



## Rancang Bangun Sistem Kontrol: Implementasi *LoRa* untuk Pemantauan Jarak Jauh pada Lampu Penerangan Jalan Berbasis Tenaga Surya

**Yogi Rahmanto<sup>1</sup>, Juan Bob Christofer Haloho<sup>2</sup>, Muhammad Rizqie Fazhri<sup>3</sup>, Naufal Nuha Fahreza<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran, Indonesia, [yogi22001@mail.unpad.ac.id](mailto:yogi22001@mail.unpad.ac.id)

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran, Indonesia, [juan23002@mail.unpad.ac.id](mailto:juan23002@mail.unpad.ac.id)

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran, Indonesia, [muhhammad22191@mail.unpad.ac.id](mailto:muhhammad22191@mail.unpad.ac.id)

<sup>4</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran, Indonesia, [naufal23002@mail.unpad.ac.id](mailto:naufal23002@mail.unpad.ac.id)

Corresponding Author: [yogi22001@mail.unpad.ac.id](mailto:yogi22001@mail.unpad.ac.id)<sup>1</sup>

**Abstract:** This study discusses the design and development of a control system for remote monitoring of solar-powered street lighting, using LoRa (Long Range) technology. LoRa technology was chosen because of its ability to transmit data over long distances with low power consumption, making it highly suitable for monitoring street lighting systems spread across wide areas. The system consists of a data collection module installed on each street lighting unit, equipped with sensors to monitor battery conditions, light intensity, and lamp status. The collected data is transmitted periodically via the LoRa network to a control center, where the data is analyzed and displayed through a user-friendly interface. The implementation of this system is expected to improve the efficiency of management and maintenance of solar-powered street lighting, as well as reduce operational costs through early detection of issues occurring in the lighting units. Test results show that the system is capable of transmitting data reliably over distances of up to several kilometers and provides accurate real-time information on the condition of the street lighting.

**Keywords:** Control System, LoRa, Remote Monitoring, Street Lighting, Solar Power.

**Abstrak:** Penelitian ini membahas tentang rancang bangun sistem kontrol untuk pemantauan jarak jauh pada lampu penerangan jalan yang berbasis tenaga surya, dengan implementasi teknologi LoRa (Long Range). Teknologi LoRa dipilih karena kemampuannya untuk mengirimkan data dalam jarak yang jauh dengan konsumsi daya yang rendah, yang sangat sesuai dengan kebutuhan sistem pemantauan lampu penerangan jalan yang tersebar di area yang luas. Sistem ini terdiri dari modul pengumpul data yang terpasang pada setiap unit lampu penerangan jalan, yang dilengkapi dengan sensor untuk memantau kondisi baterai,

intensitas cahaya, dan status lampu. Data yang dikumpulkan dikirimkan secara periodik melalui jaringan LoRa ke pusat kontrol, di mana data dianalisis dan ditampilkan dalam antarmuka pengguna yang ramah pengguna. Implementasi sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan dan pemeliharaan lampu penerangan jalan berbasis tenaga surya, serta mengurangi biaya operasional dengan deteksi dini terhadap masalah yang terjadi pada unit lampu. Hasil uji coba menunjukkan bahwa sistem ini mampu mengirimkan data dengan andal pada jarak hingga beberapa kilometer dan memberikan informasi real-time yang akurat tentang kondisi lampu penerangan jalan.

**Kata kunci:** Sistem Kontrol, *LoRa*, Pemantauan Jarak Jauh, Lampu Penerangan Jalan, Tenaga Surya.

---

## PENDAHULUAN

Wireless Sensor Networks (WSN) telah berkembang dengan pesat dalam beberapa tahun terakhir dan juga menjadi salah satu fokus utama penelitian dalam teknologi nirkabel. Perkembangan WSN ini difasilitasi oleh evolusi miniaturisasi elektronik, pertumbuhan kinerja, teknologi nirkabel, efisiensi energi, dan pengembangan protokol. Sensor yang mengumpulkan informasi lingkungan dari sekitar telah dibuat miniatur berkat kinerja cepat, pengoptimalan, dan teknologi miniaturisasi perangkat keras. Selain itu, perkembangan teknologi komunikasi nirkabel baru dan penurunan harga telah memungkinkan penggunaan baru untuk perangkat jaringan sensor nirkabel. Dengan demikian, perkembangan WSN mendukung efisiensi dan otomatisasi dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam pengelolaan energi listrik di sektor-sektor yang semakin modern.

Studi ini memperkenalkan satu teknologi *Low-Power Wide-Area Network* (LPWAN) - LoRa. Teknologi ini merupakan teknologi yang sedang naik daun untuk transfer data dalam mengimplementasikan solusi jaringan sensor untuk pengumpulan dan transmisi data sensor dari titik akhir ke stasiun pangkalan. Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui penggunaan teknologi baru ini dengan memetakan keadaan saat ini dalam penggunaan LoRa.

## Studi Literatur

### *LoRa*

Teknologi transceiver *Low-Power Wide-Area Network* (LPWAN) memungkinkan komunikasi daya yang efisien pada jarak yang sangat panjang. LoRa adalah salah satu contoh teknologi LPWAN. LoRa adalah lapisan modulasi nirkabel atau fisik yang digunakan untuk membangun link komunikasi jarak jauh. Sebagian besar LPWAN beroperasi di pita frekuensi ISM yang tidak berlisensi seperti 2,4 GHz, 915 MHz, dan atau 433 MHz tergantung pada daerah operasional perangkat.

