

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan energi surya melalui sistem *photovoltaic* (PV) terus berkembang seiring meningkatnya kebutuhan energi listrik dan tuntutan penggunaan energi ramah lingkungan. Sistem *photovoltaic* memiliki keunggulan berupa sumber energi yang melimpah, bersih, dan dapat diterapkan pada berbagai skala. Namun, kinerja modul *photovoltaic* sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan konfigurasi pemasangan, terutama sudut kemiringan modul terhadap arah datang sinar matahari [1].

Indonesia sebagai negara yang berada di wilayah khatulistiwa memiliki potensi energi surya yang besar karena menerima intensitas radiasi matahari yang relatif tinggi sepanjang tahun. Meskipun demikian, pemanfaatan energi surya masih menghadapi kendala berupa rendahnya efisiensi konversi energi akibat pengaruh iradiasi, temperatur, orientasi, dan sudut kemiringan modul *photovoltaic*.

Perubahan posisi matahari sepanjang hari menyebabkan sudut datang cahaya terhadap permukaan modul juga berubah. Pada sistem *photovoltaic* konvensional, modul umumnya dipasang dengan sudut tetap sehingga tidak selalu berada pada posisi optimal dalam menerima radiasi matahari [1]. Kondisi tersebut menyebabkan daya keluaran yang dihasilkan tidak maksimal, terutama pada pagi dan sore hari.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dikembangkan sistem pengaturan sudut modul *photovoltaic* atau *solar tracking system*. Sistem ini memungkinkan panel surya bergerak mengikuti arah datang sinar matahari sehingga penerimaan radiasi menjadi lebih optimal dan daya keluaran dapat meningkat [2]. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah pemanfaatan sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) yang mampu mendeteksi perubahan intensitas cahaya sebagai masukan bagi sistem pengendalian sudut panel.

Selain implementasi perangkat keras, penggunaan perangkat lunak simulasi seperti Proteus juga menjadi solusi dalam proses perancangan sistem photovoltaic. Simulasi memungkinkan pengujian dan analisis dilakukan secara virtual sebelum implementasi nyata sehingga dapat mengurangi biaya dan risiko kesalahan perancangan.

Penelitian Mohamed Ben Mansour (2021) berjudul *Optimizing the Solar PV Tilt Angle to Maximize the Power Output* menunjukkan bahwa optimasi sudut kemiringan panel mampu meningkatkan daya sekitar 5–15% dibandingkan sudut tetap. Penelitian Kazi Mamun (2022) juga menunjukkan bahwa variasi sudut panel memengaruhi tegangan, arus, dan daya keluaran photovoltaic dengan perubahan daya sekitar 8–20%, namun pengaturan sudut masih dilakukan secara manual [2].

Penelitian Salim Al-Saadi (2020) menyatakan bahwa sudut kemiringan yang sesuai dengan lokasi pemasangan dapat meningkatkan energi dan daya tahunan sekitar 6–12% [3]. Selanjutnya, penelitian A. Nugroho (2023) menunjukkan bahwa sistem solar tracking mampu meningkatkan daya sebesar 20–35% dibandingkan sistem sudut tetap, meskipun belum membahas parameter listrik secara rinci [4].

Pendekatan simulasi dilakukan oleh E. T. Efendi (2024) melalui penelitian *Simulation of Automatic Solar Tracker Control System Using Proteus* yang menunjukkan peningkatan daya sekitar 15–25% dengan sistem solar tracking berbasis simulasi [5]. Selain itu, penelitian A. A. Azi (2024) membuktikan bahwa Proteus mampu memodelkan karakteristik tegangan, arus, dan daya photovoltaic secara representatif, namun belum mengintegrasikan sistem pengaturan sudut berbasis sensor [6].

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa optimasi sudut kemiringan dan penerapan sistem pengaturan sudut mampu meningkatkan daya keluaran modul *photovoltaic* dengan rentang peningkatan sekitar 5-35% dibandingkan sistem sudut tetap [1]-[5]. Namun, sebagian besar penelitian masih terbatas pada sudut tetap, pengaturan sudut manual, atau sistem *tracking* tanpa analisis mendalam terhadap parameter listrik modul.

