

## PERANCANGAN GREENHOUSE AEROPONIK BERBASIS IOT UNTUK OPTIMALISASI MIKROKLIMAT PEMBIBITAN KENTANG DI DATARAN TINGGI TROPIS

Ilham Ariawan Al Ashar<sup>1</sup>, Jenny Febrina Andini<sup>2</sup>, Hermawan<sup>3</sup>, Ahmad Irfa'i<sup>4</sup>, Gusti Ilman Prayoga<sup>5</sup>, Ghani Al Fatah<sup>6</sup>, Bunga Seroja Sanra Azzahra<sup>7</sup>, Aditya Dwi Anggoro<sup>8</sup>, Slamet Miftahul Huda<sup>9</sup>, Azzam Khoiirullah<sup>10</sup>, Abi Thri Nur Rozabin<sup>11</sup>, Ahmad Latif Hendrawan<sup>12</sup>, Amy Puspita<sup>13</sup>, Zayyana Maulida<sup>14</sup>

<sup>1</sup>Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)  
[ilhamalashar2@gmail.com](mailto:ilhamalashar2@gmail.com)

<sup>2</sup>Arsitektur, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)  
[Jeyniefibr@gmail.com](mailto:Jeyniefibr@gmail.com)

<sup>3</sup>Arsitektur, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)  
[hermawan@unsiq.ac.id](mailto:hermawan@unsiq.ac.id)

<sup>4</sup>Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)  
[ahmadokeypunya8899@gmail.com](mailto:ahmadokeypunya8899@gmail.com)

<sup>5</sup>Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)  
[gustiyoga234@gmail.com](mailto:gustiyoga234@gmail.com)

<sup>6</sup>Teknik Informatika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)  
[ghanzalfatah23@gmail.com](mailto:ghanzalfatah23@gmail.com)

<sup>7</sup>Arsitektur, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)  
[azbunga25@gmail.com](mailto:azbunga25@gmail.com)

<sup>8</sup>Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)  
[adityadwianggoro13@gmail.com](mailto:adityadwianggoro13@gmail.com)

<sup>9</sup>Arsitektur, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)  
[unyaksudemplo@gmail.com](mailto:unyaksudemplo@gmail.com)

<sup>10</sup>Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)  
[asabilisucisulton@gmail.com](mailto:asabilisucisulton@gmail.com)

<sup>11</sup>Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)  
[Abithri04@gmail.com](mailto:Abithri04@gmail.com)

<sup>12</sup>Manajemen Informatika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)  
[ahmadlatifhendrawan@gmail.com](mailto:ahmadlatifhendrawan@gmail.com)

<sup>13</sup>Manajemen Informatika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)  
[amypuspita51@gmail.com](mailto:amypuspita51@gmail.com)

<sup>14</sup>Teknik Informatika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)  
[zayyanamaulida1@gmail.com](mailto:zayyanamaulida1@gmail.com)

### \*Corresponding author

To cite this article: Al Ashar, I. A., Andini, J. F., Hermawan, H., Irfa'i, A., Prayoga, G. I., Al Fatah, G., Azzahra, B. S. S., Anggoro, A. D., Huda, S. M., Khoirullah, A. G., Rozabin, A. T. N., Hendrawan, A. L., Puspita, A., & Maulida, Z. (2025): Perancangan Greenhouse Aeroponik Berbasis Iot Untuk Optimalisasi Mikroklimat Pembibitan Kentang di Dataran Tinggi Tropis, Jurnal Ilmiah Arsitektur, 15(2), 105-116

### Author information

Ilham Ariawan Al Ashar : fokus riset bidang Teknik Mesin Energi Baru Terbarukan. Orcid ID :-, Scopus ID :-, Sinta ID :-

Jenny Febrina Andini: fokus riset bidang Perumahan. Orcid ID :-, Scopus ID :-, Sinta ID :-

Hermawan, fokus riset bidang arsitektur kenyamanan termal dan kearifan lokal, ORCID : 0000-0002-1372-4206, Scopus ID : 58542756300, Sinta ID : 5974550  
Ahmad Irfa'l : fokus riset bidang Manufaktur. Orcid ID : - , Scopus ID : - , Sinta ID : -  
Gusti Ilman Prayoga : fokus riset bidang Kontruksi Jalan Beton. Orcid ID : - , Scopus ID : - , Sinta ID : -  
Ghani Al Fatah : fokus riset bidang Website dan Mobile. Orcid ID : - , Scopus ID : - , Sinta ID : -  
Bunga Seroja Sanra Azzahra: fokus riset bidang Arsitektur Permukiman. Orcid ID :- , Scopus ID :- , Sinta ID :  
Aditya Dwi Anggoro: fokus riset bidang Manufaktur. Orcid ID : - , Scopus ID : - , Sinta ID : -  
Slamet Miftahul Huda : fokus riset bidang arsitektur tradisional,. Orcid ID : - , Scopus ID : - , Sinta ID : -  
Azzam Ghazi Khoirullah : fokus riset bidang Manufaktur. Orcid ID : - , Scopus ID : - , Sinta ID : -  
Abi Thri Nur Rozabin: fokus riset bidang Kontruksi Gedung. Orcid ID : - , Scopus ID : - , Sinta ID : -  
Ahmad Latif Hendrawan: fokus riset bidang Pembuatan Website. Orcid ID : - , Scopus ID : - , Sinta ID : -  
Amy Puspita: fokus riset bidang Pembuatan Website. Orcid ID : - , Scopus ID : - , Sinta ID : -  
Zayyana Maulida: fokus riset bidang Website dan Mobile. Orcid ID : - , Scopus ID : - , Sinta ID : -

### Homepage Information

Journal homepage : <https://ojs.unsiq.ac.id/index.php/jiars>  
Volume homepage : <https://ojs.unsiq.ac.id/index.php/jiars/issue/view/488>  
Article homepage : <https://ojs.unsiq.ac.id/index.php/jiars/article/view/10329>

