

Perancangan Sistem Kontrol Pencahayaan Berbasis Digital Addressable Lighting Interface (DALI) pada Fasilitas Gedung Bertingkat

Riesa Syariful Akbar^{1*}, Erfiana Wahyuningsih¹, Ganjar Febriyani Pratiwi¹,
Rizki Irawan¹, Kamtoyo¹

¹Program Studi Teknik Elektro, Universitas Dian Nusantara, Jakarta, Indonesia

*Penulis Korespondensi : riesa.syariful.akbar@dosen.undira.ac.id

Abstrak— Sistem pencahayaan merupakan salah satu komponen yang berkontribusi signifikan terhadap konsumsi energi listrik pada gedung bertingkat sehingga diperlukan sistem pengendalian yang mampu meningkatkan efisiensi energi tanpa mengurangi kenyamanan pengguna. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol pencahayaan berbasis *Digital Addressable Lighting Interface* (DALI) yang terintegrasi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 dan aplikasi Blynk. Metode penelitian meliputi perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, serta pengujian kinerja berdasarkan variasi tingkat kecerahan, pengukuran tegangan keluaran modul pengatur intensitas cahaya berbasis *Triode for Alternating Current* (TRIAC), kemampuan pemantauan secara *real-time*, dan waktu respons sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan tingkat kecerahan dari 20% hingga 100% meningkatkan tegangan keluaran dari 24 V AC menjadi 181 V AC, sehingga intensitas cahaya berubah secara bertahap dari kondisi sangat redup hingga sangat terang. Sistem juga mampu menampilkan informasi kondisi lampu melalui *Liquid Crystal Display* (LCD) dan aplikasi Blynk secara *real-time* dengan rata-rata waktu respons sebesar 0,75 detik untuk pengaturan tingkat kecerahan dan 1,89 detik untuk fungsi hidup dan mati lampu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu mengendalikan intensitas pencahayaan secara responsif, menyediakan fasilitas pemantauan jarak jauh, serta berpotensi mendukung penerapan sistem pencahayaan yang lebih efisien pada fasilitas gedung bertingkat.

Kata Kunci— Digital Addressable Lighting Interface (DALI); ESP32; Internet of Things (IoT); sistem kontrol pencahayaan; *Triode for Alternating Current* (TRIAC).

DOI: 10.22441/jte.2026.v17i3.003

I. PENDAHULUAN

Sistem pencahayaan merupakan salah satu komponen yang berkontribusi signifikan terhadap konsumsi energi listrik pada fasilitas gedung bertingkat. Penggunaan lampu yang tidak terkontrol dengan baik dapat meningkatkan konsumsi energi dan biaya operasional bangunan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem kontrol pencahayaan yang tepat mampu meningkatkan efisiensi energi tanpa mengurangi kenyamanan visual pengguna [1], [2], [3], [4]. Oleh karena itu, diperlukan sistem kontrol pencahayaan yang mampu

mengatur intensitas cahaya sesuai kebutuhan pengguna secara efektif dan efisien.

Digital Addressable Lighting Interface (DALI) merupakan salah satu teknologi yang banyak digunakan dalam sistem pencahayaan modern karena mampu menyediakan fungsi pengendalian, monitoring, dan pengaturan intensitas cahaya secara digital pada berbagai aplikasi pencahayaan, termasuk *movable spot luminaires* [5], [6], [7], [8], [9]. Teknologi ini memungkinkan pengaturan tingkat pencahayaan (*dimming*), pengelompokan lampu, serta komunikasi dua arah antara perangkat kontrol dan perangkat pencahayaan. Seiring perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT), sistem pencahayaan dapat diintegrasikan dengan jaringan internet sehingga proses monitoring dan pengendalian dapat dilakukan secara *real-time* dari jarak jauh [10], [11], [12], [13], [14]. Integrasi tersebut memberikan kemudahan dalam pengelolaan sistem pencahayaan sekaligus mendukung upaya efisiensi energi pada bangunan.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem kontrol pencahayaan berbasis DALI maupun IoT. Bellido-Outeiriño dkk. mengembangkan sistem pengendalian lampu jalan berbasis komunikasi nirkabel menggunakan protokol DALI yang mampu meningkatkan fleksibilitas pengelolaan pencahayaan [5]. Pambudi dkk. mengembangkan sistem pencahayaan otomatis dan monitoring berbasis IoT menggunakan sensor LDR dan PIR yang menunjukkan bahwa integrasi teknologi IoT mampu meningkatkan efektivitas pengelolaan sistem pencahayaan [15]. Sinha dkk. mengembangkan sistem pencahayaan cerdas berbasis jaringan DALI dan protokol MQTT untuk mendukung efisiensi energi [13]. Penelitian lain menunjukkan bahwa penerapan strategi pengendalian pencahayaan berbasis sensor dan sistem otomatis dapat menghasilkan penghematan energi yang signifikan pada bangunan komersial maupun perkantoran [3], [4], [16].

Meskipun berbagai penelitian telah mengembangkan sistem kontrol pencahayaan berbasis DALI maupun IoT, sebagian besar masih berfokus pada implementasi pengendalian atau monitoring secara terpisah. Selain itu, penerapan sistem pencahayaan yang mengintegrasikan pengaturan intensitas

cahaya, monitoring *real-time*, dan akses jarak jauh menggunakan perangkat yang sederhana serta mudah diimplementasikan masih relatif terbatas. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi konsep pengendalian pencahayaan digital berbasis DALI dengan teknologi IoT menggunakan ESP32 dan platform Blynk dalam satu sistem yang mampu melakukan pengaturan intensitas cahaya dan monitoring kondisi lampu secara *real-time*. Sistem ini dirancang untuk mendukung efisiensi energi serta memberikan fleksibilitas pengendalian pada fasilitas gedung bertingkat.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol pencahayaan berbasis *Digital Addressable Lighting Interface* (DALI) dengan mengadopsi konsep pengendalian pencahayaan digital yang terintegrasi dengan teknologi *Internet of Things* menggunakan ESP32 dan platform Blynk. Sistem yang dikembangkan diharapkan mampu mengatur tingkat pencahayaan lampu secara *real-time*, menyediakan fasilitas monitoring jarak jauh, serta mendukung efisiensi penggunaan energi listrik pada fasilitas gedung bertingkat.

