

**PERCANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN FOTOPERIODISME
TANAMAN BUAH NAGA MELALUI SUPLEMENTASI CAHAYA
MALAM GUNA PRODUKSI DI LUAR MUSIM**

SKRIPSI

DISUSUN OLEH

YAYANG RAMADANI

2209020112



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

MEDAN

2026

**PERCANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN FOTOPERIODISME
TANAMAN BUAH NAGA MELALUI SUPLEMENTASI CAHAYA
MALAM GUNA PRODUKSI DI LUAR MUSIM**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Komputer (S.Kom) dalam Program Studi Teknologi Informasi, pada
Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas
Muhammadiyah Sumatera Utara**

YAYANG RAMADANI

2209020112

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

MEDAN

2026

LEMBAR PENGESAHAN

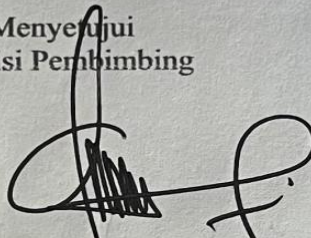
Judul Skripsi : PERCANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN
FOTOPERIODISME TANAMAN BUAH NAGA
MELALUI SUPLEMENTASI CAHAYA MALAM
GUNA PRODUKSI DI LUAR MUSIM

Nama Mahasiswa : YAYANG RAMADANI

NPM : 2209020112

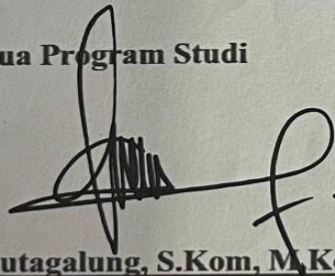
Program Studi : TEKNOLOGI INFORMASI

Menyetujui
Komisi Pembimbing



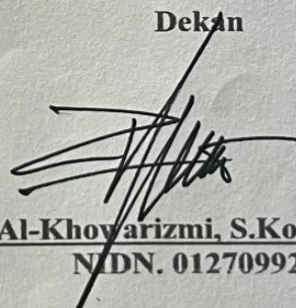
(Fatma Sari Hutagalung, S.Kom, M.Kom.)
NIDN. 0117019301

Ketua Program Studi



(Fatma Sari Hutagalung, S.Kom, M.Kom.)
NIDN. 0117019301

Dekan



(Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom.)
NIDN. 0127099201

PERNYATAAN ORISINALITAS

**PERCANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN FOTOPERIODISME
TANAMAN BUAH NAGA MELALUI SUPLEMENTASI CAHAYA
MALAM GUNA PRODUKSI DI LUAR MUSIM**

SKRIPSI

Saya menyatakan bahwa karya tulis ini adalah hasil karya sendiri, kecuali beberapa kutipan dan ringkasan yang masing-masing disebutkan sumbernya.

Medan, 15 April 2026

Yang membuat pernyataan



Yayang Ramadani

NPM. 2209020112

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN
AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Yayang Ramadani
NPM : 2209020112
Program Studi : Teknologi Informasi
Karya Ilmiah : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Hak Bedas Royalti Non-Eksekutif (*Non-Exclusive Royalty free Right*) atas penelitian skripsi saya yang berjudul:

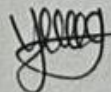
**PERCANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN FOTOPERIODISME
TANAMAN BUAH NAGA MELALUI SUPLEMENTASI CAHAYA
MALAM GUNA PRODUKSI DI LUAR MUSIM**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksekutif ini, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara berhak menyimpan, mengalih media, memformat, mengelola dalam bentuk database, merawat dan mempublikasikan Skripsi saya ini tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemegang dan atau sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Medan, 15 April 2026

Yang membuat pernyataan



Yayang Ramadani
NPM. 2209020112

RIWAYAT HIDUP

DATA PRIBADI

Nama Lengkap : YAYANG RAMADANI
Tempat dan Tanggal Lahir : Pangkalan Susu, 10 November 2003
Alamat Rumah : Jalan. Pipa Besar, Alur Cempedak
Telepon/Faks/HP : 085955052732
E-mail : yayangramadani57@gmail.com
Instansi Tempat Kerja : -
Alamat Kantor : -

DATA PENDIDIKAN

SD : SDN 050775 Pangkalan Susu TAMAT: 2015
SMP : SMP N1 Pangkalan Susu TAMAT: 2018
SMA : MAS FUADUL FIKRI TAMAT: 2021

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, penulis lantunkan kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Percancangan Sistem Pengendalian Fotoperiodisme Tanaman Buah Naga Melalui Suplementasi Cahaya Malam Guna Produksi Di Luar Musim”.

Shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa kita dari zaman kegelapan menuju zaman yang terang benderang seperti sekarang ini. Penyusunan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi salah satu syarat guna mencapai gelar sarjana komputer di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dukungan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Akrim, M.Pd., Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU)
2. Bapak Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom. Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU.
3. Ibu Dr. Firahmi Rizky, M.Kom. Selaku Wakil Dekan I Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara.

4. Bapak Mhd. Basri, S.Si, M.Kom. Wakil Dekan III Program Studi Teknologi Informasi Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi.
5. Ibu Fatma Sari Hutagalung, S.Kom., M.Kom. Ketua Program Studi Teknologi Informasi. Sekaligus Dosen Pembimbing yang senantiasa telah membimbing dan mengarahkan penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan sebaik-baiknya.
6. Bapak Okvi Nugroho S.Kom., M.Kom. Sekretaris Program Studi Teknologi Informasi.
7. Seluruh dosen dan staf Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi yang telah dengan tulus memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan, bantuan, serta pelayanan yang baik kepada penulis selama menempuh masa perkuliahan, sehingga penulis dapat belajar, berkembang, dan menyelesaikan pendidikan ini dengan baik.
8. Ucapan terima kasih ini penulis persembahkan kepada kedua orang tua tercinta, Bapak Agus Kamardi dan Ibu Suriana yang selalu menjadi sumber kekuatan, tempat bersandar dan berkeluh kesah. Terima kasih juga atas doa yang tak pernah putus, pengorbanan yang tak usai dalam setiap langkah penulis. Terima kasih juga selalu ada disisi penulis, hal ini menjadi penguat bagi penulis untuk segera menyelesaikan penulisan skripsi untuk mendapatkan gelar sarjana.
9. Ucapan terima kasih ini penulis persembahkan kepada saudara kandung saya tercinta, Ainun Syahdilla dan Rahma Agustina yang selalu memberikan dukungan dan semangat dalam penulisan skripsi.

10. Ucapan terima kasih ini penulis persembahkan untuk Ebenezer Sitanggang yang telah menjadi peran inspiratif bagi saya dan telah rela meluangkan waktunya dan sabar menemani proses saya dalam menyelesaikan perkuliahan.
11. Ucapan terima kasih ini penulis persembahkan kepada teman seperjuangan saya circle GALAXY, yang telah menjadi bagian cerita indah semasa perkuliahan. Terima kasih sudah menjadi tempat berkeluh kesah, tempat bercerita, tempat mengaduh segala permasalahan dan terima kasih juga selalu ada disisi penulis baik suka maupun duka. Terima kasih karena selalu menemani, mendukung, menghibur, dan berjalan bersama dalam setiap proses yang telah dilalui. Semoga persahabatan ini senantiasa terjaga, dan langkah kita semua selalu dimudahkan untuk meraih mimpi-mimpi terbaik di masa depan.
12. Ucapan terima kasih yang tulus penulis sampaikan kepada teman-teman kelas C1 Para sahabat penulis dibangku perkuliahan yang selalu kebersamai dalam empat tahun ini yang memberikan banyak kenangan indah selama perkuliahan. Terima kasih atas kebersamaan, dukungan, dan bantuan yang diberikan, terutama saat penulis mengalami kebuntuan dalam menyelesaikan skripsi ini.
13. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada teman-teman lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu, namun telah hadir dan memberikan dukungan, semangat, perhatian, serta bantuan kepada penulis, terutama pada masa-masa sulit dan titik terendah dalam proses penyusunan skripsi ini. Kehadiran dan kebaikan kalian menjadi kekuatan tersendiri bagi

penulis untuk tetap bertahan, bangkit, dan menyelesaikan skripsi ini hingga akhir.

14. Terakhir, ucapan terima kasih kepada diri sendiri atas perjuangan, kesabaran ,dan ketekunan dalam menyelesaikan skripsi ini. Tidak sedikit rintangan, keraguan, kelelahan, bahkan air mata yang menyertai setiap proses penulisan skripsi ini. Namun penulis tetap berusaha dan bertahan hingga sampai ketahap ini. Semoga setiap perjalanan ini mejadi pengingat bagi penulis bahwa setiap perjuangan tidak akan pernah sia-sia dan akan selalu memberikan makna serta pembelajaran yang berharga dimasa depan.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan merancang sistem Internet of Things (IoT) untuk pengendalian fotoperiodisme tanaman buah naga melalui suplementasi cahaya malam guna produksi di luar musim. Sistem menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama, RTC DS3231 sebagai acuan waktu, sensor DHT22 untuk membaca suhu, serta relay untuk mengendalikan lampu, exhaust, dan heater. Pada mode otomatis, lampu bekerja berdasarkan jadwal `jadwal_on` dan `jadwal_off`, sedangkan exhaust dan heater dikendalikan berdasarkan ambang suhu. Pada mode manual, pengguna dapat mengontrol aktuator melalui dashboard web. Data suhu, status aktuator, mode kontrol, jadwal operasi, dan waktu pencatatan dikirim ke server localhost menggunakan protokol HTTP, disimpan pada database MySQL, dan ditampilkan pada dashboard web. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu menjalankan pengendalian lampu sesuai jadwal suplementasi cahaya malam serta monitoring dan pengendalian suhu sederhana. Sistem ini dapat digunakan sebagai pendukung pengendalian fotoperiodisme tanaman buah naga guna produksi di luar musim.

Kata kunci : fotoperiodisme, buah naga, ESP32, suplementasi cahaya malam, IoT.

ABSTRACT

This study aims to design an Internet of Things (IoT)-based system for controlling the photoperiodism of dragon fruit plants through supplementary night lighting to support off-season production. The system uses an ESP32 as the main controller, an RTC DS3231 as the time reference, a DHT22 sensor for temperature reading, and relays to control the lamp, exhaust fan, and heater. In automatic mode, the lamp operates based on the `jadwal_on` and `jadwal_off` schedule, while the exhaust fan and heater are controlled according to temperature thresholds. In manual mode, users can control the actuators through a web dashboard. Monitoring data, including temperature, actuator status, control mode, operating schedule, and recorded time, are sent to a localhost server using the HTTP protocol, stored in a MySQL database, and displayed on a web dashboard. The results show that the system is able to control the lamp according to the supplementary night-lighting schedule and perform simple temperature monitoring and control. Therefore, this system can be used to support the photoperiodism control of dragon fruit plants for off-season production.

Keywords: photoperiodism, dragon fruit, ESP32, supplementary night lighting, IoT.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II LANDASAN TEORI	6
2.1 Penelitian Terdahulu.....	6
2.2 Tanaman Buah Naga	10
2.3 Fotoperiodisme	11
2.4 Suplementasi Cahaya Malam pada Buah Naga.....	11
2.5 Pengaruh Suhu terhadap Pembungaan Buah Naga	11
2.6 Internet of Things (IoT).....	12
2.7 Mikrokontroler ESP32.....	13
2.8 Modul RTC DS3231	14
2.9 Sensor Suhu dan Kelembaban DHT22.....	15
2.10 Lampu LED / LED Grow Light	16
2.11 Perangkat Pengendali Daya (RELAY).....	17
2.12 Exhaust/Kipas sebagai Aktuator Pengendalian Suhu.....	18
2.13 Heater sebagai Aktuator Pengendalian Suhu	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian	21
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	22
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	23
3.3.1 Perangkat Keras	23
3.3.2 Perangkat Lunak	24
3.4 Tahapan Penelitian	25
3.5 Perancangan Sistem.....	26
3.5.1 Perancangan Alat	26
3.5.2 Alur Kerja Alat	30
3.5.3 Diagram Blok Alat.....	32
3.5.4 Gambaran Umum Sistem.....	33
3.5.5 Perancangan Perangkat Lunak.....	35
3.5.6 Perancangan Database	36
3.5.7 Perancangan Website Dashboard Monitoring dan Kontrol	39
3.6 Teknik Pengumpulan Data	45
3.7 Dataflow Diagram	46

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	48
4.1 Proses Dan Hasil Perakitan Alat	48
4.2 Proses Dan Hasil Perancangan Sistem	49
4.2.1 Proses Pembuatan Database.....	50
4.2.2 Hasil Dashboard.....	51
4.2.3 Pemrograman ESP32	52
4.3 Hasil Pengujian.....	54
4.3.1 Pengujian Fungsional	54
BAB V KESIMPULAN.....	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN.....	61
1.Source Code Unit Mikrokontroler.....	61
2.SK Dosen Pembimbing Skripsi	76

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Ringkasan Penelitian Terkait	6
Tabel 3. 1 Daftar Perangkat Keras	23
Tabel 3. 2 Daftar Perangkat Lunak	24
Tabel 3. 3 Konfigurasi Pin ESP32 dan Koneksi Perangkat	28
Tabel 3. 4 Struktur Tabel Database Monitoring.....	39
Tabel 3. 5 Pengujian Sistem.....	47
Tabel 4. Implementasi Kode.....	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 ESP 32	14
Gambar 2. 2 RTC DS3231	15
Gambar 2. 3 Suhu dan Kelembapan DHT 22	16
Gambar 2. 4 Lampu LED/LEDGrow Light	17
Gambar 2. 5 Relay.....	18
Gambar 2. 6 EXHAUST	19
Gambar 2. 7 Heater	20
Gambar 3. 1 Alur Tahap Penelitian.....	25
Gambar 3. 2 Gambar Rangkaian Pada Fritzing	27
Gambar 3. 3 Gambar Alur Alat.....	30
Gambar 3. 4 Diagram Blok Alat	33
Gambar 3. 5 Diagram Arsitektur Sistem.....	35
Gambar 3. 6 Halaman Login.....	40
Gambar 3. 7 Halaman Dashboard Monitoring.....	41
Gambar 3. 8 Halaman Kontrol (AUTO/MANUAL)	42
Gambar 3. 9 Halaman Riwayat Monitoring.....	43
Gambar 3. 10 Usecase Dashboard Monitoring	44
Gambar 3. 11 Diagram Flow.....	46
Gambar 4. 1 Desain Alat.....	48
Gambar 4. 2 Hasil Rangkaian Keseluruhan	49
Gambar 4. 3 Struktur Tabel Kontrol IoT	50
Gambar 4. 4 Struktur Tabel Kontrol User.....	51
Gambar 4. 5 Tampilan Dashboard Monitoring	51
Gambar 4. 6 Tampilan Dashboard Mode Kontrol	52
Gambar 4. 7 Tampilan Dashboard History	52

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Buah naga (dragon fruit/pitaya) merupakan komoditas hortikultura yang berasal dari beberapa jenis kaktus marga *Hylocereus* dan *Selenicereus* (Le Belle et al., 2006). Dalam beberapa tahun terakhir, budidaya buah naga berkembang karena permintaan pasar dan nilai ekonominya. Di Kabupaten Banyuwangi, buah naga menjadi komoditas unggulan; data daerah menyebut luasan budidaya sekitar 3.786 ha dengan produksi mencapai 82.544 ton per tahun, sehingga komoditas ini berkontribusi pada pendapatan petani dan aktivitas ekonomi setempat (Sumberagung et al., 2024).

Namun demikian, budidaya buah naga masih menghadapi persoalan produksi musiman dan fluktuasi harga. Salah satu masalah yang sering muncul adalah panen serentak (panen raya) yang membuat pasokan melimpah sehingga harga di tingkat petani turun. Pemberitaan di Banyuwangi menunjukkan harga buah naga yang pada kondisi tertentu berada di kisaran Rp10.000–Rp13.000/kg dapat turun menjadi sekitar Rp5.000/kg ketika memasuki masa panen dan pasokan meningkat. Kondisi tersebut mendorong perlunya strategi budidaya yang memungkinkan panen di luar musim, sehingga petani tidak hanya bergantung pada periode panen raya (Sumberagung et al., 2024).

Dari sisi fisiologi tanaman, rendahnya produksi di luar musim berkaitan dengan sifat buah naga yang responsif terhadap fotoperiodisme (panjang hari). Pada kondisi hari pendek, tanaman cenderung tidak membentuk bunga sehingga produksi menurun. Penambahan cahaya buatan pada malam hari (night-breaking)

digunakan untuk “memperpanjang hari efektif” sehingga tanaman tetap menerima sinyal panjang hari dan terdorong membentuk kuncup bunga (Jiang et al., 2012). Penelitian di Bangladesh membuktikan bahwa peningkatan panjang hari melalui night-breaking dapat meningkatkan pembungaan dan hasil panen buah naga pada periode hari pendek; salah satu perlakuan efektifnya adalah pemberian cahaya buatan sekitar enam jam pada malam hari (Rashid et al., 2021).

