

Sistem Pengkondisian Lingkungan Tanaman Sawi Dengan Kendali Tertutup Untuk Budidaya Tanaman Dalam Ruangan

Mulyadi^{1*}, Dhani Aryanto², Saiful Anwar³

¹Program Studi Teknik Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Indonesia

²Program Studi Teknik Pertanian, Sekolah Tinggi Pertanian Kutai Timur, Sangatta, Indonesia

³Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Indonesia

e-mail: 1mulyadi@borneo.ac.id, 2dhaniaryanto@stiperkutim.ac.id

Diterima
29-11-2025

Direvisi
30-12-2025

Disetujui
31-12-2025

Abstract: This study proposes a microcontroller-based environmental conditioning system for mustard greens (*Brassica chinensis* L.) to support automated and controlled indoor plant cultivation. The system is designed by integrating a *soil moisture* sensor and a DHT22 sensor to monitor *soil moisture*, temperature, and air humidity in real-time. The sensor reading data is processed by a microcontroller to control actuators such as solenoid valves, fans, and *grow lights* through a closed-loop control mechanism. Calibration of the *soil moisture* sensor was performed using a linear regression method to improve the accuracy of soil water content measurements. Test results show that the system is able to maintain *soil moisture* in the optimal range of 40–60% and maintain temperature and air humidity conditions according to the growth needs of mustard greens. The implementation of this system contributes to increasing the efficiency of plant environmental management and demonstrates the potential for applying microcontroller-based automation technology in the development of smart agriculture in limited environments.

Keywords: Microcontroller, environmental conditioning, *soil moisture*, indoor farming, mustard greens

Abstrak: Untuk mendukung budidaya tanaman dalam ruangan secara otomatis dan terkontrol, penelitian ini mengusulkan sistem pengkondisian lingkungan berbasis mikrokontroler untuk tanaman sawi (*Brassica chinensis* L.). Sistem memiliki sensor kelembaban tanah dan DHT22 yang diintegrasikan untuk melacak kelembaban tanah, suhu, dan kelembaban udara secara real-time. Mikrokontroler menggunakan data yang dibaca oleh sensor untuk mengontrol aktuator seperti solenoid valve, kipas, dan lampu *grow light*. Ini dilakukan melalui mekanisme kendali tertutup, juga dikenal sebagai closed-loop control. Untuk meningkatkan akurasi pengukuran kadar air tanah, sensor kadar air tanah dikalibrasi menggunakan metode regresi linier. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan suhu dan kelembaban udara dalam rentang 40–60% yang ideal untuk kebutuhan pertumbuhan tanaman sawi. Sistem ini meningkatkan efisiensi pengelolaan lingkungan tanaman dan menunjukkan potensi penerapan teknologi otomasi berbasis mikrokontroler dalam pengembangan pertanian cerdas di lingkungan terbatas.

Kata kunci: Mikrokontroler, Pengkondisian Lingkungan, Kelembapan Tanah, Pertanian dalam ruangan, Tanaman Sawi

I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan populasi global yang terus meningkat menimbulkan tantangan yang sangat penting terhadap konsep ketahanan pangan di seluruh dunia. Sektor pertanian harus berubah menuju kepada sistem yang lebih efisien, berkelanjutan, dan berbasis teknologi tepat guna untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Dengan menggunakan teknologi sensor, *Internet of Things* (IoT), dan sistem kontrol otomatis, konsep pertanian pintar dapat membantu meningkatkan produktivitas sambil mempertahankan keberlanjutan lingkungan (Jayaraman et al., 2016)(Balas et al., 2022). Sensor menjadi sangat penting dalam pertanian presisi. Dengan memantau kondisi lahan secara real-time, sensor seperti kelembaban tanah, suhu, dan spektrum cahaya *Near Infrared* (NIR) dapat digunakan untuk membuat keputusan yang tepat tentang irigasi dan pemupukan (Maitra et al., 2021). Selain itu, sensor ini memungkinkan sistem kontrol berbasis *Internet of Things* untuk membuat keputusan otomatis tentang hal-hal seperti mengatur irigasi yang tepat atau mendeteksi penyakit tanaman dengan cepat (Srivastava et al., 2022)(Sheikh et al., 2025).

