

BAB II

TINJAUAN TEORI

A. Teori Penunjang

1. Apron

Apron merupakan bagian dari bandar udara yang berfungsi sebagai tempat parkir pesawat (Wulandari & Tamara, 2024). Fungsi dari apron sendiri tidak hanya sebagai tempat parkir, namun juga sebagai area *aircraft services*, seperti proses *loading-unloading* kargo, pengisian bahan bakar, serta naik turun penumpang sebuah pesawat udara. Dikarenakan padatnya kegiatan di area ini, diperlukan sistem operasional yang andal untuk mencapai keselamatan dan efektivitas operasional bandar udara.

Disaat tingginya kegiatan operasional di area apron, tentunya akan meningkatkan risiko gangguan operasional. Penempatan parkir pesawat pun tidak sembarangan, namun telah diatur oleh pihak *Air Traffic Controller* (ATC) yang berkoordinasi dengan unit *Apron Movement Controller* (AMC) yang kemudian disampaikan kepada penerbang. Panduan visual penomoran *parking stand* di apron diperlukan agar penerbang dapat mengidentifikasi lokasi *parking stand* sesuai dengan yang telah diarahkan. Tentunya, hal ini bertujuan agar tidak terjadinya salah parkir dari sebuah pesawat udara.

2. Pencahayaan Area Apron

Pencahayaan di area apron menjadi salah satu komponen penting dalam operasional penerbangan. Adanya visibilitas mumpuni di area apron dapat membantu tugas personel bandara dengan efektif dan aman. Adanya visibilitas mumpuni di area apron dapat membantu tugas personel bandara dengan efektif dan aman (Marthamillenia et al., 2023). Berdasarkan standar internasional seperti ICAO Annex 14 Volume I, sistem pencahayaan bandar udara termasuk dalam kategori *visual aids* yang harus memenuhi persyaratan visibilitas, intensitas

cahaya, serta keandalan operasional. Pencahayaan ini digunakan untuk pelayanan pesawat. Selain itu, terdapat pula pencahayaan pada fasilitas pendukung seperti *signage* dan *identification system* yang berfungsi memberikan informasi visual kepada pilot terkait posisi dan identitas suatu area di bandar udara.

3. *Aircraft Stand Identification Sign*



Gambar II. 1 Lampu *Aircraft Stand Identification Sign*
(Sumber: Dokumentasi Penulis, Unit TTEQ Bandara SMB II Palembang)

Parking stand adalah tempat parkir pesawat yang ada di apron. Tempat ini ditandai dengan nomor yang berwarna kuning untuk menunjukkan tempat parkir pesawat berada (Muhammad & Fauziyah, 2023). *Aircraft Stand Identification Sign* (ASIS) merupakan salah satu fasilitas visual di sisi udara (*airside*) bandar udara yang berfungsi sebagai penanda identitas posisi parkir pesawat (*aircraft stand*). ASIS digunakan untuk memberikan informasi yang jelas kepada pilot, *marshaller*, maupun petugas *ground handling* terkait nomor atau kode *stand* yang dituju, sehingga proses parkir pesawat dapat dilakukan dengan tepat, aman, dan efisien.

Keberadaan ASIS sangat penting dalam mendukung kelancaran operasional di apron, terutama pada bandara dengan tingkat lalu lintas penerbangan yang tinggi. Penempatan dan desain ASIS harus memperhatikan visibilitas dari kokpit pesawat, baik pada kondisi siang maupun malam hari. Oleh karena itu, ASIS umumnya dilengkapi dengan sistem pencahayaan agar tetap dapat terbaca dengan jelas dalam berbagai kondisi cuaca dan pencahayaan.

