

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi, perkembangan teknologi, serta meningkatnya aktivitas industri. Ketergantungan terhadap sumber energi fosil seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara menimbulkan berbagai permasalahan, antara lain keterbatasan sumber daya serta peningkatan emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, pemanfaatan energi terbarukan menjadi solusi yang penting untuk memenuhi kebutuhan energi secara berkelanjutan [1].

Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar adalah energi matahari yang dapat dimanfaatkan melalui teknologi *Photovoltaic* (PV). Teknologi ini mampu mengubah energi irradiasi matahari menjadi energi listrik melalui efek fotolistrik pada material semikonduktor [2]. Selain itu, perkembangan teknologi *Photovoltaic* menunjukkan peningkatan yang signifikan dan telah banyak diterapkan dalam berbagai sistem pembangkit listrik tenaga surya [3].

Meskipun memiliki potensi besar, sistem *Photovoltaic* masih memiliki keterbatasan dalam efisiensi konversi energi. Kinerja sistem *Photovoltaic* dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti intensitas irradiasi matahari, temperatur lingkungan, dan orientasi panel terhadap matahari. Kondisi tersebut menyebabkan daya keluaran sistem belum dapat dimanfaatkan secara optimal sehingga diperlukan metode optimasi untuk meningkatkan performa sistem *Photovoltaic* [4]. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar energi matahari belum dapat dimanfaatkan secara optimal oleh sistem *Photovoltaic*.

Selain itu, kinerja sistem *Photovoltaic* sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti intensitas irradiasi matahari, temperatur, serta orientasi panel terhadap matahari. Perubahan kondisi tersebut menyebabkan daya keluaran sistem *Photovoltaic* menjadi tidak stabil. Oleh karena itu, diperlukan metode yang mampu

menjaga sistem agar tetap bekerja secara optimal pada berbagai kondisi lingkungan [4].

Karakteristik sistem *Photovoltaic* yang bersifat nonlinier menyebabkan adanya titik operasi tertentu yang menghasilkan daya maksimum yang disebut *Maximum Power Point* (MPP). Posisi titik ini dapat berubah-ubah tergantung pada kondisi irradiansi dan temperatur sehingga diperlukan metode pengendalian untuk melacak titik tersebut. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) [5].

Metode MPPT seperti algoritma *Incremental Conductance* (IC) banyak digunakan karena memiliki akurasi tinggi dalam melacak titik daya maksimum serta mampu merespons perubahan kondisi lingkungan dengan cepat. Algoritma ini bekerja dengan membandingkan perubahan arus dan tegangan untuk menentukan posisi titik operasi terhadap MPP sehingga sistem dapat mempertahankan kondisi kerja yang optimal [6], [7].

Selain optimasi secara elektrik, peningkatan daya keluaran sistem *Photovoltaic* juga dapat dilakukan melalui pendekatan mekanis menggunakan sistem *Solar Tracking*. Sistem ini berfungsi untuk mengarahkan panel agar selalu tegak lurus terhadap arah datang sinar matahari sehingga energi yang diterima dapat dimaksimalkan. Penelitian menunjukkan bahwa *Solar Tracking* mampu meningkatkan daya keluaran sistem secara signifikan dibandingkan sistem dengan posisi tetap [8], [9].

Sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) banyak digunakan dalam sistem *Solar Tracking* karena memiliki struktur sederhana, biaya rendah, serta kemampuan mendeteksi intensitas cahaya dengan baik. Sensor ini memungkinkan sistem untuk mendeteksi arah datang cahaya matahari dan menggerakkan panel secara otomatis sehingga meningkatkan penyerapan energi matahari [10].

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja sistem *Photovoltaic* melalui berbagai pendekatan. Penelitian oleh Mohamed Hebchi, Abdellah Kouzou, dan Abdelghani Choucha mengembangkan algoritma *Incremental Conductance* untuk meningkatkan kemampuan pelacakan titik daya maksimum pada sistem *Photovoltaic*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa

algoritma tersebut mampu merespons perubahan irradiansi matahari dengan cepat dan meningkatkan kemampuan pelacakan titik daya maksimum dibandingkan metode konvensional [6].