Selain faktor cahaya, keberhasilan pembungaan buah naga juga dipengaruhi suhu. Penelitian Chu dan Chang menunjukkan bahwa pembentukan/kemunculan kuncup reproduktif pitaya dipercepat pada suhu hangat, dengan 32/22°C (siang/malam) sebagai suhu optimal untuk perkembangan dan kemunculan kuncup, sedangkan sekitar 29/19°C dilaporkan sebagai suhu minimum yang masih memungkinkan kemunculan kuncup (dengan waktu lebih lama) (Chu & Chang, 2020). Sebaliknya, suhu musim panas yang tinggi dilaporkan dapat menghambat pembungaan pada pitaya, sehingga pengelolaan suhu menjadi penting agar fase generatif tidak tertekan (Nerd et al., 2002).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini mengembangkan Berdasarkan uraian tersebut, diperlukan suatu rancangan sistem yang mampu menjalankan night-breaking secara terjadwal, konsisten, dan efisien, sekaligus memantau kondisi lingkungan (khususnya suhu) agar penerapan produksi off-season lebih terukur. Oleh karena itu, penelitian ini mengangkat judul “Perancangan Sistem Pengendalian Fotoperiodisme Tanaman Buah Naga melalui Suplementasi Cahaya Malam Guna Produksi di Luar Musim” dengan mengembangkan sistem berbasis mikrokontroler (ESP32) yang mengotomatisasi nyala–mati lampu sesuai jadwal,

melakukan monitoring suhu, serta mencatat data operasional sistem untuk evaluasi dan pengambilan keputusan budidaya pada jaringan lokal (localhost).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Bagaimana merancang sistem pengendalian fotoperiodisme tanaman buah naga melalui suplementasi cahaya malam (night-breaking) berbasis mikrokontroler yang mampu mengotomatisasi penjadwalan lampu, melakukan monitoring suhu-kelembaban serta menampilkan hasil pemantauan melalui website dashboard monitoring pada jaringan lokal (localhost) guna mendukung produksi di luar musim?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan permasalahan yang dibahas agar dapat menyelesaikan permasalahan utama. Berikut ini batasan masalah penelitian ini:

1. Objek penelitian dibatasi pada tanaman buah naga merah (*Hylocereus* sp) sebagai tanaman uji.
2. Sistem dikembangkan sebagai prototipe berbasis ESP32, tidak ditujukan untuk implementasi massal pada kebun luas yang dikembangkan dirancang dalam bentuk prototype IoT berbasis mikrokontroler dan diuji pada skala terbatas.
3. Pengendalian utama yang dibahas adalah fotoperiodisme melalui suplementasi cahaya malam dengan kontrol ON/OFF terjadwal (night-breaking); penelitian tidak membahas irigasi, pemupukan, pemangkasan, dan pengendalian hama/penyakit.
4. Pengendalian lingkungan dibatasi pada kontrol suhu sederhana menggunakan kipas/exhaust (ON/OFF) berbasis ambang batas; tidak

mencakup sistem pengkondisian iklim lengkap (heater/AC, kontrol intensitas cahaya berbasis lux/PPFD, kontrol greenhouse skala penuh).

5. Sistem IoT dibatasi pada jaringan lokal (localhost) menggunakan HTTP, PHP, dan database MySQL; integrasi cloud dan keamanan tingkat lanjut (mis. enkripsi dan manajemen user kompleks) tidak menjadi fokus.
6. Parameter uji berfokus pada kinerja sistem: ketepatan jadwal lampu, respon exhaust terhadap suhu, keberhasilan pengiriman data/log ke database, dan kestabilan sistem selama pengujian.
7. Respon tanaman diamati secara indikator sederhana (kemunculan kuncup/bunga sebagai pengamatan awal), tanpa analisis fisiologis/molekuler mendalam dan tanpa analisis ekonomi menyeluruh (BEP/ROI).
8. Monitoring sistem dibatasi melalui website berbasis localhost untuk menampilkan data sensor dan status aktuator (mis. lampu dan exhaust) secara real-time/periodik serta riwayat log dari database; tidak mencakup pengembangan aplikasi mobile, notifikasi lanjutan (push/WA/email), dashboard analitik lanjutan, maupun akses monitoring jarak jauh melalui internet/cloud.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

Merancang dan membangun sistem pengendalian fotoperiodisme tanaman buah naga melalui suplementasi cahaya malam (night-breaking) berbasis mikrokontroler yang dapat mengotomatisasi penjadwalan lampu, melakukan monitoring suhu-kelembaban, serta menyediakan website dashboard monitoring

pada jaringan lokal (localhost) sebagai sarana pemantauan dan evaluasi operasional sistem guna mendukung produksi di luar musim.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat praktis (budidaya/petani)
 - a) Membantu penerapan night-breaking yang lebih konsisten (jam dan durasi terjadwal), sehingga mendukung upaya produksi di luar musim.
 - b) Memberikan data historis suhu dan status sistem untuk evaluasi, sehingga keputusan budidaya lebih terukur.
2. Manfaat teknis (teknologi/sistem)
 - a) Menghasilkan prototipe sistem berbasis ESP32 yang mampu: mengendalikan lampu night-breaking, memonitor suhu, mengaktifkan kipas/exhaust saat diperlukan, serta mencatat data ke database localhost dan menampilkannya di dashboard web.
3. Manfaat akademik (penelitian)
 - a) Menjadi referensi penerapan IoT lokal (localhost) pada smart agriculture yang menggabungkan kontrol aktuator (lampu + exhaust), monitoring lingkungan (suhu), dan pencatatan data terstruktur; dapat dikembangkan ke penelitian lanjutan mengenai hubungan fotoperiodisme–suhu–pembungaan buah naga.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Penelitian Terdahulu

Ada beberapa penelitian yg relevan sudah dilakukan sebelumnya dan memiliki beberapa kekurangan yaitu :

Tabel 2. 1 Ringkasan Penelitian Terkait

No	Peneliti	Tahun	Objek Penelitian	Teknologi/Komponen Utama	Perbedaan dengan Penelitian Ini
1	Jiang et al.	2012	Regulasi pembentukan kuncup bunga pitaya (buah naga) terkait fotoperiod	Perlakuan fotoperiod & suplementasi cahaya (night-breaking)	Fokus fisiologi/fotoperiodisme; belum merancang sistem kendali berbasis mikrokontroler/IoT dan tanpa logging ke database localhost.
2	Setiawan et al.	2023	Sistem penyiraman & pencahayaan tanaman berbasis IoT (umum)	IoT + mikrokontroler, kontrol penyiraman & pencahayaan	Sistem masih umum untuk tanaman/lingkungan terkontrol dan tidak spesifik buah naga; tidak menitikberatkan pada pengendalian fotoperiodisme (jadwal night-breaking off-season).
3	Rashid et al.	2021	Produksi off-season buah naga dengan peningkatan panjang hari melalui night-breaking	Pemberian cahaya buatan (mis. ± 6 jam) untuk merangsang pembungaan/hasil	Perlakuan pencahayaan dilakukan sebagai uji budidaya; belum ada otomasi jadwal berbasis RTC-ESP32, belum ada monitoring/log sistem ke localhost.
4	Chu & Chang	2020	Pengaruh suhu terhadap perkembangan & kemunculan kuncup	Pengaruh suhu terhadap perkembangan & kemunculan kuncup reproduktif	Menjelaskan peran suhu pada pembungaan, tetapi tidak merancang sistem alat (sensor + exhaust) untuk

			reproduktif pitaya pada kondisi hari panjang	pitaya pada kondisi hari panjang	monitoring/kontrol suhu dan tidak mengintegrasikan kontrol lampu night-breaking berbasis IoT.
5	Nerd et al.	2002	Pengaruh suhu tinggi (musim panas) terhadap pembungaan pitaya di beberapa lokasi	Observasi/analisis kondisi iklim dan respon pembungaan	Menunjukkan suhu tinggi dapat menghambat flowering, tetapi tidak mengembangkan sistem pengendali (mis. exhaust) dan tanpa otomasi pencahayaan serta pencatatan data.

Penelitian yang telah dilakukan oleh (Jiang et al., 2012) membahas regulasi pembentukan kuncup bunga (bud formation) pada pitaya/buah naga yang dipengaruhi fotoperiodisme. Materi yang dibahas berfokus pada bagaimana perubahan durasi terang-gelap memicu transisi fase vegetatif ke generatif, serta peran perlakuan fotoperiod dan suplementasi cahaya (night-breaking) dalam merangsang pembentukan kuncup. Temuan utamanya menunjukkan bahwa pembentukan kuncup bunga pada buah naga berkaitan dengan pengaturan panjang hari, sehingga manipulasi cahaya dapat dimanfaatkan untuk mendorong pembungaan pada periode yang kurang mendukung. Kekurangannya, penelitian ini masih dominan pada kajian fisiologi dan perlakuan budidaya, belum mengarah pada perancangan sistem kendali otomatis berbasis mikrokontroler/IoT. Gap yang tersisa adalah belum adanya sistem kendali terjadwal (RTC-ESP32) dan belum ada pencatatan data (logging) ke database localhost untuk evaluasi penerapan di lapangan.

Penelitian yang telah dilakukan oleh (Setiawan et al., 2023) membahas penerapan Internet of Things (IoT) pada sistem budidaya tanaman berupa smart plant watering and lighting system, yang umumnya diterapkan pada lingkungan terkontrol (misalnya skala rumah kaca/indoor) untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman. Materi yang dibahas mencakup integrasi sensor dan aktuator yang dikendalikan mikrokontroler serta sistem pemantauan jarak jauh berbasis IoT untuk mengelola faktor lingkungan tanaman (contohnya penyiraman dan pencahayaan). Temuan utamanya menunjukkan bahwa pemanfaatan IoT dapat membuat pengelolaan lingkungan lebih otomatis, presisi, dan efisien, karena sistem dapat melakukan kontrol berdasarkan parameter yang terukur serta memungkinkan pemantauan secara real-time melalui platform digital. Kekurangannya, sistem yang dikembangkan masih bersifat umum (tidak spesifik pada komoditas buah naga), serta tidak menitikberatkan pada pengendalian fotoperiodisme melalui jadwal night-breaking untuk produksi off-season di lahan terbuka. Gap terhadap penelitian ini adalah perlunya rancangan yang lebih spesifik, yaitu sistem untuk buah naga yang menggabungkan RTC sebagai acuan jadwal night-breaking, kontrol lampu yang konsisten, serta penambahan komponen monitoring/kontrol suhu (exhaust) dan logging database localhost agar penerapan off-season dapat dipantau dan dievaluasi secara sistematis.

Penelitian yang telah dilakukan oleh (Rashid et al., 2021) meneliti produksi off-season buah naga melalui strategi day-length enhancement menggunakan night-breaking (penambahan cahaya buatan pada malam hari). Materi yang dibahas adalah penerapan durasi pencahayaan tertentu (misalnya sekitar ± 6 jam pada malam hari) dan pengaruhnya terhadap parameter generatif seperti jumlah

kuncup, pembungaan, dan hasil panen pada kondisi hari pendek. Temuan utama penelitian ini menyatakan bahwa night-breaking efektif meningkatkan pembungaan dan hasil, sehingga dapat menjadi solusi budidaya untuk produksi di luar musim. Kekurangannya, perlakuan pencahayaan masih diposisikan sebagai uji budidaya dan operasionalnya cenderung belum dirancang sebagai sistem kontrol otomatis yang konsisten. Gap terhadap penelitian ini adalah belum adanya otomasi jadwal berbasis RTC–ESP32, belum ada pemantauan status sistem secara terstruktur, dan belum ada monitoring/log sistem melalui server localhost yang dapat diakses melalui dashboard.

Penelitian yang telah dilakukan oleh (Chu & Chang, 2020) membahas pengaruh suhu terhadap perkembangan dan kemunculan kuncup reproduktif pitaya pada kondisi hari panjang. Materi yang dibahas menekankan bagaimana kombinasi suhu siang/malam dalam lingkungan terkontrol memengaruhi kecepatan perkembangan tunas/kuncup serta kemungkinan munculnya kuncup reproduktif. Temuan utamanya menunjukkan bahwa suhu lingkungan sangat menentukan laju perkembangan kuncup; kondisi suhu yang lebih hangat mempercepat kemunculan kuncup reproduktif, sedangkan suhu yang lebih rendah masih memungkinkan kemunculan tetapi membutuhkan waktu lebih lama. Kekurangannya, penelitian ini tidak masuk ke ranah rekayasa alat dan tidak membahas sistem monitoring/kontrol lapangan. Gap terhadap penelitian ini adalah penelitian tersebut tidak merancang sistem terintegrasi sensor suhu + aktuator exhaust untuk kontrol suhu sederhana, serta tidak mengintegrasikan kontrol lampu night-breaking berbasis IoT (RTC–ESP32) dan logging data ke localhost.

Penelitian yang telah dilakukan oleh (Nerd et al., 2002) membahas pengaruh suhu tinggi pada musim panas terhadap pembungaan pitaya (*Hylocereus spp.*) pada kondisi budidaya lapang di beberapa lokasi. Materi yang dibahas menekankan hubungan antara kondisi iklim (khususnya temperatur tinggi) dengan respon generatif tanaman, yaitu kapan tanaman mampu berbunga dan seberapa optimal proses pembungaan berlangsung. Temuan utamanya menunjukkan bahwa temperatur musim panas yang tinggi dapat menghambat (inhibit) proses flowering, sehingga meskipun tanaman tumbuh vegetatif, fase generatifnya dapat tertahan ketika suhu terlalu panas. Implikasinya, suhu menjadi faktor penting yang dapat menggeser waktu pembungaan dan akhirnya berdampak pada keberlanjutan produksi/panen. Kekurangan penelitian ini adalah tidak mengarah pada pengembangan sistem kendali atau perangkat untuk mengurangi dampak suhu tinggi, serta tidak mengintegrasikan perlakuan fotoperiod (night-breaking) dengan pemantauan data secara otomatis. Gap yang muncul dan relevan dengan penelitian ini adalah kebutuhan sistem yang tidak hanya mengatur suplementasi cahaya malam, tetapi juga memantau suhu dan melakukan kontrol suhu sederhana (misalnya exhaust ON/OFF) agar kondisi lingkungan lebih sesuai selama penerapan night-breaking, serta data operasionalnya tercatat (logging) untuk evaluasi.

2.2 Tanaman Buah Naga

Tanaman Buah Naga (dragon fruit/pitaya) merupakan salah satu komoditas hortikultura penting dari family cactaceae yang dibudidayakan secara luas sebagai penghasil buah segar bernilai ekonomi dan mempunyai prospek pasar yang terus berkembang. Berdasarkan kajian yang ditulis oleh (Le Bellec et al., 2006) buah

naga atau pitaya merupakan kelompok buah yang berasal dari beberapa spesies kaktus marga *hylocereus* dan *selenicereus*.

2.3 Fotoperiodisme

Fotoperiodisme adalah respons fisiologis tumbuhan dan hewan terhadap panjang relative periode siang (terang) dan malam, yang mengatur berbagai proses biologis seperti pembungaan, dormansi, dan perubahan warna bulu untuk beradaptasi dengan perubahan musim. Tanaman umumnya dikelompokkan menjadi tanaman hari panjang, hari pendek, dan netral berdasarkan kebutuhan panjang hari untuk menginduksi pembungaan (Shim et al., 2017).

2.4 Suplementasi Cahaya Malam pada Buah Naga

Suplementasi cahaya malam pada buah naga adalah upaya memberikan cahaya tambahan pada malam hari untuk memperpanjang durasi penyinaran (panjang hari efektif), sehingga tanaman tetap mendapatkan kondisi pencahayaan yang mendukung pembungaan terutama pada periode *off-season*. Menurut penulis, teknik ini penting karena buah naga termasuk tanaman yang peka terhadap panjang hari, sehingga pengaturan durasi cahaya dapat mempengaruhi pembentukan kuncup bunga. Pernyataan tersebut didukung oleh (Jiang et al., 2012) yang menunjukkan bahwa pembentukan kuncup bunga buah naga dipengaruhi oleh fotoperiodisme.

2.5 Pengaruh Suhu terhadap Pembungaan Buah Naga

Suhu merupakan salah satu faktor lingkungan yang menurut penulis berpengaruh besar terhadap pembungaan buah naga, karena suhu menentukan seberapa cepat tanaman membentuk dan memunculkan kuncup bunga serta apakah proses generatif berjalan optimal atau justru terhambat. Dalam praktik

budidaya, meskipun tanaman sudah diberi perlakuan cahaya (night-breaking), kondisi suhu yang tidak sesuai dapat menyebabkan respon pembungaan menjadi lambat atau tidak konsisten. Hal ini sejalan dengan penelitian (Chu & Chang, 2020) yang menunjukkan bahwa suhu siang/malam memengaruhi perkembangan dan kemunculan kuncup reproduktif pitaya; suhu yang lebih hangat mempercepat kemunculan kuncup, sedangkan suhu lebih rendah dapat memperlambatnya. Selain itu, (Nerd et al., 2002) melaporkan bahwa suhu musim panas yang terlalu tinggi dapat menghambat pembungaan pitaya, sehingga suhu menjadi faktor pembatas penting yang perlu dipantau dan dikelola agar fase generatif tidak tertahan.

2.6 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah konsep konektivitas yang memungkinkan berbagai perangkat fisik (seperti sensor, mikrokontroler, dan aktuator) terhubung ke jaringan internet untuk mengumpulkan data, memprosesnya, serta melakukan pemantauan dan pengendalian secara otomatis maupun jarak jauh. Menurut penulis, IoT sangat relevan untuk bidang pertanian karena membantu kegiatan budidaya menjadi lebih terukur dan efisien, misalnya melalui monitoring kondisi lingkungan dan pengendalian perangkat (seperti lampu atau pompa) berdasarkan data maupun jadwal. Hal ini sejalan dengan (Li et al., 2015) yang menjelaskan bahwa IoT mengintegrasikan objek/perangkat dengan internet sehingga objek tersebut dapat saling berkomunikasi dan mendukung berbagai layanan berbasis data.