II. METODE PENELITIAN

A. Perancangan Sistem

Penelitian ini menggunakan metode perancangan dan implementasi sistem kontrol pencahayaan berbasis *Digital Addressable Lighting Interface* (DALI) yang terintegrasi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT). Sistem dirancang untuk mengatur tingkat pencahayaan lampu secara *real-time* menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama. Pengguna dapat melakukan pengaturan tingkat pencahayaan melalui aplikasi Blynk yang terhubung dengan ESP32 menggunakan jaringan internet.

Sistem terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu ESP32, AC Light Dimmer Module, relay module, LCD I2C, lampu AC, dan aplikasi Blynk. ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali yang menerima data *brightness* dari aplikasi Blynk, kemudian mengolah data tersebut menjadi sinyal kendali untuk mengatur tingkat pencahayaan lampu melalui AC Light Dimmer Module. Selain itu, ESP32 juga mengirimkan informasi kondisi sistem ke LCD I2C dan aplikasi Blynk untuk keperluan monitoring.

Diagram blok sistem menunjukkan hubungan antara aplikasi Blynk, ESP32, AC Light Dimmer Module, LCD I2C, dan lampu sebagai beban yang dikendalikan.

Besarnya tegangan efektif (*Root Mean Square* atau RMS) yang diterima beban dapat dinyatakan sebagai Persamaan (1). Tegangan RMS digunakan untuk merepresentasikan nilai ekuivalen DC dari sinyal AC dan banyak digunakan dalam analisis sistem tenaga serta elektronika daya [17].

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} \quad (1)$$

dengan:

- V_{RMS} = tegangan efektif
- $v(t)$ = tegangan sesaat
- T = periode gelombang AC

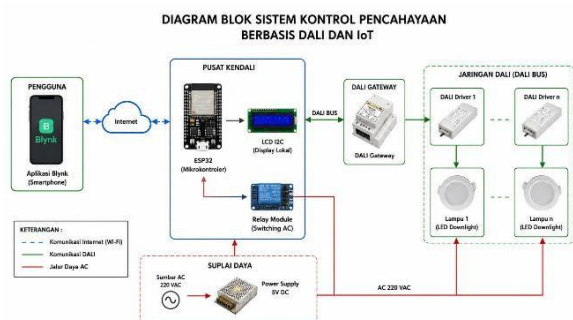
Pada metode *phase angle control*, perubahan sudut penyalan TRIAC akan mengubah nilai tegangan efektif yang diterima beban sehingga intensitas cahaya lampu dapat dikendalikan sesuai kebutuhan pengguna.

B. Implementasi Sistem

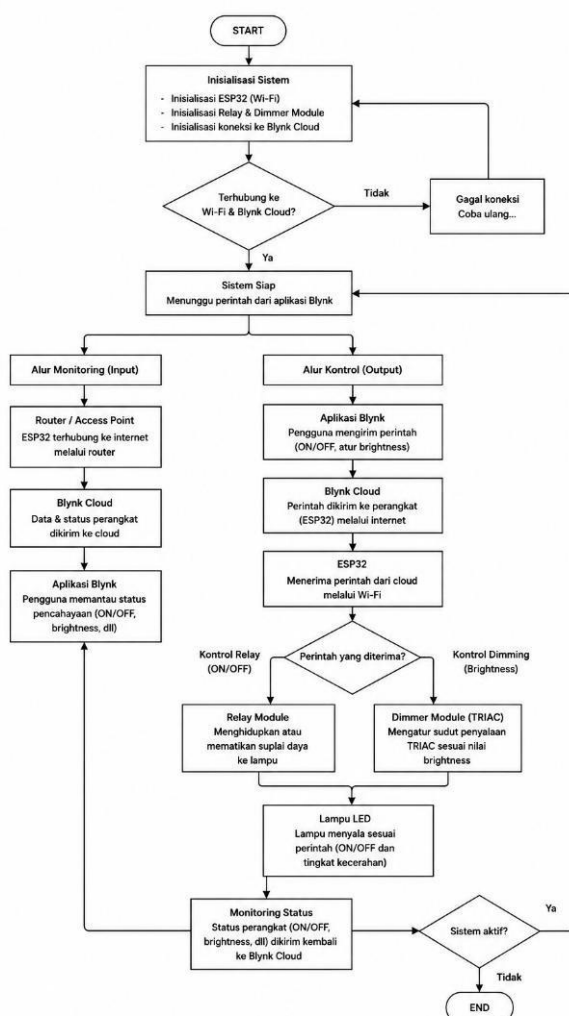
Implementasi sistem dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh perangkat keras dan perangkat lunak yang telah dirancang. Program pengendali dikembangkan menggunakan Arduino IDE dan ditanamkan ke dalam ESP32. Komunikasi antara ESP32 dan aplikasi Blynk dilakukan melalui jaringan Wi-Fi sehingga pengguna dapat melakukan pengendalian dan monitoring dari jarak jauh.

Pada kondisi operasi normal, pengguna memberikan nilai *brightness* melalui aplikasi Blynk dengan rentang 0% hingga 100%. Nilai tersebut diterima oleh ESP32 dan diproses menjadi sinyal kendali yang dikirimkan ke AC Light Dimmer Module. Modul dimmer kemudian mengatur sudut penyalan TRIAC untuk mengendalikan besar tegangan yang diterima lampu. Perubahan tegangan keluaran ini menyebabkan perubahan intensitas cahaya sesuai nilai *brightness* yang diberikan pengguna.

