

***PROTOTYPE* SISTEM OTOMATISASI MANAJEMEN
OPERASIONAL BERBASIS *TRAFFIC* DAN KONTROL
PENERANGAN MENGGUNAKAN *INTERNET OF THINGS***

TUGAS AKHIR

Oleh

ZUMROTUL KHILMI

NIT: 56192030048



PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA BANDAR UDARA

PROGRAM SARJANA TERAPAN

POLITEKNIK PENERBANGAN PALEMBANG

JULI 2024

***PROTOTYPE* SISTEM OTOMATISASI MANAJEMEN
OPERASIONAL BERBASIS *TRAFFIC* DAN KONTROL
PENERANGAN MENGGUNAKAN *INTERNET OF THINGS***

TUGAS AKHIR

Karya tulis sebagai salah satu syarat lulus pendidikan
Program Sarjana Terapan
Teknologi Rekayasa Bandar Udara

Oleh

ZUMROTUL KHILMI

NIT: 56192030048



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA BANDAR UDARA
PROGRAM SARJANA TERAPAN
POLITEKNIK PENERBANGAN PALEMBANG
JULI 2024**

ABSTRAK

PROTOTYPE* SISTEM OTOMATISASI MANAJEMEN OPERASIONAL BERBASIS *TRAFFIC* DAN KONTROL PENERANGAN MENGGUNAKAN *INTERNET OF THINGS

Oleh:

ZUMROTUL KHILMI

NIT: 56192030048

**Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara
Program Sarjana Terapan**

Teknologi telah menjadi pilar utama dalam perkembangan industri penerbangan dan operasional bandara. Salah satu aspek penting adalah sistem penerangan di terminal penumpang. Penelitian ini bertujuan mengembangkan prototype sistem otomatisasi manajemen operasional berbasis *traffic* dan kontrol penerangan menggunakan *Internet of Things* (IoT) untuk meningkatkan efisiensi energi dan memudahkan proses pengisian data manajemen operasional. Metode penelitian yang digunakan adalah Research and Development (R&D) model Borg dan Gall, mencakup enam tahap: potensi dan masalah, pengumpulan data, desain produk, validasi desain, revisi desain, dan uji coba produk. Data dikumpulkan melalui wawancara dan observasi langsung di Bandar Udara Internasional Juanda. Hasil menunjukkan bahwa sistem otomatisasi ini mampu meningkatkan efisiensi energi, mengurangi beban kerja manual, dan menyediakan data *real-time* yang akurat. Prototype menggunakan *mikrokontroler* ESP8266, modul relay 3.3V 2-channel, sensor arus PZEM-004T, aplikasi Blynk untuk kontrol jarak jauh, dan Google Spreadsheet untuk monitoring data. Implementasi sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi operasional dan mendukung pengelolaan energi ramah lingkungan di bandara.

Kata kunci: IoT, MOT, kontrol penerangan, efisiensi energi, ESP8266, Blynk, Google Spreadsheet.

ABSTRACT

PROTOTYPE OF AN AUTOMATION SYSTEM FOR OPERATIONAL MANAGEMENT BASED ON TRAFFIC AND LIGHTING CONTROL USING THE INTERNET OF THINGS

By:

ZUMROTUL KHILMI

NIT: 56192030048

***Airport Engineering Technology Studies Program
Applied Bachelor`S Program***

Technology has become a key pillar in the development of the aviation industry and airport operations. One important aspect is the lighting system in passenger terminals. This study aims to develop a prototype of an automated operational management system based on traffic and lighting control using the Internet of Things (IoT) to enhance energy efficiency and simplify the operational management data entry process. The research method used is Research and Development (R&D) with Borg and Gall's model, encompassing six stages: potential and problems, data collection, product design, design validation, design revision, and product testing. Data were collected through interviews and direct observation at Juanda International Airport. The results indicate that this automation system can improve energy efficiency, reduce manual workload, and provide accurate real-time data. The prototype utilizes an ESP8266 microcontroller, 3.3V 2-channel relay module, PZEM-004T current sensor, Blynk application for remote control, and Google Spreadsheet for data monitoring. The implementation of this system is expected to enhance operational efficiency and support environmentally friendly energy management at airports. Keywords: Internet of Things (IoT), Traffic -based operational management (MOT), lighting system, energy efficiency, automation, airport.

Keywords: IoT, MOT, lighting control, energy efficiency, ESP8266, Blynk, Google Spreadsheet.

PENGESAHAN PEMBIMBING

Tugas akhir : “*PROTOTYPE* SISTEM OTOMATISASI MANAJEMEN OPERASIONAL BERBASIS *TRAFFIC* DAN KONTROL PENERANGAN MENGGUNAKAN *INTERNET OF THINGS*” telah diperiksa dan disetujui untuk diuji sebagai salah satu syarat lulus Pendidikan Program Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Bandar Udara Angkatan Ke-01, Politeknik Penerbangan Palembang.



Nama : ZUMROTUL KHILMI

NIT : 56192030048

PEMBIMBING I

PEMBIMBING II

SUNARDI, S.T., M.Pd., M.T

Penata Tk.1 (III/d)

NIP: 19720217 199501 1 001

GANDA RUSMANA, S.Si.T., M.M.

Pembina (IV/a)

NIP: 19710314 199301 1 002

KETUA PROGRAM STUDI

Ir. M. INDRA MARTADINATA, S.ST., M.Si.

Pembina (IV/a)

NIP. 19810306 200212 1 001

PENGESAHAN PENGUJI

Tugas Akhir : “*PROTOTYPE* SISTEM OTOMATISASI MANAJEMEN OPERASIONAL BERBASIS *TRAFFIC* DAN KONTROL PENERANGAN MENGGUNAKAN *INTERNET OF THINGS*” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Tugas Akhir Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara Program Sarjana Terapan Angkatan Ke-01, Politeknik Penerbangan Palembang- Palembang. Tugas Akhir Ini Telah Dinyatakan LULUS Program Sarjana Terapan pada Tanggal 25 Juli 2024.

KETUA



Ir. M. INDRA MARTADINATA, S.ST., M.Si.
Pembina (IV/a)
NIP: 19810306 200212 1 001

SEKRETARIS



SUNARDI, S.T.,M.Pd.,M.T
Penata Tk.1 (III/d)
NIP: 19720217 199501 1 001

ANGGOTA



Dr. Ir. SETIYO, M.M.
Pembina Tk.1 (IV/b)
NIP: 19601127 198002 1 001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Zumrotul Khilmi

NIT : 56192030048

Program Studi : Teknologi Rekayasa Bandar Udara Sarjana Terapan

Menyatakan bahwa tugas akhir berjudul "*PROTOTYPE SISTEM OTOMATISASI MANAJEMEN OPERASIONAL BERBASIS TRAFFIC DAN KONTROL PENERANGAN MENGGUNAKAN INTERNET OF THINGS*" merupakan karya asli saya bukan merupakan hasil plagiarisme. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya, dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan tidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi berupa pencabutan gelar akademik dari Politeknik Penerbangan Palembang.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Palembang, 25 Juli 2024

Yang membuat pernyataan



Zumrotul Khilmi
NIT: 56192030048

PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir Program Sarjana Terapan yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di perpustakaan politeknik penerbangan Palembang, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada pengarang dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di politeknik penerbangan Palembang. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin pengarang dan harus disertai dengan kaidah ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Sitasi hasil penelitian tugas akhir ini dapat ditulis dalam bahasa Indonesia sebagai berikut:

Khilmi, Z. (2024). *PROTOTYPE SISTEM OTOMATISASI MANAJEMEN OPERASIONAL BERBASIS TRAFFIC DAN KONTROL PENERANGAN MENGGUNAKAN INTERNET OF THINGS*, Tugas Akhir Program Sarjana Terapan, Politeknik Penerbangan Palembang.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh tugas akhir haruslah seizin Ketua program studi teknologi rekayasa bandar udara, politeknik penerbangan Palembang.

Dipersembahkan kepada
Ayahanda Mufron, Ibunda Imroatul Mufida, Abang Tercinta Agung Hanifudin
Ismail, dan Adik Tercinta Baharudin Malik Ardian dan Malika Aziza

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "*PROTOTYPE* Sistem Otomatisasi untuk Manajemen Operasional Berbasis *Traffic* dan Kontrol Penerangan Menggunakan *Internet of Things*". Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menempuh pendidikan di Politeknik Penerbangan Palembang dan memperoleh gelar Sarjana Terapan (S.Tr.T).

Penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan lindungan-Nya selama penulis menjalani proses penyusunan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua, atas doa, semangat, dan dukungan baik secara materi maupun moril yang tiada henti.
3. Keluarga dan saudara, atas doa dan dukungannya yang selalu memberikan semangat.
4. Bapak Sukahir, S.Si.T., M.T., selaku Direktur Politeknik Penerbangan Palembang.
5. Bapak M. Indra Martadinata, S.ST., M.Si., selaku Ketua Program studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara.
6. Bapak Sunardi, S.T.,M.Pd.,M.T selaku Pembimbing 1 Tugas Akhir.
7. Bapak Ganda Rusmana, S.Si,T.,M.M., selaku Pembimbing 2 Tugas Akhir.
8. Seluruh dosen dan civitas akademika Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara, atas ilmu, bimbingan, dan dukungannya selama ini.
9. Teman-teman echo 205 yang selalu memberi dukungan dan semangat saat penulis jenuh.
10. Teman-teman Taruni angkatan 01 alpha dan Bravo yang telah mendukung, menghibur dan memberi saran saat penulis kebingungan dan bosan.
11. Seluruh Rekan-rekan taruna/i Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara, atas kerja sama dan dukungan yang telah diberikan selama proses belajar.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun dari semua pihak sangat diharapkan demi perbaikan di masa mendatang. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membutuhkan, khususnya bagi para personel dan taruna/i TRBU.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	III
ABSTRACT	IV
PENGESAHAN PEMBIMBING	V
PENGESAHAN PENGUJI	VI
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	VII
PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR	VIII
KATA PENGANTAR	X
DAFTAR ISI	XI
DAFTAR GAMBAR	XIII
DAFTAR TABEL	XIV
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	4
C. Tujuan	5
D. Manfaat Penulisan	5
E. Batasan Masalah	5
F. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Teori Penunjang	7
1. Prototype	9
2. Penerangan	9
3. Kontrol	10
4. Monitoring	12
5. <i>Internet of Things</i> (IoT)	13
1. Tegangan	19
6. Energi	19
B. Kajian Terdahulu	22
BAB III METODE PENELITIAN	25
A. Desain Penelitian	25
B. Prosedur Penelitian	26
C. Perancangan Alat	27
D. Desain Alat	28
E. Teknik Pengujian	29
F. Teknik Analisis	30

G.	Tempat dan Waktu Penelitian	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		31
A.	Hasil Penelitian.....	31
B.	Tahapan Potensi Masalah	31
1.	Sistem yang berjalan saat ini	31
2.	System yang diinginkan	32
C.	Penelitian dan Pengumpulan Data.....	33
1.	wawancara	33
2.	Observasi Partisipatif	33
D.	Desain Produk	34
1.	Desain Perangkat Keras.....	34
E.	Validasi Desain.....	37
F.	Revisi Desain	38
G.	Pengembangan Desain	39
H.	Pengujian Alat	45
1.	Pengujian Kontrol Melalui Aplikasi Blynk	46
2.	Pengujian Monitoring Melalui Google Spreadsheet	47
I.	Hasil pengujian.....	48
1.	Relay.....	49
2.	Esp8266	50
3.	Pzem-004T	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		52
A.	KESIMPULAN	52
B.	SARAN	52
DAFTAR PUSTAKA		53
LAMPIRAN.....		61

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 laporan harian personil	12
Gambar II. 2 NodeMcu ESP8266	16
Gambar II. 3 Relay 3.3V 2-channel	17
Gambar II. 4 Modul PZEM-004T	20
Gambar II. 5 LED 10 watt	20
Gambar II. 6 Kabel.....	22
Gambar III. 1 Flowchart Desain Penelitian	25
Gambar III. 2 Flowchart Perangkaian Alat	28
Gambar III. 3 Desain Alat	28
Gambar IV. 1 Desain Perangkat Keras.....	35
Gambar IV. 2 <i>Flowchart</i> Desain Perangkat Keras	37
Gambar IV. 3 <i>Flowchart</i> Revisi Desain	39
Gambar IV. 4 Pengembangan Desain.....	40

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Datasheet ESP8266.....	15
Tabel II. 2 spesifikasi Relay 3.3V 2-channel	17
Tabel II. 3 karakteristik dan spesifikasi PZEM-004T	18
Tabel II. 4 LED 10 watt.....	21
Tabel II. 5 spesifikasi kabel.....	21
Tabel III. 1 Waktu Penelitian.....	30
Tabel IV. 1 keterangan pada rangkaian.....	35
Tabel IV. 2 keterangan komponen.....	39
Tabel IV. 3 komponen penyempurnaan.....	49

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Lembar Bimbingan Tugas Akhir	61
Lampiran 2 Pembuatan dan Percobaan Alat	63
Lampiran 3 Arduino IDE	64
Lampiran 4 Turnitin	68
Lampiran 5 Laporan Harian APS	69

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Teknologi telah menjadi pilar utama dalam perkembangan industri penerbangan dan operasional bandara. Perkembangan teknologi di sektor ini tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional tetapi juga meningkatkan keselamatan, kenyamanan, dan kecepatan layanan bagi penumpang. Adopsi teknologi canggih dalam operasional bandara dan penerbangan mencakup berbagai aspek, mulai dari sistem keamanan, manajemen lalu lintas udara, hingga pelayanan penumpang. Penggunaan teknologi seperti *Internet of Things* (IoT), Big Data, dan Machine Learning dalam operasional bandara memungkinkan pengumpulan dan analisis data dalam jumlah besar. Hal ini memungkinkan pengelola bandara untuk memprediksi dan mengelola lalu lintas udara serta penumpang dengan lebih efektif.

Sistem penerangan di terminal penumpang bandara memegang peranan penting dalam memastikan keamanan, kenyamanan, serta efisiensi operasional bandara. Pencahayaan bandara sangat penting, terutama di terminal untuk kenyamanan penumpang. Penerangan yang baik dapat meningkatkan efisiensi operasional di terminal. Penerangan yang cukup membantu penumpang untuk bergerak dengan mudah, menemukan rute, membaca tanda-tanda petunjuk, dan mengakses fasilitas bandara dengan lebih mudah. Hal ini dapat mempercepat pergerakan penumpang dan mengurangi kepadatan di area terminal. Penggunaan teknologi pencahayaan yang efisien dapat membantu mengurangi konsumsi energi dan biaya operasional bandara. Sesuai dengan PM No.178 tahun 2015, area terminal bandara harus memiliki standar pencahayaan antara 200-250 lux, area bagasi antara 250-300 lux, dan toilet antara 100-150 lux (Pelayanan & Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 178 Tahun 2015 Tentang Standar Pelayanan, 2015).

Pandemi COVID-19 yang mulai menyebar secara global sejak awal tahun 2020 telah memberikan dampak signifikan pada banyak sektor, termasuk industri penerbangan. Salah satu dampak paling nyata adalah penurunan drastis jumlah penumpang pesawat. Penurunan ini disebabkan oleh beberapa faktor utama, yakni pembatasan perjalanan yang diterapkan oleh pemerintah dunia, kekhawatiran masyarakat terhadap risiko penularan virus, serta penutupan sejumlah tujuan wisata dan bisnis. Menghadapi tantangan pandemi COVID-19 pada tahun 2020, Angkasa Pura I mencatat penurunan

jumlah penumpang sebesar 59% dibandingkan dengan tahun 2019. Untuk mengurangi beban pengeluaran, perusahaan meluncurkan program optimalisasi yang mencakup peningkatan kinerja petugas serta efisiensi dalam pemeliharaan, utilitas, dan penyewaan peralatan. Salah satu fokus utama dalam program ini adalah efisiensi penggunaan peralatan listrik dan elektronik.

Pandemi COVID-19 yang mulai menyebar secara global sejak awal tahun 2020 telah memberikan dampak signifikan pada banyak sektor, termasuk industri penerbangan. Salah satu dampak paling nyata adalah penurunan drastis jumlah penumpang pesawat. Penurunan ini disebabkan oleh beberapa faktor utama, yakni pembatasan perjalanan yang diterapkan oleh pemerintah dunia, kekhawatiran masyarakat terhadap risiko penularan virus, serta penutupan sejumlah tujuan wisata dan bisnis. Menghadapi tantangan pandemi COVID-19 pada tahun 2020, Angkasa Pura I mencatat penurunan jumlah penumpang sebesar 59% dibandingkan dengan tahun 2019. Untuk mengurangi beban pengeluaran, perusahaan meluncurkan program optimalisasi yang mencakup peningkatan kinerja petugas serta efisiensi dalam pemeliharaan, utilitas, dan penyewaan peralatan. Salah satu fokus utama dalam program ini adalah efisiensi penggunaan peralatan listrik dan elektronik.

