

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Produksi tenaga listrik dari energi terbarukan dapat menjadi solusi sumber energi non-polusi yang paling direkomendasikan. Solusi ini memiliki banyak keuntungan karena sumber energi yang tak terbatas. Di satu sisi, sumber-sumber ini memungkinkan pelestarian lingkungan, karena ramah lingkungan. Di sisi lain, penggunaan sumber-sumber ini mampu bersaing dengan sumber fosil. Energi matahari adalah salah satu sumber energi baru terbarukan yang dapat menjadi isu menarik sebagai solusi permasalahan pemanasan global. Sel fotovoltaik (PV) adalah salah satu teknologi sumber energi alternatif yang dapat mengonversi energi foton menjadi energi listrik dengan arus DC [1].

Kinerja panel surya sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama intensitas radiasi matahari dan suhu. Perubahan kedua parameter tersebut menyebabkan karakteristik tegangan, arus, dan daya keluaran panel surya berubah secara dinamis sehingga titik daya maksimum (MPP) yang selalu berpindah. Akibatnya, panel surya tidak selalu bekerja pada kondisi daya maksimum sehingga efisiensi sistem menjadi menurun [2]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut digunakan metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), yaitu suatu metode yang bertujuan melacak dan mempertahankan titik daya maksimum panel surya agar daya yang dihasilkan tetap optimal meskipun kondisi lingkungan berubah [3]. Daya maksimum panel surya, didapatkan dari penyesuaian beban dengan PV. Hal ini dilakukan dengan menambahkan rangkaian *buck converter* yang dikendalikan oleh sistem MPPT [2]. Pelacakan *Maximum Power Point* (MPP) harus dilakukan secara terus menerus karena nilai MPP akan selalu berubah-ubah mengikuti perubahan kondisi lingkungan yang terjadi [3].

Berbagai algoritma telah dikembangkan, diantaranya algoritma *Perturb and Observe* (P&O) dan *Incremental Conductance* (IC) merupakan dua algoritma konvensional yang paling umum digunakan karena kesederhanaan dalam implementasinya [3]. Algoritma P&O bekerja dengan memberikan gangguan kecil pada titik kerja panel surya dan mengamati respons dayanya, namun memiliki kelemahan berupa osilasi daya di sekitar MPP serta berpotensi gagal melacak MPP

ketika terjadi perubahan kondisi cuaca yang cepat. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, dikembangkan algoritma IC yang memanfaatkan hubungan perubahan arus dan tegangan (dI/dV) dalam mendeteksi MPP secara lebih akurat [3]. Sistem MPPT ini kemudian diimplementasikan pada konverter DC–DC tipe *buck* sebagai pengatur titik kerja panel surya [4], yang dirancang agar mampu menyesuaikan titik operasi panel surya secara kontinu terhadap perubahan kondisi lingkungan, sehingga daya keluaran yang dihasilkan dapat mendekati kondisi maksimum [7].

Pemilihan algoritma P&O dan IC sebagai objek penelitian ini selain karena kemudahan dalam implementasinya, kedudukannya sebagai metode konvensional yang menjadi dasar bagi pengembangan berbagai metode MPPT yang lebih kompleks, sehingga pemahaman yang mendalam mengenai karakteristik dan perbandingan kinerja keduanya dapat dijadikan landasan bagi perkembangan metode lainnya. Namun, sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada pengujian secara simulasi atau pada kondisi lingkungan yang ideal, serta belum mengkaji secara mendalam bagaimana optimasi kinerja algoritma IC pada kondisi variasi iradiasi yang realistis, sebagaimana yang terjadi pada penerapan di lapangan. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode MPPT IC untuk optimasi daya panel surya dengan implementasi langsung, serta dibandingkan kinerjanya dengan algoritma P&O, sehingga diharapkan mampu menghasilkan nilai daya dan efisiensi yang optimal secara kontinu untuk implementasi sistem PV pada kondisi lingkungan nyata.