4. Sistem *Monitoring*

Sistem *monitoring* adalah sebuah sistem pengamatan yang berfungsi untuk memonitor atau biasanya mengamati sebuah objek (Anas, 2018). Sistem *monitoring* merupakan suatu proses pengamatan dan pengukuran terhadap suatu objek atau sistem secara berkelanjutan untuk mengetahui kondisi operasionalnya. *Monitoring* bertujuan untuk memastikan bahwa suatu sistem bekerja sesuai dengan parameter yang telah ditentukan serta untuk mendeteksi secara dini apabila terjadi gangguan atau ketidaksesuaian dalam operasional.

Dalam konteks sistem kelistrikan, *monitoring* memiliki peran penting dalam mengamati parameter seperti arus, tegangan, dan daya yang digunakan oleh suatu peralatan. Menurut KP Nomor 39 Tahun 2015 menyatakan bahwa sistem *monitoring* harus dilaksanakan untuk menunjukkan status operasional sistem penerangan. Dengan adanya sistem *monitoring*, kondisi suatu peralatan dapat diketahui secara cepat tanpa harus melakukan pemeriksaan secara langsung di lapangan.

Secara umum, sistem *monitoring* dapat dibedakan menjadi *monitoring* manual dan *monitoring* otomatis. *Monitoring* manual dilakukan dengan cara inspeksi langsung oleh teknisi, sehingga membutuhkan waktu dan tenaga yang cukup besar serta berpotensi menimbulkan keterlambatan dalam mendeteksi gangguan. Sementara itu, *monitoring* otomatis memungkinkan proses pengamatan dilakukan secara *real-time* dengan bantuan teknologi, sehingga informasi kondisi sistem dapat diperoleh secara cepat dan akurat.

Seiring dengan perkembangan teknologi, sistem *monitoring* kini banyak dikembangkan berbasis *Internet of Things* (IoT), yang memungkinkan data dikirim dan dipantau secara jarak jauh melalui jaringan internet. Sistem *monitoring* berbasis IoT memberikan kemudahan dalam pengawasan, meningkatkan efisiensi kerja, serta mempercepat proses deteksi dan penanganan gangguan.

Dalam penerapannya pada fasilitas bandar udara, khususnya pada sistem pencahayaan, *monitoring* menjadi sangat penting untuk memastikan keandalan operasional. Dengan adanya sistem *monitoring* yang terintegrasi, kondisi peralatan seperti lampu dapat diketahui secara *real-time* sehingga apabila terjadi gangguan dapat segera ditangani.

5. *Internet of Things*



Gambar II. 2 *Internet of Things*

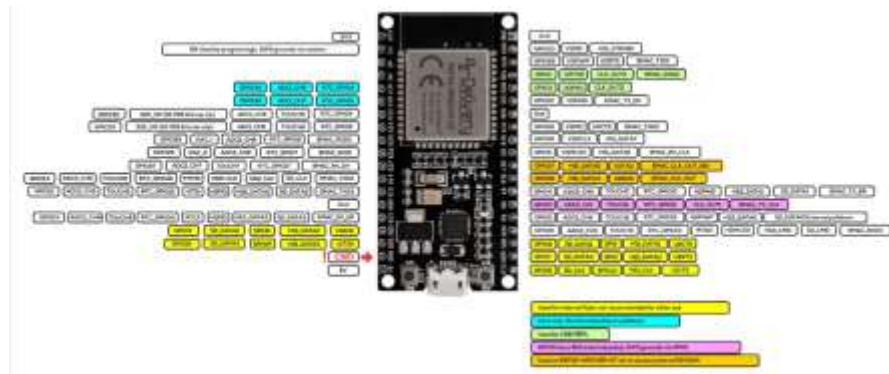
(Sumber: <https://www.codepolitan.com/blog/hubungkan-aplikasi-vuejs-ke-perangkat-internet-of-things-yuk/>)

Internet of Things adalah teknologi yang memungkinkan benda-benda di sekitar kita terhubung dengan internet (Susanto et al., 2022). Cara kerja IoT secara umum melibatkan beberapa komponen utama, yaitu sensor sebagai alat pengambil data dari lingkungan, mikrokontroler sebagai pengolah data, serta jaringan internet sebagai media transmisi data menuju *server* atau platform *monitoring*. Data yang telah dikirim kemudian dapat diakses oleh pengguna melalui perangkat seperti

smartphone atau komputer dalam bentuk tampilan visual yang informatif.