## PERANCANGAN GREENHOUSE AEROPONIK BERBASIS IOT UNTUK OPTIMALISASI MIKROKLIMAT PEMBIBITAN KENTANG DI DATARAN TINGGI TROPIS

Ilham Ariawan Al Ashar<sup>\*1</sup>, Jenny Febrina Andini<sup>2</sup>, Hermawan<sup>3</sup>, Ahmad Irfa'1<sup>4</sup>, Gusti Ilman Prayoga<sup>5</sup>, Ghani Al Fatah<sup>6</sup>, Bunga Seroja Sanra Azzahra<sup>7</sup>, Aditya Dwi Anggoro<sup>8</sup>, Slamet Miftahul Huda<sup>9</sup>, Azzam Khozi Khoirullah<sup>10</sup>, Abi Thri Nur Rozabin<sup>11</sup>, Ahmad Latif Hendrawan<sup>12</sup>, Amy Puspita<sup>13</sup>, Zayyana Maulida<sup>14</sup>

<sup>1</sup>Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)

[ilhamalashar2@gmail.com](mailto:ilhamalashar2@gmail.com)

<sup>2</sup>Arsitektur, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)

[Jeyniefibr@gmail.com](mailto:Jeyniefibr@gmail.com)

<sup>3</sup>Arsitektur, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)

[hermawan@unsiq.ac.id](mailto:hermawan@unsiq.ac.id)

<sup>4</sup>Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)

[ahmadokeypunya8899@gmail.com](mailto:ahmadokeypunya8899@gmail.com)

<sup>5</sup>Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)

[gustiyoga234@gmail.com](mailto:gustiyoga234@gmail.com)

<sup>6</sup>Teknik Informatika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)

[ghanzalfatah23@gmail.com](mailto:ghanzalfatah23@gmail.com)

<sup>7</sup>Arsitektur, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)

[azbunga25@gmail.com](mailto:azbunga25@gmail.com)

<sup>8</sup>Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)

[adityadwianggoro13@gmail.com](mailto:adityadwianggoro13@gmail.com)

<sup>9</sup>Arsitektur, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)

[unyaksudemplo@gmail.com](mailto:unyaksudemplo@gmail.com)

<sup>10</sup>Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)

[asabilisucisulton@gmail.com](mailto:asabilisucisulton@gmail.com)

<sup>11</sup>Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)

[Abithri04@gmail.com](mailto:Abithri04@gmail.com)

<sup>12</sup>Manajemen Informatika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-

Qur'an) [ahmadlatifhendrawan@gmail.com](mailto:ahmadlatifhendrawan@gmail.com)

<sup>13</sup>Manajemen Informatika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-

Qur'an) [amypuspita51@gmail.com](mailto:amypuspita51@gmail.com)

<sup>14</sup>Teknik Informatika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)

[zayyanamaulida1@gmail.com](mailto:zayyanamaulida1@gmail.com)

---

### INFO ARTIKEL

#### Riwayat Artikel :

Diterima : 7 Oktober 2025

Direvisi : 19 November 2025

Disetujui : 18 Desember 2025

Diterbitkan : 31 Desember 2025

#### Kata Kunci :

arsitektur tropis adaptif, greenhouse aeroponik, IoT, smart architecture.

### ABSTRAK

Ketersediaan pangan global menghadapi tekanan besar akibat perubahan iklim dan pertumbuhan populasi yang pesat, sehingga diperlukan inovasi arsitektur pertanian yang adaptif terhadap dinamika lingkungan. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengembangkan *greenhouse* aeroponik berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan pendekatan *experimental design-based research* serta berfokus pada *metode smart architecture engineering* untuk mendukung pembibitan kentang (*Solanum tuberosum* L.) di dataran tinggi tropis. Sistem dirancang sebagai ruang arsitektural responsif yang mampu mengontrol suhu, kelembapan, dan pencahayaan secara real-time melalui sensor DHT22, BH1750, dan pH-TDS meter yang terhubung ke mikrokontroler

ESP32. Implementasi desain adaptif berstruktur baja ringan dengan ventilasi silang dan material reflektif terbukti menjaga stabilitas suhu dalam rentang 18–21 °C dan kelembapan 80–90%, sesuai kebutuhan fisiologis tanaman. Hasil uji lapangan menunjukkan bahwa integrasi arsitektur tropis adaptif dan sistem kontrol IoT menghasilkan lingkungan iklim mikro yang stabil dengan efisiensi energi dan air yang tinggi. Penelitian ini menegaskan peran arsitektur dalam konteks pertanian presisi sebagai sistem termal dinamis yang responsif terhadap perubahan iklim. Model *Sustainable Smart Greenhouse Architecture* yang dihasilkan berpotensi menjadi solusi replikatif untuk kawasan dataran tinggi Indonesia dalam mewujudkan transformasi digital pertanian dan ketahanan pangan berkelanjutan.

## ARTICLE INFO

### Article History :

Received : October 7, 2025

Revised : November 19, 2025

Accepted : December 18, 2025

Publisihed: December 31, 2025

### Keywords:

adaptive tropical  
architecture, aeroponic  
greenhouse, IoT, smart  
architecture.

