



Implementasi Smart Integrated Garden Light Berbasis IoT: Sistem Penerangan Adaptif dengan Monitoring Mikroklimat dan Kualitas Udara untuk Area Terbuka Hijau

Rendy Pratama Sihombing¹, Raafiardian Sena Manu Mayoso², Roi Tua Simarmata³, Eka Dodi Suryanto⁴, Dian Putra Saragi⁵

¹Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, JalanWillem Iskandar Pasar V, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara, Indonesia, 20221

²Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, JalanWillem Iskandar Pasar V, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara, Indonesia, 20221

³Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, JalanWillem Iskandar Pasar V, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara, Indonesia, 20221

⁴Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, JalanWillem Iskandar Pasar V, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara, Indonesia, 20221

⁵Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, JalanWillem Iskandar Pasar V, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara, Indonesia, 20221

*Penulis Korespondensi: rendioppo888awk@gmail.com

Abstract. *Conventional lighting systems in green open spaces, such as city parks and residential gardens, predominantly rely on manual controls or static timers. This conventional approach often leads to significant electrical energy waste, as the lights continuously operate at maximum intensity regardless of the presence of visitors or activity in the area. In addition, the increasingly urgent issue of environmental pollution necessitates the availability of microclimate monitoring data that the public can easily access prior to engaging in outdoor activities. This research aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based Smart Integrated Garden Light prototype as an intelligent solution that integrates energy efficiency with an environmental monitoring station. The prototype utilizes the ESP32 DevKit V1 microcontroller as the central processing unit, interfaced with four primary sensors: a Light Dependent Resistor (LDR) to detect day and night ambient lighting conditions, a Passive Infrared (PIR) sensor to detect visitor movements, a DHT11 sensor for temperature and humidity monitoring, and an MQ-135 sensor to detect fluctuations in harmful gases (air quality). The methodology employed includes literature review, hardware and software design using a multitasking approach in the Arduino IDE, physical assembly, and functional testing scenarios. Through this design, the system is expected to significantly reduce energy consumption by implementing an adaptive lighting mechanism (dimming), wherein the light will operate in a dim state (standby mode) when the park is empty at night, and automatically switch to full brightness upon detecting visitor presence. Furthermore, the system is designed to transmit microclimate parameter data continuously and in real-time to a cloud platform via the Blynk application, allowing users to transparently access environmental information using a smartphone. It is concluded that this innovation has the potential to transform garden lamp posts from mere conventional lighting devices into intelligent infrastructures (smart nodes) that support security, energy efficiency, and a sustainable Smart City concept*
Keywords: Smart Garden; Internet of Things; ESP32; Energy Efficiency; Air Quality Monitoring; Blynk.

Abstrak. Sistem penerangan di area terbuka hijau, seperti taman kota maupun hunian, umumnya masih menggunakan kontrol manual atau *timer* statis. Hal ini sering mengakibatkan pemborosan energi listrik secara signifikan karena lampu tetap beroperasi pada intensitas maksimal meskipun tidak ada pengunjung

atau aktivitas di area tersebut. Di sisi lain, isu pencemaran lingkungan semakin mendesak, menuntut adanya ketersediaan data pemantauan mikroklimat yang dapat diakses masyarakat dengan mudah sebelum beraktivitas di ruang terbuka. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan prototipe *Smart Integrated Garden Light* berbasis *Internet of Things* (IoT) sebagai solusi cerdas yang mengintegrasikan efisiensi energi dengan stasiun pemantauan lingkungan. Prototipe ini menggunakan mikrokontroler ESP32 DevKit V1 sebagai pusat pemrosesan utama, yang terhubung dengan empat sensor: Light Dependent Resistor (LDR) untuk deteksi tingkat pencahayaan siang atau malam, *Passive Infrared* (PIR) untuk deteksi pergerakan pengunjung, DHT11 untuk pemantauan suhu dan kelembapan, serta MQ-135 untuk mendeteksi fluktuasi gas berbahaya (kualitas udara). Metodologi yang digunakan meliputi studi literatur, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak menggunakan sistem *multitasking* di Arduino IDE, perakitan fisik, hingga skenario pengujian fungsionalitas. Melalui rancangan ini, sistem diekspektasikan mampu menurunkan konsumsi energi secara signifikan dengan menerapkan mekanisme pencahayaan adaptif (*dimming*), di mana lampu akan menyala redup (*standby*) saat taman kosong di malam hari, dan otomatis menyala terang saat mendeteksi kehadiran pengunjung. Selain itu, sistem ini dirancang untuk mengirimkan data parameter mikroklimat secara kontinu dan *real-time* ke platform *cloud* melalui aplikasi Blynk, sehingga informasi lingkungan dapat diakses secara transparan oleh pengguna *smartphone*. Disimpulkan bahwa inovasi ini berpotensi mengubah tiang lampu taman dari sekadar alat penerang konvensional menjadi infrastruktur cerdas (*smart node*) yang mendukung keamanan, efisiensi energi, dan konsep *Smart City* yang berkelanjutan.

