

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler yang canggih dengan kemampuan pemrosesan tinggi dan fitur-fitur yang mendukung Wi-Fi dan Bluetooth. ESP32 dilengkapi dengan dua core CPU, berbagai pin I/O, dan berbagai modul tambahan seperti sensor suhu, sensor hall, dan lainnya. Dalam aplikasi IoT, ESP32 sering digunakan sebagai pusat kontrol karena kemampuannya untuk mengelola berbagai perangkat dan sensor secara efisien. Bentuk fisik modul mikrokontroler ESP32 yang digunakan sebagai pengendali utama sistem ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Mikrokontroler ESP32

Sumber : <https://joy-it.net/en/products/SBC-NodeMCU-ESP32>

Spesifikasi dari mikrokontroler ESP32 dapat dilihat pada Tabel 2.1:

Tabel 2.1 Spesifikasi ESP32

No	Atribut	Detail
1.	Prosesor	Dual-core Tensilica LX6 dengan frekuensi hingga 240 MHz
2.	Memori	520 KB SRAM, 16 MB Flash
3.	Konektivitas	Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth v4.2 BR/EDR dan BLE
4.	GPIO	34 pin GPIO, termasuk PWM, ADC, DAC, I2C, SPI, dan UART
5.	Sensor	Sensor suhu internal, sensor hall effect
6.	Tegangan Operasional	3.3V
7.	Dimensi	25.5 mm x 51 mm

2.1.2 Solar panel

Solar panel adalah perangkat yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Penggunaan solar panel dalam sistem penerangan jalan otomatis bertujuan untuk menyediakan sumber energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Ilustrasi solar panel yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Solar panel

Sumber: <https://fsolar.me.com/product/solar-panel-5-watts-12v/>

2.1.3 Solar Charge Controller (SCC)

Solar Charge Controller adalah komponen berfungsi untuk mengatur arus atau tegangan keluaran panel surya yang digunakan untuk mengisi baterai dan mengatur daya dari baterai ke beban untuk menjaga baterai dari pengisian yang berlebih (*over-charge*). Pada penelitian ini jenis SCC yang digunakan adalah *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Pada MPPT dapat mengatasi tegangan atau arus keluaran (*output*) yang berlebih dan dapat memasang panel surya sebesar yang diinginkan. MPPT sendiri merupakan jenis *charge controller* yang dapat menghasilkan daya keluaran maksimal dan memiliki efisien sebesar 90% dibandingkan dengan SCC jenis PWM (*Pulse Width Modulation*) yang tidak dapat membatasi tegangan atau arus keluaran dan bergantung pada berapa banyak panel surya yang digunakan. Bentuk fisik *Solar Charge Controller* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 *Solar Charge Controller*

Sumber: <https://www.midiatama.co.id/artikel/5-fungsi-charge-controller-panel-surya>

2.1.4 Sensor LDR (*Light Dependent Resistor*)

Sensor LDR digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya di lingkungan sekitar. LDR mengubah resistansinya berdasarkan jumlah cahaya yang diterimanya. Dalam sistem penerangan jalan otomatis, LDR digunakan untuk menentukan apakah kondisi lingkungan terang (siang hari) atau gelap (malam hari). Ketika intensitas cahaya tinggi, lampu akan otomatis mati. Sebaliknya, ketika intensitas cahaya rendah, lampu akan menyala dalam kondisi redup.



Gambar 2.4 *Light Dependent Resistor*

Sumber: <https://www.datasheetcafe.com/gl5537-1-datasheet-light-dependent-photoresistor/>

Gambar 2.4 merupakan bentuk fisik dari sensor LDR yang digunakan pada penelitian ini. Spesifikasi dari *Light Dependent Resistor* dapat dilihat pada Tabel 2.2:

Tabel 2.2 Spesifikasi *Light Dependent Resistor*

No	Atribut	Detail
1.	Tegangan Operasional	3.3V hingga 5V
2.	Resistansi	1k Ω hingga 10k Ω (bervariasi tergantung intensitas cahaya)

No	Atribut	Detail
3.	Sensitivitas Cahaya	1 lux hingga 10,000 lux

2.1.5 Sensor PIR (*Passive Infrared*)

Sensor PIR digunakan untuk mendeteksi gerakan dengan mendeteksi perubahan radiasi inframerah di sekitarnya. Ketika sensor PIR mendeteksi gerakan, ia mengirimkan sinyal ke mikrokontroler untuk menyalakan lampu dengan terang. Sensor ini sangat efektif untuk meningkatkan keamanan, karena lampu akan menyala terang ketika ada aktivitas di sekitarnya.