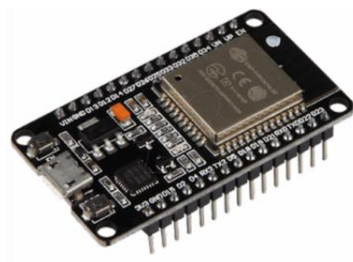
Dalam penelitian ini, IoT diterapkan untuk menghubungkan sistem budidaya buah naga dengan layanan pemantauan berbasis web, meliputi

monitoring status lampu suplementasi cahaya malam, monitoring suhu–kelembaban, serta kontrol suhu menggunakan exhaust/fan berdasarkan pembacaan sensor. Sistem IoT semacam ini banyak digunakan pada konteks pertanian/greenhouse karena mendukung pemantauan kondisi lingkungan dan pengendalian aktuator secara otomatis maupun jarak jauh (Seetaram et al., 2024).

2.7 Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler ESP32 adalah *system-on-chip* (SoC) yang banyak digunakan untuk aplikasi IoT karena sudah memiliki konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth/BLE serta menyediakan berbagai pin input/output untuk menghubungkan sensor maupun aktuator. ESP32 cocok untuk penelitian ini karena dapat menjalankan fungsi kendali (misalnya pengaturan nyala mati lampu suplementasi) sekaligus memungkinkan pemantauan dan pengendalian jarak jauh melalui internet. Hal ini sejalan dengan (Espinosa-Gavira et al., 2024) yang mengevaluasi kinerja ESP32 pada jaringan sensor dan menunjukkan bahwa ESP32 mampu melakukan akuisisi data dan komunikasi jaringan secara stabil untuk aplikasi sensor network real-time.

Dalam penelitian ini, ESP32 digunakan sebagai pengendali utama yang bertugas: (1) membaca data suhu–kelembaban dari DHT22, (2) menjalankan logika kontrol suhu (mengaktifkan exhaust/fan saat melewati ambang), (3) mengendalikan lampu untuk suplementasi cahaya malam sesuai jadwal fotoperiode, dan (4) mengirim data monitoring (suhu, kelembaban, status lampu, status exhaust) ke sistem penyimpanan dan dashboard berbasis web (Seetaram et al., 2024).



Gambar 2. 1 ESP 32

2.8 Modul RTC DS3231

Modul RTC (Real Time Clock) DS3231 adalah modul pewaktu yang berfungsi menyimpan dan menyediakan informasi waktu (detik, menit, jam, tanggal, bulan, tahun) secara akurat, serta tetap mempertahankan waktu meskipun catu daya utama terputus karena adanya dukungan baterai cadangan. Menurut penulis, penggunaan DS3231 penting dalam penelitian ini karena pengendalian fotoperiodisme (nyala–mati lampu suplementasi) sangat bergantung pada ketepatan jadwal, sehingga sistem membutuhkan acuan waktu yang stabil dan tidak mudah berubah saat perangkat restart atau listrik padam. penelitian (Beddows & Mallon, 2018) pada platform data logger jangka panjang juga menggunakan DS3231 RTC karena akurasi waktu yang tinggi dibutuhkan pada sistem monitoring, mengingat osilator pada papan mikrokontroler dapat mengalami variasi akibat pengaruh suhu.

Pada penelitian ini, DS3231 digunakan untuk: (1) menentukan waktu mulai–selesai penyalan lampu suplementasi cahaya malam, dan (2) memberi *timestamp* pada data monitoring sehingga analisis hubungan antara jadwal penyalan, kondisi suhu, dan respons pembungaan dapat dilakukan lebih terstruktur (Sanap et al., 2025)

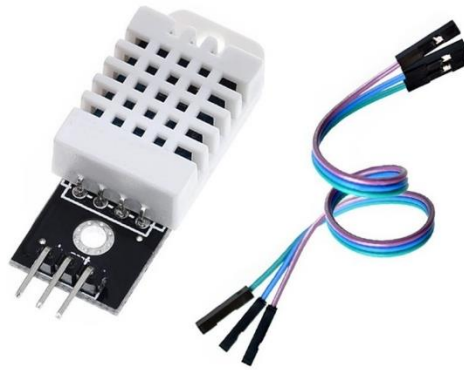


Gambar 2. 2 RTC DS3231

2.9 Sensor Suhu dan Kelembaban DHT22

DHT22 (AM2302) merupakan sensor digital yang digunakan untuk mengukur suhu udara ($^{\circ}\text{C}$) dan kelembaban relatif (%RH). Sensor ini banyak dipakai pada sistem pemantauan lingkungan berbasis IoT karena instalasinya sederhana dan data yang dihasilkan sudah berupa keluaran digital terkalibrasi, sehingga dapat langsung dibaca dan diolah oleh mikrokontroler untuk kebutuhan monitoring maupun pengendalian (Ahmad, 2021).

Pada sistem yang dirancang, DHT22 digunakan untuk membaca suhu–kelembaban area budidaya sebagai variabel utama pengendalian suhu. Nilai suhu dijadikan masukan kontrol untuk mengaktifkan exhaust/fan ketika suhu melewati ambang yang ditetapkan, sedangkan kelembaban dicatat sebagai informasi pendukung untuk menggambarkan kondisi iklim saat lampu malam aktif. Penggunaan sensor suhu–kelembaban sebagai input pengendalian juga umum pada sistem greenhouse cerdas berbasis multi-sensor monitoring (Bicamumakuba et al., 2025)



Gambar 2. 3 Suhu dan Kelembapan DHT 22

2.10 Lampu LED / LED Grow Light

Lampu LED (*Light Emitting Diode*) atau *LED grow light* adalah sumber cahaya buatan yang digunakan untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman karena spektrum (warna) dan intensitas cahayanya dapat diatur sesuai kebutuhan. *LED grow light* cocok digunakan sebagai cahaya suplementasi karena lebih hemat energi, umur pakai relatif panjang, serta memungkinkan pemilihan spektrum tertentu untuk mengarahkan respon tanaman (misalnya untuk mendukung proses fotosintesis dan pengaturan perkembangan). Hal ini sejalan dengan (Paradiso & Proietti, 2022) yang menegaskan bahwa teknologi LED memberi keunggulan dibanding sumber cahaya konvensional karena spektrum dan intensitasnya dapat “ditailor” sesuai kebutuhan komoditas dan fase pertumbuhan, serta dapat dimanfaatkan untuk mengatur respon fotomorfogenesis tanaman.

Pada sistem yang dirancang, lampu LED/grow light digunakan sebagai perangkat utama suplementasi cahaya malam untuk memicu pembungaan buah naga di luar musim. Praktik suplementasi cahaya pada pitaya dilaporkan berhubungan dengan induksi pembungaan pada musim hari pendek, dan analisis

molekuler juga menunjukkan adanya perubahan regulasi gen terkait pembungaan pada pitaya yang diberi suplementasi cahaya (Rashid et al., 2021)



Gambar 2. 4 Lampu LED/LEDGrow Light

2.11 Perangkat Pengendali Daya (RELAY)

Relay merupakan komponen elektromekanis yang digunakan sebagai saklar listrik untuk mengendalikan beban bertegangan dan berarus lebih besar dengan sinyal kendali bertegangan rendah dari mikrokontroler. Prinsip kerjanya memanfaatkan induksi elektromagnetik pada kumparan untuk mengubah posisi kontak, sehingga arus ke beban dapat dihubungkan atau diputus secara otomatis. Menurut penulis, relay sesuai digunakan pada penelitian ini karena sistem memerlukan pengendalian ON/OFF yang sederhana dan stabil untuk lampu suplementasi cahaya malam, exhaust/fan, dan heater. Pada sistem greenhouse otomatis, relay juga banyak digunakan sebagai aktuator akhir untuk menghubungkan mikrokontroler dengan perangkat lingkungan seperti lampu, kipas, pompa, dan pemanas (Cheng & Dai, 2021).

Pada sistem yang dirancang, relay digunakan sebagai perangkat pengendali daya untuk mengatur ON/OFF lampu suplementasi cahaya malam dan aktuator pengendalian suhu sesuai logika kontrol yang ditetapkan oleh ESP32. Penggunaan

relay memungkinkan sinyal digital dari mikrokontroler mengendalikan beban eksternal secara terisolasi dan lebih aman, sehingga cocok untuk operasi terjadwal maupun manual.



Gambar 2. 5 Relay

2.12 Exhaust/Kipas sebagai Aktuator Pengendalian Suhu

Exhaust/fan merupakan aktuator ventilasi untuk mempercepat pertukaran udara sehingga membantu menurunkan suhu dan menstabilkan kondisi lingkungan. Sistem greenhouse cerdas umumnya memasang sensor lingkungan dengan aktuator ventilasi sebagai kontrol responsif untuk menjaga parameter iklim berada pada rentang yang diinginkan (Bicamumakuba et al., 2025).

Pada sistem yang dirancang, exhaust/fan digunakan sebagai aktuator pengendalian suhu yang diaktifkan berdasarkan pembacaan suhu dari DHT22. Integrasi kontrol suhu ini penting karena praktik suplementasi cahaya malam berpotensi meningkatkan suhu lokal di sekitar area budidaya, sehingga diperlukan mekanisme pembuangan panas agar kondisi tetap mendukung proses pembungaan dan pertumbuhan. Implementasi otomatisasi monitoring dan kontrol suhu pada

greenhouse berbasis mikrokontroler juga dilaporkan meningkatkan konsistensi pengendalian dibanding pemantauan manual (Galon et al., 2025).



Gambar 2. 6 EXHAUST

2.13 Heater sebagai Aktuator Pengendalian Suhu

Heater merupakan aktuator pengendalian suhu yang digunakan untuk menaikkan temperatur lingkungan ketika kondisi aktual berada di bawah ambang yang ditetapkan. Dalam sistem budidaya berbasis lingkungan terkontrol, heater berperan menjaga suhu agar tetap berada pada kisaran yang mendukung proses fisiologis tanaman, terutama pada malam hari atau saat cuaca dingin. Berbagai penelitian greenhouse dalam lima tahun terakhir menunjukkan bahwa pemanasan merupakan bagian penting dari strategi pengendalian iklim, baik untuk menjaga kestabilan suhu malam maupun untuk meningkatkan kondisi zona perakaran dan pertumbuhan tanaman (García-mañas et al., 2024)

Pada sistem yang dirancang, heater digunakan sebagai aktuator yang diaktifkan oleh ESP32 ketika suhu hasil pembacaan sensor berada di bawah batas minimum yang telah ditentukan. Dengan mekanisme ini, heater berfungsi

membantu menjaga kondisi termal agar suplementasi cahaya malam tidak berlangsung pada lingkungan yang terlalu dingin.



Gambar 2. 7 Heater

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental dengan pendekatan rancang bangun (research and development/R&D). Penelitian eksperimental dipilih karena penelitian ini melibatkan perancangan, pembuatan, dan pengujian langsung sebuah sistem IoT berbasis mikrokontroler untuk mengendalikan fotoperiodisme tanaman buah naga melalui suplementasi cahaya malam. Secara praktik, suplementasi cahaya malam (night-breaking) terbukti dapat mendorong pembungaan dan produksi di luar musim pada kondisi hari pendek, sehingga layak diuji penerapannya dalam bentuk sistem kendali otomatis (Rashid et al., 2021)

Selain faktor fotoperiode, suhu lingkungan juga menjadi parameter penting dalam keberhasilan pembungaan buah naga. Studi menunjukkan bahwa temperatur lingkungan dapat mengatur perkembangan dan kemunculan bakal bunga pada pitaya di bawah fotoperiode panjang, sehingga kondisi suhu perlu diperhatikan sebagai faktor pendukung keberhasilan induksi pembungaan. (Chu & Chang, 2020). Penelitian lain juga melaporkan bahwa suhu tinggi pada musim panas dapat menghambat pembungaan pada pitaya, sehingga pengendalian suhu menjadi relevan untuk menjaga kondisi budidaya tetap mendukung pembentukan bunga (Nerd et al., 2002).

Pendekatan rancang bangun digunakan karena penelitian ini tidak hanya menyusun konsep, tetapi juga merealisasikan sistem menjadi prototipe yang

terintegrasi antara perangkat keras (mikrokontroler, modul waktu/RTC, dan aktuator pengendali lampu) serta perangkat lunak (program kontrol dan platform IoT untuk pemantauan/kendali jarak jauh). Pengembangan sistem IoT umumnya membutuhkan tahapan desain–implementasi–uji yang memperhatikan integrasi perangkat fisik dan layanan komputasi/jaringan, sehingga pendekatan rancang bangun relevan untuk memastikan sistem berjalan stabil dan fungsional (Hornos & Quinde, 2024).

Pada penelitian ini, sistem diuji untuk memastikan fungsi utama pengendalian lampu berjalan sesuai jadwal fotoperiodik (misalnya menyalakan lampu pada rentang waktu tertentu di malam hari) serta memastikan proses monitoring dan kendali dapat dilakukan melalui server lokal (localhost). Selain itu, sistem juga diuji untuk memastikan pemantauan suhu–kelembaban menggunakan DHT22 berjalan baik dan aktuator dapat bekerja sesuai logika pengendalian suhu yang ditetapkan sebagai upaya menjaga kondisi termal di area budidaya. Melalui jaringan WiFi, ESP32 mengirimkan data status (seperti waktu, mode, kondisi lampu, suhu, kelembaban, status exhaust/fan dan status heater) ke aplikasi web pada localhost menggunakan protokol HTTP, kemudian data tersebut disimpan ke database SQL dan ditampilkan pada dashboard berbasis web.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahap, dimulai dari perancangan sistem hingga proses pengujian alat. Pengujian dilakukan pada skala terbatas yang merepresentasikan kondisi budidaya tanaman buah naga, khususnya untuk mengevaluasi pengendalian fotoperiodisme melalui penyalan lampu suplementasi cahaya malam sesuai jadwal fotoperiodik, serta mengevaluasi

monitoring suhu–kelembaban dan pengendalian suhu menggunakan exhaust/fan dan heater berdasarkan pembacaan sensor.

Waktu Penelitian: 07 Januari 2026-selesai.

Tempat Penelitian: Greenhouse pribadi peneliti (tanaman buah naga merah/Hylocereus sp).

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak yang mendukung proses perancangan dan pengujian sistem.

3.3.1 Perangkat Keras

Tabel berikut menunjukkan daftar perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 3. 1 Daftar Perangkat Keras

NO	Nama Komponen	Spesifikasi	Jumlah
1	ESP32+Base Board	Mikrokontroler WiFi	1 buah
2	RTC DS3231	Modul Real Time Clock I2C	1 buah
3	Relay	Saklar beban	3 chanel
4	Sensor DHT22	Sensor suhu & kelembaban digital	1 buah
5	LED	Lampu suplementasi cahaya malam	1 buah
6	Exhaust/Kipas DC	Aktuator pengendalian suhu (ventilasi)	1 buah
7	Heater	Aktuator pengendalian suhu (ventilasi)	1 buah
7	Adaptor DC	Catu daya lampu	1 buah
9	Resistor	Resistor gate MOSFET ($\pm 220\Omega$ – $1k\Omega$)	Secukupnya
10	Resistor	Pull-down gate MOSFET ($\pm 10k\Omega$)	Secukupnya
11	Kabel jumper	Penghubung rangkaian	Secukupnya

3.3.2 Perangkat Lunak

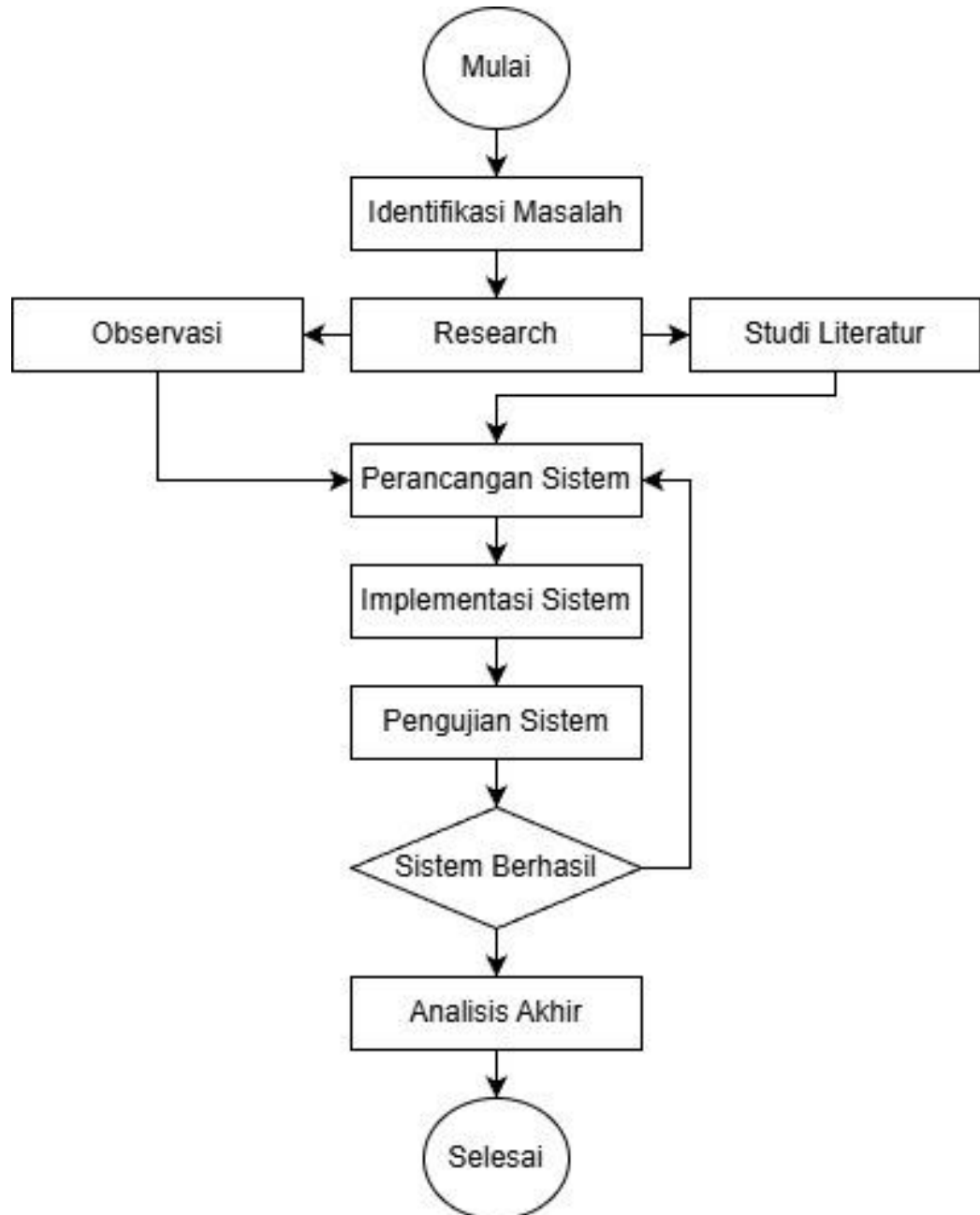
Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 3. 2 Daftar Perangkat Lunak

No	Perangkat Lunak	Fungsi
1	Arduino IDE	Pemrograman dan upload program ke ESP32
2	Fritzing	Design rangkaian
3	XAMPP (Apache & MySQL)	Menjalankan server localhost (Apache) dan database MySQL untuk penyimpanan log sistem.
4	VSCode	Penulisan kode, dokumentasi, dan pengelolaan program (opsional/pendukung)
5	phpMyAdmin	Manajemen database (membuat database/tabel, cek data masuk, query).
6	Web Browser (Chrome/Firefox)	Mengakses dashboard monitoring/kontrol pada localhost.

