

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi di era globalisasi serta meningkatnya jumlah penduduk menyebabkan kebutuhan energi listrik terus bertambah dari waktu ke waktu. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, pemanfaatan sistem pembangkit *hybrid* menjadi salah satu solusi yang banyak dikembangkan karena mampu mengombinasikan lebih dari satu sumber energi terbarukan, seperti energi surya dan energi angin. Indonesia memiliki potensi sumber daya alam yang besar untuk pengembangan energi terbarukan, khususnya energi matahari dan angin. Pemanfaatan pembangkit *hybrid* dinilai lebih efektif karena kedua sumber energi tersebut dapat saling melengkapi dalam menghasilkan daya listrik. Selain itu, penggunaan energi terbarukan juga menjadi alternatif untuk mengurangi ketergantungan terhadap pembangkit listrik konvensional berbahan bakar fosil yang ketersediaannya semakin menipis dan bersifat tidak terbarukan (Abdillah dkk. 2023).

Meskipun demikian, pembangkit *hybrid* berbasis energi surya dan angin masih memiliki kelemahan karena sangat bergantung pada kondisi cuaca dan intensitas cahaya matahari. Energi yang dihasilkan tidak selalu stabil sehingga sulit memenuhi kebutuhan beban secara terus-menerus. Selain itu, perubahan pola konsumsi pengguna yang berubah-ubah juga memengaruhi kestabilan suplai daya. Untuk mengatasi kondisi tersebut, diperlukan teknik penggabungan dua sumber energi berbeda agar dapat saling mendukung dalam

menjaga kontinuitas energi. Sistem energi *hybrid* dengan kontrol yang tepat memiliki potensi besar dalam memberikan keseimbangan daya (Soedibyo dkk. 2020).

Dalam sistem *hybrid*, baterai menjadi komponen penting karena berfungsi sebagai penyimpanan energi ketika terjadi surplus daya dan sebagai penyuplai energi saat produksi menurun. Namun, kinerja baterai dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti umur siklus, penurunan kapasitas, suhu, dan profil pengisian. Kondisi tersebut menyebabkan keandalan sistem *hybrid* sangat bergantung pada pengelolaan penggunaan energi dan kondisi penyimpanan daya. Jika penggunaan baterai tidak dikendalikan dengan baik, maka umur baterai dapat menurun lebih cepat dan memengaruhi efisiensi sistem secara keseluruhan (Soedibyo dkk. 2020)

Oleh karena itu, diperlukan penerapan sistem manajemen beban adaptif untuk menjaga kestabilan penggunaan energi pada sistem *hybrid*. Seperti dijelaskan oleh (Mangate dkk. 2024), Sistem Manajemen Energi (SEM) modern mampu mengatur aliran energi secara dinamis, menyesuaikan diri terhadap perubahan kondisi daya, serta menjaga keseimbangan yang stabil antara pasokan dan kebutuhan energi. Penelitian sebelumnya seperti *Real-time Energy Management and Load Scheduling with Renewable Energy Integration in Smart Grid* (Wang dan Nishter 2024) menunjukkan bahwa sistem manajemen energi *Real-time* dapat mengatur penjadwalan beban sekaligus mengintegrasikan sumber energi terbarukan untuk menjaga keseimbangan suplai beban. Penelitian lain berjudul *A Sustainable Approach for Demand Side*

Management Considering Demand Response and Renewable Energy in Smart Grids (Ahmad dkk. 2023), juga menjelaskan bahwa manajemen beban adaptif mampu meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi energi melalui penyesuaian konsumsi berdasarkan kondisi pasokan.

Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada optimasi penjadwalan beban dalam skala sistem yang besar dan belum membahas secara mendalam hubungan antara manajemen beban adaptif dengan kondisi penyimpanan energi serta karakteristik konsumsi lokal pengguna. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini mengembangkan sistem manajemen beban adaptif pada pembangkit *hybrid* skala kecil dengan mengintegrasikan sumber energi terbarukan dan penyimpanan energi. Sistem yang dikembangkan mampu menyesuaikan beban secara dinamis berdasarkan kondisi *Real-time* seperti status baterai (*SoC*), pola konsumsi pengguna, dan fluktuasi daya dari sumber energi *hybrid*. Dengan pendekatan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi sekaligus memperpanjang umur baterai pada sistem *hybrid* skala kecil.

B. Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem manajemen beban adaptif pada penelitian ini digunakan untuk mengatur penggunaan beban berdasarkan kondisi daya pada sistem *hybrid* secara *Real-time*.

2. Penelitian ini dibatasi pada analisis efisiensi energi dan pengaruh penggunaan sistem terhadap umur baterai.
3. Sistem *hybrid* yang digunakan hanya memanfaatkan sumber energi angin dan surya sebagai sumber pembangkit listrik.

