Teknika 20 (3): 677-691

JURNAL TEKNIKA
ISSN: 0854-3143
e-ISSN: 2622-3481
Journal homepage: http://jurnal.polsri.ac.id/index.php/teknika
Journal Email: teknika@polsri.ac.id

Integrasi *Framework* Laravel dan Android pada Sistem IoT untuk Monitoring Parameter Fisika-Kimia di *Greenhouse*

Ramadanzah[1], Dodi Yudo Setyawan*[2], Nurfiana Nurfiana [3], Refi Arion[4]

[1,*2, 3, 4] Sistem Komputer, Institut Informatika dan Bisnis Darmajaya, Lampung, Indonesia
*Email Penulis Korespondensi: dodi@darmajaya.ac.id

Abstrak

Pengembangan teknologi pertanian presisi (precision agriculture) pada ekosistem greenhouse menggunakan sistem hidroponik menghadapi tantangan teknis dalam menjaga stabilitas parameter lingkungan mikro secara simultan. Penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan framework Laravel dan platform Android ke dalam sistem Internet of Things (IoT) untuk memantau parameter fisika-kimia lingkungan, meliputi suhu udara, kelembaban, intensitas cahaya, dan kadar karbon dioksida (CO2), pada budidaya pakcoy (Brassica rapa L.) di greenhouse hidroponik. Fokus utama penelitian ini terletak pada perancangan arsitektur backend RESTful API menggunakan Laravel untuk mengelola penyimpanan basis data riwayat jangka panjang serta menyinkronkan transmisi data dari multi-sensor (DHT22, LDR, dan sensor gas CO2) yang memiliki karakteristik sampling rate berbeda. Di sisi pengguna, aplikasi Android dan antarmuka web dikembangkan sebagai frontend yang mengonsumsi data melalui serialisasi format JSON menggunakan metode polling HTTP GET real-time, serta menyediakan tiga mode kendali aktuator, yaitu manual, otomatis berbasis ambang batas sensor, dan penjadwalan. Pengujian fungsionalitas dan kinerja sistem dilakukan melalui visualisasi antarmuka pada dasbor situs web neliti-sk.darmajaya.ac.id serta evaluasi transmisi data nirkabel. Infrastruktur backend berbasis Laravel terbukti stabil dalam menangani fluktuasi frekuensi data sensor yang kompleks. Berdasarkan evaluasi log data selama 24 jam pengujian kontinu pada rentang 14 Agustus 2026 (00.00–23.00 WIB), sistem berhasil merekam seluruh 24 titik data per jam (100%) tanpa satupun jam yang terlewat. Integrasi ini menghadirkan solusi pemantauan sekaligus pengendalian pertanian presisi yang andal, terintegrasi, dan memiliki skalabilitas tinggi bagi operator greenhouse, meskipun masih memerlukan mekanisme offline logging untuk mengantisipasi gangguan konektivitas atau pemadaman listrik di masa mendatang.

Kata kunci*—Internet of Things, Laravel, Intensitas Cahaya, Karbon Dioksida, Greenhouse, Android, Sistem Kontrol*

Abstract

The development of precision agriculture technology in greenhouse ecosystems using hydroponic systems faces technical challenges in maintaining the stability of micro-environmental parameters simultaneously. This research aims to integrate the Laravel framework and Android platform into an Internet of Things (IoT) system to monitor physico-chemical

Received: June 11, 2026; Online Available: October 17, 2026

environmental parameters, including air temperature, humidity, light intensity, and carbon dioxide (CO2) levels, in pak choy (Brassica rapa L.) cultivation within a hydroponic greenhouse. The primary focus of this study lies in designing a RESTful API backend architecture using Laravel to manage long-term historical database storage and synchronize data transmission from multi-sensors (DHT22, LDR, and CO2 gas sensor) that possess different sampling rate characteristics. On the user side, an Android application and a web interface were developed as frontends that consume data through JSON format serialization using real-time HTTP GET polling methods, and providing three actuator control modes: manual, sensor threshold-based automatic, and scheduling. Functional and system performance testing was conducted through interface visualization on the website dashboard neliti-sk.darmajaya.ac.id and wireless data transmission evaluation. The Laravel-based backend infrastructure proved stable in handling complex fluctuations in sensor data frequencies. Based on data log evaluations during 24 hours of continuous testing within the range of August 14, 2026 (00:00–23:00 WIB), the system successfully recorded all 24 hourly checkpoints (100%) without any missed hour. This integration delivers a reliable, integrated, and highly scalable precision agriculture monitoring and control solution for greenhouse operators, although it still requires an offline logging mechanism to anticipate future connectivity disruptions or power outages.

Keywords—*Internet of Things, Laravel, Light Intensity, Carbon Dioxide, Greenhouse, Android, System Control*

1. PENDAHULUAN

Pengembangan teknologi pertanian dalam ruang tertutup seperti *greenhouse* dengan sistem hidroponik telah menjadi solusi krusial dalam menghadapi ketidakpastian iklim [1], [2], [3], [4], [5]. Dalam ekosistem pertanian modern, teknologi *Internet of Things* (IoT) berperan sebagai infrastruktur utama untuk mengoptimalkan manajemen iklim mikro tanaman [1], [6], [7].

Parameter lingkungan seperti suhu, kelembaban, intensitas cahaya, dan karbon dioksida (CO_2) memegang peranan penting sebagai faktor pendukung utama proses fotosintesis dan pertumbuhan tanaman [8], [9]. Intensitas cahaya yang diterima tanaman berpengaruh langsung terhadap laju fotosintesis, kekurangan cahaya dapat menyebabkan etiolasi dan pertumbuhan yang tidak optimal, sementara paparan cahaya yang berlebihan berpotensi memicu stres panas pada tanaman [10]. CO_2 merupakan komponen esensial dalam fotosintesis; penurunan kadarnya di bawah ambang standar dapat menghambat pertumbuhan, terutama karena sistem tata udara konvensional sering membuang gas berharga ini keluar *greenhouse* [11], [12], [13]. Pada praktiknya di lokasi mitra, kondisi naungan struktur bangunan *greenhouse* dan perubahan cuaca menyebabkan fluktuasi intensitas cahaya yang cukup signifikan sepanjang hari, sehingga pemantauan parameter ini menjadi penting bagi pengelola untuk menjaga kondisi optimal pertumbuhan pakcoy.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem pemantauan lingkungan pertanian berbasis IoT untuk memfasilitasi tindakan preventif petani melalui arsitektur jaringan nirkabel [1], [5], [14], [15]. Namun, Sejumlah penelitiannya masih menitikberatkan pemantauan pada suhu dan kelembaban, sedangkan integrasi cahaya dan CO_2 dalam satu platform masih relatif terbatas[16], [17], [18]. Parameter cahaya dan CO_2 relatif lebih jarang diintegrasikan secara bersamaan ke dalam satu platform pemantauan, meskipun keduanya sama-sama menjadi faktor pendukung utama fotosintesis. Selain itu, fluktuasi data dari sensor-sensor ini menuntut arsitektur perangkat lunak yang andal antara *backend* dan *frontend* melalui *Application Programming Interface* (API) . Penggunaan *framework* Laravel berbasis PHP dan aplikasi Android sebenarnya telah terbukti efektif dalam menyediakan layanan RESTful API yang aman serta memvisualisasikan data melalui format JSON yang ringan [19], [20], [21]. Akan tetapi, implementasi teknisnya pada pemantauan multi-parameter lingkungan di *greenhouse* masih terbatas pada pengelolaan *dataset* sederhana dan belum terintegrasi dengan arsitektur multi-sensor yang memiliki *sampling rate* berbeda, serta belum banyak yang menyertakan mekanisme

kendali aktuator jarak jauh secara langsung [9].