3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan secara berurutan untuk memastikan sistem dikembangkan secara sistematis. Tahapan penelitian ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Alur Tahap Penelitian

3.5 Perancangan Sistem

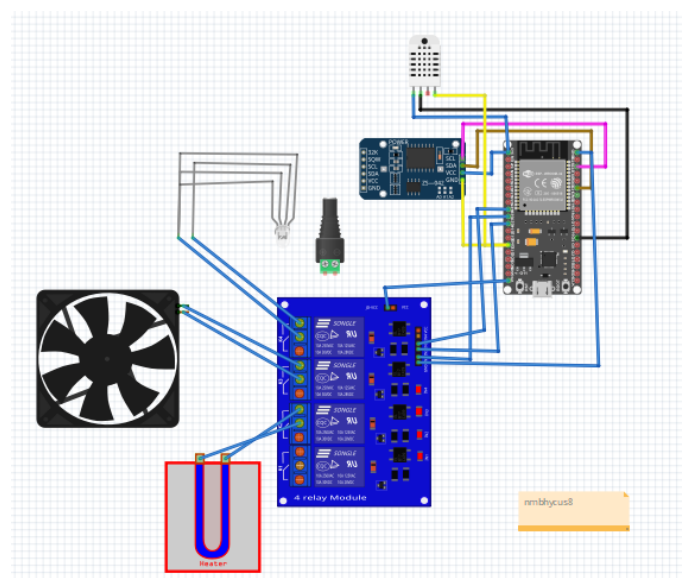
3.5.1 Perancangan Alat

Perancangan alat pada penelitian ini mencakup integrasi komponen utama sistem pengendalian fotoperiodisme tanaman buah naga melalui suplementasi cahaya malam (night-breaking) sekaligus monitoring suhu–kelembaban serta pengendalian suhu menggunakan exhaust/kipas dan heater. Komponen yang digunakan terdiri atas mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama, RTC DS3231 sebagai acuan waktu penjadwalan, sensor DHT22 untuk membaca suhu dan kelembaban, tiga modul relay sebagai saklar daya untuk beban lampu, exhaust, dan heater, lampu suplementasi sebagai sumber cahaya, exhaust/kipas DC sebagai aktuator penurun suhu, serta heater sebagai aktuator peningkat suhu. Perancangan rangkaian divisualisasikan menggunakan Fritzing untuk mendokumentasikan koneksi antarperangkat secara jelas dan memudahkan proses perakitan.

RTC DS3231 dihubungkan ke ESP32 melalui antarmuka I2C, yaitu jalur SDA pada GPIO21 dan SCL pada GPIO22, dengan catu 3,3V dan ground yang sama dengan sistem. Informasi waktu dari RTC digunakan sebagai dasar penentuan jadwal operasi lampu, yaitu `jadwal_on` dan `jadwal_off`. Sensor DHT22 dihubungkan ke salah satu pin digital ESP32 (GPIO4) untuk mengirimkan data suhu dan kelembaban secara periodik, sehingga kondisi lingkungan dapat dipantau secara kontinu. Data suhu tersebut selanjutnya menjadi masukan logika pengendalian suhu berdasarkan ambang batas yang dibedakan antara siang dan malam, sehingga sistem mampu mengaktifkan exhaust/kipas ketika suhu terlalu

tinggi dan mengaktifkan heater ketika suhu terlalu rendah agar kondisi lingkungan tetap lebih stabil selama penerapan suplementasi cahaya malam.

Pengendalian beban lampu, exhaust, dan heater dilakukan menggunakan tiga modul relay yang masing-masing menerima sinyal kendali dari ESP32 melalui pin input, misalnya GPIO26 untuk lampu, GPIO27 untuk exhaust, dan satu GPIO lain untuk heater. Setiap modul relay memperoleh catu kontrol dari ESP32, sedangkan suplai daya beban disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing perangkat. Pada visualisasi Fritzing, adaptor atau sumber tegangan direpresentasikan menggunakan komponen terminal block karena komponen catu daya spesifik tidak selalu tersedia pada pustaka bawaan. Jalur daya kemudian dihubungkan ke terminal relay sebagai saklar yang akan memutus atau menghubungkan arus ke lampu, exhaust, dan heater sesuai logika kendali dari ESP32. Seluruh ground sistem kontrol disatukan agar referensi tegangan tetap konsisten dan proses kendali berjalan stabil.



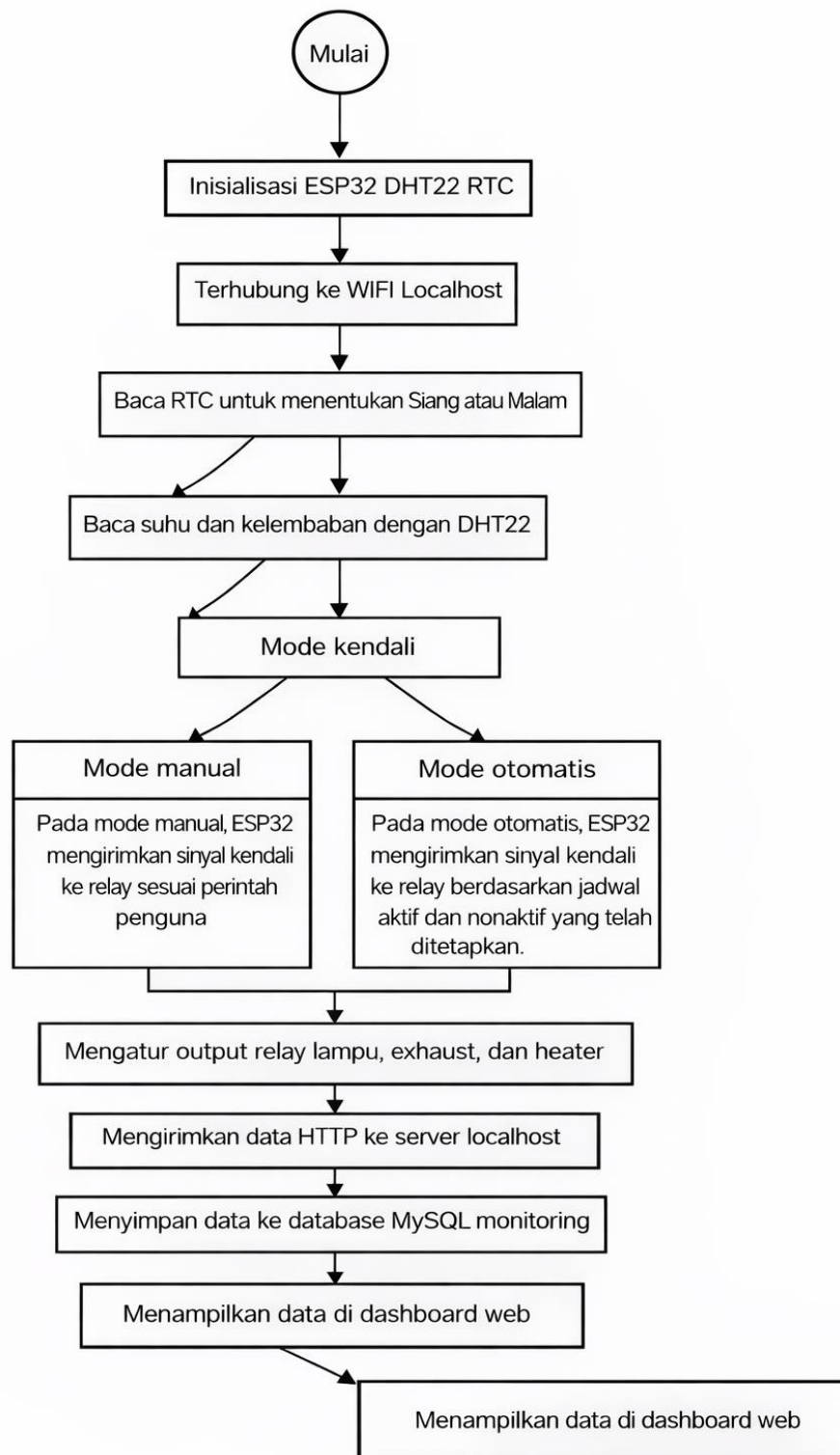
Gambar 3. 2 Gambar Rangkaian Pada Fritzing

Tabel 3. 3 Konfigurasi Pin ESP32 dan Koneksi Perangkat

No	Perangkat	Pin Perangkat	Koneksi ke ESP32 / Sistem	Jenis Sinyal	Keterangan
1	RTC DS3231	VCC	3.3V ESP32	Power	Sumber daya modul RTC
		GND	GND ESP32	Ground	Ground bersama
		SDA	GPIO21 ESP32	I2C Data	Jalur data komunikasi I2C
		SCL	GPIO22 ESP32	I2C Clock	Jalur clock komunikasi I2C
2	DHT22	VCC	3.3V ESP32	Power	Sumber daya sensor
		GND	GND ESP32	Ground	Ground bersama
		DATA	GPIO4 ESP32	Digital Input	Pembacaan data suhu dan kelembapan
3	Relay Lampu	IN	GPIO25 ESP32	Digital Output	Kontrol ON/OFF lampu
		VCC	5V ESP32	Power	Catu daya relay
		GND	GND ESP32	Ground	Ground relay
4	Relay Heater	IN	GPIO26 ESP32	Digital Output	Kontrol ON/OFF heater
		VCC	5V ESP32	Power	Catu daya relay
		GND	GND ESP32	Ground	Ground relay
5	Relay Exhaust/Fan	IN	GPIO27 ESP32	Digital Output	Kontrol ON/OFF exhaust/fan
		VCC	5V ESP32	Power	Catu daya relay
		GND	GND ESP32	Ground	Ground relay
6	Lampu	Jalur beban	Output relay lampu	Beban	Lampu dikendalikan oleh relay
7	Heater	Jalur beban	Output relay heater	Beban	Heater dikendalikan oleh relay
8	Exhaust/Fan	Jalur beban	Output relay exhaust/fan	Beban	Kipas dikendalikan oleh relay

9	Catu daya eksternal	(+) / (-)	Sistem beban dan ground bersama	Power / Ground	Menyuplai daya ke lampu, heater, dan kipas
---	---------------------	-----------	---------------------------------	----------------	--

3.5.2 Alur Kerja Alat



Gambar 3. 3 Gambar Alur Alat

Flowchart pada penelitian ini menggambarkan alur kerja sistem IoT berbasis mikrokontroler dalam pengendalian suplementasi cahaya malam (*night-breaking*) pada tanaman buah naga sekaligus pemantauan kondisi lingkungan. Proses diawali pada kondisi Mulai, kemudian ESP32 melakukan inisialisasi sistem yang mencakup inisialisasi sensor DHT22 untuk pembacaan suhu dan kelembaban, inisialisasi modul RTC sebagai acuan waktu, serta konfigurasi sistem kendali yang terhubung dengan aktuator. Setelah proses inisialisasi selesai, ESP32 melakukan koneksi ke jaringan WiFi localhost sebagai media komunikasi data menuju server.

Selanjutnya, sistem membaca waktu dari RTC untuk menentukan kondisi siang atau malam. Setelah itu, ESP32 membaca data suhu dan kelembaban dari sensor DHT22. Berdasarkan data tersebut, sistem masuk ke tahap mode kendali, yaitu mode manual atau mode otomatis.

Pada mode manual, ESP32 mengirimkan sinyal kendali ke relay sesuai perintah pengguna yang diberikan melalui antarmuka web. Dengan demikian, status perangkat keluaran seperti lampu, exhaust, dan heater ditentukan langsung oleh instruksi pengguna. Sementara itu, pada mode otomatis, ESP32 mengirimkan sinyal kendali ke relay berdasarkan jadwal aktif dan nonaktif yang telah ditetapkan. Dalam mode ini, logika kendali dijalankan secara otomatis sesuai parameter waktu yang menjadi acuan sistem.

Setelah keputusan kendali ditetapkan, sistem mengatur output relay untuk lampu, exhaust, dan heater sesuai mode yang sedang aktif. Selanjutnya, ESP32 mengirimkan data sistem melalui protokol HTTP ke server localhost. Data tersebut kemudian disimpan ke dalam database MySQL sebagai data monitoring.

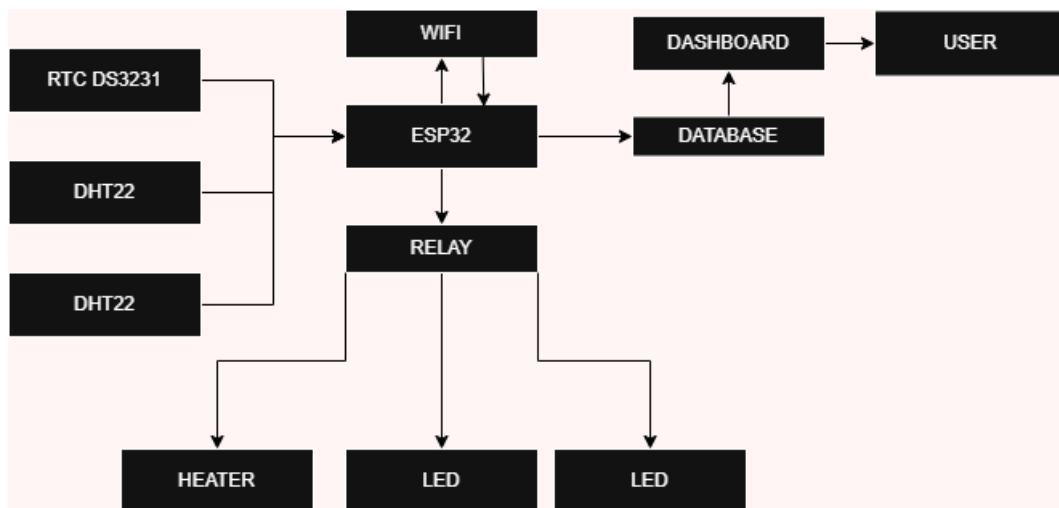
Hasil penyimpanan data selanjutnya ditampilkan pada dashboard web sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem secara real-time. Setelah data ditampilkan, alur sistem kembali mengulang ke tahap pembacaan RTC untuk menjalankan proses monitoring dan pengendalian secara berkelanjutan.

3.5.3 Diagram Blok Alat

Diagram blok alat pada penelitian ini menggambarkan hubungan antar komponen dalam sistem IoT berbasis mikrokontroler untuk pengendalian fotoperiodisme tanaman buah naga melalui suplementasi cahaya malam serta pengendalian suhu sederhana. Modul RTC DS3231 berfungsi sebagai sumber waktu acuan untuk menjalankan jadwal *night-breaking* (jadwal_on dan jadwal_off). ESP32 berperan sebagai pengendali utama yang memproses waktu dari RTC untuk menentukan status lampu pada mode otomatis (AUTO), serta dapat menerima perintah manual (MANUAL) dari dashboard pada jaringan lokal. Perintah ON/OFF dari ESP32 diteruskan ke modul relay untuk mengaktifkan atau menonaktifkan aktuator, yaitu lampu LED/*grow light*, exhaust, dan heater.

Selain pengendalian lampu, sistem juga melakukan monitoring suhu dan kelembaban menggunakan sensor DHT22. Data suhu dari DHT22 digunakan oleh ESP32 untuk mengendalikan exhaust dan heater sebagai aktuator pengendalian suhu sederhana. Ketika suhu melebihi ambang batas yang ditetapkan, ESP32 mengirim sinyal ON ke relay sehingga exhaust menyala untuk membantu menurunkan suhu. Sebaliknya, ketika suhu berada di bawah ambang batas minimum, ESP32 mengaktifkan relay heater agar suhu meningkat kembali. Dengan demikian, exhaust dan heater bekerja menyesuaikan kondisi suhu aktual di dalam sistem.

Seluruh data operasional sistem, meliputi waktu, status lampu, status exhaust, status heater, mode kontrol, jadwal ON/OFF, serta nilai suhu dan kelembaban, dikirimkan oleh ESP32 melalui jaringan WiFi menggunakan protokol HTTP menuju server *localhost*. Server *localhost* (Apache + PHP) berfungsi menerima data dari ESP32, menyimpan data ke database MySQL, sekaligus menyediakan dashboard berbasis web untuk menampilkan status sistem secara *real-time* dan riwayat monitoring. Dashboard juga menyediakan kontrol manual, seperti ON/OFF lampu, exhaust, heater, serta pengaturan mode AUTO/MANUAL, yang dikirim kembali ke ESP32 melalui server *localhost* pada jaringan lokal.



