

ANALISIS KONSEP FISIKA PADA TEKNOLOGI GREENHOUSE UNTUK PERTANIAN MODERN

Josita Agustia¹, Shafa Dwi Kamilah², Sudarti³, Kendid Mahmudi⁴

Email: agustiajosita26@gmail.com¹, shafadwi2701@gmail.com², sudarti.fkip@unej.ac.id³,
kendidmahmudi.fkip@unej.ac.id⁴

Universitas Jember

Abstrak: Perubahan iklim, keterbatasan lahan, dan meningkatnya kebutuhan pangan mendorong pengembangan teknologi pertanian yang lebih efisien dan adaptif. Salah satu Solusi yang berkembang adalah penggunaan greenhouse atau rumah kaca cerdas (smart greenhouse) yang menggunakan prinsip-prinsip fisika dengan teknologi informasi modern. Artikel ini mengkaji penerapan berbagai konsep fisika seperti termodinamika, control otomatis, dan system berbasis Internet of Things (IoT) dalam Pembangunan dan pengelolaan greenhouse. Studi literatur dari berbagai penelitian nasional dan internasional menunjukkan bahwa pengintegrasian teknologi ini mampu meningkatkan produktivitas, menghemat energi, dan menciptakan system pertanian yang lebih berkelanjutan. Temuan ini menegaskan pentingnya peran fisika dalam merancang Solusi inovatif untuk sektor pertanian masa depan.
Kata Kunci: Smart Greenhouse, Konsep Fisika, Pertanian Modern.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi greenhouse telah membawa perubahan signifikan dalam metode pertanian modern. Efisiensi energi menjadi fokus utama dalam pengembangan greenhouse, dengan tujuan untuk menciptakan lingkungan yang optimal bagi pertumbuhan tanaman. Jawad et al. (2025) menyatakan bahwa "Greenhouse modern memerlukan pengelolaan energi yang efisien untuk menjaga kenyamanan tanaman". Hal ini didukung oleh Penelitian Castro et al. (2024), yang menekankan bahwa "Integrasi teknologi efisien energi dalam greenhouse dapat secara signifikan mengurangi konsumsi energi dan meningkatkan keberlanjutan pertanian". Kedua pernyataan ini menegaskan pentingnya inovasi dalam mengurangi konsumsi energi dan meningkatkan keberlanjutan dalam praktik pertanian greenhouse.

Otomatisasi system dalam greenhouse merupakan langkah Panjang untuk meningkatkan efisiensi operasional. Huang (2023) menyoroti bahwa "Pengendalian manual dalam greenhouse seringkali tidak efisien". Oleh karena itu, penerapan sistem berbasis IoT dapat digunakan untuk "Budidaya anggrek dendrobium yang memerlukan perawatan insentif dengan kontrol suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya yang tepat". Teknologi ini memungkinkan pengaturan kondisi lingkungan yang lebih presisi, mengurangi intervensi manusia, dan meningkatkan produktivitas.

Internet of Things (IoT) memainkan peran penting dalam pengembangan smart greenhouse, memungkinkan pemantauan dan pengendalian jarak jauh. Iman & Widiono (2023) menyatakan bahwa "Perkembangan pertanian menghasilkan solusi inovatif terhadap permasalahan pangan, salah satunya Smart Greenhouse berbasis Internet of Things (IoT)". Sistem IoT memungkinkan petani untuk membantu kondisi greenhouse secara real-time dan melakukan penyesuaian dari mana saja. Fadhillah & Hardjianto (2022) menekankan perlunya peralihan dari metode manual dengan menyatakan, "Penggunaan sistem greenhouse yang diatur secara manual masih umum di Indonesia, sehingga diperlukan sistem otomatis untuk meningkatkan efisiensi". Ini

menunjukkan bahwa IoT adalah komponen penting dalam modernisasi pertanian greenhouse.

