

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan energi matahari sebagai sumber energi alternatif terus mengalami peningkatan dalam beberapa tahun terakhir. Menurut Badan Pusat Statistik, kapasitas pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) terpasang di Indonesia mencapai 242 MW pada tahun 2023 dan terus mengalami peningkatan seiring berkembangnya tren energi terbarukan [1]. Selain itu, data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral menunjukkan bahwa kapasitas PLTS di Indonesia telah mencapai sekitar 270 MW pada pertengahan tahun 2024 [2]. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa energi surya semakin banyak dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik, baik pada sektor rumah tangga, fasilitas umum, maupun industri. Salah satu teknologi utama dalam sistem PLTS adalah panel surya yang tersusun dari sel *photovoltaic* (PV). Sel *photovoltaic* merupakan perangkat semikonduktor yang mampu mengubah energi cahaya matahari secara langsung menjadi energi listrik arus searah (DC). Teknologi ini memiliki berbagai keunggulan, seperti ramah lingkungan, tidak menghasilkan emisi selama proses pembangkitan, serta memiliki biaya perawatan yang relatif rendah [3] [4].

Di samping itu, panel surya masih memiliki beberapa keterbatasan. Salah satu permasalahan utama adalah karakteristik keluaran panel surya yang bersifat non linier. Daya yang dihasilkan panel surya sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama iradiasi matahari dan temperatur. Perubahan kedua parameter tersebut menyebabkan titik daya maksimum atau *Maximum Power Point* (MPP) pada panel surya berubah-ubah sepanjang waktu. Apabila panel surya tidak beroperasi pada titik daya maksimum, maka energi yang dipanen menjadi tidak optimal sehingga efisiensi pemanfaatan energi surya menurun. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode pengendalian yang mampu menjaga daya panel surya agar tetap bekerja di sekitar titik daya maksimum meskipun kondisi lingkungan berubah-ubah [4] [5] [6].

Salah satu metode yang umum digunakan untuk mengoptimalkan daya keluaran panel surya adalah *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). MPPT

merupakan teknik pengendalian yang bertujuan untuk menjaga titik operasi panel surya agar selalu berada pada kondisi daya maksimum. Dengan penerapan MPPT, energi yang dipanen dari panel surya menjadi lebih besar dibandingkan sistem tanpa MPPT. Berbagai algoritma MPPT telah dikembangkan, salah satunya adalah algoritma *Perturb and Observe* (P&O). Algoritma ini banyak digunakan karena memiliki struktur yang sederhana, mudah diimplementasikan pada mikrokontroler, serta tidak memerlukan proses perhitungan yang kompleks. Selain itu, metode P&O memiliki kemampuan yang cukup baik dalam melacak titik daya maksimum pada kondisi operasi normal [7] [8] [9].

Namun, algoritma P&O memiliki kelemahan berupa nilai *disturbance* atau perubahan *duty cycle* yang bersifat tetap (*fixed step size*). Perubahan *duty cycle* tetap menyebabkan sistem membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai titik daya maksimum ketika kondisi operasi berada jauh dari MPP. Sebaliknya, ketika titik operasi telah mendekati MPP, nilai *disturbance* yang tetap dapat menimbulkan osilasi daya di sekitar titik tersebut. Osilasi ini mengakibatkan terjadinya rugi-rugi daya dan menurunkan akurasi pelacakan titik daya maksimum. Selain itu, pada kondisi perubahan iradiasi yang cepat, performa algoritma P&O dapat mengalami penurunan karena sistem membutuhkan waktu yang lama untuk menyesuaikan titik operasinya terhadap kondisi lingkungan yang baru [9].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan metode yang mampu mengatur besar *disturbance* (*duty cycle*) secara adaptif sesuai dengan kondisi operasi panel surya. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah logika Fuzzy (*Fuzzy Logic*). Logika Fuzzy memiliki kemampuan dalam menangani sistem yang bersifat non linier tanpa memerlukan model matematis yang kompleks. Pada penelitian ini, logika Fuzzy tidak digunakan sebagai algoritma MPPT utama, melainkan digunakan untuk menentukan besar *disturbance* atau perubahan *duty cycle* secara adaptif berdasarkan kondisi operasi panel surya. Dengan demikian, ketika sistem masih berada jauh dari titik daya maksimum, *duty cycle* yang diberikan dapat dibuat lebih besar agar proses pelacakan berlangsung lebih cepat. Sebaliknya, ketika sistem telah mendekati titik daya maksimum, *disturbance* dapat diperkecil untuk mengurangi osilasi daya [7] [10].