Manajemen Operasional Berbasis *Traffic* (MOT) bertujuan untuk menekan pengeluaran salah satunya dari beban pemeliharaan dan beban utilitas di sektor peralatan listrik dalam bandar udara, tetapi juga memberikan dampak positif dalam upaya konservasi energi secara lebih luas. Sistem ini membantu memastikan penggunaan energi dilakukan secara optimal dan efisien melalui pencatatan dan pengawasan yang ketat. Dengan implementasi MOT yang baik, dapat dipastikan bahwa sumber daya energi yang digunakan akan sesuai dengan kebutuhan nyata, menghindari pemborosan dan mengurangi jejak karbon dari kegiatan operasional bandar udara. Hal ini berkaitan dengan peraturan pemerintah nomor 33 tahun 2023 dalam mewujudkan penggunaan energi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Manajemen Operasional Berbasis *Traffic* (MOT) juga dapat membawa manfaat tambahan dari aspek manajerial dengan menyediakan data yang akurat terkait penggunaan energi dan waktu operasional perangkat di terminal penumpang. Data ini bisa menjadi referensi berharga bagi manajemen dalam pengambilan keputusan strategis, baik dalam perencanaan anggaran maupun dalam perumusan kebijakan operasional yang lebih efektif. Dengan demikian, program MOT bukan hanya sebuah alat pengendali, tetapi juga sebagai sumber informasi yang dapat meningkatkan transparansi dan akuntabilitas dalam pengelolaan energi di lingkungan bandar udara. Implementasi yang baik dari sistem ini

diharapkan akan menciptakan sinergi antara efisiensi energi dan produktivitas operasional yang akhirnya berdampak positif bagi seluruh pemangku kepentingan.

Prosedur pengisian Manajemen Operasional Berbasis *Traffic* (MOT) yang masih dilakukan secara manual menimbulkan sejumlah kompleksitas. Saat ini, teknisi lapangan (APS) menerima format MOT melalui grup WhatsApp. Setelah menyelesaikan tugas yang telah diinstruksikan melalui format tersebut, mereka harus mengirim kembali format yang telah diisi kepada supervisor. Proses berlanjut dengan Supervisor yang harus mengetik ulang data ke Google Spreadsheet. Sistem ini tidak hanya membuat alur kerja menjadi panjang, tetapi juga rawan akan kesalahan input. Kesalahan tersebut bisa jadi berasal dari kelupaan teknisi lapangan (APS) dalam mengisi format di grup WhatsApp atau dari proses pengetikan ulang oleh supervisor.

Masalah utama yang sering muncul dari prosedur ini adalah keterlambatan dalam pelaporan kepada Airport Operation Center Head (AOCH). Keterlambatan ini umumnya disebabkan oleh beban kerja teknisi lapangan (APS) yang sangat tinggi serta kekurangan personel. Akibat dari keterlambatan dan ketidakakuratan tersebut, data yang dilaporkan menjadi kurang reliabel untuk pengambilan keputusan operasional di lapangan. Oleh karena itu, penerapan sistem yang lebih otomatis dan terintegrasi sangat penting untuk memastikan efisiensi dan akurasi dalam manajemen operasional berbasis *Traffic*. Meskipun demikian, beberapa permasalahan tambahan juga perlu diatasi untuk menjaga kelancaran operasional. Jarak antara panel penerangan yang berjauhan menyulitkan kontrol dan pemeliharaan, sementara kekurangan personel dengan hanya tiga orang yang bertugas menjadi tantangan signifikan. Dalam situasi mendesak, seperti pemadaman penerangan bersamaan dengan masalah di tenant lain, personel sering kali kewalahan. Selain itu, kelupaan dalam pengisian MOT juga menambah kompleksitas dalam manajemen operasional.

Terminal 1 Bandara Juanda adalah salah satu terminal yang menghadapi tantangan signifikan dalam manajemen operasionalnya. Terminal ini memiliki berbagai jenis lampu yang mendukung aktivitas operasional sehari-hari. Lampu-lampu ini termasuk TL LED 16W dengan jumlah 1515, TL LED 8W dengan jumlah 673, TL RING 32W dengan jumlah 96, TL RING 22W dengan jumlah 4, SPOTLIGHT 38W dengan jumlah 56, dan HIGH MAST 400W dengan jumlah 100.

Khusus untuk lampu BULB LED 10W, diperlukan pengelolaan yang efisien mengingat jumlahnya yang sangat banyak. Dari 1741 unit BULB LED 10W yang ada, diperlukan

pengelompokan dan strategi pengendalian yang tepat agar penerangan dapat diatur sesuai kebutuhan tanpa memboroskan energi. Pengelompokan ini akan mempermudah dalam pengelolaan dan pemantauan, memastikan setiap area mendapatkan penerangan yang sesuai standar dan efisien.

Untuk mengoptimalkan pengisian Manajemen Operasional Berbasis *Traffic* (MOT) dan tugas teknisi lapangan, peneliti membuat perencanaan pembuatan alat yang memanfaatkan relay 2 channel 10A, modul PZEM (Power/Energy Meter), dan *mikrokontroler* ESP8266. Alat ini akan memungkinkan pengendalian lampu secara otomatis melalui aplikasi Blynk dan pencatatan MOT di Google Sheets, mencakup data waktu, daya, dan status gerbang (on/off). Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi energi dengan mengatur intensitas penerangan secara dinamis dan memungkinkan pengelolaan yang lebih baik melalui pemantauan dan pengontrolan jarak jauh.

Pengontrolan lampu melalui aplikasi Blynk akan memberikan fleksibilitas dalam manajemen penerangan. Aplikasi ini memungkinkan teknisi untuk menghidupkan dan mematikan lampu sesuai kebutuhan dari jarak jauh, mengurangi ketergantungan pada kontrol manual yang memakan waktu. Selain itu, pencatatan MOT di Google Sheets akan mencakup data penting seperti waktu, daya yang digunakan, dan status gerbang (on/off), memberikan visibilitas yang lebih baik terhadap penggunaan energi dan kondisi operasional.

Dengan pertimbangan tersebut, proyek ini mengangkat judul “*Prototype* Sistem Otomatisasi Manajemen Operasional Berbasis *Traffic* dan Kontrol Penerangan Menggunakan Internet Of Things.” Proyek ini tidak hanya akan memberikan manfaat praktis bagi Terminal 1 Bandara Juanda, tetapi juga berkontribusi signifikan dalam otomatisasi manajemen operasional dan kontrol penerangan berbasis IoT. Dengan penerapan sistem yang lebih otomatis dan terintegrasi, diharapkan efisiensi dan akurasi dalam pengelolaan penerangan dan manajemen operasional di Terminal 1 Bandara Juanda dapat tercapai, memberikan pengalaman yang lebih baik bagi penumpang dan operator bandara.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah disampaikan, penulis identifikasi masalah utama sebagai berikut: bagaimana merancang dan membangun sistem otomatisasi yang mengintegrasikan manajemen operasional berbasis *Traffic* dan kontrol penerangan

menggunakan *Internet of Things* (IoT) untuk meningkatkan efisiensi energi secara optimal?

C. Tujuan

Adapun tujuan penelitian yang penulis ingin dapat dari hasil rancangan adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui cara merancang *Prototype* pengontrolan penerangan jarak jauh.
2. Dapat mengetahui cara pengisian otomatis Manajemen Operasional Berbasis *Traffic* (MOT).

D. Manfaat Penulisan

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Prototype* ini dapat berfungsi sebagai media pembelajaran untuk para taruna/taruni jurusan Teknologi Rekayasa Bandar Udara.
2. Meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan penerangan di Terminal Bandara. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi peneliti lain yang tertarik dalam mengembangkan sistem penerangan berbasis IoT.

E. Batasan Masalah

Berdasarkan pokok masalah maka dengan itu batasan masalah sebagai berikut:

1. *Prototype* ini hanya menjadi alat simulasi sistem otomatisasi untuk manajemen operasional berbasis *Traffic* dan kontrol penerangan menggunakan *Internet of Things*

F. Sistematika Penulisan

BAB I : PENDAHULUAN

Dalam bab ini berisi tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan dan manfaat, serta sistematika penulisan.

BAB II : LANDASAN TEORI

Dalam bab ini berisi tentang landasan teori yang digunakan penulis sebagai pembahasan dan kajian penelitian yang relevan.

