

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim global dan peningkatan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer merupakan tantangan utama dalam pembangunan berkelanjutan abad ke-21. Laporan Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) menunjukkan bahwa sektor energi menyumbang lebih dari 70% emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) global, dengan sektor bangunan berkontribusi sekitar 30–40% terhadap total konsumsi energi dunia [15]. Kondisi ini menempatkan sektor bangunan sebagai salah satu fokus utama dalam upaya peningkatan efisiensi energi dan dekarbonisasi global.

Sejalan dengan agenda Sustainable Development Goals (SDGs), khususnya tujuan ke-7 (energi bersih dan terjangkau), ke-9 (industri dan inovasi), ke-11 (kota berkelanjutan), dan ke-13 (penanganan perubahan iklim), pengelolaan energi pada bangunan modern menjadi isu strategis yang memerlukan pendekatan berbasis data dan teknologi [16]. Bangunan perkantoran premium memiliki intensitas konsumsi energi yang tinggi karena beroperasi dalam durasi panjang serta bergantung pada sistem mekanikal, elektrik, dan tata udara (Mechanical Ventilation and Air Conditioning / MVAC), yang secara dominan menyumbang lebih dari 50% konsumsi energi total gedung [13].

Di Indonesia, sektor bangunan memiliki peran yang signifikan dalam konsumsi energi listrik nasional, khususnya pada bangunan komersial dan perkantoran modern di kawasan perkotaan. Kondisi ini menunjukkan bahwa upaya efisiensi energi pada bangunan memiliki relevansi strategis terhadap pencapaian target efisiensi energi nasional dan pengurangan emisi karbon. Sejalan dengan hal tersebut, pemerintah telah mendorong penerapan manajemen energi melalui Peraturan Menteri ESDM Nomor 14 Tahun 2012 tentang Manajemen Energi [14]. Selain itu, faktor emisi listrik Indonesia yang berkisar  $\pm 0,85\text{--}0,90$  kgCO<sub>2</sub>/kWh menunjukkan bahwa setiap penghematan energi akan memberikan dampak langsung terhadap penurunan emisi karbon [15].

Pemerintah Indonesia melalui komitmen Nationally Determined Contribution (NDC) menargetkan penurunan emisi GRK sebesar 31,89% secara mandiri dan hingga 43,2% dengan dukungan internasional pada tahun 2030 [16]. Kebijakan ini diperkuat oleh regulasi seperti PP No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), serta Permen ESDM No. 14 Tahun 2012 tentang Manajemen Energi yang mendorong penerapan sistem manajemen energi pada pengguna energi skala besar [14].

Dalam implementasi di lapangan, penerapan Energy Management System (EMS) yang terintegrasi dengan Building Management System (BMS) menjadi solusi strategis dalam mengoptimalkan konsumsi energi gedung. EMS berfungsi sebagai sistem analitik berbasis data untuk monitoring dan evaluasi energi, sedangkan BMS berperan sebagai sistem kontrol operasional yang mengatur peralatan utama seperti chiller, AHU, pompa, serta sistem distribusi listrik [1], [4]. Integrasi kedua sistem ini memungkinkan pengelolaan energi dilakukan secara lebih efektif, terukur, dan berkelanjutan [1], [5].

Berdasarkan hasil implementasi pada kantor Shimizu Corporation di Trinity Tower Jakarta, sistem EMS–BMS menunjukkan peningkatan kinerja yang signifikan dalam efisiensi energi. Evaluasi berbasis data operasional terbaru (R3) menunjukkan adanya penurunan konsumsi energi tahunan yang konsisten dibandingkan baseline, dengan total penghematan energi kumulatif sebesar  $\pm 1.356.577$  kWh per tahun. Penghematan energi tersebut memberikan dampak langsung terhadap penurunan biaya listrik sebesar  $\pm$ Rp 1,5 miliar per tahun, serta berkontribusi terhadap reduksi emisi karbon secara signifikan. Berdasarkan perhitungan menggunakan faktor emisi listrik sebesar  $0,85$  kg CO<sub>2</sub>/kWh, total reduksi emisi karbon mencapai  $\pm 1.153$  ton CO<sub>2</sub> per tahun. Hasil ini diperoleh berdasarkan penggunaan dataset operasional terbaru (R3) yang lebih representatif, dengan pendekatan baseline berbasis variasi beban aktual (occupancy-based dan demand factor), sehingga menghasilkan estimasi yang lebih realistis dan dapat dipertanggungjawabkan secara engineering.

Meskipun demikian, optimalisasi energi melalui pemanfaatan teknologi berbasis elektronika daya, seperti penggunaan Variable Speed Drive (VSD) pada sistem MVAC, juga menimbulkan tantangan teknis berupa potensi penurunan

kualitas daya listrik akibat distorsi harmonisa [6]–[8]. Kondisi ini dapat mempengaruhi efisiensi operasional serta keandalan sistem kelistrikan gedung secara keseluruhan.

Selain itu, evaluasi kinerja energi yang dilakukan pada sebagian besar bangunan masih terbatas pada pendekatan deskriptif dan belum sepenuhnya memanfaatkan analisis berbasis data lanjutan. Pemanfaatan data dari sistem EMS–BMS seringkali belum dioptimalkan untuk analisis yang lebih mendalam, seperti penerapan metode Artificial Intelligence (AI) dan metode statistik untuk validasi kinerja energi [9]–[11]. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan antara ketersediaan data operasional dengan pemanfaatannya dalam pengambilan keputusan berbasis data. Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan suatu pendekatan analisis yang lebih komprehensif, terintegrasi, dan berbasis data untuk mengevaluasi serta mengoptimalkan kinerja sistem energi gedung. Pendekatan ini harus mampu mengintegrasikan analisis konsumsi energi, evaluasi kualitas daya listrik, identifikasi pola energi menggunakan Artificial Intelligence (KNN), validasi kinerja menggunakan metode statistik CUSUM, serta analisis dampak lingkungan melalui perhitungan emisi karbon [6], [9], [15].