Penggunaan energi terbarukan, seperti photovoltaic, juga menjadi trend penting dalam teknologi greenhouse. Riansyah et al. (2023) mengusulkan “Penerapan Teknologi Smart Greenhouse Berbasis Photovoltaic dan IoT pada Budidaya Sayuran Hidroponik”. Mereka menemukan bahwa integrasi energi terbarukan dapat menghasilkan “Pengurangan biaya operasional dan peningkatan efisiensi dalam pengelolaan greenhouse”. Senada dengan itu, Budiyanto et al. (2023) menyimpulkan bahwa “Smart Greenhouse berbasis photovoltaic dan IoT merupakan solusi berkelanjutan untuk pertanian modern”. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi antara teknologi cerdas dan energi terbarukan menawarkan solusi yang efisien dan ramah lingkungan untuk pertanian.

Secara keseluruhan, perkembangan teknologi greenhouse menunjukkan tren yang kuat menuju efisiensi, otomatisasi, dan keberlanjutan. Integrasi energi terbarukan dan sistem cerdas seperti IoT menjadi kunci untuk mengoptimalkan produksi pertanian. Pergeseran dari metode manual ke sistem otomatis tidak hanya meningkatkan hasil panen tetapi juga mengurangi dampak lingkungan. Dengan demikian, inovasi dalam teknologi greenhouse memiliki potensi besar untuk mengubah masa depan pertanian, membuatnya lebih produktif dan berkelanjutan.

Metode penelitian

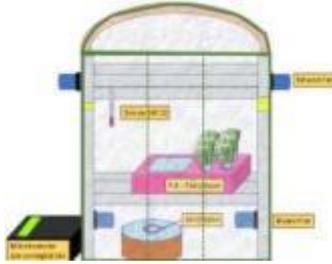
Penelitian ini disusun menggunakan pendekatan kajian pustaka (literature review) yang bertujuan untuk menelusuri, menganalisis, dan mensintesis berbagai hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penerapan konsep-konsep fisika dalam teknologi greenhouse modern. Metode ini dipilih karena sesuai untuk mengkaji perkembangan keilmuan lintas disiplin, khususnya di bidang fisika terapan, teknologi pertanian, dan rekayasa sistem kontrol otomatis.

Pengumpulan data dilakukan dengan menelusuri berbagai jurnal ilmiah nasional dan internasional melalui basis data seperti Google Scholar dan ResearchGate. Batas waktu publikasi yang digunakan adalah lima tahun terakhir (2020-2025) untuk memastikan bahwa kajian mencerminkan perkembangan terbaru dalam teknologi greenhouse. Hasil dari semua artikel ini dianalisis secara tematik untuk menunjukkan peran fisika dalam pengembangan teknologi greenhouse. Dengan pendekatan ini, diharapkan artikel ini dapat memberikan gambaran yang jelas dan terstruktur mengenai bagaimana fisika digunakan dalam menciptakan sistem pertanian yang lebih cerdas dan efisien.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengendalian Suhu dan Kelembapan Berbasis Fisika

Pengendalian suhu dan kelembapan merupakan elemen vital dalam sistem greenhouse untuk menjaga iklim mikro yang optimal bagi pertumbuhan tanaman. Khriswati et al. (2022) menerapkan metode regresi linier berganda berbasis Arduino, berhasil menurunkan suhu dan meningkatkan kelembapan dengan tingkat error yang rendah. Hal ini menunjukkan bahwa pengolahan data secara matematis dengan prinsip fisika statistik mampu memberikan hasil prediktif yang akurat dalam pengaturan iklim mikro.



Gambar 1. Pengendalian Suhu dan Kelembapan

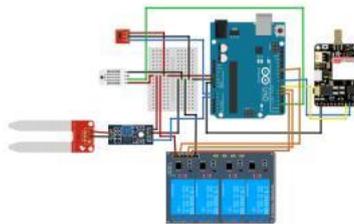
Sumber: Khriswati et al. (2022).

