

IMPLEMENTASI API TELEGRAM SEBAGAI ANTARMUKA MANUSIA-MESIN UNTUK SISTEM MONITORING DAN NOTIFIKASI KONDISI REAL-TIME INFRASTRUKTUR PUBLIK

Joni Wijaya Fathoni¹, Ngurah Indra ER², I Wayan Sukerayasa³

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

^{2,3}Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Kampus Bukit, Jl.Raya Kampus Unud Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali 80361

Email: joniwijayaf@gmail.com¹, indra@unud.ac.id², Sukerayasa@unud.ac.id³

ABSTRAK

Penerangan Jalan Umum (PJU) merupakan komponen krusial dalam infrastruktur publik, tetapi pemeliharaan *real-time* yang kurang efektif sering kali menyebabkan deteksi kerusakan yang lambat, mengakibatkan pemborosan energi, biaya pemeliharaan tinggi, dan peningkatan risiko keselamatan. Penelitian sebelumnya telah menyoroti pentingnya sistem pemantauan proaktif berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk efisiensi energi PJU. Namun, solusi *Human-Machine Interface* (HMI) konvensional seperti aplikasi *mobile* kustom seringkali mahal dan tidak fleksibel. Penelitian ini mengusulkan implementasi *API Telegram* sebagai HMI berbiaya rendah untuk sistem pemantauan dan notifikasi kerusakan *real-time* pada PJU. Sistem ini mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 dengan sensor LDR, sensor ultrasonik, dan modul PZEM-004T untuk akuisisi data intensitas cahaya, aktivitas lalu lintas, dan konsumsi energi listrik. Telegram Bot dimanfaatkan untuk mengirimkan data pemantauan dan notifikasi kerusakan secara *real-time* kepada operator tanpa memerlukan aplikasi tambahan atau *server* khusus. Inovasi utama terletak pada penggunaan Telegram sebagai media komunikasi utama yang cepat, aman, dan efisien. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil mendeteksi dan menotifikasi kondisi lampu serta memantau konsumsi energi secara akurat, dengan notifikasi diterima dalam 1-2 detik selama koneksi internet stabil. Implementasi ini membuktikan bahwa Telegram API adalah solusi HMI yang fungsional, responsif, aman, dan hemat biaya untuk manajemen infrastruktur publik, menawarkan fleksibilitas dan kemudahan akses di berbagai platform.

Kata kunci : *API Telegram*, HMI, IoT, Penerangan Jalan Umum, Sistem Monitoring

ABSTRACT

Public Street Lighting (PJU) is a crucial component of public infrastructure, but ineffective real-time maintenance often leads to slow damage detection, resulting in energy waste, high maintenance costs, and increased safety risks. Previous research has highlighted the importance of proactive monitoring systems based on the Internet of Things (IoT) for PJU energy efficiency. However, conventional Human-Machine Interface (HMI) solutions such as custom mobile applications are often expensive and inflexible. This research proposes the implementation of the Telegram API as a low-cost HMI for a real-time monitoring and damage notification system for PJU. This system integrates an ESP32 microcontroller with an LDR sensor, ultrasonic sensor, and PZEM-004T module for acquiring data on light intensity, traffic activity, and electricity consumption. The Telegram Bot is utilized to send monitoring data and damage notifications in real-time to operators without requiring additional applications or dedicated servers. The main innovation lies in using Telegram as the primary communication medium, which is fast, secure,

and efficient. Test results show that the system successfully detects and notifies light conditions and monitors energy consumption accurately, with notifications received within 1-2 seconds as long as the internet connection is stable. This implementation proves that the Telegram API is a functional, responsive, secure, and cost-effective HMI solution for public infrastructure management, offering flexibility and ease of access across various platforms.

Key Words : Telegram API, HMI, IoT, Public Street Lighting, Monitoring System

1. PENDAHULUAN

Penerangan Jalan Umum (PJU) adalah elemen vital dalam infrastruktur publik yang mendukung keselamatan, kenyamanan, serta aktivitas ekonomi masyarakat, khususnya pada malam hari. Ketidakterjangkauannya oleh sistem pemeliharaan *real-time* menyebabkan potensi kerusakan pada lampu jalan sulit terdeteksi secara cepat, berujung pada pemborosan energi, biaya pemeliharaan tinggi, dan risiko keselamatan pengguna jalan yang meningkat.