Penerapan teknologi IoT dalam sistem *monitoring* memberikan berbagai keuntungan, antara lain kemampuan pemantauan secara *real-time*, kemudahan akses data dari jarak jauh, serta peningkatan efisiensi dalam proses pengawasan dan pemeliharaan suatu sistem. Dengan adanya IoT, proses *monitoring* tidak lagi harus dilakukan secara manual di lapangan, melainkan dapat dilakukan secara terpusat melalui platform digital.

6. ESP32



Gambar II. 3 Mikrokontroler ESP32

(Sumber: <https://www.nitrathor.com/data-sheets/esp32-nodemcu>)

ESP32 adalah mikrokontroler yang dikenalkan oleh *Espressif System* dan merupakan penerus dari mikrokontroler ESP8266. Salah satu kelebihan yang dimiliki oleh ESP32 yaitu sudah terdapat *Wifi* dan *Bluetooth* di dalamnya, sehingga akan sangat memudahkan ketika kita belajar membuat sistem IoT yang memerlukan koneksi nirkabel. Kita tidak perlu membeli modul nirkabel eksternal lagi yang biasanya harganya cukup mahal (Dimas Nurhilman, 2021). ESP32 DevKit V4 merupakan mikrokontroler yang berfungsi sebagai pusat pengendali (controller) pada sistem monitoring yang dikembangkan.

Berdasarkan datasheet Espressif ESP-WROOM-32, mikrokontroler ini menggunakan prosesor Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6 dengan kecepatan *clock* hingga 240 MHz, memori Flash 4 MB, dan SRAM 520

KB. ESP32 beroperasi pada tegangan 3,0–3,6 VDC dengan tegangan masukan sebesar 5 VDC, serta telah dilengkapi modul *Wi-Fi* IEEE 802.11 b/g/n dan Bluetooth v4.2 yang mendukung implementasi sistem IoT.

Pada penelitian ini, ESP32 berfungsi untuk menerima data *digital* dari sensor PZEM-004T dan sensor LiDAR melalui komunikasi UART, kemudian melakukan proses pengolahan data sesuai algoritma yang telah diprogram. Selanjutnya, data hasil pengolahan dikirimkan menuju platform *Blynk Cloud* melalui jaringan *Wi-Fi* sehingga informasi kondisi lampu ASIS dan keberadaan objek pada *parking stand* dapat dimonitor secara *real-time*.

7. Sensor PZEM 004-T



Gambar II. 4 Sensor PZEM-004T

(Sumber: <https://how2electronics.com/iot-ac-energy-meter-with-pzem-004t-esp32-webserver/>)

Sensor PZEM-004T adalah sebuah sistem yang dirancang untuk membaca jumlah pemakaian energi listrik seperti tegangan, arus, daya, dan energi (Suprihartini & Taryana, 2022). Sensor PZEM-004T V3.0 merupakan modul pengukuran energi listrik yang digunakan untuk memperoleh parameter kelistrikan pada lampu ASIS. Berdasarkan *datasheet*, sensor ini memiliki rentang pengukuran tegangan sebesar 80–260 VAC dan mampu mengukur arus hingga 100 A menggunakan *Current Transformer* (CT) eksternal. Selain itu, sensor ini juga dapat mengukur daya aktif, energi listrik, frekuensi, dan faktor daya dengan tingkat akurasi sekitar $\pm 0,5\%$.

Pada sistem yang dikembangkan, PZEM-004T dipasang pada jalur suplai listrik lampu ASIS untuk melakukan pembacaan parameter kelistrikan secara *real-time*. Sinyal analog yang berasal dari tegangan dan arus listrik terlebih dahulu diproses oleh rangkaian internal sensor dan dikonversi menjadi data digital menggunakan *Analog to Digital Converter* (ADC). Selanjutnya data tersebut dikirimkan menuju ESP32 melalui komunikasi serial UART dengan *baudrate* 9600 bps untuk diproses dan ditampilkan pada sistem *monitoring*.