Penelitian oleh Prakash Ganesan, Gunasekaran S., dan Andrew Jebraj Godson melakukan pemodelan dan simulasi algoritma *Incremental Conductance* untuk aplikasi *Maximum Power Point Tracking* pada sistem *Photovoltaic*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma *Incremental Conductance* mampu meningkatkan daya keluaran sistem *Photovoltaic* secara signifikan pada berbagai kondisi irradiansi matahari [11].

Selain itu, penelitian oleh Djamel Ounnas, Dhaouadi Guiza, Youcef Soufi, dan Mahmoud Maamri menunjukkan bahwa modifikasi algoritma *Incremental Conductance* mampu meningkatkan kecepatan pelacakan titik daya maksimum serta mengurangi fluktuasi daya pada sistem *Photovoltaic* [12].

Di sisi lain, penelitian mengenai sistem *Solar Tracking* juga menunjukkan peningkatan performa sistem *Photovoltaic*. Penelitian oleh Mitică Iustinian Neacă menunjukkan bahwa sistem *Solar Tracking* mampu meningkatkan penyerapan energi matahari karena panel selalu berada pada posisi optimal terhadap arah datang cahaya [8]. Penelitian oleh Mas Ahmad Baihaqi, Hartawan Abdillah, Ahmad Izzuddin, Tamam Asrori, Alief Muhammad, dan Dani Hari Tunggal Prasettio juga menunjukkan bahwa penggunaan *Solar Tracking* mampu meningkatkan daya keluaran panel surya dibandingkan sistem statis [9].

Selain itu, penelitian oleh Musong L. Katche, Augustine B. Makokha, Siagi O. Zachary, dan Muiyiwa S. Adaramola menunjukkan bahwa metode MPPT, khususnya *Incremental Conductance*, merupakan salah satu metode yang paling stabil dan akurat dalam meningkatkan daya keluaran sistem *Photovoltaic*.

Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih dilakukan secara terpisah antara optimasi elektrik menggunakan MPPT dan optimasi mekanis menggunakan *Solar Tracking*. Penelitian yang mengintegrasikan algoritma MPPT *Incremental Conductance* dengan *Solar Tracking* berbasis sensor LDR masih relatif terbatas. Hal ini menunjukkan adanya *research gap* dalam pengembangan sistem *Photovoltaic* yang terintegrasi.

Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut, penelitian ini mengusulkan integrasi metode MPPT *Incremental Conductance* dengan sistem *Solar Tracking* berbasis sensor LDR untuk mengoptimalkan daya keluaran sistem *Photovoltaic* dari sisi elektrik dan mekanis secara simultan. Kombinasi kedua metode tersebut diharapkan mampu meningkatkan daya keluaran, energi yang dihasilkan, serta efisiensi sistem dibandingkan sistem konvensional yang hanya menerapkan salah satu metode optimasi. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem pembangkit listrik tenaga surya yang lebih optimal dan efisien di masa depan [5], [13].

Tabel 1.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu.

No	Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Metode / Fokus Penelitian	Hasil Penelitian
1	Athil S. Al-Ezzi, Mohamed Nainar M. Ansari	2022	<i>Photovoltaic</i> Solar Cells: A Review	Review teknologi <i>Photovoltaic</i> dan karakteristik sel surya	Menjelaskan prinsip kerja sel surya dan faktor yang mempengaruhi efisiensi panel PV
2	Ricardo A. Marques Lameirinhas, João Paulo N. Torres, João P. de Melo Cunha	2022	A <i>Photovoltaic</i> Technology Review: History, Fundamentals and Applications	Studi perkembangan teknologi <i>Photovoltaic</i>	Teknologi PV berkembang pesat dan memiliki peran penting dalam energi terbarukan
3	Ali Omar Baba, Guangyu Liu, Xiaohui Chen	2020	Classification and Evaluation Review of	Review metode MPPT	Efisiensi sistem PV berkisar