Berbagai studi telah menekankan pentingnya sistem monitoring proaktif dan otomatis untuk mendukung efisiensi energi serta keandalan operasional PJU, terutama di wilayah urban dengan pertumbuhan kendaraan yang signifikan [1]. Integrasi sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) dalam pengelolaan PJU memungkinkan pemantauan *real-time* terhadap konsumsi energi, intensitas cahaya, serta status fungsional lampu jalan secara akurat [2]. Sistem ini biasanya menggabungkan sensor cahaya (LDR), sensor ultrasonik, serta modul monitoring seperti PZEM-004T untuk akuisisi data tegangan, arus, dan energi listrik [3].

Namun demikian, keberhasilan sistem monitoring IoT juga sangat tergantung pada keberadaan antarmuka manusia-mesin (*Human-Machine Interface/HMI*) yang praktis dan dapat diakses dengan mudah. Solusi konvensional berupa aplikasi *mobile* kustom sering kali menimbulkan masalah dalam hal biaya pengembangan, kompatibilitas *platform*, serta pemeliharaan jangka panjang. Dalam konteks ini, *platform* pesan instan seperti Telegram dengan API terbuka menawarkan solusi HMI yang efisien dan terjangkau. Bot Telegram memungkinkan pengiriman data monitoring dan notifikasi kerusakan secara *real-time* kepada operator atau pihak pemelihara, tanpa memerlukan aplikasi tambahan atau *server* berat [4].

Penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sistem HMI berbasis Telegram API sebagai bagian dari sistem

monitoring dan notifikasi kerusakan *real-time* pada alat penerangan jalan. Sistem ini diintegrasikan dengan mikrokontroler ESP32, sensor LDR, sensor ultrasonik, dan modul pengukur energi PZEM-004T, dan diuji pada lokasi studi kasus Jalan Bukit Dharma Raya, Jimbaran. Inovasi terletak pada penggunaan Telegram sebagai media utama komunikasi antarmuka, yang mampu menyampaikan status operasional perangkat dan informasi kerusakan dengan cepat, aman, dan berbiaya rendah.

Dengan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: Bagaimana merancang dan mengimplementasikan HMI yang fungsional, aman, dan berbiaya rendah untuk sistem monitoring infrastruktur menggunakan *API Telegram*?

Kontribusi utama dari penelitian ini adalah menunjukkan studi kasus end-to-end dalam mengembangkan sistem HMI *real-time* berbasis *platform* pesan instan, dari tahap desain teknis hingga evaluasi prototipe lapangan. Pendekatan ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk implementasi sistem serupa dalam konteks infrastruktur publik lain yang memiliki keterbatasan anggaran dan sumber daya.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Evolusi Antarmuka Manusia-Mesin (HMI) dalam Sistem *Internet of Things* (IoT)

Perkembangan HMI dalam sistem *Internet of Things* (IoT) mencerminkan kebutuhan akan interaksi yang semakin canggih antara manusia dan perangkat. Pada awalnya, HMI didominasi oleh panel fisik tradisional dengan tombol dan sakelar, yang meskipun andal, memiliki keterbatasan dalam hal fleksibilitas, skalabilitas, serta sulitnya proses pembaruan dan pemeliharaan.

Kemudian hadir sistem SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), yang memungkinkan pengawasan dan kontrol perangkat secara terpusat melalui antarmuka grafis. SCADA sangat efektif dalam industri berskala besar, namun

biayanya yang tinggi dan kompleksitas infrastrukturnya membuatnya kurang cocok untuk aplikasi skala kecil atau berbiaya rendah [5].

Seiring dengan kemajuan teknologi internet, *web dashboard* menjadi alternatif yang lebih fleksibel. HMI berbasis web ini memungkinkan akses data dan kontrol perangkat dari jarak jauh menggunakan browser, tanpa instalasi khusus. Kelebihannya adalah akses *multi-platform* dan kemudahan *deployment*, namun seringkali kurang responsif untuk kebutuhan kontrol *real-time* [6].

Aplikasi *mobile* menjadi bentuk HMI modern yang sangat portabel dan intuitif, mendukung notifikasi instan dan personalisasi tinggi. Namun, pengembangannya memerlukan biaya besar, penyesuaian untuk berbagai *platform* (Android/iOS), serta pemeliharaan berkala [7].

Berbagai keterbatasan dari pendekatan sebelumnya telah mendorong eksplorasi terhadap solusi HMI baru yang lebih ringan, efisien, dan mudah diimplementasikan, seperti pemanfaatan *platform* komunikasi instan seperti aplikasi Telegram yang terbukti efektif untuk aplikasi monitoring berbasis IoT pada infrastruktur publik.

2.2 Analisis Komparatif Platform Komunikasi untuk Notifikasi IoT

Platform komunikasi tradisional juga telah dieksplorasi untuk notifikasi IoT. Penelitian telah meninjau penggunaan SMS Gateway dan *Email* sebagai alternatif potensial.