8. LiDAR (*Light Detection and Ranging*)



Gambar II. 5 Sensor LiDAR

(Sumber: https://www.auselectronicdirect.com.au/tfmini-micro-lidar-sensor-module-for-arduino-proje?srsId=AfmBOopkVCE-boCX6Qs6YCo2KN4o-d3cBKJwiN6lufDUzs5f_31Qse3V)

LiDAR adalah teknologi sensor jarak jauh yang menggunakan properti cahaya yang tersebar untuk menemukan jarak dan informasi suatu objek dari target yang dituju (Sahaja, 2022). Sensor TF Mini LiDAR digunakan sebagai sensor jarak untuk mendeteksi keberadaan objek pada area parking stand. Berdasarkan *datasheet*, sensor ini bekerja menggunakan prinsip *Time of Flight* (ToF) dengan memancarkan sinar laser inframerah kemudian menghitung waktu pantulan cahaya untuk menentukan jarak objek. Sensor beroperasi pada tegangan 5 VDC, memiliki resolusi 1 cm, serta frekuensi pembacaan hingga 100 Hz.

Pada penelitian ini, data jarak yang dihasilkan sensor digunakan sebagai parameter dalam mengidentifikasi keberadaan dan kategori pesawat pada parking stand. Data hasil pengukuran dikirimkan ke ESP32 melalui komunikasi UART, kemudian dibandingkan dengan rentang nilai yang telah diprogram sehingga sistem mampu menentukan tipe objek yang terdeteksi sebelum hasilnya ditampilkan pada *dashboard monitoring*.

9. *Blynk*



Gambar II. 6 Platform *Blynk*

(Sumber: https://quartzcomponents.com/blogs/electronics-projects/home-automation-using-blynk-and-google-assistant?srltid=AfmBOorEdVfZF_oJd213wfKg6eBk4OParLpxbIfmkui26iCiNAVeU2Vr/)

Blynk adalah platform perangkat lunak IoT berbiaya rendah dan berdaya rendah yang memungkinkan pengembang untuk membuat proyek terhubung dengan mudah (Wulandari & Tamara, 2024). *Blynk* menyediakan layanan *cloud* yang berfungsi sebagai perantara komunikasi antara perangkat keras, seperti mikrokontroler, dengan aplikasi pengguna. Data yang dikirim oleh mikrokontroler akan diteruskan ke server *Blynk*, kemudian ditampilkan pada *dashboard* aplikasi dalam bentuk visualisasi seperti grafik, indikator, maupun notifikasi. Selain itu, pengguna juga dapat mengirimkan perintah dari aplikasi untuk mengontrol perangkat yang terhubung.

Dalam implementasinya, *Blynk* sering digunakan bersama mikrokontroler seperti ESP32 karena kemampuannya dalam menyediakan konektivitas *Wi-Fi* yang mendukung komunikasi data secara langsung ke *server*. Integrasi ini memungkinkan sistem *monitoring* dan kontrol dapat dilakukan secara efisien tanpa memerlukan pengembangan aplikasi dari awal. Pada konteks penelitian

ini, *Blynk* digunakan sebagai platform *monitoring* yang menampilkan data hasil pembacaan sensor secara *real-time*. Informasi seperti tegangan, arus, maupun status operasional sistem dapat diakses oleh pengguna melalui aplikasi *Blynk*. Dengan demikian, proses pengawasan menjadi lebih mudah, cepat, dan dapat dilakukan dari jarak jauh, sehingga meningkatkan efektivitas dalam pengelolaan sistem. Selain sebagai media visualisasi data *real-time*, *Blynk* juga menyediakan fitur notifikasi yang dapat dimanfaatkan sebagai peringatan dini ketika sistem mendeteksi kondisi abnormal pada lampu ASIS.