## ABSTRACT

*Global food availability is under increasing pressure due to climate change and rapid population growth, necessitating adaptive agricultural architecture innovations that respond to dynamic environmental conditions. This study aims to design and develop an Internet of Things (IoT)-based aeroponic greenhouse using an experimental design-based research approach, with a focus on smart architecture engineering to support potato ( Solanum tuberosum L.) seedling production in tropical highland regions. The system is conceived as a responsive architectural space capable of real-time control of temperature, humidity, and lighting through integrated DHT22, BH1750, and pH-TDS sensors connected to an ESP32 microcontroller. The implementation of an adaptive design utilizing lightweight steel structures, cross-ventilation strategies, and reflective materials effectively maintained thermal stability within the optimal temperature range of 18–21 °C and relative humidity of 80–90%, aligning with the physiological requirements of potato plants. Field test results demonstrate that the integration of adaptive tropical architecture and IoT-based control systems generates a stable microclimate with high energy and water efficiency. This study highlights the critical role of architecture in precision agriculture as a dynamic thermal system responsive to climate variability. The proposed Sustainable Smart Greenhouse Architecture model offers strong potential as a replicable solution for Indonesia's highland regions, supporting digital agricultural transformation and long-term food security.*

## PENDAHULUAN

Ketersediaan pangan Global saat ini menghadapi tantangan besar akibat perubahan iklim dan pertumbuhan populasi yang terus meningkat. Menurut *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2018), diperkirakan bahwa kebutuhan pangan global akan meningkat hingga 60% pada tahun 2050, sementara luas lahan pertanian yang produktif mengalami penurunan yang signifikan. Di Indonesia, salah satu komoditas yang sangat penting dan berkontribusi pada ketahanan pangan adalah kentang (*Solanum tuberosum L.*). Berdasarkan informasi dari Badan Pusat Statistik (Dirjen Horti Kementan, 2024), produksi kentang nasional pada tahun 2023 mencapai sekitar 1,33 juta ton, dengan kontribusi terbesar berasal dari daerah dataran tinggi seperti Dieng, Berastagi, dan Pangalengan. Meskipun demikian, produktivitas kentang masih berfluktuasi karena ketergantungan pada kondisi iklim dan metode budidaya tradisional.

Salah satu tantangan utama dalam budidaya kentang di daerah dataran tinggi tropis adalah variasi

mikroiklimat yang sulit untuk dikendalikan. Perbedaan suhu yang ekstrem antara siang dan malam, tingkat kelembapan yang tinggi, serta hujan yang tidak teratur sering kali menyebabkan stres fisiologis pada tanaman, meningkatkan kemungkinan terjadinya penyakit seperti *Phytophthora infestans* (Febrianto et al., 2024). Ketidakstabilan dalam lingkungan ini menghambat pembentukan umbi mini (minituber) yang berkualitas dan mengurangi efektivitas pertumbuhan bibit unggul. Keadaan tersebut menegaskan pentingnya adanya sistem pengendalian lingkungan yang dapat menjaga stabilitas suhu, kelembapan, dan cahaya pada tingkat yang optimal selama seluruh siklus pertumbuhan tanaman.

Sistem pertanian tradisional yang dilakukan di lahan terbuka menghadapi sejumlah keterbatasan yang signifikan dalam mengelola faktor lingkungan, terutama di kawasan tropis yang mengalami perubahan iklim yang sangat beragam. Penggunaan tanah sebagai media tanam sering kali menciptakan masalah terkait efisiensi penggunaan air, infeksi oleh

mikroba patogen, serta ketidakseimbangan kadar nutrisi (Sumarni et al., 2019). Sebaliknya, metode modern seperti hidroponik dan aeroponik menyediakan opsi pertanian tanpa menggunakan tanah, dengan kontrol nutrisi yang lebih akurat. Meskipun demikian, penerapan aeroponik di Indonesia masih terbatas kepada tingkat penelitian atau laboratorium dan jarang diadopsi secara luas dalam proses pembibitan kentang yang dilakukan di daerah dataran tinggi

Kemajuan teknologi *Internet of Things* (IoT) telah menciptakan banyak peluang untuk membuat pertanian presisi menjadi lebih baik. Teknologi ini memungkinkan pengukuran kondisi iklim mikro seperti suhu, kelembapan, intensitas cahaya, dan tingkat nutrisi secara langsung dengan menggunakan sensor digital yang terhubung ke sistem kontrol otomatis (Kerns & Lee, 2017). Dengan sistem kontrol yang berbasis IoT, perubahan kondisi lingkungan dapat disesuaikan secara langsung sesuai dengan kebutuhan tanaman, sehingga meningkatkan efisiensi dalam pemakaian energi, air, dan pupuk. Integrasi ini juga mengurangi lambatnya respon manusia terhadap perubahan lingkungan yang cepat terjadi di daerah dataran tinggi tropis (Salahas et al., 2025).

Konsep greenhouse Aeroponik menjadi solusi strategis dalam pengembangan sistem pertanian modern di wilayah dengan keterbatasan lahan dan kondisi topografi menantang. Dengan struktur desain yang fleksibel, kemudahan instalasi, serta efisiensi biaya pemeliharaan (Hugo et al., 2022). Selain itu, desain modular mendukung skalabilitas sistem aeroponik, yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan kapasitas produksi dan kondisi lahan dataran tinggi. Penerapan desain Greenhouse Aeroponik dapat di adopsi teknologi-Nya oleh petani skala menengah tanpa harus bergantung pada infrastruktur besar yang mahal.

Sebagian besar penelitian sebelumnya pada bidang greenhouse berbasis IoT di Indonesia masih berfokus pada fungsi monitoring pasif tanpa penerapan kontrol otomatis adaptif (Huda et al., 2023). Penelitian yang dilakukan oleh (Kurniawan et al., 2021) misalnya, hanya menekankan pemantauan suhu dan kelembapan tanpa sistem pengendali umpan balik (*feedback control*). Padahal, sistem *closed-loop control* sangat diperlukan untuk menjaga kestabilan iklim mikro yang konsisten. Kesenjangan ini menunjukkan peluang pengembangan riset terapan (*applied research*) yang menggabungkan teknologi sensor, algoritma kontrol, dan desain mekanik greenhouse modular secara integratif.

