

RANCANG BANGUN KONTROL MONITORING LAMPU RUNWAY EDGE MENGGUNAKAN POWER LINE CARRIER

M. Syafiq Jain¹, Albert Panjaitan², Wahyu Kurniawan³

Politeknik Penerbangan Medan, Medan

e-mail: ¹syafiqjain03@gmail.com, ²albertpanjaitan20@gmail.com,

³w_curug@yahoo.com

Abstract: *This study aims to design and build a control and monitoring system for runway edge lights using Power Line Carrier (PLC). This system is designed to overcome the limitations of manual methods in inspecting runway lights, which are time-consuming and labour-intensive, especially in airport environments with large areas. The system uses an ESP8266 microcontroller, a PZEM-004T sensor module for monitoring electrical parameters, and a Power Line Adapter as the data transmission medium. Test results indicate that the system can transmit and receive data over a distance of ± 70 metres with an average response time of 7–10 seconds. The sensor can also detect voltage and current with an error rate below 5%, demonstrating the system's accuracy and reliability. As a result, the system enhances the efficiency and effectiveness of technicians in monitoring runway edge light conditions and has the potential for further development in broader applications within the fields of electrical engineering and aviation.*

Keywords: *Power Line Carrier, Runway Edge Light, Monitoring, ESP8266, PZEM-004T*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem kontrol serta monitoring lampu runway edge menggunakan Power Line Carrier (PLC) untuk mengatasi keterbatasan metode manual yang memerlukan waktu dan tenaga, khususnya di bandara dengan area luas. Sistem ini memanfaatkan mikrokontroler ESP8266, modul sensor PZEM-004T untuk pemantauan parameter listrik, serta Power Line Adapter sebagai media transmisi data. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengirim dan menerima data hingga jarak ± 70 meter dengan waktu respons rata-rata 7–10 detik, sementara sensor mendeteksi tegangan dan arus dengan tingkat kesalahan di bawah 5%, menandakan keakuratan dan keandalan sistem. Dengan demikian, sistem ini dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas teknisi dalam memantau kondisi lampu runway edge, serta memiliki potensi pengembangan untuk aplikasi lebih luas di bidang kelistrikan dan transportasi udara.

Kata kunci: *Power Line Carrier, Runway Edge Light, Monitoring, ESP8266, PZEM-004T*

PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai negara kepulauan terbesar di dunia dengan 17.380 pulau, memerlukan sistem transportasi yang andal dan efisien untuk mendukung mobilitas masyarakat serta distribusi barang dan jasa di seluruh wilayah Nusantara (Fikriansyah, 2025). Salah satu moda transportasi vital adalah transportasi udara. Bandar udara memiliki peran penting dalam mendukung

konektivitas antar pulau, dengan 610 bandara yang tersebar di seluruh Indonesia (Bumiller, 2003). Salah satu fasilitas vital di bandar udara adalah *Airfield Lighting System* (AFL), yang membantu pesawat dalam lepas landas dan pendaratan, terutama pada malam hari atau cuaca buruk. Namun, pemantauan dan perawatan sistem pencahayaan ini sering dilakukan secara manual, yang memerlukan waktu dan tenaga yang tidak efisien. Untuk

meningkatkan efisiensi, teknologi *Power Line Carrier* (PLC) dapat dimanfaatkan. PLC memungkinkan komunikasi data melalui saluran daya listrik yang sudah ada, mengurangi kebutuhan instalasi kabel tambahan dan biaya infrastruktur (Amuta et al., 2021). Sistem *Individual Lamp Control and Monitoring System* (ILCMS) berbasis PLC telah dikembangkan untuk mengontrol dan memantau lampu secara individu, meningkatkan *respons* terhadap kerusakan dan efisiensi operasional. Dengan menggunakan teknologi broadband PLC, sistem ini dapat mengatasi masalah komunikasi yang lambat dan latensi tinggi yang sering terjadi pada sistem berbasis *narrowband* (Yang et al., 2021).