Secara umum, berikut adalah komponen utama dari LoRa:

1. LoRa *end devices* dapat berfungsi sebagai sensor atau aktuator dan terhubung ke satu atau lebih LoRa Gateways melalui antarmuka radio LoRa.
2. *Gateway LoRa* berfungsi sebagai penghubung ujung perangkat ke LoRa NetServer, yang merupakan komponen utama dari arsitektur jaringan LoRa.
3. LoRa *NetServer* berfungsi sebagai server jaringan dan bertanggung jawab atas manajemen sumber daya radio, pengendalian masuk, keamanan, dan lainnya.

Penggunaan pita yang lebih lebar membuat LoRa tahan terhadap gangguan saluran, frekuensi relatif jangka panjang, efek doppler, dan pemudaran. Namun, menyebarkan sinyal pita sempit ke pita yang lebih lebar membuat penggunaan spektrum menjadi kurang efisien hingga perangkat akhir menggunakan rangkaian ortogonal dan/atau saluran berbeda yang menghasilkan kapasitas sistem keseluruhan yang lebih tinggi.

Modul radio LoRa merupakan modul transceiver, dengan LoRa berbasis chip semtech SX1278 yang dikembangkan oleh perusahaan Ai-Thinker. Bentuk fisik dari LoRa RA-02 SX1278 dapat dilihat pada gambar 1.



**Gambar 1.** LoRa Ra-02 SX1278.

### **Arduino Uno R3**

Arduino Uno telah menjadi papan sirkuit yang akrab bagi orang-orang di bidang elektronika. Papan ini berbasis mikrokontroler ATmega328P dari Atmel dan dirancang untuk mempermudah penggunaan elektronik dan pemrograman bagi pemula maupun profesional. Arduino biasa digunakan dalam suatu proyek yang sederhana hingga yang kompleks untuk dijadikan sebagai prototipe. Papan Arduino Nano ditunjukkan pada Gambar 2.

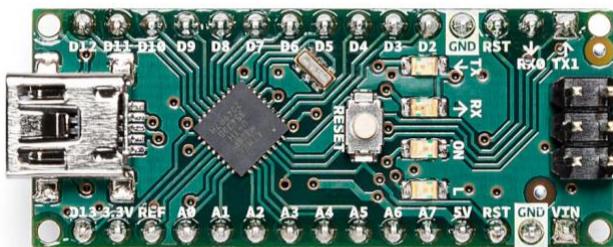


**Gambar 2.** Arduino Uno R3.

Arduino Uno R3 digunakan sebagai *receiver* untuk menerima sinyal dari *transmitter*. Mikrokontroller ini memiliki 14 port I/O digital, 6 di antaranya dapat menyediakan output PWM, 6 port I/O analog, saklar reset, dan unduhan ICSP. Arduino Uno R3 dapat diberi tegangan Vin hingga 20V, namun untuk menghindari panas berlebih disarankan menggunakan tegangan antara 5V hingga 12V.

### **Arduino Nano**

Arduino Nano merupakan salah satu papan sirkuit yang populer dikarenakan ukurannya yang relatif kecil dan kemampuannya yang kuat. Papan ini juga berbasis mikrokontroler ATmega328P dari Atmel dan dirancang untuk mempermudah penggunaan elektronik dan pemrograman bagi pemula maupun profesional. Papan Arduino Nano ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3. Arduino Nano.**

Dalam sistem ini kami menggunakan Arduino Nano 3.0 yang merupakan papan 30 pin yang memiliki ATMega328 sebagai mikrokontroler yang tertanam di dalamnya. Arduino Nano memiliki 14 pin I/O digital, 8 pin referensi analog dan memiliki frekuensi clock 16MHz. Dilihat dari jumlah port I/O, sejumlah node sensor dapat dihubungkan ke papan ini. Arduino Nano dapat diberi tegangan Vin hingga 12V, namun untuk menghindari panas berlebih disarankan menggunakan tegangan antara 5V hingga 9V.

#### **Oled LCD 0.96 Inch 128 x 64**

Layar OLED terdiri dari sejumlah besar piksel yang terbuat dari OLED kecil berwarna merah, hijau, dan biru. Berbeda dengan layar kristal cair (LCD), layar OLED tidak memerlukan lapisan lampu latar dan memiliki karakteristik emisi mandiri. Hal ini menjadikan layar OLED memiliki kontras yang lebih tinggi, ketebalan yang lebih tipis, dan fleksibilitas yang lebih tinggi. Oleh karena itu, para peneliti mulai fokus pada pengembangan layar OLED dari berbagai aspek. Model simulatif yang diusulkan dapat memperkirakan masa pakai layar OLED. Untuk menghadirkan kenikmatan visual yang lebih kuat bagi pengguna, para peneliti mengeluarkan metode kompensasi chrominance untuk mencapai peningkatan visibilitas. Papan LCD Oled 0.96 inch 128 x 64 ditunjukkan pada Gambar 4.



**Gambar 4. OLED DISPLAY (0.96 IN, 128X64, IIC).**

## **METODE**

Pembuatan rancang bangun pemantauan jarak jauh dengan memanfaatkan komunikasi nirkabel LoRa untuk penerangan jalan berbasis tenaga surya dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu meliputi tahap studi literatur, analisis kebutuhan, perancangan sistem, pengujian sistem, serta evaluasi dan analisis data.