Pendekatan tersebut dikenal sebagai *Fuzzy Disturbance*, yaitu metode MPPT yang memanfaatkan logika Fuzzy untuk menentukan besar *duty cycle* secara adaptif pada proses pelacakan titik daya maksimum. Dengan metode ini diharapkan kecepatan pelacakan yang dimiliki oleh algoritma P&O tetap dapat dipertahankan, sementara osilasi daya di sekitar titik daya maksimum dapat dikurangi. Selain itu, penggunaan logika Fuzzy memungkinkan sistem untuk beradaptasi terhadap perubahan kondisi lingkungan yang terjadi selama proses operasi panel surya [7] [11].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) berbasis Algoritma *Fuzzy Disturbance*. Sistem yang dikembangkan menggunakan *buck converter* yang dikendalikan oleh mikrokontroler untuk mengatur titik operasi panel surya. Kinerja metode *Fuzzy Disturbance* kemudian akan dibandingkan dengan Algoritma *Perturb and Observe* (P&O) berdasarkan parameter daya keluaran panel surya, waktu pelacakan, tingkat osilasi daya, serta responsivitas sistem. Algoritma P&O dijadikan metode pembandingan karena algoritma tersebut merupakan dasar dari pengembangan algoritma MPPT lainnya dan pada penelitian ini, Algoritma *Fuzzy Disturbance* dirancang untuk mengatasi keterbatasan tersebut melalui penyesuaian besar perturbasi secara adaptif. Oleh karena itu, perbandingan terhadap Algoritma *Perturb and Observe* diperlukan untuk mengevaluasi sejauh mana pendekatan *Fuzzy Disturbance* mampu meningkatkan performa sistem MPPT pada *buck converter*. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem MPPT yang lebih adaptif dan mampu meningkatkan pemanfaatan energi dari panel surya secara lebih optimal.

1.2 Penelitian Terdahulu

Untuk mendukung penelitian ini, tinjauan literatur mengenai berbagai implementasi algoritma *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) telah dipilih lima penelitian terdahulu yang relevan dirangkum dalam Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Penelitian terdahulu.

No.	Peneliti	Tahun	Judul Penelitian
1	Safirda Hanif Istonirsya, dkk. [12].	2023	Desain <i>Buckboost Converter</i> dengan MPPT P&O untuk Mendapatkan Daya Optimal Akibat Perubahan Arus dan Tegangan
2	Afidah Zuroida, dkk. [13].	2025	Optimasi Sistem Pengisian MPPT Berbasis <i>Fuzzy Logic</i> Pada Panel Surya
3	Kifayat Ullah, dkk. [11].	2023	<i>Fuzzy-based Maximum Power Point Tracking (MPPT) Control System for Photovoltaic Power Generation System</i>
4	Karima Et-Torabi, dkk [7].	2025	<i>Hybrid MPPT Technique Using Fuzzy Logic and P&O of Solar Power System</i>
5	Oumaima Mrhar, dkk [14].	2025	<i>A New Hybrid MPPT Algorithm Combining P&O and Fuzzy Logic Techniques</i>

Penelitian mengenai peningkatan efisiensi panel surya melalui metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) terus berkembang dari algoritma konvensional menuju metode yang lebih adaptif dan cerdas. Pada tahap awal, banyak penelitian menggunakan algoritma konvensional seperti *Incremental Conductance* (IC) dan *Perturb and Observe* (P&O) karena memiliki struktur yang sederhana, mudah diimplementasikan pada mikrokontroler, serta tidak memerlukan proses komputasi yang kompleks. Meskipun demikian, berbagai penelitian menunjukkan bahwa kedua metode tersebut masih memiliki keterbatasan, terutama berupa osilasi daya di sekitar titik daya maksimum dan penurunan performa ketika terjadi perubahan iradiasi yang cepat. Selain itu, karakteristik panel surya yang bersifat non linier menyebabkan metode konvensional belum mampu menjaga kestabilan pelacakan daya secara optimal [9].

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, berbagai penelitian mulai berfokus pada pengembangan metode MPPT yang lebih adaptif. Penelitian [12]

menunjukkan bahwa penerapan algoritma P&O pada *buck-boost converter* mampu meningkatkan kemampuan pelacakan daya dibandingkan pengendali konvensional. Namun, metode tersebut masih menghasilkan fluktuasi daya ketika kondisi iradiasi berubah sehingga titik operasi panel surya belum selalu berada pada kondisi daya maksimum. Perkembangan selanjutnya mengarah pada penerapan *Fuzzy Logic Controller* (FLC) sebagai metode pengendalian MPPT. Penelitian [13] menunjukkan bahwa FLC mampu memberikan respon yang lebih halus terhadap perubahan kondisi lingkungan tanpa memerlukan model matematis panel surya yang kompleks. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa logika Fuzzy mampu meningkatkan stabilitas sistem dan memperbaiki proses pemanenan energi dibandingkan metode konvensional. Akan tetapi, penggunaan FLC sebagai pengendali utama membutuhkan proses perancangan *membership function* dan *rule base* yang relatif lebih kompleks.