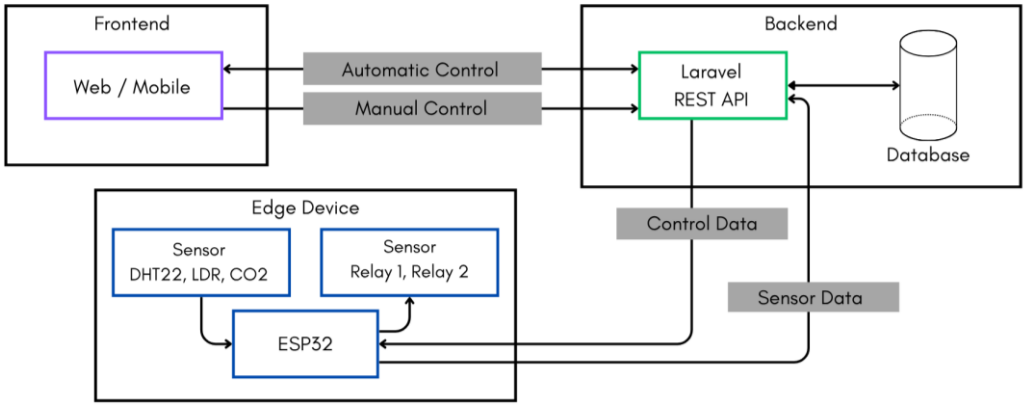
Berdasarkan celah dan keterbatasan tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan *platform* monitoring sekaligus pengendalian pertanian presisi yang mengintegrasikan parameter suhu, kelembaban, intensitas cahaya, dan CO_2 ke dalam satu ekosistem digital. Sistem ini memanfaatkan *framework* Laravel sebagai arsitektur *backend* utama untuk mengelola logika sistem dan penyimpanan basis data secara terstruktur, serta aplikasi Android dan antarmuka web sebagai *frontend* pengguna yang responsif dengan mekanisme kendali aktuator. Fokus utamanya terletak pada arsitektur sinkronisasi data sensor yang memiliki karakteristik kecepatan pengambilan data (*sampling rate*) berbeda agar dapat ditampilkan secara *real-time* sekaligus meminimalisasi risiko kehilangan data. Melalui implementasi protokol komunikasi yang efisien, stabilitas transmisi data dapat dipertahankan. Berdasarkan pengujian lapangan pada sistem hidroponik pakcoy, platform ini dievaluasi kemampuannya dalam menjaga integritas transmisi data serta keandalan mekanisme kendali aktuator, sehingga diharapkan dapat menjadi solusi terpadu dalam mendukung ekosistem pertanian digital yang cerdas dan berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini mencakup tahapan perancangan dan implementasi sistem secara menyeluruh, mulai dari integrasi perangkat keras hingga pengembangan platform digital. Pendekatan yang digunakan adalah metode Rancang Bangun (*Research and Development*), yang mencakup desain arsitektur sistem, perakitan unit sensor, serta sinkronisasi *backend* Laravel dan antarmuka Android/web guna memastikan seluruh parameter terpantau dan terkendali secara presisi.

2. 1 Perancangan Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem pada penelitian ini seperti Gambar 1, dirancang dengan pendekatan tiga lapis (*three-tier architecture*) yang terdiri atas lapisan perangkat tepi (*edge device*), lapisan *backend server*, dan lapisan *frontend* pengguna. Ketiga lapisan tersebut terintegrasi melalui mekanisme komunikasi berbasis REST API dengan format pertukaran data JSON.



Gambar 1 Arsitektur Tiga Lapis Sistem Monitoring dan Kendali *Greenhouse* Berbasis *IoT*

Pada lapisan *edge device*, mikrokontroler ESP32 berperan sebagai pusat akuisisi data dan kendali aktuator. ESP32 terhubung dengan sensor DHT22 (suhu dan kelembaban), modul LDR (intensitas cahaya), serta sensor gas MQ-135 (kadar CO_2) yang pada implementasinya ditempatkan pada ESP8266 terpisah namun tetap dalam satu kesatuan sistem. Selain membaca data lingkungan, ESP32 juga mengendalikan dua saluran *relay* yang masing-masing terhubung ke kontaktor untuk mengaktifkan kipas angin dan solenoid CO_2. Data hasil pembacaan sensor

dikirimkan secara periodik ke server melalui metode HTTP POST ke *endpoint* API yang telah disediakan.

Pada lapisan *backend*, *framework* Laravel berfungsi sebagai tulang punggung sistem yang menyediakan serangkaian *endpoint* RESTful. *Backend* bertanggung jawab atas tiga fungsi utama: (a) menerima dan memvalidasi data sensor yang dikirim dari *edge device* sebelum menyimpannya ke dalam basis data relasional; (b) menjalankan logika kendali otomatis (*automatic control*) berdasarkan ambang batas (*threshold*) suhu dan CO_2 yang dikonfigurasi oleh pengguna, lengkap dengan mekanisme *debounce* untuk mencegah *chattering*. serta (c) menyediakan layanan kendali manual (*manual control*) yang memungkinkan pengguna mengirimkan perintah langsung dari antarmuka. Untuk menjamin keamanan akses, *backend* menerapkan dua skema autentikasi yang berbeda, yaitu *token-based authentication* menggunakan Laravel Sanctum untuk aplikasi mobile dan *session-based authentication* untuk antarmuka web admin.

Pada lapisan *frontend*, sistem melayani dua jenis antarmuka pengguna, yaitu dasbor berbasis web (menggunakan Blade *template engine*) dan aplikasi mobile berbasis Android. Kedua antarmuka ini mengonsumsi data dari *server* melalui mekanisme *polling* HTTP GET dengan interval pembaruan 6 (enam) detik untuk menampilkan nilai sensor secara *real-time* pada kartu metriks dan grafik tren historis. Melalui *frontend*, pengguna dapat memantau kondisi lingkungan *greenhouse*, mengubah mode kendali aktuator, serta mengatur parameter ambang batas dan jadwal operasional perangkat. Seluruh aliran data dari sensor menuju basis data dan dari pengguna menuju aktuator dikelola secara terstruktur melalui arsitektur ini, sehingga menjamin integritas data dan konsistensi kendali perangkat secara simultan.

2. 2 Alur Kerja Sistem (Flowchart)

Arsitektur komunikasi pada sistem ini terbagi menjadi dua alur utama yang berjalan secara paralel dan asinkron, yaitu alur akuisisi dan penyajian data sensor (*monitoring*) serta alur logika kendali aktuator (*control*).

2. 2.1 Alur Akuisisi dan Penyajian Data Sensor (Monitoring)

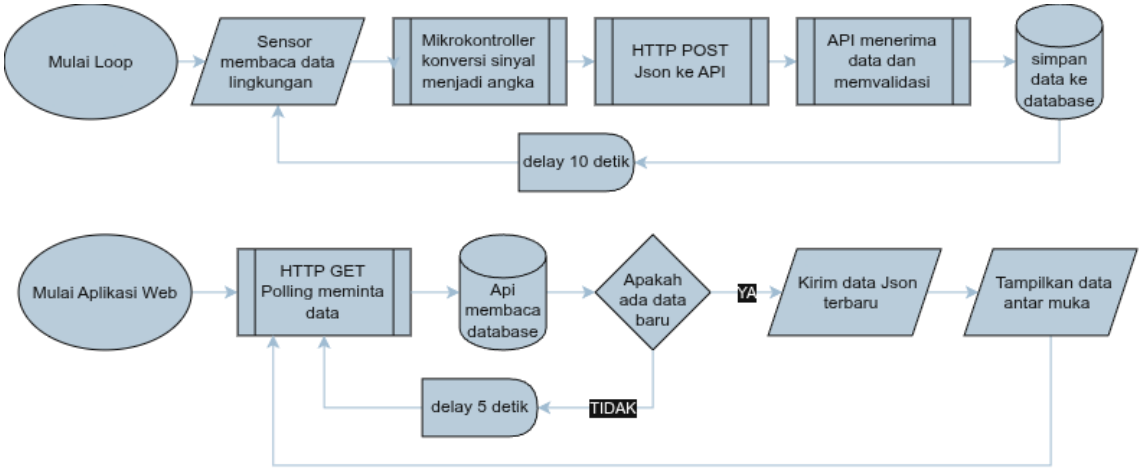
Flowchart pada Gambar 2 mengilustrasikan arsitektur komunikasi dua arah yang berjalan secara asinkron antara perangkat fisik (*edge device*) dengan antarmuka aplikasi web melalui perantara API. Alur ini terbagi menjadi dua proses terisolasi:

1) Alur Akuisisi dan Pengiriman Data (Sisi *Edge Device*)

Siklus dimulai dengan sensor yang membaca data kondisi lingkungan fisik. Mikrokontroler kemudian memproses dan mengonversi sinyal analog atau digital dari sensor tersebut menjadi nilai numerik yang terstruktur. Data ini kemudian dikirimkan ke server API memanfaatkan protokol HTTP POST dengan format *payload* JSON. Di sisi *backend*, API bertugas menerima data dan melakukan proses validasi parameter (untuk memastikan integritas dan keamanan data dari *bad request*) sebelum akhirnya menyimpannya ke dalam *database*. Proses pengiriman ini menerapkan mekanisme *delay* selama 10 detik sebelum mengulang siklus pembacaan berikutnya guna menjaga efisiensi beban kerja *server*.

