

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pada tingkat global dan nasional, pengelolaan energi menjadi salah satu tantangan utama dalam menghadapi perubahan iklim, ketahanan energi, dan keberlanjutan ekonomi. Di sektor rumah tangga, penggunaan listrik terus meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah pelanggan, perubahan gaya hidup, dan penetrasi peralatan elektronik pintar. Di Indonesia, sektor rumah tangga merupakan bagian *signifikan* dari konsumsi listrik nasional dan menjadi titik penting dalam kebijakan efisiensi energi. Penekanan pada manajemen sisi permintaan (*demand-side management*) semakin penting karena pendekatan tradisional berbasis penambahan pasokan saja tidak lagi cukup untuk menjawab lonjakan beban puncak, pemborosan energi, dan tantangan integrasi sumber energi terbarukan.

Seiring meningkatnya kebutuhan energi listrik di berbagai bidang, pengembangan berbagai jenis pembangkit listrik menjadi aspek penting dalam sistem ketenagalistrikan. Setiap pembangkit memanfaatkan sumber energi yang berbeda, baik yang berasal dari sumber energi fosil maupun energi terbarukan, sehingga menghasilkan karakteristik operasi dan dampak lingkungan yang beragam. Berikut merupakan jenis-jenis pembangkit yang menggunakan energi fosil dan energi terbarukan.

Energi fosil adalah sumber energi yang berasal dari fosil menggunakan hasil Bumi yang tidak dapat diperbarui karena proses produksinya memakan waktu hingga ratusan juta tahun. Contohnya ; Batu bara merupakan salah satu bahan bakar fosil yang terbentuk dari endapan organik tumbuhan dan batuan sedimen ratusan juta tahun yang lalu (Maizana et al., n.d.). Minyak bumi adalah bahan bakar fosil yang terbentuk dari sisa-sisa hewan dan tumbuhan mikroskopis yang telah terkubur di bawah tekanan tinggi dan suhu ekstrim kerak bumi selama ratusan juta tahun (Maizana et al., n.d.). Gas alam merupakan hasil bumi yang terbentuk secara alami dari renik-renik binatang dan tanaman kecil laut yang tertimbun sejak 200 – 400

juta tahun yang lalu dan menjadi campuran zat organik di dalam lapisan bebatuan pada tanah dan lautan (Maizana et al., n.d.).

Energi terbarukan secara umum didefinisikan sebagai energi yang berasal dari sumber yang terbentuk secara alami dan diperoleh secara berkala dalam waktu yang tidak lama seperti cahaya matahari, angin, air, biomas, dan panas bumi. Contohnya ; Pembangkit listrik tenaga surya, energi yang berasal dari radiasi dan panas matahari yang dapat dimanfaatkan melalui berbagai teknologi yang terus berkembang seperti pemanas surya, *fotovoltaik* (PV), tenaga panas matahari, arsitektur surya, serta fotosintesis buatan (Maizana et al., n.d.). Pembangkit Tenaga Angin adalah pembangkit listrik yang menggunakan angin sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik (Aprinasyah & Susanto, n.d.). Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah salah satu jenis pembangkit listrik yang menggunakan energi air sebagai sumber daya utamanya. PLTA mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik yang kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan listrik (Ritnawati et al., 2024). Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan sumber energi terbarukan yang berasal dari bahan organik (Sulasminingsih et al., 2023). Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan energi panas yang berasal dari dalam bumi. Energi panas tersebut digunakan untuk menghasilkan uap yang kemudian menggerakkan turbin yang terhubung dengan generator sehingga menghasilkan listrik (Warman, 2018)

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa penerapan strategi manajemen energi pada sektor rumah tangga dapat memberikan dampak yang signifikan terhadap efisiensi energi dan pengurangan emisi. Sebagai contoh, penelitian yang dilakukan di Kota Semarang menunjukkan bahwa penerapan skenario manajemen energi pada rumah tangga mampu menurunkan emisi CO<sub>2</sub> secara signifikan melalui pengaturan penggunaan peralatan listrik rumah tangga. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pengelolaan konsumsi energi listrik rumah tangga secara sistematis dapat memberikan kontribusi positif terhadap penghematan energi dan pengurangan dampak lingkungan (Denis et al., 2016).