B. Penelitian yang Relevan

Dalam proses perencanaan dan pengembangan penelitian, peneliti melakukan telaah terhadap berbagai penelitian terdahulu yang telah dilakukan. Kajian terhadap penelitian sebelumnya berperan penting sebagai dasar pertimbangan dalam penyusunan tugas akhir.

Tabel II. 1 Penelitian yang Relevan

No	Judul, Peneliti, Tahun	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
1.	Sistem <i>Monitoring</i> Kerusakan Lampu Lalu Lintas dan Notifikasi Secara <i>Real-time</i> Berbasis <i>Internet-of-Things</i> (Wisudawan et al., 2025)	Penelitian ini merancang sebuah sistem berbasis mikrokontroler. Sistem ini dilengkapi dengan sensor arus untuk yang difungsikan untuk mengetahui nilai parameter Listrik secara aktual seperti daya,	Penelitian ini membahas tentang sistem <i>monitoring</i> menggunakan sensor arus PZEM-004T.	Pada penelitian ini, sistem secara spesifik digunakan untuk <i>memonitoring</i> kerusakan pada lampu lalu lintas. Sedangkan pada penelitian saya terfokus pada unit ASIS dengan <i>memonitoring</i>

		tegangan, dan arus. Nantinya, nilai parameter ini digunakan sebagai data dalam mengetahui kerusakan pada lampu lalu lintas.		arus terkini guna mendeteksi kerusakan pada lampu.
2.	Prototipe Kontrol Dan <i>Monitoring Remote Apron Floodlight</i> Berbasis Mikrokontroler Dengan Modul Dimmer (Mubarak et al., 2022).	Penelitian ini merancang sistem kontrol dan <i>monitoring floodlight</i> berbasis mikrokontroler Arduino dengan modul dimmer untuk mengoptimalkan penggunaan listrik di Bandara Husein Sastranegara. Dengan memanfaatkan Wemos D1 Mini Pro, sensor PZEM-004T, dan aplikasi <i>Blynk</i> , sistem ini memungkinkan teknisi mengontrol <i>floodlight</i> secara manual maupun otomatis melalui	Penelitian ini membahas tentang sistem <i>monitoring</i> dan kontrol pada apron <i>floodlight</i>	Penelitian ini menggunakan esp 32 dan sensor cahaya, sedangkan penelitian saya menciptakan integrasi antara mikrokontroler ESP32 dengan sensor arus PZEM-004T. Sehingga, yang menjadi besaran pada penelitian ini adalah arus yang bekerja pada lampu. Penelitian ini juga berfokus pada <i>floodlight</i> sedangkan penelitian saya menjadikan

		<i>smartphone</i> . Hasil pengujian menunjukkan peningkatan efisiensi operasional dan efektivitas teknisi dalam memantau kondisi <i>floodlight</i>		ASIS sebagai objek penelitian.
3.	<i>Monitoring Arus Listrik pada Lampu Berbasis Internet of Things Menggunakan Aplikasi Blynk</i> (Safira et al., 2025).	Penelitian ini menghasilkan sistem <i>monitoring</i> arus listrik berbasis IoT yang mampu menampilkan parameter listrik secara <i>real-time</i> menggunakan NodeMCU ESP8266, sensor PZEM-004T, dan aplikasi <i>Blynk</i> , dengan tingkat akurasi yang baik.	Penelitian ini menggunakan teknologi IoT sebagai sistem <i>monitoring</i> arus listrik serta pemanfaatan sensor PZEM-004T dan platform <i>Blynk</i> untuk menampilkan data secara <i>real-time</i> .	Perbedaan penelitian terletak pada konteks penerapan, dimana penelitian sebelumnya berfokus pada penggunaan umum. Penelitian ini juga menggunakan NodeMCU ESP8266 yang berbeda dengan penelitian saya, menggunakan mikrokontroler ESP32.

