

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transisi menuju energi baru terbarukan menjadi agenda penting di berbagai negara, termasuk Indonesia, sejalan dengan upaya menekan emisi gas rumah kaca dan mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang jumlahnya terus menipis. Sebagai negara tropis yang dilalui garis khatulistiwa, Indonesia menerima penyinaran matahari relatif merata sepanjang tahun sehingga memiliki potensi energi surya yang besar untuk dikembangkan melalui Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Akan tetapi, potensi tersebut berhadapan dengan tantangan mendasar pada sisi teknis: daya keluaran panel surya bersifat non-linear dan sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, khususnya intensitas iradiasi matahari dan temperatur permukaan panel, sehingga titik operasi panel surya senantiasa bergeser mengikuti perubahan cuaca [1].

Secara elektrik, hubungan antara tegangan dan daya keluaran panel surya (kurva P-V) hanya memiliki satu titik operasi optimal yang disebut Titik Daya Maksimum (Maximum Power Point/MPP). Apabila panel surya dioperasikan tanpa mekanisme pengendalian yang secara aktif mengikuti pergeseran MPP tersebut, misalnya dengan membiarkan duty cycle konverter pada nilai tetap, maka titik kerja panel akan menyimpang dari MPP setiap kali iradiasi atau temperatur berubah, sehingga sebagian energi yang sesungguhnya tersedia tidak dapat diekstraksi dan hilang secara percuma. Kondisi ini menjadi krusial pada lokasi dengan variabilitas cuaca tinggi, sebab semakin sering dan semakin ekstrem perubahan cuaca terjadi, semakin besar pula potensi energi yang hilang apabila sistem tidak dilengkapi pelacak titik daya maksimum [2].

Untuk mengatasi persoalan tersebut, dikembangkan metode Maximum Power Point Tracking (MPPT) yang bekerja mengatur duty cycle konverter DC-DC secara dinamis agar panel surya senantiasa dioperasikan mendekati MPP. Metode MPPT konvensional seperti Perturb and Observe (P&O) dan Incremental Conductance (InC) banyak digunakan karena implementasinya sederhana, namun keduanya memiliki keterbatasan mendasar berupa osilasi di sekitar titik MPP pada kondisi tunak akibat mekanisme perturbasi tetap, serta berpotensi salah arah (mistracking) ketika iradiasi berubah secara tiba-tiba dalam waktu singkat, sebagaimana lazim terjadi akibat pergerakan awan pada cuaca tropis yang dinamis [3]. Trade-off antara kecepatan tanggapan dan akurasi pelacakan pada metode konvensional ini mendorong

berkembangnya pendekatan berbasis kecerdasan buatan sebagai alternatif yang lebih adaptif.

Di antara pendekatan kecerdasan buatan tersebut, Fuzzy Logic Controller (FLC) dipilih pada penelitian ini karena mampu memetakan hubungan non-linear antara perubahan iradiasi-temperatur dan duty cycle optimal tanpa memerlukan model matematis sistem yang presisi, berbeda dengan pendekatan Artificial Neural Network (ANN) yang membutuhkan data pelatihan dalam jumlah besar, atau algoritma metaheuristik yang umumnya menuntut beban komputasi lebih tinggi untuk konvergen menuju solusi optimal. Dengan basis aturan (rule base) yang disusun dari pengalaman dan logika linguistik, FLC dapat menyesuaikan besar-kecilnya perubahan duty cycle secara proporsional terhadap besar-kecilnya error dan perubahan error, sehingga secara teoritis mampu meredam osilasi di sekitar MPP sekaligus tetap responsif terhadap perubahan cuaca yang mendadak.

Pada implementasinya, keluaran algoritma MPPT diteruskan melalui Boost Converter yang berfungsi menaikkan dan mengatur tegangan panel surya sesuai kebutuhan pengisian baterai. Mengingat sifat energi surya yang tidak tersedia sepanjang waktu (intermiten), sistem PLTS off-grid memerlukan media penyimpanan energi berupa baterai yang dikelola melalui Bidirectional DC-DC Converter (BDC) pada arsitektur Common DC Bus, agar aliran daya antara panel surya, baterai, dan beban dapat diatur dua arah secara otomatis mengikuti kondisi surplus atau defisit daya PV terhadap kebutuhan beban. Integrasi ketiga elemen ini FLC MPPT, Boost Converter, dan BDC menjadi satu kesatuan sistem yang perlu diuji kinerjanya secara menyeluruh, bukan hanya pada level algoritma pelacakan semata [4].