1. SMS Gateway

Keunggulan utama SMS adalah jangkauannya yang sangat luas, karena tidak memerlukan koneksi internet pada perangkat penerima, dan kesederhanaan dalam pengiriman pesan teks. Hal ini menjadikannya pilihan andal untuk notifikasi mendesak di area dengan konektivitas terbatas. Keterbatasan karakter per pesan membatasi jumlah informasi yang dapat disampaikan. Biaya per pesan SMS dapat menjadi mahal untuk volume notifikasi yang tinggi. Selain itu, SMS tidak mendukung fitur interaktif atau

multimedia, sehingga kurang sesuai untuk kontrol dua arah. [8]

2. Email

Keunggulan *Email* adalah *Email* memungkinkan pengiriman informasi yang lebih panjang dan terperinci, termasuk lampiran seperti gambar atau log data. Mayoritas layanan *Email* bersifat gratis, dan riwayat komunikasi mudah dilacak. Kekurangan *Email* adalah Potensi keterlambatan dalam pengiriman dan penerimaan *Email* dapat menghambat notifikasi *real-time* yang krusial. Risiko *Email* masuk folder spam juga menjadi perhatian. *Email* memerlukan koneksi internet yang stabil dan kurang ideal untuk interaksi *real-time* atau kontrol perangkat langsung. [8]

Dibandingkan dengan *platform* tradisional ini, pesan instan seperti Telegram menawarkan keunggulan signifikan untuk notifikasi dan HMI IoT. Telegram API menyediakan *platform* komunikasi yang efisien dan dapat diakses secara luas. Notifikasi melalui pesan instan dikirimkan secara *real-time*, mendukung pengiriman multimedia (gambar, video, dokumen), serta memungkinkan fitur interaktif seperti tombol *inline* atau *custom keyboard* yang memfasilitasi kontrol dua arah. Biaya operasionalnya juga rendah karena hanya memerlukan koneksi internet, bukan biaya per-pesan. Keunggulan *multi-platform* Telegram memastikan aksesibilitas informasi dari berbagai perangkat, seperti ponsel, tablet, atau komputer, sehingga meningkatkan fleksibilitas dan efektivitas sistem monitoring Alat Penerangan Jalan (APJ) berbasis IoT.

2.3 Studi Terdahulu terkait Pemanfaatan Telegram Bot untuk Aplikasi IoT dan Kontribusi Kebaruan Penelitian

Telegram Bot telah banyak dimanfaatkan dalam pengembangan aplikasi *Internet of Things* (IoT) karena kemampuannya dalam memberikan antarmuka kontrol jarak jauh yang efisien dan mudah digunakan. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi pemanfaatan Telegram Bot dalam berbagai skenario IoT:

1. Putra et al. [9] mengembangkan sistem kendali perangkat elektronik berbasis IoT menggunakan Telegram Bot API. Sistem ini memungkinkan pengguna mengontrol perangkat seperti lampu dan kipas melalui aplikasi Telegram dengan tingkat keberhasilan 100% pada koneksi *Wi-Fi* stabil.
2. Mutiarani dan Ritonga [10] mengembangkan sistem kontrol LED berbasis IoT yang dapat diakses melalui Telegram. Sistem ini memungkinkan pengendalian pencahayaan dengan optimalisasi waktu respons dan efisiensi energi.
3. Furuqi et al. [11] merancang sistem pengendali lampu berbasis IoT menggunakan Telegram Bot untuk keperluan sekolah. Sistem ini mampu menyalakan dan mematikan lampu dengan *delay* kurang dari 60 detik, bergantung pada kualitas jaringan.
4. Saputro et al. [4] mengembangkan sistem kontrol perangkat elektronik berbasis NodeMCU yang terhubung ke Telegram Bot untuk kontrol dan pemantauan konsumsi energi listrik secara *real-time*.

Kontribusi Kebaruan Penelitian Dibandingkan dengan studi sebelumnya, kebaruan dari penelitian ini meliputi:

1. Implementasi kontrol dan monitoring pada sistem penerangan jalan umum (APJ), bukan hanya aplikasi rumah tangga, sehingga berdampak langsung terhadap efisiensi energi skala kota.
2. Integrasi sensor LDR dan ultrasonik untuk mendeteksi intensitas cahaya dan aktivitas lalu lintas, serta pengaturan tingkat *dimming* (0%–100%) secara otomatis melalui Telegram.
3. Pemantauan konsumsi energi listrik menggunakan modul PZEM-004T, yang hasilnya dikirimkan langsung ke Telegram sebagai laporan efisiensi.
4. Fitur deteksi dan notifikasi otomatis melalui Telegram terhadap kerusakan, konsumsi listrik berlebih, serta kondisi operasional lampu.