Pengembangan sistem greenhouse aeroponik berbasis IoT memiliki urgensi tinggi dalam mendukung transformasi digital pertanian di dataran tinggi Indonesia. Sistem ini diharapkan mampu menciptakan kondisi iklim mikro optimal untuk pembibitan kentang, meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, serta mengurangi dampak ketidakpastian iklim terhadap hasil produksi (Boursianis et al., 2022). Selain itu, teknologi ini

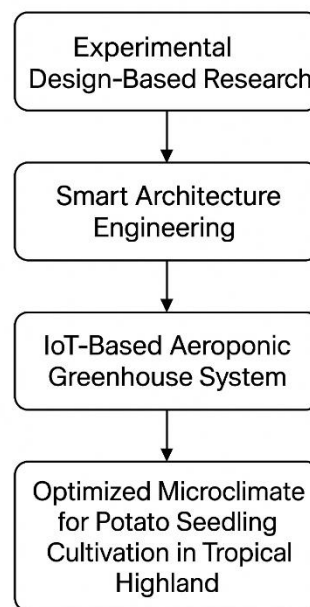
dapat menjadi dasar pengembangan model pertanian cerdas (*smart farming*) yang dapat diintegrasikan dengan sistem pertanian berkelanjutan dan mendukung agenda ketahanan pangan nasional.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini diarahkan untuk merancang dan mengembangkan greenhouse aeroponik berbasis *Internet Of Think* (IoT) yang mampu melakukan kontrol iklim mikro secara *real-time* dan adaptif di lingkungan dataran tinggi tropis. Sistem ini diharapkan dapat menjaga stabilitas suhu, kelembapan, dan nutrisi tanaman kentang selama fase pembibitan, sekaligus menjadi model inovatif dalam pengembangan *agriculture 4.0*. Dengan pendekatan integratif antara teknologi informasi, desain mekanik, dan sistem kontrol digital, penelitian ini berkontribusi pada peningkatan efisiensi pertanian presisi dan kemandirian pangan berkelanjutan di Indonesia.

## METODE

### Jenis dan Pendekatan Penelitian

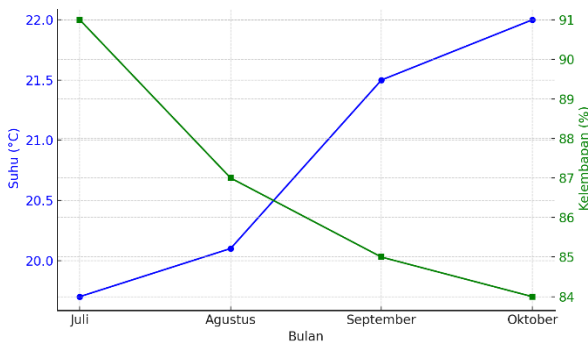
Penelitian ini menggunakan pendekatan rancang bangun eksperimental (*experimental design-based research*) dengan metode rekayasa arsitektur cerdas (*smart architecture engineering*). Tujuannya adalah menghasilkan sistem greenhouse aeroponik berbasis IoT yang secara fungsional mampu mengontrol dan mengoptimalkan iklim mikro pembibitan kentang di dataran tinggi tropis. Pendekatan ini memadukan disiplin arsitektur, agronomi, dan teknologi informasi, di mana sistem ruang dirancang tidak hanya sebagai wadah fisik, tetapi juga sebagai entitas adaptif yang bereaksi terhadap dinamika iklim mikro melalui mekanisme kontrol otomatis berbasis sensor (Săcăleanu et al., 2024).



Gambar 1. Alur Pendekatan Penelitian (Sumber: Penulis, 2025)

### Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di wilayah dataran tinggi Dieng, Kabupaten Wonosobo ( $\pm 1.800$  mdpl) yang memiliki karakteristik agroklimat tropis lembap dengan suhu rata-rata  $14-23^{\circ}\text{C}$ . Pemilihan lokasi ini didasarkan pada kondisi iklim ekstrem harian (fluktuasi suhu dan kelembapan tinggi) yang sering memengaruhi proses pembibitan kentang. Penelitian berlangsung selama 5 bulan (Juli–November 2025) mencakup tahap desain, konstruksi, kalibrasi sistem, serta uji performa lapangan.



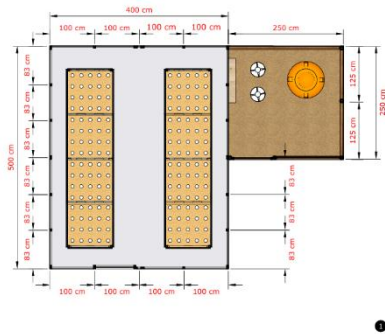
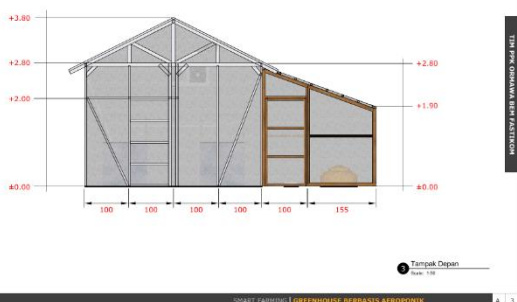
Gambar 2. Grafik Rata-rata Suhu dan Kelembapan di dataran tinggi dieng dari bulan Juli sampai Oktober 2025 (Sumber: Penulis, 2025)

### Rancangan Sistem dan Desain Greenhouse

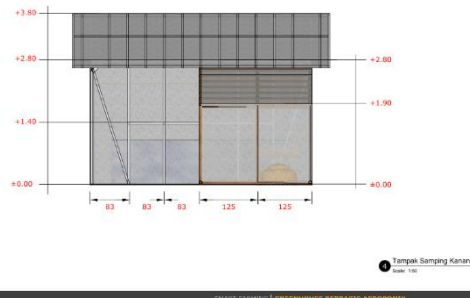
Rancangan greenhouse aeroponik ini mengusung prinsip arsitektur tropis adaptif dengan struktur baja ringan kanal C berukuran  $4\text{ m} \times 5\text{ m} \times 3,8\text{ m}$ . Sistem aeroponik tertutup dilengkapi nozzle atomizer  $0,2\text{ mm}$ , pompa tekanan tinggi  $310\text{ psi}$ , dan wadah nutrisi  $1500\text{ L}$  yang memastikan distribusi kabut nutrisi merata. Desain modular memungkinkan integrasi beberapa unit tanpa mengubah sistem kendali utama, menciptakan fleksibilitas ruang yang efisien dan mudah diperluas..

