

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Universitas Muhammadiyah Surabaya (UMSURA) telah menerapkan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) terhubung jaringan (*on-grid*) berkapasitas 4.500 Wp di Laboratorium Terpadu untuk menyuplai kebutuhan energi listrik Kantin Sehat, sebagai wujud dukungan terhadap konsep kampus hijau (*green campus*) di tengah meningkatnya kebutuhan energi listrik kampus. Langkah ini didukung oleh potensi iradiasi matahari Indonesia yang melimpah, dengan rata-rata mencapai 4,5–5,1 kWh/m²/hari [1]. Namun, keberadaan PLTS secara fisik saja belum menjamin pemanfaatan energi yang optimal, karena produksi dayanya sangat bergantung pada fluktuasi iradiasi harian yang dinamis [2].

Meskipun sistem PLTS *on-grid* tersebut telah terpasang secara fisik, permasalahan mendasar justru muncul pada tahap pemanfaatannya. Daya keluaran panel surya bersifat fluktuatif mengikuti perubahan intensitas iradiasi matahari sepanjang hari, sementara kebutuhan beban listrik Kantin Sehat juga tidak konstan, mengikuti jam operasional dan jenis peralatan yang digunakan. Tanpa sistem pengaturan distribusi daya yang cerdas, ketidaksesuaian antara pasokan PLTS yang fluktuatif dan kebutuhan beban yang dinamis ini berisiko menimbulkan pemanfaatan energi yang tidak efisien pada saat produksi PLTS melimpah namun beban rendah, energi berlebih berpotensi terbuang percuma; sebaliknya pada saat beban tinggi namun produksi PLTS rendah, sistem akan sepenuhnya bergantung pada pasokan PLN sehingga potensi penghematan biaya listrik tidak tercapai secara maksimal. Kondisi ini menegaskan bahwa keberadaan infrastruktur PLTS semata belum cukup menjamin efisiensi energi, melainkan memerlukan *Energy Management System* (EMS) yang mampu menilai dan mengatur tingkat pemanfaatan energi secara adaptif berdasarkan kondisi produksi PLTS dan kebutuhan beban secara bersamaan [3].

Penelitian terdahulu telah mengkaji berbagai metode untuk optimalisasi PLTS dengan pendekatan yang beragam. Salah satu penelitian menerapkan metode Fuzzy Logic Controller dipadukan dengan Zeta Converter untuk pelacakan titik daya maksimum MPPT [4], sementara penelitian lain mengembangkan strategi kendali fuzzy yang dioptimasi

dengan Particle Swarm Optimization (PSO) untuk meningkatkan akurasi pelacakan daya keluaran panel surya [5]. Pendekatan berbasis Internet of Things (IoT) juga banyak diterapkan untuk pemantauan operasional PLTS secara *real-time* [6], sedangkan pada level sistem yang lebih kompleks, EMS berbasis Fuzzy Logic telah diterapkan pada *smart microgrid* untuk mengatur pembagian daya antara solar panel dan baterai [7]. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada simulasi murni tanpa menyinkronkan spesifikasi kapasitas fisik PLTS yang terpasang nyata, atau sistem pemantauan yang belum diintegrasikan dengan algoritma pengambilan keputusan cerdas untuk pembagian daya. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini menggunakan metode Fuzzy Logic Mamdani sebagai dasar perancangan EMS, karena kesederhanaan struktur *rule* berbasis logika linguistiknya dinilai cukup representatif untuk mengolah dua variabel masukan daya keluaran MPPT dan rasio pemenuhan beban menjadi satu keputusan tingkat pemanfaatan energi yang mudah diinterpretasikan, tanpa memerlukan proses pelatihan data seperti pada metode berbasis *Neural Network* atau algoritma optimasi seperti PSO.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada perancangan dan evaluasi *Energy Management System* (EMS) berbasis *Fuzzy Logic* Mamdani, dengan dua variabel masukan berupa daya keluaran MPPT hasil konversi data simulasi iradiasi *Global Solar Atlas* dan rasio pemenuhan beban Kantin Sehat, serta satu variabel keluaran berupa tingkat pemanfaatan energi PLTS. Sistem dimodelkan dan disimulasikan menggunakan perangkat lunak MATLAB berdasarkan spesifikasi kapasitas fisik PLTS 4.500 Wp yang telah terpasang di Laboratorium Terpadu Universitas Muhammadiyah Surabaya, sehingga hasil simulasi diharapkan lebih representatif terhadap kondisi riil dibandingkan pendekatan simulasi murni pada penelitian-penelitian sebelumnya. Selain mengevaluasi kinerja EMS pada kondisi beban aktual selama periode simulasi 1 bulan, penelitian ini juga menganalisis pengaruh peningkatan beban operasional kantin terhadap tingkat pemanfaatan energi PLTS dan potensi penghematan biaya listrik, sebagai gambaran ketahanan sistem terhadap perubahan kebutuhan energi di masa mendatang. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilaksanakan dengan judul: "*Perancangan Energy Management System (EMS) Menggunakan Data Simulasi MPPT PLTS untuk Optimalisasi Pemanfaatan Energi pada Kantin Sehat Universitas Muhammadiyah Surabaya dengan Metode Fuzzy Logic Mamdani*".