2) Alur Pengambilan Data (Sisi *Client* / Aplikasi Web)

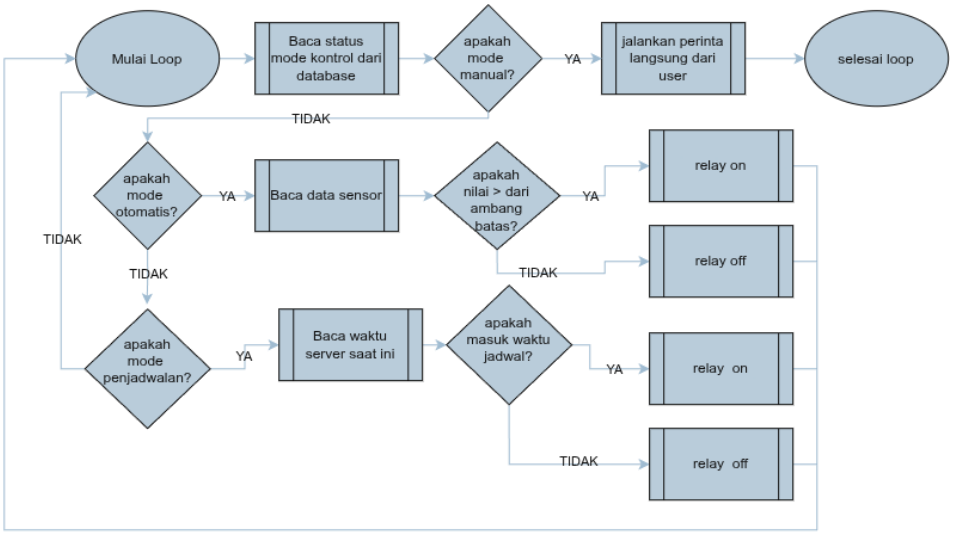
Pada sisi antarmuka, aplikasi web mengimplementasikan metode HTTP GET Polling secara periodik untuk meminta pembaruan data dari server. API merespons dengan melakukan query ke database untuk mendeteksi ketersediaan data baru. Jika terdapat entri data terbaru, API akan mengembalikan respons dalam format JSON ke aplikasi web untuk di *render* dan ditampilkan pada antarmuka pengguna (*User Interface*). Namun, apabila tidak ada pembaruan data, aplikasi web akan melakukan penundaan (*delay*) selama 5 detik sebelum memicu kembali *request polling* berikutnya.



Gambar 2 *Flowchart* Monitoring Sensor

2. 2.2 Alur Logika Kendali Aktuator Tiga Mode (Control)

Algoritma sistem kontrol dirancang untuk beroperasi dalam sebuah siklus yang berulang (*looping*) guna menjaga responsivitas perangkat terhadap konfigurasi pengguna maupun kondisi lingkungan. Proses utama diawali dengan inisiasi sistem yang secara terus-menerus membaca status mode kontrol operasional yang tersimpan di dalam *database*. Pembacaan status secara *real-time* ini berfungsi sebagai titik percabangan logika (*decision point*) yang akan mengarahkan alur eksekusi program ke dalam salah satu dari tiga mode yang tersedia.



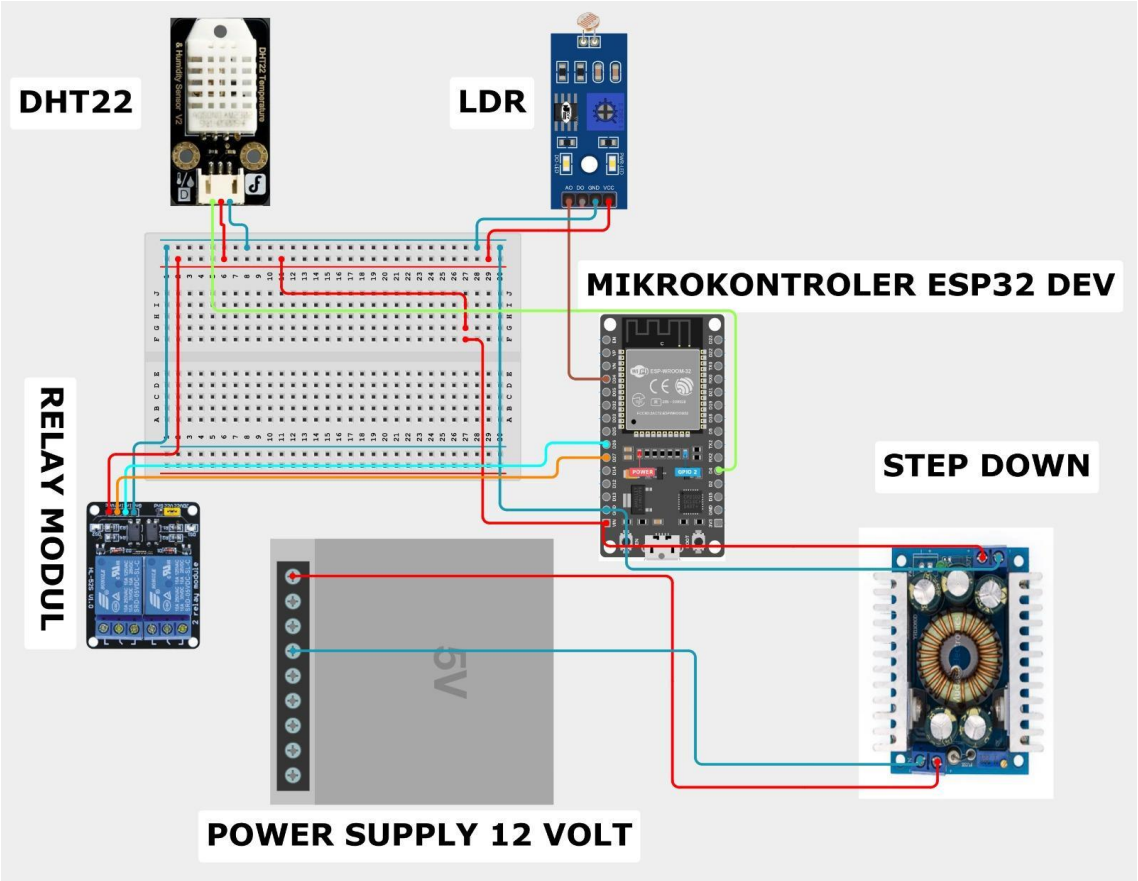
Gambar 3 Flowchart Control

Berdasarkan Gambar 3, penjabaran dari ketiga mode tersebut memiliki alur penanganan yang spesifik. Apabila sistem berada dalam mode manual, program akan langsung mengeksekusi instruksi kontrol berdasarkan intervensi atau perintah langsung dari pengguna, kemudian siklus pada iterasi tersebut diselesaikan. Jika mode otomatis yang diaktifkan, sistem beralih untuk membaca data metrik dari sensor, logika bisnis kemudian mengevaluasi apakah nilai tersebut melampaui ambang batas (*threshold*). Apabila melampaui batas, *relay* akan diaktifkan (*ON*), sedangkan jika masih dalam batas normal, *relay* akan dimatikan (*OFF*). Sementara itu, pada mode penjadwalan, sistem melakukan sinkronisasi dengan mencocokkan waktu *server* saat ini terhadap jadwal yang telah dikonfigurasi. Jika waktu saat ini masuk dalam rentang jadwal, sistem

mengaktifkan *relay*, dan jika di luar jadwal, *relay* dimatikan. Setelah instruksi pada mode otomatis atau penjadwalan selesai dijalankan, siklus kontrol akan kembali ke titik awal untuk membaca ulang status dari database.