Putra et al. (2022) menambahkan dimensi kecerdasan buatan dengan menerapkan logika fuzzy yang dapat beradaptasi terhadap perubahan suhu dan kelembapan, mendukung pertumbuhan optimal tanaman kangkung. Hal ini sesuai dengan prinsip dasar sistem kendali adaptif dalam fisika teknik, yang memungkinkan sistem untuk bekerja dalam kondisi dinamis. Ananda et al. (2023) memperluas implementasi dengan penggunaan logika fuzzy Mamdani yang dikombinasikan dengan aplikasi IoT (Cayenne), memperkuat aspek kontrol otomatis real-time, yang menjembatani antara model matematis dan pengaturan aktual di lapangan.

Muhaimin et al. (2022) mengembangkan smart system greenhouse berbasis PLC untuk budidaya melon, yang mengintegrasikan sensor nutrisi tanah dan sistem otomatisasi berbasis aplikasi Blynk. Sistem ini memperlihatkan pertumbuhan tanaman melon yang lebih baik dan konsistensi kelembapan yang lebih tinggi, mendukung peran otomatisasi dalam menjaga kestabilan mikroklimat.

2. Teknologi IoT dan Integrasi Sensor

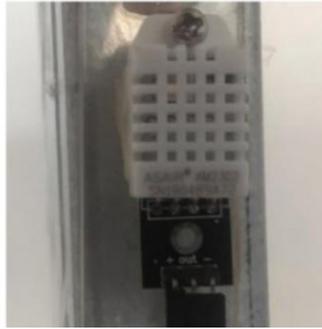
IoT menjadi tulang punggung dari smart greenhouse. Rasyid et al. (2023) mengintegrasikan sensor DHT22, YL-69, dan TEMT6000 dalam sistem berbasis Arduino Uno, memungkinkan pemantauan jarak jauh melalui modul GSM. Efektivitas sistem ini tidak hanya dilihat dari sisi teknis (100%) dan efisiensi (95%), tetapi juga ketahanan dan estetika, yang penting dalam aplikasi praktis di lapangan.



Gambar 2. Desain rangkaian alat berbasis Arduino uno

Sumber: Rasyid et al. (2023).

Fibriani & Widjonarko (2020) mengembangkan sistem WSN berbasis protokol Zigbee yang dapat mentransmisikan data hingga 100 meter tanpa packet loss. Hal ini menunjukkan pemahaman prinsip elektromagnetik dan transmisi sinyal dalam fisika komunikasi. Nurrahmi et al. (2023) menambahkan aspek akuator dengan penyiraman otomatis pada anggrek, menegaskan bahwa interaksi antara sensor dan akuator dalam sistem tertutup adalah realisasi konkret dari konsep sistem umpan balik (feedback loop) dalam fisika kontrol. Iqbal et al. (2024) memperkenalkan penggunaan protokol ESP-NOW dalam monitoring suhu dan kelembapan greenhouse, meningkatkan kecepatan dan stabilitas pengiriman data real-time tanpa kebutuhan jaringan Wi-Fi tradisional.



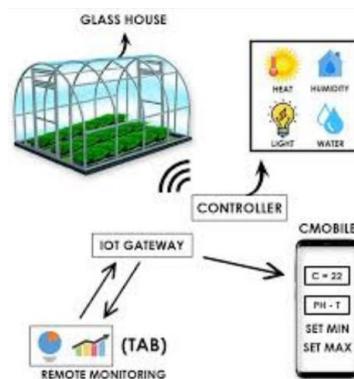
Gambar 3. Penyiraman otomatis dan penjagaan kelembapan menggunakan sensor DHT22

Sumber: Nurrahmi et al. (2023).