1.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu adalah bentuk uraian untuk menunjukkan bahwa penyelesaian masalah yang di ajukan merupakan hal yang berbeda dengan penelitian – penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Bagian ini berfungsi untuk memberikan gambaran mengenai posisi penelitian yang akan dilakukan serta sebagai dasar pembanding terhadap penelitian terkait yang relevan. Selain itu, penelitian terdahulu juga digunakan untuk memperkuat alasan dilaksanakannya penelitian ini dengan mengidentifikasi celah penelitian (*research gap*) yang masih dapat dikembangkan. Oleh karena itu, pada bagian ini akan diuraikan secara singkat

beberapa penelitian sebelumnya yang memiliki keterkaitan dengan topik penelitian, sebagai berikut yang ditunjukkan pada Tabel 1.1.

Tabel 1. 1 Rujukan utama.

Nama Peneliti	Tahun	Judul Penelitian
Efendi S, Wirateruna [1].	2022	Analisa Perbandingan Implementasi MPPT PV Berbasis Algoritma P&O dan IC dengan Arduino Uno.
Abdullah Assegaf, Dedi Aming, dan Febri Alvianto [3].	2021	Perancangan <i>maximum power point tracking</i> dengan algoritma <i>incremental conductance</i> untuk PLTS 100 Wp.
Muhammad Ihsan Fadriantama, dan Sisdarmanto Adinandra [4].	2021	Analisis Perbandingan Kinerja Algoritma <i>Perturb and Observe</i> (P&O) dan <i>Incremental Conductance</i> (IC) pada Sistem Kendali <i>Maximum Power Point Tracker</i> (MPPT) untuk Sistem <i>Photovoltaic</i> (PV) Paralel.
Asnil, Refdinal Nazir, Krismadianata, dan Muhammad Nasir Sonni [5].	2024	<i>Performance Analysis of an Incremental Conductance MPPT Algorithm for Photovoltaic Systems Under Rapid Irradiance Changes.</i>
Ralfi Wibowo Rachmad dan Tomy Abuzairi [6].	2022	Simulasi Efisiensi <i>Buck Converter Asynchronous</i> dan <i>Synchronous</i> Berdasarkan Variasi Nilai <i>Duty Cycle</i> dan Beban.

Penelitian [1] membahas implementasi algoritma *Perturb and Observe* (P&O) dan *Incremental Conductance* (IC) pada sistem MPPT fotovoltaiik berbasis Arduino Uno dengan menggunakan *boost converter*. Pengujian dilakukan secara eksperimental menggunakan panel surya 20 Wp, sensor INA219, dan sensor tegangan pada beberapa kondisi intensitas cahaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma IC memiliki performa lebih baik dibandingkan P&O, ditunjukkan

oleh daya rata-rata yang lebih tinggi pada setiap variasi intensitas cahaya serta respons pelacakan yang lebih cepat.

Penelitian [3] membahas mengenai implementasi metode MPPT berbasis IC pada sistem fotovoltaik untuk memaksimalkan daya keluaran. Metode ini bekerja dengan menggunakan konverter DC–DC *buck-boost* sebagai pengatur tegangan. Algoritma IC bekerja dengan membandingkan nilai *incremental conductance* (dI/dV) dan *instantaneous conductance* ($-I/V$) untuk menentukan arah pengaturan *duty cycle* sehingga panel surya dapat beroperasi mendekati titik daya maksimum. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penerapan MPPT IC mampu meningkatkan daya keluaran panel surya secara signifikan baik pada kondisi iradiasi konstan maupun fluktuatif dibandingkan sistem tanpa MPPT, serta menunjukkan kemampuan yang baik dalam mengikuti perubahan titik daya maksimum akibat variasi iradiasi matahari.

