

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Greenflation, fenomena kenaikan harga yang terkait dengan transisi menuju ekonomi ramah lingkungan, telah menjadi tantangan global yang semakin mendesak dalam beberapa tahun terakhir [1]. Di Indonesia, dampak *greenflation* terlihat nyata melalui kenaikan Tarif Dasar Listrik (TDL), seperti yang terjadi pada tahun 2022-2023, di mana tarif listrik untuk pelanggan non-subsidi mengalami kenaikan sebesar 13,7% [3]. Kenaikan ini memberikan tekanan signifikan pada pengeluaran rumah tangga, terutama mengingat listrik merupakan kebutuhan dasar yang tidak dapat disubstitusi. Di Indonesia, meskipun dampak *greenflation* belum signifikan karena masih berada di tahap awal transisi energi, potensi kenaikan biaya energi terbarukan perlu diantisipasi [4]. Hal ini terlihat dari data *Center for Energy Security Studies* (CESS) yang menunjukkan tarif listrik dari pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) bisa mencapai Rp 1.037 per kilowatt jam (kWh), jauh lebih tinggi dibandingkan tarif listrik dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) berbasis batubara yang rata-rata Rp 700 per kWh [5].

Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) tahun 2021, sektor rumah tangga mendominasi konsumsi energi listrik nasional dengan kontribusi mencapai 33% dari total konsumsi [6]. Tingginya konsumsi ini diperparah oleh perilaku penggunaan listrik yang tidak efisien, seperti:

- Pemborosan akibat perangkat elektronik dalam mode siaga (*vampire power*) yang mengkonsumsi 5-10% dari total penggunaan listrik rumah tangga[2].
- Penggunaan lampu yang tidak perlu pada siang hari.
- Pengaturan suhu pendingin ruangan yang tidak optimal.
- Kurangnya pemahaman tentang pola konsumsi energi.

Upaya penghematan energi konvensional seringkali terkendala oleh keterbatasan informasi dan kesulitan dalam memantau penggunaan listrik secara *real-time*. Sistem *monitoring* listrik yang ada saat ini umumnya hanya menampilkan total penggunaan bulanan, tanpa memberikan wawasan tentang pola konsumsi harian atau perangkat mana yang mengkonsumsi listrik paling banyak.

Internet of Things (IoT) menawarkan solusi inovatif untuk mengatasi permasalahan tersebut. Teknologi IoT memungkinkan:

1. Pemantauan konsumsi listrik secara *real-time*
2. Identifikasi pola penggunaan energi yang tidak efisien
3. Kontrol otomatis perangkat elektronik
4. Analisis data untuk optimasi penggunaan energi
5. Rekomendasi penghematan yang dipersonalisasi

Penelitian terkini menunjukkan bahwa implementasi *deep learning* dalam manajemen sumber daya IoT dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi hingga 30% [7]. Selain itu, integrasi *blockchain* dalam manajemen sisi permintaan (*demand-side management*) terbukti dapat meningkatkan keamanan dan transparansi sistem manajemen energi [8].

Penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem manajemen energi listrik rumah tangga berbasis IoT yang terintegrasi dan terjangkau. Sistem ini menggabungkan sensor ZMPT101B untuk pengukuran tegangan, mikrokontroler ESP32 dan Arduino R4 wifi sebagai unit pemrosesan, dan platform web untuk visualisasi dan kontrol. Keunggulan sistem yang diusulkan meliputi:

- Monitoring real-time dengan akurasi tinggi
- Antarmuka pengguna yang mudah dipahami dan ramah pengguna
- Kemampuan kontrol jarak jauh

Dengan mengimplementasikan sistem ini, diharapkan rumah tangga dapat mengoptimalkan penggunaan listrik mereka, mengurangi pemborosan

energi, dan pada akhirnya memitigasi dampak ekonomi dari *greenflation* [9]. Lebih jauh, sistem ini juga berkontribusi pada upaya keberlanjutan lingkungan melalui penggunaan energi yang lebih efisien [10].