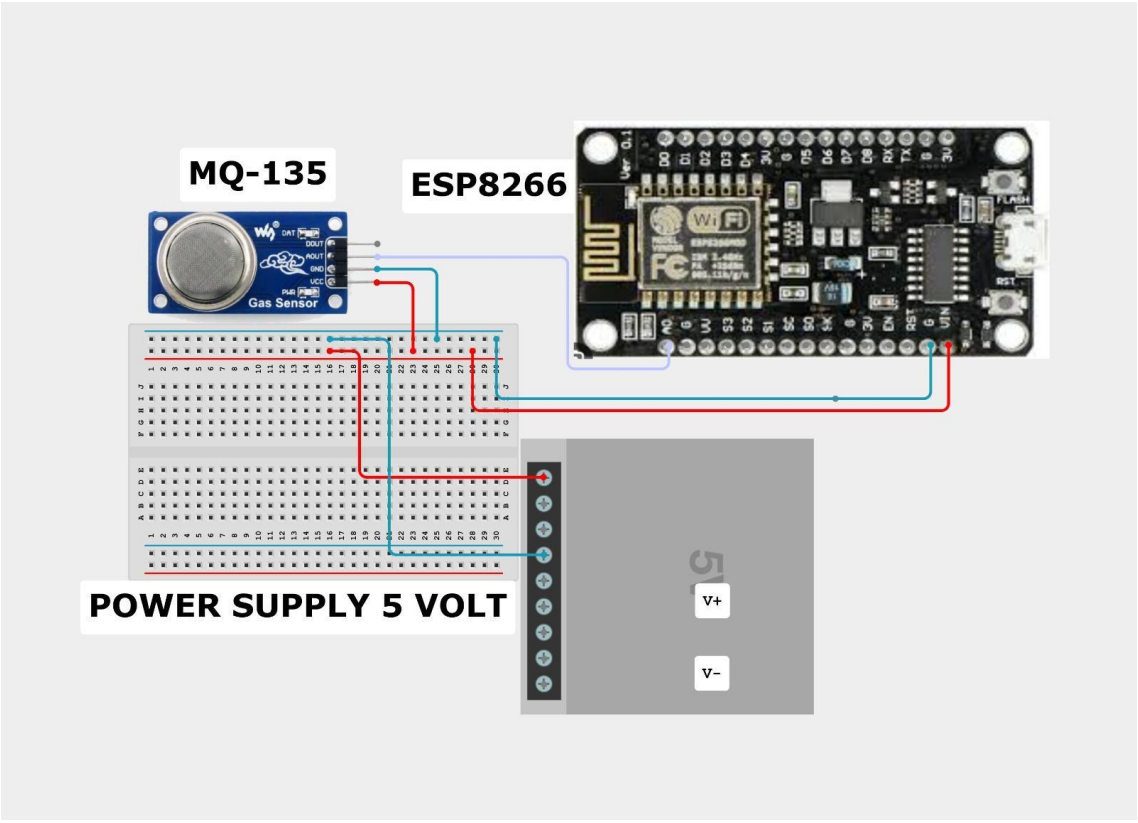
2. 3 Jalur Pengkabelan Perangkat

Sistem perangkat keras *greenhouse* ini terbagi menjadi dua subsistem yang bekerja secara mandiri. Pada subsistem utama pengontrolan lingkungan (Gambar 4), mikrokontroler ESP32 digunakan sebagai pusat pemrosesan data. Sistem ini ditenagai oleh catu daya 12V DC yang tegangannya diturunkan menjadi 5V DC menggunakan modul *step-down*. Tegangan 5V tersebut didistribusikan melalui breadboard untuk menyuplai daya ke ESP32 (pin VIN), sensor, dan aktuator. Pengkabelan sensor dilakukan dengan menghubungkan pin data sensor DHT22 ke pin digital D15 pada ESP32 untuk mendeteksi suhu dan kelembaban, serta pin analog out sensor LDR ke pin D34 untuk mengukur intensitas cahaya. Untuk kebutuhan aktuasi perangkat eksternal, pin IN1 dan IN2 pada modul relay dua kanal dihubungkan ke pin digital D26 dan D27 pada ESP32.



Gambar 4 Diagram Pengkabelan ESP32

Subsistem kedua (Gambar 5) didedikasikan khusus untuk memantau kadar gas karbondioksida (CO_2) dalam satuan ppm (*parts per million*) menggunakan mikrokontroler ESP8266. Subsistem ini ditenagai secara langsung oleh catu daya 5V DC yang didistribusikan melalui breadboard ke pin VIN ESP8266 dan pin VCC sensor MQ-135. Untuk proses pembacaan data konsentrasi karbondioksida, pin *analog out* (AOUT) pada sensor MQ-135 dihubungkan ke pin analog A0 pada ESP8266. Pada kedua rancangan subsistem ini, seluruh jalur referensi tegangan negatif (*ground*) dari komponen dan catu daya disatukan pada jalur *common ground* untuk memastikan stabilitas sirkuit selama beroperasi.



Gambar 5 Diagram pengkabelan ESP8266

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dibahas mengenai hasil implementasi serta pengujian terhadap sistem monitoring dan kendali *greenhouse* berbasis IoT yang telah dirancang. Sistem ini diuji sebagai satu kesatuan fungsional yang utuh (*end-to-end system*), mulai dari kemampuan perangkat keras dalam melakukan akuisisi parameter lingkungan, transmisi data menuju *backend*, hingga distribusi data ke antarmuka pengguna dan eksekusi perintah kendali aktuator.

3. 1 Hasil Implementasi Database dan Struktur Tabel

Implementasi basis data pada sistem *monitoring greenhouse* ini dirancang dengan skema relasional untuk mendukung integrasi data dari berbagai jenis sensor dan logika kendali. Tabel utama yang digunakan adalah *sensor_readings*, yang bertindak sebagai penampung utama dengan atribut yang merepresentasikan parameter fisika-kimia lingkungan, meliputi *temperature* (suhu), *humidity* (kelembaban udara), *light* (intensitas cahaya), serta CO_2 (karbon dioksida). Sistem juga menyertakan penanda waktu otomatis bawaan *framework*, yaitu *created_at* dan *updated_at*, sebagai acuan kronologis dalam analisis *data log*. Untuk menguji keandalan fungsionalitas penyimpanan ini, dilakukan pengujian interkoneksi secara langsung *(end-to-end*) dengan mengaktifkan seluruh rangkaian modul elektronik di area *greenhouse*. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, *routing* API pada *server* Laravel terbukti mampu menerima paket data berbasis JSON melalui metode HTTP POST dengan status *response* 200 OK. Setiap data yang masuk dapat langsung dieksekusi oleh fungsi *store* untuk disimpan ke dalam basis data secara instan tanpa mengalami gejala *delay* yang berarti.

Sebagai bukti performa sistem pada rentang uji yang sah secara ilmiah, rekam log data mentah yang dikumpulkan selama masa uji coba intensif 24 jam penuh pada 14 Agustus 2026 (00.00–23.00 WIB) berhasil tersimpan dengan aman di dalam basis data *server*. Perlu ditegaskan bahwa data pada 16 Agustus 2026 tidak disertakan dalam analisis kinerja utama karena pada

tanggal tersebut terjadi dua kondisi di luar kendali sistem, yaitu perubahan konfigurasi kode pada sisi *backend* (modifikasi mekanisme *polling* di *controller* Laravel) dan pemadaman listrik bergilir di lokasi *greenhouse* mitra, sehingga periode pencatatan data menjadi tidak kontinu dan tidak representatif terhadap kinerja normal sistem. Oleh karena itu, seluruh analisis tren deret waktu (*time-series*) pada sub-bab 3.3 hingga 3.6 difokuskan secara eksklusif pada data 14 Agustus 2026.