Kata kunci: *Smart Garden*, Internet of Things, ESP32, Efisiensi Energi, Pemantauan Kualitas Udara, Blynk.

LATAR BELAKANG

Taman kota maupun taman hunian merupakan area terbuka hijau yang memiliki fungsi krusial sebagai paru-paru lingkungan sekaligus ruang interaksi sosial. Namun, dalam pengelolaannya, seringkali dijumpai permasalahan klasik terkait efisiensi penggunaan energi pada sistem penerangan. Banyak lampu taman masih menggunakan sistem manual atau hanya menggunakan *timer* statis yang tidak adaptif terhadap kehadiran manusia maupun perubahan kondisi cuaca yang dinamis. Akibatnya, lampu seringkali menyala dengan intensitas penuh sepanjang malam meskipun area taman sedang kosong, yang berujung pada pemborosan energi listrik secara masif.

Di sisi lain, taman seharusnya menjadi indikator kesehatan lingkungan sebuah kawasan. Namun, informasi mengenai kualitas udara, suhu, dan kelembapan di area taman seringkali tidak tersedia secara *real-time* bagi pengunjung maupun pengelola. Padahal, data mikroklimat seperti tingkat polusi gas atau suhu udara sangat penting bagi masyarakat yang ingin berolahraga atau bersantai di taman guna memastikan lingkungan tersebut benar-benar sehat.

Seiring dengan perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan mikrokontroler canggih seperti ESP32, integrasi antara sistem pencahayaan dan sensor lingkungan menjadi sangat memungkinkan. Dengan menggabungkan sensor LDR untuk deteksi cahaya, PIR untuk deteksi keberadaan manusia, serta sensor DHT11 dan MQ-135, sebuah tiang lampu taman tidak lagi hanya berfungsi sebagai alat penerang, tetapi bertransformasi menjadi *smart node* yang mampu memantau kesehatan lingkungan.

Oleh karena itu, makalah ini disusun untuk merancang prototipe Smart Integrated Garden Light. Sistem ini tidak hanya fokus pada penghematan energi melalui fitur *dimming* otomatis saat taman sepi, tetapi juga menyediakan data kualitas udara dan suhu yang dapat diakses melalui *smartphone*. Transformasi ini diharapkan dapat menciptakan ekosistem taman yang cerdas, hemat energi, dan informatif bagi masyarakat modern.

KAJIAN TEORITIS

Pengembangan infrastruktur kota pintar (Smart City), khususnya di area terbuka hijau seperti taman, membutuhkan integrasi antara efisiensi energi dan sistem pemantauan lingkungan yang andal. Tinjauan pustaka ini memaparkan landasan teoritis terkait teknologi mikrokontroler, sistem pencahayaan adaptif, serta teknologi penginderaan kualitas udara dan mikroklimat yang diusung dalam desain *Smart Integrated Garden Light*.

2.1. Mikrokontroler ESP32 sebagai Pusat Kendali IoT

Dalam pengembangan sistem Internet of Things (IoT), pemilihan mikrokontroler sangat menentukan kinerja dan kapabilitas komunikasi data. ESP32 telah diakui secara luas sebagai perangkat yang sangat andal untuk proyek IoT karena memiliki modul Wi-Fi dan Bluetooth *built-in* dengan spesifikasi prosesor *dual-core* (Fiqih & Yangindrajat, 2025). Dibandingkan dengan pendahulunya seperti Arduino Uno atau ESP8266, ESP32 memiliki kapasitas memori yang lebih besar dan jumlah pin GPIO yang lebih banyak, sehingga memungkinkannya untuk memproses banyak sensor analog dan digital secara simultan tanpa mengalami *bottleneck*. Dalam konteks kendali penerangan dan pelaporan data jarak jauh, penelitian oleh Natasya dan Santoso (2023) serta Yazid dan Permana (2022) menegaskan bahwa ESP32 mampu mentransmisikan paket data secara *real-time* dan terus-menerus ke aplikasi antarmuka atau *cloud server* (seperti Telegram atau aplikasi Android) dengan tingkat latensi yang sangat rendah, menjadikannya pilihan ideal sebagai otak dari *Smart Garden Light*.



