

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Dalam era modernisasi yang terus berkembang, kebutuhan akan energi listrik meningkat secara signifikan. Menurut proyeksi International Energy Agency (IEA), permintaan energi dunia diperkirakan meningkat sebesar 45% hingga tahun 2030, dengan rata-rata pertumbuhan 1,6% per tahun [1]. Peningkatan konsumsi listrik didorong oleh semakin banyaknya perangkat elektronik yang digunakan dalam rumah tangga serta meningkatnya kompleksitas kebutuhan di sektor industri. Penggunaan listrik di sektor rumah tangga terus bertambah seiring dengan kemajuan teknologi dan gaya hidup modern [2]. Menurut laporan statistik PLN tahun 2023, sektor rumah tangga menyumbang persentase tertinggi dalam penggunaan listrik sebesar 122.339,69 GWh atau sebesar 42,41% [3]. Namun, peningkatan konsumsi ini tidak sebanding dengan kesadaran masyarakat untuk mengelola energi listrik secara efisien, sehingga memicu tantangan dalam pengelolaan konsumsi energi. Penggunaan listrik yang tidak terkontrol berpotensi memicu terjadinya pemborosan energi sekaligus meningkatkan beban biaya tagihan listrik.

Tarif listrik untuk sektor rumah tangga di Indonesia bervariasi berdasarkan kategori pelanggan, kapasitas daya, dan jenis penggunaan. Berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 7 Tahun 2024 tentang tarif tenaga listrik yang disediakan oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero), pelanggan 900 VA bersubsidi dikenakan biaya Rp 1.352 per kWh, sedangkan pelanggan non-subsidi membayar antara Rp 1.444,70 per kWh sesuai dengan kapasitas daya yang terpasang [4]. Kebijakan tarif ini bertujuan untuk mendorong efisiensi energi, namun keberhasilannya sangat dipengaruhi oleh tingkat kesadaran konsumen dalam mengelola penggunaan listrik. Neffati dkk, (2021) dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa manajemen energi dapat dilakukan secara efektif melalui model seperti *Realtime Pricing* (RTP) dan *period-of-use* [5]. Model-model ini mampu mendorong konsumen untuk lebih hemat ketika tarif listrik meningkat pada tingkat konsumsi tertentu. Untuk menghindari kenaikan tarif

berlebih, diperlukan teknologi yang bisa membantu konsumen untuk memahami dan mengelola penggunaan listrik secara lebih bijaksana.

Teknologi *Internet of Things* (IoT) muncul sebagai solusi potensial ditengah tantangan efisiensi energi. IoT memungkinkan perangkat untuk saling terhubung dan mengumpulkan data secara *realtime*, yang dapat digunakan untuk analisis dan pengambilan keputusan yang lebih baik [6]. Salah satu aplikasi IoT dalam bidang energi adalah *Smart Energy Meter* (SEM). SEM merupakan sebuah perangkat elektronik yang dirancang untuk membantu pemantauan dan pengelolaan energi listrik dengan menggunakan jaringan internet [7]. SEM memungkinkan pengguna untuk memonitor dan mengelola konsumsi listrik secara lebih efektif, serta memberikan peluang untuk integrasi dengan sistem pembayaran listrik Prabayar.

Sistem meteran listrik konvensional memiliki beberapa kelemahan, seperti pengguna hanya mendapatkan informasi konsumsi listrik setelah membayar tagihan, tidak adanya *feedback* secara *realtime* kepada pengguna untuk mengelola penggunaan energi [8]. Selain itu, pada meteran listrik konvensional tidak dirancang untuk melakukan analisis pola konsumsi listrik secara mendalam, sehingga sulit untuk mendeteksi inefisiensi atau potensi penghematan [9]. Kelemahan lainnya adalah sistem ini tidak terintegrasi dengan teknologi prediktif yang dapat membantu pengguna merencanakan kebutuhan energi. Peramalan konsumsi listrik yang akurat dapat membantu pengguna dalam merencanakan pengeluaran dan mengelola energi secara lebih efisien.

Dalam konteks data konsumsi listrik yang bersifat *time series*, metode peramalan yang digunakan harus mampu menangani pola kompleks dan variabel non-linier. Metode tradisional seperti Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) telah lama digunakan untuk analisis data *time series* [10]. Meskipun efektif untuk data yang bersifat linier, ARIMA memiliki keterbatasan dalam menangani interaksi variabel yang kompleks dan pola non-linier [10]. Sebagai alternatif, metode Gradient Boosting Machines (GBM), termasuk Extreme Gradient Boosting (XGBoost), menawarkan solusi yang lebih baik untuk mengatasi tantangan ini.