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian ini akan fokus pada permasalahan berikut:

- Bagaimana merancang dan mengembangkan sistem IoT yang terintegrasi untuk memantau dan mengelola konsumsi energi listrik di rumah tangga secara efektif dan efisien?
- Bagaimana sistem IoT dapat memberikan informasi yang akurat dan *real-time* kepada pengguna tentang konsumsi energi setiap peralatan listrik di rumah tangga?
- Bagaimana sistem IoT dapat memberikan rekomendasi penghematan energi yang *personalisasi* berdasarkan pola konsumsi energi individu dan preferensi pengguna?
- Bagaimana mengukur dampak implementasi sistem IoT terhadap pengurangan konsumsi energi dan biaya listrik di rumah tangga?

1.3. Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini memiliki tujuan utama untuk mengembangkan solusi teknologi yang dapat membantu mengatasi dampak *greenflation* melalui manajemen energi listrik yang lebih efisien di sektor rumah tangga. Secara spesifik, tujuan penelitian ini adalah:

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem *monitoring* energi listrik berbasis IoT yang terintegrasi menggunakan ESP32 dan sensor PZEM-004T. Sistem ini dirancang untuk memberikan pengukuran yang akurat dan *real-time* terhadap konsumsi energi listrik rumah tangga.
2. Mengembangkan sistem manajemen energi terintegrasi berbasis web menggunakan teknologi MERN stack (MongoDB, Express.js, React,

Node.js) yang menyediakan visualisasi data real-time dan manajemen database yang efisien.

3. Mengukur dan menganalisis efektivitas sistem dalam mengurangi konsumsi energi dan biaya listrik rumah tangga, serta kontribusinya dalam mengatasi dampak *greenflation*.

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini meliputi:

1. Manfaat Praktis:

- Bagi pengguna rumah tangga, sistem ini membantu mengoptimalkan penggunaan energi dan mengurangi biaya listrik melalui *monitoring* yang lebih baik
- Memberikan pemahaman yang lebih baik tentang pola konsumsi energi melalui visualisasi data yang mudah dipahami
- Memungkinkan pengguna untuk membuat keputusan yang lebih informasi dalam penggunaan energi listrik

2. Manfaat Teoritis:

- Memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi IoT dalam konteks manajemen energi rumah tangga
- Menyediakan model implementasi sistem *monitoring* energi yang dapat dijadikan referensi untuk pengembangan lebih lanjut
- Menambah pemahaman tentang efektivitas teknologi dalam mengatasi tantangan *greenflation*

3. Manfaat Lingkungan:

- Mendukung upaya pengurangan konsumsi energi yang berdampak pada penurunan emisi karbon
- Berkontribusi pada pencapaian tujuan keberlanjutan lingkungan melalui efisiensi energi
- Membantu menciptakan kesadaran akan pentingnya penghematan energi dalam konteks perubahan iklim.

Pencapaian tujuan-tujuan ini akan diukur melalui serangkaian pengujian dan evaluasi yang komprehensif, seperti dijelaskan dalam Tabel 1.1 berikut:

Tabel 1. 1. Tabel keterkaitan antara tujuan, pengujian dan kesimpulan.

No.	Tujuan	Pengujian	Kesimpulan
1	Akurasi pengukuran energi	Membandingkan hasil pengukuran sistem dengan alat ukur standar	Tingkat akurasi sistem dalam pengukuran konsumsi energi
2	Efektivitas visualisasi data	Pengujian <i>usability</i> dan <i>user acceptance</i>	Tingkat keberhasilan sistem dalam menyajikan informasi
3	Efisiensi energi	Analisis perbandingan konsumsi sebelum dan sesudah implementasi	Persentase penghematan energi yang dicapai
4	Dampak ekonomi	Analisis pengurangan biaya listrik	Efektivitas sistem dalam mengurangi dampak <i>greenflation</i>

1.4. Batasan Masalah

Dalam upaya membatasi ruang lingkup penelitian dan menjaga fokus yang tepat, penelitian ini akan memiliki sejumlah batasan masalah yang dirancang untuk menyederhanakan kompleksitas sistem *monitoring* energi listrik berbasis IoT.