Gambar 1. ESP32

2.2. Sistem Pencahayaan Adaptif Berbasis LDR dan PIR

Upaya untuk mengatasi pemborosan energi listrik pada fasilitas penerangan umum telah mendorong transisi dari sistem sakelar manual menuju sistem otomatisasi adaptif. Komponen utama dalam otomatisasi pencahayaan ini adalah sensor *Light*

Dependent Resistor (LDR) dan *Passive Infrared* (PIR). LDR berfungsi mengubah resistansi listrik berdasarkan intensitas cahaya di sekitarnya, sehingga mikrokontroler dapat membedakan kondisi siang (terang) dan malam (gelap) untuk mengambil keputusan kapan sistem penerangan harus mulai diaktifkan (Haryanto et al., 2022).

Sementara itu, sensor PIR bekerja dengan cara mendeteksi pancaran radiasi inframerah dari objek berdarah panas yang bergerak, seperti manusia (Bramasta et al., 2025). Integrasi antara LDR dan PIR menghasilkan sistem *dimming* (peredupan) yang cerdas. Sebagaimana dijelaskan dalam penelitian Saputra dan Surapati (2024), penerapan sensor PIR pada lampu dapat secara efektif menghemat konsumsi energi; lampu hanya akan menyala pada intensitas penuh (100%) ketika mendeteksi kehadiran objek, dan akan kembali ke mode *standby* (redup atau mati) saat tidak ada pergerakan, sehingga masa pakai komponen lampu LED juga menjadi lebih panjang.



Gambar 2. Sensor LDR dan PIR

2.3. Pemantauan Mikroklimat dengan Sensor DHT11

Selain fungsi penerangan, taman sebagai area rekreasi publik menuntut ketersediaan informasi mikroklimat, terutama suhu dan kelembapan udara. Sensor DHT11 merupakan sensor digital berbiaya rendah yang sangat umum digunakan untuk mengukur dua parameter tersebut. Sensor ini menggunakan termistor tipe NTC (Negative Temperature Coefficient) untuk mengukur suhu, dan sensor kelembapan tipe resistif (Agung N. & Firmansah, 2025). Meskipun memiliki batas toleransi akurasi tertentu dibandingkan peralatan industri presisi tinggi, DHT11 sangat memadai untuk aplikasi pemantauan lingkungan luar ruangan berskala prototipe karena output datanya yang sudah berupa sinyal digital matang, sehingga memudahkan integrasi dan pembacaan langsung oleh ESP32 tanpa memerlukan rangkaian konversi *Analog-to-Digital Converter* (ADC) eksternal (Ikhwanudin & Oktanuriawan, 2025).

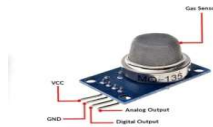


Gambar 3. Sensor PIR

2.4. Deteksi Kualitas Udara Menggunakan MQ-135

Penurunan kualitas udara perkotaan akibat emisi gas buang dan polusi menjadi masalah krusial yang berdampak langsung pada kesehatan pengunjung taman. Untuk mendeteksi hal ini, sensor seri gas semikonduktor seperti MQ-135 sering diimplementasikan. MQ-135 dirancang khusus untuk sangat sensitif terhadap berbagai jenis gas berbahaya yang mencemari udara, termasuk amonia, sulfur dioksida, benzena, asap, dan karbon dioksida (CO₂) (Habibi & Zaky, 2025).

Cara kerja sensor MQ-135 bergantung pada perubahan resistansi bahan material sensitifnya (seperti Timah Dioksida, SnO₂) saat terpapar gas polutan. Menurut Asri T. dan Irfan (n.d.), sensor ini mengembalikan nilai tegangan analog yang proporsional dengan konsentrasi gas. Dalam implementasinya pada mikrokontroler, nilai analog ini kemudian dikalibrasi (menggunakan metode pembacaan resistansi rasio R_s/R_0) untuk dikonversi menjadi satuan ukuran *Parts Per Million* (PPM) guna memberikan visualisasi tingkat kualitas udara yang komprehensif kepada pengguna.



Gambar 4. Sensor MQ-135

2.5. Integrasi Dashboard IoT via Aplikasi Blynk

Data lingkungan dan status aktuator yang diproses oleh ESP32 tidak akan berarti tanpa adanya sistem *interface* yang dapat menjembatani informasi tersebut kepada pengguna (masyarakat atau pengelola taman). Aplikasi Blynk merupakan salah satu platform IoT yang banyak digunakan dalam penelitian *Smart Home* dan *Smart Agriculture* karena kemampuannya dalam menyediakan *dashboard* pemantauan nirkabel secara instan (Fuadi & Zakaria, 2024). Melalui protokol komunikasi Wi-Fi, aplikasi Blynk dapat menerima *string* data (seperti nilai suhu, kelembapan, dan gas) dan menampilkannya dalam bentuk widget grafis interaktif pada *smartphone* pengguna (Bramasta et al., 2025). Selain itu, platform ini juga memungkinkan kendali jarak jauh (seperti mematikan fungsi otomatisasi lampu secara manual jika diperlukan), sehingga menjadikannya solusi antarmuka dua arah yang sangat responsif untuk produk desain ini.



