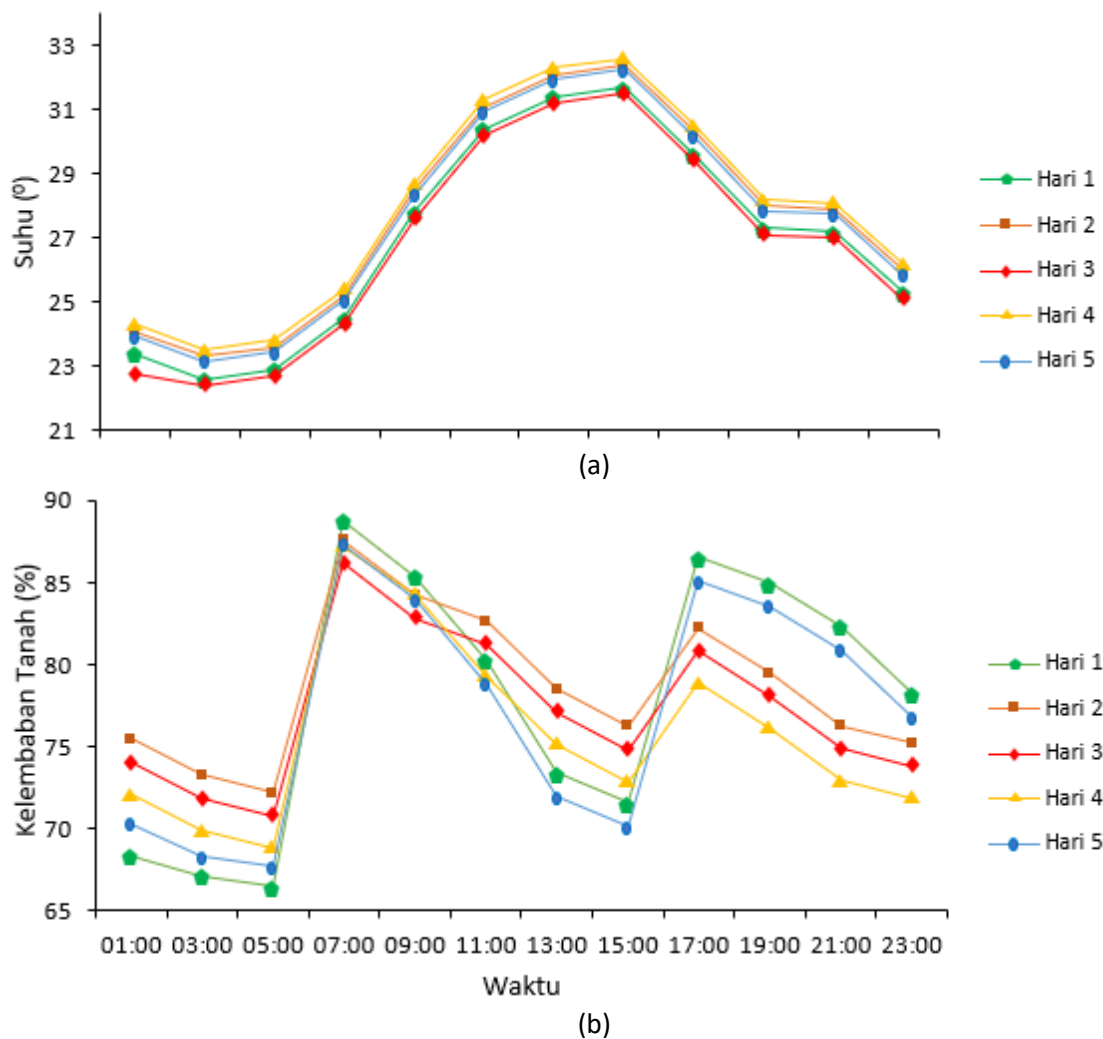


Gambar 4. Nilai akurasi sensor (a) suhu dan (b) Kelembaban

Validasi sensor berupa nilai akurasi sensor suhu dan kelembaban disajikan pada Gambar 4a dan 4b. Gambar 4a menunjukkan hasil validasi sensor suhu berupa akurasi dengan nilai rata-rata sebesar 99.19%, nilai terkecil 98.23%, dan nilai terbesar 99.49%. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor suhu memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi, dengan variasi yang kecil antar pengukuran. Gambar 4b menunjukkan hasil validasi sensor kelembaban dengan nilai akurasi rata-rata sebesar 97.95%, nilai terkecil 96.44%, dan nilai terbesar 99.29%. Meskipun nilai akurasi sensor kelembaban sedikit lebih rendah dibandingkan sensor suhu, hasil ini tetap menunjukkan tingkat akurasi yang sangat baik untuk aplikasi monitoring kelembaban di lingkungan green house. Validasi sensor yang menunjukkan akurasi tinggi sangat penting dalam sistem monitoring berbasis IoT. Menurut Feng (2022), monitoring suhu, kelembaban, dan lingkungan tanah sangat penting untuk meningkatkan produksi pertanian. Akurasi tinggi pada sensor memastikan bahwa data yang dikumpulkan dapat diandalkan untuk pengambilan keputusan yang lebih baik dalam pengelolaan lingkungan pertanian.

Validasi sensor merupakan langkah penting dalam memastikan keandalan dan akurasi sistem monitoring berbasis IoT. Menurut Bouali et al., (2022), monitoring suhu, kelembaban, dan lingkungan tanah sangat penting untuk meningkatkan produksi pertanian. Sensor yang telah tervalidasi dengan baik akan memberikan data yang akurat dan dapat diandalkan, yang sangat penting untuk pengelolaan green house secara efektif. Pentingnya validasi sensor juga didukung oleh penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa penggunaan sensor berkinerja tinggi dalam sistem monitoring IoT dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi pengelolaan lingkungan pertanian (Atmaja et