Tabel 1.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul Penelitian	Metode	Hasil Penelitian	Kekurangan
1	Mohamed Ben Mansour (2021)	<i>Optimizing the Solar PV Tilt Angle to Maximize the Power Output</i>	Optimasi sudut kemiringan modul PV	Optimasi sudut kemiringan meningkatkan energi dan daya PV sekitar 5–15% dibanding sudut tetap	Sudut masih bersifat tetap dan tidak mengikuti posisi matahari secara real-time
2	Kazi Mamun (2022)	<i>Effect of Tilt Angle on the Performance and Electrical Parameters of a Photovoltaic Module</i>	Pengujian variasi sudut PV	Variasi sudut kemiringan mempengaruhi tegangan, arus, dan daya, perubahan daya mencapai 8–20%	Pengaturan sudut dilakukan secara manual
3	Salim Al-Saadi (2020)	<i>Optimum Location and Influence of Tilt Angle on Photovoltaic Power Generation</i>	Analisis lokasi dan sudut optimal	Sudut optimal meningkatkan energi PV sekitar 6–12%	Tidak menggunakan sistem tracking otomatis
4	A. Nugroho (2023)	<i>Optimasi Efisiensi Solar Cell</i>	<i>Solar tracking system</i>	Solar tracking meningkatkan daya hingga	Tidak menganalisis parameter

		<i>Melalui Solar Tracking</i>		20–35% dibanding sistem sudut tetap	listrik secara detail
5	E. T. Efendi (2024)	<i>Simulation of Automatic Solar Tracker Control System Using Proteus</i>	Simulasi solar tracking di Proteus	Simulasi menunjukkan peningkatan daya sekitar 15–25% dibanding sistem tanpa tracking	Fokus pada sistem kontrol, belum analisis kinerja PV secara lengkap
6	A. A. Azi (2024)	<i>Modeling and Simulation of Photovoltaic Panel Using Simulink and Proteus Simulation</i>	Simulasi karakteristik PV	Proteus mampu memodelkan karakteristik tegangan, arus dan daya PV	Tidak menggunakan sistem pengaturan sudut berbasis sensor

Oleh karena itu, penelitian ini diusulkan untuk menganalisis kinerja modul *photovoltaic* akibat pengaturan sudut berbasis sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) melalui simulasi terintegrasi menggunakan Proteus, dengan fokus pada perubahan tegangan, arus, dan daya sebagai indikator utama kinerja sistem. Kebaruan utama dalam penelitian ini terletak pada integrasi beberapa aspek yang belum dikaji secara bersamaan pada penelitian sebelumnya, yaitu:

1. Integrasi sistem *solar tracking* berbasis sensor LDR dengan simulasi Proteus secara menyeluruh. Tidak hanya fokus pada kontrol, tetapi juga pemodelan sistem secara lengkap dalam satu platform simulasi.
2. Analisis kinerja listrik modul *photovoltaic* secara kuantitatif dan terstruktur. Meliputi tegangan (V), arus (I), dan daya (P) pada berbagai kondisi sudut, yang sebelumnya belum dianalisis secara mendalam.

3. Pendekatan simulasi terintegrasi dengan validasi *real-time*. Menghubungkan hasil simulasi dengan pengujian lapangan untuk meningkatkan akurasi dan keandalan model. Penggunaan metode berbasis sensor sederhana (LDR) dengan pendekatan analitis Memberikan solusi sistem tracking yang lebih ekonomis namun tetap dianalisis secara ilmiah dan terukur.
4. Evaluasi performa sistem dibandingkan sudut tetap dan tracking otomatis Sehingga dapat menunjukkan secara jelas peningkatan kinerja sistem *photovoltaic*.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang sistem pengaturan sudut modul *photovoltaic* berbasis sensor LDR menggunakan simulasi Proteus?
2. Bagaimana pengaruh pengaturan sudut modul terhadap tegangan, arus, dan daya keluaran modul *photovoltaic*?
3. Bagaimana kinerja sistem *photovoltaic* berdasarkan hasil simulasi pengaturan sudut berbasis sensor LDR?
4. Bagaimana perbandingan hasil simulasi sistem solar *tracking* berbasis LDR dengan hasil pengujian *real-time*?"

1.3 Tujuan Penelitian

1. Merancang sistem pengaturan sudut modul *photovoltaic* berbasis sensor LDR menggunakan simulasi Proteus.
2. Menganalisis pengaruh variasi sudut kemiringan modul terhadap parameter listrik modul *photovoltaic*.
3. Mengevaluasi kinerja sistem *photovoltaic* berdasarkan hasil simulasi.
4. Membandingkan hasil simulasi dengan hasil pengujian *real-time* untuk mengetahui konsistensi kinerja sistem solar *tracking* berbasis sensor LDR.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Memberikan kontribusi akademik dalam kajian sistem pengaturan sudut modul PV berbasis sensor.

2. Menjadi referensi desain sistem PV berbasis simulasi sebelum implementasi fisik.
3. Mendukung pengembangan sistem energi surya yang lebih efisien.

