

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Penerangan jalan umum memiliki peran yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari, terutama di kawasan perkotaan. Keberadaan lampu jalan yang berfungsi dengan baik dapat meningkatkan kenyamanan, keamanan, dan keselamatan pengguna jalan. Dalam konteks perkotaan modern, penerangan jalan yang optimal tidak hanya berdampak pada pengurangan risiko kecelakaan lalu lintas, tetapi juga memberikan rasa aman bagi masyarakat, terutama di malam hari. Area yang cukup terang cenderung memiliki tingkat kriminalitas yang lebih rendah dibandingkan area yang minim penerangan (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2020).

Namun, pengelolaan penerangan jalan sering kali menghadapi berbagai tantangan yang tidak sederhana. Salah satunya adalah masalah inefisiensi energi. Penerangan jalan umum menyumbang porsi yang signifikan dari konsumsi energi sektor publik. Di kota-kota besar, lampu jalan dapat menghabiskan hingga 40% dari total anggaran energi pemerintah daerah. Selain itu, banyak sistem penerangan jalan yang masih menggunakan teknologi konvensional, seperti lampu pijar atau lampu natrium tekanan tinggi, yang boros energi dan memiliki umur pakai yang relatif singkat (Dewi & Kurnia, 2023).

Selain tantangan teknis, pengelolaan penerangan jalan juga dihadapkan pada masalah pemeliharaan. Dalam sistem konvensional, deteksi kerusakan sering kali bergantung pada laporan masyarakat atau inspeksi manual oleh petugas. Proses ini tidak hanya memakan waktu, tetapi juga berpotensi meningkatkan risiko akibat lampu yang mati dalam waktu lama sebelum diperbaiki. Keterbatasan ini berdampak pada meningkatnya keluhan masyarakat, terutama di daerah dengan jaringan jalan yang luas dan kompleks (Herman. D., 2021).

Di sisi lain, perkembangan teknologi digital telah membawa angin segar dalam pengelolaan infrastruktur perkotaan, termasuk penerangan jalan umum. Internet of Things (IoT) muncul sebagai salah satu inovasi yang menjanjikan untuk mengatasi berbagai kendala dalam sistem penerangan konvensional. IoT memungkinkan perangkat fisik seperti lampu jalan untuk terhubung dan berkomunikasi melalui internet, sehingga dapat dipantau dan dikendalikan secara real-time.

Dalam penerapan IoT, sensor cerdas dapat dipasang pada lampu jalan untuk mengumpulkan data seperti tingkat cahaya, konsumsi energi, suhu, dan

kelembapan. Data ini kemudian dikirimkan ke pusat pengelolaan melalui jaringan komunikasi, di mana data tersebut dianalisis untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik. Dengan IoT, pengelola dapat mendeteksi masalah lebih awal, mengoptimalkan konsumsi energi, dan bahkan merencanakan pemeliharaan secara prediktif berdasarkan data historis (Sari, R., 2023).

Di banyak negara maju, penerapan IoT untuk penerangan jalan telah menunjukkan hasil yang signifikan. Kota Barcelona, misalnya, berhasil menghemat konsumsi energi hingga 30% setelah mengintegrasikan teknologi IoT pada sistem penerangan jalan mereka. Selain itu, mereka juga meningkatkan efisiensi operasional dengan memotong waktu respons terhadap kerusakan lampu hingga setengahnya. Kesuksesan ini mendorong kota-kota lain untuk mengadopsi teknologi serupa dalam mendukung inisiatif smart city.

Dalam konteks Indonesia, penerapan IoT pada penerangan jalan masih berada pada tahap awal. Namun, dengan pertumbuhan perkotaan yang pesat dan meningkatnya kebutuhan energi, teknologi ini dapat menjadi solusi yang strategis untuk menjawab tantangan di masa depan. Pemerintah, sektor swasta, dan akademisi perlu bekerja sama untuk mendorong adopsi IoT dalam sistem penerangan jalan umum, sehingga dapat menciptakan kota yang lebih aman, efisien, dan berkelanjutan.

Penerangan jalan umum memiliki kontribusi yang signifikan terhadap konsumsi energi di kawasan perkotaan. Di banyak kota besar, penerangan jalan menyerap hingga 40% dari total anggaran energi pemerintah daerah. Kondisi ini menjadi tantangan besar, terutama bagi kota-kota di negara berkembang yang menghadapi keterbatasan anggaran, tekanan terhadap jaringan listrik, serta peningkatan kebutuhan infrastruktur. Oleh karena itu, efisiensi energi pada penerangan jalan umum menjadi salah satu prioritas utama dalam upaya menciptakan sistem perkotaan yang berkelanjutan.