Meskipun dorongan untuk efisiensi energi cukup kuat, pada tingkat rumah tangga masih terdapat permasalahan utama dan tantangan yang belum terpecahkan secara memadai. Salah satu masalah utama adalah bahwa banyak rumah tangga menggunakan listrik secara reaktif tanpa sistem *otomatis* atau keputusan berbasis data yang mempertimbangkan karakteristik beban (fleksibel atau tidak), waktu penggunaan, maupun tarif listrik dinamis atau insentif. Misalnya, pada banyak rumah tangga masih ditemukan beban-*standby* atau peralatan menyala meskipun tidak digunakan, yang menyebabkan pemborosan energi. Salah satu penelitian lokal mengungkapkan bahwa sistem kontrol dan *monitoring* rumah tangga berbasis web dan sensor sudah mampu memantau arus, tegangan, dan daya secara *real-time*, namun masih terbatas pada *monitoring* dan belum pada pengambilan keputusan *otomatis*. Tantangan lainnya termasuk rendahnya tingkat kesadaran pengguna terhadap manajemen konsumsi energi, terbatasnya infrastruktur teknologi di rumah tangga, dan kurangnya integrasi antara teknologi *monitoring* dengan sistem keputusan cerdas yang merespon beban secara *real time* (Lakapu et al., 2021).

Seiring dengan perkembangan teknologi digital, pemanfaatan teknologi *internet of things* mulai banyak digunakan dalam pengembangan sistem manajemen energi rumah tangga. Teknologi IoT memungkinkan berbagai perangkat listrik terhubung melalui jaringan internet sehingga mampu melakukan proses pemantauan dan pengendalian perangkat secara jarak jauh maupun secara *otomatis*. Beberapa penelitian juga telah mengintegrasikan teknologi kecerdasan buatan dalam sistem rumah tangga cerdas untuk membantu mengelola konsumsi energi listrik. Sebagai contoh, penelitian mengenai *smart home system* berbasis kecerdasan buatan menunjukkan bahwa integrasi teknologi AI dan IoT dapat membantu mengoptimalkan penggunaan energi listrik rumah tangga berdasarkan pendekatan finansial atau estimasi biaya listrik (Akhinov & Cahyono, 2021).

Meskipun berbagai penelitian sebelumnya telah membahas sistem *monitoring* dan pengelolaan energi listrik rumah tangga berbasis *internet of things* (IoT), sebagian besar masih berfokus pada fungsi pemantauan konsumsi energi dan pengendalian *manual* atau semi-*otomatis*. Sistem tersebut umumnya hanya menampilkan informasi arus, tegangan, dan daya secara *real-time* tanpa diikuti oleh

mekanisme pengambilan keputusan yang mampu merespons perubahan karakteristik beban secara adaptif. Akibatnya, peran pengguna masih dominan dalam menentukan tindakan penghematan energi, sehingga potensi optimalisasi konsumsi listrik belum dimanfaatkan secara maksimal.

Dalam pengembangan sistem manajemen energi berbasis internet of *things* (IoT), diperlukan perangkat pengendali yang mampu melakukan pemantauan serta komunikasi data secara *real-time*. Salah satu perangkat yang banyak digunakan adalah ESP32, yaitu *mikrokontroler* yang telah dilengkapi dengan fitur komunikasi nirkabel seperti Wi-Fi dan Bluetooth. Kemampuan tersebut memungkinkan ESP32 untuk menghubungkan berbagai sensor dan perangkat elektronik ke dalam suatu sistem jaringan yang dapat dikontrol dan dipantau secara jarak jauh. Dengan performa yang cukup tinggi serta kemudahan integrasi dengan berbagai modul sensor, ESP32 banyak dimanfaatkan dalam pengembangan sistem otomasi, smart home, dan *monitoring* energi listrik berbasis IoT (Prafanto et al., 2021).

