

IMPLEMENTASI SISTEM KONTROL OTOMATIS PADA PROTOTIPE ALAT PENERANGAN JALAN BERBASIS *INTERNET OF THINGS* SEBAGAI UPAYA EFISIENSI ENERGI DI JALAN BUKIT DHARMA RAYA JIMBARAN

I N. B. T. Putra¹, C. G. I. Partha², I W. Sukerayasa²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

²Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Jalan Raya Kampus Unud Jimbaran, Kec. Kuta Selatan, Kabupaten Badung, Bali 80361
Email : bagustputraaa@gmail.com

ABSTRAK

Pengimplementasi *AC Light Dimmer* dan *Relay 2 Channel* sebagai sistem kontrol lampu otomatis pada prototipe Alat Penerangan Jalan (APJ) berbasis *Internet of Things (IoT)* digunakan untuk mendukung efisiensi energi di Jalan Bukit Dharma Raya Jimbaran. Sistem ini dirancang untuk mengatur intensitas cahaya secara otomatis berdasarkan waktu dan keberadaan pengguna jalan yang terdeteksi oleh sensor ultrasonik. *Monitoring* dan kontrol dilakukan secara *real-time* melalui *platform Telegram*, dengan pemantauan konsumsi energi menggunakan modul PZEM-004T. Prototipe dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32 yang mengontrol nyala lampu, intensitas melalui *AC Light Dimmer*, serta status *ON/OFF* melalui *Relay 2 Channel*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu meningkatkan efisiensi energi hingga 43,75% dan menghemat biaya listrik sebesar Rp132,56 dalam durasi 2 jam pengoperasian. Implementasi sistem ini terbukti efektif, adaptif terhadap kondisi lingkungan, serta mendukung penerapan penerangan jalan cerdas yang hemat energi.

Kata kunci : Alat Penerangan Jalan, IoT, *AC Light Dimmer*, *Relay 2 Channel*, Efisiensi Energi, API *Telegram*, PZEM-004T.

ABSTRACT

The implementation of an *AC Light Dimmer* and *Relay 2 Channel* as an automatic lamp control system on a *Street Lighting (APJ)* prototype based on the *Internet of Things (IoT)* is used to support energy efficiency on Jalan Bukit Dharma Raya Jimbaran. This system is designed to automatically adjust light intensity based on time and the presence of road users detected by an ultrasonic sensor. *Monitoring* and control are performed in *real-time* via the *Telegram* platform, with energy consumption monitored using the PZEM-004T module. The prototype is built using an ESP32 microcontroller, which controls the lamp activation, brightness through the *AC Light Dimmer*, and *ON/OFF* status via the *Relay 2 Channel*. Test results show that the system can improve energy efficiency by up to 43.75% and save electricity costs by Rp132.56 during 2 hours of operation. This system implementation has proven to be effective, adaptive to environmental conditions, and supports the application of intelligent and energy-efficient street lighting systems.

Key Words : *Street Lighting*, IoT, *AC Light Dimmer*, *Relay 2 Channel*, Energy Efficiency, API *Telegram*, PZEM-004T.

1. PENDAHULUAN

Jalan merupakan jalur transportasi utama yang memiliki peran penting dalam mendukung berbagai aktivitas masyarakat. Jalan yang memadai tidak hanya berfokus

pada struktur fisik semata, tetapi juga harus memenuhi berbagai aspek lainnya, seperti memiliki penerangan jalan yang sesuai standar [1]. Penerangan jalan yang memadai tidak hanya membantu visibilitas

pengguna jalan, tetapi juga dapat mengurangi risiko kecelakaan serta meningkatkan rasa aman bagi pengguna jalan yang melintasi daerah tersebut.

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan No. 47 Tahun 2023 tentang Alat Penerangan Jalan, dijelaskan bahwa regulasi ini mendorong inovasi dalam pengembangan alat penerangan jalan yang lebih cerdas dan hemat energi [2]. Tentu saja, dalam mewujudkan regulasi tersebut, Alat Penerangan Jalan harus tetap mengikuti standar yang telah ditetapkan. Namun, pada kenyataannya masih banyak wilayah yang belum memiliki sistem penerangan jalan yang efisien, termasuk di Jalan Bukit Dharma Raya Jimbaran. Penerangan jalan yang masih bersifat manual dan menyala sepanjang malam tanpa mempertimbangkan kondisi lingkungan dapat menyebabkan pemborosan energi listrik. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi penerangan jalan yang cerdas dan otomatis, yang dapat menyesuaikan intensitas cahaya berdasarkan waktu atau aktivitas pengguna jalan.

Penelitian ini berfokus pada implementasi *AC Light Dimmer* dan *Relay 2 Channel* sebagai sistem kontrol lampu otomatis pada prototipe Alat Penerangan Jalan (APJ) berbasis *Internet of Things (IoT)* untuk mendukung efisiensi energi di Jalan Bukit Dharma Raya Jimbaran.

Melalui hasil analisis di jalan tersebut, diharapkan dapat diketahui sejauh mana sistem ini mampu meningkatkan efisiensi energi pada APJ. Untuk melaksanakan penelitian ini, digunakan prototipe yang diproyeksikan sesuai dengan kondisi di Jalan Bukit Dharma Raya Jimbaran. Dengan demikian, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi pemerintah daerah dan pemangku kepentingan dalam mengembangkan sistem alat penerangan jalan yang lebih efisien serta mendukung penerangan jalan yang lebih cerdas.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah nama mikrokontroler yang dirancang perusahaan di Shanghai, Cina, yakni Espressif Systems ESP32 menawarkan solusi jaringan *Wi-Fi* yang mandiri sebagai jembatan dari mikrokontroler yang ada ke jaringan *Wi-Fi*. Mikrokontroler ESP32 berperan penting dalam sistem lampu penerangan jalan karena kemampuannya untuk mengelola

koneksi nirkabel dan pemrosesan data secara efisien. Dengan ESP32, lampu jalan dapat terhubung ke jaringan IoT dan berkomunikasi secara *real-time* dengan server pusat atau aplikasi kontrol [3]. ESP32 dapat diprogram untuk mengatur waktu nyala dan mati lampu berdasarkan sensor cahaya atau jadwal tertentu, memungkinkan lampu hanya aktif pada saat waktu yang telah ditentukan. Maka dari itu, ESP32 mendukung konsep *smart city* dengan menciptakan sistem pencahayaan yang hemat energi, terkontrol, dan responsif terhadap kondisi lingkungan.