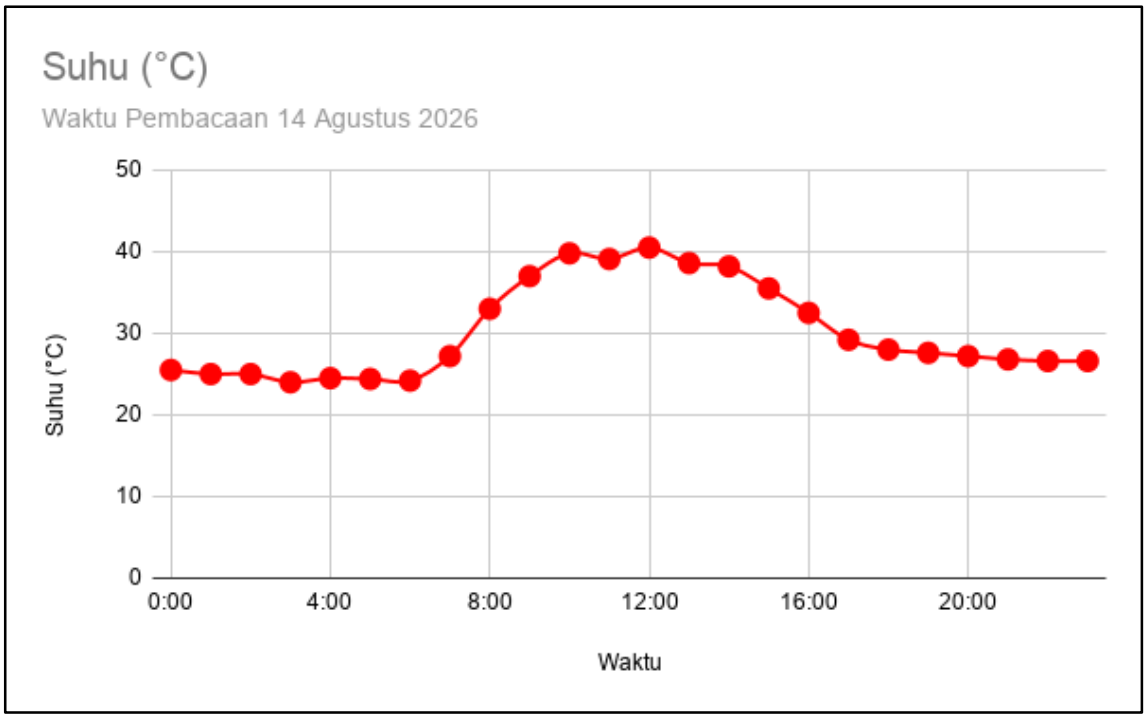
Sebagai representasi bukti integritas transmisi data selama pengujian ketahanan sistem, Tabel 1 menyajikan seluruh sampel data yang berhasil direkam secara kontinu per jam pada rentang 14 Agustus 2026 (00.00–23.00 WIB). Rekapitulasi ini menunjukkan bahwa seluruh 24 titik pengukuran per jam berhasil tercatat tanpa ada satu jam pun yang kosong atau hilang, sehingga layak dijadikan acuan analisis fluktuasi intra-hari pada sub-bab berikutnya.

Tabel 1 Rekapitulasi Data Sensor selama 24 Jam Pengujian (14 Agustus 2026)

Tanggal	Waktu(jam)	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Cahaya (Lux)	CO2 (ppm)
14 Agustus 2026	0:00	25,5	90	0	400
14 Agustus 2026	1:00	25	91	0	400
14 Agustus 2026	2:00	25	91	0	400
14 Agustus 2026	3:00	24	93	0	400
14 Agustus 2026	4:00	24,5	91	0	400
14 Agustus 2026	5:00	24,4	92	0	400
14 Agustus 2026	6:00	24,2	93	0	400
14 Agustus 2026	7:00	27,2	87	10000	400
14 Agustus 2026	8:00	33	67	100000	400
14 Agustus 2026	9:00	37	55,5	95000	400
14 Agustus 2026	10:00	39,8	48,5	100000	400
14 Agustus 2026	11:00	39,1	51	100000	400
14 Agustus 2026	12:00	40,5	48,8	100000	400
14 Agustus 2026	13:00	38,6	51,5	100000	400
14 Agustus 2026	14:00	38,2	54,2	98000	400
14 Agustus 2026	15:00	35,5	59,2	100000	403
14 Agustus 2026	16:00	32,5	65,8	65000	400
14 Agustus 2026	17:00	29,2	74,8	5000	400
14 Agustus 2026	18:00	28	82,6	27	400
14 Agustus 2026	19:00	27,6	83	0	400
14 Agustus 2026	20:00	27,2	84,2	0	400
14 Agustus 2026	21:00	26,8	85	0	400
14 Agustus 2026	22:00	26,6	86,2	0	400
14 Agustus 2026	23:00	26,6	87,6	0	400

3. 2 Hasil Pengujian Grafik Tren Historis Suhu Udara

Pengujian parameter suhu udara dilakukan untuk menganalisis performa sistem dalam merender data runtun waktu hasil pembacaan sensor DHT22 selama pengujian ketahanan 24 jam pada 14 Agustus 2026 (00.00–23.00 WIB). *Data log* suhu yang berhasil terekam selanjutnya diekstrak oleh arsitektur *backend* untuk dipetakan ke dalam bentuk grafik garis interaktif pada halaman analisis historis.



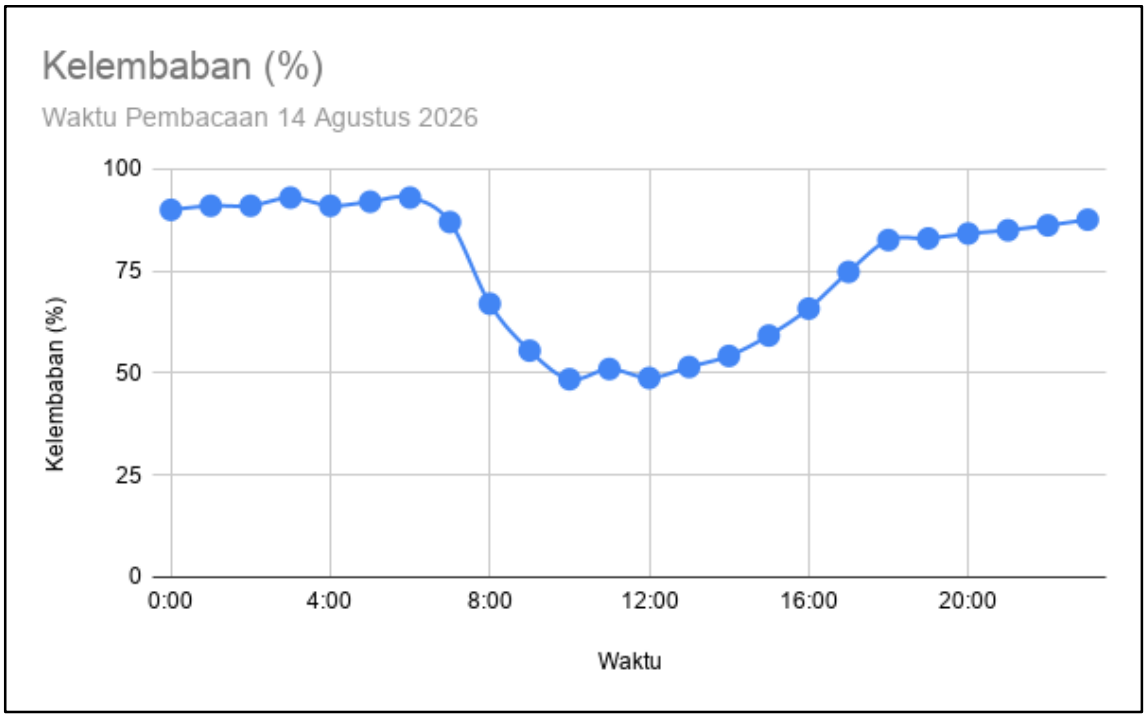
Gambar 6 Visualisasi Tren Suhu Udara Selama Pengujian

Visualisasi pada Gambar 6 merupakan tren suhu udara memperlihatkan pola fluktuasi harian yang logis secara klimatologi wilayah tropis. Suhu udara lingkungan *greenhouse* terukur berada pada titik terendah pada dini hari sekitar 24°C, kemudian meningkat bertahap seiring naiknya intensitas radiasi matahari hingga mencapai puncaknya pada rentang siang hingga sore hari, sebelum akhirnya menurun kembali menjelang malam hari. Tidak ditemukan anomali atau celah data yang signifikan pada rentang pengujian ini, mengonfirmasi stabilitas transmisi data pada periode tersebut.

3. 3 Hasil Pengujian Grafik Tren Historis Kelembaban Udara

Pengujian fungsionalitas visualisasi dilanjutkan pada parameter kelembaban udara (*relative humidity*) untuk menilai kemampuan sistem dalam memetakan interaksi variabel fisik lingkungan greenhouse.