Untuk mendukung proses pemantauan dan pengendalian perangkat secara jarak jauh, diperlukan sebuah platform aplikasi yang mampu menghubungkan perangkat keras dengan pengguna melalui jaringan *internet*. Salah satu platform yang banyak digunakan dalam sistem *internet of things* (IoT) adalah *Blynk*. Blynk merupakan aplikasi berbasis cloud yang memungkinkan pengguna untuk melakukan *monitoring* dan kontrol perangkat elektronik melalui smartphone secara *real-time*. Platform ini dapat terintegrasi dengan *mikrokontroler* seperti ESP32 sehingga data yang diperoleh dari berbagai sensor dapat dikirimkan dan ditampilkan secara langsung pada aplikasi. Dengan adanya antarmuka yang interaktif, pengguna dapat memantau kondisi sistem serta mengendalikan perangkat listrik dengan lebih mudah dan efisien (Wiguna & Sotyohadi, 2024)

Penelitian ini akan melengkapi dan memperbaiki kondisi tersebut dengan mengembangkan sebuah sistem keputusan cerdas (*smart decision system*) untuk pemakaian energi listrik rumah tangga berdasarkan respon beban. Sistem yang diusulkan akan melakukan analisis beban secara *real-time* atau *near-real-time*, mengklasifikasi beban menurut fleksibilitas dan prioritas pengguna, lalu merekomendasikan atau bahkan mengendalikan perangkat listrik rumah tangga

untuk mengoptimalkan konsumsi energi, mengurangi beban puncak, dan menjaga kenyamanan pengguna. Dengan mengintegrasikan *monitoring* IoT, algoritma kecerdasan buatan (misalnya pembelajaran mesin atau logika keputusan), dan mekanisme respons beban (*load shifting* atau *load shedding*) dalam konteks rumah tangga Indonesia, penelitian ini mengisi kesenjangan dalam literatur dan memberikan kontribusi baru bagi pengembangan ilmu di bidang manajemen energi rumah tangga. Kontribusi praktisnya juga penting: prototipe sistem ini dapat menjadi basis bagi program manajemen energi rumah tangga, utilitas listrik, atau pengembang *smart-home* di Indonesia.

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana merancang sistem keputusan cerdas (*Smart Decision System*) yang mampu mengidentifikasi, mengklasifikasikan, dan merespons beban listrik rumah tangga secara *otomatis* dan *real-time*?
2. Bagaimana mengintegrasikan teknologi *internet of things* (IoT) dengan algoritma pengambilan keputusan dalam sistem keputusan cerdas untuk mengoptimalkan pemakaian energi listrik rumah tangga?
3. Bagaimana penerapan sistem keputusan cerdas berbasis respon beban dapat meningkatkan efisiensi konsumsi energi listrik serta mengurangi pemborosan energi di lingkungan rumah tangga?
4. Bagaimana kinerja sistem keputusan cerdas berbasis respon beban dalam menjaga keseimbangan antara efisiensi energi dan kenyamanan pengguna pada penggunaan perangkat listrik rumah tangga?

## **1.3 Batasan Masalah**

1. Penelitian hanya dilakukan pada sistem kelistrikan rumah tangga skala kecil (tipe R-1), dengan daya maksimum 2.200 VA.
2. Jenis beban listrik yang dianalisis dibatasi pada peralatan elektronik rumah tangga yang umum digunakan, seperti lampu, kipas angin, televisi, kulkas, dan mesin cuci.

3. Sistem keputusan cerdas yang dikembangkan hanya digunakan untuk memberikan rekomendasi dan mengontrol beban listrik berdasarkan klasifikasi beban (prioritas dan fleksibilitas), tanpa mempertimbangkan tarif listrik dinamis atau energi terbarukan.
4. Implementasi sistem dilakukan dalam lingkungan simulasi atau prototipe sederhana menggunakan *mikrokontroler* dan sensor IoT, serta tidak diuji dalam skala rumah tangga nyata secara luas.
5. Algoritma pengambilan keputusan yang digunakan dibatasi pada pendekatan dasar berbasis logika aturan *rule-based* atau *machine learning* ringan, agar sesuai dengan kemampuan komputasi sistem dan keterbatasan waktu penelitian.

#### 1.4 Tujuan Dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Merancang dan mengembangkan sistem keputusan cerdas (*Smart Decision System*) yang mampu mengidentifikasi, mengklasifikasikan, dan merespons beban listrik rumah tangga secara *otomatis* dan real-time.
2. Mengintegrasikan teknologi *internet of things* dengan metode pengambilan keputusan berbasis aturan (*rule-based system*) atau algoritma kecerdasan buatan ringan untuk mengoptimalkan pemakaian energi listrik rumah tangga.
3. Menganalisis pengaruh penerapan sistem keputusan cerdas berbasis respon beban terhadap peningkatan efisiensi konsumsi energi listrik dan pengurangan pemborosan energi pada rumah tangga.
4. Mengevaluasi kinerja sistem keputusan cerdas dalam menjaga keseimbangan antara efisiensi penggunaan energi listrik dan kenyamanan pengguna.

Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis:
  - a. Menambah referensi keilmuan di bidang teknik elektro dan sistem cerdas, khususnya terkait pengembangan sistem pengambilan keputusan

berbasis respon beban pada penggunaan energi listrik rumah tangga yang terintegrasi dengan IoT.

- b. Menjadi acuan konsep dan metode bagi penelitian selanjutnya yang membahas manajemen energi listrik rumah tangga berbasis sistem keputusan cerdas, terutama pada konteks rumah tangga di Indonesia.

## 2. Manfaat Praktis:

- a. Memberikan solusi pengelolaan energi listrik rumah tangga yang lebih cerdas dan adaptif dibandingkan sistem *monitoring* konvensional, melalui pengaturan beban listrik secara *otomatis* atau *semi-otomatis*.
- b. Membantu pengguna rumah tangga dalam menghemat energi listrik, mengurangi pemborosan dan beban puncak, serta meningkatkan efisiensi penggunaan energi tanpa mengganggu kenyamanan.

## 1.5 Metode Penyelesaian Masalah

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan beberapa langkah untuk menyelesaikan masalah yang telah dirumuskan. Metode yang digunakan menggabungkan teknologi *internet of things* (IoT) dan sistem pengambilan keputusan berbasis logika atau algoritma sederhana. Adapun tahapan penyelesaiannya dijelaskan sebagai berikut:

### 1. Studi Literatur

Langkah awal yang dilakukan adalah mencari dan mempelajari referensi dari berbagai sumber, seperti jurnal, buku, dan artikel ilmiah yang berkaitan dengan manajemen energi, sistem *smart home*, respon beban, dan sistem pengambilan keputusan. Hal ini bertujuan agar penulis memahami dasar teori yang dibutuhkan sebelum mulai merancang sistem. Studi literatur juga difokuskan pada konsep sistem pengambilan keputusan, respon beban (*load response*), serta klasifikasi beban listrik rumah tangga berdasarkan prioritas dan fleksibilitas penggunaan.

### 2. Perancangan Sistem

Setelah memahami konsep dasarnya, penulis mulai merancang sistem yang akan dibuat. Sistem ini terdiri dari bagian *hardware* dan *software*. Perangkat

keras menggunakan *mikrokontroler* seperti ESP32 atau Arduino, sensor arus dan tegangan untuk membaca data listrik, serta modul *relay* untuk mengontrol perangkat listrik. Sementara itu, perangkat lunak akan dibuat untuk mengatur logika pengambilan keputusan berdasarkan data yang diterima dari sensor. Pada tahap perancangan, sistem dirancang tidak hanya untuk melakukan *monitoring* konsumsi energi, tetapi juga untuk menjalankan proses pengambilan keputusan. Proses ini meliputi analisis data beban listrik, penentuan kondisi *normal* atau kritis, serta penentuan tindakan respon beban berupa rekomendasi atau pengendalian beban *non-prioritas* secara *otomatis* melalui modul *relay*.

### 3. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan tidak hanya digunakan sebagai informasi pemantauan, tetapi juga sebagai input utama dalam proses analisis dan pengambilan keputusan sistem untuk menentukan respon terhadap perubahan beban listrik.

### 4. Uji Coba Sistem

Setelah sistem selesai dibuat, penulis akan mengujinya dalam simulasi atau prototipe rumah sederhana. Uji coba sistem dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mengambil keputusan berbasis respon beban, termasuk ketepatan sistem dalam mengklasifikasikan beban, kecepatan respon terhadap kondisi beban puncak, serta dampaknya terhadap efisiensi konsumsi energi dan kenyamanan pengguna.

### 5. Analisis dan Penyusunan Laporan

Analisis hasil pengujian difokuskan pada evaluasi kinerja sistem keputusan cerdas, terutama dalam hal efektivitas respon beban, pengurangan pemborosan energi, serta keandalan sistem dalam kondisi penggunaan yang bervariasi.