#### **Penelusuran Sumber dan Studi Literatur**

Studi literatur pada penelitian ini bertujuan untuk mengumpulkan informasi dan pemahaman yang mendalam mengenai teknologi LoRa, sistem tenaga surya, dan aplikasi pemantauan jarak jauh. Teknologi LoRa (Long Range) adalah protokol komunikasi nirkabel yang memungkinkan transmisi data jarak jauh dengan konsumsi daya rendah dan murah. Studi ini mencakup tinjauan terhadap berbagai penelitian dan artikel yang membahas implementasi LoRa dalam berbagai aplikasi, termasuk sistem pemantauan dan kontrol jarak

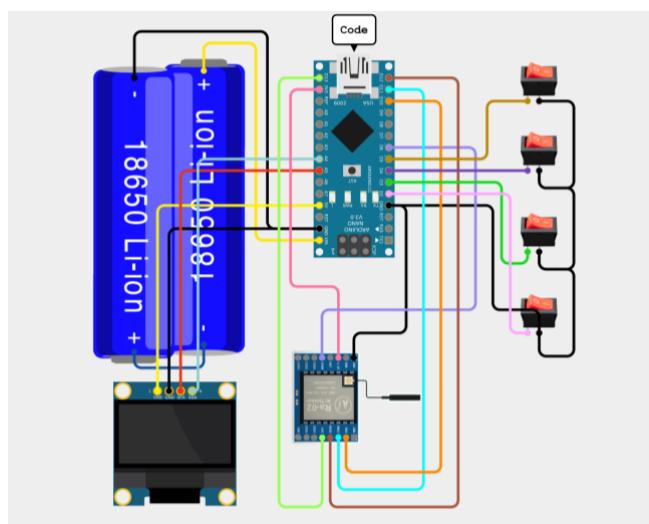
jauh. Studi ini juga meninjau berbagai pendekatan dan teknik yang digunakan dalam pemantauan kondisi lingkungan dan kinerja sistem melalui jaringan nirkabel. Dengan mengkaji berbagai sumber literatur, penelitian ini berusaha untuk membangun dasar yang kuat dalam merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol yang efisien dan andal untuk lampu penerangan jalan berbasis tenaga surya menggunakan teknologi LoRa.

### Analisis Kebutuhan

Pada tahap analisis kebutuhan, penelitian ini mengidentifikasi berbagai aspek yang diperlukan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol berbasis LoRa untuk pemantauan jarak jauh pada lampu penerangan jalan berbasis tenaga surya. Sistem yang dibuat harus mampu mengirim data dari *transmitter* menuju *receiver* melalui jaringan LoRa, dengan cakupan jarak yang telah ditentukan. Selain itu, sistem harus memiliki kemampuan untuk mengontrol lampu, termasuk menyalakan dan mematikan lampu berdasarkan perintah manual dari pusat kontrol (*transmitter*). Identifikasi kebutuhan ini menjadi dasar bagi perancangan spesifikasi teknis dan fungsional sistem, yang memastikan bahwa solusi yang dihasilkan tidak hanya efektif tetapi juga efisien dan andal dalam penggunaan jangka panjang.

### Perancangan Perangkat Keras

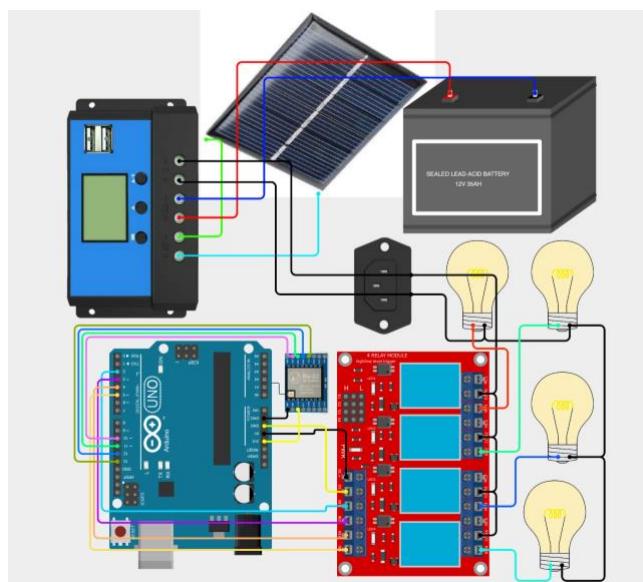
Sistem kontrol pemantauan jarak jauh pada lampu penerangan jalan berbasis tenaga surya didesain dengan perangkat keras yang dapat mendukung komunikasi nirkabel dan dicatut oleh sumber daya baterai sebesar 5-7V. Desain yang diperlukan mencakup desain perangkat keras untuk *transmitter* dan *receiver*. Gambar 3.1 menunjukkan topologi dari sistem *transmitter*.