3. Model Simulasi Berbasis Fisika

Simulasi iklim mikro dalam greenhouse sangat terbantu dengan model berbasis fisika. Faniyi & Luo (2023) memodifikasi model suhu udara dinamis untuk pengendalian suhu yang lebih presisi dan hemat energi, dengan kontrol PI yang meminimalkan osilasi suhu. Nguyen et al. (2022) bahkan menggunakan sistem persamaan diferensial linier yang dapat dibedakan (differentiable), memungkinkan interpretasi sistemik dari dinamika pertumbuhan tanaman dalam jangka panjang.

Hull et al. (2024) menggunakan model digital twin dan support vector regression (SVR) untuk prediksi suhu, menunjukkan integrasi kuat antara model matematis, analisis regresi, untuk pemrosesan data real-time. RMSE yang rendah ($1,76^\circ$) dan nilai R^2 tinggi (0,9) menunjukkan bahwa model tersebut mampu merepresentasikan kondisi fisik aktual dengan sangat baik.



Gambar 4. Model digital twin, model simulasi berbasis fisika

Sumber: Hutt, et, al. (2024).

4. Optimalisasi Energi

Efisiensi energi merupakan salah satu fokus utama dalam pengembangan greenhouse modern. Castro et al. (2024) melaporkan bahwa sistem pemulihan panas dapat menghemat hingga 45,6% konsumsi energi tahunan, menunjukkan relevansi penerapan hukum pertama termodinamika dan efisiensi siklus kalor dalam konteks pertanian.

Boyaci et al. (2025) membandingkan efisiensi berbagai sumber pemanas, dan menemukan bahwa energi geotermal memiliki efisiensi tertinggi, terutama di wilayah dengan potensi panas bumi tinggi. Hamdane et al. (2023) mengevaluasi Earth-to-Air Heat Exchanger (EAHE) yang secara pasif menggunakan suhu tanah untuk pendinginan dan pemanasan. Sistem ini mampu menurunkan suhu hingga 5°C dan mengurangi emisi GRK hingga 25%, menunjukkan bahwa sistem berbasis konduksi dan konveksi alami sangat relevan untuk greenhouse tropis. Behroozeh et al. (2024) melengkapi temuan ini dengan

menunjukkan bahwa efisiensi energi greenhouse dapat ditingkatkan melalui peningkatan pengetahuan teknis petani dan penggunaan layanan edukatif berbasis teknologi, dengan rata-rata energi sebesar 0,72 pada greenhouse mentimun di Iran.



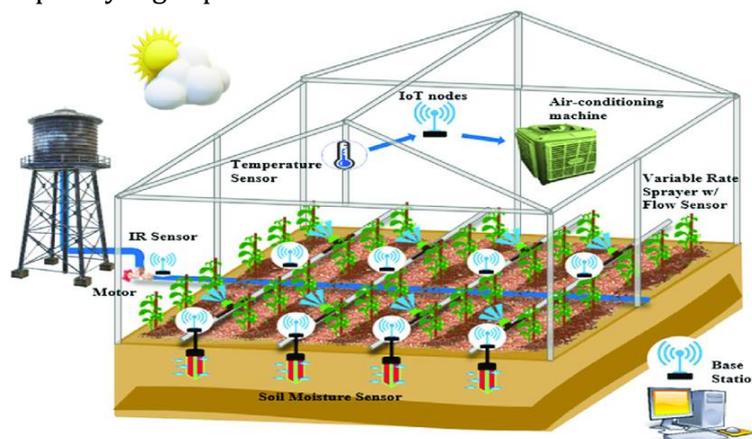
Gambar 5. sistem EAHE yang digunakan di rumah kaca.

Sumber: Hamdane et al. (2023).

5. Sistem Kontrol Otomatis dan Aplikasi Smart Greenhouse

Jawad et al. (2025) menunjukkan bahwa penggunaan algoritma Artificial Bee Colony (ABC) dalam kontrol fuzzy berhasil mengoptimalkan suhu, kelembapan, CO₂, dan pencahayaan, lebih unggul dibandingkan algoritma lain seperti GA dan ACO. Hal ini mencerminkan pentingnya penerapan teori optimalisasi dan heuristik dalam fisika komputasi. Wahyudi et al. (2025) mengembangkan sistem irigasi otomatis berbasis IoT menggunakan sensor kelembapan tanah dan ESP32, yang mampu mengurangi penggunaan air hingga 30%.