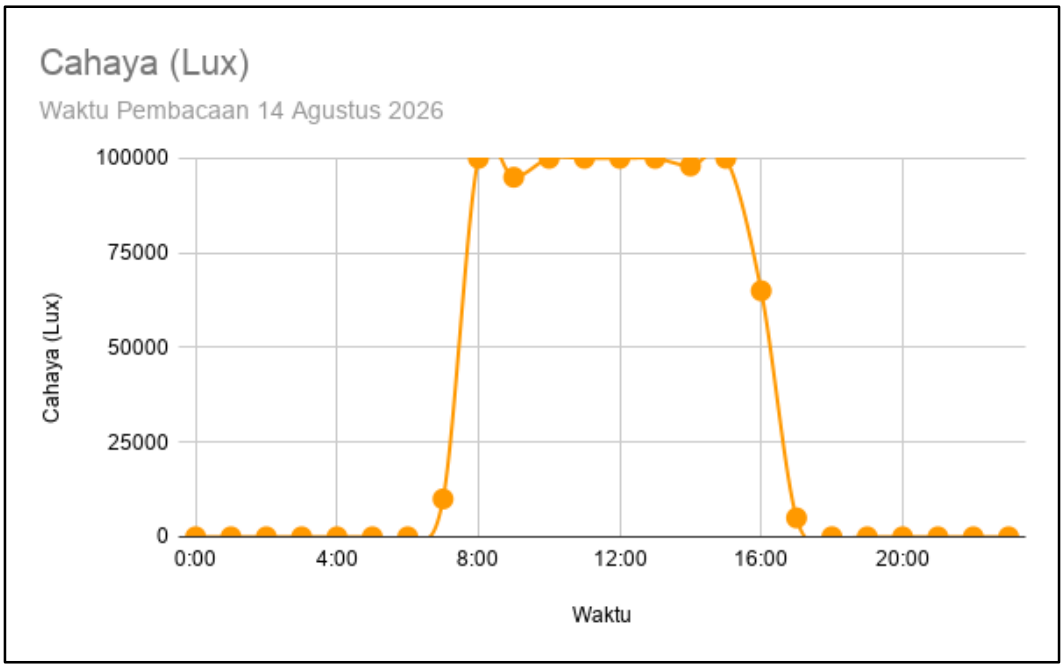
Hasil perekaman sensor DHT22 menunjukkan korelasi negatif yang konsisten terhadap parameter suhu udara. Kelembaban tercatat berada pada nilai tertinggi mendekati 100% pada dini hari, kemudian merosot tajam seiring meningkatnya suhu dan mencapai titik terendah pada rentang siang hari, sebelum akhirnya merangkak naik kembali secara bertahap saat suhu mulai menurun menjelang malam hari. Pola pada Gambar 7 ini mengonfirmasi bahwa sistem berhasil merekam dinamika *termohigrometer greenhouse* secara akurat dan kontinu sepanjang 24 jam.



Gambar 7 Visualisasi Tren Kelembaban Udara Selama Pengujian

3. 4 Hasil Pengujian Grafik Tren Historis Intensitas Cahaya

Pengujian parameter fisik lingkungan selanjutnya difokuskan pada validasi fungsionalitas visualisasi intensitas cahaya yang diterima tanaman di dalam *greenhouse* menggunakan modul sensor LDR.



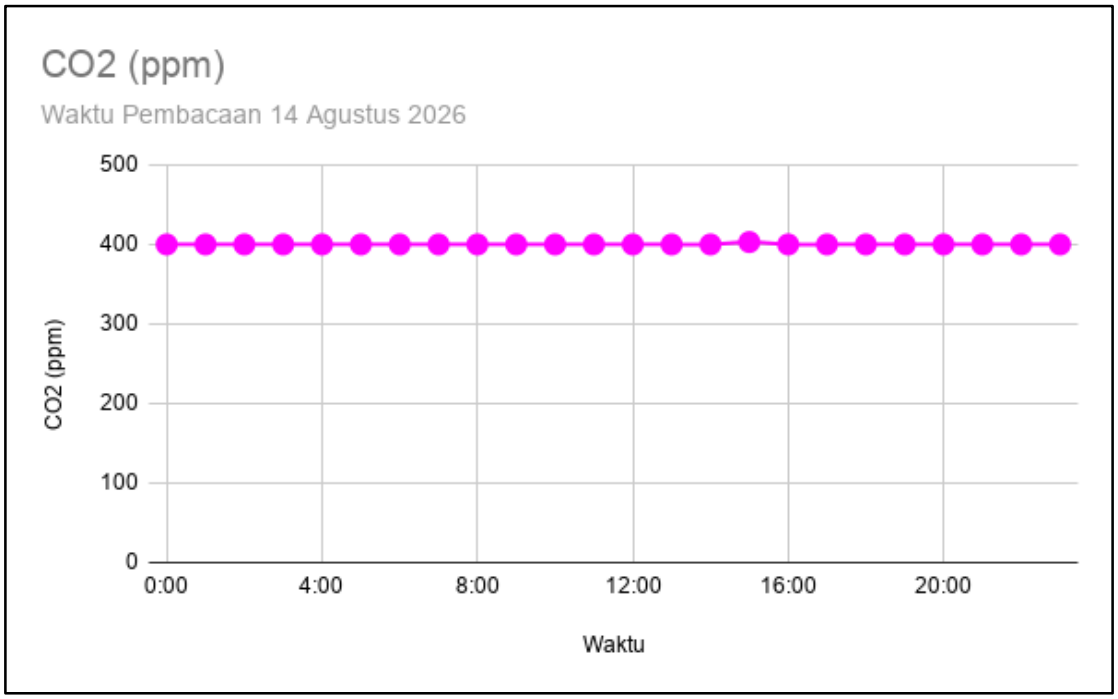
Gambar 8 Visualisasi tren intensitas cahaya selama pengujian

Grafik pada Gambar 8 merupakan intensitas cahaya menunjukkan pola yang konsisten dengan siklus radiasi matahari harian. Nilai cahaya tercatat sangat rendah atau mendekati nol pada malam hingga dini hari, kemudian meningkat tajam seiring matahari terbit dan mencapai nilai

puncak yang terukur hingga 100.000 *lux* pada rentang siang hari (sekitar pukul 12.00–16.00 WIB) sebagai respons terhadap kondisi cuaca cerah di lokasi pengujian. Setelah melewati puncak, intensitas cahaya menurun drastis menjelang sore hari dan kembali mendekati nol pada malam hari. Pola ini mengonfirmasi bahwa modul LDR dengan konfigurasi pembagi tegangan yang diterapkan mampu menangkap rentang dinamis fluktuasi cahaya harian secara *real-time* tanpa mengalami saturasi pada kondisi siang hari yang terik.

3. 5 Hasil Pengujian Grafik Tren Historis Kadar CO_2

Pengujian terakhir dalam rangkaian analisis data runtun waktu dilakukan terhadap visualisasi parameter kadar gas CO_2 di dalam sirkulasi udara *greenhouse* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Visualisasi Tren Kadar CO2 (ppm) Selama Pengujian

Kadar CO_2 selama pengujian 14 Agustus 2026 menunjukkan pola yang relatif stabil sepanjang hari. Pada dini hari hingga pagi, konsentrasi CO_2 terpantau dalam kisaran 400–403 ppm. Seiring meningkatnya aktivitas fotosintesis tanaman pada siang hari, kadar CO2 menunjukkan tren penurunan yang moderat karena dikonsumsi oleh tanaman, sebelum akhirnya kembali ke kisaran konsentrasi dasar menjelang malam hari ketika laju respirasi mulai mendominasi. Tidak terdeteksi adanya anomali nilai ekstrem (seperti penurunan mendadak menuju 0 ppm) pada periode pengujian ini, yang mengindikasikan bahwa saluran komunikasi data antara sensor CO_2, ESP32, dan *server* Laravel berfungsi dengan stabil dan bebas dari gangguan *packet loss* pada rentang waktu tersebut.

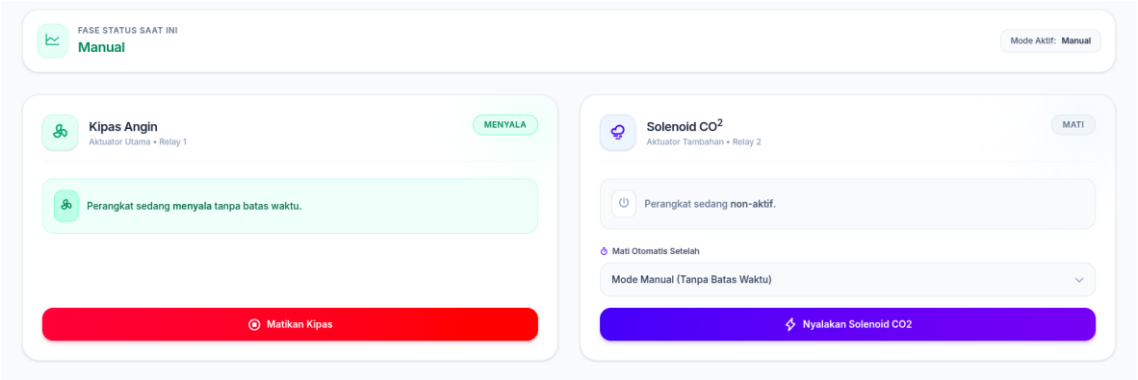
3. 6 Hasil Pengujian Mode Kendali Aktuator

Pengujian juga dilakukan terhadap tiga mode kendali aktuator yang tersedia pada sistem, yaitu mode manual, mode otomatis berbasis ambang batas sensor, dan mode penjadwalan. Hasil pengujian masing-masing mode dijabarkan pada sub-bab berikut.