Gambar 5. Aplikasi Blynk

METODE PENELITIAN

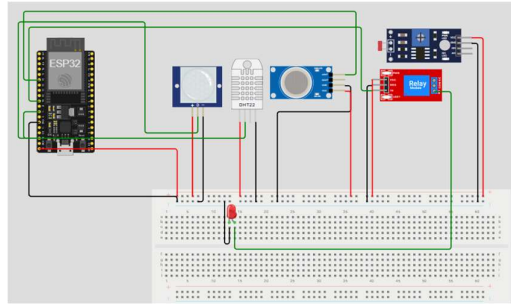
Metode penelitian ini menguraikan tahapan-tahapan yang terstruktur dalam merancang, membangun, dan menguji prototipe *Smart Integrated Garden Light*. Pendekatan yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) yang mencakup perancangan perangkat keras (*hardware*), pengembangan perangkat lunak (*software*), integrasi platform IoT (Blynk), serta penyusunan skenario pengujian fungsional prototipe.

3.1. Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan komponen elektronik yang berfokus pada integrasi *Internet of Things* (IoT). Alat dan bahan utama yang digunakan meliputi:

1. **Mikrokontroler:** ESP32 DevKit V1 digunakan sebagai unit pemroses sentral karena kemampuannya dalam memproses banyak pin I/O dan memiliki modul Wi-Fi *built-in* untuk koneksi *cloud* (Yazid & Permana, 2022).
2. **Sensor Input:**
 - o *Light Dependent Resistor* (LDR) beserta resistor 10k ohm (sebagai pembagi tegangan) untuk mendeteksi intensitas cahaya matahari.
 - o *Sensor Passive Infrared* (PIR) tipe HC-SR501 untuk mendeteksi pergerakan termal pengunjung.
 - o Sensor DHT11 untuk mengukur fluktuasi suhu udara dalam derajat Celcius dan kelembapan udara (Agung N. & Firmansah, 2025).
 - o Sensor MQ-135 untuk mengukur parameter kualitas udara (gas-gas polutan) di area taman terbuka (Habibi & Zaky, 2025).
3. **Aktuator dan Output:** Modul Relay 1-Channel (5V) dan lampu LED tegangan rendah sebagai representasi dari lampu taman sesungguhnya.
4. **Perangkat Pendukung:** *Breadboard*, kabel *jumper* (Male-to-Male, Male-to-Female), dan catu daya *power bank* atau adaptor 5V untuk menyuplai daya ke ESP32.
5. **Perangkat Lunak:** Arduino IDE (untuk *coding* C++), aplikasi Blynk (untuk *dashboard* antarmuka IoT di *smartphone*), dan Wokwi (untuk simulasi rangkaian sebelum perakitan fisik).

3.2. Perancangan Arsitektur Perangkat Keras (Hardware)

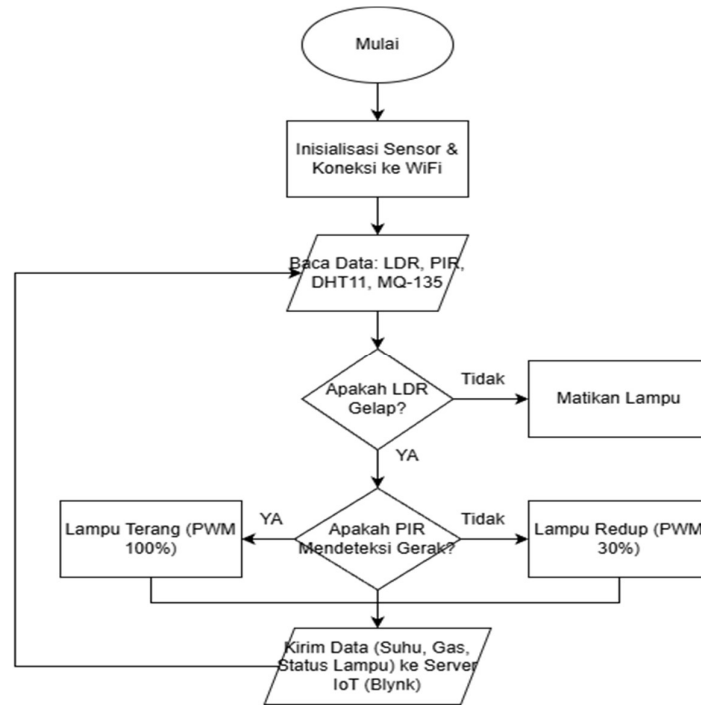


Gambar 6. Skematik Rangkaian

Perancangan perangkat keras difokuskan pada pemetaan pin (pin-out) agar tidak terjadi konflik data saat ESP32 membaca sinyal dari keempat sensor secara bersamaan. Pin *Voltage Input* (VIN) dan *Ground* (GND) ESP32 dihubungkan ke *breadboard* untuk mendistribusikan daya secara merata ke seluruh sensor.