Efisiensi energi dalam penerangan jalan bukan hanya soal penghematan biaya, tetapi juga tentang dampak lingkungan. Sebagian besar energi listrik di dunia masih dihasilkan dari bahan bakar fosil, yang menghasilkan emisi karbon dioksida dan berkontribusi pada perubahan iklim. Dengan mengoptimalkan penggunaan energi, kota-kota dapat mengurangi emisi karbon dan mendukung transisi ke ekonomi rendah karbon. Dalam konteks ini, penerangan jalan umum menjadi salah satu elemen strategis untuk mencapai target keberlanjutan global, seperti yang ditetapkan dalam Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) (United Nations, 2015).

Teknologi modern telah membuka jalan bagi solusi yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Salah satu inovasi terbesar dalam beberapa dekade terakhir adalah penggunaan lampu LED (Light Emitting Diode). Lampu LED tidak hanya lebih hemat energi dibandingkan dengan lampu konvensional seperti lampu pijar atau lampu natrium tekanan tinggi, tetapi juga memiliki umur pakai yang lebih lama. Sebagai contoh, lampu LED menggunakan hingga 50% lebih sedikit energi dibandingkan lampu natrium tekanan tinggi dan dapat bertahan hingga tiga kali lebih lama (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2021).

Selain mengganti perangkat keras dengan teknologi yang lebih efisien, penggunaan energi terbarukan juga mulai menjadi bagian penting dari strategi efisiensi energi. Penerangan jalan berbasis tenaga surya, misalnya, semakin populer di berbagai negara, terutama di wilayah dengan paparan sinar matahari yang melimpah. Sistem ini tidak hanya mengurangi ketergantungan pada jaringan listrik, tetapi juga memberikan solusi yang berkelanjutan untuk daerah pedesaan atau terpencil yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik (Dewi & Kurnia, 2023).

Efisiensi energi juga berkaitan erat dengan kemampuan untuk mengelola dan memonitor konsumsi energi secara real-time. Dengan bantuan teknologi seperti Internet of Things (IoT), pengelola dapat memantau kinerja sistem penerangan jalan, mendeteksi masalah teknis lebih awal, dan mengatur penggunaan energi berdasarkan kebutuhan aktual. Sebagai contoh, lampu jalan yang dilengkapi dengan sensor dapat menyesuaikan tingkat kecerahan berdasarkan intensitas cahaya sekitar atau jumlah lalu lintas, sehingga konsumsi energi dapat diminimalkan tanpa mengorbankan kenyamanan pengguna jalan (Sari, R., 2023).

Studi kasus dari berbagai kota di dunia telah menunjukkan manfaat dari penerapan teknologi efisiensi energi pada sistem penerangan jalan. Kota Los Angeles di Amerika Serikat, misalnya, mengganti lebih dari 215.000 lampu jalan dengan lampu LED hemat energi yang terhubung ke sistem pemantauan berbasis IoT. Langkah ini berhasil menghemat lebih dari \$9 juta per tahun dalam biaya energi dan pemeliharaan, sekaligus mengurangi emisi karbon hingga 47.000 metrik ton setiap tahunnya (World Economic Forum, 2021).

Tidak hanya di negara maju, inisiatif serupa juga mulai diterapkan di negara berkembang. Di India, kota Jaipur menggunakan solusi berbasis IoT untuk mengelola sistem penerangan jalan mereka, yang menghasilkan penghematan energi sebesar 40% dalam tahun pertama implementasi. Keberhasilan ini tidak hanya memberikan manfaat ekonomi, tetapi juga menunjukkan bahwa teknologi canggih dapat diadaptasi untuk memenuhi kebutuhan lokal (Kementerian Perkotaan India, 2022).

Di Indonesia, penerapan teknologi efisiensi energi pada penerangan jalan masih menghadapi berbagai tantangan, seperti keterbatasan dana, kurangnya infrastruktur pendukung, dan minimnya kesadaran akan pentingnya efisiensi energi. Namun, dengan pertumbuhan perkotaan yang pesat dan meningkatnya tekanan terhadap sumber daya energi, langkah-langkah untuk meningkatkan efisiensi energi menjadi semakin mendesak. Pemerintah dan pihak swasta perlu bekerja sama untuk mendorong adopsi teknologi modern dalam sistem penerangan jalan umum, sehingga dapat mengurangi pemborosan energi dan menciptakan lingkungan perkotaan yang lebih berkelanjutan.