C. Rumusan Masalah

Dari batasan masalah di atas maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana rancang bangun sistem manajemen beban adaptif untuk meningkatkan efisiensi energi dan umur baterai pada sistem *hybrid* angin dan surya?
2. Bagaimana tingkat kelayakan dan kinerja alat sistem manajemen beban adaptif yang dirancang dalam meningkatkan efisiensi energi dan umur baterai pada sistem *hybrid* angin dan surya?
3. Bagaimana tingkat efisiensi energi dan umur baterai pada sistem *hybrid* angin dan surya?

D. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dibuat, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui bagaimana rancang bangun sistem manajemen beban adaptif untuk meningkatkan efisiensi energi dan umur baterai pada sistem *hybrid* angin dan surya.

2. Untuk mengetahui bagaimana tingkat kelayakan dan kinerja alat sistem manajemen beban adaptif yang dirancang dalam meningkatkan efisiensi energi dan umur baterai pada sistem *hybrid* angin dan surya?
3. Untuk mengetahui bagaimana tingkat efisiensi energi dan umur baterai pada sistem *hybrid* angin dan surya?

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara teoritis, praktis dan akademis bagi pengembangan sistem energi *hybrid* dan penelitian selanjutnya.

1. Manfaat teoritis :

Secara teoritis, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan konsep manajemen beban adaptif pada sistem *hybrid* angin–surya melalui pengaturan beban berdasarkan kondisi baterai, prioritas, dan ketersediaan energi. Hasil penelitian juga menambah pemahaman tentang peran algoritma kontrol dalam meningkatkan efisiensi dan kestabilan sistem, sekaligus memperkaya literatur mengenai integrasi energi terbarukan sebagai dasar pengembangan *smart microgrid* di masa mendatang.

2. Manfaat Praktis :

Secara praktis, penelitian ini bermanfaat dalam meningkatkan efisiensi energi pada sistem *hybrid* dengan mengoptimalkan pemanfaatan sumber angin dan surya sehingga energi tidak banyak terbuang. Selain itu, sistem manajemen beban adaptif yang diterapkan mampu memperpanjang umur baterai dengan mengurangi terjadinya siklus arus puncak dan

mencegah kondisi operasi yang dapat mempercepat degradasi. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan menjadi lebih hemat energi, lebih stabil, dan lebih tahan lama dalam penggunaan jangka panjang.

3. Manfaat akademis:

Secara akademis, Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber referensi dan bahan pembelajaran bagi mahasiswa, peneliti, maupun akademisi dalam pengembangan teknologi energi terbarukan, khususnya pada bidang sistem *hybrid* angin dan surya serta penerapan sistem manajemen beban adaptif. Selain itu, penelitian ini juga dapat dijadikan dasar untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan efisiensi energi, pengelolaan beban listrik, dan peningkatan umur baterai pada sistem pembangkit *hybrid* skala kecil.

F. Spesifikasi Produk

Produk yang dikembangkan pada penelitian ini adalah Sistem Manajemen Beban Adaptif (*Adaptive Load Management System/ALMS*), yaitu sebuah sistem yang berfungsi mengatur distribusi dan penggunaan energi pada pembangkit *hybrid* angin dan surya secara otomatis. Pengaturan ini dilakukan berdasarkan kondisi ketersediaan energi dan status penyimpanan baterai. Tujuan utama sistem ini adalah meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi terbarukan sekaligus menjaga umur pakai baterai dengan mencegah terjadinya beban berlebih maupun pengosongan berlebihan. Melalui mekanisme adaptif, sistem dapat menyesuaikan pembebanan secara

Real-time sesuai perubahan lingkungan, seperti variasi kecepatan angin dan intensitas radiasi matahari.

1. Unit kontrol Manajemen Beban Adaptif

Berperan sebagai pusat kendali sistem yang bertugas mengolah data dari sensor, menilai kondisi ketersediaan energi, serta menentukan beban yang perlu diaktifkan maupun dimatikan.

a. Mikrokontroler ESP 32

Berfungsi sebagai pusat pengendali utama dalam sistem. Perangkat ini memproses data yang diterima dari berbagai sensor, termasuk pengukuran tegangan, arus, dan perkiraan *State of Charge (SoC)* baterai. Mikrokontroler juga menjalankan algoritma manajemen beban adaptif untuk menentukan prioritas penggunaan energi secara otomatis. Selain itu, unit ini dapat mengirimkan informasi operasional ke *dashboard* monitoring melalui konektivitas nirkabel. Komponen ini dipilih karena memiliki kemampuan pemrosesan yang memadai serta dukungan fitur komunikasi *WiFi* atau *bluetooth* yang memudahkan proses pemantauan sistem secara *Real-time*.