Dari segi perangkat keras, penelitian akan menggunakan komponen spesifik seperti sensor tegangan ZMPT101B, *mikrokontroler* ESP32, dan Arduino R4 WiFi, dengan pembatasan jumlah perangkat yang dimonitor maksimal lima perangkat dalam satu instalasi rumah tangga. Hal ini bertujuan untuk memastikan kemudahan implementasi dan pengujian sistem.

Pada aspek jaringan dan komunikasi, sistem akan mengandalkan konektivitas WiFi dengan protokol MQTT melalui broker HiveMQ *Cloud*, dengan jangkauan komunikasi terbatas pada jaringan *WiFi* lokal. Pembatasan ini dilakukan untuk menghindari kompleksitas jaringan yang berlebihan dan memfokuskan pada fungsionalitas inti sistem.

Dalam lingkup perangkat lunak, penelitian akan menggunakan teknologi *backend* Express.js dengan arsitektur RESTful API, *frontend* React.js, dan *database* MongoDB. Fitur manajemen pengguna akan dibatasi pada

fungsi dasar seperti *registrasi*, *login*, dan pengelolaan *profil*, dengan visualisasi data yang terbatas pada periode harian, mingguan, dan bulanan.

Fungsionalitas sistem akan difokuskan pada *monitoring* konsumsi energi *real-time*, kontrol *on/off* perangkat elektronik, analisis penggunaan energi sederhana, dan notifikasi peringatan konsumsi energi. Kompleksitas prediktif menggunakan *machine learning* lanjutan tidak akan dimasukkan dalam lingkup penelitian ini.

Dari perspektif keamanan, sistem akan menerapkan metode *autentikasi* berbasis JSON Web Token, *enkripsi password* menggunakan *bcrypt*, dan *rate limiting* untuk mencegah serangan *brute force*. Namun, implementasi keamanan jaringan tingkat lanjut tidak akan menjadi fokus utama.

Pengujian akan dilakukan dalam lingkungan terkontrol dengan jumlah sampel data pembacaan yang terbatas, tanpa melakukan pengujian beban ekstrem atau analisis keamanan komprehensif. Lingkungan implementasi akan difokuskan pada konteks rumah tangga dengan infrastruktur listrik PLN standar, tidak mencakup skala industri atau komersial.

Dengan membatasi ruang lingkup penelitian dalam berbagai aspek tersebut, diharapkan peneliti dapat menyelesaikan dalam waktu yang tersedia, dengan mempertimbangkan keterbatasan sumber daya dan kemampuan teknis yang dimiliki.

1.5. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian *Research and Development* (R&D) yang komprehensif, dengan tahapan sistematis untuk mengembangkan solusi teknologi dalam mengatasi tantangan *greenflation* melalui sistem *monitoring* energi listrik berbasis *Internet of Things* (IoT).

Adapun tahapan metodologis dalam penelitian ini mencakup:

1. Studi Literatur dan Pengumpulan

Data Tahap awal penelitian difokuskan pada pengumpulan dan analisis literatur ilmiah, jurnal penelitian, laporan resmi, dan sumber akademik terkait greenflation, teknologi IoT, dan manajemen energi.

Proses ini bertujuan untuk:

- Mengidentifikasi gap penelitian yang ada
- Memperoleh landasan teoritis yang kuat
- Mengeksplorasi metodologi dan teknologi yang telah dikembangkan sebelumnya
- Mendapatkan pemahaman mendalam tentang permasalahan energi di tingkat rumah tangga

2. Pengumpulan Data Empiris

Penelitian akan melakukan pengumpulan data empiris melalui beberapa metode:

- Survei konsumsi energi pada rumah tangga di wilayah perkotaan
- Wawancara dengan pakar energi dan praktisi teknologi
- Dokumentasi pola konsumsi listrik dari sampel rumah tangga
- Pengukuran langsung konsumsi energi menggunakan perangkat IoT yang dikembangkan