Sistem penerangan jalan konvensional, yang umumnya menggunakan lampu pijar atau lampu natrium tekanan tinggi, telah lama menjadi solusi utama untuk memberikan penerangan di area publik. Meskipun teknologi ini sudah memenuhi kebutuhan dasar penerangan, ada sejumlah kendala signifikan yang membuat sistem ini tidak lagi efisien atau relevan dalam menghadapi tuntutan modern.

a. Inefisiensi Energi

Salah satu tantangan yang sering dihadapi dalam pengelolaan PJU adalah inefisiensi energi. Beberapa titik PJU masih menggunakan sistem yang tidak mampu menyesuaikan waktu nyala secara tepat, sehingga lampu tetap menyala meskipun kondisi cahaya lingkungan sudah terang. Hal ini menyebabkan pemborosan energi dan meningkatnya biaya operasional. Dengan penerapan sistem monitoring berbasis IoT, kondisi ini dapat dipantau secara real-time sehingga tindakan korektif dapat segera dilakukan.

b. Tidak Ada Deteksi Masalah

Dalam sistem konvensional, permasalahan kerusakan lampu jalan sering kali bergantung pada laporan dari masyarakat atau inspeksi manual oleh petugas. Hal ini menciptakan jeda waktu yang cukup lama antara terjadinya kerusakan dan perbaikan. Sebagai contoh, lampu yang mati di jalan utama dapat tetap dalam kondisi tidak berfungsi selama beberapa hari hingga minggu sebelum diperbaiki, terutama di wilayah dengan sumber daya pemeliharaan yang terbatas. Kondisi ini tidak hanya mengganggu kenyamanan pengguna jalan, tetapi juga meningkatkan risiko kecelakaan dan kriminalitas.

c. Biaya Pemeliharaan Yang Tinggi

Pengelolaan PJU sering kali dihadapkan pada biaya pemeliharaan yang tidak sedikit, terutama pada sistem konvensional yang memerlukan frekuensi perawatan lebih sering dibandingkan teknologi lampu modern

seperti LED. Lampu konvensional memiliki umur pakai yang relatif singkat, sehingga penggantian bohlam menjadi rutinitas yang menyita waktu dan tenaga. Proses ini semakin menantang di daerah yang sulit dijangkau, karena memerlukan pengiriman tim teknis khusus yang tentu menambah biaya operasional.

Penggunaan teknologi LED memang mampu menekan frekuensi perawatan, namun tanpa sistem monitoring yang memadai, potensi penghematan ini tidak akan maksimal. Lampu LED yang rusak atau tidak berfungsi dengan baik tetap harus segera terdeteksi agar tidak mengganggu penerangan jalan. Di sinilah peran sistem monitoring berbasis IoT menjadi penting memberikan informasi real-time mengenai status lampu, sehingga perawatan dapat dilakukan lebih cepat, tepat sasaran, dan efisien dari sisi biaya maupun tenaga.

d. Dampak Sosial dan Ekonomi

Kegagalan sistem penerangan jalan dapat memiliki dampak sosial yang signifikan. Jalan yang gelap cenderung dihindari oleh masyarakat karena dianggap tidak aman, yang pada akhirnya dapat mengurangi aktivitas ekonomi di area tersebut. Misalnya, kawasan pasar atau pusat perbelanjaan yang kurang terang pada malam hari mungkin kehilangan pengunjung, sehingga berdampak pada pendapatan pedagang lokal. Selain itu, area dengan penerangan buruk sering kali menjadi titik rawan kejahatan, yang menciptakan rasa ketidaknyamanan dan ketidakpercayaan masyarakat terhadap pengelola infrastruktur.

e. Ketergantungan Pada Peralatan Usang

Banyak sistem penerangan jalan yang masih menggunakan peralatan lama yang tidak kompatibel dengan solusi modern. Misalnya, sebagian besar lampu konvensional tidak memiliki fitur otomatisasi atau kemampuan untuk beradaptasi dengan kebutuhan pencahayaan yang dinamis. Hal ini membuat pengelola tidak dapat mengoptimalkan penggunaan energi atau mengurangi intensitas cahaya di area yang jarang dilalui pada malam hari, sehingga pemborosan energi tetap terjadi.

