

BAB I

PENDAHULUAN

Bab ini memberikan gambaran umum tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penelitian yang akan dibahas pada penelitian ini.

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu komponen utama yang mendukung operasional perkantoran di era modern saat ini. Berbagai aktivitas perkantoran seperti penerangan, pengoperasian peralatan elektronik, sistem pendingin ruangan (AC), serta perangkat komputer sangat bergantung pada pasokan listrik yang stabil dan cukup. Oleh karena itu, konsumsi energi listrik di sektor perkantoran menjadi perhatian penting dalam upaya pengelolaan energi yang efisien dan berkelanjutan.

Sektor bangunan komersial, khususnya perkantoran, menurut *International Energy Agency* (IEA, 2023), berkontribusi sekitar 20–40% terhadap total konsumsi energi listrik di berbagai negara, baik maju maupun berkembang. Di Indonesia sendiri, peningkatan konsumsi listrik di sektor perkantoran terus terjadi seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan pesatnya pembangunan infrastruktur perkantoran modern (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2024). Berdasarkan data Kementerian ESDM, konsumsi listrik per kapita nasional pada tahun 2023 mencapai 1.337 kWh, atau naik sebesar 14% dibandingkan tahun sebelumnya (Kementerian ESDM, 2024). Kenaikan ini dipengaruhi oleh meningkatnya penggunaan berbagai perangkat listrik dan teknologi yang menunjang kegiatan operasional di lingkungan perkantoran.

Sektor perkantoran menghadapi tantangan signifikan terkait efisiensi energi dan pengendalian biaya operasional seiring dengan meningkatnya konsumsi listrik (Kurniawan & Sutanto, 2022). Meskipun demikian, sektor ini memiliki peluang besar untuk meningkatkan efisiensi energi melalui penerapan teknologi hemat energi dan sistem manajemen konsumsi listrik yang lebih efektif. Pengelolaan energi yang tidak efisien tidak hanya berpotensi menyebabkan pemborosan sumber daya listrik, tetapi juga menimbulkan dampak lingkungan berupa peningkatan emisi gas rumah kaca dari pembangkit listrik berbasis fosil (IEA, 2023).

Peningkatan konsumsi listrik di sektor perkantoran memiliki dampak langsung terhadap peningkatan emisi karbon, selain menambah beban biaya operasional. Ketergantungan Indonesia pada pembangkit listrik berbahan bakar fosil, seperti batubara dan gas alam, menjadi

faktor utama tingginya emisi karbon dioksida (CO₂) dari sektor ini. Berdasarkan data Kementerian ESDM (2023), sektor ketenagalistrikan memberikan kontribusi besar terhadap total emisi gas rumah kaca nasional. Oleh karena itu, pengelolaan konsumsi listrik di lingkungan perkantoran menjadi langkah strategis dalam mendukung upaya penurunan emisi karbon nasional.

PT Perusahaan Gas Negara beserta anak perusahaan melihat hal ini sebagai peluang untuk berperan aktif dalam transisi energi bersih dengan menerapkan strategi efisiensi energi listrik. Komitmen ini diwujudkan melalui berbagai inisiatif, seperti optimalisasi penggunaan listrik di fasilitas operasi merupakan upaya pengendalian emisi karbon dari sisi energi listrik tidak hanya berfungsi sebagai bentuk tanggung jawab lingkungan (*environmental responsibility*), tetapi juga memberikan nilai tambah dari aspek ekonomi dan reputasi perusahaan. Dengan efisiensi energi, PGN dapat menekan biaya operasional, meningkatkan daya saing, sekaligus memperkuat citra sebagai perusahaan energi nasional yang mendukung pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*).

Efisiensi energi di sektor perkantoran memiliki peran strategis tidak hanya dalam menekan biaya operasional, tetapi juga dalam mendorong transisi menuju penggunaan energi bersih dan tercapainya keberlanjutan lingkungan. Kajian terhadap pola konsumsi serta sistem pemantauan energi listrik di lingkungan perkantoran menjadi langkah penting untuk mengidentifikasi peluang penghematan, merumuskan strategi pengelolaan energi yang lebih optimal, dan mengurangi emisi karbon dari penggunaan listrik berbasis fosil. Upaya tersebut secara langsung berkontribusi pada peningkatan efisiensi energi sekaligus memperkuat komitmen terhadap pengurangan dampak lingkungan dan pembangunan berkelanjutan.