2.2 API Telegram

API *Telegram* dapat dimanfaatkan untuk memberikan informasi mengenai konsumsi energi pada Alat Penerangan Jalan (APJ) secara akurat. Dengan API *Telegram*, pengguna dapat mengirim pesan langsung ke *bot Telegram*, yang selanjutnya akan mengirim notifikasi kepada pengguna melalui pesan *real-time* [4]. Fitur ini sangat mendukung dalam pengelolaan efisiensi energi pada Alat Penerangan Jalan (APJ).

2.3 PZEM-004T

Modul PZEM-004T adalah sebuah modul sensor multifungsi yang berfungsi untuk mengukur tegangan, arus, dan daya yang terdapat pada sebuah aliran listrik [6]. Modul ini sudah dilengkapi sensor tegangan dan sensor arus (CT) yang sudah terintegrasi. Dengan modul ini, pengguna dapat mengetahui informasi mengenai tegangan, arus, dan konsumsi daya sehingga dapat diolah untuk mengetahui biaya energi pada Alat Penerangan Jalan (APJ).

2.4 Sensor Ultrasonik

Sensor Ultrasonik merupakan perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengukur jarak suatu objek tanpa sentuhan, dengan cara memancarkan gelombang suara frekuensi tinggi (di atas 20 kHz) dan mengukur waktu pantulan gelombang tersebut kembali ke sensor [6]. Teknologi ini nantinya akan digunakan untuk mendeteksi keberadaan pejalan kaki atau kendaraan pada sistem otomasi lampu jalan berbasis IoT.

2.5 AC Light Dimmer

AC Light Dimmer adalah modul elektronik yang berfungsi untuk mengatur intensitas cahaya pada beban listrik berbasis arus AC, dengan cara mengatur sudut fasa (*phase angle*) dari gelombang listrik menggunakan komponen seperti triac dan optoisolator. Modul ini bekerja dengan

memotong sebagian gelombang AC untuk mengurangi daya yang diteruskan ke beban, sehingga memungkinkan penghematan energi dengan menyesuaikan terang lampu sesuai kebutuhan. Penggunaan *AC Light Dimmer* sangat efektif dalam sistem penerangan yang memerlukan pengaturan intensitas secara dinamis, seperti pada lampu jalan otomatis berbasis IoT, yang dapat merespons kondisi lingkungan secara *real-time* untuk meningkatkan efisiensi dan kenyamanan pengguna [7].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji dan mengimplementasikan sistem kontrol lampu otomatis menggunakan *AC Light Dimmer* dan *Relay 2 Channel* berbasis *Internet of Things* (IoT) pada Alat Penerangan Jalan (APJ) sebagai upaya efisiensi energi di Jalan Bukit Dharma Raya Jimbaran, Kabupaten Badung, Bali. Metode pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, studi pustaka, dan dokumentasi literatur dari jurnal, artikel ilmiah, buku referensi, serta sumber online yang relevan. Data yang digunakan mencakup data teknis lokasi, karakteristik lingkungan, standar pencahayaan, serta spesifikasi komponen elektronik seperti sensor, mikrokontroler, *relay*, dan *dimmer*. Perancangan sistem dilakukan menggunakan *software* Arduino IDE, serta menggunakan *Telegram* API untuk memantau konsumsi energi. Berikut merupakan prosedur penelitian:

1. Penelitian ini diawali dengan melakukan observasi langsung di Jalan Bukit Dharma Raya Jimbaran untuk mengidentifikasi kebutuhan pencahayaan serta kondisi eksisting alat penerangan jalan (APJ) yang belum dilengkapi sistem kontrol otomatis. Observasi ini bertujuan untuk memperoleh gambaran awal mengenai masalah energi dan potensi penerapan sistem yang lebih efisien.
2. Perancangan skema kontrol otomatis yang disesuaikan dengan kondisi lingkungan dan waktu. Penentuan skema ini mempertimbangkan dua variabel utama, yaitu intensitas pencahayaan berdasarkan waktu serta keberadaan pengguna jalan untuk menentukan tingkat intensitas lampu.
3. Pengumpulan data dilakukan untuk mengidentifikasi spesifikasi teknis dari komponen yang akan digunakan

dalam sistem. Komponen tersebut meliputi *AC Light Dimmer*, *Relay 2 Channel*, mikrokontroler ESP32, serta sensor ultrasonik. Data ini diperlukan untuk menyusun konfigurasi sistem dan memastikan kompatibilitas antar komponen.

4. Perancangan dan pembangunan dilakukan pada prototipe sistem kontrol lampu otomatis yang terintegrasi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT). Perancangan dilakukan menggunakan Arduino IDE untuk pemrograman mikrokontroler dan integrasi dengan *Telegram* API sebagai antarmuka *monitoring* dan kendali jarak jauh.
5. Pengujian prototipe dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem berdasarkan kondisi nyata yang telah disimulasikan, dimana pengujian dilakukan dengan berbagai kondisi pengguna jalan dan waktu.
6. Pengujian sistem secara langsung dilakukan untuk mengevaluasi kinerja, konsumsi energi, dan efisiensi penerangan. Pengujian meliputi perbandingan kondisi sistem sebelum dan sesudah implementasi kontrol otomatis, dengan fokus pada waktu nyala lampu, intensitas cahaya, dan respon terhadap keberadaan pengguna jalan.
7. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data, dilakukan penarikan kesimpulan terhadap efektivitas sistem dalam mendukung efisiensi energi pada alat penerangan jalan (APJ).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum

Jalan Bukit Dharma Raya Jimbaran merupakan jalan sekunder yang terletak di Kelurahan Jimbaran, Kecamatan Kuta Selatan, Kabupaten Badung, Provinsi Bali dengan panjang jalan 150 meter, luas jalan 6,4 meter, dan lebar trotoar 2 meter di setiap sisinya ($8^{\circ}48'01.0''S$ - $115^{\circ}10'25.3''E$). Sebentang Jalan Bukit Dharma Raya Jimbaran terdapat jalan kecil yaitu Jalan Bukit Dharma I Jimbaran dengan panjang jalan 70 meter dan lebar jalan 4 meter serta kondisi jalan kecil yang tidak memiliki trotoar. Berikut merupakan area Jalan Bukit Dharma Raya Jimbaran dan Jalan Bukit Dharma I Jimbaran seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Area Jalan Bukit Dharma Raya Jimbaran

4.2 Penentuan Lokasi Penerapan Sensor Ultrasonik dan Alat Penerangan Jalan (APJ)

Penentuan lokasi pemasangan komponen-komponen dan alat penerangan jalan (APJ) merupakan tahapan penting dalam memastikan sistem dapat berfungsi secara optimal dan efisien. Lokasi harus dipilih berdasarkan tingkat aktivitas lalu lintas, kebutuhan pencahayaan, serta sesuai dengan standar penerangan jalan [8]. Dalam konteks penelitian ini, Jalan Bukit Dharma Raya Jimbaran dipilih sebagai lokasi diproyeksikannya prototipe ini karena merupakan kawasan pemukiman dan jalur alternatif yang cukup aktif dilalui kendaraan dan pejalan kaki, terutama pada malam hari. Kondisi ini menjadikan area tersebut relevan sebagai representasi lingkungan nyata dalam pengujian sistem efisiensi penerangan jalan. Selain itu, karakteristik jalan yang bervariasi dari segi lebar dan kepadatan lalu lintas memberikan gambaran yang lebih lengkap untuk pengujian kinerja sistem. Oleh karena itu, penempatan masing-masing sensor ultrasonik di titik strategis yang dapat mendeteksi keberadaan objek bergerak secara akurat menjadi sangat krusial untuk mengatur respons nyala lampu secara otomatis dan mendukung efisiensi energi.

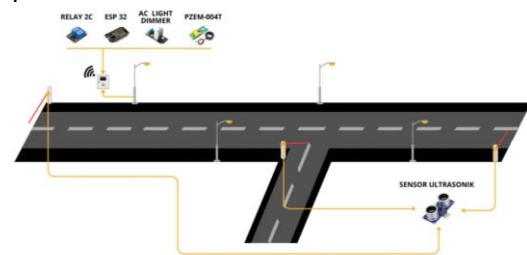
Selain itu, posisi lampu jalan disesuaikan agar pencahayaan dapat menjangkau area yang paling dibutuhkan dengan intensitas yang tepat. Seluruh hasil pengukuran seperti panjang jalan, lebar jalan, lebar trotoar, standar alat penerangan jalan, dan lain-lainnya akan disesuaikan ukurannya dalam bentuk prototipe. Sensor ultrasonik (lingkaran merah) yang diletakkan 10 meter sebelum alat penerangan jalan dan alat penerangan jalan (kotak kuning) yang

sudah disesuaikan dengan SNI sesuai dengan Gambar 2.



Gambar 2 Penerapan sensor ultrasonik dan APJ

AC Light Dimmer, Relay 2 Channel, PZEM-004T, mikrokontroler ESP 32, dan komponen penting lainnya diletakkan dalam kotak yang akan diposisikan di tiang alat penerangan jalan. Berikut merupakan gambar rancangan penerapannya seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 Rancangan Penerapan Komponen dan APJ

Penentuan lokasi penerapan ini tidak hanya bertujuan untuk memaksimalkan efektivitas sistem dalam merespons pergerakan, tetapi juga menjaga keseimbangan antara aspek teknis dan tata ruang lingkungan di kawasan Jalan Bukit Dharma Raya Jimbaran.

4.3 Perancangan Prototipe Alat Penerangan Jalan (APJ)

Perancangan prototipe alat penerangan jalan (APJ) dilakukan dengan mengintegrasikan beberapa komponen elektronik utama yang saling terhubung untuk membentuk sistem kontrol otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem ini dirancang agar dapat menyalakan, mematikan, serta mengatur intensitas cahaya lampu jalan secara otomatis berdasarkan kondisi lingkungan dan aktivitas pengguna jalan. Adapun komponen-komponen utama yang digunakan dalam prototipe ini dijelaskan sebagai berikut.

4.3.1 Mikrokontroler ESP 32

Mikrokontroler ESP 32 merupakan mikrokontroler utama yang digunakan untuk mengendalikan seluruh proses pada sistem penerangan jalan otomatis. Mikrokontroler ini memiliki keunggulan berupa konektivitas *Wi-Fi* dan *bluetooth* bawaan, sehingga sangat cocok untuk implementasi berbasis IoT. Mikrokontroler ESP 32 menerima dari sensor ultrasonik, lalu memproses data tersebut, dan mengirimkan sinyal ke komponen seperti *relay* untuk mengatur kontrol *on/off* lampu dan *AC Light Dimmer* untuk mengatur intensitas lampu. Selain itu, mikrokontroler ESP 32 juga digunakan untuk mengirim data pemantauan ke *platform Telegram* secara *real-time*.

4.3.2 PZEM-004T

PZEM-004T adalah modul sensor yang digunakan untuk mengukur parameter kelistrikan seperti tegangan (volt), arus (ampere), daya (watt), dan energi (kWh) yang dikonsumsi oleh sistem penerangan. Untuk menghitung biaya konsumsi energi, digunakan tarif golongan P-3/TR yang diperuntukkan untuk penerangan jalan umum yaitu Rp 1.699,53 per kWh. Modul ini dikonfigurasi pada port Serial2 mikrokontroler ESP32 dengan pin koneksi sebagai berikut.