f. Dampak Lingkungan

Lampu natrium tekanan tinggi dan lampu merkuri, yang umum digunakan dalam sistem penerangan jalan konvensional, memiliki dampak lingkungan yang negatif. Lampu ini mengandung bahan kimia berbahaya seperti merkuri, yang dapat mencemari lingkungan jika tidak dikelola

dengan benar saat dibuang. Selain itu, emisi karbon dari energi yang digunakan untuk menjalankan sistem konvensional juga berkontribusi terhadap perubahan iklim.

g. Kurangnya Pemantauan Real-Time

Sistem konvensional tidak dirancang untuk memberikan data secara langsung dan terus-menerus (real-time) mengenai kinerja atau kondisi lampu jalan. Tanpa kemampuan pemantauan real-time ini, pengelola tidak memiliki akses informasi aktual dan instan yang sangat dibutuhkan untuk menilai efisiensi sistem maupun mendeteksi gangguan sejak dini. Akibatnya, pengambilan keputusan menjadi lambat dan reaktif, bukan proaktif. Masalah atau kerusakan sering kali baru teridentifikasi setelah menimbulkan dampak nyata di lapangan, seperti jalanan yang gelap atau kecelakaan, yang tentunya merugikan masyarakat secara luas.

h. Infrastruktur Penerangan Jalan yang Tidak Siap Menghadapi Tantangan Masa Depan

Di era modern, tuntutan terhadap infrastruktur yang lebih cerdas, terintegrasi, dan adaptif terus meningkat, terutama dalam mendukung konsep smart city. Namun, infrastruktur sistem penerangan jalan konvensional masih bersifat statis dan terpisah, tanpa kemampuan untuk berintegrasi dengan teknologi pendukung lainnya, seperti sensor lalu lintas, sistem pemantauan CCTV, jaringan komunikasi data, atau platform manajemen kota terpadu. Keterbatasan ini menunjukkan bahwa infrastruktur tersebut tidak lagi memadai untuk mendukung perkembangan teknologi dan kebutuhan operasional kota di masa depan. Akibatnya, sistem konvensional berpotensi menjadi beban, bukan solusi, dalam mewujudkan infrastruktur kota yang modern dan efisien.

Di Indonesia, banyak kota besar masih mengandalkan sistem penerangan jalan konvensional. Masalah ini diperparah oleh keterbatasan anggaran dan infrastruktur, terutama di kota-kota kecil atau daerah pedesaan. Sebagai contoh, lampu jalan yang mati sering kali tidak diperbaiki selama berminggu-minggu karena kurangnya petugas pemeliharaan atau suku cadang. Selain itu, wilayah dengan jaringan jalan yang luas, seperti Jakarta atau Surabaya, menghadapi tantangan dalam memantau kondisi ribuan lampu jalan secara manual.

Dengan meningkatnya kebutuhan energi dan tekanan untuk mengurangi emisi karbon, jelas bahwa sistem penerangan jalan konvensional tidak lagi memadai. Adopsi teknologi baru seperti LED dan IoT menjadi kebutuhan yang mendesak untuk mengatasi berbagai kendala ini. Dengan solusi modern,

pengelola tidak hanya dapat menghemat biaya, tetapi juga menciptakan lingkungan perkotaan yang lebih aman dan nyaman bagi masyarakat (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2020).

Internet of Things (IoT) adalah konsep yang memungkinkan berbagai perangkat untuk saling terhubung dan berbagi data melalui jaringan internet. Dalam konteks penerangan jalan umum, IoT menawarkan berbagai solusi canggih untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan.

Misalnya, penerapan sensor IoT pada lampu jalan memungkinkan pengumpulan data seperti intensitas cahaya, konsumsi energi, dan kondisi operasional lampu secara real-time. Data ini kemudian dapat dianalisis untuk mengidentifikasi pola konsumsi energi, mendeteksi kerusakan, dan bahkan mengatur pencahayaan secara otomatis sesuai kebutuhan.

Penerapan IoT pada sistem penerangan lampu jalan melibatkan penggunaan perangkat cerdas seperti sensor, modul komunikasi, dan platform manajemen berbasis cloud. Sensor dipasang pada setiap lampu untuk memantau parameter penting seperti tingkat cahaya, arus listrik, dan tegangan.