BAB III : METODE PENELITIAN

Dalam bab ini berisi tentang waktu dan tempat penelitian, desain dan cara kerja alat, perancangan alat dan teknik.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini berisi penjelasan hasil sistem yang digunakan berupa gambaran umum mengenai rancangan dari penelitian yang akan dibuat.

BAB V : PENUTUP

Dalam bab ini membahas tentang kesimpulan dan saran selama proses pengerjaan peralatan yang merupakan inti dari tugas akhir ini untuk ke depannya agar bisa dibuat lebih baik lagi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Teori Penunjang

Bandar Udara Internasional Juanda, yang terletak di Surabaya, Jawa Timur, merupakan salah satu bandara tersibuk di Indonesia dengan kapasitas besar dan fasilitas modern. Bandara ini melayani penerbangan domestik dan internasional dan terdiri dari dua terminal utama: Terminal 1 untuk penerbangan domestik dan Terminal 2 untuk penerbangan internasional serta beberapa penerbangan domestik. Data dari Angkasa Pura I menunjukkan bahwa jumlah penumpang di Terminal Juanda mencapai 20,5 juta pada tahun 2018, turun menjadi 8,6 juta pada tahun 2020 akibat pandemi, namun kembali meningkat menjadi 18,2 juta pada tahun 2023. Seiring dengan bertambahnya jumlah penumpang, kebutuhan penerangan yang memadai juga meningkat untuk memastikan kenyamanan dan keamanan penumpang di berbagai area bandara. Penerangan yang efektif harus memenuhi standar intensitas antara 200 hingga 300 lux dan sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 77 Tahun 2015.

Namun, pengelolaan penerangan di bandara menghadapi beberapa tantangan, termasuk keterlambatan pelaporan Manajemen Operasional Berbasis *Traffic* (MOT) kepada Airport Operation Center Head (AOCH) yang disebabkan oleh beban kerja teknisi lapangan yang tinggi dan kekurangan personel. Keterlambatan dan ketidakakuratan laporan membuat data yang diterima kurang reliabel untuk pengambilan keputusan operasional. Masalah lainnya adalah jarak antara panel penerangan yang menyulitkan kontrol dan pemeliharaan serta jumlah personel yang terbatas seringkali membuat mereka kewalahan dalam situasi mendesak. Untuk mengatasi masalah ini, peneliti merencanakan pembuatan alat berbasis relay 2 channel 10A, modul PZEM, dan *mikrokontroler* ESP8266. Alat ini akan mengotomatiskan pengendalian lampu melalui aplikasi *Blynk* dan pencatatan data Manajemen Operasional Berbasis *Traffic* (MOT) di Google Sheets. Dengan sistem ini, pengaturan intensitas penerangan dapat dilakukan secara dinamis dan pengelolaan dapat dilakukan lebih efisien melalui pemantauan dan pengontrolan jarak jauh, meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi ketergantungan pada kontrol manual.

1. Manajemen Operasional Berbasis *Traffic* (MOT)

Program Manajemen Operasi Berbasis *Traffic* (MOT) yang diadakan oleh Angkasa Pura I merupakan sistem digitalisasi penghitungan dan pencatatan penggunaan listrik pada

terminal Juanda. Dengan adanya MOT, Angkasa Pura I dapat memperkirakan biaya kebutuhan listrik bandara secara detail, baik harian maupun bulanan. Proses ini sangat membantu mereka dalam mengelola pengeluaran operasional secara lebih efisien dan terstruktur. Berdasarkan laman resmi Angkasa Pura Airports, pada triwulan III tahun 2023, perusahaan mencatat laba bersih sebesar Rp 802 miliar, meningkat 172% dibandingkan periode yang sama tahun sebelumnya. Implementasi MOT sebagai strategi efisiensi biaya operasional terbukti berkontribusi signifikan dalam membatasi pengeluaran dan meningkatkan profit. Berdasarkan surat dari Direktur Utama Angkasa Pura I bernomor API. 7497/KB.02.01/2022/DU-B, ada tiga prosedur utama dalam pelaksanaan MOT: perencanaan (pre-operation), pelaksanaan (in-operation), dan evaluasi (post-operation).

Prosedur perencanaan, atau pre-operation, melibatkan beberapa langkah penting. Pertama, Airport Services Supervisor (ASS) menerima jadwal penerbangan harian (Daily Flight Schedule) dari maskapai dan ground handling, kemudian melakukan plotting penggunaan berbagai fasilitas seperti parking stand dan aviobridge. Selanjutnya, Passenger Services Supervisor (PSS) merancang penggunaan gate tol, parkir kendaraan, dan berbagai fasilitas lainnya di area darat dan terminal. Di sisi lain, Airport Security Services Supervisor (ASSS) mengatur penggunaan mesin X-ray dan penempatan personel keamanan. Data ini kemudian dikompilasi oleh Supervisor Teknik untuk menyiapkan fasilitas dan peralatan operasional yang diperlukan, yang kemudian disampaikan kepada Airport Operations Center Head (AOCH).

Pelaksanaan atau in-operation dilakukan oleh AOCH bersama timnya melalui pertemuan harian (Daily Meeting) di Airport Operations Control Center (AOCC). Pertemuan ini membahas kesesuaian plotting penggunaan fasilitas serta jumlah dan penempatan personel. Jika ditemukan ketidaksesuaian, plotting akan diulang hingga didapat keselarasan yang pas. Selanjutnya, AOCH mendistribusikan hasil pertemuan kepada unit kerja terkait untuk dilaksanakan sesuai jadwal. Setiap unit kerja melaksanakan tanggung jawab operasional masing-masing, dan laporan mengenai operasional ini dijadikan bahan evaluasi oleh AOCH.

Tahap evaluasi atau post-operation mencakup pelaporan hasil operasional harian dari setiap unit kerja kepada AOCH. Laporan ini meliputi data realisasi *Traffic* penerbangan, penggunaan fasilitas, serta jumlah personel yang bertugas. Anggaran langsung (direct

cost) terutama untuk kebutuhan listrik tercatat dengan detail, dan ini menjadi dasar analisis efisiensi.

1. Prototype

Prototipe adalah model awal atau contoh awal dari sebuah produk yang dibuat untuk menguji konsep atau proses yang diusulkan. Ini adalah langkah penting dalam pengembangan produk karena memungkinkan pengembang dan pemangku kepentingan untuk melihat bagaimana produk akan berfungsi dalam praktik sebelum masuk ke tahap produksi massal. Prototipe dapat berupa fisik atau digital, tergantung pada jenis produk yang dikembangkan. Misalnya, dalam pengembangan perangkat lunak, prototipe bisa berupa wireframe atau mockup dari antarmuka pengguna. Sedangkan dalam pengembangan produk fisik, prototipe bisa berupa model skala kecil atau sampel dari produk yang sebenarnya.

Praktik di lapangan menunjukkan bahwa penggunaan prototipe sangat membantu dalam mengidentifikasi masalah dan kekurangan sejak dini dalam proses pengembangan. Prototipe memungkinkan pengembang untuk melakukan iterasi dan perbaikan secara cepat berdasarkan umpan balik dari pengguna dan penguji. Selain itu, ini juga membantu dalam komunikasi antar tim, karena konsep yang kompleks dapat lebih mudah dipahami melalui representasi visual atau fisik. Dengan demikian, prototipe tidak hanya membantu dalam pengembangan produk yang lebih baik, tetapi juga menghemat waktu dan biaya dengan mengurangi risiko kegagalan pada tahap produksi akhir.

2. Penerangan

Penerangan adalah elemen kunci dalam desain ruang publik, tidak hanya berfungsi untuk menerangi area secara umum tetapi juga untuk meningkatkan keamanan, kenyamanan, dan efisiensi operasional. Di lingkungan seperti bandara, penerangan harus memenuhi standar intensitas cahaya yang diperlukan, menghindari silau, dan memastikan distribusi cahaya yang merata untuk mengoptimalkan visibilitas serta pengalaman pengguna. Dengan penerangan yang tepat, kegiatan operasional dapat berjalan lancar, dan pengguna ruang dapat merasa nyaman dan aman.

Di Bandar Udara Internasional Juanda, penerangan di terminal penumpang memainkan peran krusial dalam menciptakan lingkungan yang aman dan nyaman. Bandara ini memiliki dua terminal utama Terminal 1 untuk penerbangan domestik dan Terminal 2 untuk penerbangan internasional serta beberapa penerbangan domestik dengan jumlah penumpang yang tinggi. Penerangan yang tepat harus diatur untuk mendukung aktivitas

di berbagai area seperti ruang tunggu, gerbang keberangkatan, dan koridor. Pengaturan ini sangat penting untuk menjaga kenyamanan penumpang serta efisiensi operasional bandara.