Implementasi sistem kontrol dan monitoring lampu *runway edge* menggunakan PLC di Bandar Udara Haji Asan Sampit dapat meningkatkan efisiensi operasional dan *respons* terhadap kerusakan, serta dapat mendukung keselamatan penerbangan.

METODE

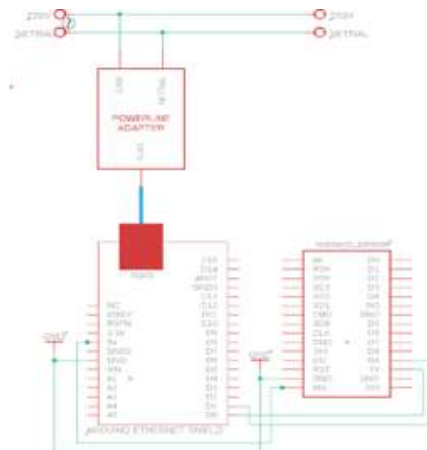
Penelitian ini menggunakan metode penelitian pengembangan alat (Research and Development, R&D) yang bertujuan untuk merancang, membangun, dan menguji kinerja sistem kontrol dan monitoring lampu *runway edge* berbasis *Power Line Carrier* (PLC) (Sugiyono, 2020). Metode ini dipilih karena fokus penelitian adalah pada pengembangan teknologi baru dan penyempurnaan sistem yang telah ada. Tahap pertama adalah identifikasi masalah, di mana dilakukan analisis terhadap permasalahan kurangnya efisiensi waktu teknisi dalam perawatan lampu *runway edge* serta kebutuhan media pembelajaran interaktif berbasis mikrokontroler. Selanjutnya, pada tahap desain alat, dilakukan perancangan sistem berupa blok diagram, *flowchart*, serta penentuan komponen utama seperti sensor ESP8266, Arduino Ethernet Shield, Power Line Adapter TP-

LINK, PZEM-004T, dan lampu LED sebagai simulasi. Tahap berikutnya adalah pembuatan alat, yang mencakup perakitan semua komponen menjadi prototipe sistem utuh sesuai skematik rancangan, sehingga siap untuk diuji. Setelah itu, dilakukan pengujian alat untuk mengevaluasi performa sistem, meliputi pengujian fungsi dasar, komunikasi PLC, respon waktu sistem, dan kemampuan *monitoring*, dengan tujuan memastikan sistem bekerja secara optimal. Tahap terakhir adalah evaluasi lanjutan, di mana hasil pengujian dianalisis untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem serta mengidentifikasi potensi perbaikan di masa mendatang. Dengan metodologi ini, diharapkan prototipe yang dihasilkan dapat meningkatkan efisiensi operasional lampu *runway edge* dan menjadi media pembelajaran yang aplikatif dalam bidang teknologi otomasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan Perangkat Keras

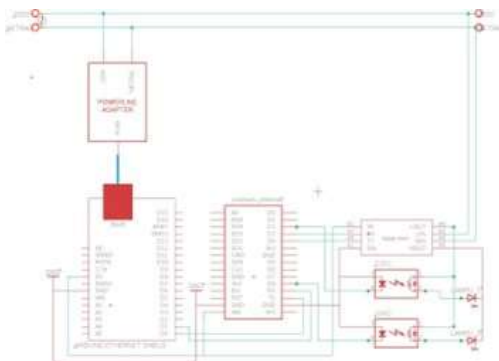
Perancangan akan dimulai dengan merancang sisi *transmitter* yang berfungsi sebagai pengirim perintah *on/off* lampu *runway* dan mengirimkan sinyal kontrol melalui jaringan 220V AC untuk kemudian dikirimkan ke *receiver*. Pada rancangan *transmitter* ini terdiri dari komponen ESP-8266, *ethernet shield* W5500 mini, dan *power line adapter*.