Desain sistem kontrol iklim mikro berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor DHT22 (suhu dan kelembapan), BH1750 (intensitas cahaya), serta pH-TDS sensor untuk mengukur konsentrasi nutrisi larutan. Data dikirim melalui koneksi Wi-Fi ke platform Tuya Smart Cloud, sehingga parameter dapat dipantau dan dikendalikan secara real-time melalui aplikasi ponsel.

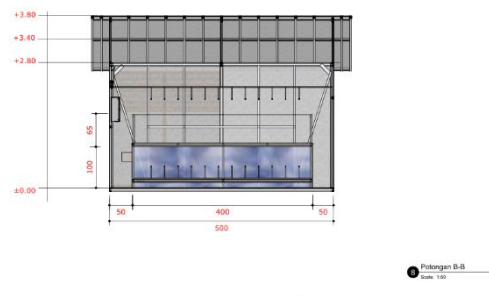
Gambar 3. Rancangan Gambar Kerja greenhouse (Sumber: Penulis, 2025)



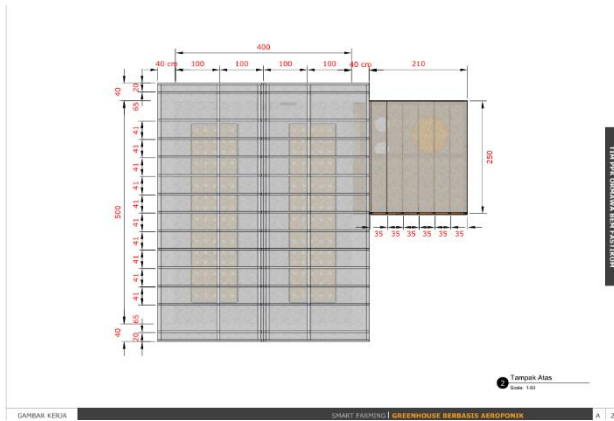
Gambar 4. Rancangan Gambar kerja tampak Depan (Sumber: Penulis, 2025)



Gambar 5. Rancangan Gambar kerja tampak samping (Sumber: Penulis, 2025)



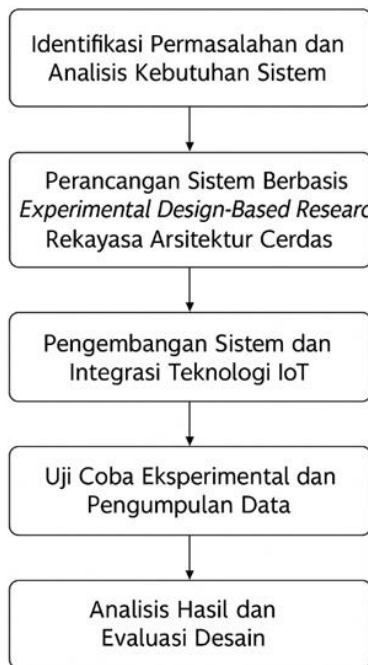
Gambar 6. Rancangan Gambar Kerja Bagian Dalam greenhouse (Sumber: Penulis, 2025)



Gambar 7. Rancangan Gambar Kerja Bagian Atas greenhouse (Sumber: Penulis, 2025)

### Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan melalui lima tahapan utama sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8. (Flowchart Metode Penelitian).

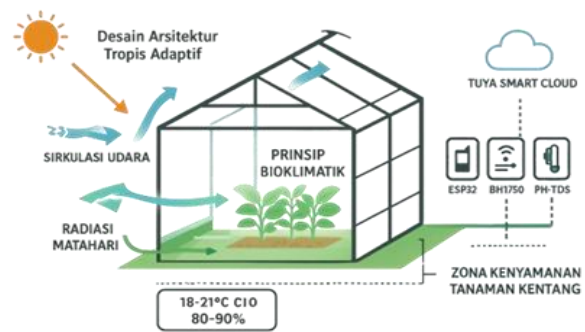


Gambar 8. Flowchat Metode Penelitian (Sumber: Penulis, 2025)

## HASIL DAN PEMBAHASAN Implementasi Sistem dan Kinerja Arsitektur Greenhouse

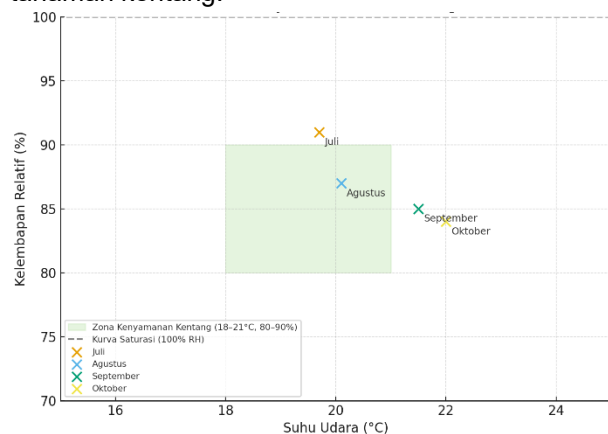
Hasil implementasi menunjukkan bahwa rancangan *greenhouse* aeroponik berbasis IoT mampu mengintegrasikan prinsip arsitektur tropis adaptif dengan sistem kontrol otomatis secara efektif. Struktur baja kanal C dengan atap plastik UV 200 mikron dan *insert net* 80 mesh berhasil mendistribusikan cahaya secara merata tanpa meningkatkan suhu ruang secara signifikan.

Orientasi bangunan utara-selatan serta ventilasi silang pasif meningkatkan sirkulasi udara alami dan menjaga stabilitas suhu serta kelembapan ruang tanam. Pendekatan ini mencerminkan penerapan arsitektur bioklimatik yang menyesuaikan bentuk dan material bangunan terhadap iklim tropis. Temuan ini sejalan dengan studi eSMARTGreen yang menegaskan bahwa integrasi desain arsitektural adaptif dengan sistem kontrol cerdas berbasis IoT menghasilkan performa lingkungan greenhouse yang lebih stabil, responsif, dan efisien secara energi melalui optimalisasi aliran udara alami dan pengurangan fluktuasi termal (Abou-Mehdi-Hassani et al., 2025).