No	Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Metode / Fokus Penelitian	Hasil Penelitian
			<i>Maximum Power Point Tracking Methods</i>		sekitar 6–20% sehingga diperlukan MPPT untuk meningkatkan daya keluaran
4	A. A. Babatunde, S. Abbasoglu, M. Senol	2019	Analysis of the Impact of Dust, Tilt Angle and Orientation on Performance of PV Plants	Analisis pengaruh lingkungan terhadap PV	Debu, sudut kemiringan, dan orientasi panel mempengaruhi kinerja sistem PV
5	M. A. Abo-Sennah, M. A. El-Dabah, Ahmed El-Biomey Mansour	2021	<i>Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Systems: A Comparative Study</i>	Perbandingan metode MPPT	MPPT meningkatkan efisiensi dan daya keluaran sistem PV
6	Musong L. Katche, Augustine B. Makokha, Siagi O. Zachary, Muiyiwa S. Adaramola	2023	A Comprehensive Review of <i>Maximum Power Point Tracking Techniques</i> Used in Solar PV Systems	Review metode MPPT	MPPT membantu meningkatkan pemanfaatan energi matahari pada sistem PV

No	Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Metode / Fokus Penelitian	Hasil Penelitian
7	Mohamed Hebchi, Abdellah Kouzou, Abdelghani Choucha	2019	Improved <i>Incremental Conductance</i> Algorithm for MPPT in <i>Photovoltaic</i> System	Pengembangan algoritma <i>Incremental Conductance</i>	Algoritma INC mampu melacak titik daya maksimum secara akurat
8	Prakash Ganesan, Gunasekaran S., Andrew Jebraj Godson	2022	Modelling and Simulation of <i>Incremental Conductance</i> Algorithm for Solar <i>Maximum Power Point</i> Tracker	Simulasi MPPT <i>Incremental Conductance</i>	MPPT meningkatkan daya keluaran panel surya
9	Djamel Ounnas, Dhaouadi Guiza, Youcef Soufi, Mahmoud Maamri	2021	Design and Hardware Implementation of Modified <i>Incremental Conductance</i> Algorithm for <i>Photovoltaic</i> System	Implementasi MPPT INC	Modifikasi algoritma INC meningkatkan respon sistem PV
10	Liqun Shang, Hangchen Guo, Weiwei Zhu	2021	An Improved MPPT Control Strategy Based on <i>Incremental</i>	Pengembangan MPPT INC	Meningkatkan kecepatan tracking dan

No	Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Metode / Fokus Penelitian	Hasil Penelitian
			<i>Conductance Algorithm</i>		stabilitas sistem PV
11	Mitică Iustinian Neacă	2021	<i>Solar Tracking System for Several Groups of Solar Panels</i>	Sistem <i>Solar Tracking</i>	<i>Solar Tracking</i> meningkatkan konversi energi matahari menjadi listrik
12	Mas Ahmad Baihaqi, Hartawan Abdillah, Ahmad Izzuddin, Tamam Asrori, Alief Muhammad, Dani Hari Tunggal Prasettio	2024	Optimasi Efisiensi Solar Cell Melalui <i>Solar Tracking</i> dan Sistem Monitoring Pada Proteksi Energi Listrik	<i>Solar Tracking</i> dan monitoring sistem	<i>Solar Tracking</i> meningkatkan efisiensi panel surya

Berdasarkan tabel penelitian terdahulu tersebut dapat disimpulkan bahwa:

- Sebagian besar penelitian berfokus pada pengembangan algoritma MPPT untuk meningkatkan daya keluaran sistem *Photovoltaic*.
- Beberapa penelitian lainnya membahas *Solar Tracking* untuk meningkatkan penyerapan energi matahari oleh panel PV.
- Namun penelitian yang mengintegrasikan algoritma MPPT *Incremental Conductance* dengan *Solar Tracking* berbasis sensor LDR masih relatif terbatas.

Oleh karena itu, kebaruan (*novelty*) dalam penelitian ini terletak pada integrasi metode MPPT *Incremental Conductance* dengan sistem *Solar Tracking* berbasis

sensor LDR untuk mengoptimalkan daya keluaran dari sisi elektris dan mekanis secara simultan. Dengan pendekatan ini, diharapkan sistem *Photovoltaic* mampu menghasilkan daya yang lebih optimal serta memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional.