Modul PZEM-004T terhubung ke mikrokontroler ESP32 melalui jalur komunikasi Serial2 (UART), yang dikonfigurasi menggunakan pin TX dan RX. Dalam implementasi prototipe, pin TX PZEM dihubungkan ke RX (GPIO16) dan pin RX PZEM ke TX (GPIO17) pada ESP32, dengan tambahan konverter tegangan (TTL to RS485) untuk memastikan kompatibilitas komunikasi antar perangkat seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Coding Program Pin pada PZEM-004T

```
dimmerLamp dimmer(OUTPUT_PIN,
ZEROCROSS_PIN); // Membuat objek
'dimmer' untuk mengontrol kecerahan
lampu.
#ifdef ESP32
PZEM004Tv30 pzem(Serial2, 16, 17); //
Membuat objek 'pzem' untuk sensor
energi pada ESP32 (menggunakan pin 16,
17).
#else
PZEM004Tv30 pzem(Serial2); //
Alternatif jika bukan ESP32.
#endif
```

Berikut Tabel 2 merupakan program PZEM-004T yang digunakan untuk membaca atau mengukur parameter kelistrikan seperti tegangan (volt), arus (ampere), daya (watt), dan energi (kWh)

yang dikonsumsi oleh sistem penerangan jalan dimana program ini sudah disesuaikan dengan prototipe alat penerangan jalan.

Tabel 2 Program parameter kelistrikan PZEM-004T

```
String getEnergyMessage() {
    float systemVoltage =
    pzem.voltage(); // Baca tegangan
    sistem.

    if (isnan(systemVoltage) ||
    systemVoltage < 50) { // Jika tidak
    ada tegangan (mati lampu).
        return "⚡ LISTRIK
    PADAM!\n\n"
        "⚡ Status: Tidak ada
    tegangan\n"
        "⚡ Data energi tidak
    tersedia.";
    }

    float lampVoltage = 0.0;
    if (relayState) { // Jika relay
    ON, tegangan lampu sama dengan
    tegangan sistem.
        lampVoltage = systemVoltage;
    }

    // Baca semua parameter dari
    sensor PZEM.
    float current = pzem.current();
    float power = pzem.power();
    float energy = pzem.energy();
    float frequency =
    pzem.frequency();
    float pf = pzem.pf();
    float biaya = energy * 1699.53; //
    Hitung perkiraan biaya.

    // Gabungkan semua data energi
    menjadi satu string.
    return "📊 Data Energi:\n\n"
        "⚡ Status: Normal\n"
        "🔌 Tegangan Sistem: " +
    String(systemVoltage, 2) + " V\n"
        "💡 Tegangan Lampu: " +
    String(lampVoltage, 2) + " V\n"
        "⚡ Arus: " +
    String(current, 2) + " A\n"
        "💡 Daya: " +
    String(power, 2) + " W\n"
        "📊 Energi: " +
    String(energy, 2) + " kWh\n"
        "💰 Biaya: Rp " +
    String(biaya, 2) + "\n"
        "🔄 Reset: " +
    lastEnergyResetDate;
}
```

4.3.3 Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik digunakan sebagai detektor keberadaan pengguna jalan, baik pejalan kaki maupun kendaraan. Sensor ini bekerja dengan mengirimkan gelombang ultrasonik dan mengukur waktu pantulan untuk mendeteksi jarak objek. Sensor ultrasonik akan diterapkan pada masing-masing ruas jalan. Adapun konfigurasi pin untuk masing-masing sensor adalah

sebagai berikut, di mana setiap sensor ultrasonik terdiri dari dua pin utama, yaitu pin Trigger (TRIG) untuk mengirimkan sinyal ultrasonik dan pin Echo (ECHO) untuk menerima pantulan sinyal tersebut seperti pada Tabel 3.

Tabel 3 Pin program sensor ultrasonik

```
#define TRIG_1 13 // Pin
Trigger untuk sensor ultrasonik 1
(pendeteksi gerakan/jarak).
#define ECHO_1 26 // Pin
Echo untuk sensor ultrasonik 1.
#define TRIG_2 19 // Pin
Trigger untuk sensor ultrasonik 2.
#define ECHO_2 21 // Pin
Echo untuk sensor ultrasonik 2.
#define TRIG_3 22 // Pin
Trigger untuk sensor ultrasonik 3.
#define ECHO_3 23 // Pin
Echo untuk sensor ultrasonik 3.
```

Untuk menginstal fungsi pengukuran jarak, digunakan program seperti pada Tabel 4.

Tabel 4 Program Sensor Ultrasonik Untuk Pengukuran Jarak

```
float measureDistance(int trigPin, int
echoPin) {
    digitalWrite(trigPin, LOW); //
Matikan pin Trigger.
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPin, HIGH); //
Kirim pulsa sinyal selama 10
mikrodetik.
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin, LOW);

    long duration = pulseIn(echoPin,
HIGH, 30000); // Ukur waktu pantulan
sinyal (maksimum 30ms).
    return (duration > 0) ? (duration
* 0.0349) / 2 : 0; // Konversi waktu
ke jarak (cm).
}
```

Dalam prototipe APJ, jika terdeteksi ada objek dalam jangkauan 0-3 cm maka dikategorikan sebagai pejalan kaki dan 3-35 cm dikategorikan sebagai kendaraan. Pada prototipe Jalan Bukit Dharma I Jimbaran, diberi batasan deteksi pengguna jalan 0-10 cm. Pada Jalan Bukit Dharma Raya Jimbaran, jika sensor ultrasonik mendeteksi adanya pejalan kaki, maka ESP32 akan mengirimkan informasi ke *AC Light Dimmer* untuk meningkatkan intensitas cahaya lampu sebesar 100%. Terdapat hasil penelitian kecepatan rata-rata pejalan kaki sebesar 1,28 m/detik [9]. Berdasarkan perhitungan akan didapatkan waktu menyala lampu untuk pejalan kaki sebagai berikut:

Jarak tempuh = 150 meter

Kecepatan rata-rata pejalan kaki = 1,28 m/detik.

$$\text{Waktu tempuh} = \frac{\text{Jarak tempuh}}{\text{Kecepatan rata-rata pejalan kaki}} \quad (1)$$

$$\text{Waktu tempuh} = \frac{150}{1,28} = 117,19 \approx 118 \text{ detik atau } 1 \text{ menit } 58 \text{ detik.}$$

Jadi, waktu yang diperlukan pejalan kaki untuk melintasi jalan dengan jarak 150 m adalah 1 menit 58 detik.