Selain itu, ada bukti bahwa sistem kontrol berbasis *Internet of Things* (IoT) dan kecerdasan

buatan (AI) lebih baik dalam memprediksi kebutuhan tanaman. Teknologi ini memungkinkan integrasi dengan platform berbasis cloud untuk meningkatkan skalabilitas dan memungkinkan pengaturan otomatis untuk pencahayaan, ventilasi, dan irigasi rumah kaca (Goyal et al., 2023). Oleh karena itu, pertanian pintar adalah sistem yang tidak hanya memantau tetapi juga mengendalikan dengan baik sesuai dengan lingkungan pertanian. Salah satu cara untuk mengatasi keterbatasan lahan dan ketergantungan terhadap kondisi iklim adalah menanam tanaman hortikultura di lingkungan yang terkendali, terutama dengan menggunakan teknologi otomasi dan sistem kendali berbasis sensor. Untuk tumbuh dengan baik dalam sistem budidaya terkontrol, sawi (*Brassica chinensis L.*) membutuhkan kondisi lingkungan yang relatif stabil, terutama suhu, kelembaban udara, kelembaban tanah, dan intensitas cahaya. Faktor-faktor lingkungan yang tidak sesuai dengan kondisi ideal untuk pertumbuhan tanaman dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman yang tidak sesuai dengan harapan atau bahkan kegagalan panen.

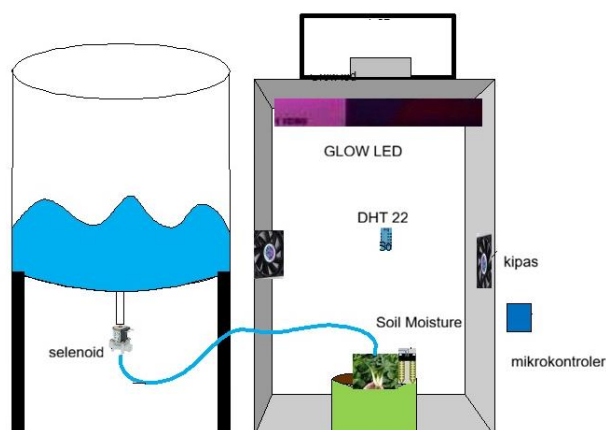
Dengan kemajuan teknologi mikrokontroler dan sensor, sistem pengkondisian lingkungan yang otomatis dan *real-time* sekarang dapat diterapkan (Awawda & Ishaq, 2023). Penelitian sebelumnya telah mencoba membuat sistem pemantauan tanaman berbasis sensor. Namun, kebanyakan dari mereka berfokus pada pemantauan tanpa pengendalian terintegrasi atau karena sensor belum dikalibrasi dengan benar. (Pivoto et al., 2023) Menekankan bahwa penerapan big data dalam pertanian cerdas (*smart farming*) membuka peluang besar untuk meningkatkan efisiensi produksi, pengambilan keputusan berbasis bukti, dan keberlanjutan sistem pangan. Pemantauan kondisi lahan secara *real-time* serta prediksi hasil panen yang lebih akurat dapat dicapai melalui integrasi sensor, *Internet of Things*, dan analitik data. Oleh karena itu, sistem yang tidak hanya mampu memantau, tetapi juga Untuk menjawab tantangan ketahanan pangan dan efisiensi sumber daya di seluruh dunia, transformasi digital dalam sektor pertanian harus dilakukan. Menurut (Obaideen et al., 2022), *Internet of Things* dapat membantu mengoptimalkan sistem irigasi. Kajian (Raj & Prahadeeswaran, 2025) menunjukkan teknologi *smart farming* yang berkelanjutan, yang memperluas pandangan. (Sumarsono et al., 2019) (Westari & Ilman, 2024) menunjukkan bahwa mikrokontroler dan IoT berfungsi dengan baik dalam sistem kendali kelembaban tanah dan sistem penyiraman otomatis pada level implementasi. Penelitian terbaru ini secara khusus berfokus pada pembuatan sistem pengkondisian lingkungan tanaman sawi berbasis mikrokontroler. Sistem ini menggabungkan proses pemantauan dan pengendalian secara tertutup (*closed-loop control*) dengan kalibrasi sensor kadar air tanah menggunakan metode regresi linier untuk meningkatkan akurasi pengukuran. Selain itu, sistem ini menggunakan pencatatan data berbasis waktu sebagai dasar untuk menilai kondisi lingkungan tanaman. Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat dan menguji sistem pengkondisian lingkungan tanaman sawi yang secara otomatis dapat menjaga kondisi lingkungan dalam kondisi terbaik..