Gambar 9. Desain Bioklimatik Greenhouse Aeroponik Berbasis IoT (Sumber: Penulis, 2025)

Sistem kendali menggunakan ESP32 yang terhubung dengan sensor BH1750, dan pH-TDS meter untuk memantau kondisi mikroklimat dan nutrisi secara real-time. Data dikirim ke Tuya Smart Cloud, memungkinkan pengaturan otomatis berbasis *feedback control* melalui perangkat seluler. Sinergi antara desain pasif dan kontrol digital adaptif membentuk sistem ruang cerdas (*smart responsive envelope*), di mana elemen arsitektural dan elektronik berkolaborasi menjaga suhu 18–21°C dan kelembapan 80–90%, sesuai kebutuhan optimal tanaman kentang.



Gambar 10. Grafik Psikrometri Greenhouse (Sumber: Penulis, 2025)

Zona optimal 18–21 °C dan kelembapan 80–90% menunjukkan bahwa sistem arsitektur dan kontrol digital berfungsi stabil pada zona kenyamanan fisiologis tanaman kentang. Suhu internal harian hanya berfluktuasi  $\pm 0,9^{\circ}\text{C}$ , jauh lebih rendah dibandingkan fluktuasi suhu luar sebesar  $\pm 3,4^{\circ}\text{C}$ .

### Visualisasi Desain dan Integrasi Arsitektur

Hasil visualisasi arsitektur menunjukkan keterpaduan antara fungsi ruang, struktur baja ringan, dan sistem aeroponik tertutup dalam satu rancangan adaptif. Desain ini menonjolkan efisiensi ruang tanam, ergonomi petani, serta kemudahan pemeliharaan melalui tata letak pipa nutrisi yang terintegrasi, dan sistem aeroponik tertutup dalam desain adaptif. Kemiringan atap  $25^{\circ}$  dan penggunaan material reflektif berdaya pantul tinggi berperan mengoptimalkan pencahayaan alami sekaligus menjaga kestabilan suhu ruang tanam. Pendekatan ini mencerminkan prinsip arsitektur bioklimatik tropis yang menyeimbangkan efisiensi energi dan kenyamanan iklim.

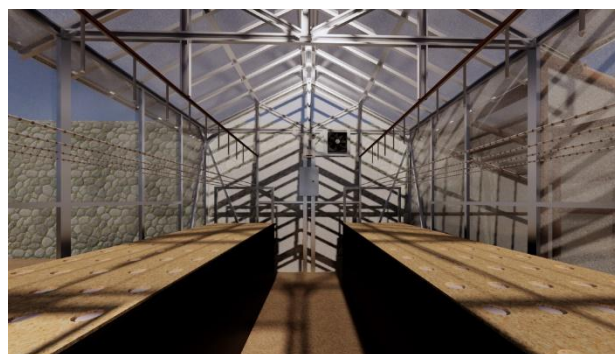
Desain tersebut sejalan dengan temuan Yang & Ma, (2024) bahwa atap *double-slope* meningkatkan distribusi cahaya hingga 75%, serta penelitian Budhiyanto & Tampubolon, (2025) yang menunjukkan efektivitas sudut atap dan material reflektif dalam menurunkan panas internal. Dengan demikian, greenhouse ini mewakili bentuk arsitektur tropis adaptif dan berkelanjutan yang responsif terhadap iklim lokal.



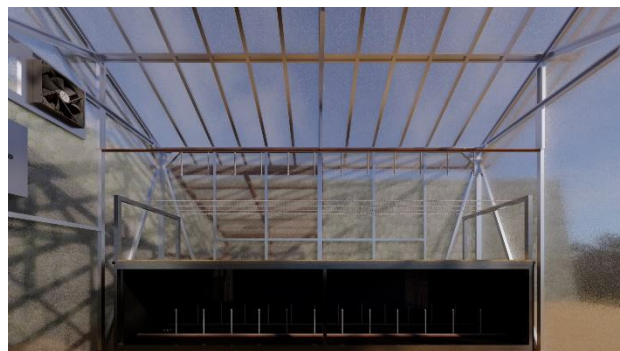
Gambar 11. Hasil Rendering Tampak Depan Greenhouse (Sumber: Penulis, 2025)



Gambar 12. Hasil Rendering Tampak Samping Greenhouse (Sumber: Penulis, 2025)



Gambar 13. Hasil Rendering Tampak Dalam Greenhouse (Sumber: Penulis, 2025)

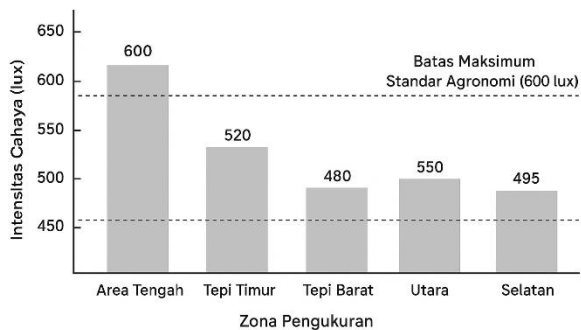


Gambar 14. Hasil Rendering Tampak Dalam Meja Aeroponik dan Tempat Irigasi (Sumber: Penulis, 2025)



Gambar 15. Gambar 6. Hasil Rendering Tampak Keseluruhan (Sumber: Penulis, 2025)

Visualisasi ini berfungsi untuk menganalisis hubungan spasial antara modul aeroponik, sirkulasi udara, dan distribusi cahaya alami. Hasil simulasi pencahayaan menunjukkan intensitas rata-rata 480–600 lux di area tanaman, sesuai standar agronomi untuk pertumbuhan bibit kentang.