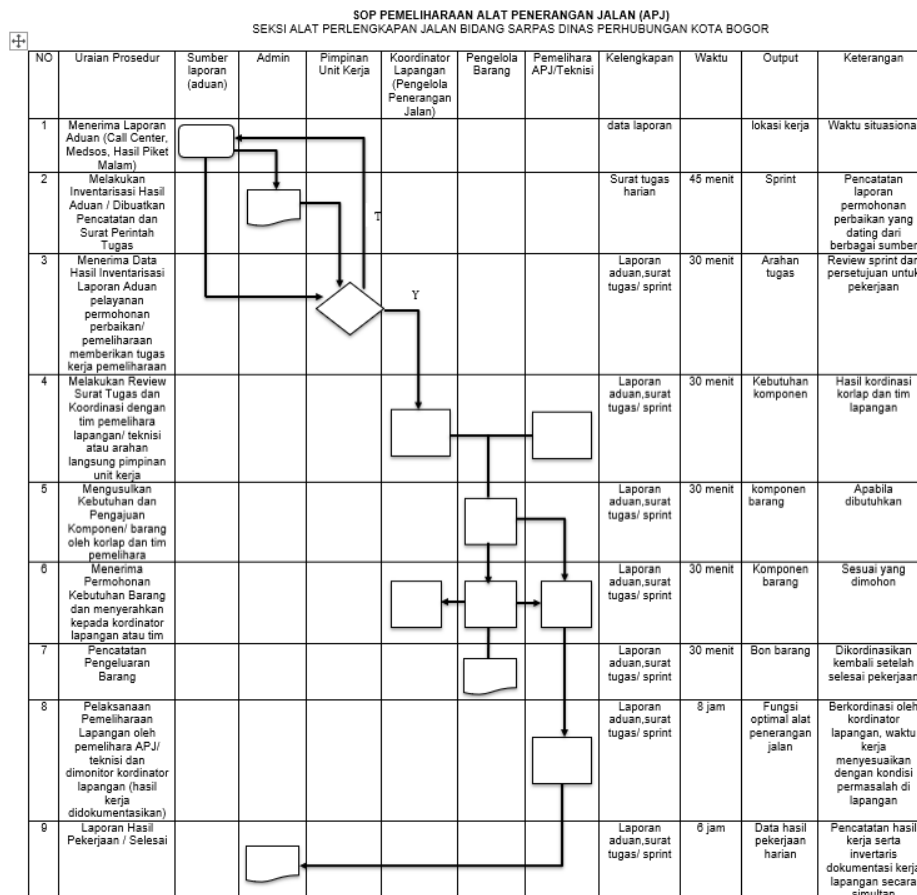
Data yang dikumpulkan oleh sensor kemudian dikirimkan ke pusat pengelolaan melalui jaringan komunikasi, di mana data tersebut dianalisis untuk mengambil keputusan. Contohnya, jika terdeteksi lampu yang rusak, sistem dapat mengirimkan pemberitahuan otomatis kepada tim perawatan. Selain itu, pencahayaan dapat diatur secara dinamis sesuai dengan kebutuhan, misalnya meningkatkan intensitas cahaya pada jam-jam sibuk dan meredupkannya di waktu lainnya.

Penggunaan teknologi IoT dalam monitoring dan pengelolaan penerangan lampu jalan umum memberikan berbagai manfaat, mulai dari efisiensi energi hingga penghematan biaya operasional. Selain itu, IoT juga memungkinkan pengelolaan yang lebih proaktif dengan mendeteksi dan menangani kerusakan sebelum menjadi masalah yang lebih besar.

Dalam era smart city, adopsi teknologi seperti IoT pada penerangan jalan umum tidak hanya menjadi kebutuhan, tetapi juga langkah strategis untuk menciptakan infrastruktur yang lebih modern, efisien, dan berkelanjutan. dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas sistem secara signifikan. Hal ini akan membuka peluang baru bagi pemerintah dan pengelola infrastruktur untuk mengembangkan solusi yang lebih canggih dan ramah lingkungan. Judul skripsi yang diajukan adalah: **“Penerapan Internet Of Things Untuk Monitoring Lampu Penerangan Jalan Umum (PJU) Kota Bogor.”**