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan tahapan perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, kalibrasi sensor, serta pengujian sistem.

1. Perancangan Sistem

Sistem terdiri dari mikrokontroler sebagai unit pemroses utama, sensor *soil moisture* untuk mengukur kelembaban tanah, sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembaban udara, modul RTC untuk pencatatan waktu, LCD 2x16 sebagai media tampilan, serta modul relay untuk mengendalikan aktuator berupa solenoid valve, kipas, dan lampu *grow light*, sebagaimana umum diterapkan pada sistem otomasi pertanian berbasis sensor (Westari & Ilman, 2024).



Gambar 1. Rancangan Sistem

2. Prosedur Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui pembacaan sensor secara periodik. Sensor *soil moisture* menghasilkan keluaran analog yang dikonversi menjadi data digital oleh ADC mikrokontroler. Sensor DHT22 memberikan data suhu dan kelembaban udara dalam bentuk digital. Seluruh data ditampilkan pada LCD dan disimpan menggunakan sistem data logging berbasis RTC.

3. Kalibrasi Sensor

Kalibrasi sensor *soil moisture* dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat *soil survey instrument* untuk meningkatkan akurasi pengukuran, sesuai dengan pendekatan kalibrasi sensor yang direkomendasikan dalam sistem kendali pertanian (Sumarsono et al., 2019). Data hasil pengukuran digunakan untuk membentuk persamaan regresi linier antara tegangan keluaran sensor dan kadar air tanah.

Tabel 1. Kalibrasi soil survey instrumen

Tegangan (V)	Kadar Air (%)
0,89	0
1,856	20
2,251	40
3,131	60
3,88	80

Tabel 2. Kalibrasi Sensor DHT-22 dan *Soil Survey Instrument*

DHT-22 (°C)	<i>Soil Survey Instrument</i> (°C)
31,9	32
32,9	33
34,9	35
35,9	36

Tabel 3. Hasil ujicoba sensor *soil moisture*

Kategori Tanah	Tegangan(V)
Sangat Kering	1,55
Kering	2,19
Normal	3,44
Basah	3,84

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, sensor *soil moisture* menunjukkan kinerja yang sesuai dengan karakteristik operasionalnya. Sensor memberikan respons linier terhadap variasi kadar air tanah, di mana peningkatan kandungan air di dalam tanah diikuti oleh kenaikan nilai tegangan keluaran. Sebaliknya, pada kondisi tanah dengan kadar air rendah,

tegangan keluaran sensor mengalami penurunan secara signifikan. Namun, pada kategori tanah basah (*wet*), tegangan maksimum yang dihasilkan sensor hanya mencapai 3,84 V, yang mengindikasikan adanya batasan pada rentang kerja sensor. Untuk memperoleh nilai galat (*error*) pengukuran secara kuantitatif dan akurat, diperlukan pengujian berulang dengan beberapa sampel tanah yang memiliki tingkat kandungan air berbeda.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor, mikrokontroler, dan aktuator dapat digabungkan untuk membuat sistem pengkondisian lingkungan tanaman yang bekerja secara otomatis dan responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Hal ini sejalan dengan gagasan pengendalian loop tertutup pada sistem kendali kontemporer (Ogata, 2020). Fenomena ini jika dibandingkan dengan penggunaan sensor tanpa kalibrasi akan menunjukkan bahwa kalibrasi sensor kelembaban tanah menggunakan regresi linier dapat meningkatkan akurasi pembacaan kelembaban pada media tanah. Penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa kalibrasi sensor sangat penting untuk sistem pemantauan berbasis mikrokontroler (Obaideen et al., 2022).

Secara keseluruhan, pengujian sistem menunjukkan bahwa suhu, kelembaban udara, dan kelembaban tanah dapat dijaga pada tingkat yang ideal selama periode pengamatan. Berhasil, data yang dibaca sensor ditampilkan pada layar penampil elektronik dan disimpan dalam sistem penyimpanan data hasil pengukuran. Data hasil pengujian dianalisis untuk mengevaluasi kapasitas sistem untuk menyesuaikan kondisi lingkungan tanaman dengan parameter pertumbuhan ideal tanaman sawi. Hasil kalibrasi sensor kelembaban tanah menunjukkan hubungan linier antara tegangan keluaran sensor dan kadar air tanah, dengan persamaan regresi linier $y = 27,259x - 25,466$. Sistem dapat dengan tepat mengidentifikasi tingkat kelembaban tanah dan mengaktifkan perangkat katup solenoid ketika kadar air media tanah berada pada level di bawah batas minimum.