Flowchart menunjukkan proses kerja sistem mulai dari koneksi ESP32 ke jaringan Wi-Fi, komunikasi dengan platform Blynk, pembacaan nilai *brightness*, pengaturan AC Light Dimmer Module, hingga proses monitoring sistem secara *real-time*.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Kontrol Pencahayaan Berbasis DALI dan IoT



Gambar 2. Flowchart Sistem Kontrol dan Monitoring Pencahayaan

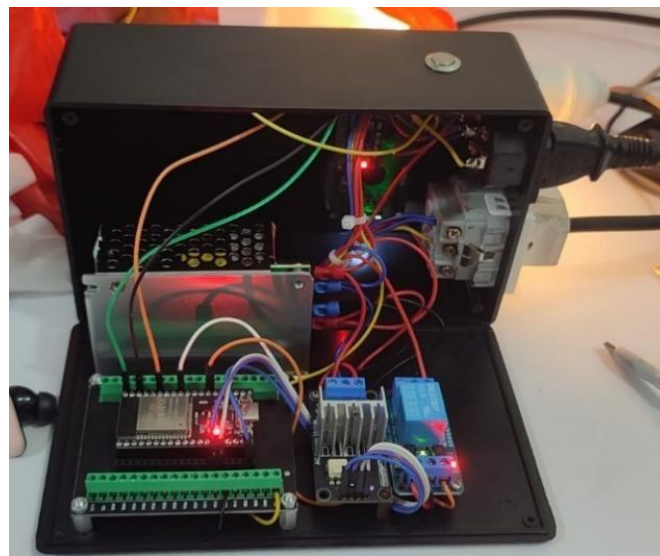
C. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mengontrol tingkat pencahayaan lampu, melakukan monitoring kondisi sistem, serta menganalisis kinerja AC Light Dimmer Module. Pengujian kontrol pencahayaan dilakukan dengan memberikan variasi nilai *brightness* melalui aplikasi Blynk dan mengamati perubahan intensitas cahaya yang dihasilkan oleh lampu.

Pengujian monitoring dilakukan menggunakan LCD I2C dan aplikasi Blynk dengan mengamati nilai *brightness* serta status lampu yang ditampilkan secara *real-time*. Pengujian ini

bertujuan untuk memastikan komunikasi data antara ESP32 dan aplikasi Blynk berjalan dengan baik. Selanjutnya dilakukan pengujian waktu respon sistem pada fungsi ON/OFF maupun pengaturan *brightness*.

Variasi *brightness* yang digunakan sebesar 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%, kemudian pada setiap kondisi dilakukan pengukuran tegangan keluaran menggunakan multimeter digital serta pengamatan perubahan intensitas cahaya yang dihasilkan.



Gambar 3. Implementasi Perangkat Keras Sistem

Gambar implementasi perangkat keras menunjukkan susunan komponen yang digunakan pada penelitian, meliputi ESP32, AC Light Dimmer Module, relay module, dan lampu AC sebagai beban.

D. Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan hubungan antara nilai *brightness*, tegangan keluaran AC Light Dimmer Module, dan intensitas cahaya lampu yang dihasilkan. Selain itu, dilakukan analisis terhadap kemampuan sistem monitoring dalam menampilkan informasi kondisi lampu secara *real-time* melalui LCD I2C dan aplikasi Blynk. Analisis juga dilakukan terhadap waktu respon sistem dengan mengevaluasi selang waktu antara pemberian perintah melalui aplikasi Blynk dan perubahan kondisi lampu pada fungsi ON/OFF maupun pengaturan *brightness*. Parameter tersebut digunakan untuk menilai tingkat responsivitas sistem kontrol pencahayaan berbasis *Internet of Things* (IoT). Seluruh hasil analisis digunakan untuk mengevaluasi keberhasilan implementasi konsep kontrol pencahayaan berbasis *Digital Addressable Lighting Interface* (DALI) yang terintegrasi dengan teknologi IoT.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Implementasi Sistem

Sistem kontrol pencahayaan berbasis *Digital Addressable Lighting Interface* (DALI) berhasil diimplementasikan menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama yang terintegrasi dengan AC Light Dimmer Module, relay module, LCD I2C, dan platform Blynk. Sistem yang dirancang memungkinkan pengguna melakukan pengaturan tingkat pencahayaan lampu secara *real-time* melalui aplikasi Blynk yang terhubung melalui jaringan internet. Selain berfungsi sebagai media pengendalian, aplikasi Blynk juga digunakan untuk melakukan monitoring kondisi sistem secara jarak jauh, sedangkan LCD I2C menampilkan informasi status sistem secara langsung pada perangkat.



Gambar 4. Implementasi Sistem Kontrol Pencahayaan Berbasis Digital Addressable Lighting Interface (DALI)

Gambar 4 menunjukkan hasil implementasi sistem kontrol pencahayaan berbasis *Digital Addressable Lighting Interface* (DALI) yang telah berhasil direalisasikan. Sistem terdiri atas panel kontrol yang mengintegrasikan ESP32 sebagai pengendali utama, AC Light Dimmer Module sebagai pengatur intensitas cahaya, relay module sebagai pengendali ON/OFF beban, LCD I2C sebagai media monitoring lokal, serta catu daya untuk menyuplai kebutuhan tegangan seluruh rangkaian. Lampu AC digunakan sebagai beban yang dikendalikan melalui pengaturan nilai *brightness* menggunakan aplikasi Blynk.

Pada implementasi sistem, ESP32 menerima data *brightness* dari aplikasi Blynk melalui jaringan internet, kemudian memproses data tersebut menjadi sinyal kendali yang diteruskan ke AC Light Dimmer Module. Modul dimmer mengatur sudut penyalan TRIAC sehingga tegangan keluaran

menuju lampu dapat berubah sesuai nilai *brightness* yang diberikan pengguna. Perubahan tegangan tersebut menghasilkan perubahan intensitas cahaya lampu secara bertahap, mulai dari kondisi redup hingga terang.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa seluruh komponen sistem dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang telah dirancang. LCD I2C mampu menampilkan nilai *brightness* dan status sistem secara langsung, sedangkan aplikasi Blynk dapat digunakan untuk melakukan pengaturan dan monitoring secara *real-time*. Komunikasi data antara ESP32, AC Light Dimmer Module, LCD I2C, dan aplikasi Blynk berlangsung dengan baik sehingga sistem mampu menjalankan fungsi pengendalian pencahayaan sesuai dengan perancangan. Dengan demikian, implementasi sistem telah memenuhi tujuan penelitian dan siap untuk dilakukan pengujian terhadap kinerja sistem pada berbagai variasi nilai *brightness*.