B. Permasalahan

Pengelolaan lampu Penerangan Jalan Umum (PJU) di banyak wilayah, termasuk Kota Bogor, masih dihadapkan pada berbagai kendala yang menghambat tercapainya kinerja optimal. Proses pemantauan kondisi lampu masih mengandalkan inspeksi manual atau laporan dari warga, sehingga kerusakan seperti lampu padam sering kali baru diketahui setelah sehari-hari. Situasi ini tidak hanya mengurangi kualitas penerangan jalan, tetapi juga berpotensi meningkatkan risiko kecelakaan dan menurunkan rasa aman masyarakat pada malam hari. Selain itu, pemborosan energi masih sering terjadi akibat lampu yang menyala di siang hari, baik karena gangguan pada sensor maupun pengaturan yang kurang tepat. Kondisi ini mengakibatkan biaya operasional membengkak, terlebih jika diiringi dengan tingginya frekuensi penggantian komponen seperti bohlam atau ballast, terutama di daerah yang sulit dijangkau. Tantangan lain yang muncul adalah ketiadaan data real-time yang dapat digunakan untuk menganalisis pola kerusakan, merencanakan pemeliharaan, atau mengoptimalkan jadwal operasional lampu.



Gambar 1. 1 SOP Pemeliharaan Alat Penerangan Jalan

Secara konseptual, masalah ini muncul karena belum adanya penerapan sistem monitoring cerdas yang terintegrasi dan mampu memberikan informasi kondisi lampu secara langsung, akurat, dan berkelanjutan. Dari sisi teknis, belum terdapat pemanfaatan teknologi Internet of Things (IoT) secara menyeluruh, misalnya melalui integrasi NodeMCU ESP8266, sensor LDR, dan aplikasi berbasis cloud seperti Blynk, yang memungkinkan pengawasan dan pengendalian lampu dilakukan dari jarak jauh secara efisien. Ketidadaan sistem ini membuat pengelolaan PJU cenderung bersifat reaktif, bukan preventif, sehingga permasalahan baru ditangani setelah terjadi gangguan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini berupaya menjawab permasalahan inti, yaitu bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring PJU berbasis IoT yang mampu memberikan informasi kondisi lampu secara real-time, mengurangi pemborosan energi, serta menekan biaya perawatan. Pertanyaan yang hendak dijawab dalam penelitian ini meliputi bagaimana teknologi IoT dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan PJU melalui sistem pemantauan dan kontrol real-time, bagaimana integrasi perangkat keras seperti NodeMCU ESP8266 dan sensor LDR dapat mendeteksi kondisi lampu secara akurat dan dilengkapi dengan sensor PIR yang berfungsi mendeteksi gerakan manusia, serta bagaimana pemanfaatan aplikasi Blynk dapat memberikan kemudahan dalam memantau dan mengendalikan PJU dari jarak jauh.

1. Identifikasi Masalah

Berdasarkan indikator masalah diatas, maka identifikasi masalah dalam penelitian ini yaitu:

- (a) Sistem monitoring PJU belum dirancang untuk mengirim data kondisi lampu secara real-time ke pusat kontrol
- (b) Kerusakan lampu PJU baru diketahui setelah ada laporan masyarakat atau inspeksi manual, sehingga perbaikan sering terlambat dilakukan dan dapat mengakibatkan kecelakaan di karenakan lampu PJU tersebut padam serta kondisi jalan gelap.
- (c) Mengantisipasi pencurian dan kehilangan lampu PJU sehingga dapat dideteksi agar kejadian tersebut dapat dihindari dan diminimalisir.

2. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah dikemukakan, maka dirumuskan pertanyaan penelitian sebagai berikut:

- (a) Bagaimana monitoring sistem penerangan lampu jalan otomatis berbasis internet of things menggunakan Blynk?

- (b) Bagaimana sensor LDR dapat mendeteksi cahaya, baik dalam kondisi terang atau gelap?

C. Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah untuk menerapkan metode Internet of Things (IoT) dalam sistem monitoring dan pengendalian lampu Penerangan Jalan Umum (PJU) di Kota Bogor secara otomatis dan real-time menggunakan teknologi NodeMCU, sensor LDR, dan relay. Sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi yang efektif untuk mengatasi keterlambatan deteksi kerusakan, pemborosan energi, dan tingginya biaya operasional, sekaligus mempermudah proses pemantauan serta pengendalian lampu PJU dari jarak jauh.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan prototipe alat monitoring PJU berbasis IoT yang dapat dioperasikan secara real-time, serta dapat dijadikan referensi pengembangan teknologi serupa di wilayah perkotaan lainnya. Selain itu penelitian ini juga bertujuan untuk Mengembangkan konektivitas data berbasis cloud menggunakan aplikasi seperti Blynk, sehingga pemantauan dan pengendalian lampu dapat dilakukan dari jarak jauh melalui perangkat mobile.