Perkembangan penelitian berikutnya mengarah pada integrasi logika Fuzzy dengan algoritma konvensional untuk memanfaatkan keunggulan dari masing-masing metode. Salah satu pendekatan yang dikembangkan adalah penggunaan logika Fuzzy untuk mengatur besar *disturbance* atau ukuran langkah perturbasi secara adaptif, sementara algoritma P&O tetap digunakan untuk menentukan arah pencarian titik daya maksimum. Pendekatan ini dikenal sebagai *Fuzzy Disturbance*. Penelitian [11] menunjukkan bahwa metode *Fuzzy Disturbance* mampu meningkatkan efisiensi pelacakan daya dan mempercepat proses pencarian titik daya maksimum dibandingkan metode P&O konvensional. Hasil tersebut diperkuat oleh penelitian [7] yang menggunakan logika Fuzzy untuk menyesuaikan ukuran langkah P&O secara adaptif sehingga osilasi daya pada kondisi *steady-state* dapat dikurangi secara signifikan. Selain itu, penelitian [14] mengembangkan strategi pengendalian yang mengombinasikan kecepatan pelacakan metode konvensional dengan kestabilan logika Fuzzy, sehingga menghasilkan performa pelacakan yang lebih baik dibandingkan penggunaan satu metode secara terpisah.

Berdasarkan hasil penelitian-penelitian tersebut, pendekatan yang menggabungkan logika Fuzzy dengan metode konvensional menunjukkan kecenderungan memberikan performa yang lebih baik dibandingkan metode

konvensional saja, terutama dalam meningkatkan efisiensi pelacakan dan mengurangi osilasi daya di sekitar titik maksimum. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih dilakukan dalam lingkungan simulasi sehingga performa sistem pada kondisi operasi nyata belum dapat dievaluasi secara menyeluruh. Implementasi langsung metode *Fuzzy Disturbance* pada perangkat keras nyata, khususnya menggunakan mikrokontroler dan sistem panel surya skala kecil, masih relatif terbatas. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang mengimplementasikan algoritma *Fuzzy Disturbance* secara langsung pada perangkat keras untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap peningkatan daya keluaran, efisiensi pelacakan, waktu respons, serta kestabilan sistem dibandingkan metode P&O konvensional.

1.3 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang sudah diuraikan maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan dan implementasi sistem *Maximum Power Point Tracking* menggunakan *buck converter* berbasis Algoritma *Fuzzy Disturbance* pada panel surya?
2. Bagaimana pengaruh Algoritma *Fuzzy Disturbance* terhadap performa panel surya?

1.4 Tujuan dan Manfaat

Adapun manfaat dan tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1.4.1 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijabarkan sebelumnya, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun sistem *Maximum Power Point Tracking* menggunakan *buck converter* berbasis Algoritma *Fuzzy Disturbance* pada panel surya.
2. Menganalisis pengaruh Algoritma *Fuzzy Disturbance* terhadap performa panel surya.

1.4.2 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang signifikan, baik secara teoritis maupun praktis, di bidang teknik energi terbarukan.

1. Manfaat Akademis

Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang Teknik Elektro khususnya di bidang tenaga listrik dan energi terbarukan.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi daya panel surya sehingga dapat bermanfaat bagi pengembangan teknologi panel surya.