Pada Jalan Bukit Dharma Raya Jimbaran, jika sensor ultrasonik mendeteksi adanya kendaraan, maka ESP32 akan mengirimkan informasi ke light dimmer untuk meningkatkan intensitas cahaya lampu sebesar 100%. Berdasarkan perhitungan berikut akan didapatkan waktu menyala lampu:

Jarak tempuh = 150 meter

Kecepatan kendaraan = 30, 40, 50 dan 60 km/Jam

Tabel 5 Kecepatan kendaraan dan waktu tempuh

Kecepatan Kendaraan (km/jam)	Waktu Tempuh (detik)
20	26,9
30	18,007
40	13,5
50	10,8

Jadi, waktu yang diperlukan kendaraan untuk melintasi jalan dengan jarak 150 m adalah seperti Tabel 5, maka dari itu akan dilakukan pembulatan sehingga waktu menyala lampu untuk kendaraan paling lama adalah pada kecepatan 20km/jam yaitu selama 26,9 detik atau dibulatkan menjadi 27 detik.

Pada Jalan Bukit Dharma I Jimbaran ditetapkan durasi khusus, dimana diukur jarak terpanjang dari Jalan Bukit Dharma I Jimbaran jika pengguna jalan melalui jalur Jalan Bukit Dharma Raya Jimbaran antara ke kanan sejauh 110 m atau ke kiri sejauh 40m maka jarak terpanjangnya adalah ke kanan yaitu sejauh 110 m. Untuk menghitung durasi, maka yang digunakan adalah durasi terlama, yaitu pejalan kaki. Terdapat hasil penelitian kecepatan rata-rata pejalan kaki sebesar 1,28 m/detik [9]. Berdasarkan perhitungan akan didapatkan waktu menyala lampu sebagai berikut:

Jarak tempuh = 110 meter

Kecepatan rata-rata pejalan kaki = 1,28 m/detik

$$\text{Waktu tempuh} = \frac{\text{Jarak tempuh}}{\text{Kecepatan rata-rata pejalan kaki}} \quad (2)$$

$$\text{Waktu tempuh} = \frac{110}{1,28} = 85,92 \approx 86 \text{ detik atau } 1 \text{ menit } 26 \text{ detik.}$$

Jadi, waktu yang diperlukan pejalan kaki untuk melintasi jalan dengan jarak 150

m adalah 1 menit 26 detik. Berikut Tabel 6 merupakan program yang digunakan untuk mengatur durasi menyala lampu APJ.

Tabel 6 Logika sensor ultrasonik dan durasi menyala lampu

```
if ((sensorNum == 1 || sensorNum ==
3) && distance >= 1) {
    newDuration = (distance <=
200) ? 118000 : 27000; // Jika sangat
dekat (<200cm), durasi 118 detik. Jika
tidak, 27 detik.
    newDetectionType = (distance
<= 200) ? "Pejalan Kaki" :
"Pengendara";
}
// Logika untuk sensor 2.
else if (sensorNum == 2 &&
distance >= 1 && distance <= 10) {
    newDuration = 86000; // Durasi
tetap 86 detik.
    newDetectionType = "Objek
Terdeteksi";
}
```

Jika sistem mendeteksi objek baru dengan durasi aktif yang lebih lama dari deteksi sebelumnya, maka *timer* akan di-reset dan informasi deteksi akan diperbarui menggunakan program pada Tabel 7.

Tabel 7 Coding program sensor ultrasonik prioritas deteksi

```
if (motionDetected) {
    unsigned long remainingTime =
motionDuration - (currentTime -
motionStartTime);
    if (newDuration >
remainingTime) { // Jika durasi baru
lebih panjang, reset timer.
        motionStartTime =
currentTime;
        motionDuration =
newDuration;
        detectionType =
newDetectionType;
        activeSensor = sensorNum;
        Serial.printf("Sensor %d:
%s terdeteksi (%.0fcm) - Timer reset,
Dimmer 100%% selama %lus\n",
                        sensorNum,
newDetectionType.c_str(), distance,
newDuration / 1000);
    } else { // Jika durasi baru
lebih pendek, biarkan timer yang lama
berjalan.
        Serial.printf("Sensor %d:
%s terdeteksi (%.0fcm) - Timer tidak
direset, sisa %lus\n",
                        sensorNum,
newDetectionType.c_str(), distance,
remainingTime / 1000);
    }
} else { // Jika ini adalah
deteksi gerakan yang baru.
    motionDetected = true;
    motionStartTime = currentTime;

    // --- REVISION START ---
    // If dimmer value changes due
to motion, record the time of change
    if (dimmerValue != 100) {
```

```
        dimmerValue = 100; //
Force dimmer to 100% on motion
detection
        dimmerChangeTime =
currentTime; // Record the time of
this dimmer change
    }
    // --- REVISION END ---

    motionDuration = newDuration;
    detectionType =
newDetectionType;
    activeSensor = sensorNum;

    Serial.printf("Sensor %d: %s
terdeteksi (%.0fcm) - Dimmer 100%%
selama %lus\n",
                    sensorNum,
newDetectionType.c_str(), distance,
newDuration / 1000);

    // Atur dimmer ke 100% dan
nyalakan relay.
    dimmer.setPower(97); // Atur
ke 97% untuk keamanan dan stabilitas.
    setRelay(true);
}
```