Mughdhor et al. (2024) dan Mas et al. (2023) memfokuskan pada budidaya anggrek dengan IoT, menggabungkan sensor cahaya (BH1750) dan suhu (DHT22) untuk kontrol intensitas dan penyiraman. Integrasi teknologi ini memungkinkan pemeliharaan kondisi stabil sepanjang waktu, dengan akurasi sensor tinggi (di atas 98%), mendukung pertumbuhan anggrek yang lebih cepat dan sehat. Khairiyah & Hernando (2023) memperkenalkan smart greenhouse berbasis telegram, yang memungkinkan monitoring dan pengendalian otomatis penyiraman tanaman hidroponik urban dengan akurasi tinggi dan kecepatan respons yang cepat.



Gambar 6. Sistem Smart Greenhouse dengan Algoritma ABC

Sumber: Jawad et al. (2025)

6. Aplikasi pada Tanaman Spesifik

Nurrahmi et al. (2023) merancang sistem penyiraman otomatis pada tanaman anggrek berbasis Arduino dan sensor DHT22. Sistem ini berhasil melakukan penyiraman berdasarkan parameter suhu dan kelembapan yang ditetapkan, serta meningkatkan

konsistensi pertumbuhan tanaman secara signifikan. Mas et al. (2023) juga mengembangkan sistem monitoring cerdas berbasis IoT untuk tanaman anggrek, menggunakan sensor suhu dan kelembapan tanah serta platform Thingspeak untuk pemantauan daring. Hasil penelitian menunjukkan sistem ini efektif menjaga kondisi tanah dan udara tetap ideal, dengan akurasi sensor mencapai hampir 100%.

Murtianta et al. (2022) mengembangkan smart indoor greenhouse untuk budidaya selada di Kota Kupang menggunakan ESP32 dan sensor kelembapan tanah. Sistem ini terbukti meningkatkan pertumbuhan tanaman dibandingkan metode konvensional, dengan kontrol penuh terhadap suhu, penyiaran, dan kelembapan secara otomatis. Budiyo et al. (2023) meneliti penerapan smart greenhouse berbasis photovoltaic dan IoT yang digunakan dalam budidaya tanaman hidroponik. Sistem ini tidak hanya mengurangi biaya operasional tetapi juga meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi surya secara signifikan. Oktaviani et al. (2023) menciptakan sistem suhu otomatis berbasis IoT untuk budidaya stroberi di iklim tropis Padang. Sistem ini menjaga suhu antara 22-28°C dengan akurasi pengukuran 99,88% dan kontrol kipas otomatis berbasis NodeMCU. Rivana et al. (2023) mengembangkan sistem pemantauan pH dan nutrisi berbasis IoT dengan akurasi pengukuran tinggi (error di bawah 3%) yang meningkatkan efisiensi pertanian hidroponik. Hariyanto (2023) menerapkan teknologi greenhouse dan hidroponik di Desa Dlanggu sebagai respons adaptif terhadap perubahan iklim. Sistem ini meningkatkan stabilitas hasil panen dan efisiensi penggunaan air. Bafdal & Ardiansah (2021) menambahkan dimensi penting melalui pengembangan sistem IoT untuk mengelola iklim budidaya tomat. Sistem ini memungkinkan kontrol suhu dan kelembapan secara otomatis, meningkatkan kualitas pertumbuhan tomat dan mengurangi ketergantungan pada intervensi manual.