Gambar 16. Hasil simulasi Pencahayaan Greenhouse Aeroponik (Sumber: Penulis, 2025)

### Realisasi dan Uji Lapangan

Prototipe dibangun di Desa Surengede, Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo ( $\pm 1800$  mdpl) pada Juli 2025. Uji performa dilakukan selama 1 bulan untuk menilai kemampuan sistem dalam mempertahankan kondisi iklim mikro ideal. Hasil pengamatan menunjukkan:

Tabel 1. Hasil Pengamatan Kondisi Iklim

Parameter	Target	Rata-rata Aktual	Deviasi
Suhu	18–21 °C	20,1 °C	$\pm 0,9$ °C
Kelembapan	80–90 %	86,4 %	$\pm 2,1$ %
Cahaya (lux)	400–600	495 lux	$\pm 4,5$ %

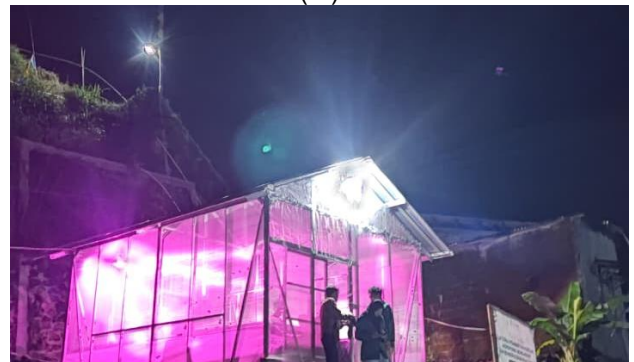
(Sumber: Penulis, 2025)



Gambar 16. Proses Pembuatan Greenhouse (Sumber: Penulis, 2025)



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

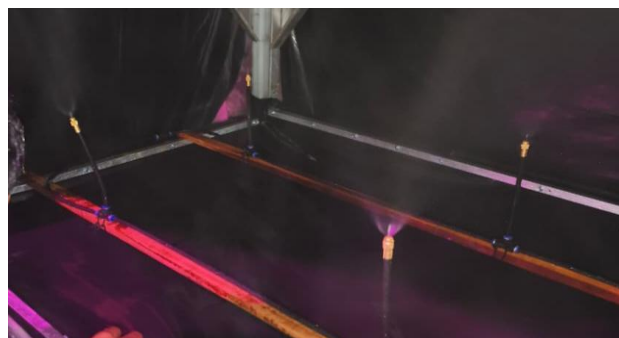


(f)



(g)

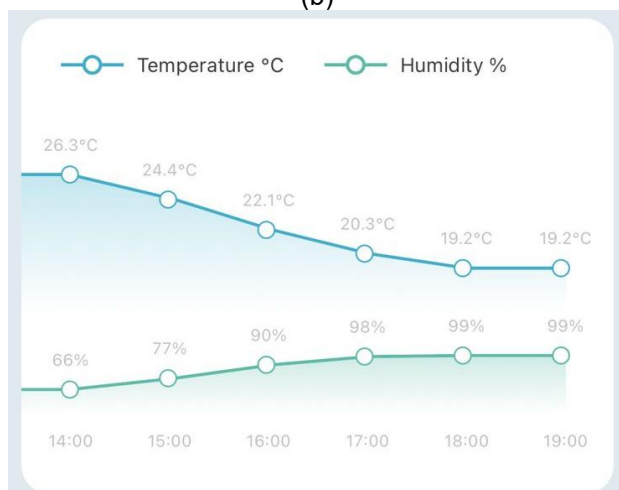
Gambar 17. (a),(b),(c),(d),(e),(f),(g) Greenhouse Selesai Dibangun (Tampak Eksterior dan Interior)  
 (Sumber: Penulis, 2025)



(a)



(b)



(c)

Gambar 16. (a),(b),(c) Pengujian Sistem Aeroponik dan Sensor IoT terintegrasi ke app mobile (Sumber: Penulis, 2025)

### Analisis Arsitektural dan Kinerja Sistem

Hasil analisis menunjukkan bahwa rancangan greenhouse aeroponik berbasis IoT ini secara konsisten menerapkan prinsip arsitektur tropis adaptif, dengan optimalisasi ventilasi silang, penggunaan material reflektif, serta struktur ringan yang mendukung efisiensi termal dan kenyamanan iklim mikro ruang tanam (Hernández-Pérez et al., 2014).

Secara arsitektural, ruang greenhouse berfungsi sebagai sistem termal dinamis, bukan sekadar wadah produksi tanaman, tetapi sebagai entitas adaptif yang mampu merespons perubahan suhu dan kelembapan lingkungan secara *real-time*. Karakter ini menunjukkan pergeseran paradigma

desain dari ruang pasif menuju arsitektur responsif iklim (*climate-responsive architecture*) (Yuliani & Setyaningsih, 2018).

Integrasi sistem kendali iklim berbasis sensor memperkuat identitas arsitektur cerdas (*smart architecture*), di mana bangunan berperan aktif sebagai instrumen pengendali performa lingkungan internal. Kolaborasi antara disiplin arsitektur, teknologi IoT, dan agronomi menghasilkan model *Sustainable Smart Greenhouse Architecture* yang efisien secara energi, adaptif terhadap perubahan iklim, serta mendukung keberlanjutan sistem produksi pangan di wilayah tropis dataran tinggi (Song et al., 2024).