4.3.4 AC Light Dimmer

Modul *AC Light Dimmer* ini bekerja dengan prinsip pengaturan sudut fasa yang memungkinkan penyesuaian daya yang masuk ke lampu, sehingga intensitas cahayanya bisa dikendalikan secara otomatis. ESP32 mengirimkan sinyal PWM ke dimmer untuk mengatur tingkat terang lampu, misalnya 100% saat ada pengguna jalan, 50% dan 25% saat tidak ada pengguna jalan. Pada sistem ini, *AC Light Dimmer* akan mengatur intensitas cahaya secara otomatis semisal ketika pukul 18.00-00.00 intensitas cahaya lampu menjadi 50%, pukul 00.01-06.00 intensitas cahaya lampu menjadi 25%, 0% di luar jam tersebut sesuai dengan program pada Tabel 8 yang menunjukkan prgram pengaturan intensitas cahaya berdasarkan waktu.

Tabel 8 Program mengatur intensitas cahaya berdasarkan waktu

```
int getDimmerValueForTime(int jam, int
menit) {
    // 18:00 - 23:59 WITA ->
    Intensitas 50%
    if ((jam >= 18 && jam <= 23) ||
(jam == 23 && menit <= 59)) {
        return 50;
    }
    // 00:00 - 05:59 WITA ->
    Intensitas 25%
    else if (jam >= 0 && jam <= 5) {
        // This covers 00:00 to 05:59
        return 25;
    }
    // 06:00 - 17:59 WITA ->
    Intensitas 0%
    return 0;
}
```

4.3.5 Relay 2 Channel

Dalam sistem ini, digunakan satu *relay* channel yang berfungsi sebagai pengendali utama arus listrik menuju lampu penerangan. *Relay* dikonfigurasi pada pin GPIO 25 dengan logika kendali digital, di mana kondisi ON (menyambung arus) ditentukan oleh status sistem pencahayaan. Implementasi kode dilakukan melalui fungsi `setRelay(bool state)` yang mengatur status *relay* berdasarkan nilai *dimmer* dan kondisi deteksi gerakan.

Tabel 9 Coding program kontrol *relay*

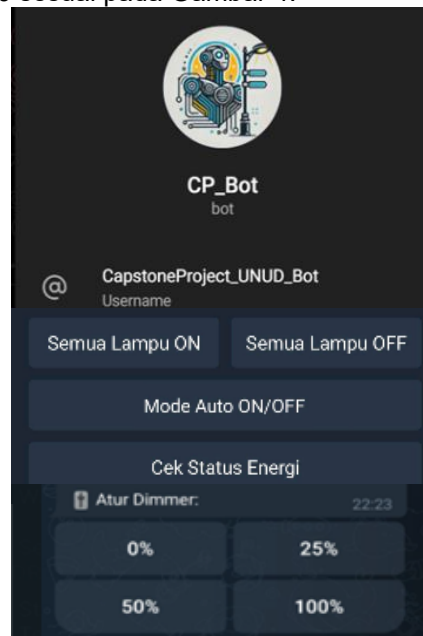
```
void setRelay(bool state) {
    relayState = state; // Simpan
    status relay saat ini.
    digitalWrite(RELAY_PIN, state ?
    HIGH : LOW); // Kirim sinyal HIGH (ON)
    atau LOW (OFF) ke pin relay.
    Serial.println("Relay " +
    String(state ? "ON" : "OFF")); //
    Cetak status ke Serial Monitor untuk
    debugging.
}
```

Pada Tabel 9, fungsi `setRelay(bool state)` bertujuan untuk mengatur status *relay* berdasarkan parameter *state* yang bertipe boolean, di mana nilai *true* menandakan *relay* akan dinyalakan, dan *false* berarti *relay* dimatikan. Baris `relayState = state;` berfungsi untuk menyimpan status terkini *relay* ke dalam variabel global `relayState`, sehingga status ini dapat dipantau atau dikirimkan ke sistem *monitoring* seperti *Telegram*. Selanjutnya, perintah `digitalWrite(RELAY_PIN, state ? HIGH : LOW);` akan memberikan sinyal digital ke pin GPIO 25—HIGH jika *state* bernilai *true* (*relay* menyala), dan LOW jika *state* bernilai *false* (*relay* mati). Kombinasi perintah ini memungkinkan kontrol *relay* dilakukan secara efisien dan terintegrasi dengan sistem *monitoring*.

4.4 Implementasi Chat Bot Telegram

Implementasi sistem *chat bot Telegram* pada prototipe Alat Penerangan Jalan (APJ) difokuskan untuk memantau dan mengendalikan tiga komponen utama, yaitu PZEM-004T, AC Light Dimmer, dan Relay 2 Channel. Chat Bot Telegram dikembangkan sebagai media komunikasi antara sistem dan pengguna, dengan tujuan untuk memudahkan pemantauan konsumsi energi serta pengaturan intensitas dan status nyala lampu secara *real-time* dan jarak jauh. Komponen PZEM-004T digunakan untuk memonitor parameter kelistrikan seperti tegangan (V), arus (A), daya (W), dan energi (kWh) yang dikonsumsi oleh sistem penerangan. Data

ini diperoleh melalui *Telegram* sebagai laporan konsumsi energi, yang dapat menjadi bahan evaluasi efisiensi sistem. Sementara itu, AC Light Dimmer diintegrasikan dengan ESP32 dan dikontrol melalui perintah yang dikirim oleh pengguna melalui *Telegram*. Pengguna dapat memilih tingkat intensitas cahaya lampu seperti 25%, 50%, atau 100% dengan hanya menekan tombol yang tersedia pada menu *chat bot Telegram*. ESP32 akan memproses perintah tersebut dan mengatur *output* PWM untuk mengatur sudut fasa pada *dimmer* sehingga intensitas cahaya berubah sesuai perintah. Relay 2 Channel digunakan sebagai kontrol on/off lampu. Platform Telegram digunakan sebagai sistem kontrol lampu pada prototipe APJ sesuai pada Gambar 4.