4.	<i>System Monitoring</i> dan Perancangan Alat Pendeteksi Kerusakan Lampu Penerangan Jalan Umum (LPJU) Otomatis Berbasis <i>Internet Of Thing</i> (IoT) (Samsinar & Cahyadi, 2021).	Dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa sistem <i>monitoring</i> dan pendeteksi kerusakan lampu penerangan jalan umum (LPJU) berbasis Internet of Things (IoT) yang dirancang menggunakan NodeMCU, sensor LDR, sensor PZEM-004T, serta aplikasi Telegram dan ThingSpeak, terbukti mampu melakukan pemantauan kondisi lampu secara <i>real-time</i>. Sistem ini dapat mendeteksi kondisi lampu secara otomatis dan mengirimkan notifikasi kerusakan kepada petugas melalui Telegram, sehingga meningkatkan	Persamaan antara penelitian tersebut dengan penelitian ini terletak pada penggunaan konsep Internet of Things (IoT) sebagai sistem <i>monitoring</i>, serta pemanfaatan mikrokontroler dan sensor untuk memperoleh data kondisi lampu secara <i>real-time</i>. Penggunaan Telegram sebagai media pemberi notifikasi juga menjadi kesamaan pada penelitian ini. Kedua penelitian juga bertujuan untuk meningkatkan efisiensi kegiatan pemeliharaan	Perbedaan utama terletak pada objek, metode, dan tingkat kegentingan sistem yang dikembangkan. Penelitian sebelumnya berfokus pada lampu penerangan jalan umum (LPJU) dengan pendekatan deteksi berbasis intensitas cahaya menggunakan sensor LDR serta notifikasi melalui Telegram. Sedangkan penelitian ini berfokus pada lampu Aircraft Stand Identification Sign (ASIS) di lingkungan bandar udara yang memiliki
----	---	---	--	---

		efisiensi proses <i>monitoring</i> dan mempercepat penanganan gangguan tanpa harus melakukan pengecekan langsung di lapangan.	dengan mengurangi ketergantungan pada metode pengecekan manual di lapangan.	tingkat kritikalitas tinggi terhadap keselamatan operasional penerbangan. Selain itu, penelitian ini menggunakan pendekatan <i>monitoring</i> arus listrik secara langsung menggunakan sensor PZEM-004T dan mikrokontroler ESP32, sehingga memberikan informasi yang lebih spesifik terhadap kondisi beban listrik sebagai indikator utama kegagalan sistem.
5.	Sistem <i>Monitoring</i> Daya Listrik Berbasis IoT (<i>Internet of</i>	Penelitian ini berhasil mengembangkan sebuah prototipe sistem <i>monitoring</i>	Persamaan antara penelitian tersebut dengan penelitian ini terletak pada	Perbedaan utama antara penelitian tersebut dengan penelitian ini

	<i>Things</i>) (Begni Rizal Nugroho et al., 2025)	konsumsi listrik berbasis Internet of Things (IoT) dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 dan sensor PZEM-004T V3.0. Sistem mampu mengukur parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya aktif, dan energi listrik secara <i>real-time</i>, serta menampilkannya melalui aplikasi <i>Blynk</i> pada perangkat mobile. Hasil pengujian pada berbagai jenis beban menunjukkan bahwa sistem dapat mengidentifikasi perbedaan karakteristik konsumsi daya secara konsisten dengan tingkat	penggunaan teknologi Internet of Things (IoT) sebagai sistem <i>monitoring</i> parameter kelistrikan secara <i>real-time</i> dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 dan sensor PZEM-004T. Kedua penelitian juga mengintegrasikan platform <i>Blynk</i> sebagai media visualisasi data pada perangkat mobile, sehingga memungkinkan pengguna untuk melakukan pemantauan kondisi listrik secara jarak jauh. Selain itu, kedua penelitian memiliki tujuan yang sejalan,	terletak pada konteks penerapan dan tujuan sistem yang dikembangkan. Penelitian sebelumnya berfokus pada <i>monitoring</i> konsumsi energi listrik secara umum pada skala rumah tangga atau lingkungan kecil, dengan tujuan meningkatkan efisiensi penggunaan energi. Sementara itu, penelitian ini difokuskan pada <i>monitoring</i> arus listrik pada lampu Aircraft Stand Identification Sign (ASIS) di area apron
--	--	---	---	--