## PENUTUP

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan konsep greenhouse aeroponik berbasis *Internet of Things* (IoT) mampu memberikan solusi efektif terhadap permasalahan ketidakstabilan iklim pada pembibitan kentang di dataran tinggi tropis. Integrasi antara arsitektur tropis adaptif, sistem aeroponik tertutup, dan kontrol digital *real-time* berhasil menciptakan lingkungan tumbuh yang stabil dengan efisiensi sumber daya yang tinggi. Pendekatan rancang bangun eksperimental berbasis *smart architecture engineering* membuktikan bahwa desain ruang pertanian dapat berfungsi sebagai entitas adaptif yang merespons dinamika iklim secara otomatis. Secara umum, hasil penelitian ini menegaskan pentingnya sinergi antara arsitektur, agronomi, dan teknologi IoT dalam mewujudkan pertanian presisi berkelanjutan. Model greenhouse yang dikembangkan berpotensi menjadi prototipe strategis untuk transformasi digital pertanian (*Agriculture 4.0*), sekaligus mendukung agenda nasional dalam meningkatkan ketahanan pangan dan efisiensi produksi hortikultura di kawasan dataran tinggi Indonesia.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi yang mendalam kepada Direktorat Pembelajaran dan Kemahasiswaan, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi (Ditjen Dikristek), Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia, atas dukungan pendanaan melalui Program Penguatan Kapasitas Organisasi Kemahasiswaan (PPK Ormawa) Tahun 2025 yang telah memfasilitasi terlaksananya penelitian ini.

Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Universitas Sains Al-Qur'an (UNSIQ) Jawa Tengah di Wonosobo, khususnya Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, atas dukungan akademik, fasilitas laboratorium, serta pendampingan teknis yang berperan penting dalam keberhasilan proses perancangan dan pengujian *greenhouse* aeroponik berbasis *Internet of Things* (IoT).

## DAFTAR PUSTAKA

- Abou-Mehdi-Hassani, F., Zaguia, A., Ameyed, D., Bouh, H. A., & Mkhida, A. (2025). eSMARTGreen (ESG): A scalable IoT-Based architecture for multi-greenhouse management. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 47, 101152. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.suscom.2025.101152>
- Boursianis, A. D., Papadopoulou, M. S., Diamantoulakis, P., Liopa-Tsakalidi, A., Barouchas, P., Salahas, G., Karagiannidis, G., Wan, S., & Goudos, S. K. (2022). Internet of things (IoT) and agricultural unmanned aerial vehicles (UAVs) in smart farming: A comprehensive review. *Internet of Things*, 18, 100187.
- Budhiyanto, A., & Tampubolon, A. C. (2025). A Comparative Study of Cool Roof and Green Roof Performance in Tropical Area of Indonesia. *Journal of Architectural Research and Design Studies*, 9(1), 1–10. <https://doi.org/10.20885/jars.vol9.iss1.art1>
- Dirjen Horti Kementan. (2024). Angka Tetap Hortikultura Tahun 2024. *Direktorat Jenderal Hortikultura Kementerian Pertanian*, 329.
- FAO. (2018). *The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050*. <http://www.fao.org/3/I8429EN/i8429en.pdf>
- Febrianto, F., Parawansa, A. K., & Tasrif, A. (2024). INTENSITAS SERANGAN PENYAKIT HAWAR DAUN (*Phytophthora infestans*) PADA TANAMAN KENTANG DI KABUPATEN GOWA. *AGrotekMAS Jurnal Indonesia: Jurnal Ilmu Peranian*, 5(1), 34–39. <https://doi.org/10.33096/agrotekmas.v5i1.493>
- Hernández-Pérez, I., Álvarez, G., Xamán, J., Zavala-Guillén, I., Arce, J., & Simá, E. (2014). Thermal performance of reflective materials applied to exterior building components—A review. *Energy and Buildings*, 80, 81–105. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.05.008>
- Huda, C., Etikasari, B., & Puspitasari, P. S. D. (2023). A Smart Greenhouse Production System Utilizes an IoT Technology. *JUITA: Jurnal Informatika*, 11(1), 117. <https://doi.org/10.30595/juita.v11i1.16191>
- Hugo, A. M., Padilla-medina, J. A., Mart, C., Martinez-nolasco, J. J., Barranco-guti, A. I., Contreras-medina, L. M., & Leon-rodriguez, M. (2022). *IoT-Based Monitoring System Applied to Aeroponics Greenhouse*.
- Kerns, S. C., & Lee, J.-L. (2017). Automated Aeroponics System Using IoT for Smart Farming. *European Scientific Journal*, September, 7–8. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.c1p10>
- Kurniawan, A., Ristono, A., & Sulistiadi, S. (2021). Monitoring Iklim Mikro pada Greenhouse Secara Real Time Menggunakan Internet of Things (IoT) Berbasis Thingspeak. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of*

- Agricultural Engineering*, 10(4), 468.  
<https://doi.org/10.23960/jtep-l.v10i4.468-480>
- Săcăleanu, D. I., Matache, M. G., Roșu, Ștefan G., Florea, B. C., Manciu, I. P., & Perișoară, L. A. (2024). IoT-Enhanced Decision Support System for Real-Time Greenhouse Microclimate Monitoring and Control. *Technologies*, 12(11).  
<https://doi.org/10.3390/technologies12110230>
- Salahas, G., Tsoubelis, T., Angelopoulos, J., Zygomalas, S., Barla, S.-A., Koutsoumpas, P., & Mourtzis, D. (2025). Design and implementation of an IoT-based automated monitoring and control system of an aeroponic greenhouse. *Procedia CIRP*, 136, 142–153.  
<https://doi.org/10.63438/rffy2050>
- Song, Y., Bi, J., & Wang, X. (2024). Design and implementation of intelligent monitoring system for agricultural environment in IoT. *Internet of Things*, 25, 101029.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.101029>
- Sumarni, E., Farid, N., Darjanto, D., Ardiansyah, A., & Soesanto, L. (2019). Effect of electrical conductivity (EC) in the nutrition solution on aeroponic potato seed production with root zone cooling application in tropical Lowland, Indonesia. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 21(2), 70–77.
- Yang, X., & Ma, Y. (2024). Design and Thermal-Optical Environment Simulation of Double-Slope Greenhouse Roof Structure Based on Ecotect. *Agriculture (Switzerland)*, 14(8).  
<https://doi.org/10.3390/agriculture14081410>
- Yuliani, S., & Setyaningsih, W. (2018). the Impact of Thermal Performance on the Roof Surface To Energy Efficient of High-Rise Building in the Tropical Region. *Arsitektura*, 16(1), 129.  
<https://doi.org/10.20961/arst.v16i1.20748>