Gambar 4 Bot Telegram dan sistem kontrol APJ

4.5 Hasil dan Analisis Pengujian Prototipe Alat Penerangan Jalan (APJ)

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi respons sistem terhadap berbagai kondisi jalan dengan fokus pada pengendalian intensitas cahaya melalui AC Light Dimmer, serta pengukuran efisiensi berdasarkan waktu nyala dan keberadaan pengguna jalan menggunakan sensor ultrasonik. Setiap respons sistem diamati secara sistematis untuk dianalisis lebih lanjut terkait efisiensi energi, kestabilan intensitas cahaya, serta akurasi deteksi objek. Hasil dari pengujian ini menjadi dasar utama dalam menilai keberhasilan implementasi kontrol otomatis berbasis Internet of Things (IoT) pada prototipe APJ

di Jalan Bukit Dharma Raya Jimbaran. Gambar 5 merupakan proses pengujian prototipe APJ yang dilakukan dalam berbagai skenario pengguna jalan.



Gambar 5 Proses pengujian prototipe APJ

Beberapa skenario kondisi jalan telah diuji untuk melihat bagaimana sistem dijalankan. Berikut Tabel 10 merupakan hasil pengujian prototipe APJ dalam beberapa skenario.

Tabel 10 Hasil pengujian prototipe APJ

Hasil Pengujian Prototipe APJ					
Kondisi Jalan	Intensitas Cahaya (%)	Sensor Ultrasonik (cm)			Waktu (s)
		1	2	3	
Tidak ada pengguna jalan	50	0	0	0	-
Tidak ada pengguna jalan	25	0	0	0	-
Kendaraan	100	322	0	0	27
Pejalan kaki	100	0	27	0	86
Dua pengguna jalan	100	254	0	28	140

Pada kondisi tidak ada pengguna jalan, sistem secara otomatis menurunkan intensitas cahaya menjadi 50% dan 25%, bergantung pada waktu. Sensor ultrasonik tidak mendeteksi objek (nilai 0 cm), sehingga sistem mempertahankan pencahayaan minimum sebagai bentuk efisiensi energi.

Ketika sensor ultrasonik 1 mendeteksi objek pada jarak sekitar 322 cm maka dikategorikan sebagai kendaraan dan intensitas cahaya otomatis meningkat menjadi 100%, waktu penerangan selama 27 detik. Hal ini menunjukkan bahwa sistem berhasil merespons keberadaan objek bergerak dengan cepat dan efisien.

Pada skenario pejalan kaki, sistem juga meningkatkan intensitas menjadi 100%

dengan deteksi objek pada sensor ultrasonik 2 jarak 27 cm dan waktu pencahayaan mencapai 86 detik. Waktu ini lebih lama karena disesuaikan dengan kondisi Jalan Bukit Dharma I Jimbaran.

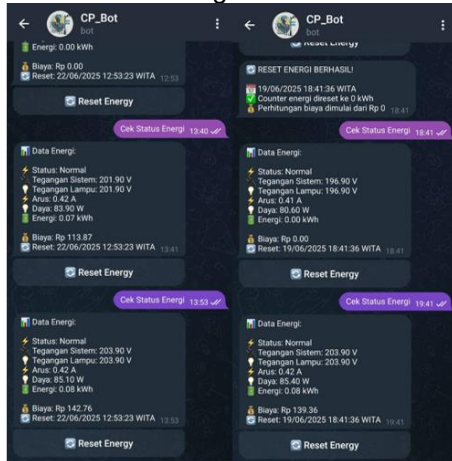
Untuk dua pengguna jalan secara bersamaan, sensor ultrasonik 1 dan 3 mendeteksi objek masing-masing (254 dan 28 cm), dan sistem terlebih dahulu memberi waktu menyala pada sensor ultrasonik 1 dan sudah berlangsung selama 22 detik. Ketika sedang berlangsung, sistem mendeteksi pejalan kaki pada sensor ultrasonik 3 dan me-reset waktu yang diprioritaskan (paling lama) yaitu pejalan kaki selama 118 detik. Sehingga total waktu menyala lampu menjadi 140 detik.

Secara keseluruhan, sistem berhasil mengatur intensitas dan waktu nyala lampu secara adaptif berdasarkan data pengguna jalan (pengendara dan pejalan kaki) dari masing-masing sensor ultrasonik dan perintah kendali mikrokontroler. Hal ini membuktikan bahwa implementasi *AC Light Dimmer* dan *Relay 2 Channel* dapat bekerja efektif dalam mendukung efisiensi energi serta penggunaan dalam kondisi nyata.

4.6 Hasil dan Analisis Pengujian Efisiensi Energi

Tahap pengujian efisiensi energi pada prototipe Alat Penerangan Jalan (APJ) dilakukan untuk menganalisis dan membandingkan konsumsi energi listrik antara kondisi menggunakan sistem efisiensi energi dan kondisi tanpa sistem efisiensi. Pengujian ini penting untuk mengetahui sejauh mana sistem yang dirancang dapat meningkatkan efisiensi energi dalam penggunaan nyata di lapangan. Pembandingan dilakukan dengan mengukur konsumsi energi secara langsung selama dua jam penuh untuk masing-masing kondisi. Pada pengujian dengan sistem efisiensi energi, intensitas cahaya diatur secara otomatis berdasarkan kebutuhan dan keberadaan pengguna jalan. Selama satu jam pertama, intensitas cahaya diatur sebesar 50% dari daya maksimum, dan pada jam kedua diturunkan menjadi 25%. Sebaliknya, pada pengujian tanpa sistem efisiensi energi, lampu dinyalakan dengan intensitas penuh 100% selama dua jam tanpa adanya pengaturan otomatis. Kondisi ini menggambarkan cara kerja sistem konvensional yang tidak mempertimbangkan efisiensi / kebutuhan nyata, sehingga konsumsi energi cenderung lebih tinggi. Perbandingan hasil pengukuran

tersebut ditampilkan pada Gambar 6 menunjukkan data konsumsi energi dalam satuan kilowatt-hour (kWh) tanpa menggunakan sistem efisiensi energi. Sedangkan, Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan data konsumsi energi dalam satuan kilowatt-hour (kWh) menggunakan sistem efisiensi energi.