5. Sistem ini mengkombinasikan kontrol perangkat keras (*Relay, dimmer*) dengan komunikasi *cloud* melalui Telegram Bot, menciptakan sistem IoT yang lebih adaptif dan aplikatif untuk manajemen infrastruktur publik.

2.4 TELEGRAM

Telegram adalah layanan pesan instan *cloud-based* yang populer, dikenal karena kecepatan, keamanan (dengan enkripsi MTProto dan *secret chats*), serta kemampuannya yang *multi-platform*. Poin pentingnya terletak pada Bot API yang memungkinkan pengembang membuat program otomatis untuk berinteraksi dengan pengguna, mengotomatiskan tugas, dan mengintegrasikan layanan pihak ketiga. Fitur ini sangat krusial untuk aplikasi IoT karena memungkinkan HMI berbiaya rendah, notifikasi *real-time* yang efisien, dan kontrol dua arah perangkat IoT dari jarak jauh, menjadikannya solusi ideal untuk sistem monitoring dan kontrol yang responsif dan mudah diakses [9][10][11].

2.5 ESP32

ESP32 merupakan modul mikrokontroler yang dilengkapi dengan konektivitas WiFi 2,4 GHz dan *Bluetooth*, dirancang menggunakan teknologi 40 nm untuk memberikan performa radio yang optimal serta efisiensi daya yang tinggi. Modul ini mendukung *dual-mode*, memungkinkan penggunaan WiFi dan *Bluetooth* secara simultan, sehingga sangat cocok untuk berbagai proyek dan aplikasi berbasis *Internet of Things* (IoT) [13].



Gambar 1. ESP32

2.6 PZEM 004T

PZEM-004T adalah modul sensor multifungsi untuk mengukur parameter kelistrikan AC (tegangan, arus, daya, energi/kWh). Modul ini menggunakan transformator arus (CT) untuk pengukuran

non-invasif dan berkomunikasi melalui antarmuka serial TTL (UART). Harganya terjangkau, menjadikannya ideal untuk monitoring dan manajemen energi *real-time* pada proyek IoT, termasuk sistem penerangan jalan pintar, untuk deteksi konsumsi dan anomali.[16]



Gambar 2. PZEM-004T

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Jalan Bukit Dharma Raya, Desa Jimbaran, Kecamatan Kuta Selatan, Kabupaten Badung, Provinsi Bali. Jalan ini memiliki panjang 150 meter, dengan lebar masing-masing ruas jalan sebesar 3,2 meter dan lebar trotoar 2 meter di setiap sisi. Sementara itu, jalan gang yang terdapat di area tersebut memiliki lebar 4 meter. Waktu pelaksanaan penelitian berlangsung dari bulan Januari hingga Juni 2025.



Gambar 3. Ilustrasi Jln Bukit Dharma Raya, Jimbaran

3.2 Data

Data dalam penelitian ini diperoleh dari dua sumber, yaitu data primer dan data sekunder.

1. Data primer dikumpulkan melalui observasi langsung dan pengujian sistem monitoring yang menggunakan ESP32, PZEM-004T, sensor ultrasonik, LDR, AC *Light Dimmer*, dan *Relay 2 channel*. Sistem ini diuji untuk mendeteksi kerusakan dan mengirim notifikasi *real-time* melalui API

Telegram sebagai antarmuka manusia-mesin (HMI).

2. Data sekunder berasal dari jurnal, buku, *datasheet*, dan dokumen relevan yang mendukung pengembangan sistem berbasis IoT dan integrasi Telegram API pada infrastruktur publik.

3.3 Arsitektur Sistem HMI

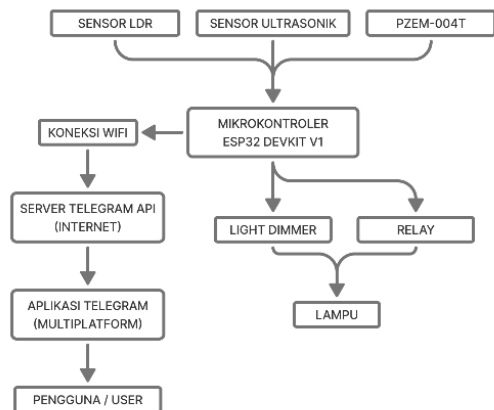
Sistem ini bertumpu pada integrasi perangkat sensor, mikrokontroler, serta antarmuka *cloud* berbasis API *Telegram*. Peran utama dalam arsitektur ini dijalankan oleh mikrokontroler ESP32 Devkit V1. ESP32 bertindak sebagai jembatan antara perangkat keras (sensor dan aktuator) dengan layanan *cloud* Telegram API. Mikrokontroler ini menerima *input* dari berbagai sensor, yaitu:

- Sensor LDR untuk mendeteksi intensitas cahaya.
- Sensor ultrasonik untuk mendeteksi keberadaan kendaraan atau pejalan kaki.
- PZEM-004T untuk membaca parameter listrik seperti arus, tegangan, daya, dan energi.