Gambar 2.5 *Passive Infrared*

Sumber: <https://www.componentsinfo.com/hc-sr501-module-pinout-datasheet/>

Gambar 2.5 merupakan bentuk fisik dari sensor PIR yang digunakan untuk mendeteksi gerakan pada penelitian ini. Spesifikasi sensor PIR dapat dilihat pada Tabel 2.3:

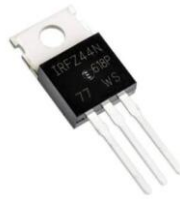
Tabel 2.3 Spesifikasi *Passive Infrared*

No	Atribut	Detail
1.	Tegangan Operasional	3.3V hingga 5V
2.	Jarak Deteksi	3 meter hingga 7 meter
3.	Sudut Deteksi	120 derajat
4.	Waktu Tunda	5 detik hingga 5 menit (dapat disesuaikan)

2.1.6 IRFZ44N

IRFZ44N merupakan transistor N-Channel MOSFET yang digunakan sebagai sakelar elektronik (*electronic switch*) untuk mengendalikan beban berarus besar menggunakan sinyal dari mikrokontroler. Pada penelitian ini, IRFZ44N

berfungsi untuk mengendalikan lampu LED 12 V berdasarkan sinyal PWM yang dihasilkan oleh ESP32. Dengan memanfaatkan teknik PWM, MOSFET dapat mengatur tingkat kecerahan lampu sehingga lampu dapat beroperasi dalam kondisi mati, redup, maupun terang sesuai dengan hasil pembacaan sensor LDR dan sensor PIR.



Gambar 2.6 IRFZ44N

Sumber: <https://rgelectrics.com/irfz44n-mosfet-datasheet-pinout-features-applications/>

Gambar 2.6 merupakan bentuk fisik dari IRFZ44N yang digunakan. Spesifikasi dari IRFZ44N ditunjukkan pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Spesifikasi IRFZ44N

No	Atribut	Detail
1.	Tegangan Drain-Source	55V
2.	Arus Drain Maksimum	49 A
3.	Tegangan Gate-Source Maksimum	± 20 V
4.	Hambatan Drain-Source	0,0175 Ω (maks.)
5.	Daya Disipasi Maksimum	94 W

2.1.7 Penerangan Jalan Otomatis Berbasis IoT

Penerangan jalan otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) merupakan solusi inovatif untuk meningkatkan efisiensi dan kenyamanan pengguna jalan. Sistem ini dirancang untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya energi dengan memanfaatkan sensor pendeteksi gerakan dan sensor intensitas cahaya. Dalam penelitian yang dilakukan, sistem kendali otomatis lampu jalan menggunakan sensor untuk mendeteksi kehadiran kendaraan atau pejalan kaki serta mengukur tingkat cahaya di sekitar area tersebut. Data yang diperoleh dari kedua sensor ini digunakan sebagai masukan untuk mengatur nyala dan padamnya lampu jalan

secara otomatis, sehingga hanya menyala saat diperlukan.

2.1.8 Komunikasi Nirkabel antara ESP32 tiang satu dan tiang dua

Komunikasi nirkabel pada sistem penerangan jalan otomatis dilakukan menggunakan jaringan Wi-Fi dengan protokol TCP/IP. ESP32 pada tiang pertama dikonfigurasi sebagai *Access Point* (AP) sekaligus *server*, sedangkan ESP32 pada tiang kedua dikonfigurasi sebagai *Station* (STA) atau *client* yang terhubung ke *Access Point* tersebut. Arsitektur ini memungkinkan kedua perangkat saling berkomunikasi secara langsung tanpa memerlukan router atau akses internet, sehingga sesuai untuk diterapkan pada daerah yang memiliki keterbatasan infrastruktur jaringan.

Pada sistem ini, ESP32 tiang pertama berfungsi sebagai pusat pengendali yang memproses data dari sensor LDR dan sensor PIR untuk menentukan kondisi lampu. Hasil pemrosesan tersebut kemudian dikirimkan ke ESP32 tiang kedua dalam bentuk informasi status, yaitu *OFF*, *DIM*, dan *BRIGHT*. Setelah menerima informasi tersebut, ESP32 tiang kedua akan menyesuaikan kondisi lampu sehingga memiliki tingkat kecerahan yang sama dengan lampu pada tiang pertama.