Standar penerangan di ruang tunggu penumpang Bandar Udara Juanda mengikuti ketentuan umum yang menetapkan intensitas pencahayaan dalam kisaran 200 hingga 300 lux. Ketentuan ini diatur oleh Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 77 Tahun 2015, yang menetapkan pedoman teknis terkait penerangan di fasilitas bandara. Peraturan ini mengharuskan bandara menyediakan pencahayaan yang memadai di semua area terminal, termasuk ruang tunggu, gerbang keberangkatan, dan koridor, untuk memastikan keselamatan dan kenyamanan penumpang.

Data inventarisasi pencahayaan di Gedung Terminal 1 Bandar Udara Juanda mengungkapkan penggunaan beragam jenis lampu dan perlengkapannya yang canggih dan efisien. Gedung ini dilengkapi dengan berbagai tipe lampu seperti floodlight, TL LED, bulb LED, TL ring, downlight LED, spotlight, dan high mast. Floodlight menggunakan lampu merk Philips tipe HPI-T dengan daya 400 watt dan fitting E40, berjumlah 265 unit, memberikan pencahayaan yang kuat dan merata. TL LED hadir dalam varian daya 16 watt dan 8 watt, dengan jumlah unit masing-masing 1515 dan 637, menawarkan pencahayaan hemat energi. Lampu bulb LED dengan daya 10 watt dan fitting E27 berjumlah 1741 unit, menunjukkan efisiensi dan popularitasnya di gedung ini. Downlight LED dari Philips dengan tipe R39, daya 30 watt, dan berjumlah 56 unit, serta high mast dengan daya 400 watt dan fitting E40 sebanyak 100 unit, memastikan area yang luas tetap terang dan aman.

3. Kontrol

Sistem kontrol penerangan di Bandara Juanda adalah komponen vital yang memastikan keselamatan dan efisiensi operasional baik di landasan pacu maupun area terminal. Teknologi canggih yang digunakan memungkinkan pengaturan intensitas dan pola pencahayaan secara otomatis berdasarkan kondisi cuaca, waktu, dan aktivitas penerbangan. Penerangan di landasan pacu memberikan panduan visual bagi pilot, terutama dalam kondisi visibilitas rendah, sedangkan di area terminal, penerangan disesuaikan untuk menciptakan suasana yang aman dan ramah, dengan efisiensi energi diperhatikan melalui penggunaan lampu LED dan sensor otomatis.

Saat ini, sistem kontrol lampu di Bandara Juanda masih manual, di mana teknisi menghidupkan dan mematikan penerangan melalui panel-panel di ruang tunggu. Proses

manual ini tidak efisien karena memerlukan tenaga kerja lebih dan meningkatkan risiko kesalahan manusia, seperti lampu yang tetap menyala saat tidak diperlukan. Efisiensi energi juga rendah karena kurangnya otomatisasi dan penyesuaian *real-time* terhadap kondisi dan kebutuhan penerbangan. Jika sistem ini diintegrasikan dengan teknologi *Blynk* berbasis IoT, kontrol penerangan dapat dilakukan secara otomatis sesuai jadwal penerbangan, meningkatkan efisiensi energi, mengurangi biaya operasional, serta meningkatkan kenyamanan dan keamanan bagi penumpang dan staf bandara.

Integrasi sistem kontrol lampu dengan teknologi *Blynk* berbasis IoT dapat meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi biaya operasional bandara. *Blynk* memungkinkan kontrol dari jauh, sehingga pencahayaan dapat diatur sesuai jadwal kedatangan dan keberangkatan pesawat. Lampu hanya akan menyala saat diperlukan, misalnya saat ada aktivitas penumpang di ruang tunggu, dan mati saat tidak ada aktivitas. Hal ini tidak hanya menghemat energi listrik tetapi juga meningkatkan kenyamanan dan keamanan bagi penumpang dan staf bandara. Efisiensi tenaga dan waktu personel adalah kunci utama dalam meningkatkan produktivitas dan efektivitas operasional bandara.

Untuk mengatasi masalah keterlambatan pelaporan kepada Airport Operation Center Head (AOCH) dan meningkatkan efisiensi tenaga serta waktu personel, diperlukan alat yang dapat mempermudah pendataan dan kontrol penerangan di terminal bandara. Sistem otomatis yang lebih efisien akan mengurangi beban kerja personel, memungkinkan pelaporan yang lebih tepat waktu dan akurat, serta mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik. Implementasi alat yang efektif diharapkan dapat meningkatkan kualitas data, operasional, dan pelayanan di terminal bandara, menciptakan lingkungan kerja yang lebih produktif dan harmonis bagi seluruh personel.

Berikut laporan harian personil terminal 1 juanda:

LAPORAN HARIAN TERMINAL 1						
PERUBAHAN YANG DISELESAIKAN HARI INI						
TEKNIKSI	WAKTU	LOKASI DAN KEGIATAN	ALAT PENDUKUNG KEGIATAN	JENIS PERALATAN	KONDISI PERALATAN	
					Jumlah Peralatan yang Masih Aktif / Rusak	Sebelum / Setelah
Wawan Fadli Maftudi	20:00	- Check penerangan Tidem RTT				
	22:00	- Mengganti lampu TL led ledw 3th di lpg 18	Tangga	TL led ledw	3	v
	22:30	- mematikan penerangan seluruh area				
	22:40	- menyalakan penerangan selasar gate 8, 9, 10 request facility				
	23:00	- cek panel 26-31				
	01:30	- pembersihan ruang panel serta cek terminasi koridor 4	obeng pajanan sikat			
02:30	- menyalakan penerangan TI					
06:00	- mengoptimasi penerangan sesuai MOT					

Gambar II. 1 laporan harian personil

Pukul 20:00, teknisi Wawan, Fadli, dan Maftudi melakukan pengecekan lampu penerangan di Tidem RTT. Pada pukul 22:00, mereka mengganti lampu TL downlight di LPG 18. Pukul 22:30, teknisi mematikan penerangan di seluruh area, dan pada pukul 22:40, mereka menyalakan penerangan di selasar gate 8, 9, dan 10 berdasarkan permintaan fasilitas. Pukul 23:00, dilakukan pengecekan panel nomor 26-31. Pada pukul 01:30, teknisi melakukan pembersihan ruang panel serta cek terminasi koridor 4. Kemudian, pada pukul 02:30, mereka menyalakan penerangan di TI. Akhirnya, pada pukul 06:00, teknisi melakukan mengoptimasi penerangan sesuai MOT.

4. Monitoring

Monitoring adalah proses pengawasan dan pengumpulan data secara terus-menerus untuk mengevaluasi kinerja sistem atau perangkat. Dalam konteks teknologi dan industri, monitoring berfungsi untuk memastikan bahwa sistem atau perangkat beroperasi sesuai dengan standar dan ekspektasi yang telah ditetapkan. Monitoring juga bertujuan untuk mendeteksi dan mengidentifikasi masalah atau anomali yang mungkin terjadi sehingga dapat segera diambil tindakan korektif. Salah satu aplikasi monitoring yang penting adalah monitoring daya untuk lampu di terminal penumpang bandara, di mana proses pemantauan konsumsi listrik dari lampu-lampu yang ada di area terminal sangat penting untuk memastikan bahwa penggunaan energi berada pada tingkat yang efisien dan untuk mendeteksi adanya kegagalan atau penyimpangan pada sistem penerangan yang dapat mengganggu kenyamanan dan keselamatan penumpang.

Perencanaan monitoring untuk lampu di terminal penumpang bandara melibatkan pengumpulan data yang terperinci, seperti waktu dan tanggal, konsumsi daya, serta status on/off untuk lampu di Gate 10 dan Gate 11. Data ini membantu dalam analisis penggunaan energi dan pengelolaan operasional lampu secara lebih efisien. Dalam praktiknya, monitoring ini dapat dilakukan menggunakan Google Sheet yang memanfaatkan spreadsheet online sebagai platform untuk mengumpulkan, menyimpan, dan menganalisis data secara real-time. Proses monitoring dimulai ketika user mengklik tombol on/off pada aplikasi *Blynk*. Sinyal perintah ini dikirim ke modul ESP8266 yang kemudian mengaktifkan relay, yang mengalirkan arus listrik ke lampu atau beban lainnya. Arus yang mengalir melewati Current Transformer (CT) pada modul PZEM untuk mengukur daya listrik yang digunakan, kemudian data daya dikirim kembali ke ESP8266 untuk diolah dan hasilnya dikirim ke Google Sheet untuk dicatat dan dianalisis lebih lanjut. Dengan sistem ini, monitoring daya dapat dilakukan secara otomatis dan data tersimpan secara *real-time* di Google Sheet, sehingga memudahkan dalam pemantauan dan pengambilan keputusan.