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem *Energy Management System* (EMS) berbasis *Fuzzy Logic* Mamdani menggunakan data daya MPPT PLTS dan rasio pemenuhan beban untuk menentukan tingkat pemanfaatan energi PLTS pada Kantin Sehat Universitas Muhammadiyah Surabaya?
2. Bagaimana tingkat pemanfaatan energi PLTS dan potensi penghematan biaya listrik yang diperoleh selama periode simulasi 1 bulan?
3. Bagaimana pengaruh peningkatan beban operasional kantin terhadap tingkat pemanfaatan energi PLTS dan potensi penghematan biaya listrik berdasarkan hasil simulasi EMS berbasis *Fuzzy Logic Mamdani*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Merancang sistem *Energy Management System* (EMS) berbasis *Fuzzy Logic* Mamdani menggunakan data daya MPPT PLTS dan rasio pemenuhan beban untuk mengevaluasi tingkat pemanfaatan energi PLTS pada Kantin Sehat Universitas Muhammadiyah Surabaya.
2. Menganalisis tingkat pemanfaatan energi PLTS dalam memenuhi kebutuhan beban listrik Kantin Sehat Universitas Muhammadiyah Surabaya selama periode simulasi 1 bulan serta mengukur potensi penghematan biaya listrik dan reduksi ketergantungan terhadap suplai daya PLN.
3. Mengevaluasi kinerja sistem *Energy Management System* (EMS) berbasis *Fuzzy Logic* Mamdani pada kondisi peningkatan beban operasional Kantin Sehat Universitas Muhammadiyah Surabaya untuk mengetahui perubahan tingkat pemanfaatan energi PLTS dan penghematan biaya listrik.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem Energy Management System (EMS) berbasis Fuzzy Logic Mamdani pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), khususnya dalam mengevaluasi tingkat pemanfaatan energi berdasarkan daya keluaran MPPT dan rasio pemenuhan beban. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi bahan acuan bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan optimasi pemanfaatan energi terbarukan, analisis kontribusi energi PLTS, serta evaluasi penghematan biaya listrik.

1.4.2 Manfaat Praktis

1. Memberikan informasi mengenai tingkat pemanfaatan energi PLTS pada Kantin Sehat Universitas Muhammadiyah Surabaya berdasarkan hasil evaluasi menggunakan Energy Management System (EMS) berbasis Fuzzy Logic Mamdani.
2. Memberikan gambaran mengenai kontribusi energi PLTS terhadap kebutuhan beban, besarnya energi yang masih dipasok oleh jaringan PLN, serta potensi penghematan biaya listrik selama periode simulasi.
3. Menjadi bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan terkait pengembangan sistem PLTS, seperti penambahan kapasitas PLTS atau integrasi sistem penyimpanan energi apabila terjadi peningkatan kebutuhan beban operasional.
4. Menjadi referensi bagi institusi maupun peneliti lain dalam merancang dan mengevaluasi penerapan Energy Management System (EMS) pada sistem PLTS untuk mendukung pemanfaatan energi terbarukan yang lebih optimal.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini terfokus dan terarah sesuai rumusan masalah, maka ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Objek penelitian dibatasi pada sistem PLTS berkapasitas total 4.500 Wp yang terpasang di Laboratorium Terpadu Universitas Muhammadiyah

- Surabaya dengan beban listrik Kantin Sehat Universitas Muhammadiyah Surabaya sebagai objek kajian.
2. Data parameter elektrikal MPPT diperoleh melalui konversi matematis data iradiasi historis dari *Global Solar Atlas* (GSA) wilayah Surabaya dan tidak menggunakan pengukuran langsung di lapangan.
 3. Perancangan *Energy Management System* (EMS) dilakukan menggunakan metode *Fuzzy Logic Mamdani* pada perangkat lunak Matlab tanpa implementasi perangkat keras secara langsung.
 4. Analisis sistem dibatasi pada evaluasi tingkat pemanfaatan energi PLTS terhadap kebutuhan beban kantin berdasarkan hasil simulasi selama periode 1 bulan pada kondisi beban eksisting dan skenario peningkatan beban operasional kantin.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini disusun untuk memberikan gambaran mengenai isi penelitian yang dilakukan. Adapun sistematika penulisan skripsi ini terdiri atas lima bab sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memuat latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan. Bab ini menjelaskan dasar pemikiran penelitian mengenai penerapan *Energy Management System* (EMS) berbasis *Fuzzy Logic Mamdani* untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi pada sistem PLTS di Kantin Sehat Universitas Muhammadiyah Surabaya.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini berisi landasan teori dan penelitian terdahulu yang mendukung penelitian. Pembahasan meliputi teori Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), *Global Solar Atlas* (GSA), *Energy Management System* (EMS), *Fuzzy Logic Mamdani*, rasio kontribusi energi PLTS terhadap beban, konversi daya inverter, serta analisis biaya dan penghematan listrik.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode penelitian yang digunakan, meliputi pengumpulan data iradiasi matahari, parameter sistem PLTS, dan profil beban Kantin Sehat Universitas Muhammadiyah Surabaya, termasuk klasifikasi beban ke dalam tiga kelas suplai daya PLTS Prioritas, PLN Tetap, dan Bergantian beserta skema alokasi prioritas dayanya. Selain itu dijelaskan rancang bangun sistem PLTS terpasang, perancangan *Energy Management System* (EMS) berbasis *Fuzzy Logic* Mamdani, penyusunan fungsi keanggotaan dan basis aturan (*rule base*), pemodelan konversi daya inverter, contoh perhitungan, skenario pengujian dan analisis, serta analisis investasi sistem PLTS.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil simulasi dan pembahasan penelitian, meliputi hasil produksi daya PLTS berdasarkan data DNI, kinerja EMS berbasis *Fuzzy Logic* Mamdani dengan skema klasifikasi beban, kontribusi energi PLTS terhadap kebutuhan beban per kelas suplai daya, neraca energi beban, penghematan biaya listrik, analisis komparasi antara skenario beban aktual dan skenario peningkatan beban, serta evaluasi kinerja sistem secara keseluruhan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil analisis dan pembahasan penelitian serta saran yang dapat digunakan sebagai masukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya dalam meningkatkan kinerja sistem PLTS dan *Energy Management System* (EMS).