Komunikasi menggunakan protokol TCP dipilih karena mampu menyediakan pengiriman data yang andal melalui mekanisme pembentukan koneksi, pemeriksaan kesalahan, dan pengiriman ulang data apabila terjadi kegagalan transmisi. Dengan demikian, sinkronisasi kondisi lampu antar tiang dapat berlangsung secara *real-time* dan lebih stabil dibandingkan komunikasi yang tidak berorientasi koneksi.

Melalui mekanisme komunikasi ini, setiap perubahan kondisi yang terjadi pada tiang pertama, baik akibat perubahan intensitas cahaya maupun deteksi gerakan, dapat segera diteruskan ke tiang kedua sehingga seluruh lampu pada sistem bekerja secara serempak sesuai kondisi yang telah ditentukan.

2.1.9 Metode untuk mengatur tingkat kecerahan lampu

Metode yang digunakan untuk mengatur tingkat kecerahan lampu dalam sistem penerangan jalan otomatis berbasis IoT adalah *Pulse Width Modulation* (PWM). PWM adalah teknik pengendalian daya dengan mengatur durasi nyala dan mati (*duty cycle*) dari sinyal listrik yang dikirimkan ke lampu. Dengan mengatur

duty cycle PWM, kita dapat mengontrol jumlah daya yang diteruskan ke lampu, sehingga menciptakan pencahayaan yang lebih hemat energi dan responsif terhadap kondisi lingkungan (seperti cahaya sekitar dan keberadaan orang).

2.2 Penelitian Terdahulu

Dalam melakukan perancangan sistem pengendalian penerangan lampu jalan otomatis berbasis IoT peneliti menjadikan beberapa penelitian terdahulu sebagai referensi untuk melakukan penelitian lanjutan terhadap pengembangan sistem pengendalian lampu jalan otomatis. Adapun beberapa penelitian yang dijadikan referensi,

Penelitian (Rohili et al., 2022) dengan judul “sistem kontrol pencahayaan untuk lampu jalan tabung siang berbasis iot” Penerangan jalan umum (PJU) digunakan untuk menerangi jalan, sehingga pengguna jalan mendukung kenyamanan dan keselamatan di malam hari. Terdapat keterbatasan sistem pemeriksaan dan pelaporan kerusakan lampu PJU. Artikel ini membahas penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk memantau gangguan kerusakan pada lampu PJU. Metode yang digunakan dalam pengembangan sistem pemantauan tersebut yaitu, kajian literatur, analisis kebutuhan, perancangan, pembuatan dan pengujian. Sistem ini dilengkapi dengan sensor ZMPT101B, ACS 712, dan Modul Wi-Fi ESP 8266-01. Sensor ZMPT101B digunakan untuk mengukur nilai tegangan PLN, sedangkan sensor ACS 712 merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur arus pada lampu jalan. ESP8266-01 merupakan modul Wi-Fi yang dapat terhubung langsung dengan Wi-Fi dan membuat koneksi TCP/IP sehingga dapat mengirim data dari mikrokontroler Arduino Mega2560 ke internet.

Pada penelitian (Saputra & Surapati, 2024) dengan judul “Analisis Efektivitas Sistem Kendali Otomatis PJU Berbasis IoT Menggunakan Mikrokontroler ESP32 dengan Metode Regresi Linier” Penerangan jalan umum (PJU) merupakan infrastruktur penting untuk keamanan malam hari. Penelitian ini mengembangkan sistem kendali otomatis PJU berbasis IoT menggunakan sensor cahaya dan gerak dengan mikrokontroler ESP32. Sistem ini memungkinkan kontrol lampu PJU melalui website, memberikan fleksibilitas tinggi bagi pengguna. Mikrokontroler ESP32 terhubung dengan sensor PIR untuk mendeteksi gerakan. Ketika sensor mendeteksi gerakan, intensitas cahaya lampu PJU ditingkatkan, dan diturunkan saat

tidak ada gerakan untuk menghemat energi. Pengguna dapat mengontrol lampu PJU dari perangkat apapun yang terhubung ke internet. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan efisiensi energi dengan penurunan konsumsi daya rata-rata sebesar 13.77watt dan peningkatan efisiensi sebesar 42.67%. Nilai R-squared 0.629 menunjukkan model ini cukup baik dalam menjelaskan variabilitas konsumsi daya. Sistem ini mampu menyalakan lampu secara otomatis dan dapat dimonitor secara *real-time*, serta diharapkan memberi kontribusi pada pengembangan PJU yang lebih cerdas dan efisien.