**Gambar 5.** Skematik *Transmitter*

Gambar skematik *transmitter* tersebut menunjukkan rangkaian elektronik yang digunakan dalam sistem kontrol pemantauan jarak jauh pada lampu penerangan jalan berbasis tenaga surya. Sistem ini diawali dengan sumber daya berupa 2 baterai 18650 3.7V yang disambungkan ke Vin dari arduino Nano. Arduino Nano berfungsi sebagai pusat kendali, terhubung ke LoRa SX1278 untuk komunikasi nirkabel jarak jauh. Selain itu, terdapat empat *switch* (S1, S2, S3, S4) yang terhubung ke Arduino Nano, digunakan untuk input manual atau kontrol lokal. Data dari tombol-tombol ini dan modul LoRa SX1278 dikirim ke *receiver*. Arduino Nano mengintegrasikan semua komponen ini untuk memastikan sistem berfungsi dengan baik, memungkinkan pemantauan dan pengendalian lampu penerangan jalan secara efisien melalui teknologi komunikasi nirkabel. Berikut pengkabelan secara rinci untuk *transmitter*:

1. Baterai 18650:
  - Baterai 1 positif (+) ke Vin dari Arduino Nano
  - Baterai 1 negatif (-) ke Baterai 2 positif (+)
  - Baterai 2 negatif (-) ke GND dari Arduino Nano
2. LoRa SX1278:
  - GND ke GND Arduino Nano
  - NSS ke D10 Arduino Nano
  - MOSI ke D11/MOSI Arduino Nano
  - MISO ke D12/MISO Arduino Nano
  - SCK ke D13/SCK Arduino Nano
  - 3.3V ke 3V3 Arduino Nano
  - DIO0 ke D6 Arduino Nano
3. OLED 128x64:
  - VDD ke 5V Arduino Nano
  - GND ke GND Arduino Nano
  - SCK ke A5 Arduino Nano
  - SDA ke A4 Arduino Nano
4. Switch 2 pin:
  - Semua salah satu pin saklar terhubung ke GND Arduino Nano
  - Saklar 1 ke D3 Arduino Nano
  - Saklar 2 ke D4 Arduino Nano
  - Saklar 3 ke D5 Arduino Nano
  - Saklar 4 ke D2 Arduino Nano



Gambar 6. Skematic *Receiver*

Gambar skematik *receiver* tersebut menunjukkan rangkaian elektronik yang digunakan untuk menerima dan mengendalikan lampu penerangan jalan berbasis tenaga surya dalam sistem pemantauan jarak jauh. Sistem ini terdiri dari Arduino Uno sebagai pusat kendali yang terhubung ke *LoRa SX1278* untuk menerima data secara nirkabel dari transmitter. Arduino Uno juga terhubung ke modul relay 4-channel yang dikendalikan oleh pin digital dari Arduino. Modul relay ini berfungsi untuk menghidupkan dan mematikan lampu penerangan jalan yang terhubung ke AC sesuai dengan instruksi yang diterima. Setiap relay terhubung ke lampu dan dapat dikendalikan secara individual, memungkinkan pengontrolan beberapa lampu sekaligus. Dengan rangkaian ini, data yang diterima dari transmitter diproses oleh Arduino Uno dan digunakan untuk mengendalikan lampu

penerangan jalan secara efektif, memastikan operasional yang efisien dan andal dalam sistem pemantauan jarak jauh menggunakan teknologi LoRa. Berikut

1. LoRa SX1278:

- GND ke GND Arduino Uno
- 3.3V ke 3.3V Arduino Uno
- NSS ke D10 Arduino Uno
- MOSI ke D11 Arduino Uno
- MISO ke D12 Arduino Uno
- SCK ke D13 Arduino Uno

2. Modul Relay 4 Saluran:

- VCC+ ke 5V Arduino Uno
- VCC- (GND) ke GND Arduino Uno
- IN 1 ke D2 Arduino Uno
- IN 2 ke D3 Arduino Uno
- IN 3 ke D4 Arduino Uno
- IN 4 ke D5 Arduino Uno
- Port COM terhubung ke inverter listrik AC
- Port N.O. terhubung ke (+) lampu

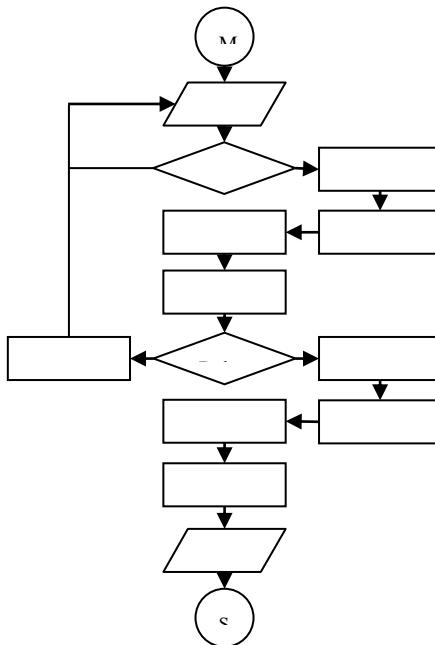
3. Lampu:

- Setiap (-) lampu terhubung ke inverter

4. SCC (Solar Charge Controller):

- Solar panel
- Baterai 12V
- Inverter

## Perancangan Perangkat Lunak



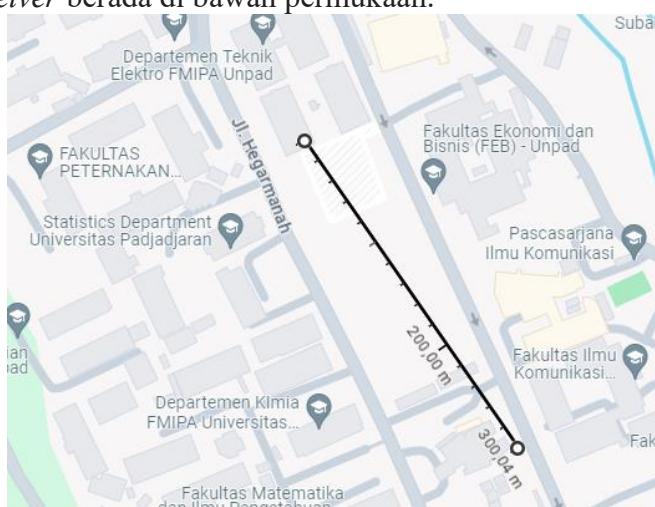
Gambar 6. *Flowchart Desain Perangkat Lunak*