1.5 Batasan Penelitian

1. Sistem *solar tracking* yang dikembangkan hanya menggunakan satu sumbu (*single axis tracking*), sehingga pengaturan sudut panel dilakukan pada arah timur–barat mengikuti pergerakan harian matahari. Sistem tidak mencakup pengaturan dua sumbu (*dual axis*).
2. Penelitian menggunakan data hasil pengujian real-time serta simulasi Proteus. Data iradiasi dan temperatur diperoleh dari data sekunder sebagai pendukung analisis dan tidak digunakan sebagai parameter utama yang dibahas secara mendalam.
3. Aktuator yang digunakan adalah *linear actuator* 12V dengan spesifikasi dorong minimal 1000 N dan panjang stroke 20 cm, hanya untuk menggerakkan panel pada satu arah sesuai algoritma *solar tracking*.
4. Sensor LDR digunakan sebagai komponen pendukung pada sistem solar tracking untuk mendeteksi perubahan arah cahaya. Penelitian ini tidak membahas karakteristik sensor, rangkaian elektronika, maupun metode pengolahan sinyal sensor..
5. Panel surya yang digunakan adalah modul *monocrystalline* 50 Wp dengan tegangan *open circuit* sekitar 19V dan arus maksimum sekitar 1.2 A.
6. Mikrokontroler Arduino Uno R3 (ATmega328P) digunakan sebagai komponen pendukung dalam sistem solar tracking. Penelitian ini tidak membahas perancangan algoritma pemrograman maupun sistem kendali mikrokontroler..
7. Baterai 12 V dan SCC PWM digunakan sebagai komponen pendukung penyimpanan energi dan sumber daya sistem. Penelitian ini tidak membahas sistem penyimpanan energi, karakteristik baterai, maupun kinerja SCC.
8. Beban uji berupa lampu LED DC 12V (1,5 W) digunakan sebagai simulasi beban untuk menguji keluaran daya dari sistem.

9. Pengukuran tegangan dan arus keluaran dilakukan menggunakan instrumen *virtual* voltmeter dan ammeter serta sensor ina 219 dalam simulasi Proteus, serta dibandingkan dengan hasil pengukuran *real-time* menggunakan alat ukur fisik.
10. Analisis kinerja sistem difokuskan pada parameter listrik utama yaitu tegangan (V), arus (I), dan daya (P), tanpa membahas aspek termal, mekanis, *control*, atau efisiensi keseluruhan sistem secara mendalam.

1.6 Luaran Penelitian

Luaran yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Prototipe Sistem Solar *Tracking*:
Terbentuknya prototipe sistem solar tracking berbasis sensor LDR dengan aktuator linear *actuator* yang mampu menggerakkan panel surya secara otomatis mengikuti arah datangnya cahaya matahari pada satu sumbu (*single axis*).
2. Sistem Kendali Berbasis Mikrokontroler
Terciptanya sistem kendali berbasis mikrokontroler (Arduino Uno R3) yang mampu mengolah data dari sensor LDR dan menghasilkan sinyal kontrol untuk mengatur pergerakan *linear actuator* secara presisi.
3. Data Hasil Simulasi dan Pengujian *Real-Time*
Diperolehnya data hasil simulasi di Proteus dan data pengujian *real-time* berupa: Tegangan (V), Arus (I), Daya (P) dari panel surya pada kondisi *solar tracking* dan kondisi statis.
4. Analisis Perbandingan Kinerja
Dihasilkannya analisis perbandingan antara hasil simulasi Proteus dan hasil pengujian *real-time* sistem solar *tracking* berbasis sensor LDR.
5. Dokumentasi dan Laporan Ilmiah
Tersusunnya laporan tugas akhir yang memuat perancangan, simulasi, implementasi, serta analisis sistem secara sistematis dan ilmiah, dilengkapi dengan diagram blok, flowchart, dan skematik simulasi Proteus.

1.7 Sistematika Penulisan

1) Bab I Pendahuluan

Bab ini memuat latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, metode penelitian yang digunakan pada tahap awal, lokasi penelitian, serta sistematika penulisan proposal skripsi.

2) Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas landasan teori dan kajian pustaka yang berkaitan dengan sistem *photovoltaic*, pengaruh sudut kemiringan modul, prinsip kerja sistem pengaturan sudut (*solar tracking*), karakteristik sensor *Light Dependent Resistor* (LDR), serta konsep simulasi sistem menggunakan perangkat lunak Proteus. Selain itu, bab ini juga memuat perbandingan penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian.

3) Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan secara rinci tahapan penelitian, perancangan sistem pengaturan sudut modul *photovoltaic* berbasis sensor LDR, pemodelan sistem dalam simulasi Proteus, prosedur simulasi, variabel penelitian, serta metode pengumpulan dan analisis data.

4) Bab IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini menyajikan hasil simulasi dan pengujian *real-time* sistem solar tracking berbasis sensor LDR pada modul *photovoltaic*. Analisis dilakukan terhadap karakteristik keluaran modul *photovoltaic* yang meliputi tegangan, arus, dan daya pada berbagai kondisi pengujian. Selain itu, dilakukan perbandingan antara hasil simulasi dan hasil pengujian *real-time* untuk mengetahui tingkat kesesuaian model yang dikembangkan.

5) Bab V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Selain itu, disajikan pula saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya dan kemungkinan penerapan sistem pengaturan sudut modul *photovoltaic* di masa depan.