Penelitian (Yayan Oktavianti, 2021) dengan judul “ *prototype* Smart Home Pengendali Lampu Dan Gerbang Otomatis Berbasis IoT Pada Sekolah Islam Pelita Insan Menggunakan *Microcontroller* Nodemcu V3” Penelitian ini bermaksud merancang sebuah prototipe sistem *smarthome* pengendali lampu dan gerbang otomatis berbasis IoT menggunakan *Microcontroller* NodeMCU yang bertujuan untuk menghemat listrik, mengefektifkan dan mengefisienkan, serta mempermudah penjaga dan pengelola sekolah untuk menghidupkan dan mematikan lampu serta mengendalikan pintu gerbang secara otomatis melalui google assistant. Hasil penelitian ini yaitu berupa *prototype* sistem pengendali lampu dan gerbang otomatis menggunakan aplikasi google assistant berbasis IoT dengan menggunakan *Microcontroller* NodeMCU v3. Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan dengan adanya *prototype* sistem pengendali lampu dan gerbang otomatis menggunakan aplikasi google assistant dengan cara memberikan perintah ke google assistant yang terkoneksi ke *Microcontroller* NodeMCU V3, diharapkan dapat mempermudah pengelola dan penjaga sekolah untuk mengefektifkan dan mengefisienkan pengendalian lampu atau gerbang menggunakan aplikasi google assistant serta dapat mempermudah penjaga dan pengelola sekolah untuk menjaga keamanan sekolah dengan teknologi IoT.

Penelitian (Ayu et al., 2024) dengan judul “Rancang Bangun *prototype* Monitoring Sistem Solar Panel Pada Penerangan Jalan Umum Berbasis Iot” pada penelitian ini dibuatlah sebuah *prototype* lampu penerangan jalan umum berbasis tenaga surya yang dapat berfungsi meskipun saat terjadi gangguan pada sistem kelistrikan PLN dan juga dapat diterapkan di kawasan pedesaan yang mana lampu akan menyala secara otomatis ketika panel surya sudah tidak mendapatkan cahaya

matahari. Alat ini berbasis IoT yaitu blynk yang terhubung ke internet dan dapat digunakan untuk memonitoring PJU dimana saja hanya dengan menggunakan smartphone. Parameter yang akan dimonitoring diantaranya: 1) Arus PV, Tegangan PV, dan Daya PV; 2) Arus Baterai, Tegangan Baterai, dan Daya Baterai; 3) Arus Beban, Tegangan Beban, dan Daya Beban yang akan diukur menggunakan sensor INA219. Berdasarkan dari hasil percobaan, pengisian baterai dari habis sampai penuh membutuhkan waktu 24 jam penuh dengan sinar matahari yang terik. Saat uji coba menggunakan sebuah lampu dc 5 watt, lampu dapat menyala selama 17 jam hingga baterai habis terpakai. Nilai parameter akan berubah setiap *delay* paling cepat 1 detik tergantung dari kecepatan koneksi Wi-Fi. Dari hasil data penelitian, Arus PV tertinggi yang pernah dibaca ialah sampai 296 mA dengan tegangan 14,87V pada siang hari, artinya daya yang didapat adalah 4,4 W. Awal mula pemakaian lampu akan tampak parameter beban dengan nilai maksimalnya. Arus lampu saat beban diaktifkan mendapat 420 mA dengan daya 4,98 W. Sementara ketika lampu sudah mati, artinya baterai sudah sampai pada titik rendahnya. Menurut data, lampu mati ketika baterai sudah pada 11,6V. Baterai tersebut akan habis setelah pemakaian 13 jam dengan lampu 5 W.