XGBoost tidak hanya mampu menangani data berskala besar dengan variabel kompleks, tetapi juga unggul dalam mengidentifikasi pola non-linier melalui pendekatan *machine learning* [11]. XGBoost menjadi pilihan yang relevan karena efisiensinya dalam pemrosesan data yang besar dan kemampuannya menghasilkan peramalan yang akurat untuk membantu perencanaan kebutuhan energi dengan lebih bijak. Penelitian yang dilakukan oleh Matos dkk [12], mengungkapkan bahwa XGBoost mampu memberikan kinerja yang unggul, terbukti dengan pengurangan biaya tagihan listrik hingga 9,8% dalam kondisi produksi energi surya yang tinggi. Hasil ini jauh lebih baik dibandingkan dengan metode lain, seperti Artificial Neural Networks (ANN) dan Gradient Boosting Decision Trees (GDTS), yang tidak dapat mencapai tingkat penghematan yang sama. Selain itu, XGBoost menghasilkan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebesar 0,48 yang lebih rendah dibandingkan model lainnya, seperti LSTM dan MLP, yang masing-masing memiliki nilai MAPE di atas 1,0. Hasil ini sejalan dengan temuan Bassi dkk [13], yang mengungkapkan bahwa XGBoost memiliki keunggulan dalam hal efisiensi dan akurasi dibandingkan dengan model *gradient boosting* lainnya, seperti LightGBM dan CatBoost, dalam konteks peramalan konsumsi energi. Hal ini dibuktikan dengan nilai *Root Mean Squared Error* (RMSE) dan yang lebih rendah dan *Coefficient of Determination* (R^2) yang lebih tinggi, dibandingkan dengan model-model lainnya.

Beberapa penelitian terkait pengembangan SEM telah dilakukan. Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan dkk [14], yang mengembangkan sistem pemantauan konsumsi daya listrik secara *realtime* dengan integrasi pada aplikasi Android. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem yang dirancang memiliki akurasi tinggi dalam pembacaan arus dan tegangan. Berdasarkan perbandingan antara pembacaan SEM dengan *multimeter*, rata-rata persentase selisih pengukuran arus adalah sebesar 0,88%, sedangkan untuk tegangan sebesar 0,99%. Selain itu, penelitian lain yang dilakukan oleh Pela dkk [15] juga memberikan kontribusi penting. Penelitian ini mengembangkan prototipe sistem berbasis IoT untuk memantau konsumsi daya listrik rumah tangga. Hasilnya menunjukkan bahwa pemborosan energi dapat dikurangi, karena pengguna dapat

Muhamad Ajis, 2025

RANCANG BANGUN SMART ENERGY METER BERBASIS IOT UNTUK PERAMALAN KONSUMSI KWH LISTRIK PRABAYAR DENGAN ALGORITMA XGBOOST

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

memantau penggunaan listrik secara langsung melalui *smartphone* masing-masing. Pada penelitian Karthick dkk [16], *Smart Compact Energy Meter* (SCEM) berbasis IoT dikembangkan untuk manajemen energi di gedung komersial. Penelitian ini berhasil membuat sistem pemantauan *realtime* yang terintegrasi dengan fitur *demand side management*, yang membantu pengelolaan konsumsi energi secara efisien.

Namun, beberapa penelitian tersebut masih berfokus pada fungsi pemantauan konsumsi listrik secara *realtime* tanpa mengintegrasikan kemampuan peramalan. Penelitian yang dilakukan menunjukkan efektivitas SEM berbasis IoT dalam memberikan data konsumsi secara langsung kepada pengguna. Sistem yang dirancang berhasil mengurangi pemborosan energi dengan meningkatkan kesadaran pengguna terhadap pola konsumsi listrik. Namun belum dapat memberikan proyeksi kebutuhan energi yang lebih strategis.

Sebaliknya, penelitian yang dilakukan oleh Huang dkk dan Semmelmann dkk, lebih menitikberatkan pada pengembangan algoritma prediktif berbasis *machine learning* seperti LSTM dan XGBoost untuk memperkirakan pola konsumsi energi [11], [17]. Meskipun menghasilkan peramalan yang akurat, sistem ini belum terintegrasi dengan sistem pemantauan *realtime* yang memungkinkan pengguna mendapatkan *feedback* langsung terkait penggunaan listrik.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Piu dkk, integrasi sistem pemantauan *realtime* berbasis IoT dengan metode peramalan canggih dilakukan. Penelitian ini menggunakan sensor PZEM-004T untuk memantau konsumsi listrik *realtime* sekaligus meramal kebutuhan energi harian dengan metode K-NN, menghasilkan akurasi peramalan sebesar 98,66% [18]. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi pemantauan dan peramalan mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan energi. Namun, meskipun K-NN sederhana dan efektif, algoritma ini memiliki keterbatasan dalam menangani data berskala besar dan kompleks, serta kurang optimal pada data dengan hubungan non-linier dan banyak variabel [18]. Oleh karena itu, pendekatan alternatif seperti XGBoost diperlukan untuk mengatasi tantangan ini dan memberikan solusi prediktif yang lebih akurat dan efisien.