Kota Surabaya dipilih sebagai lokasi acuan data cuaca dalam penelitian ini karena memiliki iklim tropis dengan pola musim hujan dan musim kemarau yang kontras, sehingga menghasilkan rentang variasi iradiasi dan temperatur yang lebar sepanjang tahun kondisi yang relevan untuk menguji ketahanan dan konsistensi kinerja algoritma MPPT terhadap dinamika cuaca nyata. Berbeda dengan sebagian besar penelitian terdahulu yang menguji algoritma MPPT hanya pada rentang waktu singkat atau data cuaca sintetis, penelitian ini menggunakan data iradiasi dan temperatur aktual Kota Surabaya selama satu tahun penuh (8.760 jam) agar kinerja FLC MPPT dapat dievaluasi secara representatif pada seluruh variasi musim.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk merancang, mensimulasikan, dan menganalisis kinerja MPPT berbasis Fuzzy Logic yang diintegrasikan dengan Boost Converter dan Bidirectional DC-DC Converter pada sistem PLTS menggunakan data cuaca Kota Surabaya, serta membandingkan performanya terhadap sistem yang beroperasi MPPT P&O. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai

peningkatan daya, efisiensi, dan energi yang dihasilkan melalui penerapan metode MPPT Fuzzy Logic pada sistem PLTS.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi iradiasi matahari dan temperatur Kota Surabaya terhadap daya keluaran sistem PLTS?
2. Bagaimana kinerja MPPT berbasis Fuzzy Logic dalam mempertahankan titik daya maksimum pada sistem PLTS?
3. Bagaimana perbandingan kinerja sistem PLTS dengan MPPT Fuzzy Logic dan sistem PLTS dengan MPPT P&O berdasarkan parameter daya, tegangan, arus, dan energi yang dihasilkan?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh perubahan iradiasi matahari dan temperatur Kota Surabaya terhadap performa sistem PLTS.
2. Menganalisis kinerja MPPT berbasis Fuzzy Logic dalam memperoleh daya maksimum pada panel surya.
3. Membandingkan kinerja sistem PLTS dengan MPPT Fuzzy Logic dan sistem PLTS dengan MPPT P&O berdasarkan parameter daya, tegangan, arus, efisiensi, dan energi yang dihasilkan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi akademik dan teknis berupa analisis sistem kendali otomatis berbasis logika fuzzy yang mampu meningkatkan efisiensi, stabilitas, dan keandalan manajemen daya pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya sehingga dapat menjadi referensi pengembangan sistem PLTS cerdas yang adaptif, hemat energi, dan aplikatif baik untuk kebutuhan penelitian maupun implementasi di lapangan.

1.5 Batasan Masalah

1. Penelitian menggunakan baterai sebagai media penyimpanan energi listrik.
2. Converter yang digunakan adalah boost converter berbasis PWM.
3. Metode MPPT yang digunakan adalah Fuzzy Logic Controller (FLC).
4. Simulasi sistem dilakukan menggunakan software MATLAB/Simulink R2021a.

5. Data irradiansi menggunakan pendekatan kondisi cuaca Kota Surabaya tahun 2025.
6. Sistem manajemen baterai menggunakan *Bidirectional DC-DC Converter* non-terisolasi (*half-bridge*) untuk mengatur pengisian dan pengosongan secara otomatis.
7. Tegangan kerja pada jalur *Common DC Bus* diatur stabil pada level nominal 48 VDC untuk menyuplai beban.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, hipotesis penelitian, serta sistematika penulisan skripsi. Pada bab ini dijelaskan mengenai pentingnya penerapan Maximum Power Point Tracking (MPPT) berbasis Fuzzy Logic pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dalam menghadapi perubahan kondisi cuaca Kota Surabaya.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini membahas teori-teori yang mendukung penelitian, meliputi teori energi surya, karakteristik panel surya, Maximum Power Point Tracking (MPPT), Fuzzy Logic Controller (FLC), Boost Converter, baterai LiFePO₄, sistem DC Bus, serta penelitian terdahulu yang berkaitan dengan optimasi daya pada sistem PLTS.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tahapan penelitian yang dilakukan, meliputi perancangan sistem PLTS, pemodelan panel surya pada MATLAB/Simulink, perancangan Boost Converter, implementasi MPPT berbasis Fuzzy Logic, penggunaan data iradiasi dan temperatur Kota Surabaya, skenario pengujian sistem dengan MPPT dan dengan MPPT P&O, serta metode pengambilan dan analisis data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil simulasi dan analisis kinerja sistem PLTS. Pembahasan meliputi hasil pengujian sistem dengan MPPT P&O dan sistem dengan MPPT Fuzzy Logic berdasarkan variasi iradiasi dan temperatur. Selain itu dilakukan perbandingan parameter tegangan, arus, daya, energi, serta efisiensi sistem untuk mengetahui pengaruh penerapan MPPT terhadap performa PLTS.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian serta saran yang dapat digunakan untuk pengembangan penelitian selanjutnya terkait penerapan MPPT berbasis Fuzzy Logic pada sistem PLTS.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi seluruh referensi berupa buku, jurnal ilmiah, standar nasional maupun internasional, prosiding, serta sumber ilmiah lainnya yang digunakan sebagai acuan dalam penyusunan skripsi.