5. *Internet of Things* (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah jaringan perangkat fisik yang terhubung melalui internet, memungkinkan mereka untuk mengumpulkan dan berbagi data satu sama lain. IoT mencakup berbagai perangkat seperti sensor, kamera, peralatan rumah tangga dan industri yang dapat berkomunikasi dan berinteraksi secara otomatis tanpa memerlukan intervensi manusia. Teknologi ini memungkinkan efisiensi operasional yang lebih tinggi, peningkatan kualitas hidup, dan penerapan dalam berbagai bidang seperti kesehatan, transportasi, dan industri. Menurut penelitian, adopsi IoT diharapkan akan terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi jaringan dan komputasi awan

a. NodeMcu ESP8266

NodeMcu ESP8266 adalah sebuah *mikrokontroler* berbasis Wi-Fi yang murah dan serbaguna, sering digunakan untuk proyek-proyek *Internet of Things* (IoT). Perangkat ini memanfaatkan chip ESP8266 yang revolusioner, diproduksi oleh Espressif Systems, untuk memberikan kemampuan Wi-Fi pada *mikrokontroler*, memungkinkan pengguna menghubungkan perangkat mereka ke internet dengan mudah. NodeMcu dilengkapi dengan firmware berbasis Lua, meskipun banyak pengguna lebih memilih menggunakan Arduino IDE untuk pemrograman karena familiaritas dan dukungan luas yang ditawarkan. Keunggulan utama NodeMcu ESP8266 terletak pada kemampuan

melakukan berbagai operasi jaringan seperti mengirim data ke server web, menerima data dari sensor, dan berinteraksi dengan aplikasi mobile melalui koneksi Wi-Fi.

Chip ESP8266 dalam NodeMcu mendukung berbagai mode operasi Wi-Fi termasuk Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP, dan mode STA/AP/STA+AP, memberikan fleksibilitas tinggi dalam pengembangan aplikasi. Beroperasi pada tegangan 3.0V hingga 3.6V dengan rentang suhu operasi -40°C hingga 125°C , ESP8266 memastikan kinerja stabil di berbagai kondisi lingkungan. Konsumsi daya yang efisien, dengan konsumsi deep sleep kurang dari $10\mu\text{A}$ dan konsumsi transmisi maksimum 180mA , menjadikan ESP8266 pilihan ideal untuk aplikasi yang memerlukan konektivitas aman dan andal. Dukungan protokol enkripsi seperti WEP dan WPA/WPA2 menambah keamanan koneksi, menjadikannya sangat cocok untuk sistem IoT dan smart home.

NodeMcu ESP8266 juga menawarkan sejumlah pin GPIO yang dapat digunakan untuk mengontrol sensor, relay, dan berbagai perangkat lainnya, menjadikannya pilihan populer di kalangan pembuat dan pengembang teknologi. Modul ini sering muncul dalam jurnal akademis terkait IoT dan sistem smart home, menunjukkan dampaknya sebagai solusi hemat biaya dalam mengembangkan infrastruktur teknologi pintar. Meskipun terdapat beberapa kelemahan seperti keterbatasan memori dan kebutuhan pasokan daya yang stabil, fleksibilitas dan aksesibilitas yang ditawarkan oleh NodeMcu ESP8266 membuatnya menonjol di antara *mikrokontroler* lainnya. Pengembangan perangkat lunak difasilitasi dengan dukungan alat pengembangan seperti Arduino IDE, PlatformIO, dan ESP-IDF, serta alat flashing seperti esptool.py, memungkinkan pengembang membuat solusi IoT yang inovatif dan efisien.

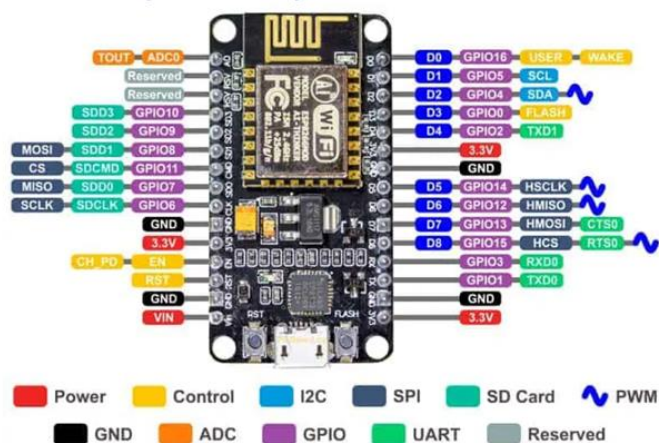
Berikut datasheet ESP8266:

1. Fitur
 - a. Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP
 - b. Stack protokol TCP/IP terintegrasi
 - c. TR switch terintegrasi, balun, LNA, power amplifier, dan jaringan pencocokan
 - d. PLL terintegrasi, regulator, dan unit manajemen daya
 - e. Mendukung APSD untuk aplikasi VoIP
 - f. Mendukung antarmuka ko-eksistensi Bluetooth
 - g. RF yang mengkalibrasi sendiri, tidak memerlukan bagian RF eksternal

- h. Dapat diskalakan ke 802.11b/g/n
 - i. GPIO, UART, SPI, I2C, I2S, ADC, dan PWM
 - j. Mode operasi STA/AP/STA+AP
 - k. Konsumsi daya deep sleep <10uA, kebocoran daya saat mati < 5uA
 - l. Bangun dan kirim paket dalam < 2ms
 - m. Konsumsi daya standby < 1.0mW (DTIM3)
2. Spesifikasi
- n. Tegangan Operasi: 3.0V ~ 3.6V
 - o. Rentang Suhu Operasi: -40°C ~ 125°C
 - p. Standar Wi-Fi: 802.11 b/g/n
 - q. Rentang Frekuensi: 2.4GHz ~ 2.5GHz (2400M ~ 2483.5M)
 - r. Daya Keluaran: +19.5dBm (802.11b)
 - s. Sensitivitas: -98 dBm
 - t. Enkripsi: WEP, WPA/WPA2
 - u. Memori Flash: 512 KB (ESP-01) hingga 4 MB (ESP-12E)
 - v. Konsumsi Arus:
 - Transmisi: 180mA (Max)
 - Standby: < 1.0mW

Tabel II. 1 Datasheet ESP8266

Spesifikasi	NODEMCU ESP8266
Tegangan Input	3,3 – 5V
GPIO	13 Pin
Kanal PWM	10 Kanal
10 Bit ADC Pin	1 Pin
Flash Memory	4MB
Frekuensi	2,4 GHz – 22,5 GHz
USB to Serial Converter	CH430G

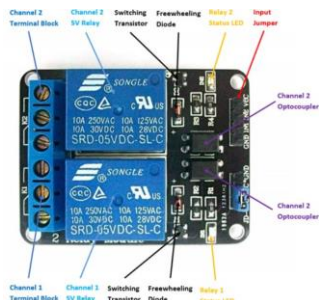
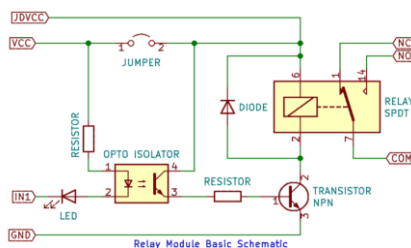


Gambar II. 2 NodeMcu ESP8266
sumber: miro.medium.com (2024)

Relay 3.3V 2-channel adalah modul yang dirancang untuk mengendalikan beban listrik berdaya tinggi menggunakan sinyal tegangan rendah dari *mikrokontroler* atau sumber kontrol lainnya. Modul ini sangat berguna dalam aplikasi otomasi rumah, kontrol industri, dan proyek DIY yang lebih kompleks. Dengan dua channel yang tersedia, modul ini memungkinkan kontrol dua perangkat secara independen, dengan setiap channel mampu menangani tegangan kontak hingga 250VAC atau 30VDC dan arus hingga 10A, menjadikannya ideal untuk mengendalikan perangkat seperti lampu, motor, dan pemanas dengan aman dan efektif.