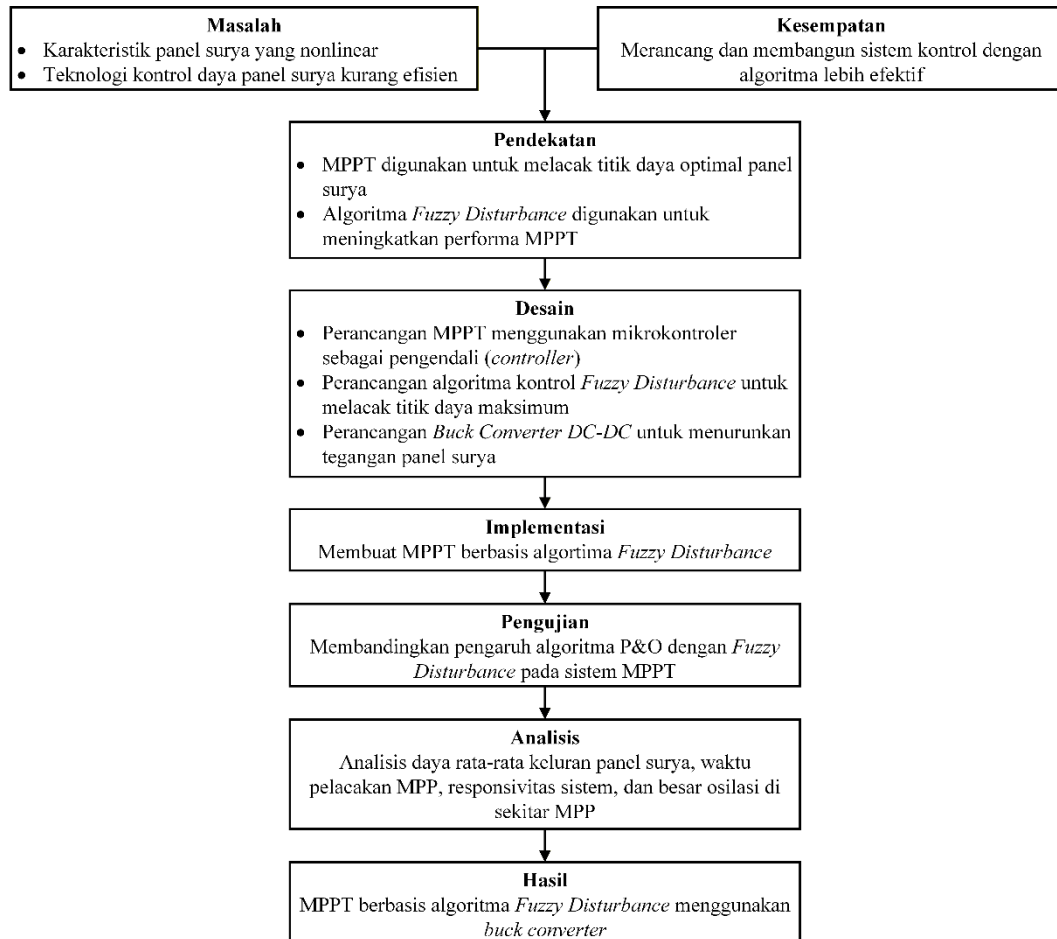
1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tetap fokus, terukur, dan dapat diselesaikan dalam alokasi waktu yang tersedia, maka penelitian ini dibatasi pada beberapa aspek berikut:

1. Panel surya yang digunakan dalam penelitian ini adalah panel surya monocrystalline dengan kapasitas maksimum 100 WP.
2. Konverter yang dirancang menggunakan topologi *buck converter* asinkron.
3. Beban yang digunakan pada pengujian berupa resistor daya (*dummy load*).
4. Parameter yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem meliputi:
 - a. Daya rata-rata keluaran panel surya,
 - b. Besar osilasi daya di sekitar titik daya maksimum,
 - c. Waktu pelacakan,
 - d. Responsivitas terhadap perubahan iradiasi.

1.6 Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Kerangka berpikir penelitian.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari 3 bab yang menguraikan permasalahan yang dibahas. Berikut sistematika penulisan penelitian ini:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi pendahuluan yang mencakup latar belakang masalah mengenai pentingnya optimalisasi daya panel surya dan keterbatasan algoritma MPPT konvensional. Bab ini juga menjabarkan rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah yang ditetapkan, serta sistematika penulisan penelitian ini.

BAB II TEORI DASAR

Bab ini menguraikan landasan teori yang relevan dengan penelitian. Teori yang dibahas meliputi konsep dasar panel surya, prinsip *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), penjelasan rinci mengenai algoritma *Perturb & Observe* (P&O) beserta kelemahannya, dasar-dasar Logika Fuzzy, dan konsep algoritma hibrida P&O-FLC. Selain itu, bab ini juga mencakup teori mengenai *DC-DC Converter* yang digunakan untuk implementasi MPPT.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan langkah-langkah sistematis yang dilakukan dalam penelitian Rancang Bangun ini. Metodologi mencakup studi literatur, penentuan spesifikasi alat dan bahan, perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*), diagram alir (*flowchart*) penelitian, serta prosedur pengujian dan metode pengambilan data yang akan digunakan untuk analisis perbandingan.

BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Bab ini membahas mengenai proses pengujian yang dilakukan terhadap setiap bagian sistem secara terpisah. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa masing-masing komponen sistem bekerja sesuai dengan fungsinya sebelum digabungkan menjadi satu kesatuan. Setiap hasil pengujian dianalisis untuk mengetahui performa dan keandalan sistem pada tahap implementasi.

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini menyajikan hasil pengujian sistem secara keseluruhan yang telah terintegrasi. Data hasil pengujian dianalisis untuk mengevaluasi performa sistem ketika dilakukan berbagai variasi pengujian.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab terakhir berisi kesimpulan yang diambil dari hasil penelitian, mencakup keberhasilan sistem dalam memanen daya, efisiensi waktu pelacakan, besar osilasi, dan responsivitas sistem. Lalu, pada Bab ini berisi saran untuk meningkatkan kekurangan yang ada pada penelitian ini.