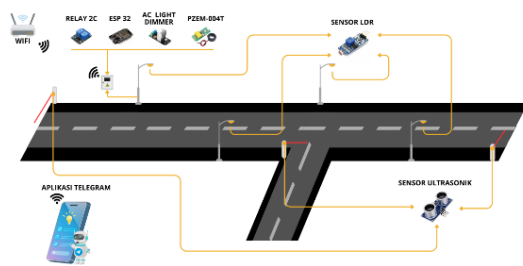
Data dari sensor-sensor ini diproses oleh ESP32 untuk menentukan tindakan selanjutnya.

Berdasarkan hasil pemrosesan, ESP32 akan mengatur intensitas pencahayaan melalui modul *Light Dimmer*. Mengontrol status ON/OFF lampu menggunakan *Relay*. ESP32 juga mengirimkan data hasil pemantauan secara *real-time* melalui koneksi WiFi ke *Server Telegram API*, yang kemudian diteruskan ke aplikasi Telegram di perangkat pengguna. Melalui aplikasi ini, pengguna dapat memantau status sistem, menerima notifikasi kerusakan, dan melakukan pengendalian dasar terhadap perangkat dari jarak jauh.

Dengan demikian, arsitektur ini memungkinkan sistem monitoring dan kendali yang efisien, fleksibel, serta berbiaya rendah, sekaligus menghadirkan kemudahan akses lintas perangkat melalui aplikasi Telegram sebagai *platform* HMI utama.



Gambar 4. Arsitektur Sistem HMI



Gambar 5. Penerapan Komponen Pada APJ

3.4 Desain Antarmuka dan Interaksi Pengguna

Antarmuka pengguna sistem dirancang menggunakan Telegram Bot yang dibangun melalui @BotFather. Untuk memperoleh Token API, pengguna cukup mengirim perintah `/newbot`, memberi nama dan *username* bot, lalu menerima token yang digunakan untuk menghubungkan ESP32 dengan layanan Telegram Bot API.

Sistem menggunakan jenis perintah text dan dua perintah tombol:

Tabel 1. Fungsi Perintah Text

Perintah	Fungsi
<code>/reguser</code> <ID_Telegram_target> <kode_rahasia_admin>	Mendaftarkan ID Telegram pengguna dari daftar akses bot.
<code>/deletuser</code> <ID_Telegram_target> <kode_rahasia_admin>	Menghapus ID Telegram pengguna dari daftar akses bot.

<code>/setldr</code> <nilai_100%> <nilai_50%> <nilai_25%> <kode_rahasia_admin>	Mengatur nilai ambang batas LDR secara manual untuk masing-masing tingkat kecerahan lampu (100%, 50%, 25%).
---	---

Tabel 2. Fungsi Tombol Keyboard Button

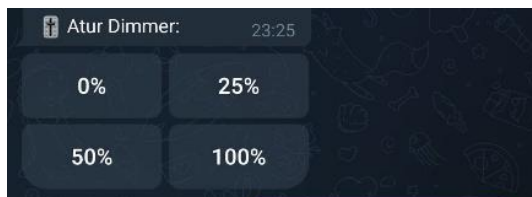
Perintah	Fungsi
<code>/start</code>	Menampilkan menu utama dan status sistem saat ini.
Semua Lampu ON	Mengaktifkan semua lampu dengan tingkat kecerahan 100% dan menghidupkan <i>Relay</i> .
Semua Lampu OFF	Mengaktifkan semua lampu dengan tingkat kecerahan 100% dan menghidupkan <i>Relay</i> .
Cek Status Sistem Sensor	Menampilkan status lengkap sistem, termasuk kondisi seluruh sensor ultrasonik, sensor cahaya LDR, dan <i>Relay</i> .
Cek Status Energi	Menampilkan data konsumsi energi listrik yang dibaca oleh modul PZEM004T.
Mode Auto ON/OFF	Mengaktifkan mode otomatis berdasarkan jadwal: <ul style="list-style-type: none"> 18:00–00:00 → 50% 00:01–06:00 → 25% 06:01–17:59 → OFF Jika terdeteksi pengguna jalan, lampu otomatis menyala 100%.
Auto LDR Setup	Melakukan kalibrasi otomatis untuk menentukan nilai ambang batas sensor LDR (Light Dependent Resistor) pada berbagai tingkat kecerahan lampu (25%, 50%, 100%).
Daftar Pengguna	Perintah ini hanya dapat diakses oleh administrator utama. Menampilkan daftar lengkap ID Telegram semua pengguna yang terdaftar dan memiliki akses ke bot.