Modul ini bekerja dengan menerima sinyal tegangan rendah (3.3V) melalui pin input (IN1 dan IN2) dari *mikrokontroler*, yang biasanya berasal dari pin output digital *mikrokontroler*. Sinyal ini mengaktifkan transistor pada modul relay yang berfungsi sebagai saklar elektronik untuk menggerakkan koil relay. Arus yang mengalir melalui koil relay menciptakan medan magnet yang menarik tuas kontak relay, mengubah posisi kontak dari terbuka (NO) ke tertutup (NC) atau sebaliknya, tergantung pada konfigurasi relay.

Relay 2 channel 3.3V ini juga menggunakan optokopler untuk isolasi listrik antara sirkuit kontrol tegangan rendah dan sirkuit daya tinggi yang dikendalikan oleh relay, melindungi *mikrokontroler* dari lonjakan tegangan dan gangguan elektromagnetik. Dengan kontak relay yang terisolasi, relay ini dapat mengalihkan arus AC hingga 250VAC atau arus DC hingga 30VDC dengan arus maksimum hingga 10A. Hal ini memungkinkan modul relay digunakan dalam berbagai aplikasi seperti menyalakan lampu, kipas, dan pompa, serta memberikan kontrol jarak jauh yang aman dan efisien untuk berbagai perangkat listrik.



Gambar II. 3 Relay 3.3V 2-channel

sumber: <http://indomaker.com/wp-content/uploads/2019/08/2-channel-relay.jpg> dan penulis (2024)

Tabel II. 2 spesifikasi Relay 3.3V 2-channel

Parameter Utama	Spesifikasi
Tegangan Operasi (VCC)	Nominal: 3.3V DC
Arus Operasi	Arus Aktif: 70-100mA per channel (saat relay diaktifkan)
Tegangan Trigger (IN1 dan IN2)	Level Tegangan: 3.3V DC (aktif rendah)
Kapasitas Kontak	Tegangan Maksimum AC: 250V
	Arus Maksimum AC: 10A
	Tegangan Maksimum DC: 30V
Waktu Operasi	Arus Maksimum DC: 10A
	Waktu Tarik (Operate Time): ≤ 10 ms
Isolasi	Waktu Lepas (Release Time): ≤ 5 ms
	Opto-isolator: Memisahkan sirkuit kontrol dan beban, menyediakan isolasi galvanik
Indikator LED	Setiap relay memiliki LED indikator yang menunjukkan status operasi (LED menyala saat relay diaktifkan)
Suhu Operasional	Rentang Suhu: -40°C hingga +85°C
Tegangan Operasi	3.3V
Jumlah Channel	2
Tegangan Kontak Maksimal	250VAC or 30VDC
Arus Kontak Maksimal	10A
Arus Trigger	5mA
Waktu Operasi	10ms
Waktu Lepas	5ms

b. Modul PZEM-004T

PZEM-004T adalah modul elektronik canggih yang dirancang untuk mengukur berbagai parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, frekuensi, energi, dan faktor daya. Dengan fungsi yang lengkap, modul PZEM-004T sangat ideal untuk digunakan dalam proyek atau eksperimen pengukuran daya pada jaringan listrik, baik di rumah maupun di gedung (Taufiqurohman et al., 2023).

Modul PZEM-004T dapat terhubung dengan NodeMCU atau platform sumber terbuka lainnya, memungkinkan pengukuran tegangan, arus, dan daya aktif. Dimensi fisiknya adalah 3,1 x 7,4 cm. PZEM-004T dilengkapi dengan kumparan trafo arus berdiameter 3mm yang mampu mengukur arus hingga 100A (Watkins, 2020). Untuk beroperasi, modul ini perlu dihubungkan dengan sumber tegangan AC sehingga dapat mengukur dan menampilkan nilai daya dan energi listrik. Dalam pengujian sensor PZEM, dilakukan pengukuran untuk memperoleh nilai pembacaan sensor dan nilai pengukuran manual dengan alat ukur. Hal ini bertujuan untuk menentukan nilai persentase kesalahan (%error). Tingkat kesalahan yang baik adalah di bawah 10%. Nilai %error ini dihitung menggunakan persamaan berikut (Prasetyo et al., 2022):

$$\%error = \frac{\text{nilai pembacaan sensor} - \text{nilai pembacaan alat ukur}}{\text{nilai pembacaan alat ukur}} \times 100\%$$

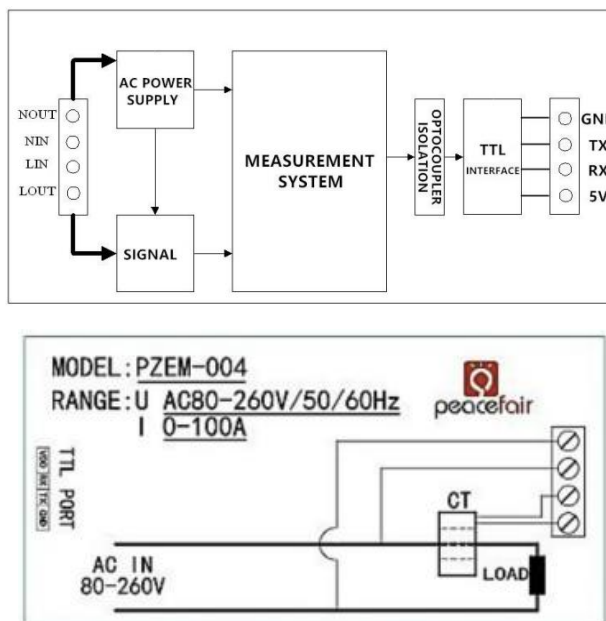
Menurut datasheet, modul PZEM-004T beroperasi pada tegangan 80-260VAC, memiliki tegangan uji 80-260VAC, daya maksimal 100A/22.000W, dan frekuensi operasi 45~65Hz. Berikut karakteristik dan spesifikasi PZEM-004T:

Tabel II. 3 karakteristik dan spesifikasi PZEM-004T

Karakteristik	spesifikasi
Tombol daya bersih/reset energi	Tegangan kerja 80 ~ 260 VAC
Fungsi penyimpanan data saat mati listrik (penyimpanan kumulatif sebelum mati listrik)	Daya terukur 100 A / 22000 W
Pengukuran daya 0 ~ 9999 kW	Working Frequency 45 – 65 Hz
Pengukuran tegangan 80 ~ 260 VAC	Measurement accuracy 1.0
Pengukuran arus 0 ~ 100 A	

Deskripsi fungsi sensor PZEM-004T:

1. Tegangan
 - a. Rentang pengukuran 80 ~ 260 V
 - b. Ketepatan ukur 0.5%, Resolusi 0.1 V
2. Arus
 - a. Mulai mengukur arus 0.01 A untuk sensor PZEM-004 T-10A dan 0.02 untuk sensor PZEM-004 T-100A
 - b. Rentang pengukuran 0 ~ 10 A untuk sensor PZEM-004 T-10A dan 0 ~ 100 A untuk sensor PZEM-004 T-100A
 - c. Ketepatan ukur 0.5%
 - d. Resolusi 0.001 A
3. Daya
 - a. Mulai mengukur daya 0.4 W
 - b. Rentang pengukuran 0 ~ 2.3 kW untuk sensor PZEM-004 T-10A dan 0 ~ 23 kW untuk sensor PZEM-004 T-100A
 - c. Ketepatan ukur 0.5%
 - d. Resolusi 0.1 W
 - e. Format tampilan: <1000 W, menampilkan satu desimal, seperti: 999.9 W; ≥1000 W, menampilkan hanya bilangan bulat, seperti: 1000 W
4. Faktor daya
 - a. Rentang pengukuran 0.00 ~ 1.00
 - b. Ketepatan ukur 1%
 - c. Resolusi 0.01
5. Frekuensi
 - c. Rentang pengukuran 45 Hz ~ 65 Hz
 - d. Ketepatan ukur 0.5%
 - e. Resolusi 0.1 Hz
6. Energi
 - a. Rentang pengukuran 0 ~ 9999.99 kWh
 - b. Ketepatan ukur 0.5%
 - c. Resolusi 1 Wh
 - d. Format tampilan: <10 kWh, unit tampilan adalah Wh (1 kWh = 1000 Wh),



Gambar II. 4 Modul PZEM-004T

f. LED 10 watt

Dari data inventaris Daftar Fasilitas Peralatan Elektrikal Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya, penggunaan bulb LED 10 watt tersebar hampir di seluruh area Terminal 1, dengan total 1,741 buah. Sebanyak 733 bulb LED tersebar di 15 ruang tunggu, memberikan pencahayaan efisien dan nyaman bagi penumpang. Lampu ini mempunyai masa pakai hingga 15,000 jam, dan waktu penyalaan kurang dari 0.5 detik, serta sudut pancaran 200 derajat untuk distribusi cahaya merata. Adopsi teknologi LED ini tidak hanya meningkatkan kenyamanan dan keamanan penumpang tetapi juga mendukung keberlanjutan dengan mengurangi konsumsi energi dan emisi karbon, sejalan dengan upaya global menjaga lingkungan.