3. Perancangan Sistem

Tahap perancangan meliputi desain komprehensif sistem *monitoring* energi, mencakup:

- Perancangan arsitektur perangkat keras
- Desain sistem komunikasi IoT
- Perancangan *database* dan backend
- Pengembangan antarmuka pengguna (*frontend*)
- Merancang algoritma analisis dan visualisasi data

4. Implementasi Teknologi

Pada tahap ini, penelitian akan mengimplementasikan rancangan sistem dengan:

- Merakit perangkat keras menggunakan *mikrokontroler* ESP32 dan sensor ZMPT101B
- Mengembangkan perangkat lunak *backend* dengan Express.js
- Membangun antarmuka pengguna menggunakan React
- Mengintegrasikan sistem dengan protokol MQTT
- Mengonfigurasi *database* MongoDB

5. Pengujian Sistem

Serangkaian pengujian akan dilakukan untuk memvalidasi kinerja sistem:

- Uji akurasi sensor
- Pengujian performa sistem
- Uji konektivitas dan keandalan jaringan
- Evaluasi ketepatan pembacaan dan analisis data
- Pengujian keamanan dan privasi

6. Analisis Data

Data yang diperoleh dari pengujian akan dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif untuk:

- Mengukur efektivitas sistem dalam mengurangi konsumsi energi
- Menghitung potensi penghematan biaya
- Mengevaluasi dampak terhadap kesadaran pengguna tentang konsumsi energi
- Mengidentifikasi area perbaikan dan pengembangan lebih lanjut

7. Validasi dan Verifikasi

Tahap validasi dilakukan melalui:

- *Peer review* oleh pakar teknologi dan energi
- Pengujian lapangan dengan kelompok pengguna terbatas
- Membandingkan hasil dengan sistem *monitoring* energi konvensional

- Melakukan kajian terhadap aspek keberlanjutan dan dampak lingkungan

8. Dokumentasi dan Pelaporan

Seluruh proses penelitian didokumentasikan secara komprehensif, meliputi:

- Dokumentasi teknis sistem
- Catatan pengembangan dan kendala yang dihadapi
- Analisis hasil penelitian
- Rekomendasi untuk penelitian dan pengembangan selanjutnya

9. Diseminasi Hasil

Hasil penelitian akan disebarluaskan melalui:

- Publikasi ilmiah pada jurnal terakreditasi
- Presentasi pada konferensi teknologi dan energi
- Berbagi pengetahuan dengan komunitas akademik dan industri

Pendekatan metodologis ini dirancang untuk menghasilkan solusi teknologi yang inovatif, terukur, dan memberikan kontribusi nyata dalam mengatasi tantangan *greenflation* melalui manajemen energi berbasis IoT.

1.6. Jadwal Pelaksanaan

Tabel 1. 2. Jadwal Pelaksanaan Tugas Akhir.

No.	Deskripsi Tahapan	Bulan 1	Bulan 2	Bulan 3	Bulan 4	Bulan 5	Bulan 6
1	Studi Literatur						
2	Pengumpulan Data						
3	Perancangan Sistem						
4	Pengujian Sistem						
5	Analisis dan Evaluasi						
6	Penyusunan Laporan/Buku TA						

1.7. Sistematika Penulisan

Laporan Tugas Akhir ini terdiri dari lima bab utama dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

1. Bab 1 Pendahuluan: Berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat, batasan masalah, metode penelitian, serta sistematika penulisan.
2. Bab 2 Tinjauan Pustaka: Membahas penelitian terkait dan landasan teori yang menjadi dasar pengembangan sistem.
3. Bab 3 Perancangan Sistem: Menjelaskan desain dan perancangan sistem manajemen energi listrik berbasis IoT yang diusulkan.
4. Bab 4 Hasil Percobaan dan Analisis: Menyajikan hasil pengujian sistem, analisis data, serta evaluasi kinerja dan efektivitas sistem.
5. Bab 5 Kesimpulan dan Saran: Memberikan kesimpulan dari hasil penelitian dan saran untuk pengembangan lebih lanjut.