*Flowchart* dimulai dengan *switch transmitter*, di mana pengguna menekan atau mengaktifkan *switch transmitter*. Kemudian, Arduino Nano *transmitter* membaca status dari *switch* tersebut. Jika *switch* diaktifkan, informasi ini dikirimkan ke LoRa *transmitter*. LoRa *transmitter* berfungsi untuk mengirimkan status *switch* melalui jaringan LoRa ke LoRa *receiver*. LoRa *receiver* kemudian menerima sinyal ini dan meneruskannya ke Arduino Uno *receiver*. Arduino Uno membaca status yang diterima dari LoRa *receiver* dan mengaktifkan

atau menonaktifkan Relay *receiver* berdasarkan status tersebut. Ketika relay diaktifkan, Lampu AC menyala, dan sebaliknya, lampu mati jika relay dinonaktifkan. Arduino Uno *receiver* juga bertugas untuk mengirimkan status lampu kembali melalui LoRa *receiver*. Status ini kemudian diterima oleh LoRa *transmitter* dan dikirim ke OLED *transmitter*. Akhirnya, OLED *transmitter* menampilkan status lampu, memberikan umpan balik visual kepada pengguna mengenai kondisi lampu penerangan jalan.

## Pengujian Perangkat

Pengujian alat dilakukan untuk memastikan bahwa sistem kontrol pemantauan jarak jauh pada lampu penerangan jalan berbasis tenaga surya berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang telah dirancang. Gambar 3.4 menunjukkan peta lokasi dan titik pengujian dalam area Kampus Universitas Padjadjaran, dimana terdapat beberapa titik pengujian. Diantara titik-titik tersebut terbentang berbagai rintangan seperti gedung, pohon, papan iklan, dan benda-benda lain yang berpotensi mengganggu proses pengiriman data. Pengujian dilakukan dengan menempatkan *transmitter* pada gedung PPBS C lantai 3 dengan tinggi sekitar 9 meter, sedangkan untuk *receiver* berada di bawah permukaan.



Gambar 7. Peta Lokasi dan Titik Pengujian

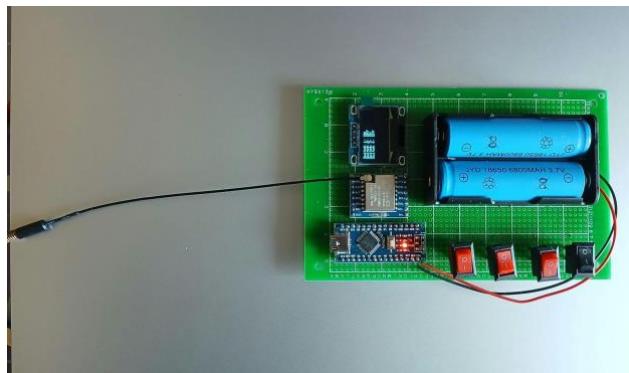
Tahap pertama pengujian melibatkan pengujian unit, di mana setiap komponen individu seperti Arduino Nano, modul LoRa, OLED Display, dan modul relay diuji secara terpisah untuk memastikan bahwa mereka bekerja dengan baik. Setelah itu, pengujian integrasi dilakukan dengan menghubungkan semua komponen bersama-sama untuk memverifikasi bahwa sistem berfungsi sebagai satu kesatuan. Pengujian ini mencakup pengujian komunikasi nirkabel antara *transmitter* dan *receiver*, pengujian respon sistem terhadap input dari tombol, serta pengujian kontrol lampu melalui modul relay. Selain itu, pengujian lapangan dilakukan untuk menilai kinerja sistem dalam kondisi lingkungan nyata, termasuk jangkauan sinyal LoRa. Data yang dikumpulkan selama pengujian dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem, dan setiap masalah yang ditemukan akan diperbaiki untuk memastikan sistem bekerja secara optimal. Hasil pengujian ini akan memberikan dasar yang kuat untuk validasi keandalan dan efisiensi sistem dalam penggunaan jangka panjang.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Implementasi

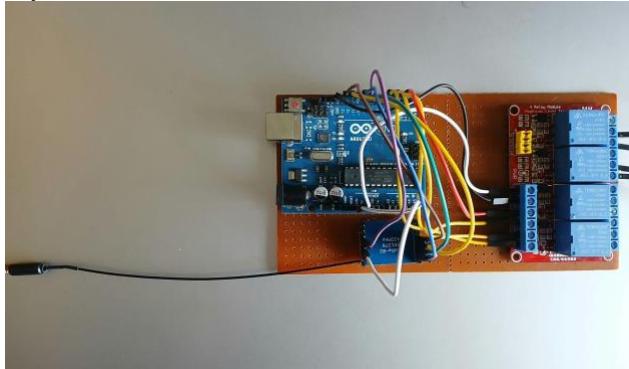
Pada penelitian ini, sistem kontrol untuk pemantauan jarak jauh lampu penerangan jalan berbasis tenaga surya telah berhasil dirancang dan diimplementasikan.