al. 2021). Dengan validasi yang dilakukan dalam penelitian ini, sensor suhu dan kelembaban terbukti memiliki performa yang baik dan dapat diandalkan untuk aplikasi monitoring dalam green house. Temuan ini konsisten dengan literatur yang ada mengenai pentingnya penggunaan teknologi IoT dalam pertanian untuk memantau dan mengendalikan kondisi lingkungan secara efektif. Sebagai contoh, standar deviasi yang rendah pada validasi sensor suhu menunjukkan bahwa sensor tersebut memiliki tingkat akurasi dan presisi yang tinggi, yang sejalan dengan temuan dari Omar et al., (2020) mengenai pentingnya pengukuran suhu yang akurat dalam mendukung pertumbuhan tanaman. Implikasi dari temuan ini adalah bahwa validasi sensor yang tepat dapat meningkatkan keandalan dan akurasi data yang dikumpulkan, yang sangat penting untuk pengelolaan kondisi lingkungan dalam green house. Dengan data yang akurat, petani dapat membuat keputusan yang lebih baik dalam mengelola suhu dan kelembaban, yang pada akhirnya dapat meningkatkan produktivitas tanaman dan efisiensi penggunaan sumber daya (Jamali et al. 2021; Ardiansah et al. 2020b).

Monitoring suhu dan kelembaban



Gambar 5. Hasil Kalibrasi Sensor (a) suhu dan (b) Kelembaban

Gambar 5a dan 5b menunjukkan hasil monitoring sensor suhu dan kelembaban tanah selama 5 hari pada bulan September 2023. Rata-rata suhu berkisar antara 22.4°C hingga 32.6°C dengan puncak tertinggi terjadi pada jam 13:00-15:00. Rata-rata kelembaban tanah berkisar antara 66.47% hingga 88.78%, dengan kelembaban tertinggi terjadi pada pukul 07:00 dan 17:00, waktu ketika tanah disiram. Pengamatan ini menunjukkan fluktuasi suhu dan kelembaban yang signifikan sepanjang hari. Puncak suhu pada siang hari menunjukkan kenaikan suhu yang disebabkan oleh intensitas sinar matahari yang tinggi. Sedangkan kelembaban tanah tertinggi pada pagi dan sore hari menunjukkan efek penyiraman tanah yang meningkatkan kadar air pada waktu-waktu tersebut.