3. 6.1 Mode Manual

Pada mode manual, ketika pengguna menekan tombol untuk menghidupkan *relay*, aktuator langsung menyala saat itu juga tanpa mempertimbangkan ambang batas sensor. Mode

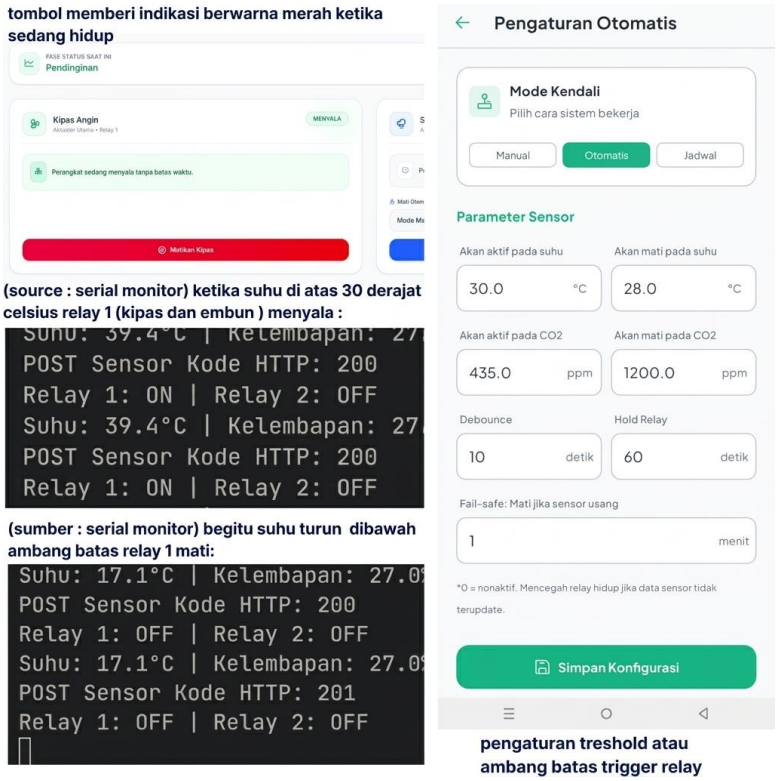
ini juga dilengkapi opsi *timer* agar *relay* dapat mati secara otomatis setelah durasi tertentu seperti terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10 *Serial Monitor* Menerima Respon Ketika Tombol Dinyalakan

3. 6.2 Mode Otomatis Sensor

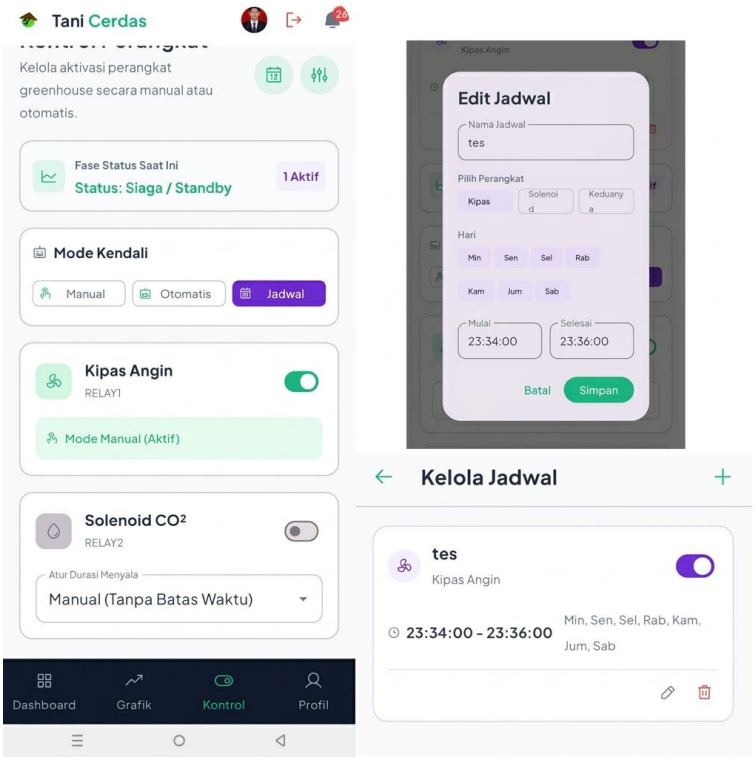
Pada mode otomatis berbasis sensor, sistem berhasil menjalankan logika kendali dengan baik, relay kipas angin dan solenoid CO_2 aktif ketika nilai sensor melewati ambang batas aktif yang ditentukan (misalnya suhu di atas 30°*C*), dan kembali non aktif ketika nilai sensor turun di bawah ambang batas mati yang dikonfigurasi (misalnya suhu di bawah 28°*C*), lengkap dengan mekanisme *debounce* dan minimal waktu tahan *relay* untuk mencegah *relay* menyala dan mati secara berulang akibat fluktuasi pembacaan sensor yang kecil seperti tersaji pada Gambar 11.



Gambar 11 Log *Serial* Ketika Sensor Melewati *Threshold*, Tampilan Antarmuka Kendali, Serta Konfigurasi *Threshold* Suhu dan CO_2

3. 6.3 Mode Penjadwalan

Pada mode penjadwalan, sistem terbukti mampu menghidupkan dan mematikan *relay* tepat pada rentang waktu dan hari yang telah ditentukan oleh pengguna melalui fitur CRUD (*Create, Read, Update, Delete*) penjadwalan pada *dashboard* admin seperti Gambar 12.



Gambar 12 Contoh Pembuatan Jadwal Baru (aktif setiap hari pukul 23:34-23:36) Beserta Antar Muka Kendali Penjadwalan

4. KESIMPULAN

1. Penelitian ini berhasil membangun sistem pemantauan (*monitoring*) sekaligus pengendalian (*control*) ekosistem mikro *greenhouse* berbasis IoT di *neliti-sk.darmajaya.ac.id* yang mengintegrasikan sensor DHT22 (suhu dan kelembaban), LDR (intensitas cahaya), dan sensor gas CO_2.
2. Pengujian berkelas selama 24 jam penuh menunjukkan bahwa sistem sukses melakukan akuisisi data dan mentransmisikannya secara nirkabel via Wi-Fi menuju server *backend* Laravel dengan tingkat keberhasilan perekaman data 100% (24 dari 24 titik data per jam) selama periode pengujian 24 jam, tanpa ditemukan interval waktu yang kosong pada level pencatatan basis data. Pengujian packet loss pada level protokol jaringan (mis. *latency*, *throughput* per paket) belum dilakukan pada penelitian ini dan dapat menjadi fokus pengujian lanjutan.
3. Sistem berhasil mengimplementasikan tiga mode kendali aktuator, yaitu manual, otomatis berbasis ambang batas sensor, dan penjadwalan, yang seluruhnya telah diuji dan berfungsi dengan baik pada perangkat *relay* kipas angin dan solenoid CO_2.
4. Autentikasi akses dibedakan antara aplikasi mobile (menggunakan *token* Laravel Sanctum) dan web admin (menggunakan sesi/*session*), sehingga kendali perangkat hanya dapat dilakukan oleh pengguna yang terautentikasi.
5. Kelemahan dari penelitian ini adalah sistem belum menyertakan mekanisme penyimpanan data cadangan secara lokal (*offline logging*) pada perangkat *edge*, sehingga data berpotensi hilang apabila terjadi gangguan koneksi internet antara ESP32 dan *server*.