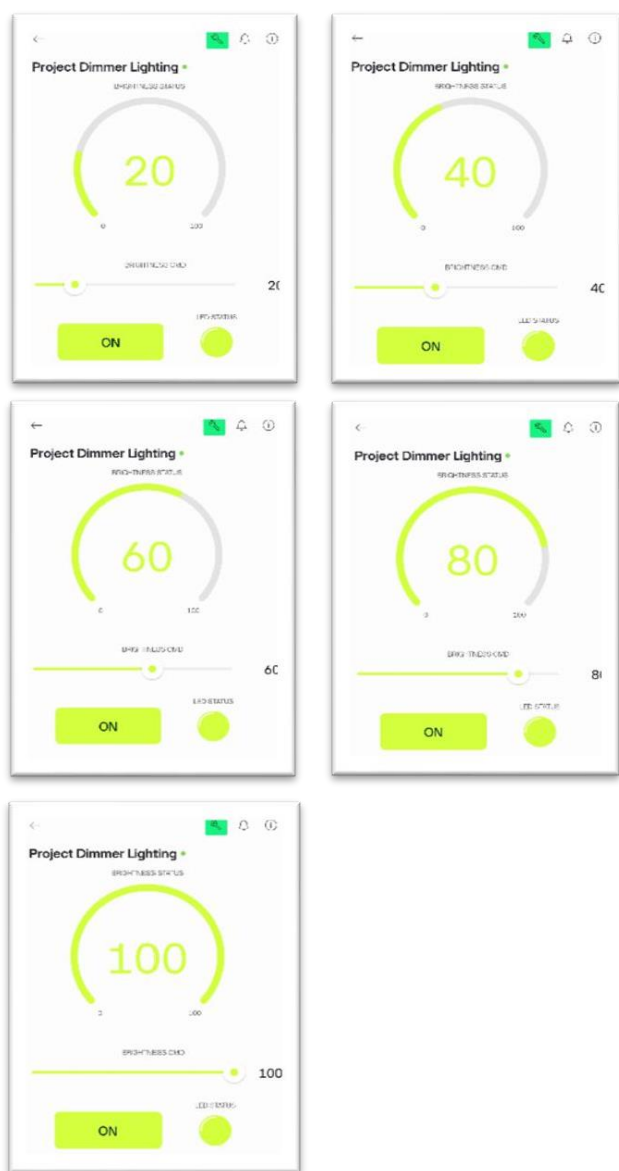
B. Pengujian Sistem Kontrol Pencahayaan

Setelah proses implementasi selesai dilakukan, tahap berikutnya adalah pengujian sistem untuk mengetahui kinerja kontrol pencahayaan berbasis *Digital Addressable Lighting Interface* (DALI). Pengujian dilakukan terhadap fungsi monitoring, pengaturan tingkat pencahayaan (*brightness*), pengukuran tegangan keluaran AC Light Dimmer Module, serta waktu respons sistem. Seluruh pengujian dilakukan untuk memastikan sistem bekerja sesuai dengan perancangan dan mampu mengendalikan intensitas cahaya lampu secara *real-time*.

C. Pengujian Monitoring Menggunakan Aplikasi Blynk

Pengujian pertama dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam melakukan monitoring dan pengendalian melalui aplikasi Blynk. Pada pengujian ini, pengguna memberikan nilai *brightness* melalui aplikasi Blynk dengan variasi 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%. Nilai yang dikirimkan dari aplikasi diterima oleh ESP32 melalui jaringan internet, kemudian diproses untuk mengendalikan AC Light Dimmer Module sehingga menghasilkan perubahan intensitas cahaya lampu.

Gambar 5 menunjukkan tampilan dashboard pada aplikasi Blynk yang digunakan sebagai antarmuka pengguna dalam mengendalikan sistem pencahayaan. Dashboard dilengkapi dengan kontrol *slider brightness*, tombol ON/OFF, serta indikator nilai *brightness* yang ditampilkan secara *real-time*. Melalui aplikasi tersebut, pengguna dapat melakukan pengaturan tingkat pencahayaan dari jarak jauh menggunakan jaringan internet tanpa harus berinteraksi langsung dengan perangkat.



Gambar 5. Tampilan Dashboard Monitoring pada Aplikasi Blynk

Hasil pengujian menunjukkan bahwa komunikasi antara aplikasi Blynk dan ESP32 berlangsung dengan baik. Setiap perubahan nilai *brightness* yang diberikan melalui aplikasi berhasil diterima oleh ESP32 dan diteruskan ke AC Light Dimmer Module sehingga intensitas cahaya lampu berubah sesuai nilai yang diberikan. Selain itu, status sistem dan nilai *brightness* juga dapat dimonitor secara *real-time* melalui dashboard Blynk sehingga memudahkan pengguna dalam mengoperasikan sistem pencahayaan.

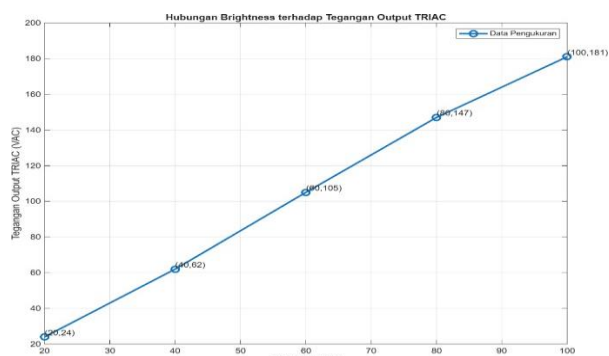
D. Pengujian Tegangan Keluaran AC Light Dimmer Module

Untuk mengetahui pengaruh perubahan nilai *brightness* terhadap tegangan keluaran, dilakukan pengukuran menggunakan multimeter digital pada beberapa variasi *brightness*, yaitu 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%.