Gambar 1 Rancangan Sisi Transmitter

Langkah-langkah dalam merancang sisi transmitter dimulai dengan menghubungkan *Power Line Adapter* ke sumber tegangan 220 V AC, kemudian menghubungkannya ke port Arduino Ethernet Shield. Selanjutnya, kabel jumper dihubungkan dari pin 5 V pada Ethernet Shield menuju ke pin VIN 5 V pada ESP-8266 untuk suplai daya. Untuk komunikasi data, pin RX pada Ethernet Shield dihubungkan ke pin TX ESP-8266, sedangkan pin TX pada Ethernet Shield dihubungkan ke pin RX ESP-8266. Terakhir, pin GND pada Ethernet Shield dihubungkan ke pin GND ESP-8266, sehingga rangkaian transmitter siap untuk digunakan dalam sistem kontrol dan monitoring lampu runway edge.

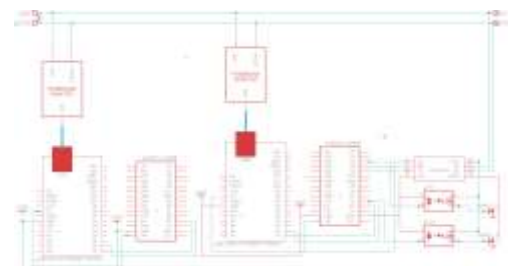
Kemudian dilanjutkan dengan perancangan sisi slave atau *receiver*. Dimana sisi *receiver* berfungsi sebagai menerima perintah dari *transmitter* untuk menyalakan atau mematikan lampu *runway*, serta mengirim balik data monitoring seperti tegangan, arus, dan daya listrik lampu ke *transmitter*. Data dari PZEM-004T kemudian diteruskan kembali melalui PLC ke aplikasi *monitoring*. Komponen *receiver* pada rancangan alat tersebut terdiri dari ESP-8266, PZEM-004T, *ethernet shield* W5500 mini, *solid state relay*, dan *power line adapter*.



Gambar 2 Perancangan Sisi Receiver

Proses perancangan sisi transmitter dimulai dengan menghubungkan Power Line Adapter ke sumber tegangan 220 V AC dan ke port Arduino Ethernet Shield,

kemudian kabel jumper dihubungkan dari pin 5 V pada Ethernet Shield menuju ke pin VIN 5 V pada ESP-8266. Selanjutnya, pin RX pada Ethernet Shield dihubungkan ke pin TX ESP-8266, sedangkan pin TX pada Ethernet Shield dihubungkan ke pin RX ESP-8266, dan pin GND Ethernet Shield dihubungkan ke pin GND ESP-8266. ESP-8266 kemudian dihubungkan ke sensor PZEM-004T pertama, dengan pin D3 ESP-8266 ke pin RX PZEM-004T dan pin D4 ESP-8266 ke pin TX PZEM-004T, serta pin VIN ESP-8266 ke pin 5V PZEM-004T dan pin GND ESP-8266 ke pin GND PZEM-004T. Pin LIN dan NIN PZEM-004T dihubungkan ke sumber listrik 220 V AC pada fasa dan netral. Selanjutnya, Solid State Relay (SSR) dipasang dengan dua buah SSR; untuk SSR pertama, input nomor 4 dihubungkan ke pin D2 ESP-8266 dan input nomor 3 ke GND PZEM-004T, sedangkan SSR kedua, input nomor 4 dihubungkan ke pin D8 ESP-8266 dan input nomor 3 ke GND PZEM-004T. Output nomor 1 pada masing-masing SSR dihubungkan ke pin LOUT PZEM-004T. Pin LIN dan NIN PZEM-004T pertama dihubungkan ke pin LIN dan NIN PZEM-004T kedua, membentuk jalur seri. Terakhir, sirkuit lampu dihubungkan ke output nomor 2 pada masing-masing SSR dan ke pin NOUT PZEM-004T, sehingga seluruh rangkaian transmitter siap untuk mengontrol dan memonitor lampu *runway edge* secara efektif.