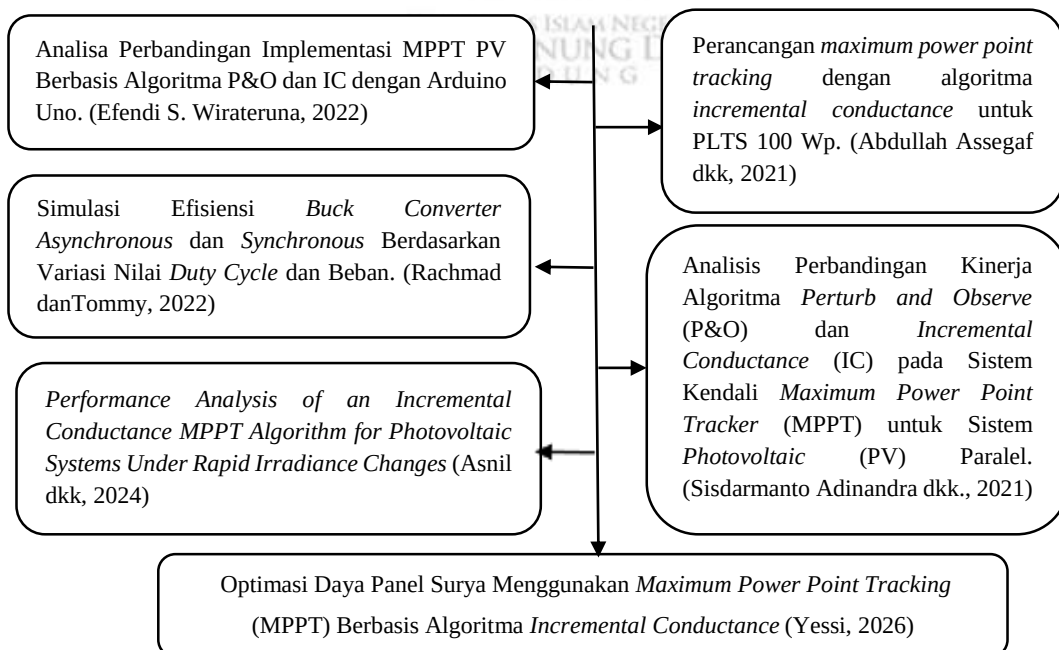
Penelitian [4] membahas perbandingan kinerja algoritma *Perturb and Observe* (P&O) dan *Incremental Conductance* (IC) pada sistem *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) untuk sistem *photovoltaic* (PV) paralel menggunakan simulasi. Kedua algoritma diterapkan pada sistem PV yang terhubung dengan *buck-boost converter* untuk memperoleh titik daya maksimum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma P&O mampu menghasilkan daya keluaran lebih tinggi dan memiliki *rise time* yang lebih cepat, tetapi menghasilkan osilasi yang lebih besar. Sebaliknya, algoritma IC menghasilkan osilasi yang lebih kecil sehingga lebih aman untuk baterai, meskipun memiliki waktu pelacakan yang lebih lambat dan daya keluaran sedikit lebih rendah. Penelitian ini menjadi acuan dalam membandingkan karakteristik kedua algoritma MPPT serta menunjukkan keunggulan IC dalam menghasilkan keluaran yang lebih stabil.

Penelitian [5] menganalisis kinerja algoritma MPPT IC pada sistem PV di bawah perubahan iradiasi yang cepat. Algoritma IC dimodifikasi untuk meningkatkan kecepatan pelacakan titik daya maksimum dan mengurangi osilasi daya. Hasil pengujian menunjukkan waktu pelacakan algoritma termodifikasi lebih cepat, yaitu 72 ms, dibandingkan IC konvensional sebesar 84 ms. Selain itu, osilasi

daya berhasil ditekan menjadi 1,33 W. Hasil ini membuktikan bahwa modifikasi IC meningkatkan respon dan stabilitas sistem PV pada kondisi iradiasi dinamis.

Penelitian [6] membahas mengenai simulasi efisiensi *buck converter asynchronous* dan *synchronous* berdasarkan variasi *duty cycle* dan beban. Metode ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *LTspice* untuk membandingkan performa kedua topologi, di mana *asynchronous* menggunakan dioda sebagai *low-side switch*, sedangkan *synchronous* menggunakan MOSFET. Hasil simulasi menunjukkan bahwa efisiensi kedua topologi cenderung meningkat ketika *duty cycle* dan arus operasi semakin besar. Topologi *asynchronous* lebih baik pada arus rendah, sementara *synchronous* lebih unggul pada *duty cycle* rendah dengan beban kecil karena rugi tegangan MOSFET lebih rendah dibandingkan dioda. Pada *duty cycle* tinggi, efisiensi kedua topologi relatif hampir sama karena pengaruh *low-side switch* menjadi tidak terlalu signifikan.