Tabel 1. Data Sudut Penyalaan TRIAC dan Pengukuran Tegangan Keluaran

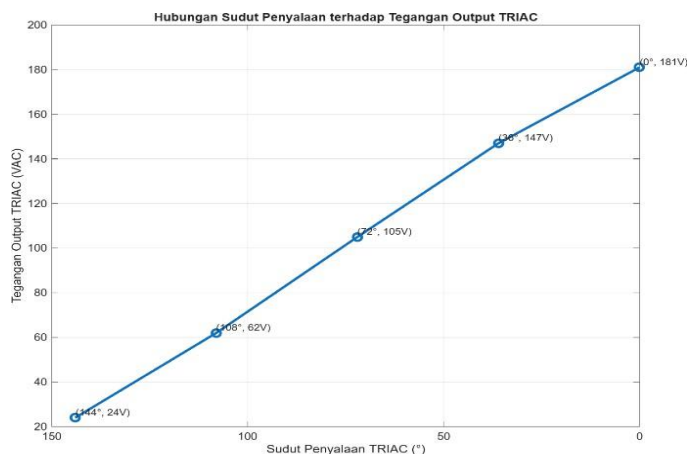
Pengujian	Waktu Awal (detik)	Waktu Akhir (detik)	Waktu Respon (detik)
OFF – ON	0,00	1,90	1,90
ON - Brightness 20%	4,01	4,51	0,50
Brightness 20% - 40%	11,65	12,11	0,46
Brightness 40% - 60%	22,08	23,02	0,94
Brightness 60% - 80%	33,86	35,04	1,18
Brightness 80% - 100%	43,11	43,79	0,68
ON – OFF	48,36	50,23	1,87

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, terlihat bahwa peningkatan nilai *brightness* menyebabkan kenaikan tegangan keluaran AC Light Dimmer Module. Pada nilai *brightness* 20% diperoleh tegangan keluaran sebesar 24 VAC, sedangkan pada *brightness* 100% tegangan keluaran meningkat menjadi 181 VAC. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan nilai *brightness* memengaruhi sudut penyalaan TRIAC sehingga besar tegangan efektif yang diterima lampu ikut berubah.



Gambar 6. Hubungan Brightness terhadap Tegangan Output TRIAC

Berdasarkan Gambar 6, hubungan antara nilai *brightness* dan tegangan keluaran menunjukkan kecenderungan meningkat. Semakin besar nilai *brightness* yang diberikan, semakin besar pula tegangan keluaran yang diterima lampu sehingga intensitas cahaya meningkat secara bertahap. Hasil ini menunjukkan bahwa AC Light Dimmer Module mampu mengatur tegangan keluaran secara proporsional terhadap nilai *brightness* yang diberikan oleh pengguna.

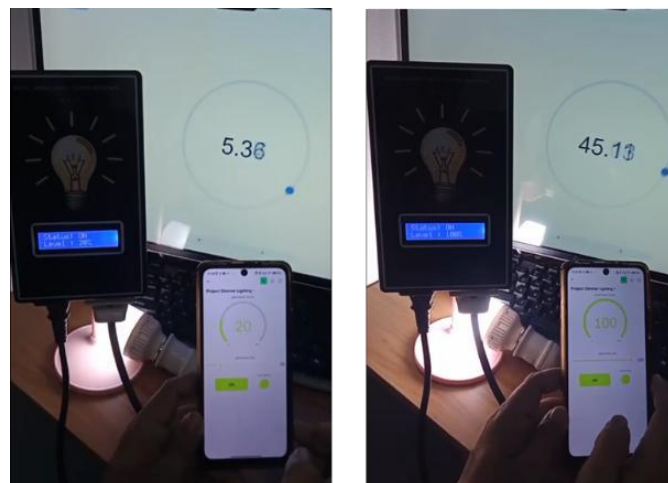


Gambar 7. Hubungan Sudut Penyalaan TRIAC terhadap Tegangan Output

Gambar 7. menunjukkan bahwa perubahan sudut penyalan TRIAC berpengaruh terhadap besar tegangan keluaran yang diterima beban. Semakin kecil sudut penyalan TRIAC, semakin besar bagian gelombang AC yang diteruskan ke lampu sehingga tegangan efektif meningkat. Sebaliknya, semakin besar sudut penyalan TRIAC, semakin kecil tegangan efektif yang diterima lampu sehingga intensitas cahaya menjadi lebih redup. Hasil Pengujian ini sesuai dengan prinsip kerja metode *phase angle control* yang digunakan pada AC Light Dimmer Module.

E. Pengujian Waktu Respons Sistem

Pengujian waktu respons dilakukan untuk mengetahui kecepatan sistem dalam merespons perintah yang diberikan melalui aplikasi Blynk. Pengujian meliputi waktu respons terhadap perubahan nilai *brightness* serta waktu respons fungsi ON/OFF lampu. Pengujian dilakukan dengan mengukur selang waktu sejak perintah diberikan pada aplikasi hingga lampu menunjukkan perubahan kondisi sesuai perintah yang diterima.



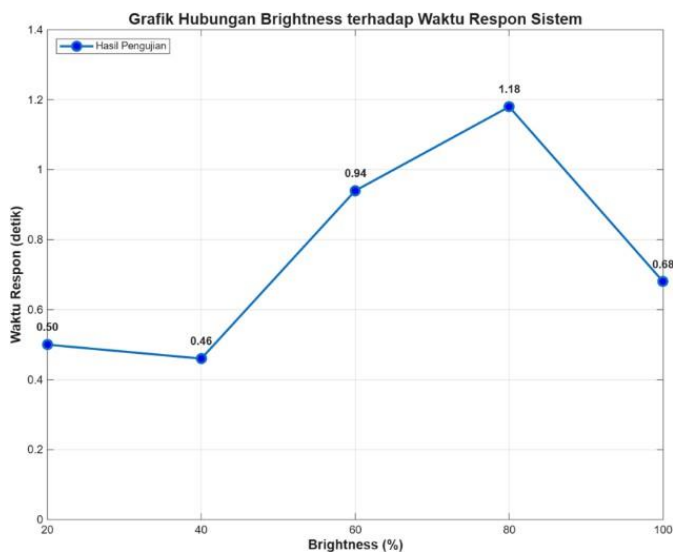
Gambar 8. Proses Pengujian Waktu Respons Sistem

Gambar 8 menunjukkan proses pengujian waktu respons sistem menggunakan aplikasi Blynk. Pengujian dilakukan dengan memberikan beberapa variasi nilai *brightness* serta perintah ON/OFF, kemudian mengamati waktu yang dibutuhkan sistem untuk merespons perintah tersebut. Waktu respons dihitung sejak tombol atau *slider brightness* pada aplikasi dioperasikan hingga perubahan kondisi lampu terlihat secara nyata.