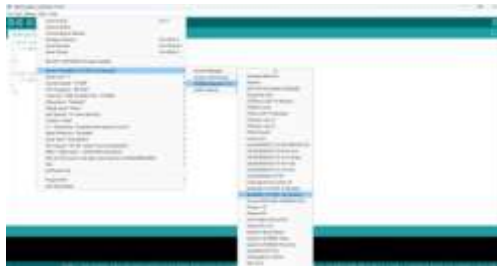


Gambar 3 Wiring Rangkaian Perancangan Alat

Pembuatan Perangkat Lunak

Software Arduino IDE adalah *software* atau aplikasi untuk *coding* yang digunakan untuk membuat perintah yang

dilakukan komponen atau sensor pada alat yang dibuat. Dalam membuat simulasi pemrograman mikrokontroler terdapat beberapa langkah yang harus diperhatikan. Berikut adalah tampilan untuk pemilihan *board* yang disesuaikan dengan perangkat keras.



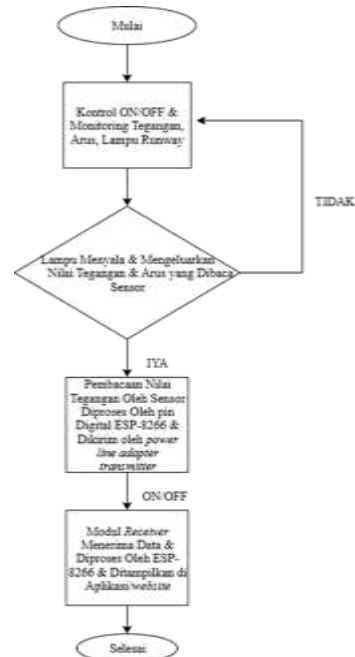
Gambar 4 Menyesuaikan Board ESP8266

Setelah pemrograman atau memasukkan *coding* selesai maka dilakukan proses *compiling* dan setelah itu program dilakukan proses *upload* ke perangkat mikrokontroler



Gambar 5. Proses Compiling dan Upload Program

Pengoperasian Alat



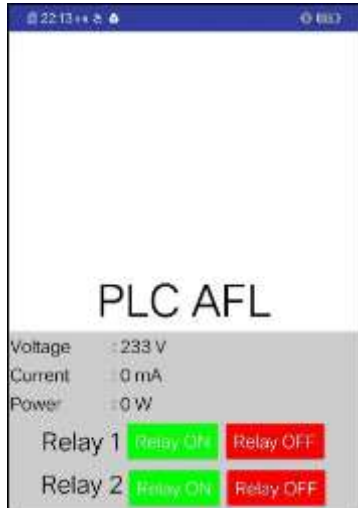
Gambar 6 Flowchart Cara Kerja Alat

Alur diagram di atas akan menjelaskan tentang cara kerja alat. ESP 8266 memberikan sinyal perintah ke lampu dengan cara memanfaatkan kedua PLC yang saling terhubung dengan saluran 220 VAC. Setelah itu lampu dan data dari PZEM- 004T yang terhubung pada lampu, dapat dimonitor dan dikontrol melalui aplikasi.

Berikut ini adalah langkah-langkah pengoperasian alat:

1. Langkah pertama yang harus dilakukan sebelum mengoperasikan alat ini adalah mengunduh aplikasi “PLC_AFL” yang telah dibuat untuk pengguna android atau menggunakan APK emulator jika ingin mengontrol melalui PC.
2. Lalu hubungkan alat dengan sumber daya listrik. Lalu pastikan bahwa jaringan WiFi yang akan digunakan dalam kondisi aktif. Untuk *username WiFi* (SSID) dan *password* harus sama persis dengan kode program di ESP-8266, yaitu:
SSID : “12345678”
Password : “12345678”
3. Langkah berikutnya, setelah berhasil login ke aplikasi, pengguna akan diarahkan ke halaman utama. Pada tampilan *dashboard* tersebut terdapat

2 sirkuit kontrol. Pengguna dapat menekan tombol *On/Off* untuk menghidupkan atau mematikan lampu melalui aplikasi, dan akan direspon secara *real-time*.