5. SARAN

Untuk memenuhi kekurangan pada penelitian ini, saran untuk penelitian lebih lanjut difokuskan pada beberapa pengembangan. Pertama, penelitian mendatang perlu mengembangkan arsitektur penyimpanan data sekunder berupa integrasi pencatatan data lokal (*offline logging*), seperti penggunaan modul MicroSD, untuk memenuhi kelemahan sistem saat ini yang masih rentan terhadap hilangnya rekaman data log apabila terjadi gangguan atau pemutusan koneksi internet di lokasi *greenhouse*. Kedua, penelitian lanjutan dapat mengeksplorasi penambahan parameter lingkungan lain yang relevan bagi budidaya pakcoy hidroponik, serta penerapan algoritma prediktif untuk mengoptimalkan waktu aktivasi aktuator berdasarkan pola historis data sensor. Ketiga apabila ingin di kembangkan dalam skala yang lebih massive disarankan menggunakan protokol MQTT agar pengiriman data menjadi lebih ringan, cepat, dan menghemat bandwidth meskipun melibatkan ratusan perangkat sensor sekaligus.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan apresiasi yang tulus kepada Tim Redaksi Jurnal Teknika Politeknik Negeri Sriwijaya atas kesempatan dan ruang publikasi yang telah diberikan. Proses penelaahan serta dukungan dari tim redaksi sangat bermakna dalam tahapan penyempurnaan naskah ini, sehingga artikel ilmiah ini dapat diterbitkan dengan baik dan diharapkan mampu memberikan kontribusi akademik yang bermanfaat.

DAFTAR PUSTAKA

[1] C. Maraveas and T. Bartzanas, "Application of Internet of Things (IoT) for Optimized Greenhouse Environments," *AgriEngineering*, vol. 3, no. 4, pp. 954–970, Nov. 2021, doi: 10.3390/agriengineering3040060.

[2] A. Syahandi, R. Vitria, R. Dewi, and S. Rifka, "Penerapan IoT untuk Pemantauan Parameter Penting Pertumbuhan Selada Hidroponik Indoor," *JTERA J. Teknol. Rekayasa*, vol. 10, no. 2, pp. 141–146, Dec. 2025, doi: 10.31544/jtera.v10i2.2025.141-146.

[3] D. Y. Setyawan, N. Nurfiana, M. G. Setiawati, L. Rosmalia, and N. Nurjoko, "Pelatihan dan Implementasi Vertical Farming berbasis Internet of Things (IoT) Bagi Siswa dan Siswi di Emer Islamic Boarding School (EIBOS) Kecamatan Natar Kabupaten Lampung Selatan," *J. Pustaka Mitra Pus. Akses Kaji. Mengabdi Terhadap Masy.*, vol. 5, no. 3, pp. 101–105, May 2025, doi: 10.55382/jurnalpustakamitra.v5i3.925.

[4] R. Al-Najadi, Y. Al-Mulla, and K. Goher, "Advances in intelligent and autonomous greenhouse systems: A comprehensive review of internet of things, artificial intelligence, and robotics integration," *Smart Agric. Technol.*, vol. 13, p. 101670, Mar. 2026, doi: 10.1016/j.atech.2025.101670.

[5] C. Maraveas, D. Piromalis, K. G. Arvanitis, T. Bartzanas, and D. Loukatos, "Applications of IoT for optimized greenhouse environment and resources management," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 198, p. 106993, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.compag.2022.106993.

[6] D. Y. Setyawan, R. D. Handayani, and L. Rosmalia, "Penerapan Sistem Irigasi Otomatis Berbasis IoT: Analisis Perbandingan Efisiensi Sensor Kapasitif dan Sensor Resistif dalam Pertanian Presisi," *TEKNIKA*, vol. 20, no. 2, pp. 481–490, Mei, Tahun 2026.

[7] C. Bersani, C. Ruggiero, R. Sacile, A. Soussi, and E. Zero, "Internet of Things Approaches for Monitoring and Control of Smart Greenhouses in Industry 4.0," *Energies*, vol. 15, no. 10, p. 3834, May 2022, doi: 10.3390/en15103834.

[8] M. F. Latief, M. I. Hakim, R. Rusmanto, and R. Rahma, "Estimasi Serapan CO_2 melalui Selisih Konsentrasi di Udara dan Tanah: Studi Kasus Pertanian Urban di Depok," *Decode J. Pendidik. Teknol. Inf.*, vol. 5, no. 2, pp. 474–485, Jul. 2025, doi: 10.51454/decode.v5i2.1163.

[9] E. Bicamumakuba, M. N. Reza, H. Jin, Samsuzzaman, K.-H. Lee, and S.-O. Chung, "Multi-Sensor Monitoring, Intelligent Control, and Data Processing for Smart Greenhouse

Environment Management," *Sensors*, vol. 25, no. 19, p. 6134, Oct. 2025, doi: 10.3390/s25196134.
[10] Adelia Saputri, Muhammad Suwignyo Prayogo, and Faiqotun Ni'mah, "Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap Laju Fotosintesis pada Tanaman Bayam (Amaranthus Sp.)," *Flora J. Kaji. Ilmu Pertan. Dan Perkeb.*, vol. 2, no. 2, pp. 01–13, May 2025, doi: 10.62951/flora.v2i2.312.
[11] N. Singh, A. K. Sharma, I. Sarkar, S. Prabhu, and K. Chadaga, "IoT-based greenhouse technologies for enhanced crop production: a comprehensive study of monitoring, control, and communication techniques," *Syst. Sci. Control Eng.*, vol. 12, no. 1, p. 2306825, Dec. 2024, doi: 10.1080/21642583.2024.2306825.
[12] E. Villagran *et al.*, "CO2 Enrichment in Protected Agriculture: A Systematic Review of Greenhouses, Controlled Environment Systems, and Vertical Farms—Part 2," *Sustainability*, vol. 17, no. 7, p. 2809, Mar. 2025, doi: 10.3390/su17072809.
[13] T. M. Mata, G. M. Oliveira, H. Monteiro, G. V. Silva, N. S. Caetano, and A. A. Martins, "Indoor Air Quality Improvement Using Nature-Based Solutions: Design Proposals to Greener Cities," *Int. J. Environ. Res. Public. Health*, vol. 18, no. 16, p. 8472, Aug. 2021, doi: 10.3390/ijerph18168472.
[14] H. Benyezza, M. Bouhedda, R. Kara, and S. Rebouh, "Smart platform based on IoT and WSN for monitoring and control of a greenhouse in the context of precision agriculture," *Internet Things*, vol. 23, p. 100830, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.iot.2023.100830.
[15] K. Kour *et al.*, "Monitoring Ambient Parameters in the IoT Precision Agriculture Scenario: An Approach to Sensor Selection and Hydroponic Saffron Cultivation," *Sensors*, vol. 22, no. 22, p. 8905, Nov. 2022, doi: 10.3390/s22228905.
[16] I. Fatimah, B. Indarto, D. Anggoro, and B. Arfianto, "Thingview Free: Application of Smart Greenhouse for Chilli Plant on Android," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1951, no. 1, p. 012040, Jun. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1951/1/012040.
[17] K. Tatas *et al.*, "Reliable IoT-Based Monitoring and Control of Hydroponic Systems," *Technologies*, vol. 10, no. 1, p. 26, Feb. 2022, doi: 10.3390/technologies10010026.
[18] Computer Engineering Department, LPU-Cavite, Philippines *et al.*, "Development of IoT Smart Greenhouse System for Hydroponic Gardens," *Int. J. Comput. Sci. Res.*, vol. 7, pp. 2111–2136, Jan. 2023, doi: 10.25147/ijcsr.2017.001.1.149.
[19] O. D. Arianto and Y. A. Susetyo, "PENERAPAN RESTFUL WEB SERVICE DENGAN FRAMEWORK LARAVEL UNTUK PEMBANGUNAN SISTEM INFORMASI MANAJEMEN SUMBER DAYA MANUSIA," *JIPI J. Ilm. Penelit. Dan Pembelajaran Inform.*, vol. 7, no. 2, pp. 522–532, May 2022, doi: 10.29100/jipi.v7i2.2870.
[20] V. Y. P. Ardhana, M. T. Hidayat, M. Jannah, S. Sumiati, P. Rini, and N. Sari, "Implementasi RESTful API Pada Laravel dan Simulator IoT Wokwi Untuk Pengukuran Suhu dan Kelembaban Menggunakan Metode Waterfall," *Arcitech J. Comput. Sci. Artif. Intell.*, vol. 3, no. 2, p. 93, Dec. 2023, doi: 10.29240/arcitech.v3i2.9334.
[21] M. I. Alhari, M. Lubis, and F. Budiman, "Information System Management of Palm Agriculture using Laravel Framework," in *2022 International Conference on Informatics, Multimedia, Cyber and Information System (ICIMCIS)*, Jakarta, Indonesia: IEEE, Nov. 2022, pp. 478–483. doi: 10.1109/ICIMCIS56303.2022.10017918.