Gambar 3. 4 Diagram Blok Alat

3.5.4 Gambaran Umum Sistem

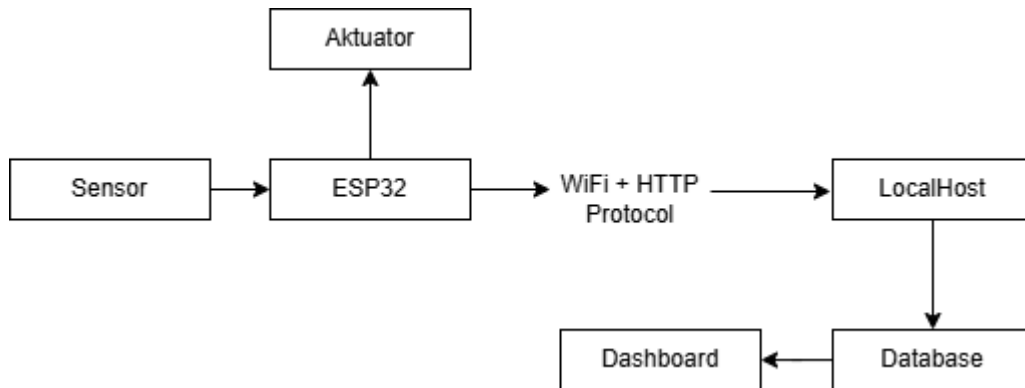
Sistem yang dirancang merupakan sistem *Internet of Things* (IoT) untuk pengendalian fotoperiodisme tanaman buah naga melalui suplementasi cahaya malam (*night-breaking*) sekaligus monitoring dan pengendalian suhu sederhana. Sistem mampu mengatur nyala-mati lampu LED/*grow light* secara otomatis berdasarkan jadwal waktu, serta memantau kondisi lingkungan melalui sensor

suhu dan kelembaban DHT22. Apabila suhu melebihi atau berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan, sistem akan mengaktifkan aktuator yang sesuai, yaitu exhaust untuk membantu menurunkan suhu dan heater untuk membantu menaikkan suhu. Informasi status sistem, meliputi waktu, status lampu, status exhaust, status heater, mode kontrol, suhu, dan kelembaban, dikirimkan oleh ESP32 melalui jaringan WiFi ke server lokal (*localhost*) menggunakan protokol HTTP, kemudian disimpan dalam database MySQL dan ditampilkan pada dashboard web untuk pemantauan *real-time* maupun riwayat (*historis*).

Modul RTC DS3231 terhubung ke ESP32 melalui komunikasi I2C sebagai acuan waktu yang presisi untuk menjalankan jadwal *night-breaking* (*jadwal_on* dan *jadwal_off*). ESP32 memproses data waktu tersebut untuk menentukan kapan lampu harus dinyalakan atau dimatikan. Sinyal kendali dari ESP32 kemudian diteruskan ke relay sebagai saklar daya, sehingga lampu *grow light*, exhaust, dan heater dapat dikontrol dengan aman sesuai kondisi sistem. Secara paralel, ESP32 membaca data dari sensor DHT22 secara periodik untuk memantau suhu dan kelembaban. Ketika suhu terukur melebihi batas atas yang ditentukan, ESP32 mengaktifkan relay exhaust agar kipas menyala. Sebaliknya, ketika suhu berada di bawah batas bawah yang ditentukan, ESP32 mengaktifkan relay heater agar suhu meningkat kembali. Jika suhu berada pada rentang yang sesuai, maka exhaust dan heater dapat dimatikan sesuai logika kontrol yang telah ditetapkan.

Seluruh data operasional tersebut dicatat pada server *localhost* sehingga pengguna dapat memantau status alat, mengevaluasi kestabilan jadwal penyiaran, serta melihat hubungan antara kondisi suhu, kelembaban, dan respons aktuator selama periode pengujian. Selain mode otomatis (AUTO), sistem juga

menyediakan mode manual (MANUAL) melalui dashboard web. Pada mode ini, pengguna dapat mengendalikan lampu, exhaust, dan heater secara langsung sesuai kebutuhan pengujian atau pengoperasian, sedangkan pada mode otomatis seluruh aktuator bekerja berdasarkan jadwal waktu dan ambang suhu yang telah ditetapkan.



Gambar 3. 5 Diagram Arsitektur Sistem

3.5.5 Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak pada penelitian ini dikembangkan menggunakan Arduino IDE pada sisi mikrokontroler dan aplikasi web berbasis PHP serta MySQL pada sisi server *localhost*. Program pada ESP32 berfungsi sebagai pengendali utama yang membaca waktu dari modul RTC DS3231 melalui komunikasi I2C serta membaca data suhu dan kelembaban dari sensor DHT22 secara berkala. Berdasarkan data tersebut, ESP32 menjalankan dua logika utama, yaitu pengendalian fotoperiodisme melalui penjadwalan *night-breaking* untuk menentukan kondisi lampu ON/OFF sesuai jadwal waktu, serta pengendalian suhu dengan mengaktifkan atau mematikan exhaust dan heater berdasarkan ambang suhu yang telah ditetapkan.

Pengendalian aktuator dilakukan melalui keluaran GPIO ESP32 yang terhubung ke modul relay sebagai saklar daya. Relay digunakan untuk

mengendalikan lampu LED/*grow light*, exhaust, dan heater. Dengan demikian, ESP32 dapat mengatur ketiga aktuator tersebut sesuai logika kontrol sistem, baik pada mode otomatis maupun manual. Selain pengendalian lokal, ESP32 juga mengirimkan data log sistem, seperti waktu, suhu, kelembaban, status lampu, status exhaust, status heater, mode kontrol, serta jadwal ON/OFF, ke server lokal melalui koneksi WiFi menggunakan protokol HTTP.

Pada sisi server, skrip PHP digunakan untuk menerima data dari ESP32, melakukan validasi sederhana, lalu menyimpannya ke dalam database MySQL. Data yang tersimpan kemudian ditampilkan pada dashboard berbasis web yang dapat diakses melalui browser pada jaringan lokal untuk pemantauan *real-time* maupun historis. Dashboard juga menyediakan fitur kontrol manual (*manual override*) untuk lampu, exhaust, dan heater, serta pengaturan mode AUTO dan MANUAL. Perintah manual tersebut diproses oleh server *localhost* dan diteruskan kembali ke ESP32 melalui HTTP, sehingga pengguna dapat melakukan pengendalian perangkat secara langsung pada jaringan lokal saat diperlukan. Pada mode otomatis, ESP32 menjalankan aktuator berdasarkan jadwal waktu dari RTC dan nilai suhu hasil pembacaan sensor, sedangkan pada mode manual aktuator mengikuti perintah dari pengguna melalui dashboard.

3.5.6 Perancangan Database

Database pada penelitian ini digunakan untuk menyimpan data hasil pengendalian dan monitoring sistem suplementasi cahaya malam tanaman buah naga sehingga seluruh aktivitas sistem dapat ditinjau kembali secara historis. Basis data yang digunakan adalah MySQL yang dijalankan pada server *localhost*, dengan tabel yang menyimpan setiap pembaruan kondisi sistem. Struktur tabel

terdiri atas kolom `id` bertipe `INT` sebagai *primary key* dengan `AUTO_INCREMENT` untuk membedakan setiap rekaman, serta kolom `pencatatan_waktu` bertipe `DATETIME` sebagai penanda waktu pencatatan data. Parameter lingkungan direkam melalui kolom `suhu` bertipe `FLOAT` yang menyimpan nilai suhu dalam satuan °C, serta kolom `kelembaban` bertipe `FLOAT` yang menyimpan kelembaban relatif dalam persen (%).

Informasi pengendalian aktuator dicatat pada kolom `status_lampu`, `status_exhaust`, dan `status_heater` yang masing-masing bertipe `TINYINT(1)` dengan representasi nilai 0 untuk kondisi OFF dan 1 untuk kondisi ON. Selain itu, sistem juga menyimpan informasi strategi pengendalian melalui kolom `mode_kontrol` bertipe `VARCHAR(10)` yang memuat nilai `AUTO` atau `MANUAL`. Untuk mendukung operasi berbasis penjadwalan, database turut menyimpan parameter waktu operasional lampu, yaitu `jadwal_on` bertipe `TIME` sebagai waktu mulai lampu dinyalakan dan `jadwal_off` bertipe `TIME` sebagai waktu lampu dimatikan.

Dengan adanya pencatatan parameter-parameter tersebut, database tidak hanya berfungsi sebagai media penyimpanan data monitoring, tetapi juga sebagai sumber informasi bagi dashboard web dalam menampilkan status sistem secara *real-time* dan riwayat pengamatan. Data yang tersimpan memungkinkan pengguna untuk mengevaluasi kinerja sistem pengendalian fotoperiodisme, kestabilan jadwal penyinaran malam, serta respons aktuator seperti lampu, exhaust, dan heater terhadap kondisi suhu lingkungan selama periode pengujian. Selain itu, penyimpanan data mode kontrol dan status aktuator juga mendukung

proses analisis perbandingan antara operasi otomatis dan operasi manual pada sistem yang dikembangkan.

Tabel 3. 4 Struktur Tabel Database Monitoring

No	Nama Field	Tipe Data	Keterangan
1	id	INT	Primary key (AUTO_INCREMENT)
2	waktu	DATETIME	Waktu pencatatan data
3	suhu	FLOAT	Suhu lingkungan (°C) dari sensor
4	kelembaban	FLOAT	Kelembaban relatif (%) dari sensor
5	status_lampu	TINYINT(1)	Status lampu (0 = OFF, 1 = ON)
6	Status_heater	TINYINT(1)	Status heater (0 = OFF, 1 = ON)
6	status_exhaust	TINYINT(1)	Status exhaust/kipas (0 = OFF, 1 = ON)
7	mode_kontrol	VARCHAR(10)	Mode kontrol (AUTO/MANUAL)
8	jadwal_on	TIME	Waktu mulai lampu dinyalakan (jadwal)
9	jadwal_off	TIME	Waktu lampu dimatikan (jadwal)

3.5.7 Perancangan Website Dashboard Monitoring dan Kontrol

Dashboard monitoring pada penelitian ini dirancang berbasis web sebagai antarmuka untuk memantau kondisi operasi sistem suplementasi cahaya malam (night-breaking) pada tanaman buah naga melalui jaringan lokal (localhost). Dashboard tidak hanya menampilkan data monitoring, tetapi juga menyediakan mekanisme akses terautentikasi (login) serta fitur pengaturan mode kontrol (AUTO/MANUAL) dan pengaturan jadwal lampu sesuai kebutuhan pengguna. Agar penggunaan dashboard lebih terstruktur, website dirancang memiliki beberapa halaman utama, yaitu:

3.5.7.1 Wireframe Login

The wireframe shows a login interface within a rounded rectangular container. At the top center is a button labeled "LOGIN". Below this is the heading "Masuk ke Sistem" and the subtitle "Gunakan akun yang terdaftar". The form contains two input fields: "Username" with the placeholder "contoh: admin" and "Password" with the placeholder "*****". At the bottom center is a button labeled "MASUK".

Gambar 3. 6 Halaman Login

Halaman login dirancang sebagai gerbang awal untuk membatasi akses pengguna ke dashboard monitoring dan kontrol. Pada halaman ini pengguna memasukkan username dan password yang kemudian diverifikasi oleh sistem melalui proses autentikasi pada server lokal. Jika data yang dimasukkan sesuai, sistem membuat sesi (session) pengguna dan mengarahkan pengguna ke halaman dashboard utama. Apabila terjadi kesalahan input, halaman login menampilkan pesan peringatan agar pengguna dapat mencoba kembali. Perancangan halaman login bertujuan meningkatkan keamanan dasar pada sistem localhost sehingga fitur kontrol (AUTO/MANUAL dan jadwal lampu) tidak dapat diakses tanpa izin.

3.5.7.2 Wireframe Halaman Dashboard Monitoring

Dashboard Monitoring Suplementasi Cahaya Malam Buah Naga		
Dashboard ini menampilkan status lampu, status exhaust, mode kontrol, jadwal ON/OFF, serta suhu dan kelembaban dari sistem secara real-time.		
Data Monitoring		
Parameter	Nilai	Keterangan
Status Lampu	OFF	0=OFF, 1=ON
Status Exhaust	OFF	0=OFF, 1=ON
Mode Kontrol	MANUAL	AUTO/MANUAL
Jadwal ON	18:00:00	Waktu mulai lampu menyala
Jadwal OFF	06:00:00	Waktu lampu mati
Suhu	29.2	°C (sensor)
Kelembaban	67.8	% (sensor)
Waktu Pencatatan Terakhir	2026-02-19 14:19:39	Data terakhir dari sistem
Status Sistem		
Status Lampu Saat Ini: OFF Exhaust: OFF Mode: MANUAL		
Catatan: Data diperbarui otomatis tiap 5 detik dari database (monitoring).		

Gambar 3. 7 Halaman Dashboard Monitoring

Halaman dashboard monitoring dirancang untuk menampilkan kondisi operasi sistem secara ringkas dan mudah dipahami. Informasi yang ditampilkan meliputi data sensor (misalnya suhu), serta status aktuator seperti lampu night-breaking dan exhaust/kipas. Selain itu, dashboard juga menampilkan mode kontrol yang sedang aktif (AUTO/MANUAL) dan informasi jadwal yang berjalan agar pengguna mengetahui apakah sistem bekerja sesuai pengaturan. Data monitoring ditampilkan secara real-time atau pembaruan berkala (periodik) dari database, sehingga pengguna dapat memantau perubahan kondisi tanpa harus melakukan pengecekan langsung pada perangkat. Dengan tampilan ringkas ini, dashboard berfungsi sebagai pusat informasi utama untuk memastikan sistem berjalan stabil selama pengujian.

3.5.7.3 Wireframe Halaman Kontrol (AUTO/MANUAL & Jadwal)

The wireframe shows a control interface for 'Monitoring Night-Breaking Buah Naga'. It includes a sidebar menu with 'Dashboard', 'Riwayat Monitoring', and 'Kontrol & Jadwal'. The main content area is titled 'Kontrol & Jadwal' and contains several sections:

- Mode Kontrol:** Two options: 'AUTO (berdasarkan jadwal RTC + ambang suhu)' and 'Manual (kontrol ON/OFF dari pengguna)'. The 'Manual' option is currently selected.
- Pengaturan Jadwal Lampu:** Two date input fields labeled 'Jadwal ON' and 'Jadwal OFF', both with the placeholder 'yyyy-mm-dd'.
- Kontrol Manual (Aktif jika mode MANUAL):** Two sets of 'ON' and 'OFF' toggle buttons for 'Lampu' and 'Exhaust/Kipas'.
- Keterangan:** A text box explaining that changes to mode and schedule are saved to the database. In 'AUTO' mode, the lamp follows the RTC schedule and the exhaust follows the temperature threshold. In 'MANUAL' mode, the 'ON/OFF' buttons are used as overrides.

Gambar 3. 8 Halaman Kontrol (AUTO/MANUAL)

Halaman kontrol dirancang sebagai antarmuka untuk mengatur perilaku sistem sesuai kebutuhan pengguna. Pada bagian mode kontrol, pengguna dapat memilih AUTO atau MANUAL. Ketika mode AUTO aktif, sistem menjalankan kontrol sesuai logika dan jadwal yang telah ditentukan (misalnya lampu menyala/mati berdasarkan jadwal night-breaking dan exhaust berdasarkan ambang suhu). Sementara pada mode MANUAL, pengguna diberikan akses untuk melakukan manual override, misalnya menyalakan atau mematikan lampu dan/atau exhaust secara langsung dari dashboard. Selain itu, halaman ini menyediakan pengaturan jadwal ON/OFF lampu untuk mendukung fotoperiodisme melalui suplementasi cahaya malam. Perancangan halaman kontrol menekankan kemudahan penggunaan, namun tetap menjaga konsistensi

agar perubahan setting tersimpan di database dan dapat diambil oleh perangkat ESP32.