D. Spesifikasi Hasil

Terciptanya sistem monitoring lampu penerangan jalan umum (PJU) berbasis Internet of Things (IoT) di Kota Bogor. Sistem ini dirancang agar mampu meningkatkan efektivitas pemantauan, menghemat waktu, tenaga, serta biaya operasional, sekaligus mendukung terciptanya lingkungan kota yang lebih aman dan nyaman bagi masyarakat. Berikut adalah spesifikasi hasil dari sistem yang dikembangkan:

- (1) Sistem monitoring lampu PJU yang dapat mendeteksi status nyala atau mati secara otomatis dan real-time, menggunakan sensor arus atau tegangan yang terintegrasi dengan NodeMCU ESP8266.
- (2) Sistem mampu mengirimkan data kondisi lampu (hidup/mati) secara otomatis ke server melalui jaringan internet, sehingga petugas dapat memantau dari jarak jauh tanpa harus melakukan pengecekan langsung di lapangan.
- (3) Sistem ini dirancang agar mudah diintegrasikan dengan infrastruktur PJU yang sudah ada, sehingga implementasi di lapangan dapat dilakukan tanpa perubahan besar pada perangkat keras yang lama.
- (4) Sistem mendukung notifikasi otomatis jika terdeteksi adanya lampu yang padam atau terjadi anomali pada parameter listrik, sehingga penanganan dapat dilakukan lebih cepat dan tepat sasaran.
- (5) Data hasil pemantauan ditampilkan secara visual melalui aplikasi Blynk, yang dapat diakses menggunakan smartphone berbasis Android maupun iOS.

Tampilan aplikasi menampilkan status lampu, parameter teknis, serta histori pemantauan secara informatif dan mudah dipahami.

E. Signifikansi Penelitian dan Kegunaan Pembahasan

Pentingnya penelitian dan pengembangan ini dilakukan dalam rangka mengembangkan penerapan teknik komputasi, pemodelan, dan teknologi internet dalam sistem monitoring dan pengendalian Penerangan Jalan Umum (PJU) berbasis Internet of Things sebagai bagian dari pengembangan smart city. Adapun manfaat dari penelitian ini antara lain :

- (1) Secara teoritis, penelitian ini diharapkan dapat memperkaya literatur ilmiah dalam bidang teknologi informasi dan sistem embedded, khususnya dalam penerapan IoT untuk smart city. Penelitian ini menunjukkan bagaimana integrasi sensor cahaya dan modul NodeMCU ESP8266 dapat diterapkan secara langsung dalam pengelolaan penerangan publik yang adaptif dan responsif terhadap kondisi lingkungan.
- (2) Secara praktis, hasil dari penelitian ini dapat menjadi solusi yang aplikatif dalam meningkatkan efisiensi energi, menurunkan biaya operasional, serta mengurangi ketergantungan pada pengawasan manual. Sistem yang dikembangkan mampu memantau intensitas cahaya sekitar dan menyesuaikan status lampu PJU secara otomatis, sehingga penerangan jalan dapat berfungsi optimal tanpa pemborosan energi.
- (3) Secara kebijakan, hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar atau acuan dalam pengambilan kebijakan, khususnya dalam penerangan jalan umum oleh pemegang kebijakan, yaitu pemerintah daerah melalui Dinas Perhubungan atau instansi terkait lainnya.
- (4) Secara sosial, sistem ini berpotensi besar dalam memberikan rasa aman kepada masyarakat melalui penerangan jalan yang andal dan responsif. Selain itu, penerapan sistem ini juga dapat mendukung program pemerintah daerah dalam membangun kota yang cerdas dan ramah lingkungan. Hasil penelitian ini juga diharapkan bermanfaat bagi instansi pemerintah, teknisi, akademisi, dan masyarakat umum yang memiliki perhatian terhadap efisiensi tata kelola infrastruktur kota.

F. Asumsi dan Keterbatasan

1. Asumsi

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa asumsi, antara lain:

- (a) Koneksi internet tersedia dan stabil di lokasi pemasangan perangkat, sehingga proses pengiriman data *real-time* ke server cloud dapat berjalan tanpa gangguan berarti.