Gambar 6. Keyboard Button

Tabel 3. Fungsi Tombol Inline Keyboard

Perintah	Fungsi
Kontrol <i>Dimmer</i> (0%, 25%, 50%, 100%)	Mengatur tingkat kecerahan lampu sesuai pilihan secara manual.
Reset Energy	Mereset perhitungan total energi (kWh) pada modul PZEM004T ke nol.



Gambar 7. Inline Keyboard Mengatur Dimmer



Gambar 8. Inline Keyboard Reset Energy

Logika pemrograman untuk memproses pesan masuk dan perintah *callback Query*

1. *processMessage*(TBMessag& msg): Untuk Perintah Teks

Pertama, bot selalu memverifikasi pengguna apakah ID pengirim termasuk

dalam daftar yang diizinkan. Jika tidak, akses akan ditolak, Pesan teks (*msg.text*) diubah menjadi huruf kecil untuk memastikan perintah dikenali, tidak peduli kapitalisasi, Bot kemudian mencari kata kunci tertentu (misal: /start, "semua lampu on", "cek status sistem sensor", "mode *auto ON/OFF*", "cek status energi").

Setiap perintah memicu aksi spesifik: menampilkan status, mengubah mode (otomatis/manual), mengontrol lampu, atau menampilkan informasi energi, Bot juga memeriksa ketersediaan listrik sebelum menjalankan perintah kontrol lampu, Jika perintah tidak dikenali, bot akan membalas dengan "Perintah tidak dikenali".

2. *processCallback*(TBMessag& msg): Untuk Tombol *Inline* (*Callback Query*)

Sama seperti pesan teks, otentikasi pengguna adalah langkah pertama, Bot mengekstrak *callbackQueryData* dari tombol yang ditekan (misal: SEMUA_LAMPU_ON, RESET_ENERGY, DIMMER_25).

Pencocokan Aksi: Data ini dicocokkan dengan konstanta yang telah ditentukan, Setiap data *callback* memicu fungsi tertentu yaitu menghidupkan/mematikan lampu, mereset data energi, atau mengatur level *dimmer*, verifikasi ketersediaan listrik juga dilakukan sebelum melakukan kontrol lampu

3.5 Impelementasi Sistem Notifikasi Proaktif

Sistem ini memicu notifikasi otomatis saat terjadi pemadaman listrik, yang dideteksi melalui sensor PZEM-004T.

1. Sistem memeriksa tegangan dari sensor setiap 10 detik.
2. Tegangan yang terbaca divalidasi; jika di bawah 50V, itu menandakan listrik padam.
3. Perubahan status listrik (dari menyala ke padam, atau sebaliknya) adalah pemicu utama.

Respon Otomatis:

Saat Mati Listrik: Pesan "⚡ MATI LAMPU!" dikirim ke semua pengguna Telegram yang terdaftar.

Saat Listrik Menyala: Pesan "⚡ LISTRIK MENYALA!" dikirim, dan lampu akan diatur ulang ke jadwal otomatis jika mode tersebut aktif.

3.6 Mekanisme Keamanan

Sistem ini menerapkan dua pilar keamanan utama yaitu otorisasi akses dan notifikasi multi-pengguna.

1. Otorisasi Akses

Pengguna hanya dapat berinteraksi dengan bot jika ID Telegram mereka terdaftar dalam *array* *authorizedUsers*. Setiap permintaan akan diperiksa oleh fungsi *isAuthorizedUser(userId)*. Jika ID pengirim tidak ditemukan, bot akan merespons dengan pesan "🚫 AKSES DITOLAK!" dan mengabaikan perintah yang diberikan. Proses verifikasi ini merupakan langkah awal yang selalu dilakukan, baik saat memproses pesan teks (*processMessage*) maupun aksi tombol *inline* (*processCallback*), memastikan keamanan dan kontrol akses bot.

2. Notifikasi Multi-Pengguna


Sistem ini dirancang untuk mengirimkan notifikasi penting secara simultan kepada semua pengguna yang terotorisasi. Fungsi *`sendNotificationToAllUsers(message)`* menjalankan tugas ini dengan mengulang daftar *`authorizedUsers`* dan mengirimkan pesan yang sama ke setiap ID. Notifikasi ini digunakan untuk memberi informasi terkait status sistem (aktif), perubahan kondisi daya (listrik padam/menyal), atau deteksi kerusakan lampu, memastikan semua pihak relevan selalu terbaru.