3.5.7.4 Wireframe Halaman Riwayat Monitoring

Monitoring Night-Breaking Buah Naga
User: Admin | [Logout]

Menu

Dashboard

Riwayat Monitoring

Kontrol & Jadwal

Riwayat Monitoring
Menampilkan data historis dari tabel monitoring (MySQL) untuk evaluasi kinerja sistem

Filter Data

Dari Tanggal: Sampai Tanggal: Pencarian:

Tabel Riwayat Data

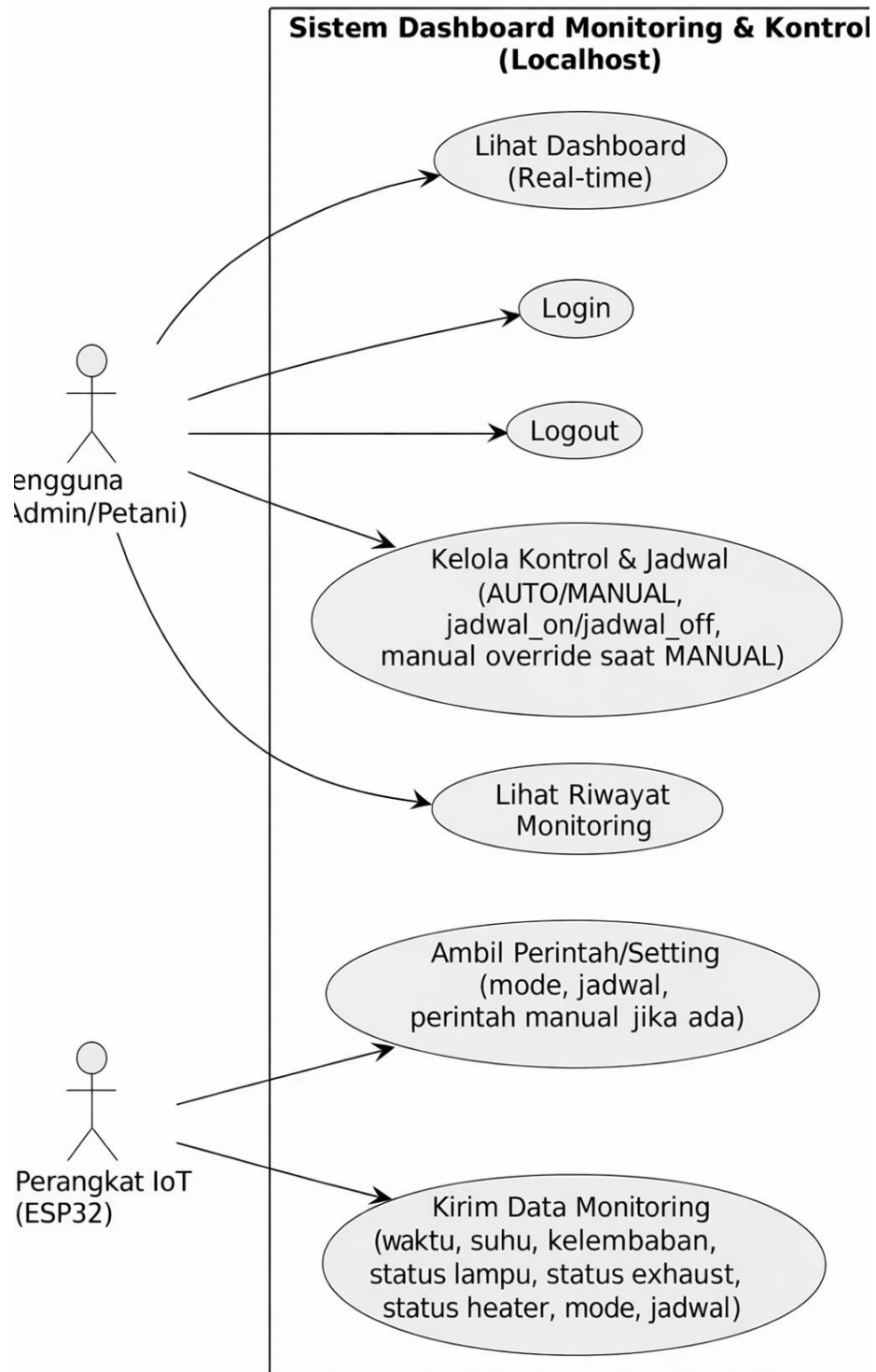
No	Waktu	Suhu (C)	Kelembapan (%)	Lampu	Exhaust	Mode	Jadwal ON	Jadwal OFF	Aksi
1	2026-05-07 19:00:00	23.8	78.2	ON	OFF	AUTO	18:00	24:00	[Detail]
2	2026-05-07 19:05:00	24.2	77.9	ON	ON	AUTO	18:00	24:00	[Detail]
3	2026-05-07 19:10:00	24.0	78.4	ON	OFF	AUTO	18:00	24:00	[Detail]

>

Gambar 3. 9 Halaman Riwayat Monitoring

Halaman riwayat monitoring digunakan untuk menampilkan data historis yang tersimpan pada database sebagai hasil pencatatan (logging) selama sistem beroperasi. Pada halaman ini pengguna dapat melihat rekaman data berdasarkan waktu, seperti nilai suhu dan kelembaban pada periode tertentu, serta perubahan status lampu, exhaust, dan mode kontrol. Riwayat monitoring membantu peneliti melakukan evaluasi, misalnya memastikan jadwal lampu berjalan tepat waktu, melihat respons exhaust terhadap kenaikan suhu, serta meninjau kestabilan pengiriman data dari perangkat ke server. Dengan adanya tampilan riwayat, pengguna tidak hanya mengandalkan data terbaru di dashboard, tetapi juga memiliki jejak data yang dapat dijadikan bahan analisis pada bab pengujian dan pembahasan.

3.5.7.5 Use Case Dashboard Monitoring dan Kontrol



Gambar 3. 10 Usecase Dashboard Monitoring

Use case menggambarkan interaksi antara aktor dan sistem website dashboard monitoring dan kontrol. Aktor utama pada sistem adalah Pengguna

(Admin/Petani) yang berinteraksi melalui halaman login, dashboard monitoring, riwayat, kontrol, dan logout. Melalui interaksi ini, pengguna dapat memantau kondisi lingkungan dan status perangkat, serta mengatur mode kontrol dan jadwal lampu night-breaking sesuai kebutuhan penelitian. Selain pengguna, terdapat aktor Perangkat IoT (ESP32) yang berperan dalam proses pertukaran data dengan server lokal. ESP32 secara berkala mengirim data monitoring (misalnya waktu, suhu, kelembaban, status lampu/exhaust, mode dan jadwal) untuk disimpan pada database dan ditampilkan pada dashboard. Di sisi lain, ESP32 juga mengambil perintah/setting yang telah ditetapkan pengguna (mode kontrol dan jadwal) agar perangkat menjalankan sistem sesuai konfigurasi terbaru. Dengan use case ini, alur fungsional sistem dapat dipahami secara menyeluruh, mulai dari autentikasi pengguna, pemantauan data, pengaturan kontrol, hingga integrasi komunikasi data antara website dan perangkat IoT.

3.6 Teknik Pengumpulan Data

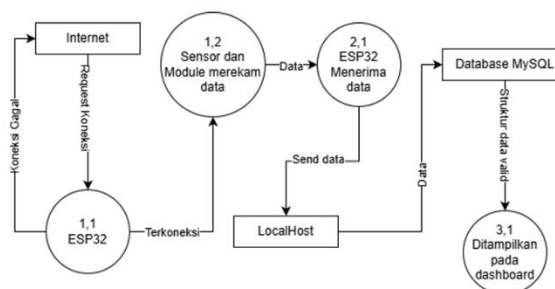
Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan melalui proses pencatatan (*logging*) parameter operasional sistem secara berkala pada saat sistem menjalankan fungsi suplementasi cahaya malam dan pengendalian suhu. Data yang dikumpulkan mencakup waktu pencatatan (DATETIME), suhu lingkungan (°C), kelembaban relatif (%), status lampu (0 = OFF, 1 = ON), status exhaust (0 = OFF, 1 = ON), status heater (0 = OFF, 1 = ON), mode kontrol (AUTO/MANUAL), serta informasi jadwal operasional lampu berupa `jadwal_on` dan `jadwal_off`.

Pencatatan dilakukan secara otomatis oleh mikrokontroler ESP32 dengan acuan waktu sistem yang berasal dari modul RTC. Setiap data pembacaan sensor

dan perubahan status aktuator yang terjadi dikirimkan ke server *localhost* melalui jaringan WiFi, kemudian disimpan ke dalam basis data MySQL pada tabel monitoring. Data yang tersimpan selanjutnya dimanfaatkan untuk memantau kondisi sistem melalui dashboard, meninjau riwayat perubahan status aktuator, serta mengevaluasi kinerja pengendalian berdasarkan keterkaitan antara perubahan suhu dan kelembaban dengan status lampu, exhaust, dan heater, termasuk kesesuaian operasi lampu terhadap jadwal yang telah ditetapkan.

Dengan adanya proses pencatatan data secara berkala tersebut, sistem dapat menyediakan informasi historis yang berguna untuk analisis performa alat selama pengujian. Data historis ini memungkinkan pengguna mengevaluasi apakah sistem kontrol otomatis telah bekerja sesuai logika yang dirancang, baik dalam pengaturan suplementasi cahaya malam maupun dalam respons pengendalian suhu melalui exhaust dan heater.

3.7 Dataflow Diagram



Gambar 3. 11 Diagram Flow

Diagram ini membantu memahami bagaimana data masuk ke dalam sistem, diproses, disimpan, dan dikeluarkan sebagai informasi yang berguna. Dengan menggunakan simbol-simbol seperti proses, aliran data, penyimpanan data, dan entitas eksternal, DFD memungkinkan komunikasi yang efektif antara analis sistem dan pihak pengguna.

3.8 Teknik Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen dan sistem bekerja sesuai dengan fungsi yang diharapkan. Pengujian dilakukan dalam beberapa tahap.

Tabel 3. 5 Pengujian Sistem

No	Jenis Pengujian	Tujuan
1	Pengujian RTC (DS3231)	Memastikan waktu terbaca akurat sebagai acuan penentuan siang/malam dan jadwal operasi lampu (<code>jadwal_on</code> - <code>jadwal_off</code>).
2	Pengujian sensor DHT22	Memastikan pembacaan suhu (°C) dan kelembaban (%) dapat terbaca dengan benar dan stabil untuk kebutuhan monitoring serta pengendalian suhu.
3	Pengujian kendali lampu (relay)	Memastikan output ESP32 mampu mengendalikan relay untuk menyalakan dan mematikan lampu sesuai perintah sistem pada mode AUTO maupun MANUAL.
4	Pengujian kendali exhaust	Memastikan output ESP32 mampu mengendalikan relay exhaust agar dapat menyala dan mati sesuai logika kontrol suhu yang ditetapkan.
5	Pengujian kendali heater	Memastikan output ESP32 mampu mengendalikan relay heater agar dapat menyala dan mati sesuai logika kontrol suhu yang ditetapkan.
6	Pengujian jadwal lampu (AUTO)	Memastikan lampu menyala pada waktu <code>jadwal_on</code> dan mati pada waktu <code>jadwal_off</code> berdasarkan acuan waktu RTC.
7	Pengujian kontrol manual (MANUAL)	Memastikan lampu, exhaust, dan heater dapat di-ON/OFF melalui dashboard saat mode MANUAL sebagai <i>manual override</i> .
8	Pengujian pengiriman data HTTP	Memastikan ESP32 dapat mengirim data monitoring, meliputi waktu, suhu, kelembaban, status lampu, status exhaust, status heater, mode, <code>jadwal_on</code> , dan <code>jadwal_off</code> ke server <i>localhost</i> melalui WiFi.
9	Pengujian database MySQL	Memastikan data monitoring dan status kontrol tersimpan dengan benar di database MySQL serta dapat dipanggil kembali untuk kebutuhan riwayat pencatatan.
10	Pengujian dashboard web	Memastikan informasi suhu, kelembaban, status lampu, status exhaust, status heater, mode kontrol, jadwal, dan waktu pencatatan dapat ditampilkan pada dashboard secara <i>real-time</i> maupun historis.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Dan Hasil Perakitan Alat

Agar seluruh system memiliki nilai estetika dan fungsional pada bagian ini menjelaskan proses perakitan yang melalui tahapan yang sudah direncanakan sebelumnya.

4.1.1 Perakitan Desain Alat

Proses ini merangkai seluruh komponen termasuk casing yang sudah dicetak untuk mikrokontroler, sebagai wadah untuk mikrokontroler sebagai langkah preventif dari kerusakan.



Gambar 4. 1 Desain Alat

4.1.2 Perakitan Rangkaian Keseluruhan

Bagian ini merangkai seluruh komponen keras (*hardware*), seperti mikrokontroler, RTC, sensor DHT, exhaust, heater, dan LED yang telah dirancang sebelumnya. Seluruh komponen tersebut kemudian disusun dan

dipasang ke dalam casing yang telah disediakan, dengan ukuran alas 35×35 cm dan ukuran sisi 35×40 cm.



Gambar 4. 2 Hasil Rangkaian Keseluruhan

4.2 Proses Dan Hasil Perancangan Sistem

Alat yang dirancang pada penelitian ini memerlukan integrasi perangkat keras dan perangkat lunak agar sistem dapat bekerja dengan baik, terstruktur, dan sesuai dengan fungsi yang telah dirancang. Implementasi sistem mencakup pembuatan database, perancangan dashboard berbasis web, serta pemrograman unit mikrokontroler ESP32. Seluruh bagian tersebut saling terhubung dalam satu sistem IoT yang memungkinkan proses monitoring dan pengendalian berlangsung secara real-time. Alur kerja sistem dimulai dari pembacaan sensor dan waktu oleh ESP32, dilanjutkan dengan pengendalian aktuator sesuai logika sistem,

pengiriman data ke server localhost, penyimpanan ke database MySQL, hingga penampilan data pada dashboard web.

4.2.1 Proses Pembuatan Database

Proses pembuatan database merupakan tahap penting dalam implementasi sistem, karena database berfungsi sebagai media penyimpanan data monitoring dan kontrol yang dikirimkan oleh ESP32 maupun yang digunakan oleh dashboard web. Database yang digunakan pada penelitian ini adalah MySQL yang dijalankan pada server localhost. Pada sistem ini, database digunakan untuk menyimpan data parameter operasional, seperti suhu, kelembaban, status lampu, status exhaust, status heater, mode kontrol, jadwal ON/OFF, serta waktu pencatatan.

a. Tabel Kontrol IoT

Tabel ini berfungsi untuk menyimpan data monitoring dan status kontrol sistem yang diterima dari perangkat ESP32 maupun hasil pengaturan dari dashboard. Data yang tersimpan dalam tabel ini menjadi dasar untuk menampilkan kondisi sistem pada dashboard monitoring, halaman mode kontrol, maupun riwayat pencatatan.

#	Name	Type	Collation	Attributes	Null	Default	Comments	Extra	Action
1	id	int(11)			No	None		AUTO_INCREMENT	Change Drop More
2	mode_kontrol	varchar(10)	utf8mb4_general_ci		Yes	AUTO			Change Drop More
3	status_lampu	tinyint(1)			Yes	0			Change Drop More
4	status_exhaust	tinyint(1)			Yes	0			Change Drop More
5	status_heater	tinyint(1)			Yes	0			Change Drop More
6	suhu	float			Yes	NULL			Change Drop More
7	jadwal_on	time			Yes	18:00:00			Change Drop More
8	jadwal_off	time			Yes	22:00:00			Change Drop More
9	pencatatan_waktu	datetime			Yes	current_timestamp()			Change Drop More

Gambar 4. 3 Struktur Tabel Kontrol IoT

b. Tabel User

Tabel ini berfungsi untuk menyimpan data monitoring dan status kontrol sistem yang diterima dari perangkat ESP32 maupun hasil pengaturan dari dashboard. Data yang tersimpan dalam tabel ini menjadi dasar untuk menampilkan kondisi sistem pada dashboard monitoring, halaman mode kontrol, maupun riwayat pencatatan.

#	Name	Type	Collation	Attributes	Null	Default	Comments	Extra	Action
1	id	int(11)			No	None		AUTO_INCREMENT	Change Drop More
2	username	varchar(50)	utf8mb4_general_ci		No	None			Change Drop More
3	password	varchar(50)	utf8mb4_general_ci		No	None			Change Drop More

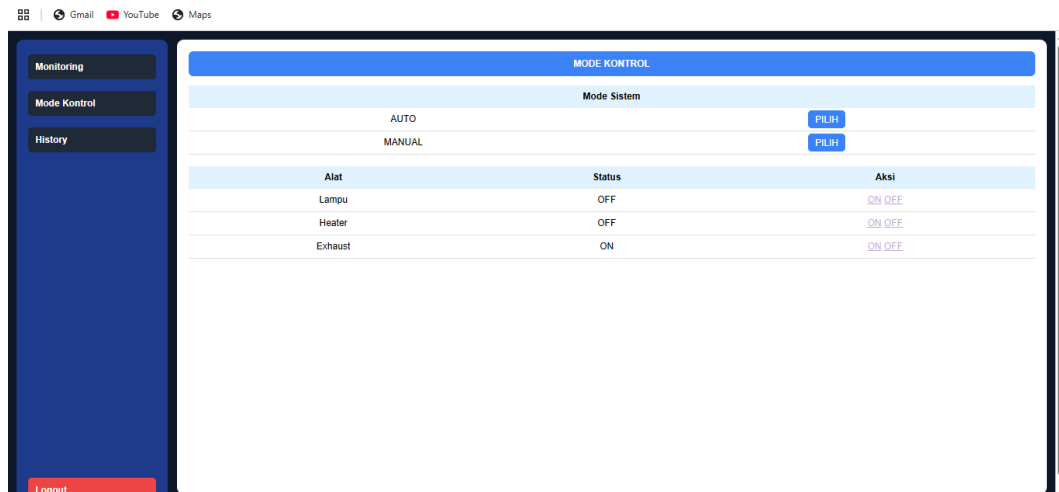
Gambar 4. 4 Struktur Tabel Kontrol User

4.2.2 Hasil Dashboard

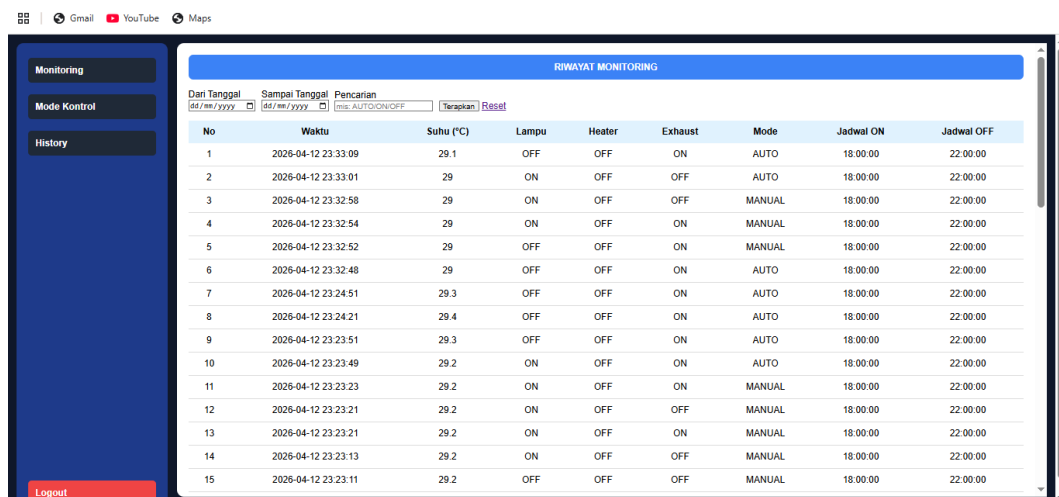
Setelah database dibuat dan dihubungkan dengan sistem, tahap berikutnya adalah implementasi dashboard berbasis web. Dashboard berfungsi sebagai antarmuka utama antara pengguna dan sistem IoT. Melalui dashboard, pengguna dapat memantau kondisi sistem secara langsung, melihat data riwayat monitoring, serta melakukan pengaturan mode kontrol dan jadwal operasi lampu.