Gambar 2. Pertumbuhan tanaman pada kelembapan total

2. Pembahasan Pengaruh Kondisi Pencahayaan, Intensitas, dan Jarak Lampu *Grow light* terhadap Pertumbuhan Tanaman

Merujuk kepada data yang disajikan pada tabel 4 dapat di asumsikan bahwa perlakuan penanaman dengan tiga kondisi pencahayaan berbeda, yaitu sinar matahari langsung, pencahayaan hidroponik, dan kondisi tanpa cahaya (ruangan gelap) menunjukkan perbedaan tanggapan terhadap pertumbuhan tanaman. Tanaman yang memperoleh sinar matahari dan pencahayaan hidroponik menunjukkan pola pertumbuhan yang serupa, sementara tanaman yang ditempatkan pada kondisi gelap tetap mengalami pertumbuhan namun dengan tingkat pertumbuhan yang berbeda dengan tanaman yang mendapatkan pencahayaan langsung. Tanaman yang memperoleh perlakuan pencahayaan hidroponik seperti yang ditunjukkan oleh hasil

penelitian ini hanya mengalami sedikit perlambatan pertumbuhan dari tanaman yang mendapat perlakuan pencahayaan langsung dari matahari. Indikator penting selanjutnya yang dapat menjadi faktor penting dalam pertumbuhan tanaman adalah jarak antara tanaman dan sumber cahaya lampu *grow light* yang ternyata juga sangat memberikan pengaruh terhadap tingkat pertumbuhan tanaman. Ini terkait dengan fakta bahwa tanaman membutuhkan spektrum cahaya yang lebih mirip dengan spektrum cahaya matahari untuk mendukung proses fotosintesis secara efektif. Pada penelitian ini, jarak awal antara lampu *grow light* dan tanaman ditetapkan sekitar 20 cm. Jarak ini didasarkan pada hasil pengamatan yang dilakukan dalam penelitian ini, yang menemukan indikasi bahwa saat tanaman berada pada fase awal pertumbuhan yakni ketika ketinggian batangnya belum mencapai 10 cm, sebaiknya diupayakan agar jarak antara lampu dan media tanam diatur pada rentang jarak tidak lebih dari 20 cm, dan jika pertumbuhan batang tanaman telah melebihi 10 cm, maka jarak antara lampu glow light dan media tanah dapat dioptimalkan hingga sejauh 40 cm.

Tabel 4. Pertumbuhan Tanaman Menggunakan *Grow LED Hydroponic*

Hari	<i>Grow LED Hydroponic</i>	Matahari	Didalam Ruang
Ke	(cm)	(cm)	(cm)
4	2,5	2,7	1,2
5	2,6	2,8	1,2
6	2,7	2,9	1,3
7	2,7	3	1,3
8	2,8	3,1	1,3
9	2,9	3,1	1,4
10	3	3,2	1,4
11	3,1	3,3	1,5

Faktor penentu selanjutnya yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman dengan teknik penanaman berbasis lampu *grow light* adalah keseimbangan intensitas cahaya. Pertumbuhan daun yang jarang dan memanjang menunjukkan kondisi kekurangan cahaya, yang dapat disebabkan oleh jarak lampu yang terlalu jauh atau jumlah tanaman yang terlalu tinggi dalam satu sumber pencahayaan. Sebaliknya, pertumbuhan daun yang sangat rimbun dan menggerombol dapat menunjukkan penerimaan cahaya yang berlebihan. Ini dapat disebabkan oleh jarak lampu yang terlalu dekat atau jumlah tanaman yang tidak sebanding dengan sumber pencahayaan, sehingga perencanaan awal dalam menentukan luasan media tanam dan jumlah batang tanaman yang diprediksi akan tumbuh juga menjadi faktor penting lainnya untuk memperoleh hasil panen yang optimal.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pengaturan jarak antara tanaman dan lampu *grow light* berperan penting dalam mendukung pertumbuhan awal tanaman sawi pada lingkungan tertutup. Penetapan jarak pencahayaan sebesar 30 cm pada fase awal pertumbuhan (± 10 hari setelah tanam) dinilai mampu memberikan intensitas cahaya yang memadai tanpa menimbulkan stres cahaya pada tanaman. Penggunaan *grow light* sebagai sumber pencahayaan buatan juga berkontribusi dalam menjaga kestabilan proses fotosintesis, sehingga sistem budidaya dalam lingkungan tertutup tetap mampu mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal.