KESIMPULAN

Berdasarkan tinjauan dari 30 jurnal ilmiah, dapat disimpulkan bahwa integrasi konsep-konsep fisika dalam sistem teknologi greenhouse memberikan dampak signifikan terhadap efisiensi dan produktivitas pertanian. Implementasi prinsip termodinamika, kendali otomatis, dan pemanfaatan sensor telat memungkinkan pengaturan lingkungan mikro tanaman secara presisi. Penerapan teknologi berbasis IoT juga memfasilitasi kontrol dan pemantauan jarak jauh secara real-time, yang secara langsung berkontribusi pada optimalisasi pertumbuhan tanaman dan penghematan sumber daya.

Selain itu, inovasi dalam simulasi berbasis fisika dan penggunaan algoritma optimasi menunjukkan potensi yang besar untuk meningkatkan adaptabilitas sistem terhadap perubahan iklim dan kebutuhan spesifik tanaman. Teknologi energi terbarukan, seperti photovoltaic dan pemulihan panas, memperkuat kontribusi greenhouse sebagai solusi pertanian berkelanjutan. Oleh karena itu, kolaborasi multidisipliner yang menggabungkan fisika, teknologi informasi, dan ilmu pertanian perlu terus dikembangkan dalam skala yang lebih luas, termasuk uji coba industri dan penerapan kebijakan pendukung dan pemerintah.

DAFTAR PUSTAKA

- Ananda, Y., Ichsan, M. H., & Budi, A. S. (2023). Sistem Kontrol Monitoring Prototype Smart Green House pada Tanaman Stroberi menggunakan Logika Fuzzy berbasis Aplikasi Cayenne. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 7(2), 992-1002.
- Annisa Mutia Oktaviani, Yulkifli, Alwi Norfriadi. (2023). Rancang Bangun Sistem Kontrol dan Monitoring Suhu Udara pada Smart Farming Stroberi Berbasis IoT. *Jurnal Pendidikan*