## Desain Sistem



**Gambar 8. Transmitter**

*Transmitter* menggunakan Arduino Nano yang terhubung dengan modul LoRa SX1278 untuk mengirim data kondisi lampu ke receiver. Selain itu, terdapat juga beberapa saklar yang digunakan untuk mengontrol lampu secara manual dan OLED display untuk menampilkan status lampu.



**Gambar 8. Receiver**

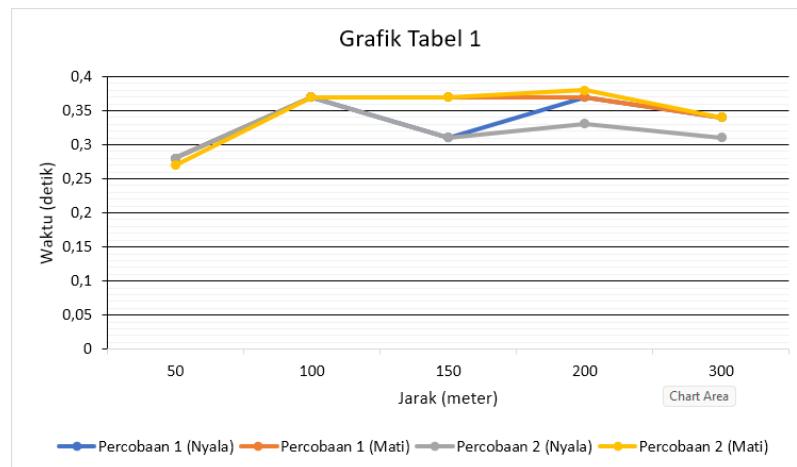
*Receiver* menggunakan Arduino Uno yang terhubung dengan modul LoRa SX1278 untuk menerima data dari transmitter. Relay digunakan untuk mengaktifkan atau menonaktifkan lampu berdasarkan sinyal yang diterima.

## Data Pengujian

Sebelumnya, telah diatur TX power sebesar 20 dBm pada LoRa SX1278 yang memberikan keuntungan dalam meningkatkan jangkauan transmisi, memungkinkan komunikasi yang lebih andal di area yang luas atau dengan banyak hambatan dan mengurangi kemungkinan terjadinya kehilangan data selama transmisi. Namun, penggunaan TX power 20 dBm juga berdampak pada peningkatan konsumsi daya. Sehingga penting untuk menyeimbangkan kebutuhan jangkauan dan efisiensi energi sesuai dengan aplikasi yang dirancang.

**Tabel 1. Data Pengujian Delay Saklar 1**

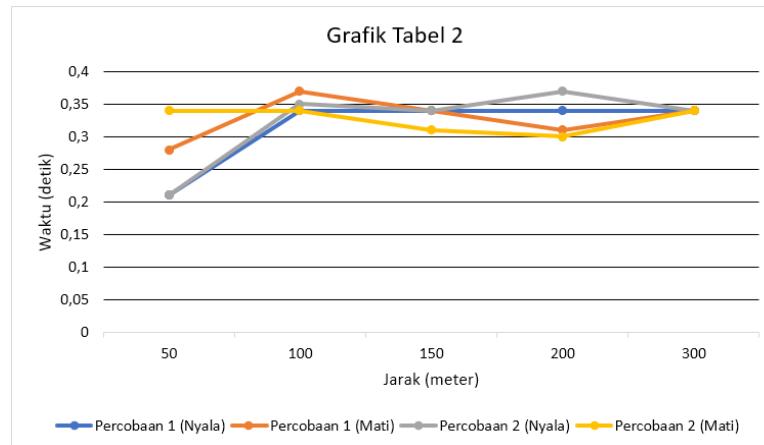
Saklar 1		<i>Percobaan (detik)</i>	1		<i>Percobaan (detik)</i>
No	Jarak (meter)		Nyala	Mati	
1	50	0,28	0,28	0,28	0,27
2	100	0,37	0,37	0,37	0,37
3	150	0,31	0,37	0,31	0,37
4	200	0,37	0,37	0,33	0,38
5	300	0,34	0,34	0,31	0,34



**Gambar 9. Grafik Tabel 1**

**Tabel 2. Tabel Data Pengujian Delay Saklar 2**

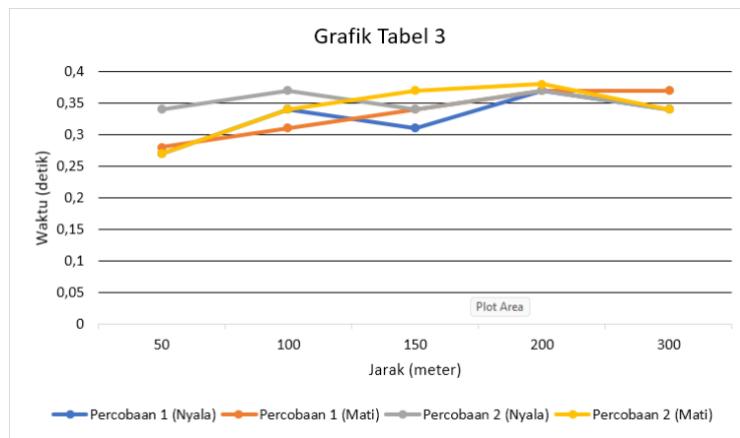
No	Jarak (meter)	Percobaan (detik)		Percobaan (detik)	
		Nyala	Mati	Nyala	Mati
1	50	0,21	0,28	0,21	0,34
2	100	0,34	0,37	0,35	0,34
3	150	0,34	0,34	0,34	0,31
4	200	0,34	0,31	0,37	0,30
5	300	0,34	0,34	0,34	0,34