Gambar 6 Pengujian tanpa menggunakan sistem (100%) selama 2 jam



Gambar 7 Pengujian menggunakan sistem (50% dan 100%) selama 1 jam



Gambar 8 Pengujian menggunakan sistem (25% dan 100%) selama 1 jam

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan, didapatkan bahwa pada saat tanpa menggunakan sistem efisiensi energi selama dua jam diperoleh energi menggunakan rumus berikut.

Konsumsi energi 100% selama 2 jam = 0,08 kWh + 0,08 kWh = 0,16 kWh.

Dengan biaya sebesar: Biaya = Rp 142,76 + Rp 139,36 = Rp 282,12.

Hasil pengukuran pada saat menggunakan sistem efisiensi energi selama 2 jam (50% selama 1 jam dan 25% selama 1 jam) diperoleh energi sebesar:

Konsumsi energi 50%+25% selama 2 jam = 0,06 kWh + 0,03 kWh = 0,09 kWh.

Dengan biaya sebesar: Biaya = Rp 98,57 + Rp 50,99 = Rp 149,56.

Hasil biaya tersebut merupakan hasil dengan menyesuaikan tarif PLN [10] untuk penerangan jalan umum sebesar Rp 1.699,53 per kWh. Untuk menghitung persentase efisiensi energi maka digunakan rumus sebagai berikut.

$$\% \text{Efisiensi Energi} = \frac{\text{Energi Awal} - \text{Energi Akhir}}{\text{Energi Awal}} \times 100\% \quad (3)$$

$$\% \text{Efisiensi Energi} = \frac{0,16 - 0,09}{0,16} \times 100\% = 43,75\%$$

Untuk menghitung penghematan biaya maka digunakan rumus sebagai berikut.

Penghematan biaya = Biaya dengan sistem - biaya tanpa sistem

$$\text{Penghematan biaya} = \text{Rp } 282,12 - \text{Rp } 149,56 = \text{Rp } 132,56.$$

Berdasarkan hasil perhitungan persentase efisiensi energi, didapatkan hasil efisiensi energi jika menggunakan sistem kontrol lampu otomatis selama 2 jam sebesar 43,75% lebih efisien energi dibandingkan dengan tanpa menggunakan sistem dan menghemat biaya sebesar Rp 132,56.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil implementasi AC *Light Dimmer* dan *Relay 2 Channel* sebagai sistem kontrol lampu otomatis pada prototipe Alat Penerangan Jalan (APJ) berbasis *Internet of Things* (IoT) sebagai upaya efisiensi energi di Jalan Bukit Dharma Raya Jimbaran, yang telah melalui tahapan perancangan, pengujian, dan analisis, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem kontrol penerangan berhasil diterapkan menggunakan AC *Light Dimmer* dan *Relay 2 Channel* yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32. Sistem ini mampu mengatur intensitas pencahayaan lampu secara

otomatis berdasarkan waktu dan keberadaan pengguna jalan. Intensitas cahaya dapat disesuaikan secara fleksibel pada level 0%, 25%, 50%, hingga 100%, baik melalui kontrol manual maupun otomatis, sehingga mendukung efisiensi energi sesuai dengan kondisi aktual di lapangan.

2. Pengukuran konsumsi energi berhasil diimplementasikan menggunakan modul PZEM-004T, yang mampu memantau parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, dan energi secara *real-time*. Data pemantauan ditampilkan melalui *platform Telegram*, memungkinkan pengguna untuk melakukan pengawasan secara jarak jauh. Berdasarkan hasil pengujian selama 2 jam, sistem ini mampu meningkatkan efisiensi energi sebesar 43,75% dan menghemat biaya listrik sebesar Rp132,56 dibandingkan dengan sistem tanpa kontrol otomatis.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mubarak, H (2016). Analisa Tingkat Kerusakan Perkerasan Jalan Dengan Metode Pavement Condition Index (Pci). Jurnal Saintis Vol.16:1.
- [2] Peraturan Menteri Perhubungan No. 47 Tahun 2023 tentang Alat Penerangan Jalan.
- [3] Aditya, L., & Harahap, A. R. (2024). RANCANG BANGUN PENERANGAN JALAN UMUMUNTUK MENGATASI KONDISI BERKABUTMENGUNAKAN SENSOR LDR DAN SENSOR KABUT BERBASIS ESP 32. Jurnal Elektro Vol.12:1.
- [4] Sucipto, S., & Karaman, J. (2020). Integration of Legalization Information System Web-Based using Shipping API and *Telegram* API. JUITA: Jurnal Informatika Vol.8:2.
- [5] Harahap, P., Pasaribu, F. I., & Adam, M. (2020). Prototype Measuring Device for Electric Load in Households Using the Pzem-004T Sensor. Budapest International Research in Exact Sciences (BirEx) Journal Vol.2:3.
- [6] Somadani, D., & Ginanjar, A. H. (2018). Prototipe Penerangan Jalan Umum (PJU) Pintar Berbasis Arduino Menggunakan Solar Panel, Sensor HC-SR04 dan Sensor LDR. Prosiding Semnastek.
- [7] Teguh Gesit Aqilla, T., & Tiara Rahmadani, T. (2021). SISTEM CERDAS LAMPU PENERANGAN JALAN BERBASIS IOT (Doctoral dissertation, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung).
- [8] SNI 7391 : 2008 Standart Penerangan Jalan
- [9] Junaedi, T. (2014). Analisis Keselamatan pejalan Kaki Pada Simpang Bersinyal. Jurnal Rekayasa Vol.18:3.
- [10] Tarif PLN Golongan P-3/ TR untuk penerangan jalan umum.