1.2 Kebaruan Penelitian (Novelty)

Penelitian mengenai optimasi sistem *Photovoltaic* (PV) telah banyak dilakukan, baik melalui pendekatan elektris menggunakan algoritma *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) maupun pendekatan mekanis dengan sistem *Solar Tracking*. Algoritma *Incremental Conductance* (IC) terbukti memiliki akurasi tinggi dalam melacak titik daya maksimum serta mampu merespons perubahan kondisi lingkungan dengan cepat [6], [10], [14]. Sementara itu, *Solar Tracking* berbasis sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) mampu meningkatkan penyerapan energi matahari dengan biaya rendah dan struktur sederhana [3], [9].

Namun, sebagian besar penelitian terdahulu masih membahas kedua pendekatan tersebut secara terpisah, yaitu hanya berfokus pada optimasi elektris melalui MPPT [6], [13] atau optimasi mekanis melalui *Solar Tracking* [12], [9]. Penelitian yang mengintegrasikan algoritma MPPT *Incremental Conductance* dengan sistem *Solar Tracking* berbasis sensor LDR masih relatif terbatas. Hal ini menunjukkan adanya celah penelitian (*research gap*) yang perlu dikaji lebih lanjut. Kebaruan penelitian ini terletak pada:

1. Integrasi simultan optimasi elektris dan mekanis melalui kombinasi algoritma MPPT *Incremental Conductance* dan sistem *Solar Tracking* berbasis sensor LDR.
2. Pengembangan prototipe sistem *Photovoltaic* skala kecil yang dapat diuji secara langsung untuk mengevaluasi peningkatan performa sistem dibandingkan sistem dengan konfigurasi konvensional.
3. Analisis komprehensif terhadap pengaruh kombinasi metode tersebut terhadap parameter tegangan, arus, daya keluaran, dan efisiensi sistem *Photovoltaic* secara kuantitatif.

Dengan kebaruan tersebut, penelitian ini diharapkan mampu memberikan

kontribusi dalam meningkatkan daya keluaran sistem *Photovoltaic* melalui pendekatan terintegrasi, serta menjadi referensi bagi pengembangan sistem pembangkit listrik tenaga surya yang lebih optimal di masa depan [6], [14], [13].

1.3 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang sistem *Photovoltaic* (PV) yang mampu menghasilkan daya listrik secara optimal pada berbagai kondisi irradiasi matahari?
2. Bagaimana menerapkan algoritma *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) metode *Incremental Conductance* untuk melacak titik daya maksimum pada sistem *Photovoltaic*?
3. Bagaimana merancang sistem *Solar Tracking* berbasis sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) untuk mengarahkan panel surya agar mengikuti posisi matahari?
4. Bagaimana pengaruh kombinasi MPPT *Incremental Conductance* dan *Solar Tracking* berbasis sensor LDR terhadap peningkatan daya keluaran *Photovoltaic*?

1.4 Tujuan Penelitian

1. Merancang sistem *Photovoltaic* (PV) yang mampu menghasilkan daya listrik secara optimal.
2. Mengimplementasikan algoritma *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) metode *Incremental Conductance* untuk melacak titik daya maksimum pada panel surya.
3. Merancang sistem *Solar Tracking* berbasis sensor LDR yang mampu mengarahkan posisi panel surya mengikuti pergerakan matahari.
4. Menganalisis efisiensi sistem dan peningkatan daya keluaran *Photovoltaic* setelah diterapkan MPPT *Incremental Conductance* dan *Solar Tracking*.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan terlaksananya penelitian ini, diharapkan akan memberikan manfaat

berkelanjutan guna pengembangan dikemudian hari antara lain sebagai berikut:

- Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan khususnya pada bidang teknologi energi terbarukan dan sistem *Photovoltaic*, terutama terkait optimasi daya menggunakan metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dan sistem *Solar Tracking*.
- Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai cara meningkatkan daya keluaran sistem *Photovoltaic* sehingga dapat meningkatkan pemanfaatan energi matahari sebagai sumber energi listrik alternatif.
- Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem pembangkit listrik tenaga surya yang lebih efisien dengan memanfaatkan kombinasi algoritma MPPT *Incremental Conductance* dan *Solar Tracking* berbasis sensor LDR.