Pengelolaan suhu dan kelembaban yang tepat sangat penting untuk meningkatkan produksi pertanian. Menurut Jamali et al., (2021), monitoring suhu, kelembaban, dan lingkungan tanah adalah kunci untuk meningkatkan produksi pertanian. Peningkatan suhu pada siang hari bisa menyebabkan stres panas pada tanaman yang berpengaruh negatif terhadap pertumbuhan tanaman (Geng et al. 2019; Tang et al. 2021). Monitoring ini memungkinkan pengaturan suhu yang lebih baik di lingkungan green house untuk meminimalisir dampak negatif tersebut. Selain itu, kelembaban tanah yang memadai sangat penting untuk pertumbuhan tanaman. Penyiraman rutin pada pagi dan sore hari, seperti yang ditunjukkan pada hasil monitoring, membantu menjaga kelembaban tanah yang optimal, yang penting untuk penyerapan nutrisi dan kesehatan tanaman secara keseluruhan (Atmaja et al. 2021; Gaikwad et al. 2021). Temuan dari hasil monitoring ini konsisten dengan literatur yang ada tentang pentingnya pengelolaan suhu dan kelembaban untuk pertumbuhan tanaman yang optimal. Penggunaan teknologi sensor untuk monitoring kondisi lingkungan mendukung penelitian oleh Atmaja et al., (2021) yang menunjukkan pentingnya sensor berkinerja tinggi

dalam sistem pertanian cerdas untuk memonitor dan mengontrol kondisi lingkungan seperti suhu dan kelembaban. Dalam konteks ini, monitoring suhu dan kelembaban yang akurat memungkinkan petani untuk mengambil keputusan yang lebih baik dalam pengelolaan irigasi dan pengaturan suhu, yang pada akhirnya meningkatkan hasil dan kualitas tanaman.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil monitoring sensor suhu dan kelembaban tanah selama lima hari pada bulan September, dapat disimpulkan bahwa suhu rata-rata berkisar antara 22.4°C hingga 32.6°C dengan puncak tertinggi terjadi pada pukul 13:00 hingga 15:00. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas sinar matahari pada siang hari mempengaruhi peningkatan suhu secara signifikan. Sementara itu, kelembaban tanah berkisar antara 66.47% hingga 88.78%, dengan kelembaban tertinggi terjadi pada pukul 07:00 dan 17:00 akibat kegiatan penyiraman yang dilakukan pada waktu tersebut. Hasil monitoring ini menekankan pentingnya pengelolaan suhu dan kelembaban yang tepat untuk mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal. Penggunaan teknologi sensor dalam monitoring suhu dan kelembaban terbukti sangat membantu dalam pengelolaan lingkungan pertanian, memungkinkan petani mengambil keputusan yang lebih baik terkait irigasi dan pengaturan suhu, sehingga meningkatkan efisiensi dan produktivitas.