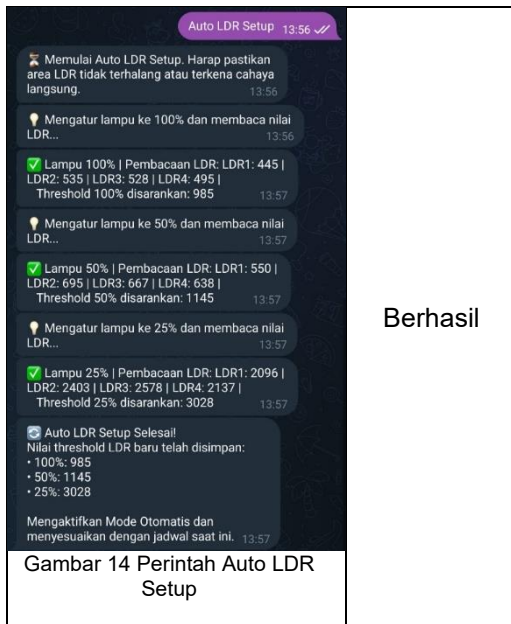
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Evaluasi Fungsionalitas HMI

Evaluasi fungsionalitas HMI berbasis Telegram Bot mencakup fitur kontrol lampu, pemantauan sensor, pengecekan status energi, pengaturan otomatis ambang batas sensor LDR, melihat daftar pengguna, serta pengiriman notifikasi. Evaluasi ini dilakukan untuk memastikan bahwa sistem bekerja dengan baik, responsif, dan mudah digunakan oleh pengguna.

Tabel 4 Bukti Keberhasilan Fungsi HMI

Pesan Bot Telegram	Keterangan
 <p>Gambar 9 Perintah Semua Lampu ON</p>	Berhasil
 <p>Gambar 10 Perintah Semua Lampu OFF</p>	Berhasil
 <p>Gambar 11 Perintah Cek Sistem Sensor</p>	Berhasil
 <p>Gambar 12 Perintah Cek Status Energi</p>	Berhasil
 <p>Gambar 13 Perintah Daftar Pengguna</p>	Berhasil



Tabel menunjukkan bahwa seluruh fitur utama pada HMI, seperti kontrol lampu, pemantauan sensor, pengecekan status energi, auto LDR setup, daftar pengguna, dan notifikasi, berjalan dengan baik. Sistem terbukti responsif, interaktif, dan tidak ditemukan bug selama pengujian.

4.2 Analisis Kinerja Notifikasi *Real-time*

Fitur notifikasi pada sistem ini diterapkan untuk memberikan informasi secara *real-time* kepada pengguna apabila terjadi pemadaman listrik atau indikasi kerusakan pada lampu. Kondisi ini dideteksi melalui sensor cahaya LDR yang membaca nilai resistansi maksimum (4095), mengindikasikan bahwa lampu tidak menyala atau mengalami gangguan.

Berdasarkan hasil pengujian, notifikasi berhasil diterima oleh pengguna dalam waktu 1–2 detik setelah kondisi padam atau kerusakan terdeteksi, selama koneksi internet pada perangkat ESP32 dalam keadaan stabil. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki respon cepat dan efektif dalam menyampaikan informasi penting kepada pengguna.

Namun, efektivitas fitur ini sangat bergantung pada:

- Konektivitas internet di sisi perangkat ESP32. Jika tidak tersedia, pengiriman notifikasi akan tertunda atau gagal.

- Ketepatan pembacaan sensor LDR dalam mendeteksi kondisi pencahayaan lampu. Jika sensor LDR memberikan nilai yang tidak akurat akibat gangguan cahaya luar atau kerusakan, maka sistem dapat salah dalam mengidentifikasi kondisi padam atau kerusakan lampu.

4.3 Keunggulan dan Keterbatasan Pendekatan HMI Berbasis Telegram

Pendekatan penggunaan Telegram Bot sebagai antarmuka manusia-mesin (HMI) dalam sistem monitoring dan kontrol infrastruktur publik menawarkan sejumlah keunggulan sekaligus menghadirkan beberapa keterbatasan.