Pemantauan konsumsi listrik sebagai upaya pengendalian energi pada perusahaan seperti PT PGAS Telekomunikasi Nusantara RO Jabatim (PGNCOM RO Jabatim) selaku anak perusahaan dari PT Perusahaan Gas Negara merupakan bagian penting dari tanggung jawab sosial dan lingkungan perusahaan. Penerapan sistem manajemen energi yang efektif dapat menurunkan konsumsi energi hingga 20-30% sekaligus mengurangi emisi karbon (Kurniawan & Sutanto, 2022). Selain itu, penggunaan teknologi efisiensi energi dan energi terbarukan menjadi strategi utama dalam mengurangi dampak lingkungan sekaligus menekan biaya operasional (IEA, 2023).

Efektivitas pemantauan dalam pengendalian konsumsi listrik sering kali menghadapi berbagai tantangan, salah satunya disebabkan oleh kurang optimalnya sistem monitoring (Rifa'i et al., 2025) Evaluasi menyeluruh terhadap efektivitas pengendalian energi menjadi hal

yang penting dilakukan untuk memastikan bahwa kebijakan dan langkah yang diterapkan mampu menghasilkan peningkatan efisiensi konsumsi energi secara signifikan.

Penelitian terdahulu terkait sistem monitoring listrik kantor berbasis *Internet of Things (IoT)* menambah perbendaharaan literasi dalam penyelesaian permasalahan mengenai konsumsi listrik. Pada penelitian oleh (Wonohadidjojo & Wibawa, 2023) menjelaskan perancangan sistem yang menyediakan solusi pengendalian dan pemantauan aliran arus listrik pada perangkat stop kontak secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data dapat berhasil diambil dan disimpan pada *Firebase* melalui NodeMCU dan Arduino Uno R3. Pada penelitian selanjutnya oleh (Jokanan et al., 2022) menjelaskan pembuatan sebuah alat monitoring daya listrik yang mampu membaca dan memantau penggunaan daya listrik secara *real-time*, memberikan estimasi biaya pemakaian, serta memberikan notifikasi apabila pemakaian arus dan daya listrik telah melebihi batas yang ditentukan. Pada penelitian ini menggunakan komponen yang umum dan mudah diakses seperti NodeMCU dan sensor PZEM-004T. Sementara itu pada penelitian (Lestari et al., 2024) menjelaskan mengenai pengembangan Sistem Pemantauan Daya Listrik Berbasis *Website* untuk memantau konsumsi daya listrik secara *real-time*. Sistem ini menggunakan perangkat keras PZEM-004T yang terhubung ke mikrokontroler dan ESP32 untuk mengirimkan data ke server IoT, yang kemudian ditampilkan pada *website*. Selanjutnya pada penelitian (Natasya, 2025) menjelaskan perancangan sistem monitoring konsumsi daya listrik berbasis *IoT* dengan menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dan sensor tegangan arus PZEM-004T. Fokus pada penelitian ini adalah pengukuran daya listrik dalam satuan kilowatt-jam (kWh) dan integrasi dengan protokol MQTT untuk pemantauan jarak jauh sekaligus dapat memberikan informasi estimasi biaya pemakaian listrik. Dan selanjutnya terkait dengan emisi karbon dikutip pada penelitian (Dinayah & Novembrianto, 2023) menunjukkan bahwa sektor energi merupakan penyumbang utama emisi gas rumah kaca. Kontribusi tersebut terutama berasal dari konsumsi energi listrik pada bangunan komersial, seperti pusat perbelanjaan, perkantoran, hotel, dan apartemen, yang diperkirakan mencapai sekitar 70% dari total emisi karbon dioksida (CO₂). Oleh karena itu, energi listrik menjadi salah satu faktor dominan dalam peningkatan emisi karbon, sehingga diperlukan upaya pengendalian dan efisiensi penggunaan listrik sebagai langkah untuk menekan emisi karbon serta mengurangi dampak lingkungan yang lebih serius terhadap bumi.