DAFTAR PUSTAKA

- Almalki, Faris A., Ben Othman Soufiene, Saeed H. Alsamhi, and Hedi Sakli. 2021. "A Low-Cost Platform for Environmental Smart Farming Monitoring System Based on Iot and Uavs." *Sustainability (Switzerland)* 13 (11). <https://doi.org/10.3390/su13115908>.
- Ardiansah, Irfan, Nurpilihan Bafdal, Edy Suryadi, and Awang Bono. 2020a. "Greenhouse Monitoring and Automation Using Arduino: A Review on Precision Farming and Internet of Things (IoT)." *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology* 10 (2).
- — —. 2020b. "Greenhouse Monitoring and Automation Using Arduino: A Review on Precision Farming and Internet of Things (IoT)" 10 (2).
- Atmaja, A. P., A. E. Hakim, A. P.A. Wibowo, and L. A. Pratama. 2021. "Communication Systems of Smart Agriculture Based on Wireless Sensor Networks in IoT." *Journal of Robotics and Control (JRC)* 2 (4): 297–301. <https://doi.org/10.18196/jrc.2495>.
- Barik, Lalbihari. 2019. "IoT Based Temperature and Humidity Controlling Using Arduino and Raspberry Pi." *IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. Vol. 10. www.ijacsa.thesai.org.
- Bouali, Et Taibi, Mohamed Riduan Abid, El Mahjoub Boufounas, Tareq Abu Hamed, and Driss Benhaddou. 2022. "Renewable Energy Integration into Cloud IoT-Based Smart Agriculture." *IEEE Access* 10: 1175–91. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3138160>.
- Feng, Yuhan. 2022. "Application of Edge Computing and Blockchain in Smart Agriculture System." *Mathematical Problems in Engineering* 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/7198624>.
- Gaikwad, Sandeep V., Amol D. Vibhute, Karbhari V. Kale, and Suresh C. Mehrotra. 2021. "An Innovative IoT Based System for Precision Farming." *Computers and Electronics in Agriculture* 187 (August). <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106291>.
- Geng, Xia, Qinglei Zhang, Qinggong Wei, Tong Zhang, Yu Cai, Yong Liang, and Xiaoyong Sun. 2019. "A Mobile Greenhouse Environment Monitoring System Based on the Internet of Things." *IEEE Access* 7: 135832–44. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2941521>.
- Giménez, Almudena, Juan A. Fernández, José A. Pascual, Margarita Ros, and Catalina Egea-Gilabert. 2020. "Application of Directly Brewed Compost Extract Improves Yield and Quality in Baby Leaf Lettuce Grown Hydroponically." *Agronomy* 10 (3). <https://doi.org/10.3390/agronomy10030370>.