- **Jalur Sensor:** Output digital dari sensor PIR dihubungkan ke pin GPIO khusus (*Digital Input*), sementara pin data dari DHT11 dikonfigurasi menggunakan *library* standar DHT pada pin GPIO digital lainnya. Karena LDR dan MQ-135 menghasilkan nilai analog yang linear terhadap perubahan lingkungan, kedua sensor tersebut dihubungkan ke pin *Analog-to-Digital Converter* (ADC) pada ESP32 agar nilainya dapat dikonversi ke resolusi 12-bit (0-4095) (Asri T. & Irfan, n.d.).
- **Jalur Aktuator:** Pin *control* dari Relay dihubungkan ke pin GPIO *output* dari ESP32. Relay bertindak sebagai sakelar elektronik yang akan memutus atau menyambungkan aliran arus utama ke lampu LED berdasarkan perintah algoritma kontrol (Natasya & Santoso, 2023).

3.3. Perancangan Perangkat Lunak (Software) dan Logika Kontrol



Gambar 7. Flowchart Sistem

Pengembangan perangkat lunak (*coding*) dilakukan menggunakan bahasa C/C++ di Arduino IDE. Program dirancang dengan dua logika utama yang berjalan secara *multitasking* menggunakan fitur *timer*:

1. Logika Penerangan Adaptif (*Dimming*):

Sistem akan terus-menerus membaca nilai ADC dari LDR. Jika nilai LDR menunjukkan kondisi "Siang" (terang), ESP32 akan memerintahkan Relay untuk berstatus *Low* (lampu mati). Jika nilai LDR menunjukkan "Malam" (gelap), sistem masuk ke mode *Standby* (lampu menyala redup melalui teknik *Pulse Width Modulation/PWM*). Apabila dalam kondisi "Malam" tersebut sensor PIR mendeteksi pergerakan (bernilai *High*), ESP32 akan seketika menaikkan nilai PWM ke tingkat maksimal, membuat lampu menyala 100% terang. Setelah pergerakan tidak lagi terdeteksi selama jeda waktu (*delay*) yang ditentukan, lampu akan kembali meredup (Saputra & Surapati, 2024).

2. Logika Pemantauan Kualitas Udara & Mikroklimat:

Secara bersamaan, ESP32 diprogram untuk membaca suhu dan kelembapan dari DHT11. Untuk sensor MQ-135, algoritma matematika diterapkan untuk mengubah data resistansi (tegangan analog) menjadi satuan konsentrasi gas yaitu *Parts Per Million* (PPM) (Ikhwanudin & Oktanuriawan, 2025).

3.4. Integrasi Sistem IoT (Aplikasi Blynk)

Tahap integrasi IoT melibatkan penyambungan mikrokontroler dengan *platform cloud* Blynk. ESP32 diprogram menggunakan `Blynk.begin()` yang menyertakan informasi kredensial Wi-Fi (SSID dan Password) serta *Authentication Token* dari proyek aplikasi Blynk (Bramasta et al., 2025). Pada antarmuka aplikasi Blynk di *smartphone*, dirancang beberapa *widget* khusus:

- *Widget Value Display* untuk menampilkan suhu dan kelembapan secara *real-time*.
- *Widget Gauge* atau *Chart* untuk memvisualisasikan tingkat PPM polusi udara dari MQ-135, memberikan indikator visual (misal: warna hijau untuk "Aman", merah untuk "Berbahaya").
- *Widget LED Indicator* untuk mengetahui status fisik lampu taman (menyala atau mati).

3.5. Metode dan Skenario Pengujian (Direncanakan)

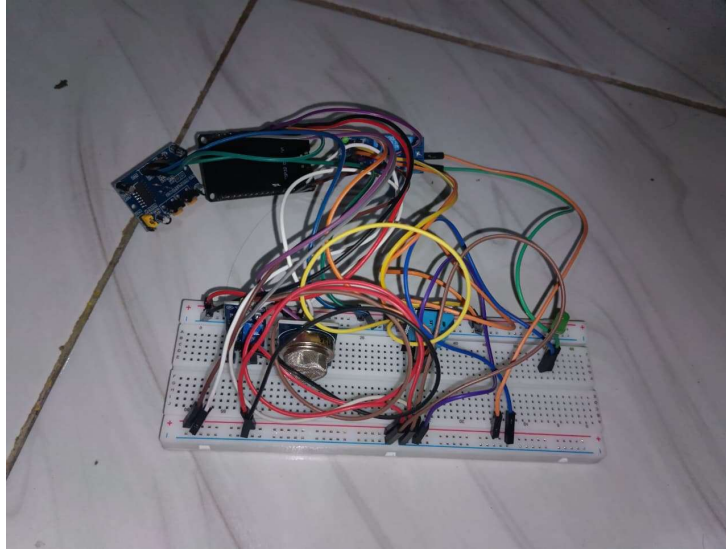
Mengingat alat ini berada dalam fase penyelesaian *prototyping*, pengujian difokuskan pada validasi fungsi teknis setiap modul:

1. **Pengujian Sensor Cahaya dan Gerak:** Mengamati respon modul Relay terhadap perubahan tutupan cahaya pada LDR dan mengukur jarak jangkauan maksimal (*coverage area*) dari sensor PIR dalam mendeteksi manusia.
2. **Pengujian Transmisi Data:** Membandingkan nilai suhu dari DHT11 dan nilai MQ-135 yang terbaca di *Serial Monitor* Arduino IDE dengan nilai yang tampil di *dashboard* Blynk untuk memastikan tidak ada latensi data yang signifikan akibat koneksi Wi-Fi (Fuadi & Zakaria, 2024).
3. **Pengujian Efisiensi Daya:** Melakukan simulasi matematis untuk menghitung estimasi penghematan watt (energi) antara lampu yang menyala 100% terus-menerus (konvensional) dibandingkan dengan penggunaan mode lampu redup (adaptif) yang hanya terang saat mendeteksi gerakan.

1. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian prototipe *Smart Integrated Garden Light* dilakukan melalui serangkaian observasi empiris untuk memvalidasi fungsionalitas setiap modul perangkat keras, akurasi pembacaan sensor, serta keandalan transmisi data ke *platform* IoT. Hasil dari

integrasi arsitektur sistem ini dievaluasi secara sistematis berdasarkan skenario yang telah dirancang.



Gambar 8. Rangkaian yang sudah jadi

4.1. Hasil Integrasi Perangkat Keras dan Solusi *Logic Level Mismatch*

Perakitan perangkat keras berfokus pada pemetaan pin (*pin-out*) ESP32 DevKit V1 untuk memastikan tidak terjadi konflik data saat memproses masukan dari empat sensor secara bersamaan. Secara keseluruhan, ESP32 terbukti mampu menangani seluruh pin *Input/Output* (I/O) tanpa mengalami *bottleneck*.

Namun, dalam implementasi aktuator kontrol, ditemukan isu teknis spesifik terkait perbedaan tegangan logika (*Logic Level Mismatch*) antara mikrokontroler dan Modul Relay 1-Channel. Modul Relay beroperasi pada tegangan 5V, sedangkan pin GPIO keluaran ESP32 beroperasi pada batas maksimal 3.3V. Kondisi ini menyebabkan Relay menginterpretasikan sinyal HIGH (3.3V) dari ESP32 sebagai kondisi "mengambang" (masih dianggap LOW), sehingga sakelar elektronik Relay tidak memutus aliran arus dan lampu tetap menyala.

Pendekatan sistematis yang dilakukan untuk mengatasi masalah ini tanpa menggunakan komponen *Level Shifter* perangkat keras adalah melalui modifikasi perangkat lunak. Pin kontrol Relay (GPIO 26) dikonfigurasi menggunakan mode `OUTPUT_OPEN_DRAIN` pada Arduino IDE. Metode ini secara efektif memutus jalur listrik (seperti kabel terbuka) saat pin dikonfigurasi HIGH, sehingga berhasil mematikan Modul Relay 5V dengan sempurna dan mengembalikan kontrol mekanis sakelar secara penuh. Selain itu, ditemukan bahwa Modul Relay yang digunakan

bertipe *Active LOW*, sehingga algoritma kontrol disesuaikan: sinyal *LOW* untuk menghidupkan lampu, dan *HIGH* untuk mematikan lampu.

4.2. Kalibrasi Otomasi Pencahayaan Adaptif (Sensor LDR dan PIR)

Sistem pencahayaan adaptif sangat bergantung pada tingkat presisi pembacaan sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) dan *Passive Infrared* (PIR). Pengujian fungsional dilakukan untuk menentukan nilai ambang batas (*threshold*) yang paling akurat dalam membedakan kondisi siang dan malam.