Pada penelitian terdahulu mengenai sistem monitoring daya listrik ditemukan beberapa kekurangan. Dalam penelitian (Wonohadidjojo & Wibawa, 2023) penggunaan protokol *Zigbee* memiliki keterbatasan jarak pemantauan dan pengendalian, yang dapat mempengaruhi

efektivitas kontrol jarak jauh. Dalam penelitian (Jokanan et al., 2022) menekankan pada monitoring data (tegangan, arus, daya, energi) saja, tanpa memberikan mekanisme pengendalian seperti kendali atau kontrol manual. Dalam penelitian (Lestari et al., 2024) masih terbatas pada monitoring berbasis website tanpa kemampuan pengendalian perangkat, belum mengakomodir fitur notifikasi konsumsi daya berlebih. Dan dalam penelitian (Natasya, 2025) notifikasi alarm hanya dikirim melalui *Telegram Bot*, yang merupakan solusi cepat namun tidak selalu ideal karena tidak semua pengguna menggunakan *Telegram* secara aktif.

Penelitian ini mengkaji perancangan dan implementasi sistem pemantauan kelistrikan perkantoran berbasis IoT yang diterapkan di PT PGAS Telekomunikasi Nusantara RO Jabatim (PGNCOM RO Jabatim). Sistem yang dikembangkan ditujukan untuk mendukung penggunaan perangkat dengan keterbatasan sumber daya (*constrained devices*) serta beroperasi pada jaringan dengan kapasitas yang rendah. Latar belakang penelitian ini dilandasi oleh meningkatnya konsumsi energi listrik seiring dengan perkembangan infrastruktur telekomunikasi yang beroperasi secara berkelanjutan tanpa henti.

Ketiadaan sistem pemantauan konsumsi listrik dan emisi karbon yang akurat serta berkesinambungan berpotensi menyebabkan inefisiensi penggunaan energi, peningkatan biaya operasional, serta ketidaksesuaian dengan prinsip keberlanjutan *Environmental, Social, and Governance (ESG)*. Selain itu, pemantauan daya listrik yang belum optimal dapat memicu ketidakseimbangan beban dan berpengaruh terhadap stabilitas sistem distribusi listrik. Aspek pengawasan terhadap batas arus (*control limit current*) juga menjadi krusial untuk mencegah terjadinya kondisi arus lebih (*overload*) yang dapat menimbulkan kerusakan peralatan maupun risiko kebakaran listrik.

Oleh karena itu, penguatan sistem pemantauan kelistrikan berbasis teknologi IoT menjadi kebutuhan penting bagi PGNCOM RO Jabatim dalam rangka mengoptimalkan pengelolaan energi secara *real-time*, meningkatkan aspek keselamatan operasional, serta memperkuat komitmen perusahaan terhadap efisiensi energi dan keberlanjutan lingkungan. Melalui penelitian ini, dilakukan evaluasi terhadap efektivitas sistem pemantauan konsumsi listrik di PGNCOM RO Jabatim dengan menitikberatkan pada penerapan teknologi serta peningkatan kesadaran dan peran sumber daya manusia. Hasilnya diharapkan dapat memberikan rekomendasi strategis bagi perusahaan dalam meningkatkan efisiensi energi secara berkelanjutan sekaligus mendukung target nasional pengurangan emisi gas rumah kaca sesuai Perjanjian Paris (Kementerian LHK, 2022).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang mengenai Rancang Bangun Sistem Monitoring Dan Kontrol Daya Listrik Berbasis *IoT* Pada PGNCOM RO Jabatim, terdapat sejumlah permasalahan yang perlu dianalisis. Adapun rumusan masalah yang akan dikaji mencakup hal-hal berikut:

1. Bagaimana merancang perangkat keras sistem monitoring yang mempunyai fitur mengontrol batas arus (*current limit*) berbasis *Internet of Things (IoT)* dan juga dapat menampilkan nilai aktual arus, tegangan, power dan energi secara *realtime*?
2. Bagaimana mengembangkan sistem monitoring berbasis *Internet of Things (IoT)* yang dapat menyajikan informasi estimasi biaya listrik dan informasi estimasi total emisi karbon yang dihasilkan dalam tampilan yang mudah dipahami oleh pengguna?