Gambar 7 Dashboard Aplikasi

Data Pengujian Hasil Penelitian

Hasil pengujian penerimaan komunikasi data menggunakan Power Line Adapter pada berbagai jarak, mulai dari 5 meter hingga 70 meter, disajikan pada

Tabel 1. Pengujian ini dilakukan untuk mengukur waktu *respons* sistem saat menyalakan (ON) dan mematikan (OFF) lampu *runway edge*, sekaligus memastikan keberhasilan transmisi sinyal pada setiap jarak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh percobaan berhasil (Ya), dengan waktu respons rata-rata berkisar antara ±7 detik hingga ±10 detik. Temuan ini membuktikan bahwa Power Line Adapter mampu menjaga stabilitas komunikasi data melalui jaringan listrik 220 V AC pada jarak pengujian yang dilakukan, sehingga sistem kontrol dan monitoring lampu *runway edge* dapat berfungsi secara efektif.

Tabel 1 Data Pengujian Power Line Adapter

Jarak	Delay Lampu ON (Detik)	Delay Lampu OFF (Detik)	Status Berhasil (Ya/Tidak)
-------	------------------------	-------------------------	----------------------------

5	±07.31	±07.47	Ya
10	±07.40	±07.36	Ya
20	±07.60	±07.57	Ya
50	±08.59	±08.25	Ya
70	±10.30	±09.60	Ya

Dalam pengujian berbasis nilai ukur, digunakan rumus persentase error sebagai berikut:

$$Error = \frac{Nilai\ Komponen - Nilai\ Ref\ (Ukur)}{Nilai\ Ref\ (Ukur)} \times 100\%$$

Pengujian dilakukan pada beberapa nilai yang berbeda. Seluruh nilai error kemudian dirata-ratakan untuk memperoleh *persentase error* rata-rata, dengan rumus:

$$Rata - Rata\ Error = \frac{\sum Error}{n}$$

Dalam pengujian ini, nilai error yang berada di bawah ambang toleransi sebesar 5% dianggap masih akurat dan layak untuk digunakan. Secara umum di industri listrik, toleransi tegangan ±5 % sering dijadikan acuan operasi, seperti jaringan distribusi di mana tegangan ±10 % (contoh: 220 V ±10 %) atau ±5 % sering disebut tapi ini biasanya berasal dari standar teknis seperti SNI atau juga pedoman internal PLN. Hasil pengujian sensor PZEM-004T yang akan digunakan sebagai sistem monitoring yang ditampilkan pada aplikasi monitoring.

Pada pengujian ini membandingkan pembacaan sensor PZEM-004T dengan alat ukur standar seperti multimeter dan tang ampere. Berikut adalah data hasil pengujian sensor PZEM-004T yang digunakan pada penelitian ini:

1. Pengujian Sensor Tegangan

Tabel 2 menampilkan hasil pengujian sensor PZEM-004T dalam mengukur tegangan pada berbagai beban lampu, mulai dari 24 hingga 50 unit lampu 10 Watt. Hasil pengukuran dibandingkan dengan alat ukur standar berupa

multimeter untuk mengetahui tingkat akurasi sensor. Nilai *error* dihitung berdasarkan selisih hasil pengukuran sensor dan multimeter, kemudian dinyatakan dalam persentase. Dari hasil pengujian, rata-rata *persentase error* yang

diperoleh adalah 0,5%, yang masih berada di bawah ambang batas toleransi 5%. Hal ini menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki tingkat akurasi yang baik dan layak digunakan untuk sistem monitoring tegangan pada penelitian ini.