Secara keseluruhan, penelitian terdahulu menunjukkan bahwa MPPT berperan penting dalam menjaga panel surya tetap bekerja pada titik daya maksimum saat terjadi perubahan iradiasi dan temperatur. Metode MPPT juga terus berkembang dari P&O, IC, hingga FLC dan kecerdasan buatan untuk meningkatkan kecepatan pelacakan serta mengurangi osilasi daya. Hubungan penelitian terdahulu yang digunakan sebagai rujukan ditampilkan pada Gambar 1.1



1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan dan implementasi sistem *Maximum Power Point Tracking* berbasis Algoritma *Incremental Conductance* pada panel surya?
2. Bagaimana kinerja sistem *Maximum Power Point Tracking* berbasis Algoritma *Incremental Conductance* dalam mengoptimalkan daya panel surya?

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem *Maximum Power Point Tracking* berbasis Algoritma *Incremental Conductance* pada panel surya dalam mengoptimalkan daya yang dihasilkan panel surya.
2. Mengetahui dan menganalisis kinerja *Maximum Power Point Tracking* berbasis Algoritma *Incremental Conductance* dalam mengoptimalkan daya pada panel surya.

1.4.2 Manfaat

Pada penelitian ini terdapat dua manfaat yang ingin di capai yaitu:

1. Manfaat Akademik

Penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk memperkuat pemahaman mengenai karakteristik dan kinerja metode MPPT IC, serta dapat menjadi bahan rujukan bagi mahasiswa dalam pengembangan sistem PV.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini dapat memberikan gambaran penerapan metode IC yang stabil sehingga dapat digunakan sebagai referensi dalam perancangan dan pengoperasian sistem panel surya, khususnya dalam merespons perubahan iradiasi dan suhu sesuai dengan kondisi lingkungan nyata.

1.5 Batasan Masalah

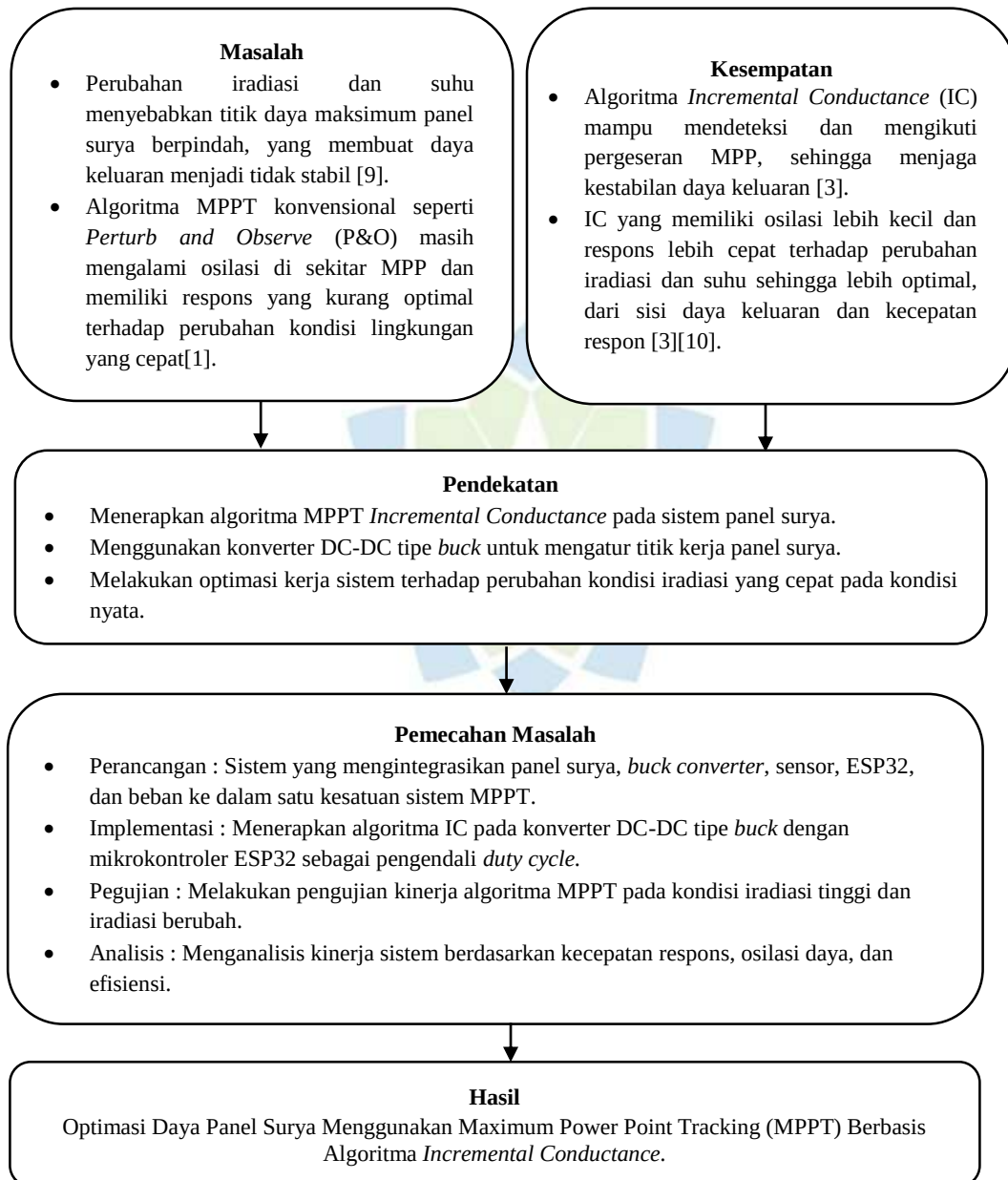
Tujuan batasan masalah yaitu supaya menghindari adanya penyimpangan atau perluasan topik, agar penelitian lebih terarah dan mudah dibahas, sehingga dapat mencapai tujuan penelitian. Beberapa batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini membandingkan kinerja algoritma MPPT yang digunakan dengan algoritma P&O.
2. Sistem diuji berdasarkan kondisi pencahayaan yang terjadi pada cuaca disekitar saat pengujian, seperti kondisi pencahayaan rendah maupun pencahayaan berlebih.
3. Implementasi MPPT IC dilakukan pada konverter DC–DC tipe *asynchronous buck converter* untuk mencapai titik daya maksimum panel surya.
4. Parameter yang digunakan sebagai variabel pembanding dalam penelitian ini meliputi iradiasi dan suhu.
5. Penelitian ini hanya berfokus pada perbandingan kinerja algoritma P&O dan IC, tanpa membahas rugi-rugi daya yang terjadi pada *buck converter*.
6. Beban yang digunakan selama pengujian sistem MPPT berupa *dummy load* dengan nilai resistansi tetap, tanpa ada variasi beban selama proses pengujian berlangsung.
7. Pengujian sistem dilakukan menggunakan dua buah panel surya dengan tipe yang sama, yaitu *Monocrystalline* berkapasitas 100 Wp.
8. Suhu yang terbaca oleh sensor merupakan suhu udara di sekitar panel surya, bukan suhu permukaan panel.
9. Posisi panel surya tetap selama pengujian dan tidak mengikuti pergerakan matahari (*solar tracking*).