Penelitian (Setiawan et al., 2023) dengan judul “Perancangan sistem kendali otomatis lampu jalan berbasis internet of things” Penggunaan ESP32 sebagai mikrokontroler dalam sistem lampu otomatis sangat efektif dan memberikan manfaat yang signifikan. Dengan adanya ESP32, pengendalian lampu otomatis dapat dilakukan secara lebih cerdas dan responsif terhadap kondisi lingkungan. ESP32 memiliki kemampuan koneksi Wi-Fi dan Bluetooth yang memungkinkan pengguna untuk mengontrol lampu secara praktis melalui perangkat seluler. Selain itu, integrasi sensor cahaya (LDR) dan sensor gerak (PIR) dalam sistem juga memberikan keunggulan tambahan. Sensor cahaya berperan dalam mendeteksi intensitas cahaya sekitar, sehingga lampu dapat menyala secara otomatis ketika intensitas cahaya rendah. Sedangkan sensor gerak bertugas mendeteksi adanya gerakan manusia, yang mengaktifkan lampu saat ada aktivitas. Dengan kombinasi kedua sensor ini, sistem lampu otomatis dapat memberikan pencahayaan yang efisien dan responsif sesuai dengan kebutuhan.

Tabel 2.5 Perbandingan variabel penelitian

Kategori	Peneliti 1	Peneliti 2	Peneliti 3	Peneliti 4	Peneliti 5
Nama Peneliti	Ahmad Setiawan dkk	Ditya Ayu Anjani dkk	Wiyanto & Yayan Oktavianti	Tino Saputra & Untung Surapati	Muhammad Rohili & Lili Andraini
Tahun	2023	2022	2021	2024	2022
Metode	Waterfall	<i>prototype</i>	<i>prototype</i>	Eksperimental & <i>prototype</i>	Kajian literatur & pengujian
Pengujian	Uji coba sistem IoT	Pengujian monitoring panel surya	Pengujian <i>prototype</i> smart home	Pengujian efisiensi energi	Pengujian sensor tegangan dan arus
Data	Sensor PIR dan LDR	Data PV, baterai, dan beban	Data kontrol lampu dan gerbang	Data sensor dan daya listrik	Data tegangan dan arus lampu
Input	Intensitas cahaya dan gerakan	Tegangan, arus, dan daya PV	Perintah suara Google Assistant	Sensor cahaya dan sensor PIR	Tegangan dan arus listrik
Proses	Pengolahan data ESP32	Monitoring IoT berbasis Blynk	Pemrosesan NodeMCU V3	Analisis regresi linier ESP32	Pengiriman data melalui ESP8266
<i>Output</i>	Lampu jalan otomatis	Monitoring kondisi PJU	Kendali lampu dan gerbang otomatis	Efisiensi energi PJU	Monitoring kerusakan lampu
Hardware	ESP32, PIR, LDR	ESP32, INA219, solar panel	NodeMCU V3	ESP32, PIR, LDR, PZEM	Arduino Mega, ESP8266, ACS712
Software	Sistem IoT mobile	Blynk IoT	Google Assistant	Website monitoring	ThingSpeak
Tujuan	Efisiensi energi lampu jalan	Monitoring PJU tenaga surya	Otomatisasi smart home	Penghematan energi listrik	Monitoring kondisi lampu PJU
Hasil	Sistem lampu otomatis adaptif	Monitoring <i>real-time</i> berbasis IoT	Kontrol otomatis berbasis suara	Efisiensi meningkat 42,67%	

Berdasarkan kajian terhadap beberapa penelitian terdahulu pada Tabel 2.5, diketahui bahwa penelitian-penelitian tersebut telah membahas topik yang relevan dengan penelitian ini, namun memiliki keterbatasan dari sisi komunikasi antar perangkat, sinkronisasi kontrol antar tiang lampu, maupun pengaturan intensitas cahaya secara adaptif berbasis kondisi lingkungan dan deteksi gerakan. Sebagian penelitian hanya berfokus pada monitoring sistem penerangan jalan umum berbasis IoT, sementara penelitian lainnya hanya menitikberatkan pada pengendalian otomatis tanpa adanya integrasi komunikasi antar node dan sistem redup-terang otomatis menggunakan PWM.

Penelitian ini memiliki perbedaan dengan penelitian sebelumnya karena mengkaji permasalahan sistem penerangan jalan umum berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan komunikasi antar tiang menggunakan ESP32, serta menerapkan kontrol intensitas cahaya lampu secara otomatis berdasarkan deteksi gerakan dan kondisi lingkungan. Pendekatan penelitian disesuaikan dengan kebutuhan sistem lampu jalan pintar yang mampu bekerja secara adaptif, hemat energi, dan terintegrasi antar node. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan sistem penerangan jalan umum cerdas dalam meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik, kemudahan monitoring, serta optimalisasi kinerja lampu jalan otomatis untuk menjawab perumusan masalah dan melengkapi hasil-hasil penelitian yang telah ada sebelumnya.