Parameter	Status	Keterangan
Lampu	OFF	0=OFF, 1=ON
Exhaust	ON	0=OFF, 1=ON
Heater	OFF	0=OFF, 1=ON
Suhu	29.1 °C	°C (sensor)
Jadwal ON	18:00:00	Waktu mulai lampu menyala
Jadwal OFF	22:00:00	Waktu lampu mati
Mode	AUTO	AUTO/MANUAL
Pencatatan Waktu	2026-04-12 23:33:09	Data terakhir dari sistem

Gambar 4. 5 Tampilan Dashboard Monitoring



Gambar 4. 6 Tampilan Dashboard Mode Kontrol



Gambar 4. 7 Tampilan Dashboard History

4.2.3 Pemrograman ESP32

Tahap ini merupakan implementasi program utama pada mikrokontroler ESP32 menggunakan Arduino IDE. Program yang ditanamkan pada ESP32 berfungsi untuk membaca data waktu dari modul RTC DS3231, membaca suhu dan kelembaban dari sensor DHT22, mengendalikan aktuator melalui relay, mengambil data kontrol dari server, serta mengirimkan data monitoring ke server localhost melalui koneksi WiFi.

Dalam sistem ini, ESP32 menjalankan dua mode pengendalian, yaitu mode auto dan mode manual. pada mode auto, esp32 menentukan status lampu berdasarkan jadwal on dan jadwal off, sedangkan exhaust dan heater dikendalikan berdasarkan nilai suhu yang dibaca sensor dht22. jika suhu melebihi ambang batas atas, exhaust akan diaktifkan. sebaliknya, jika suhu berada di bawah ambang batas bawah, heater akan diaktifkan. pada mode manual, status lampu, exhaust, dan heater mengikuti perintah pengguna dari dashboard web.

Implementasi program juga mencakup proses koneksi WiFi, komunikasi HTTP dengan server localhost, sinkronisasi waktu, pembacaan sensor secara periodik, serta pengiriman data monitoring ke database. Data yang dikirimkan meliputi suhu, status lampu, status exhaust, status heater, fase waktu, serta waktu pencatatan.

Tabel 4. Implementasi Kode

Kode / Variabel	Deskripsi	Penjelasan
currentTemp	Variabel suhu	Menyimpan hasil pembacaan suhu dari sensor DHT22
lampState	Status lampu	Menyimpan kondisi ON/OFF lampu
fanState	Status exhaust	Menyimpan kondisi ON/OFF exhaust
heaterState	Status heater	Menyimpan kondisi ON/OFF heater
webMode	Mode kontrol	Menyimpan mode sistem dari server, yaitu AUTO atau MANUAL
fetchControlFromServer()	Ambil data kontrol	Mengambil data mode, status aktuator, dan jadwal dari server localhost
applyControlMode()	Logika kontrol	Menjalankan logika AUTO atau MANUAL sesuai mode sistem
controlLampAuto()	Kontrol lampu otomatis	Menentukan status lampu berdasarkan jadwal RTC
controlFanAndHeaterAuto()	Kontrol suhu otomatis	Menentukan status exhaust dan heater berdasarkan suhu
readDHT()	Baca sensor	Membaca nilai suhu

	DHT22	
rtc.now()	Baca waktu RTC	Mengambil data waktu aktual dari modul RTC DS3231
sendDataToServer()	Kirim data monitoring	Mengirim data sensor dan status aktuator ke server melalui HTTP POST
WiFi.begin()	Koneksi WiFi	Menghubungkan ESP32 ke jaringan lokal
HTTPClient	Komunikasi HTTP	Digunakan untuk proses GET dan POST ke server localhost
setRelay()	Kendali relay	Mengatur ON/OFF relay untuk lampu, exhaust, dan heater

4.3 Hasil Pengujian

Tahap akhir penelitian ini adalah melakukan pengujian terhadap sistem yang telah diimplementasikan. Pengujian dilakukan untuk melihat apakah seluruh fungsi alat, komunikasi data, dan tampilan dashboard berjalan sesuai dengan rancangan. Fokus pengujian meliputi pengujian fungsional, pengujian kinerja monitoring, dan pengujian tampilan dashboard.

4.3.1 Pengujian Fungsional

Pengujian fungsional dilakukan untuk memastikan setiap komponen sistem dapat bekerja sesuai tugasnya masing-masing. Pengujian mencakup pembacaan waktu dari RTC DS3231, pembacaan suhu dari sensor DHT22, pengendalian relay untuk lampu, exhaust, dan heater, pengoperasian mode auto dan manual, serta komunikasi data antara ESP32 dengan server localhost.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menjalankan fungsi suplementasi cahaya malam sesuai jadwal yang telah ditentukan. Lampu dapat menyala dan mati secara otomatis berdasarkan waktu rtc pada mode auto. selain itu, exhaust dan heater juga dapat bekerja sesuai ambang suhu yang ditetapkan.

pada mode manual, dashboard dapat digunakan untuk mengendalikan lampu, exhaust, dan heater secara langsung.

4.3.2 Pengujian Kinerja Monitoring

Pengujian kinerja monitoring dilakukan untuk mengevaluasi kestabilan sistem dalam membaca sensor, mengirim data ke server, dan menampilkan data pada dashboard secara real-time. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu melakukan pembacaan suhu secara berkala, lalu mengirimkan data tersebut ke database melalui jaringan WiFi tanpa gangguan yang berarti.

Kestabilan sistem juga terlihat dari kontinuitas pencatatan data monitoring. Data suhu, status aktuator, mode kontrol, dan waktu pencatatan dapat tersimpan dengan baik di database sehingga dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut. Dengan demikian, sistem monitoring dapat dikatakan berjalan secara konsisten selama proses pengujian.

4.3.3 Pengujian Tampilan Dashboard

Pengujian tampilan dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh data yang tersimpan di database dapat ditampilkan dengan benar pada dashboard web. Pengujian ini mencakup halaman monitoring utama, halaman mode kontrol, dan halaman riwayat monitoring.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa dashboard mampu menampilkan informasi suhu, status lampu, status exhaust, status heater, mode kontrol, jadwal on/off, dan waktu pencatatan dengan baik. Selain itu, fitur kontrol mode auto/manual dan kontrol manual aktuator juga dapat diakses oleh pengguna setelah proses login berhasil dilakukan. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi

antara database, dashboard, dan perangkat ESP32 telah berjalan sesuai dengan perancangan sistem.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian, penelitian ini berhasil membangun sistem *Internet of Things* (IoT) untuk suplementasi cahaya malam (*night-breaking*) pada tanaman buah naga berbasis ESP32. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan modul RTC DS3231 sebagai acuan waktu, sensor DHT22 sebagai pembaca suhu, serta relay sebagai pengendali lampu, exhaust, dan heater.

Sistem yang dirancang mampu mengatur nyala dan mati lampu secara otomatis berdasarkan jadwal on dan jadwal off pada mode auto. selain itu, sistem juga mampu melakukan pengendalian suhu sederhana, yaitu dengan menyalakan exhaust ketika suhu melebihi ambang batas dan menyalakan heater ketika suhu berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan. pada mode manual, pengguna dapat mengendalikan lampu, exhaust, dan heater secara langsung melalui dashboard web.

Data monitoring sistem berupa suhu, status lampu, status exhaust, status heater, mode kontrol, jadwal operasi, dan waktu pencatatan berhasil dikirim oleh ESP32 ke server *localhost* menggunakan protokol HTTP. Data tersebut kemudian disimpan ke dalam database MySQL dan ditampilkan pada dashboard web untuk kebutuhan monitoring secara *real-time* maupun riwayat pencatatan.

Berdasarkan hasil pengujian, integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak pada sistem ini telah berjalan sesuai dengan rancangan. Dengan demikian, sistem yang dibangun telah dapat digunakan untuk mendukung proses

suplementasi cahaya malam buah naga serta monitoring dan pengendalian suhu sederhana secara otomatis maupun manual.

5.2 Saran

Meskipun sistem telah berjalan sesuai dengan rancangan, masih terdapat beberapa hal yang dapat dikembangkan lebih lanjut agar sistem menjadi lebih optimal. Salah satu pengembangan yang dapat dilakukan adalah peningkatan akurasi dan kestabilan pembacaan sensor, sehingga pengendalian suhu dapat berlangsung lebih responsif dan konsisten pada berbagai kondisi lingkungan.

Selain itu, pengembangan berikutnya dapat diarahkan pada pemisahan tabel database antara data kontrol dan data riwayat monitoring agar pencatatan sistem menjadi lebih rapi, terstruktur, dan mudah dianalisis. Dengan pemisahan tersebut, data status aktuator terakhir dan data historis monitoring dapat dikelola secara lebih baik.

Pengembangan lain yang juga dapat dipertimbangkan adalah penggunaan server berbasis *cloud* agar sistem tidak hanya dapat diakses melalui jaringan lokal, tetapi juga dapat dimonitor dari jarak jauh. Di samping itu, penambahan sistem keamanan seperti autentikasi yang lebih kuat dan pengamanan komunikasi data juga penting untuk meningkatkan keandalan sistem pada implementasi yang lebih luas.

Dengan pengembangan tersebut, sistem IoT untuk suplementasi cahaya malam buah naga ini tidak hanya dapat digunakan sebagai prototipe penelitian, tetapi juga berpotensi dikembangkan menjadi sistem monitoring dan kontrol yang lebih aplikatif untuk mendukung budidaya buah naga secara modern.

DAFTAR PUSTAKA

- (Galon et al., 2025)Ahmad, Y. A. (2021). *On the Evaluation of DHT22 Temperature Sensor for IoT Application*.
- Beddows, P. A., & Mallon, E. K. (2018). Cave pearl data logger: A flexible arduino-based logging platform for long-term monitoring in harsh environments. *Sensors (Switzerland)*, *18*(2). <https://doi.org/10.3390/s18020530>
- Bicamumakuba, E., Reza, N., Jin, H., Lee, K., & Chung, S. (2025). *Multi-Sensor Monitoring , Intelligent Control , and Data Processing for Smart Greenhouse Environment Management*. 1–25.
- Cheng, Y., & Dai, F. (2021). *Design of Greenhouse Environment Control System*. *2*(3), 104–108.
- Chu, Y., & Chang, J. (2020). *Scientia Horticulturae Regulation of fl oral bud development and emergence by ambient temperature under a long-day photoperiod in white- fl eshed pitaya (Hylocereus undatus)*. 271(January).
- Espinosa-Gavira, M. J., Agüera-Pérez, A., Palomares-Salas, J. C., Sierra-Fernandez, J. M., Remigio-Carmona, P., & González de-La-Rosa, J. J. (2024). Characterization and Performance Evaluation of ESP32 for Real-time Synchronized Sensor Networks. *Procedia Computer Science*, *237*(2022), 261–268. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.05.104>
- Galon, M. L. Q., Tumaliwan, M. V. R., & Sejera, M. M. (2025). *Automated Monitoring and Control System of Solar Greenhouse Using ESP32 and Blynk Application †*.
- García-mañas, F., Hägglund, T., Luis, J., Rodríguez, F., & Berenguel, M. (2024). A practical solution for multivariable control of temperature and humidity in greenhouses. *European Journal of Control*, *77*(September 2023), 100967. <https://doi.org/10.1016/j.ejcon.2024.100967>
- Hornos, M. J., & Quinde, M. (2024). *Development methodologies for IoT-based systems : challenges and research directions*. 215–244.
- Jiang, Y. L., Liao, Y. Y., Lin, T. S., Lee, C. L., Yen, C. R., & Yang, W. J. (2012). The photoperiod-regulated bud formation of red pitaya (*Hylocereus* sp.). *HortScience*, *47*(8), 1063–1067. <https://doi.org/10.21273/hortsci.47.8.1063>
- Le Bellec, F., Vaillant, F., & Imbert, E. (2006). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): A new fruit crop, a market with a future. *Fruits*, *61*(4), 237–250. <https://doi.org/10.1051/fruits:2006021>

- Li, S., Xu, L. Da, & Zhao, S. (2015). The internet of things: a survey. *Information Systems Frontiers*, *17*(2), 243–259. <https://doi.org/10.1007/s10796-014-9492-7>
- Nerd, A., Sitrit, Y., & Avtar, R. (2002). *High summer temperatures inhibit flowering in vine pitaya crops (Hylocereus spp .)*. *96*, 343–350.
- Paradiso, R., & Proietti, S. (2022). Light-Quality Manipulation to Control Plant Growth and Photomorphogenesis in Greenhouse Horticulture: The State of the Art and the Opportunities of Modern LED Systems. *Journal of Plant Growth Regulation*, *41*(2), 742–780. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10337-y>
- Rashid, A. S. M. H., Azam, M. G., & Chowdhury, S. M. K. H. (2021). Influence of Day-length Enhancement through Night-breaking by Artificial Lighting on Off-season Dragon Fruit Production. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*, *17*(2), 1–10. <https://doi.org/10.9734/ajaar/2021/v17i230190>
- Sanap, P. V. C., Nikam, S., Sail, V., Thorat, S., & Vidhate, A. (2025). *Design and Implementation of Real Time Clock using RTC DS3231 and Arduino Uno. February.*
- Seetaram, J., Bhavya, A., Tarun, C., & Sameera, V. (2024). *Internet of Things (IoT) Based Greenhouse Monitoring and Controlling System Using ESP-32.* *13*(6), 29–35. <https://doi.org/10.17148/IJARCCCE.2024.13605>
- Setiawan, Y. D., Hartanto, W., Lukas, E. E., Julienne, N. D. B., Kurniawan, S., & Siswanto, B. (2023). Smart Plant Watering and Lighting System to Enhance Plant Growth Using Internet of Things. *Procedia Computer Science*, *227*, 966–972. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.604>
- Shim, J. S., Kubota, A., & Imaizumi, T. (2017). Circadian clock and photoperiodic flowering in arabidopsis: CONSTANS is a Hub for Signal integration. *Plant Physiology*, *173*(1), 5–15. <https://doi.org/10.1104/pp.16.01327>
- Sumberagung, D., Banyuwangi, K., Fruit, D., & Hamlet, R. (2024). *Mekanisme Survival Petani Buah Naga di Dusun Rejoagung ,.* *2*(1), 41–47. <https://doi.org/10.29244/jstrsv.2.1.41-47>

LAMPIRAN

1.Source Code Unit Mikrokontroler

```

#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
#include <time.h>
#include <Wire.h>
#include <RTClib.h>
#include <DHT.h>

// =====
// KONFIGURASI WIFI & SERVER
// =====
const char* WIFI_SSID = "ayaaa";
const char* WIFI_PASSWORD = "november101103";

const char* SERVER_URL =
"http://172.20.10.2/MONITORING_BUAHNAGA/kirim_data.php";
const char* CONTROL_URL =
"http://172.20.10.2/MONITORING_BUAHNAGA/ambil_kontrol.php";

const char* API_KEY = "BUAHNAGA123";
const char* DEVICE_ID = "ESP32_1";

// WIB (UTC+7)
const long GMT_OFFSET_SEC = 7 * 3600;
const int DAYLIGHT_OFFSET_SEC = 0;

// =====
// PIN
// =====
#define DHTPIN 4
#define DHTTYPE DHT22

const uint8_t RTC_SDA_PIN = 21;
const uint8_t RTC_SCL_PIN = 22;

const uint8_t RELAY_LAMP_PIN = 25;
const uint8_t RELAY_HEATER_PIN = 26;
const uint8_t RELAY_FAN_PIN = 27;

// Relay aktif LOW
const bool RELAY_ACTIVE_LOW = true;

// =====
// JADWAL & FASE
// =====

```

```

const uint8_t MORNING_START_HOUR = 6;
const uint8_t DAY_START_HOUR    = 10;
const uint8_t NIGHT_START_HOUR  = 18;

// fallback default kalau dari server kosong
int lampOnHour = 18;
int lampOnMin  = 0;
int lampOffHour = 22;
int lampOffMin = 0;

// =====
// AMBANG SUHU AUTO
// =====
const float DAY_FAN_ON_TEMP    = 32.0;
const float DAY_FAN_OFF_TEMP   = 30.0;
const float DAY_HEATER_ON_TEMP = 28.0;
const float DAY_HEATER_OFF_TEMP = 32.0;

const float NIGHT_FAN_ON_TEMP  = 24.0;
const float NIGHT_FAN_OFF_TEMP = 22.0;
const float NIGHT_HEATER_ON_TEMP = 20.0;
const float NIGHT_HEATER_OFF_TEMP = 22.0;

// =====
// FALLBACK RTC MANUAL
// =====
const bool USE_MANUAL_RTC_FALLBACK = true;
const int  MANUAL_YEAR              = 2026;
const int  MANUAL_MONTH              = 4;
const int  MANUAL_DAY                = 11;
const int  MANUAL_HOUR               = 3;
const int  MANUAL_MINUTE             = 0;
const int  MANUAL_SECOND             = 0;

// =====
// INTERVAL
// =====
const unsigned long WIFI_TIMEOUT_MS      = 20000;
const unsigned long SENSOR_INTERVAL_MS   = 5000;
const unsigned long PRINT_INTERVAL_MS    = 10000;
const unsigned long SEND_INTERVAL_MS     = 30000;
const unsigned long WIFI_CHECK_MS        = 5000;
const unsigned long CONTROL_FETCH_INTERVAL_MS = 5000;

// =====
// OBJEK
// =====
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