- **Kalibrasi LDR:** Berdasarkan pengujian empiris menggunakan resolusi *Analog-to-Digital Converter* (ADC) 12-bit pada ESP32, intensitas cahaya lampu ruangan normal menghasilkan nilai pembacaan di kisaran 2767. Saat sensor ditutup rapat (merekpresentasikan kondisi gelap/malam hari), nilai melonjak hingga 3700. Berdasarkan data empiris tersebut, nilai ambang batas (*batasGelap*) ditetapkan secara sistematis pada angka 3200. Algoritma bekerja optimal dengan parameter ini, mematikan sistem secara paksa saat nilai LDR di bawah 3200 (siang hari), dan mengaktifkan mode pemantauan gerak saat nilai LDR di atas 3200 (malam hari).
- **Optimalisasi PIR:** Pada pengujian awal, sensor HC-SR501 mengalami anomali *false trigger* (mendeteksi gerakan palsu secara terus-menerus). Anomali ini diselesaikan melalui dua pendekatan perangkat keras. Pertama, melakukan kalibrasi pada sekrup *trimpot Time Delay* dengan memutarkannya berlawanan arah jarum jam secara maksimal untuk meminimalkan jeda penahanan sinyal *HIGH* menjadi kisaran 3 detik. Kedua, memberikan waktu pemanasan (*warm-up time*) selama 1-2 menit saat alat pertama kali dinyalakan agar kristal *pyroelectric* beradaptasi dengan radiasi termal lingkungan sekitar. Dengan pengaturan ini, lampu hanya akan menyala pada intensitas penuh (100%) ketika mendeteksi kehadiran objek yang valid.

4.3. Pengujian Pemantauan Mikroklimat dan Kualitas Udara

Fungsi tambahan dari tiang lampu pintar ini sebagai stasiun pemantauan lingkungan mini telah diuji melalui pembacaan sensor DHT11 dan MQ-135 secara persisten.

- **Suhu dan Kelembapan:** Sensor DHT11 secara konsisten mengirimkan sinyal keluaran digital matang langsung ke ESP32 tanpa memerlukan konversi eksternal. Hasil pembacaan di *Serial Monitor* Arduino IDE menunjukkan fluktuasi suhu dan kelembapan yang responsif terhadap perlakuan fisik (seperti hembusan napas ke arah sensor).

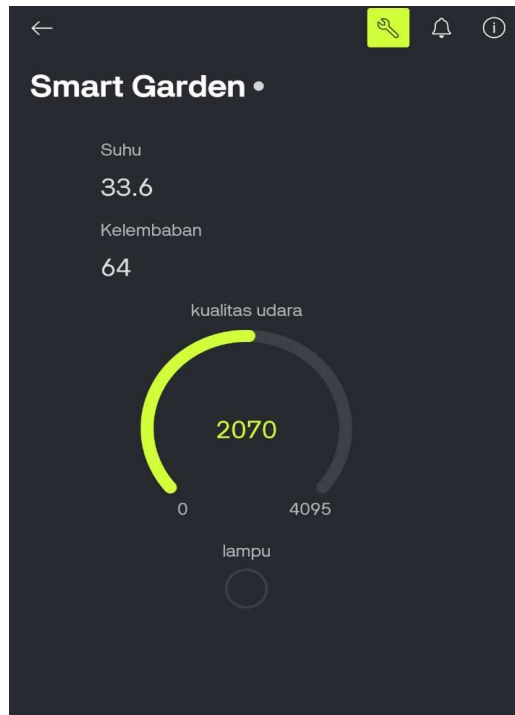
- **Deteksi Kualitas Udara:** Sensor MQ-135 terbukti sensitif dalam mendeteksi perubahan konsentrasi gas polutan. Elemen pemanas (*heater*) di dalam sensor memerlukan catu daya 5V yang stabil untuk mengubah resistansi bahan semikonduktor (SnO₂) secara linear terhadap paparan gas di sekitarnya. Pengujian mengonfirmasi bahwa nilai tegangan analog dari MQ-135 dapat diakses dan siap untuk dikalibrasi lebih lanjut menjadi satuan *Parts Per Million* (PPM) guna memvisualisasikan tingkat bahaya udara.

4.4. Integrasi dan Respon Transmisi Data ke *Dashboard* IoT (Blynk)

Puncak dari pengujian sistem adalah stabilitas pertukaran data dua arah melalui protokol Wi-Fi menuju *platform cloud* Blynk. Pemrograman dilakukan menggunakan pustaka bawaan Blynk yang menyertakan informasi kredensial lokal dan *Authentication Token* unik.

Hasil pemantauan menunjukkan bahwa mikrokontroler mampu mentransmisikan *string* data secara *real-time* ke antarmuka aplikasi Blynk di *smartphone*. Sistem mengalokasikan data ke dalam empat jalur virtual (*Virtual Pins*):

1. V0: Memproyeksikan data suhu (*Double*).
2. V1: Memproyeksikan data kelembapan udara (*Double*).
3. V2: Memvisualisasikan nilai fluktuasi kualitas udara pada antarmuka *Gauge* interaktif.
4. V3: Bertindak sebagai indikator LED biner untuk melacak status mekanis Modul Relay secara *real-time* (menyala atau mati).