Tabel 2 Hasil Pengujian Waktu Respons Sistem

Pengujian	Waktu Awal (detik)	Waktu Akhir (detik)	Waktu Respon (detik)
OFF - ON	0,00	1,90	1,90
ON - Brightness 20%	4,01	4,51	0,50
Brightness 20% - 40%	11,65	12,11	0,46
Brightness 40% - 60%	22,08	23,02	0,94
Brightness 60% - 80%	33,86	35,04	1,18
Brightness 80% - 100%	43,11	43,79	0,68
ON - OFF	48,36	50,23	1,87

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2, sistem mampu memberikan respons yang cepat terhadap setiap perubahan nilai *brightness* maupun fungsi ON/OFF. Rata-rata waktu respons sistem untuk pengaturan *brightness* adalah 0,75 detik, sedangkan rata-rata waktu respons fungsi ON/OFF adalah 1,89 detik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa komunikasi data antara aplikasi Blynk, ESP32, dan AC Light Dimmer Module berlangsung dengan baik sehingga sistem mampu bekerja secara *real-time*.



Gambar 9. Hubungan Brightness terhadap Waktu Respons Sistem

Gambar 9. menunjukkan bahwa perubahan nilai *brightness* tidak memberikan perbedaan waktu respons yang signifikan. Seluruh pengujian menghasilkan waktu respons yang relatif stabil sehingga sistem mampu mempertahankan performa pengendalian pada setiap tingkat pencahayaan. Hal ini menunjukkan bahwa proses komunikasi data melalui jaringan internet serta pemrosesan data oleh ESP32 berjalan secara konsisten.

Hasil pengujian membuktikan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki waktu respons yang cukup baik untuk aplikasi kontrol pencahayaan pada fasilitas gedung bertingkat. Dengan waktu respons kurang dari dua detik, pengguna dapat melakukan pengaturan tingkat pencahayaan maupun fungsi ON/OFF secara cepat sehingga sistem mampu memberikan kenyamanan dalam pengoperasian dan mendukung kebutuhan monitoring serta pengendalian secara *real-time*.

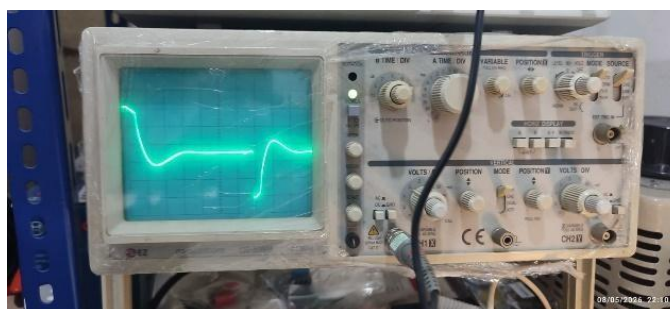
F. Analisis Bentuk Gelombang Keluaran TRIAC

Analisis bentuk gelombang keluaran dilakukan untuk mengetahui karakteristik tegangan keluaran AC Light Dimmer Module pada berbagai tingkat *brightness*. Pengamatan dilakukan menggunakan osiloskop untuk melihat perubahan bentuk gelombang yang dihasilkan akibat perubahan sudut penyalan TRIAC. Pengujian ini bertujuan untuk membuktikan bahwa perubahan nilai *brightness* yang diberikan melalui aplikasi Blynk memengaruhi bentuk gelombang tegangan keluaran sehingga intensitas cahaya lampu dapat dikendalikan sesuai kebutuhan.



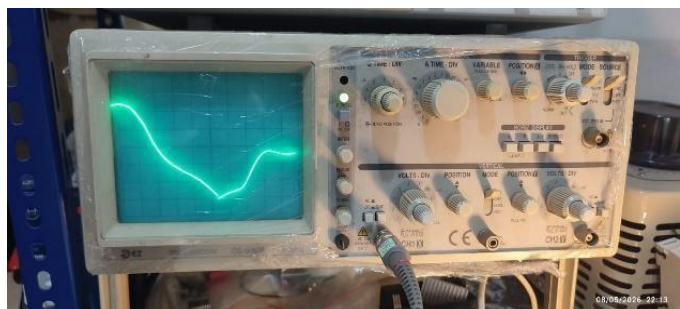
Gambar 10. Setup Pengujian Menggunakan Osiloskop

Gambar 10 menunjukkan setup pengujian yang digunakan untuk mengamati bentuk gelombang tegangan keluaran AC Light Dimmer Module menggunakan osiloskop. Pada proses pengujian, probe osiloskop dihubungkan pada keluaran modul dimmer menuju beban sehingga bentuk gelombang tegangan dapat diamati secara langsung. Pengaturan nilai *brightness* dilakukan melalui aplikasi Blynk, sedangkan ESP32 memproses data yang diterima untuk mengendalikan sudut penyalan TRIAC pada AC Light Dimmer Module. Dengan metode ini, perubahan bentuk gelombang akibat variasi nilai *brightness* dapat diamati dan dianalisis secara langsung.



Gambar 11. Bentuk Gelombang Keluaran pada Brightness Rendah

Gambar 11 memperlihatkan bentuk gelombang tegangan keluaran pada kondisi *brightness* rendah. Pada kondisi ini, sudut penyalan TRIAC masih relatif besar sehingga hanya sebagian kecil gelombang AC yang diteruskan menuju beban. Akibatnya, nilai tegangan efektif (*Root Mean Square* atau RMS) yang diterima lampu menjadi rendah sehingga intensitas cahaya yang dihasilkan tampak redup. Bentuk gelombang yang terlihat pada layar osiloskop menunjukkan adanya bagian gelombang yang terpotong (*phase angle control*), sesuai dengan prinsip kerja AC Light Dimmer Module dalam mengurangi daya yang disalurkan ke lampu.