```

```

RTC_DS3231 rtc;

// =====
// VARIABEL STATUS
// =====
float currentTemp = NAN;
float currentHum = NAN;

bool lampState = false;
bool fanState = false;
bool heaterState = false;
bool rtcAvailable = false;

unsigned long lastSensorMillis = 0;
unsigned long lastPrintMillis = 0;
unsigned long lastSendMillis = 0;
unsigned long lastWifiCheckMillis = 0;
unsigned long lastControlFetchMillis = 0;

// =====
// STATUS KONTROL DARI WEB
// =====
String webMode = "AUTO";
bool webLampState = false;
bool webFanState = false;
bool webHeaterState = false;

// =====
// ENUM FASE
// =====
enum DayPhase {
    PHASE_MORNING,
    PHASE_DAY,
    PHASE_NIGHT
};

// =====
// RELAY
// =====
void setRelay(uint8_t pin, bool on) {
    if (RELAY_ACTIVE_LOW) {
        digitalWrite(pin, on ? LOW : HIGH);
    } else {
        digitalWrite(pin, on ? HIGH : LOW);
    }
}

void initRelaysOff() {

```

```

pinMode(RELAY_LAMP_PIN, OUTPUT);
pinMode(RELAY_HEATER_PIN, OUTPUT);
pinMode(RELAY_FAN_PIN, OUTPUT);

setRelay(RELAY_LAMP_PIN, false);
setRelay(RELAY_HEATER_PIN, false);
setRelay(RELAY_FAN_PIN, false);
}

// =====
// HELPER WAKTU
// =====
bool isTimeInRange(int nowMin, int startMin, int stopMin) {
    if (startMin < stopMin) {
        return (nowMin >= startMin && nowMin < stopMin);
    } else {
        return (nowMin >= startMin || nowMin < stopMin);
    }
}

DayPhase getDayPhase(const DateTime& now) {
    int h = now.hour();

    if (h >= MORNING_START_HOUR && h < DAY_START_HOUR) {
        return PHASE_MORNING;
    } else if (h >= DAY_START_HOUR && h < NIGHT_START_HOUR) {
        return PHASE_DAY;
    } else {
        return PHASE_NIGHT;
    }
}

const char* phaseToString(DayPhase phase) {
    switch (phase) {
        case PHASE_MORNING: return "PAGI";
        case PHASE_DAY:     return "SIANG";
        case PHASE_NIGHT:   return "MALAM";
        default:             return "UNKNOWN";
    }
}

bool isDayControlMode(DayPhase phase) {
    return (phase == PHASE_MORNING || phase == PHASE_DAY);
}

String getDateTimeString(const DateTime& now) {
    char buf[25];
    snprintf(

```

```

    buf,
    sizeof(buf),
    "%04d-%02d-%02d %02d:%02d:%02d",
    now.year(), now.month(), now.day(),
    now.hour(), now.minute(), now.second()
);
return String(buf);
}

bool parseTimeString(const String& timeStr, int& hourOut, int& minOut) {
    if (timeStr.length() < 5) return false;

    int firstColon = timeStr.indexOf(':');
    if (firstColon < 0) return false;

    int secondColon = timeStr.indexOf(':', firstColon + 1);

    String hStr = timeStr.substring(0, firstColon);
    String mStr;

    if (secondColon > 0) {
        mStr = timeStr.substring(firstColon + 1, secondColon);
    } else {
        mStr = timeStr.substring(firstColon + 1);
    }

    int h = hStr.toInt();
    int m = mStr.toInt();

    if (h < 0 || h > 23 || m < 0 || m > 59) return false;

    hourOut = h;
    minOut = m;
    return true;
}

String extractJsonString(const String& payload, const String& key) {
    String pattern = "\"" + key + "\":\"";
    int start = payload.indexOf(pattern);
    if (start < 0) return "";

    start += pattern.length();
    int end = payload.indexOf("\"", start);
    if (end < 0) return "";

    return payload.substring(start, end);
}

```

```

// =====
// WIFI
// =====

bool connectWiFi() {
  Serial.println("[WIFI] Menghubungkan ke WiFi...");
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.setSleep(false);
  WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);

  unsigned long start = millis();
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && millis() - start <
WIFI_TIMEOUT_MS) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println();

  if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    Serial.println("[WIFI] Tersambung");
    Serial.print("[WIFI] IP ESP32: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());
    return true;
  }

  Serial.print("[WIFI] Gagal konek. Status: ");
  Serial.println(WiFi.status());
  return false;
}

void maintainWiFiConnection() {
  if (millis() - lastWifiCheckMillis < WIFI_CHECK_MS) return;
  lastWifiCheckMillis = millis();

  if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) return;

  Serial.print("[WIFI] WiFi putus. Status: ");
  Serial.println(WiFi.status());
  Serial.println("[WIFI] Coba konek ulang...");

  WiFi.disconnect(true, true);
  delay(1000);
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.setSleep(false);
  WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);

  unsigned long start = millis();
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && millis() - start < 15000) {
    delay(500);

```

```

    Serial.print("*");
  }
  Serial.println();

  if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    Serial.println("[WIFI] Reconnect berhasil");
    Serial.print("[WIFI] IP ESP32: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());
  } else {
    Serial.print("[WIFI] Reconnect gagal. Status: ");
    Serial.println(WiFi.status());
  }
}

// =====
// RTC & NTP
// =====

bool initRTC() {
  Serial.println("[RTC] Inisialisasi RTC...");
  if (!rtc.begin()) {
    Serial.println("[RTC] RTC tidak terdeteksi.");
    return false;
  }

  if (rtc.lostPower()) {
    Serial.println("[RTC] RTC kehilangan daya / waktu mungkin tidak valid.");
  } else {
    Serial.println("[RTC] RTC terdeteksi.");
  }

  return true;
}

bool syncRTCFromNTP() {
  Serial.println("[NTP] Sinkronisasi waktu dari NTP...");
  configTime(GMT_OFFSET_SEC, DAYLIGHT_OFFSET_SEC,
"pool.ntp.org", "time.nist.gov");

  struct tm timeinfo;
  for (int i = 0; i < 15; i++) {
    if (getLocalTime(&timeinfo, 1000)) {
      DateTime ntpTime(
        timeinfo.tm_year + 1900,
        timeinfo.tm_mon + 1,
        timeinfo.tm_mday,
        timeinfo.tm_hour,
        timeinfo.tm_min,
        timeinfo.tm_sec

```

```

    );

    rtc.adjust(ntpTime);
    Serial.println("[NTP] Berhasil sinkron ke RTC.");
    return true;
}
Serial.print("#");
}

Serial.println();
Serial.println("[NTP] Gagal mendapatkan waktu NTP.");
return false;
}

bool setRTCManualFallback() {
    if (!USE_MANUAL_RTC_FALLBACK) return false;

    DateTime manualTime(
        MANUAL_YEAR,
        MANUAL_MONTH,
        MANUAL_DAY,
        MANUAL_HOUR,
        MANUAL_MINUTE,
        MANUAL_SECOND
    );

    rtc.adjust(manualTime);
    Serial.println("[RTC] Menggunakan waktu manual fallback.");
    return true;
}

// =====
// SENSOR
// =====
void readDHT() {
    float h = dht.readHumidity();
    float t = dht.readTemperature();

    if (isnan(h) || isnan(t)) {
        Serial.println("[DHT] Gagal membaca sensor DHT22.");
        return;
    }

    currentHum = h;
    currentTemp = t;
}

// =====

```

```

// KONTROL AUTO
// =====
void controlLampAuto(const DateTime& now) {
    int nowMin = now.hour() * 60 + now.minute();
    int onMin = lampOnHour * 60 + lampOnMin;
    int offMin = lampOffHour * 60 + lampOffMin;

    lampState = isTimeInRange(nowMin, onMin, offMin);
}

void controlFanAndHeaterAuto(DayPhase phase, float temp) {
    if (isnan(temp)) {
        Serial.println("[AUTO] Suhu belum valid, heater/exhaust tidak diubah.");
        return;
    }

    if (isDayControlMode(phase)) {
        if (temp > DAY_FAN_ON_TEMP) {
            fanState = true;
        } else if (temp < DAY_FAN_OFF_TEMP) {
            fanState = false;
        }

        if (temp < DAY_HEATER_ON_TEMP) {
            heaterState = true;
        } else if (temp >= DAY_HEATER_OFF_TEMP) {
            heaterState = false;
        }
    } else {
        if (temp > NIGHT_FAN_ON_TEMP) {
            fanState = true;
        } else if (temp < NIGHT_FAN_OFF_TEMP) {
            fanState = false;
        }

        if (temp < NIGHT_HEATER_ON_TEMP) {
            heaterState = true;
        } else if (temp >= NIGHT_HEATER_OFF_TEMP) {
            heaterState = false;
        }
    }

    if (fanState && heaterState) {
        if (isDayControlMode(phase)) {
            if (temp >= DAY_HEATER_OFF_TEMP) heaterState = false;
            else fanState = false;
        } else {
            if (temp >= NIGHT_HEATER_OFF_TEMP) heaterState = false;
        }
    }
}

```

```

        else fanState = false;
    }
}
}

// =====
// AMBIL KONTROL DARI WEB
// =====
void fetchControlFromServer() {
    if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        Serial.println("[CTRL] WiFi tidak terhubung, gagal ambil kontrol.");
        return;
    }

    HTTPClient http;
    http.begin(CONTROL_URL);
    http.setTimeout(10000);

    Serial.println("[CTRL] Mengambil kontrol dari server...");
    int httpCode = http.GET();

    if (httpCode > 0) {
        String payload = http.getString();

        Serial.print("[CTRL] Response Code: ");
        Serial.println(httpCode);
        Serial.print("[CTRL] Payload: ");
        Serial.println(payload);

        if (payload.indexOf("\"mode_kontrol\":\"MANUAL\"") >= 0) {
            webMode = "MANUAL";
        } else {
            webMode = "AUTO";
        }

        webLampState = payload.indexOf("\"status_lampu\":\"1\"") >= 0;
        webFanState = payload.indexOf("\"status_exhaust\":\"1\"") >= 0;
        webHeaterState = payload.indexOf("\"status_heater\":\"1\"") >= 0;

        String jadwalOnStr = extractJsonString(payload, "jadwal_on");
        String jadwalOffStr = extractJsonString(payload, "jadwal_off");

        int parsedHour = 0;
        int parsedMin = 0;

        if (parseTimeString(jadwalOnStr, parsedHour, parsedMin)) {
            lampOnHour = parsedHour;
            lampOnMin = parsedMin;
        }
    }
}

```

```

    }

    if (parseTimeString(jadwalOffStr, parsedHour, parsedMin)) {
        lampOffHour = parsedHour;
        lampOffMin = parsedMin;
    }

    Serial.print("[CTRL] Mode: ");
    Serial.println(webMode);

    Serial.print("[CTRL] Jadwal Lampu ON : ");
    Serial.printf("%02d:%02d\n", lampOnHour, lampOnMin);

    Serial.print("[CTRL] Jadwal Lampu OFF: ");
    Serial.printf("%02d:%02d\n", lampOffHour, lampOffMin);
} else {
    Serial.print("[CTRL] Gagal ambil kontrol: ");
    Serial.println(http.errorToString(httpCode));
}

http.end();
}

// =====
// TERAPKAN MODE
// =====
void applyControlMode(const DateTime& now, DayPhase phase) {
    if (webMode == "MANUAL") {
        lampState = webLampState;
        fanState = webFanState;
        heaterState = webHeaterState;

        Serial.println("[MODE] Menjalankan mode MANUAL dari website.");
    } else {
        controlLampAuto(now);
        controlFanAndHeaterAuto(phase, currentTemp);
        Serial.println("[MODE] Menjalankan mode AUTO dari ESP.");
    }

    setRelay(RELAY_LAMP_PIN, lampState);
    setRelay(RELAY_FAN_PIN, fanState);
    setRelay(RELAY_HEATER_PIN, heaterState);
}

// =====
// PRINT STATUS
// =====
void printStatus(const DateTime& now, DayPhase phase) {

```

```

Serial.println("=====
====");
Serial.print("Waktu  :");
Serial.println(getDateTimeString(now));

Serial.print("Fase  :");
Serial.println(phaseToString(phase));

Serial.print("Mode  :");
Serial.println(webMode);

Serial.print("Suhu  :");
if (isnan(currentTemp)) Serial.println("Tidak terbaca");
else Serial.printf("%.2f C\n", currentTemp);

Serial.print("Hum  :");
if (isnan(currentHum)) Serial.println("Tidak terbaca");
else Serial.printf("%.2f %%\n", currentHum);

Serial.print("Lampu  :");
Serial.println(lampState ? "ON" : "OFF");

Serial.print("Exhaust :");
Serial.println(fanState ? "ON" : "OFF");

Serial.print("Heater  :");
Serial.println(heaterState ? "ON" : "OFF");

Serial.print("WiFi  :");
Serial.println(WiFi.status() == WL_CONNECTED ? "TERHUBUNG" :
"PUTUS");

Serial.println("=====
====");
}

// =====
// KIRIM DATA KE SERVER
// =====

void sendDataToServer(const DateTime& now, DayPhase phase) {
  if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.println("[HTTP] WiFi tidak terhubung. Data tidak dikirim.");
    return;
  }

  if (isnan(currentTemp) || isnan(currentHum)) {
    Serial.println("[HTTP] Data sensor belum valid.");
  }
}

```

```

    return;
}

String postData = "api_key=" + String(API_KEY);
postData += "&device_id=" + String(DEVICE_ID);
postData += "&suhu=" + String(currentTemp, 2);
postData += "&kelembapan=" + String(currentHum, 2);
postData += "&lampu=" + String(lampState ? "ON" : "OFF");
postData += "&kipas=" + String(fanState ? "ON" : "OFF");
postData += "&heater=" + String(heaterState ? "ON" : "OFF");
postData += "&fase=" + String(phaseToString(phase));
postData += "&waktu=" + getDateTimeString(now);

for (int attempt = 1; attempt <= 2; attempt++) {
    HTTPClient http;
    http.begin(SERVER_URL);
    http.setTimeout(10000);
    http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");

    Serial.print("[HTTP] Attempt ");
    Serial.println(attempt);
    Serial.print("[HTTP] URL: ");
    Serial.println(SERVER_URL);
    Serial.print("[HTTP] POST: ");
    Serial.println(postData);

    int httpCode = http.POST(postData);

    if (httpCode > 0) {
        String response = http.getString();
        Serial.print("[HTTP] Response Code: ");
        Serial.println(httpCode);
        Serial.print("[HTTP] Response Body: ");
        Serial.println(response);
        http.end();
        return;
    } else {
        Serial.print("[HTTP] Gagal koneksi: ");
        Serial.println(http.errorToString(httpCode));
    }

    http.end();
    delay(2000);
}

// =====
// SETUP

```

```

// =====
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  delay(2000);
  Serial.println();
  Serial.println("=== SISTEM KENDALI FOTOPERIODISME BUAH
NAGA ===");

  initRelaysOff();
  dht.begin();
  Wire.begin(RTC_SDA_PIN, RTC_SCL_PIN);

  rtcAvailable = initRTC();

  bool wifiOk = connectWiFi();
  if (wifiOk) {
    WiFi.setAutoReconnect(true);
    WiFi.persistent(true);
  }

  if (rtcAvailable) {
    bool ntpOk = false;

    if (wifiOk) {
      ntpOk = syncRTCFromNTP();
    }

    if (!ntpOk) {
      if (rtc.lostPower()) {
        if (!setRTCManualFallback()) {
          Serial.println("[RTC] NTP gagal dan fallback manual tidak aktif.");
        }
      } else {
        Serial.println("[RTC] NTP gagal, memakai waktu RTC yang
tersimpan.");
      }
    }
  }

  readDHT();
  fetchControlFromServer();

  if (rtcAvailable) {
    DateTime now = rtc.now();
    DayPhase phase = getDayPhase(now);

    applyControlMode(now, phase);
    printStatus(now, phase);
  }
}

```

```

    sendDataToServer(now, phase);
  } else {
    Serial.println("[SYSTEM] RTC tidak aktif. Sistem waktu tidak berjalan
normal.");
  }
}

// =====
// LOOP
// =====

void loop() {
  maintainWiFiConnection();

  if (millis() - lastSensorMillis >= SENSOR_INTERVAL_MS) {
    lastSensorMillis = millis();
    readDHT();
  }

  if (millis() - lastControlFetchMillis >=
CONTROL_FETCH_INTERVAL_MS) {
    lastControlFetchMillis = millis();
    fetchControlFromServer();
  }

  if (rtcAvailable) {
    DateTime now = rtc.now();
    DayPhase phase = getDayPhase(now);

    applyControlMode(now, phase);

    if (millis() - lastPrintMillis >= PRINT_INTERVAL_MS) {
      lastPrintMillis = millis();
      printStatus(now, phase);
    }

    if (millis() - lastSendMillis >= SEND_INTERVAL_MS) {
      lastSendMillis = millis();
      sendDataToServer(now, phase);
    }
  }

  delay(200);
}

```