Tabel 2 Pengujian Sensor Tegangan

No	Beban	Sensor Tegangan (V)		Error (%)
		PZEM-004T	Multimeter	
1	Lampu 10 Watt 50 Buah	232	231	0.43 %
2	Lampu 10 Watt 40 Buah	226	225.7	0.13 %
3	Lampu 10 Watt 35 Buah	224	223	0.45 %
4	Lampu 10 Watt 30 Buah	221	219.7	0.59 %
5	Lampu 10 Watt 24 Buah	219	217	0.92 %
Rata-rata persentase error (%)				0.5 %

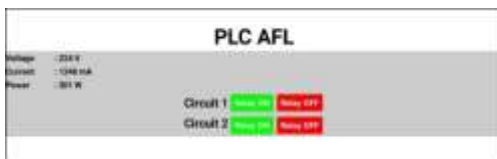
2. Pengujian Sensor Arus

Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian sensor PZEM-004T dalam mengukur arus pada berbagai beban lampu 10 Watt. Dibandingkan dengan

multimeter, rata-rata persentase error yang diperoleh adalah 1,07%, masih di bawah batas toleransi 5%, sehingga sensor ini dinilai akurat dan layak digunakan dalam sistem monitoring arus.

Tabel 3 Pengujian Sensor Arus

No	Beban	Sensor Arus (I)		Error (%)
		PZEM-004T	Multimeter	
1	Lampu 10 Watt 50 Buah	2.23 A	2.2 A	1.3 %
2	Lampu 10 Watt 40 Buah	1.84 A	1.78 A	1.13 %
3	Lampu 10 Watt 35 Buah	1.57 A	1.55 A	1.3 %
4	Lampu 10 Watt 30 Buah	1.35 A	1.34 A	0.74 %
5	Lampu 10 Watt 24 Buah	1.12 A	1.11 A	0.9 %
Rata-rata persentase error (%)				1.07 %



Gambar 8 Tampilan Pengukuran Sensor Tegangan dan Arus

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pembuatan dan pengujian penelitian, dapat disimpulkan bahwa prototipe sistem *monitoring* dan kontrol lampu *runway edge* berbasis *Power Line Carrier* dan aplikasi mampu

mempermudah pekerjaan teknisi di lapangan, karena memungkinkan pemantauan kondisi lampu dilakukan secara jarak jauh.

Sistem ini mampu mengirimkan dan menerima data secara stabil melalui jalur listrik 220 V AC hingga jarak ±70 meter, dengan waktu respons rata-rata sekitar 7–10 detik, serta menampilkan data

pemantauan beban lampu secara *real-time* melalui aplikasi. Selain itu, prototipe ini dapat mendeteksi dan merespons kondisi abnormal pada lampu *runway edge*

melalui sensor PZEM-004T yang mengukur parameter tegangan dan arus secara akurat, dengan tingkat *error* rata-rata sebesar 1,07%, yang masih berada dalam batas toleransi 5%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem dapat diandalkan untuk mendeteksi gangguan atau kerusakan pada lampu *runway edge* secara cepat dan akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Amuta, E. O., Awelewa, A., Olajube, A., Somefun, T. E., Afolabi, G., & Uyi, A. S. (2021). Power line carrier technologies: a review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1036(1), 012062.
<https://doi.org/10.1088/1757-899x/1036/1/012062>
- Bumiller, G. (2003). *Airfield ground lighting automation system realized with power line communication*.
<https://www.researchgate.net/publication/228947955>
- Fikriansyah, I. (2025, May 4). *Berapa Jumlah Pulau di Indonesia? Segini Totalnya Menurut Data Terbaru*. DetikEdu.
- Sugiyono. (2020). *Metodologi Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D*.
- Yang, X., Yang, H., Li, T., Ma, X., & Chen, F. (2021). Design of single-lamp monitoring system for airfield lighting based on broadband power line carrier communication. *Journal of Physics: Conference Series*, 2078(1).
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/2078/1/012061>