Selain itu, penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem pengkondisian lingkungan tanaman sawi berbasis mikrokontroler yang mampu memantau dan mengendalikan kelembaban tanah, suhu lingkungan, serta kelembaban udara relatif secara otomatis sesuai kebutuhan tanaman. Penerapan kalibrasi sensor *soil moisture* menggunakan regresi linier terbukti meningkatkan akurasi pembacaan sensor dan kinerja sistem secara keseluruhan. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dinilai efektif dalam mendukung budidaya tanaman sawi di lingkungan tertutup. Ke depan, pengembangan sistem dapat diarahkan pada integrasi konektivitas berbasis *wireless sensor network* (WSN) untuk mendukung pemantauan dan pengendalian jarak jauh secara real-time.

REFERENSI

- Awawda, J., & Ishaq, I. (2023). IoT smart irrigation system for precision agriculture. In *Intelligent Sustainable Systems: Selected Papers of WorldS4 2022, Volume 2* (pp. 335–346). Springer.
- Balas, V. E., Solanki, V. K., & Kumar, R. (2022). *Recent advances in internet of things and machine learning: Real-world applications*.
- Goyal, A., Kanyal, H. S., & Sharma, B. (2023). Analysis of IoT and blockchain technology for agricultural food supply chain transactions. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 11(3), 234–241.
- Jayaraman, P. P., Yavari, A., Georgakopoulos, D., Morshed, A., & Zaslavsky, A. (2016). Internet of things platform for smart farming: Experiences and lessons learnt. *Sensors*, 16(11), 1884.
- Maitra, M., Chatterjee, S., Mukhopadhyay, P., & Chakraborty, R. (2021). Optimisation of accelerated biodiesel production under *Near Infrared* radiation from de-oiled mustard and sunflower cakes. *Indian Chemical Engineer*, 63(2), 152–160.
- Obaideen, K., Yousef, B. A. A., AlMallahi, M. N., Tan, Y. C., Mahmoud, M., Jaber, H., & Ramadan, M. (2022). An overview of smart irrigation systems using IoT. *Energy Nexus*, 7, 100124.
- Ogata, K. (2020). *Modern control engineering*.
- Pivoto, D., Laimer, C. G., Mores, G. D. V., Waquil, P. D., Talamini, E., Dalla Corte, V., & De Matos, E. (2023). Smart Farming In Brazil: An Overview Of Technology, Adoption And Farmer Perception. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, 19(1).
- Raj, M., & Prahadeeswaran, M. (2025). Revolutionizing agriculture: a review of smart farming technologies for a sustainable future. *Discover Applied Sciences*, 7(9), 937.
- Sheikh, R. A., Ahmed, I., Faqihi, A. Y. A., & Shehawy, Y. M. (2025). Global perspectives on navigating Industry 5.0 knowledge: Achieving resilience, sustainability, and human-centric innovation in manufacturing. *Journal of the Knowledge Economy*, 16(5), 15997–16032.
- Srivastava, D. K., Kumar, V., Ekren, B. Y., Upadhyay, A., Tyagi, M., & Kumari, A. (2022). Adopting Industry 4.0 by leveraging organisational factors. *Technological Forecasting and Social Change*, 176, 121439.
- Sumarsono, J., Setiawan, B. I., Subrata, I. D. M., Waspodo, R. S. B., Saptomo, S. K., & Rejekiningrum, P. (2019). Rancangan sistem kendali kelembaban tanah berbasis mikrokontroler arduino. *Jurnal Keteknikaan Pertanian*, 7(1), 17–24.
- Westari, D., & Ilman, S. (2024). Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis IoT Menggunakan ESP32, Moisture Sensor, DHT22 Sensor dan Blynk. *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Informatika*, 3(4), 314–321.