- Keunggulan:
 1. Implementasi tidak memerlukan *server* khusus atau pengembangan aplikasi terpisah, sehingga menghemat anggaran sistem.
 2. Telegram menyediakan API yang stabil dan terdokumentasi dengan baik, memungkinkan integrasi cepat dengan mikrokontroler seperti ESP32.
 3. Aplikasi Telegram dapat diakses di berbagai perangkat (Android, iOS, desktop, web), sehingga memperluas jangkauan pengguna.
 4. Pengguna sudah terbiasa dengan Telegram, sehingga tidak memerlukan pelatihan tambahan untuk mengoperasikan sistem.
- Keterbatasan:
 1. Ketergantungan pada Pihak Ketiga: Sistem bergantung sepenuhnya pada infrastruktur dan kebijakan Telegram, yang di luar kendali pengembang.
 2. Telegram memiliki batasan dalam fleksibilitas desain antarmuka jika dibandingkan dengan aplikasi *native* khusus.
 3. Sistem memerlukan koneksi internet yang stabil, baik di sisi perangkat ESP32 maupun pengguna, agar komunikasi berjalan lancar.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian sistem, dapat disimpulkan bahwa *API Telegram* berhasil diimplementasikan secara efektif sebagai antarmuka manusia-mesin (HMI) yang fungsional, responsif, dan aman untuk sistem monitoring dan kontrol penerangan jalan berbasis IoT.

Pendekatan ini terbukti sebagai alternatif yang efisien dan hemat biaya, terutama karena tidak memerlukan pengembangan aplikasi kustom atau infrastruktur *server* tambahan. Selain itu, kemudahan akses, kecepatan pengembangan, dan antarmuka yang familiar menjadikan Telegram sangat cocok untuk aplikasi skala kecil hingga menengah.

Saran untuk pengembangan selanjutnya meliputi:

1. Eksplorasi *platform* pesan instan lainnya sebagai opsi HMI (misalnya WhatsApp, Line, atau Signal).
2. Integrasi dengan fitur Telegram yang lebih kompleks seperti pengiriman grafik, file laporan periodik, atau statistik otomatis.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sharma, M. C., Kaushik, A., Kumar, A., Pal, V., & Singh Pundir, S. 2023. A Study on IoT based Smart Street Light Systems. In *International Journal of Research Publication and Reviews Journal* Vol. 4, Issue 5.
- [2] Kumthekar, Mr. S. M. 2024. IoT Based Street Light Fault Detection and Location Tracking. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 12(4), 3363–3368.
- [3] Samuda, P., Sivachandar, K., Praveena, N. G., Nithiya, C., Kamalesh, D., & Lokesh, C. 2023. Low-cost Prototype for IoT-based Smart Monitoring through Telegram. *Proceedings - 5th International Conference on Smart Systems and Inventive Technology*. Kamble, P.P. 2023. "Low Cost Scada System for Micro Industry". *International Journal for Science Technology and Engineering*.
- [4] Gupta, S., Singh, S.P., dan Sharma, A. 2023. "Digital dashboards with paradata can improve data quality where disease surveillance relies on *real-time* data collection". *Digital Health*.
- [5] Erberich, M. 2023. "Mobile Applications in Modern Social and Cultural Educational Practices".
- [6] Ahmed, M., dan Siddique, S.M. 2017. "A Review of IoT Based SMS & Email Enabled Smart Home Automation System".
- [7] Putra, F.P., Sabirin, S., dan Soetanto, H. 2025. "Prototype of *Internet of Things*-Based Control System Using Telegram with Bot API Method". *Jurnal Syntax Transformation*, Vol. 6, No. 2.
- [8] Mutiarani, M., dan Ritonga, R.R. 2025. "IoT LED Control System Implementation and Optimization Using *Wi-Fi* Through a Telegram Bot". *Journal of Computer Science and Informatics Engineering*, Vol. 4, No. 1.
- [9] Al Furuqi, S.H., Hafsin, M.A., dan Haryono, H. 2022. "IoT-Based Remote Light Control System Using Bot Telegram Application". *Jurnal Teknik Informatika (JUTIF)*, Vol. 3, No. 6.
- [10] Saputro, M.P., Kautsar, I.A., Fitriani, A.S., dan Suprianto, S. 2024. "Pengembangan Pengendali Perangkat Elektronik dengan NodeMCU melalui Bot Telegram". *Jurnal Teknik Informasi dan Komputer (Tekinkom)*, Vol. 7, No. 1.
- [11] Jia, X. 2023. ESP32 Microcontroller.
- [12] Desmira, D. 2022. "Aplikasi Sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) untuk Efisiensi Energi pada Lampu Penerangan Jalan Umum". *PROSISKO: Jurnal Pengembangan Riset dan Observasi Sistem Komputer*, Vol. 9, No. 1.
- [13] Vukonić, L., dan Tomić, M. 2022. "Ultrasonic Sensors in IoT Applications". *International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics*.
- [14] Hussain, S.Z.R., Osman, A., Moin, M.A., dan Memon, J.A. 2021. "IoT Enabled *Real-time* Energy Monitoring and Control System". *International Conference on Smart Grid (ICSMARTGRID)*.