		pembacaan yang stabil. Perbedaan antara hasil pengukuran dan spesifikasi nominal pada beberapa perangkat, khususnya yang memiliki faktor daya rendah, menunjukkan bahwa sistem bekerja berdasarkan prinsip daya aktif, sehingga lebih merepresentasikan konsumsi energi aktual. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem memiliki tingkat keandalan yang baik dalam kondisi penggunaan nyata.	yaitu meningkatkan efisiensi dalam proses <i>monitoring</i> sistem kelistrikan serta memberikan kemudahan dalam mendeteksi kondisi operasional beban listrik tanpa harus melakukan pengecekan secara langsung di lapangan.	bandar udara yang memiliki tingkat kritikalitas tinggi terhadap keselamatan operasional penerbangan. Selain itu, penelitian ini lebih menitikberatkan pada deteksi kondisi operasional lampu (normal atau gangguan) sebagai bagian dari kegiatan pemeliharaan, bukan hanya pada pengukuran konsumsi energi listrik. Dengan demikian, penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya
--	--	---	---	--

				yang tidak hanya diterapkan pada lingkungan yang lebih kompleks, tetapi juga berorientasi pada aspek keselamatan dan keandalan sistem penerbangan.
--	--	--	--	--

(Sumber: Data Penelitian)

Berdasarkan hasil kajian terhadap penelitian-penelitian terdahulu, dapat diketahui bahwa sebagian besar penelitian berfokus pada sistem monitoring lampu lalu lintas, lampu penerangan jalan umum (LPJU), *floodlight*, maupun *monitoring* konsumsi energi listrik secara umum menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT). Penelitian-penelitian tersebut telah berhasil menerapkan mikrokontroler, sensor PZEM-004T, serta platform *monitoring* berbasis *cloud* untuk menampilkan data kelistrikan secara *real-time*.

Namun demikian, belum ditemukan penelitian yang secara khusus membahas penerapan sistem monitoring pada lampu *Aircraft Stand Identification Sign* (ASIS) di lingkungan bandar udara. Lampu ASIS merupakan salah satu fasilitas visual yang memiliki peran penting dalam mendukung operasional penerbangan, khususnya sebagai penanda identifikasi *parking stand* bagi pesawat udara. Berbeda dengan objek penelitian pada penelitian terdahulu, gangguan pada lampu ASIS dapat memengaruhi efektivitas operasional apron dan berpotensi mengurangi keandalan fasilitas visual bandar udara.

Selain itu, penelitian ini tidak hanya mengimplementasikan sistem *monitoring* parameter kelistrikan berbasis IoT menggunakan sensor PZEM-004T, mikrokontroler ESP32, dan platform *Blynk*, tetapi juga mengembangkan fitur notifikasi dini (*early warning system*) untuk membantu teknisi dalam mendeteksi gangguan secara cepat. Penelitian ini juga menambahkan fitur pendukung berupa pemanfaatan sensor LiDAR untuk mendeteksi keberadaan objek pada area *parking stand* sebagai pengembangan fungsi *monitoring* yang belum ditemukan pada penelitian-penelitian sebelumnya.

Dengan demikian, kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan sistem monitoring berbasis IoT untuk lampu *Aircraft Stand Identification Sign* (ASIS) di lingkungan bandar udara yang terintegrasi dengan sistem notifikasi dini dan pengembangan fitur deteksi objek berbasis sensor LiDAR guna mendukung efektivitas kegiatan pemeliharaan serta operasional apron secara lebih efisien dan *real-time*.