- Haseeb, Khalid, Ikram Ud Din, Ahmad Almogren, and Naveed Islam. 2020. "An Energy Efficient and Secure IoT-Based WSN Framework: An Application to Smart Agriculture." *Sensors (Switzerland)* 20 (7). <https://doi.org/10.3390/s20072081>.
- Ismiwati Chalifah. 2024. "Forecasting the Number of Sales of Mie Sedap at PT. Wings Surya Probolinggo Branch With Single Exponential Smoothing Method." *Engineering: Journal of Mechatronics and Education* 1 (1): 8–14. <https://doi.org/10.59923/mechatronics.v1i1.16>.
- Jamali, Mohsen, Saeid Soufizadeh, Bijan Yeganeh, and Yahya Emam. 2021. "A Comparative Study of Irrigation Techniques for Energy Flow and Greenhouse Gas (GHG) Emissions in Wheat Agroecosystems under Contrasting Environments in South of Iran." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 139 (April). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110704>.
- Karar, M. E., M. F. Al-Rasheed, A. F. Al-Rasheed, and Omar Reyad. 2020. "Iot and Neural Network-Based Water Pumping Control System for Smart Irrigation." *Information Sciences Letters* 9 (2): 107–12. <https://doi.org/10.18576/isl/090207>.
- Karar, Mohamed Esmail, Fahad Alsunaydi, Sultan Albusaymi, and Sultan Alotaibi. 2021. "A New Mobile Application of Agricultural Pests Recognition Using Deep Learning in Cloud Computing System." *Alexandria Engineering Journal* 60 (5): 4423–32. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.03.009>.
- Mane, Supriya A., Digambar Y. Nadargi, Jyoti D. Nadargi, Omar M. Aldossary, Mohaseen S. Tamboli, and Vinayak P. Dhulap. 2020. "Design, Development and Validation of a Portable Gas Sensor Module: A Facile Approach for Monitoring Greenhouse Gases." *Coatings* 10 (12): 1–10. <https://doi.org/10.3390/coatings10121148>.
- Muthmainnah, Muthmainnah, Muhammad Fakhri Mulyadi, Imam Tazi, Agus Mulyono, Farid Samsu Hananto, Ninik Chamidah, and Kusairi. 2024. "Development of an Automated Monitoring System for Soil Moisture and Temperature in Smart Agriculture to Enhance Lettuce Farming Productivity Based on IoT." *Multidisciplinary Science Journal* 6 (11). <https://doi.org/10.31893/multiscience.2024233>.
- Niu, Shuhui, Kai Zhang, Zhifei Li, Jun Xie, Guangjun Wang, Hongyan Li, Ermeng Yu, Yun Xia, Jingjing Tian, and Wangbao Gong. 2023. "Analysis of the Structure and Function of Microbial Community in Late-Stage of Grass Carp (*Ctenopharyngodon Idella*) Farming Ponds." *Aquaculture Reports* 30 (1): 101556. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101556>.
- Omar, Nabilah Binti, Hushairi Bin Zen, Nadia Nicole Anak Aldrin, Waluyo, and Febrian Hadiatna. 2020. "Accuracy and Reliability of Data in IoT System for Smart Agriculture." *International Journal of Integrated Engineering* 12 (6): 105–16. <https://doi.org/10.30880/IJIE.2020.12.06.013>.
- Prayitno, Wahyu Adi, Adharul Muttaqin, and Dahnia Syauqy. 2017. "Sistem Monitoring Suhu, Kelembaban, Dan Pengendali Penyiraman Tanaman Hidroponik Menggunakan Blynk Android." *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer* 1 (4): 292–97. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.112.270033>.
- Rawi, Roziyani, Muhammad Shakhil Iman Hasnan, and Aznida Abu Bakar Sajak. 2020. "Palm Oil Soil Monitoring System for Smart Agriculture." *International Journal of Integrated Engineering* 12 (6): 189–99. <https://doi.org/10.30880/IJIE.2020.12.06.022>.
- Ruslan, Ahmad Alfian, Shafina Mohamed Salleh, Sharifah Fatmadiana, Wan Muhamad Hatta, Aznida Abu, and Bakar Sajak. n.d. "IoT Soil Monitoring Based on LoRa Module for Oil Palm Plantation." *IJACSA International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. Vol. 12. www.ijacsa.thesai.org.
- Sahour, Abdelhakim, Farouk Boumehrez, Mohamed Benouaret, and Azzouz Mokhneche. 2021. "Greenhouse Climate Controller by Using of Internet of Things Technology and Fuzzy Logic." *Instrumentation Measure Metrologie* 20 (1): 29–38. <https://doi.org/10.18280/I2M.200105>.
- Schröder, Corinna, Franziska Häfner, Oliver Christopher Larsen, and Ariane Krause. 2021. "Urban Organic

Waste for Urban Farming: Growing Lettuce Using Vermicompost and Thermophilic Compost." *Agronomy* 11 (6). <https://doi.org/10.3390/agronomy11061175>.

Serikul, Peerasak, Nuttapun Nakpong, and Nitigan Nakjuatong. 2018. "Smart Farm Monitoring via the Blynk IoT Platform." *2018 Sixteenth International Conference on ICT and Knowledge Engineering*, 70–75.

Tang, Wei, Amin Biglari, Ryan Ebarb, Tee Pickett, Samuel Smallidge, and Marcy Ward. 2021. "A Smart Sensing System of Water Quality and Intake Monitoring for Livestock and Wild Animals." *Sensors* 21 (8). <https://doi.org/10.3390/s21082885>.

Thomas, Rosemary J., Gregory O'Hare, and David Coyle. 2023. "Understanding Technology Acceptance in Smart Agriculture: A Systematic Review of Empirical Research in Crop Production." *Technological Forecasting and Social Change* 189 (April). <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122374>.

Wang, Wei, La Zhuo, Meng Li, Yilin Liu, and Pute Wu. 2019. "The Effect of Development in Water-Saving Irrigation Techniques on Spatial-Temporal Variations in Crop Water Footprint and Benchmarking." *Journal of Hydrology* 577 (October). <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.123916>.