Gambar 12. Bentuk Gelombang Keluaran pada Brightness Tinggi

Gambar 12 menunjukkan bentuk gelombang tegangan keluaran pada kondisi *brightness* tinggi. Berbeda dengan kondisi sebelumnya, sudut penyalan TRIAC menjadi lebih kecil sehingga sebagian besar gelombang AC diteruskan menuju beban. Kondisi tersebut menyebabkan nilai tegangan efektif meningkat sehingga lampu menghasilkan intensitas cahaya yang lebih terang. Bentuk gelombang yang ditampilkan pada osiloskop menunjukkan bahwa bagian gelombang yang dipotong semakin kecil dibandingkan pada kondisi *brightness* rendah, sehingga energi listrik yang disalurkan ke lampu menjadi lebih besar.

Berdasarkan hasil pengamatan menggunakan osiloskop, perubahan nilai *brightness* berpengaruh langsung terhadap bentuk gelombang tegangan keluaran AC Light Dimmer Module. Semakin tinggi nilai *brightness* yang diberikan, semakin kecil sudut penyalan TRIAC sehingga nilai tegangan efektif yang diterima beban meningkat. Sebaliknya, semakin rendah nilai *brightness*, semakin besar sudut penyalan TRIAC sehingga tegangan efektif yang diterima lampu menjadi lebih kecil. Hasil pengujian ini sejalan dengan teori *phase angle control*, yaitu pengaturan daya pada beban AC dilakukan melalui pengendalian sudut penyalan TRIAC.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kontrol pencahayaan berbasis *Digital Addressable Lighting Interface* (DALI) yang terintegrasi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) mampu mengendalikan intensitas cahaya lampu secara responsif melalui pengaturan nilai *brightness*. Sistem juga mampu melakukan monitoring secara *real-time* menggunakan aplikasi Blynk dan LCD I2C, serta menghasilkan karakteristik tegangan keluaran yang sesuai dengan prinsip kerja AC Light Dimmer Module. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan telah memenuhi tujuan penelitian dan memiliki potensi untuk diterapkan sebagai solusi pengendalian pencahayaan yang lebih efisien pada fasilitas gedung bertingkat.

G. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem kontrol pencahayaan berbasis *Digital Addressable Lighting Interface* (DALI) yang terintegrasi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) berhasil diimplementasikan dan berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian. Integrasi ESP32 sebagai pengendali utama, AC Light Dimmer Module sebagai pengatur intensitas cahaya, LCD I2C sebagai media monitoring lokal, serta aplikasi Blynk sebagai media pengendalian dan monitoring jarak jauh mampu membentuk sistem kontrol pencahayaan yang bekerja secara terpadu.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu mengatur intensitas cahaya lampu melalui perubahan nilai *brightness* yang diberikan pengguna menggunakan aplikasi Blynk. Peningkatan nilai *brightness* menyebabkan perubahan sudut penyalan TRIAC sehingga tegangan keluaran AC Light Dimmer Module meningkat secara bertahap. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tegangan keluaran meningkat dari 24 VAC pada kondisi *brightness* 20% hingga mencapai 181 VAC pada kondisi *brightness* 100%. Perubahan tegangan tersebut menghasilkan perubahan intensitas cahaya lampu dari kondisi redup hingga terang sesuai dengan pengaturan yang diberikan pengguna.

Hasil pengujian waktu respons menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan respons yang relatif cepat terhadap setiap perintah yang dikirimkan melalui aplikasi Blynk. Rata-rata waktu respons pengaturan *brightness* sebesar 0,75 detik, sedangkan rata-rata waktu respons fungsi ON/OFF sebesar 1,89 detik. Waktu respons tersebut menunjukkan bahwa komunikasi data antara aplikasi Blynk, ESP32, dan AC Light Dimmer Module berlangsung dengan baik sehingga sistem mampu bekerja secara *real-time*.

Pengamatan menggunakan osiloskop menunjukkan bahwa perubahan nilai *brightness* memengaruhi bentuk gelombang tegangan keluaran AC Light Dimmer Module. Pada kondisi *brightness* rendah, sudut penyalan TRIAC relatif besar sehingga hanya sebagian kecil gelombang AC yang diteruskan menuju beban. Sebaliknya, pada kondisi *brightness* tinggi, sudut penyalan TRIAC menjadi lebih kecil sehingga sebagian besar gelombang AC diteruskan ke beban. Perubahan bentuk gelombang tersebut menyebabkan nilai tegangan efektif (*Root Mean Square* atau RMS) yang diterima lampu meningkat sehingga intensitas cahaya menjadi lebih terang. Hasil ini menunjukkan bahwa metode *phase angle control* yang diterapkan pada AC Light Dimmer Module mampu mengendalikan daya keluaran sesuai dengan prinsip kerjanya.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem kontrol pencahayaan berbasis DALI yang dikembangkan telah mampu memenuhi tujuan penelitian, yaitu mengatur intensitas cahaya lampu, melakukan monitoring kondisi sistem secara *real-time*, serta menyediakan pengendalian jarak jauh melalui jaringan internet. Sistem yang dikembangkan berpotensi mendukung peningkatan efisiensi penggunaan energi listrik pada fasilitas gedung bertingkat, sekaligus memberikan kemudahan dalam pengoperasian dan pengelolaan sistem pencahayaan.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol pencahayaan berbasis *Digital Addressable Lighting Interface* (DALI) yang terintegrasi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32 dan aplikasi Blynk. Sistem yang dikembangkan mampu mengatur intensitas cahaya lampu melalui pengaturan nilai *brightness*, melakukan pengendalian fungsi ON/OFF, serta menyediakan fasilitas monitoring kondisi sistem secara *real-time* melalui LCD I2C dan aplikasi Blynk.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa perubahan nilai *brightness* memengaruhi sudut penyalan TRIAC sehingga tegangan keluaran AC Light Dimmer Module meningkat dari 24 VAC pada *brightness* 20% menjadi 181 VAC pada *brightness* 100%. Peningkatan tegangan keluaran tersebut menghasilkan perubahan intensitas cahaya lampu secara bertahap dari kondisi redup hingga terang sesuai dengan nilai yang diberikan pengguna.