1.6 Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir menggambarkan alur pemikiran sistematis peneliti dalam memahami masalah dan menentukan pendekatan penyelesaiannya. Dalam penelitian ini, permasalahan utama adalah ketidakstabilan daya panel surya akibat perubahan iradiasi dan suhu yang cepat. Untuk mengatasinya, diterapkan algoritma

MPPT IC yang mampu merespons perubahan kondisi lingkungan lebih akurat dan cepat dibandingkan algoritma konvensional. Hubungan antar variabel dan tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.2.



Gambar 1. 2 Kerangka berpikir.

1.7 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas gambaran umum penelitian, dasar permasalahan, ruang lingkup penelitian, serta arah penelitian mengenai penerapan MPPT *Incremental Conductance* pada sistem panel surya

BAB II TEORI DASAR

Bab ini menjelaskan teori-teori yang digunakan sebagai landasan penelitian, meliputi karakteristik panel surya, prinsip kerja MPPT, algoritma P&O dan IC, serta *converter* DC-DC.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas metode dan tahapan penelitian yang digunakan dalam proses perancangan, implementasi, pengujian, dan analisis sistem MPPT.

BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Bab ini menjelaskan proses perancangan dan implementasi sistem, baik dari sisi perangkat keras, perangkat lunak, maupun sistem secara keseluruhan.

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini membahas hasil pengujian sistem serta analisis kinerja algoritma IC dalam melacak titik daya maksimum panel surya, dibandingkan dengan algoritma P&O.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan bagian penutup penelitian, berisi kesimpulan dari penelitian serta saran untuk penelitian selanjutnya.