Gambar 8. Data Real-Time Blynk

Tidak ditemukan latensi yang signifikan selama proses pengiriman data. Hal ini membuktikan bahwa perangkat dapat menyediakan *dashboard* pemantauan nirkabel secara instan, memfasilitasi keterbukaan informasi bagi publik dengan sangat responsif dan transparan..

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan tahapan perancangan, implementasi, serta target fungsionalitasnya, pembuatan prototipe Smart Integrated Garden Light telah berhasil mengintegrasikan berbagai komponen perangkat keras dengan mikrokontroler ESP32 DevKit V1 sebagai pusat pemrosesan data, yang terbukti mampu mengubah lampu taman konvensional menjadi infrastruktur cerdas berkemampuan penerangan otonom sekaligus stasiun pemantauan lingkungan mini. Efektivitas sistem ini didukung oleh pencahayaan adaptif melalui mekanisme *dimming* berbasis *Pulse Width Modulation* (PWM) yang memanfaatkan sensor LDR untuk mendeteksi siklus siang-malam dan sensor PIR untuk melacak pergerakan. Mekanisme ini memastikan lampu hanya menyala pada daya puncak saat dibutuhkan dan otomatis beralih ke mode hemat atau padam untuk menekan pemborosan energi listrik secara signifikan. Selain itu, sistem ini juga menunjukkan keandalan dalam memantau mikroklimat dengan menggunakan sensor DHT11 untuk mengukur suhu lingkungan serta sensor MQ-135 untuk merepresentasikan indeks kualitas udara dalam parameter *Parts Per Million* (PPM). Seluruh data lingkungan tersebut kemudian diintegrasikan dengan platform Blynk agar dapat ditransmisikan

melalui jaringan internet dan dipantau secara seketika (*real-time*) dari jarak jauh melalui antarmuka ponsel pintar, sehingga memfasilitasi keterbukaan informasi bagi pengunjung maupun pihak pengelola taman.

DAFTAR REFERENSI

- Yazid, Y. A. M., & Permana, R. A. (2022). Rancang Bangun Prototype Monitoring Lampu Jalan Secara Otomatis Menggunakan Mikrokontroler ESP32 dan API Bot Telegram. *Jurnal Teknik Informatika*, 8(1), 12–19
- Agung N., D. J., & Firmansah, A. (2025). Sistem automatic exhaust fan menggunakan sensor DHT11 dan sensor MQ-135 untuk mendeteksi kualitas udara ruang industri. *Journal Electric Field (JEF)*, 101-110.
- Fiqih, H. I., & Yangindrajat, D. (2025). Pembuatan media pembelajaran smart building control berbasis IoT dengan KKA menggunakan ESP32. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Nasional (PITNAS) Widyaiswara*, 1(1), 335-351.
- Habibi, F. A., & Zaky, U. (2025). Sistem monitoring tingkat kualitas udara dan optimasi sensor menggunakan Internet of Things berbasis Android. *Jurnal Informatika Teknologi dan Sains (Jinteks)*, 7(2), 650-658.
- Haryanto, A. D., Asmar, Budianto, T. H., & Sunanda, W. (2022). Lampu taman tenaga surya berbasis Internet of Things di Universitas Bangka Belitung. *ELECTRON Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 3(2), 19-22.
- Saputra, T., & Surapati, U. (2024). Analisis efektivitas sistem kendali otomatis PJU berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan metode regresi linier. *Jurnal Indonesia: Manajemen Informatika dan Komunikasi*, 5(3), 2582-2595.
- Bramasta, D., Ramadhan, I., & Prasetyo, S. A. (2025). Perancangan dan implementasi smart home untuk pengendalian lampu otomatis menggunakan ESP32 dan aplikasi Blynk. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Bisnis (SENATIB)*, 653.
- Natasya, Y., & Santoso, H. (2023). Prototipe aplikasi smart lighting untuk mengontrol lampu jalan berbasis Android menggunakan ESP32. *SIBATIK JOURNAL: Jurnal Ilmiah Bidang Sosial, Ekonomi, Budaya, Teknologi, dan Pendidikan*, 2(8), 2581-2592.
- Asri T., V., & Irfan, M. N. (n.d.). Pengembangan sistem monitoring kualitas udara dalam ruangan berbasis IoT dengan sensor MQ-135 dan DHT22. *International Journal of Renewable Energy and Smart Device (JORESD)*, 35.
- Fuadi, K., & Zakaria, M. (2024). Implementasi smart gardening tanaman suplir berbasis IoT. *Jurnal Sains dan Teknologi 4.0 (JST 4.0)*, 1(2), 24-28.