**Gambar 10. Grafik Tabel 2**

**Tabel 3. Tabel Data Pengujian Delay Saklar 3**

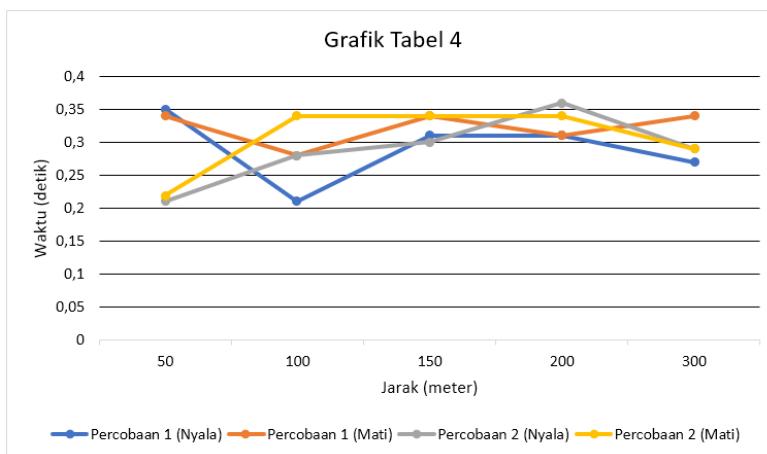
No	Jarak (meter)	Percobaan (detik)		Percobaan (detik)	
		Nyala	Mati	Nyala	Mati
1	50	0,27	0,28	0,34	0,27
2	100	0,34	0,31	0,37	0,34
3	150	0,31	0,34	0,34	0,37
4	200	0,37	0,37	0,37	0,38
5	300	0,34	0,37	0,34	0,34



Gambar 11. Grafik Tabel 3

Tabel 4. Tabel Data Pengujian Delay Saklar 4

No	Jarak (meter)	Percobaan 1 (detik)		Percobaan 2 (detik)	
		Nyala	Mati	Nyala	Mati
1	50	0,35	0,34	0,21	0,22
2	100	0,21	0,28	0,28	0,34
3	150	0,31	0,34	0,30	0,34
4	200	0,31	0,31	0,36	0,34
5	300	0,27	0,34	0,29	0,29



Gambar 11. Grafik Tabel 4

Dari data yang disajikan dalam tabel 1 hingga 4, dapat disimpulkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk menyala dan mati pada sistem kontrol relatif konsisten antara percobaan 1 dan percobaan 2 pada berbagai jarak, dengan variasi kecil yang tidak signifikan. Selain itu, tidak terdapat peningkatan signifikan dalam waktu respons seiring bertambahnya jarak dari 50 meter hingga 300 meter, yang menunjukkan bahwa sistem kontrol tetap responsif pada jarak yang lebih jauh. Waktu nyala dan mati tetap dalam rentang yang sempit, yaitu antara 0,21 detik hingga 0,38 detik, menunjukkan kinerja sistem yang cukup stabil. Variasi kecil yang tercatat mungkin disebabkan oleh faktor lingkungan atau teknis. Secara keseluruhan, sistem kontrol menunjukkan kinerja yang stabil dan konsisten dalam waktu respons pada berbagai jarak yang diuji.

### Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dalam dua tahap, yaitu pengujian komunikasi dan pengujian kontrol lampu. Pengujian komunikasi bertujuan untuk memastikan bahwa data dari

*transmitter* dapat diterima dengan baik oleh *receiver*. Pengujian dilakukan dengan mengirimkan data kondisi lampu dari *transmitter* ke *receiver* pada jarak yang berbeda-beda. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komunikasi LoRa dapat bekerja optimal dengan ketentuan *transmitter* pada posisi yang lebih tinggi dari objek lainnya. Maka pada jarak hingga  $+ - 300$  meter sinyal *transmitter* dapat diterima dengan baik oleh *receiver*.

Pengujian kontrol lampu bertujuan untuk memastikan bahwa sistem dapat mengontrol lampu sesuai dengan data yang diterima. Pengujian dilakukan dengan mengaktifkan dan menonaktifkan lampu menggunakan saklar pada *transmitter* dan memantau perubahan status lampu pada *receiver*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat mengontrol lampu dengan tepat dan akurat.

## Pembahasan

Modul LoRa SX1278 terbukti efektif dalam komunikasi jarak jauh untuk sistem kontrol lampu penerangan jalan berbasis tenaga surya. Dengan jangkauan hingga 300 meter, LoRa mampu mengatasi keterbatasan jarak yang sering menjadi kendala dalam sistem komunikasi nirkabel konvensional seperti WiFi atau Bluetooth. Kelebihan LoRa yang lainnya adalah konsumsi daya yang rendah, sehingga sangat cocok untuk aplikasi berbasis tenaga surya.