1.6 Batasan Masalah

- Sistem yang diteliti merupakan sistem *Photovoltaic* skala kecil yang digunakan untuk keperluan pengujian dan simulasi.
- Beban uji berupa lampu LED DC 12V (20W–50W) digunakan sebagai simulasi beban untuk menguji keluaran daya dari sistem.
- Panel surya yang digunakan adalah modul *monocrystalline* 50 Wp.
- Sistem kontrol menggunakan mikrokontroler Arduino Uno R3 (ATmega328P)
- Metode *Maximum Power Point Tracking* yang digunakan dalam penelitian ini dibatasi pada algoritma *Incremental Conductance*.
- Sistem *Solar Tracking* yang diterapkan menggunakan sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) sebagai pendeteksi intensitas cahaya matahari.
- Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi tegangan, arus, daya keluaran *Photovoltaic*.
- Penelitian ini tidak membahas sistem penyimpanan energi, degradasi

modul *Photovoltaic*, serta koneksi sistem ke jaringan listrik (grid).

- Aktuator yang digunakan adalah *linear actuator* 12V dengan spesifikasi dorong minimal 1000 N dan panjang stroke 10–20 cm, hanya untuk menggerakkan panel pada satu arah sesuai algoritma *Solar Tracking*.
- Penelitian ini tidak membahas desain internal maupun analisis detail rangkaian kontrol pada setiap komponen yang digunakan.

1.7 Luaran Penelitian

- Prototipe sistem *Photovoltaic* yang dilengkapi dengan algoritma *Maximum Power Point Tracking* metode *Incremental Conductance* dan sistem *Solar Tracking* berbasis sensor LDR.
- Data hasil pengujian sistem *Photovoltaic* berupa parameter tegangan, arus, daya keluaran sebelum dan sesudah penerapan MPPT dan *Solar Tracking*.
- Analisis efisiensi sistem dan peningkatan daya keluaran sistem *Photovoltaic*, khususnya terkait peningkatan persentase daya yang dapat diserap oleh panel surya setelah diterapkan metode optimasi.
- Laporan penelitian atau skripsi yang membahas perancangan, implementasi, serta analisis kinerja sistem *Photovoltaic* menggunakan MPPT dan *Solar Tracking*.

1.8 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan proposal penelitian ini disusun secara terstruktur untuk memudahkan pemahaman terhadap alur penelitian yang dilakukan. Penulisan proposal ini terdiri dari lima bab yang saling berkaitan, dengan sistematika sebagai berikut:

- Bab I Pendahuluan

Bab ini memuat latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, metode penelitian, visualisasi sistem, serta sistematika penulisan. Bab ini memberikan gambaran umum mengenai urgensi dan arah penelitian yang dilakukan.

- Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi landasan teori dan kajian pustaka yang relevan dengan penelitian, meliputi konsep dasar sistem *Photovoltaic*, karakteristik panel surya, metode *Maximum Power Point Tracking*, algoritma *Incremental Conductance*, prinsip kerja *Solar Tracking* berbasis sensor LDR, serta penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan.

- Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan tahapan penelitian secara rinci, meliputi perancangan sistem *Photovoltaic*, perancangan algoritma MPPT *Incremental Conductance*, perancangan sistem *Solar Tracking* berbasis sensor LDR, metode pengujian, serta teknik pengambilan dan analisis data yang digunakan dalam penelitian.

- Bab IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini menyajikan hasil pengujian sistem yang telah dirancang, termasuk data tegangan, arus, dan daya keluaran sistem *Photovoltaic*. Selanjutnya dilakukan analisis dan pembahasan terhadap kinerja algoritma MPPT *Incremental Conductance* dan sistem *Solar Tracking* dalam meningkatkan daya keluaran sistem.

- Bab V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian serta saran yang dapat digunakan sebagai bahan pengembangan penelitian selanjutnya terkait optimasi sistem *Photovoltaic*.