Pengujian waktu respons menunjukkan bahwa sistem memiliki rata-rata waktu respons sebesar 0,75 detik untuk pengaturan *brightness* dan 1,89 detik untuk fungsi ON/OFF. Selain itu, hasil pengamatan menggunakan osiloskop menunjukkan bahwa perubahan nilai *brightness* menyebabkan perubahan sudut penyalan TRIAC yang memengaruhi bentuk gelombang tegangan keluaran sesuai dengan prinsip *phase angle control*.

Secara keseluruhan, sistem kontrol pencahayaan berbasis DALI yang dikembangkan telah memenuhi tujuan penelitian dan mampu beroperasi sesuai dengan perancangan. Integrasi DALI dengan teknologi IoT memberikan kemudahan dalam pengendalian dan monitoring pencahayaan secara *real-time* sehingga berpotensi mendukung peningkatan efisiensi penggunaan energi listrik pada fasilitas gedung bertingkat.

V. SARAN

Pengembangan penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menerapkan sistem kontrol pencahayaan pada skala bangunan yang lebih besar menggunakan lebih banyak perangkat DALI dalam satu jaringan. Selain itu, sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan sensor intensitas cahaya (*light sensor*) dan sensor keberadaan (*occupancy sensor*) sehingga pengaturan pencahayaan dapat dilakukan secara otomatis sesuai kondisi lingkungan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat (LRPM) Universitas Dian Nusantara atas dukungan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen pembimbing serta seluruh pihak yang telah memberikan

bimbingan, arahan, bantuan, dan dukungan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Roisin, M. Bodart, A. Deneyer, and P. D'Herdt, "Lighting Energy Savings in Offices Using Different Control Systems and Their Real Consumption," *Energy Build.*, vol. 40, no. 4, pp. 514–523, 2008, doi: 10.1016/j.enbuild.2007.04.006.
- [2] D. H. W. Li, K. L. Cheung, S. L. Wong, and T. N. T. Lam, "An Analysis of Energy-Efficient Light Fittings and Lighting Controls," *Appl. Energy*, vol. 87, no. 2, pp. 558–567, 2010, doi: 10.1016/j.apenergy.2009.06.002.
- [3] P. K. Soori and M. Vishwas, "Lighting Control Strategy for Energy Efficient Office Lighting System Design," *Energy Build.*, vol. 66, pp. 329–337, 2013, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.07.039.
- [4] L. Xu, T. Ouyang, Y. Liu, R. Wang, G. Huang, and Y. Zhou, "Performance of Lighting Control Strategies in Office Buildings," *Energy Build.*, vol. 138, pp. 127–139, 2017.
- [5] F. J. Bellido-Outeirino, F. J. Quiles-Latorre, C. D. Moreno-Moreno, J. M. Flores-Arias, I. Moreno-Garcia, and M. Ortiz-Lopez, "Streetlight Control System Based on Wireless Communication over DALI Protocol," *Sensors*, vol. 16, no. 5, p. 597, 2016, doi: 10.3390/s16050597.
- [6] F. Domingo-Perez, J. A. Parraga-Alava, F. J. Bellido-Outeirino, and A. Gil-de-Castro, "Lighting Control System Based on DALI and Wireless Sensor Networks," in *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe)*, 2012.
- [7] A. V. Kudryashov, E. S. Galishcheva, and A. S. Kalinina, "Lighting Control Using DALI Interface," in *International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, 2018.
- [8] T. J. Liang, J. F. Huang, and P. K. Yadav, "Design and Implementation of Dimmable LED Control Circuit with DALI Protocol," in *IEEE International Conference on Power and Energy (PECon)*, 2016.
- [9] A. L. Archana, M. Yasin, and R. Bhagya, "DALI Based Light and Motor Control System for Movable Spot Luminaires," in *International Conference on Science Technology and Management (ICSTM)*, 2017.
- [10] D. M. Han and J. H. Lim, "Design and Implementation of Smart Home Energy Management Systems Based on ZigBee," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 56, no. 3, pp. 1417–1425, 2010, doi: 10.1109/TCE.2010.5606278.
- [11] J. C. Ferreira, V. Monteiro, J. L. Afonso, and J. G. Pinto, "An Energy Management Platform for Public Buildings," *Electronics*, vol. 7, no. 11, p. 294, 2018, doi: 10.3390/electronics7110294.
- [12] F. Froiz-Miguez, T. M. Fernandez-Carames, P. Fraga-Lamas, and L. Castedo, "Design, Implementation and Practical Evaluation of an IoT Home Automation

- System for Fog Computing Applications Based on MQTT and ZigBee-WiFi Sensor Nodes,” *Sensors*, vol. 18, no. 8, p. 2660, 2018, doi: 10.3390/s18082660.
- [13] A. Sinha, A. Singh, S. Sharma, and R. Kumar, “Design of an Energy Efficient IoT Enabled Smart System Based on DALI Network over MQTT Protocol,” in *International Conference on Information and Communication Technology (CICT)*, 2017.
- [14] T. Weng and Y. Agarwal, “From Buildings to Smart Buildings—Sensing and Actuation to Improve Energy Efficiency,” *IEEE Des. Test Comput.*, vol. 29, no. 4, pp. 36–44, 2012, doi: 10.1109/MDT.2012.220.
- [15] A. P. Pambudi, A. P. Supriyadi, A. R. Kurniadi, M. R. Fazryansah, and A. Stefanie, “Implementasi Sistem Pencahayaan Otomatis dan Monitoring Berbasis IoT pada Area Parkir Menggunakan Sensor LDR dan PIR,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 3, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i3.6703.
- [16] J. Liu, W. Zhang, X. Chu, and Y. Liu, “Fuzzy Logic Controller for Energy Savings in a Smart LED Lighting System Considering Lighting Comfort and Daylight,” *Energy Build.*, vol. 127, pp. 95–104, 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.05.028.
- [17] M. H. Rashid, *Power Electronics: Devices, Circuits, and Applications*, 4th ed. Harlow, England (atau New York tergantung edisi yang Anda pakai): Pearson Education, 2014.