Penelitian ini menawarkan kebaruan dengan mengembangkan SEM berbasis IoT yang tidak hanya memantau konsumsi listrik secara *realtime* tetapi juga dilengkapi dengan kemampuan peramalan konsumsi listrik harian menggunakan algoritma XGBoost. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh Kurniawan dkk dan Pela dkk, yang berfokus pada sistem pemantauan, atau penelitian Huang dkk dan Semmelmann dkk, yang menekankan pada pengembangan algoritma prediktif tanpa integrasi pemantauan, penelitian ini menggabungkan kedua pendekatan tersebut dalam satu sistem yang menyeluruh. Selain itu, penelitian ini memperbaiki keterbatasan pendekatan Piu dkk, yang menggunakan algoritma K-NN untuk peramalan energi namun kurang optimal dalam menangani data berskala besar dan hubungan variabel non-linier. Dengan menggunakan XGBoost, sistem ini diharapkan mampu mengolah data kompleks dengan efisiensi tinggi untuk menghasilkan peramalan konsumsi listrik yang lebih akurat dan hasil peramalan menggunakan XGBoost dapat dimanfaatkan untuk peringatan konsumsi berlebih, hingga simulasi penghematan energi berdasarkan pola konsumsi. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar untuk pengembangan lebih lanjut, baik dalam skala rumah tangga maupun industri, penelitian yang dilakukan tersebut berjudul **“Rancang Bangun *Smart Energy Meter* Berbasis IoT untuk Peramalan Konsumsi KWh Listrik Prabayar dengan Algoritma XGBoost”**.

1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Rumusan masalah dari penelitian berdasarkan latar belakang yang disusun adalah:

1. Bagaimana rancang bangun *Smart Energy Meter* berbasis IoT dapat memantau konsumsi listrik secara *realtime*?
2. Bagaimana algoritma XGBoost dapat diterapkan untuk meramalkan penggunaan listrik harian dengan tingkat akurasi yang tinggi guna mendukung pengelolaan energi yang efisien?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang merupakan jawaban dari rumusan masalah adalah:

1. Merancang dan membangun sistem *Smart Energy Meter* berbasis IoT yang dapat memantau dan mengukur konsumsi listrik secara *realtime* untuk meningkatkan efisiensi energi.
2. Menerapkan algoritma XGBoost untuk meramal penggunaan listrik harian dengan akurasi yang tinggi, untuk mendukung pengelolaan energi yang lebih efisien.

1.4 Batasan Masalah Penelitian

Batasan dari masalah ditentukan agar penelitian dapat berfokus mencapai tujuan. Batasan masalah tersebut adalah:

1. Bahasa pemrograman C++ Arduino *library* digunakan untuk memprogram perangkat keras.
2. Protokol komunikasi HTTPS digunakan untuk koneksi antara perangkat IoT dengan Firebase melalui Firebase *Realtime Database* untuk pengiriman data secara *realtime*.
3. Protokol komunikasi HTTPS digunakan untuk komunikasi *Client-Server* antara perangkat IoT dengan layanan Telegram melalui Telegram Bot API.
4. Metode peramalan yang digunakan adalah Extrem Gradient Boosting (XGBoost).
5. Penelitian ini dilakukan dalam skala rumah tangga dengan sumber tegangan listrik maksimal 220V AC.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Mahasiswa dapat memahami tentang pengetahuan mikrokontroler khususnya untuk pemantauan daya listrik.
2. Penelitian ini dapat menjadi referensi mengenai penelitian *Smart Energy Meter* sebagai pemantauan daya listrik berbasis *internet of things*.

1.6 Struktur Organisasi Skripsi

Struktur organisasi skripsi ditulis dengan tujuan agar keseluruhan skripsi yang telah disusun dapat dipahami. Skripsi dapat dibagi menjadi tiga bagian seperti di bawah ini:

1. Bagian Awal

Berisikan halaman judul, lembar hak cipta, lembar pengesahan, surat pernyataan, ucapan terima kasih, abstrak berbahasa Indonesia dan bahasa Inggris, serta daftar-daftar.

2. Bagian Isi

Bagian isi kembali dibagi menjadi lima bab yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Berisikan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat dari penelitian serta struktur organisasi skripsi.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

Berisikan landasan penelitian, dan penelitian terdahulu yang relevan.

BAB III METODE PENELITIAN

Berisikan desain dari penelitian, dan perancangan sistem.

BAB IV TEMUAN DAN PEMBAHASAN

Berisi pembahasan dari temuan serta analisis dari penelitian yang telah dilakukan.

BAB V SIMPULAN DAN REKOMENDASI

Berisikan simpulan dan rekomendasi.

3. Bagian Akhir

Berisikan halaman daftar pustaka, riwayat hidup penulis, dan lampiran-lampiran.