Dalam konteks tersebut, penelitian ini mengusulkan suatu pendekatan terintegrasi berbasis data yang menggabungkan berbagai metode analisis tersebut dalam satu kerangka Integrated Data-Driven Energy Analysis Framework, yang diharapkan mampu meningkatkan efisiensi energi, keandalan sistem, serta mendukung pencapaian target keberlanjutan energi pada bangunan gedung modern.

## **1.2 Kondisi Energi Nasional dan Global**

Konsumsi energi global dan nasional menunjukkan tren peningkatan seiring pertumbuhan ekonomi dan aktivitas urbanisasi [5], [15]. Di Indonesia, permintaan listrik nasional meningkat secara signifikan dalam beberapa tahun terakhir, yang didorong oleh sektor industri dan bangunan komersial [14].

Negara-negara maju dan kawasan ASEAN seperti Singapura dan Malaysia telah mengimplementasikan standar bangunan hijau melalui skema seperti *Green Mark* dan *GreenRE*. Indonesia melalui *Green Building Council Indonesia* (GBCI) juga telah mendorong penerapan bangunan hijau melalui sertifikasi GREENSHIP. Studi

internasional menunjukkan bahwa penerapan sistem manajemen energi dan otomasi gedung mampu menghemat energi hingga 20–40% tanpa mengurangi kenyamanan pengguna [1], [5], [13].

Namun demikian, implementasi teknologi efisiensi energi di Indonesia masih menghadapi tantangan, terutama dalam hal integrasi sistem, pemanfaatan data operasional secara optimal, serta pengendalian kualitas daya listrik [6], [14]. Banyak gedung telah mengadopsi teknologi efisiensi, namun belum didukung oleh evaluasi berbasis data yang terukur dan berkelanjutan [1], [18].

### **1.3 Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang tersebut, dapat diidentifikasi beberapa permasalahan utama sebagai berikut:

1. Tingginya konsumsi energi listrik pada gedung perkantoran premium yang didominasi oleh sistem MVAC.
2. Potensi penurunan kualitas daya listrik akibat penggunaan peralatan berbasis VSD.
3. Keterbatasan evaluasi kinerja energi yang belum berbasis analisis kuantitatif dan validasi statistik.
4. Belum optimalnya pemanfaatan data EMS–BMS dalam analisis energi berbasis Artificial Intelligence.
5. Belum adanya integrasi analisis energi dengan evaluasi dampak emisi karbon secara komprehensif.

### **1.4 Batasan Masalah**

Penelitian ini dibatasi pada:

1. Objek penelitian pada gedung Trinity Tower Jakarta (Shimizu Corporation).
2. Sistem yang dianalisis meliputi sistem MVAC dan sistem kelistrikan tegangan rendah.
3. Data berasal dari sistem EMS, BMS, dan pengukuran kualitas daya tahun 2025.
4. Analisis efisiensi energi menggunakan metode CUSUM.
5. Analisis pola energi menggunakan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN).

6. Pendekatan analisis dibatasi pada kerangka integrasi EMS–BMS berbasis data.
7. Analisis emisi karbon terbatas pada emisi tidak langsung dari konsumsi listrik.

### **1.5 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik konsumsi energi listrik gedung Trinity Tower?
2. Bagaimana kondisi kualitas daya listrik akibat penggunaan sistem MVAC berbasis VSD?
3. Bagaimana kinerja energi gedung dapat dievaluasi menggunakan metode CUSUM?
4. Bagaimana penerapan algoritma KNN dalam menganalisis pola konsumsi energi?
5. Bagaimana integrasi analisis energi dalam kerangka EMS–BMS berbasis data?
6. Bagaimana dampak efisiensi energi terhadap penurunan emisi karbon gedung?

### **1.6 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis konsumsi energi listrik gedung secara komprehensif.
2. Mengevaluasi kualitas daya listrik sistem MVAC berbasis VSD.
3. Memverifikasi kinerja energi menggunakan metode CUSUM.
4. Mengembangkan analisis berbasis AI menggunakan algoritma KNN.
5. Mengintegrasikan hasil analisis dalam kerangka EMS–BMS berbasis data.
6. Menghitung kontribusi efisiensi energi terhadap penurunan emisi karbon.

### **1.7 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Akademis

Memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan kajian manajemen energi Gedung berbasis integrasi efisiensi energi, kualitas daya, kecerdasan buatan, dan evaluasi emisi karbon.

2. Praktis

Menjadi referensi teknis bagi pengelola gedung dalam optimalisasi sistem EMS–BMS berbasis data.

3. Kebijakan dan Keberlanjutan

Mendukung implementasi kebijakan efisiensi energi dan kontribusi terhadap pencapaian target penurunan emisi karbon nasional.

### 1.8 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tesis ini disusun sebagai berikut:

- **Bab I Pendahuluan:** berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan.
- **Bab II Landasan Teori dan Kerangka Konseptual:** berisi teori-teori pendukung dan kerangka penelitian.
- **Bab III Metodologi Penelitian:** menjelaskan metode, data, dan pendekatan analisis.
- **Bab IV Analisis dan Pembahasan:** menyajikan hasil analisis berbasis data serta interpretasi kinerja sistem energi gedung.
- **Bab V Kesimpulan dan Rekomendasi:** berisi kesimpulan penelitian dan saran pengembangan.