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam penelitian ini tetap terfokus dan tidak meluas ke luar ruang lingkup yang telah ditentukan, peneliti menetapkan beberapa batasan masalah yang akan menjadi fokus utama. Batasan permasalahan dalam penelitian ini meliputi hal-hal berikut:

1. Perangkat keras pada sistem ini dikembangkan dengan memanfaatkan mikrokontroler NodeMCU ESP32 yang terintegrasi dengan sensor PZEM-004T serta modul *relay* yang digunakan sebagai media pengendalian beban secara jarak jauh.
2. Fokus utama sistem adalah memonitoring nilai tegangan, arus, power dan energi serta dilengkapi dengan fitur pengendalian batas arus (*current limit*). Serta penyajian informasi nilai estimasi biaya listrik dan informasi estimasi total emisi karbon yang dihasilkan.
3. Monitoring dilakukan secara real-time dengan memanfaatkan *platform Firebase* sebagai pengelola data secara *real-time* dan Flutter sebagai *framework* untuk membuat tampilan aplikasi *mobile*.
4. Pada pembahasan mengenai protokol, implementasi penelitian ini menggunakan protokol HTTPS (*HyperText Transfer Protocol Secure*) yang disediakan oleh *platform firebase*. Protokol HTTPS disini sebagai protokol utama dalam proses komunikasi antara klien dan server untuk menjamin keamanan, kerahasiaan, serta integritas data yang dikirim melalui jaringan internet. Protokol HTTPS bekerja dengan dukungan enkripsi SSL/TLS yang memastikan setiap data yang dikirim, seperti autentikasi pengguna, penyimpanan data pada *Realtime Database* maupun *Firestore*, hingga transfer file pada *Cloud Storage*, berlangsung secara aman dan terenkripsi. Selain HTTPS, *Firebase* juga memanfaatkan beberapa protokol tambahan sesuai kebutuhan layanannya, seperti *WebSocket* untuk komunikasi *real-time* pada *Realtime Database*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini disusun berdasarkan rumusan masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, yang berfokus pada pengembangan dan perancangan sistem monitoring daya listrik berbasis *Internet of Things (IoT)*. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan solusi yang lebih efisien. Adapun tujuan yang ingin dicapai antara lain:

1. Merancang perangkat keras untuk sistem monitoring yang mampu melakukan pengendalian batas arus (*control limit current*) dan juga dapat menyajikan informasi nilai tegangan, arus, power dan energi secara *real-time*, dengan memanfaatkan mikrokontroler NodeMCU ESP32 serta sensor PZEM-004T sebagai komponen utama dalam proses pengukuran dan pengolahan data.
2. Mengembangkan sistem monitoring berbasis mobile yang dapat memberikan informasi estimasi biaya pemakaian listrik dan informasi total emisi karbon yang dihasilkan.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif bagi peneliti, perusahaan, maupun perguruan tinggi, terutama dalam hal pengembangan dan perancangan sistem monitoring daya listrik yang berbasis *Internet of Things (IoT)*.

1.5.1 Bagi Peneliti

Manfaat yang diperoleh bagi peneliti sebagai berikut:

1. Menambah wawasan dan pemahaman tentang penerapan teknologi *Internet of Things (IoT)*
2. Memberikan pemahaman terhadap *platform firebase* sebagai *database real-time*, dan *Framework Flutter* sebagai *framework* untuk membuat tampilan antarmuka berbasis *mobile*.
3. Memperoleh pemahaman dan wawasan tentang penggunaan mikrokontroler ESP32 dan sensor PZEM-004T.

1.5.2 Bagi Perusahaan

Manfaat yang diperoleh bagi perusahaan sebagai berikut:

1. Mendukung efisiensi operasional melalui pemanfaatan teknologi *Internet of Things (IoT)*
2. Memberikan inovasi solusi sederhana yang bermanfaat untuk monitoring nilai arus, tegangan, power dan energi serta dapat memantau estimasi biaya dan total emisi karbon yang dihasilkan.

1.5.3 Bagi Perguruan Tinggi:

Manfaat yang diperoleh bagi perguruan tinggi sebagai berikut:

1. Menilai sejauh mana mahasiswa mampu berkontribusi serta mengaplikasikan pengetahuan yang telah diperoleh selama masa perkuliahan.
2. Menambah wawasan dan literatur dalam bidang penelitian terkait *Internet of Things (IoT)* dan sistem kelistrikan.