- (b) Sensor LDR mampu membaca intensitas cahaya dengan akurasi yang memadai selama pemasangan dilakukan pada posisi yang tepat dan bebas dari penghalang permanen.
- (c) NodeMCU ESP8266 berfungsi dengan baik sebagai pengendali utama dan pengirim data ke aplikasi berbasis cloud.
- (d) Sistem akan diujikan pada skala terbatas, misalnya pada beberapa titik PJU di wilayah tertentu, sebelum diimplementasikan pada jaringan PJU yang lebih luas.

2.Keterbatasan

Beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam penelitian dan pengembangan ini, yaitu:

- (a) Sistem ini hanya menggunakan perangkat dasar IoT (NodeMCU ESP8266, sensor LDR, dan relay) dengan algoritma sederhana untuk pembacaan intensitas cahaya dan pengendalian lampu.
- (b) Sistem belum mampu menganalisis faktor lingkungan yang kompleks seperti cuaca ekstrem, kabut tebal, atau gangguan cahaya dari sumber lain. Untuk mendeteksi kondisi tersebut dengan lebih akurat, dibutuhkan teknologi tambahan seperti sensor cuaca, kamera, atau algoritma pemrosesan citra.
- (c) Sistem belum memiliki fitur pemantauan dan kontrol untuk seluruh jaringan PJU dalam skala kota secara menyeluruh.
- (d) Sistem belum menyediakan *dashboard analytics* yang mendalam untuk menganalisis pola kerusakan atau prediksi kebutuhan perawatan jangka panjang.
- (e) Notifikasi kerusakan masih berbasis perubahan status sederhana (ON/OFF) dan belum mendukung deteksi awal gangguan teknis pada komponen listrik atau jaringan.
- (f) Sistem ini belum bisa mendeteksi dan mengirimkan notifikasi bila kondisi lampu putus atau rusak.

G. Definisi Istilah dan Definisi Operasional

Dalam penelitian ini, beberapa istilah memiliki definisi khusus untuk memperjelas ruang lingkup penelitian, beberapa definisi istilah dalam penelitian ini diantaranya:

- (1) *Sensor Light Dependent Resistor*: Merupakan jenis sensor cahaya yang nilai resistansinya berubah tergantung pada tingkat pencahayaan lingkungan.
- (2) *Microcontroller*: Sebuah sistem komputer mini dalam bentuk chip yang mampu memproses input dari sensor dan memberikan output berupa perintah ke perangkat lain seperti relay atau server, berdasarkan logika yang telah diprogram.

- (3) *NodeMCU ESP8266*: Sebuah papan mikrokontroler berbasis Wi-Fi buatan Espressif Systems yang populer dalam pengembangan proyek Internet of Things. Modul ini digunakan sebagai otak sistem untuk menghubungkan sensor, mengolah data, dan mengirimkannya ke platform cloud.
- (4) *Relay*: Komponen elektronik berupa saklar yang dapat dikendalikan secara elektrik. Relay digunakan untuk memutus atau menyambungkan arus listrik ke perangkat lain, seperti lampu, berdasarkan sinyal dari mikrokontroler.

Ada beberapa definisi operasional dalam penelitian ini:

- (1) Sensor Light Dependent Resistor digunakan untuk mendeteksi perubahan intensitas cahaya di lingkungan sekitar lampu jalan. Bila kondisi cahaya gelap (malam hari), sensor akan memberi sinyal untuk menyalakan lampu; sebaliknya saat terang, sistem akan mematikan lampu secara otomatis.
- (2) NodeMCU berperan sebagai pengontrol utama yang memproses data dari sensor LDR, lalu mengirimkan data status lampu ke platform monitoring melalui jaringan internet. Selain itu, NodeMCU juga mengaktifkan relay berdasarkan logika dari sensor.
- (3) Aplikasi Blynk yang digunakan sebagai antarmuka (interface) visual yang menampilkan data kondisi lampu secara real-time ke smartphone pengguna. Aplikasi ini memudahkan pengguna memantau dan mengakses status lampu kapan saja, di mana saja.
- (4) Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini merupakan rangkaian otomatisasi berbasis IoT yang memantau kondisi lampu jalan (nyala/padam), mengirimkan data ke server, dan menampilkan hasilnya melalui aplikasi seluler.