Gambar II. 5 LED 10 watt
 Sumber: <https://p-id.ipricegroup.com> (2024)

Dengan spesifikasi umum

Tabel II. 4 LED 10 watt

Spesifikasi	Detail
Model	Philips LED Bulb 10W
Daya	10 watt
Fitting	E27
Voltase	220-240 VAC
Frekuensi	50-60 Hz
Kecerahan	806 lumens
Suhu warna	6500K (Putih Dingin)
Sudut pancaran cahaya	200 derajat
Masa pakai	15.000 jam
Waktu penyalaan	<0,5 detik

g. Kabel

Pada penelitian ini, peneliti menggunakan kabel model Extrana 1x1,5 mm² PVC yang dikenal dengan kualitas dan keandalannya. Kabel ini sangat cocok untuk berbagai aplikasi, termasuk instalasi listrik dalam ruangan, distribusi daya listrik, pencahayaan, dan kontrol. Isolasi PVC yang tahan lama melindungi konduktor dari kerusakan fisik dan lingkungan, serta keamanan penggunaan. Selain itu, konduktor tembaga berkualitas tinggi yang digunakan dalam kabel ini menyediakan konduktivitas listrik yang optimal, sehingga menjamin kinerja yang efisien dan andal dalam berbagai kondisi operasional. Penggunaan kabel Extrana 1x1,5 mm² PVC dalam penelitian ini menegaskan komitmen terhadap standar kualitas tinggi dan keandalan dalam setiap aspek instalasi listrik. Berikut data umum kabel Extrana 1x1,5 mm² PVC:

Tabel II. 5 spesifikasi kabel

Item	Detail
Model	Extrana 1x1,5 mm ² PVC
Jenis kabel	Kabel tembaga tunggal dengan isolasi PVC
Material konduktor	Tembaga
Tegangan pengoprasian	450/750 V
Resistansi konduktor	12.1 Ω/km (maks)
Arus penghantar maksimal	15 A
Suhu operasional	-15°C hingga +70°C



Gambar II. 6 Kabel

Sumber: images.tokopedia.net/img/cache/500-square (2024)

B. Kajian Terdahulu

Sebagai dasar yang mendukung penyusunan proyek akhir ini, penulis menyajikan penelitian terdahulu yang dapat dijadikan sebagai rujukan penulis. Penelitian terdahulu yang menjadi rujukan adalah penelitian yang relevan dengan proyek akhir yang sedang disusun oleh penulis. Berikut penelitian terdahulu yang diambil oleh penulis sebagai rujukan:

1. Jurnal penelitian pertama yang ditulis oleh Alfian, Raviki Dwi Haryudo, Subuh Isnur Kartini, Unit Three Kholis, Nur berjudul “Rancang Bangun Alat Monitoring Pemakaian Tarif Listrik Dan Kontrol Daya Listrik Pada Rumah Kos Berbasis *Internet of Things*.” Penelitian ini menggunakan berbagai komponen seperti Mikrokontroler NodeMCU ESP8266, modul PZEM-004T, modul relay 5V, LCD I2C 20x4, dan RTC DS3231. Alat ini dirancang untuk membantu pemilik dan penyewa kos dalam memantau penggunaan tarif listrik secara *real-time* dan jarak jauh. alat monitoring ini mampu berfungsi dengan baik dengan nilai error rata-rata pembacaan tegangan sebesar 1,4% dan arus sebesar 3,7%, yang menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi. Penelitian ini menggabungkan teknologi IoT dengan aplikasi *Blynk* untuk monitoring dan Google Firebase untuk penyimpanan data, sehingga memudahkan pemantauan penggunaan energi listrik melalui smartphone. (Alfian et al., 2021)
2. Jurnal penelitian kedua yang ditulis oleh Heri Purnadi dengan judul “Pemanfaatan Google Spreadsheet Dan Google Data Studio Sebagai Dashboard Suhu Dan Kelembaban Di Laboratorium.” Tujuan penelitian ini yaitu Google Spreadsheet dan Google Data Studio sangat bermanfaat sebagai

dashboard untuk memonitor suhu dan kelembaban di laboratorium. Dashboard ini memberikan informasi secara lebih mudah dan real-time. Selain itu, dashboard juga membantu petugas dalam merencanakan jadwal perbaikan AC dan dehumidifier berdasarkan informasi grafik, sehingga dapat mengantisipasi kerusakan peralatan tersebut. Input data melalui Google Spreadsheet memungkinkan data tersedia dengan cepat untuk audit eksternal. Pengolahan dan visualisasi data menggunakan Google Data Studio menawarkan solusi alternatif bagi institusi. Dengan dukungan berbagai sumber data, Google Data Studio memudahkan integrasi laporan dari sumber yang berbeda. Selain itu, fitur berbagi laporan dengan pengguna lain tetap menjaga keamanan informasi yang ditampilkan. (Heri Purnadi, 2021)

3. Jurnal penelitian ketiga yang ditulis oleh Andi Syofian, Haryanto dengan judul “Alat Monitoring Kelistrikan Rumah Tangga Berbasis *Blynk*” Penelitian ini merancang alat monitoring kelistrikan rumah tangga berbasis *Blynk*, yang menggunakan *mikrokontroler* Wemos D1 dan sensor PZEM-004T untuk mengukur dan menampilkan nilai arus, tegangan, daya listrik, dan energi yang digunakan. Sistem ini memungkinkan pemantauan biaya tagihan listrik dari jarak jauh melalui aplikasi *Blynk* yang terhubung ke internet. Pada pengujian, alat ini menunjukkan keakuratan pembacaan yang tinggi dengan error hanya 0,02% saat mengukur nilai tegangan jala-jala PLN. Semua fungsi alat bekerja dengan baik, termasuk pengukuran dan pengiriman data secara nirkabel yang dapat diakses secara *real-time* melalui smartphone
4. Jurnal penelitian keempat yang ditulis oleh Rayi Ayu Safitri dengan judul “Rancang Bangun Sistem Kendali Lampu Pada Gedung Menggunakan Wireless Fidelity (Wi-Fi) Berbasis NodeMCU ESP8266.” Penelitian ini bertujuan untuk memudahkan pengontrolan lampu menggunakan smartphone yang terhubung dengan Wi-Fi, serta meminimalisir risiko konsleting dengan pemantauan tegangan dan arus listrik secara real-time. Sistem ini dapat bekerja dengan baik dalam radius kurang dari 30 meter dengan menggunakan hotspot smartphone sebagai koneksi internet (Safitri & Lampu, 2018)
5. Jurnal penelitian kelima yang ditulis oleh Mohamad Nawal Taufiqurohman, Muhammad Ardi Alfianto, Indrawan Sugistoro, Helmi Yazid, Roy Hamonangan Pardosi, Wahyu Setyo Pambudi dengan judul “Sistem Monitoring Energi Listrik Rumah Tangga Menggunakan Sensor PZEM004T

dengan Integrasi Firebase dan *Blynk*” Penelitian ini bertujuan untuk pemantauan dan kontrol konsumsi energi listrik rumah tangga secara real-time, membantu pengguna dalam mengambil keputusan cerdas untuk mengoptimalkan penggunaan energi dan mengurangi biaya. Rentang tegangan bervariasi antara 186,8 hingga 198 volt, daya menunjukkan fluktuasi antara 32,3 hingga 233,5 watt, dan faktor daya berkisar antara 0,61 hingga 0,82 .(Taufiqurohman et al., 2023)

6. Jurnal penelitian keenam yang ditulis oleh Ridyandhika Riza Ibrahim, Bekt Yulianti, ST. MT dengan judul “Rancang Bangun Monitoring Pemakaian Arus Listrik PLN Berbasis IoT” Penelitian ini bertujuan untuk menguji Alat monitoring yang dikembangkan menunjukkan nilai rata-rata error yang sangat kecil, yaitu 0.0038% untuk tegangan, 0.1116% untuk arus, dan 0.00294% untuk daya. Sistem ini memudahkan pemilik dan penyewa rumah indekos untuk memantau penggunaan energi listrik setiap kamar, serta memberikan data biaya pemakaian yang akurat berdasarkan tarif listrik yang ditetapkan pemerintah(Ridyandhika Riza Ibrahim, Bekt Yulianti, 2023)