- Tambusai, 7(3), 25526-25535.
- Bafdal, N., & Ardiansyah, I. (2021). Application of Internet of Things in smart greenhouse microclimate management for tomato growth. *International Journal of Advanced Science, Engineering and Information Technology* 11(2), 427-432.
- Behroozeh, S., Hayati, D., Karami, E., Narriri, S. M., & Rezaei-Moghaddam, K. (2024). Evaluation and comparison of energy use efficiency among cucumber Greenhouses. *Frontiers in Sustainable Food System*, 8, 1427530.
- Boyaci, S., Kociecka, J., Jagosz, B., & Atilgan, A. (2025). Energy Efficiency in Greenhouses and Comparison of Energy Sources Used for Heating. *Energies*, 18(3), 724.
- Budyanto, H., Setiawan, A. B., & Siswati, A. (2023). Penerapan Teknologi Smart Greenhouses Berbasis Photovoltaic dan IoT. *Jurnal Abdimas Universal*.
- Castro, R. P., Dinho da Silva, P., & Pires, L. C. C. (2024). Advances in Solutions to Improve the Energy Performance of Agricultural Greenhouses. *Applied Sciences*, 14(24).
- Fadhilah, F., & Hardjianto, M. (2022). Sistem Monitoring dan Kendali Tanaman Hidroponik berbasis Internet of Things pada smart Greenhouses. *Jurnal TICOM*, 11(1), 39-43.
- Faniyi, B., & Luk, Z. (2023). A physic-based modelling and Control of Greenhouses System Air Temperatur Aided by IoT Technology. *Energies*, 16(6), 2708.
- Fibriani, I., & Widjonarko, W. (2020). Sistem Monitoring dan Kontrol Tanaman Kopi untuk Smart Greenhouses. *INAJEE*, 3(1), 1p-14.
- Hamdans, S., Pires, L. C. C., Silva, P. D., & Gaspar, P. D. (2023). Evaluating the Thermal Performance and Environmental Impact of Agricultural Greenhouses. *Applied Sciences*, 13(2), 1119.
- Hariyanto, M. T. (2023). Pemanfaatan Teknologi Greenhouses dan Hidroponik Sebagai Solusi Menghadapi Perubahan Iklim. *Prosiding Patriot Mengabdi*, 2(01), 298-304.
- Hyang, M. (2023). Design of Intelligent Greenhouses Control System based on MEGA and PLC. *Journal of Physic: Conference Series*, 2510(1), 012022
- Hull, K., van Schalkwyk, P. D., Mabitsela, M., Phiri, E. E., & Booysen, M. J. (2024). Modelling the Temperature Inside a Greenhouses Tunnel. *AgriEneering*, 6(1), 285-301.
- Iman, A. N., & Widiono, S. (2023). Perancangan Aplikasi Smart Greenhouses Berbasis IoT. *Jurnal Informatika dan Rekayasa Elektronik*, 7(2).
- Iqbal, M., Hartawan, L., & Nugraha, N. (2024). Sistem Monitoring Temperatur dan Kelembapan Greenhouse dengan ESP-NOW. *Jurnal Rekayasa Energi dan Mekanika*, 4(1), 79.
- Jawad, M., Wahid, F., Ali, S., Ma, Y., Alkhyyat, A., Khan, J., & Lee, Y. (2025). Energy Optimizatiom and Plant Comfort Management. *Scientific Repost*, 15(1), 1752.
- Khairiyah, H., & Hernando, L. (2023). Smart Greenhouses Untuk Budidaya Tanaman Hidroponik Menggunakan Arduino Berbasis Telegram. *Jurnal Quancom*, 1(1), 21-26.
- Khriswanti, J. T., Fitriyah, H., & Prasetio, B. H. (2022). Sistem Pengendali Suhu dan Kelembapan Prototipe Greenhouses. *JPTIIK*, 6(4), 1531-1538.
- Mas, F. A. R., Suciyati, S. W., Pauzi, G. A., & Junaidi. (2023). Smart Greenhouses Monitoring Berbasis IoT. *Journal of Energy, Material, and Indteumentation Technology*, 3(3).
- Muhaimin, M. Y., Annisa, A. R., & Montolalu, B. (2022). Rancangan Bangun Smart System Greenhouse Untuk Budidaya Melon. *JoTI*, 4(1), 26-30.
- Mughdhor, M. R., Murtono, A., & Budi, E. S. (2024). Rancang Bangun Sistem Kendali dan Monitoring Smart Greenhouse. *Metrotech*, 3(1), 32-39.
- Murtianta, B., Ronaldo, S. D., & Susilo, D. (2022). Smart Indoor Greenhouse untuk Selada. *Techne*, 21(2), 297-310.
- Nguyen, N. M., Tran. H. T., Duong, M. V., Bui, H., & Tran, K. (2022). Differentiable Physics-based Greenhouses Simulation. *arXiv*. 2211.11502.
- Nurrahmi, S., Miseldi, N., & Syamsu, S. H. (2023). Sistem Penyiraman Otomatis Greenhouse Tanaman Anggrek. *Pendidikan Fisika*, 11(1), 33-43.
- Putra, Y. A., Nasution, I. S., & Munawar, A. A. (2022). Pengendalian Kondisi Lingkungan Greenhouse. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 7(1), 482-491.
- Rasyid, A. N., Hamdani, D., & Setiawan, I. (2023). Smart Greenhouse Berbasis Arduino Uno.

Amplitudo, 2(2), 125-132

Riansyah, A., Sagaf, M., & Ismail, M. (2023). Smart Greenhous Berbasis Photovoltaic dan IoT. *Abdimas Universal*, 5(2), 284-288.

Rivana, R. R., Made, M. R., & Jaenudin, J. (2p23). Sistem Monitoring Nutrisi dan PH Air. *Jurnal Elektronika dan Otomatis*, 10(3).

Wahyudi, W., Pradana, A. I., & Pertamasari, H. (2025). Implementasi Sistem Irigasi Otomatis Berbasis IoT. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia*, t(2), 435-446.