## Kelebihan dan Kekurangan

Kelebihan dari sistem ini meliputi efisiensi energi yang dihasilkan dari pemanfaatan tenaga surya sebagai sumber energi utama, sehingga mengurangi ketergantungan pada listrik konvensional dan menghemat biaya operasional. Selain itu, dengan menggunakan teknologi LoRa, sistem ini mampu memantau dan mengontrol lampu dari jarak jauh, meningkatkan efisiensi dalam pemeliharaan dan pengelolaan lampu penerangan jalan. Sistem ini juga mudah diintegrasikan karena menggunakan komponen yang mudah didapatkan seperti Arduino dan modul LoRa, sehingga memudahkan proses perakitan dan pengembangan lebih lanjut.

Kemudian untuk kekurangan dari sistem ini meliputi latensi dalam pengiriman dan penerimaan data, yang dapat menjadi kendala dalam aplikasi yang memerlukan respon cepat meskipun LoRa memiliki jangkauan yang jauh. Selain itu, sinyal LoRa dapat terganggu oleh interferensi dari sumber lain pada kondisi tertentu, meskipun hal ini dapat diminimalisir dengan penempatan antena yang tepat atau tinggi dan penggunaan frekuensi yang sesuai.

## Potensi Pengembangan Lebih Lanjut

Sistem ini memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut dengan beberapa peningkatan, seperti integrasi dengan platform IoT untuk pemantauan dan kontrol yang lebih komprehensif dan real-time. Selain itu, optimalisasi energi dapat dilakukan dengan menggunakan algoritma pengelolaan energi yang lebih canggih untuk memaksimalkan efisiensi penggunaan tenaga surya. Peningkatan keamanan juga bisa diterapkan dengan menambahkan fitur keamanan seperti enkripsi data untuk mencegah akses yang tidak sah dan memastikan integritas sistem.

Dengan demikian, sistem kontrol lampu penerangan jalan berbasis tenaga surya yang menggunakan teknologi LoRa ini dapat menjadi solusi yang efektif dan efisien untuk pemantauan dan pengelolaan lampu penerangan jalan jarak jauh, serta memiliki potensi besar untuk dikembangkan lebih lanjut sesuai dengan kebutuhan teknologi masa depan.

## KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan implementasi sistem kontrol LoRa untuk pemantauan lampu penerangan jalan berbasis tenaga surya diperoleh bahwa sistem ini menggunakan Arduino Uno sebagai *transmitter* dan Arduino Nano sebagai *receiver*. Hasil penelitian menunjukkan

bahwa sistem ini dapat memantau dan mengontrol lampu penerangan jalan secara efektif dan efisien dari jarak jauh serta mengirimkan informasi *real-time* yang akurat. Penggunaan LoRa memungkinkan transmisi data dengan jangkauan yang luas dan konsumsi daya yang rendah. Sistem kontrol ini juga menunjukkan kinerja yang stabil dan konsisten dalam waktu respons pada berbagai jarak yang diuji. Sumber daya utama sistem ini pun memanfaatkan energi matahari sehingga lebih ramah lingkungan dan lebih ekonomis untuk penggunaan jangka panjang.

Implementasi sistem kontrol LoRa untuk pemantauan lampu penerangan jalan berbasis tenaga surya ini dapat dioptimalkan dengan mengembangkan *interface* yang lebih intuitif sehingga lebih memudahkan pengelolaan dan pemantauan oleh user serta dengan mengembangkan sistemnya menjadi lebih kompleks misalnya menambahkan lebih banyak sensor untuk menambahkan parameter lain seperti kelembaban, suhu, dan kualitas udara.

## REFERENSI

- "Arduino Nano," Arduino Store. [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano>. Accessed: Jun. 29, 2024.
- "Arduino Uno Rev3," Arduino Store. [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>. Accessed: Jun. 29, 2024.
- "Memulai komunikasi sederhana dengan LoRa Ra-02 SX1278 dan Arduino," Sonoku, Jun. 29, 2024. [Online]. Available: <https://sonoku.com/memulai-komunikasi-dengan-lora-02-sx1278-dan-arduino/>. Accessed: Jun. 29, 2024.
- Badamasi, Y. A. (2014). The working principle of an Arduino. 2014 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO). doi:10.1109/icecco.2014.6997578.
- M. Diana, R. Nazir, and A. Rufiyanto, "Harvesting RF Ambient Energy dari End Device LoRa (Long Range Access)," JURNAL INFOTEL, vol. 9, no. 4, Art. no. 4, Nov. 2017, doi: 10.20895/infotel.v9i4.282.
- Noreen, U., Bounceur, A., & Clavier, L. (2017). A study of LoRa low power and wide area network technology. 2017 International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP). doi:10.1109/atsip.2017.8075570.
- Saari, A. Muzaffar bin Baharudin, P. Sillberg, S. Hyrynsalmi and W. Yan, "LoRa – A Survey of Recent Research Trends," Tampere University of Technology, Pervasive Computing, Pori, Finland, MIPRO 2018, May 21-25, 2018, Opatija Croatia.
- Tsyani, D. N., Kurniasari, A., & Hudaya, C. (2018). Battery Monitoring System with LoRa Technology. 2018 3rd International Conference on Information Technology, Information System and Electrical Engineering (ICITISEE). doi:10.1109/icitisee.2018.8720952.
- Yeh, C.-H., Lo, K. S.-H., & Lin, W. (2018). Visual Attention Based Pixel Dimming Technique for OLED Display on Mobile Devices. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1–1. doi:10.1109/tie.2018.2874582.
- Zeng, B., Zhang, J., Chen, L., & Wang, Y. (2018). Self-balancing car based on ARDUINO UNO R3. 2018 IEEE 3rd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC). doi:10.1109/iaeac.2018.8577775.