b. Blynk

Pada penelitian ini digunakan sebagai platform monitoring dan kontrol sistem *hybrid* angin dan surya berbasis *Internet of Things (IoT)*. *Blynk* berfungsi untuk menampilkan data monitoring secara *real-time* seperti tegangan, arus, daya, status baterai (SoC),

serta kondisi beban yang dikirim dari ESP32 melalui koneksi *WiFi*. Selain itu, *Blynk* juga memungkinkan pengguna melakukan pengendalian sistem dari jarak jauh melalui *smartphone*. Platform ini mendukung komunikasi antara ESP32 dan aplikasi *mobile* menggunakan koneksi internet sehingga proses monitoring menjadi lebih mudah, cepat, dan efisien. Pada penelitian ini, *Blynk* digunakan untuk membantu proses pengawasan sistem manajemen beban adaptif agar kondisi energi dan baterai dapat dipantau secara langsung melalui perangkat *mobile*.

c. *Relay*

Pada penelitian ini digunakan modul *Relay* sebagai komponen utama dalam proses pengendalian beban listrik pada sistem manajemen beban adaptif. *Relay* dipilih karena memiliki kemampuan untuk memutus dan menyambung rangkaian arus AC secara aman menggunakan sinyal kendali ber tegangan rendah dari mikrokontroler. Modul *Relay* yang digunakan memiliki spesifikasi umum berupa tegangan kendali 5–12 volt DC, dengan kapasitas kontak antara 10 hingga 30 ampere pada tegangan kerja 220 volt AC. Kemampuan *switching* yang stabil dan responsif memungkinkan *Relay* menjalankan algoritma manajemen beban secara adaptif, seperti mengatur prioritas beban ketika terjadi fluktuasi daya dari turbin angin dan panel surya. Dengan spesifikasi tersebut, modul *Relay* berperan penting dalam memastikan sistem bekerja secara

efisien, aman, dan mampu mendistribusikan energi sesuai kebutuhan beban serta kondisi kapasitas baterai.

d. *Power supply*

Power supply yang digunakan pada penelitian ini berfungsi sebagai sumber daya utama untuk menyuplai tegangan ke seluruh komponen sistem, seperti ESP32, *Relay*, sensor ACS 712, sensor tegangan, OLED, dan komponen pendukung lainnya agar dapat bekerja secara stabil. Jenis *Power supply* yang digunakan yaitu *switching Power supply*/adaptor DC dengan tegangan input sebesar 220 VAC dan tegangan *output* 12 VDC dengan arus keluaran sekitar 5 Ampere serta frekuensi 50/60 Hz.

e. *Step down*

Komponen *step down* pada penelitian ini digunakan untuk menurunkan tegangan dari sumber 12 VDC menjadi 5 VDC agar dapat digunakan secara aman oleh komponen seperti ESP32, *Relay*, sensor, dan OLED. Modul *step down* yang digunakan merupakan jenis DC-DC *buck converter* dengan tegangan input 12 VDC dan tegangan *output* stabil sebesar 5 VDC. Komponen ini memiliki kemampuan arus keluaran sekitar 5 Ampere sehingga mampu menyuplai kebutuhan daya beberapa komponen secara bersamaan.

f. Sensor ACS 712

Komponen sensor ACS712 pada penelitian ini digunakan untuk mendeteksi dan mengukur besar arus listrik pada sistem

hybrid angin dan surya secara *Real-time*. Sensor ACS712 bekerja dengan prinsip efek *Hall* sehingga mampu membaca arus AC maupun DC tanpa kontak langsung dengan penghantar utama. Sensor yang digunakan memiliki tegangan kerja sebesar 5 VDC dengan sensitivitas yang disesuaikan pada tipe modul 30A. Pada penelitian ini, sensor ACS712 digunakan untuk memantau arus yang mengalir dari sumber energi, baterai, maupun beban sehingga data penggunaan daya dapat diproses oleh ESP32 dalam sistem manajemen beban adaptif.

g. Sensor Tegangan

Komponen sensor tegangan pada penelitian ini digunakan untuk mengukur nilai tegangan pada baterai dan sumber daya sistem *hybrid* angin dan surya secara *Real-time*. Sensor tegangan yang digunakan merupakan modul *voltage* sensor berbasis *voltage divider* yang mampu membaca tegangan DC dengan rentang pengukuran hingga 25 VDC. Sensor ini bekerja dengan menurunkan tegangan input menjadi tegangan yang aman untuk dibaca oleh pin analog ESP32. Tegangan kerja sensor sebesar 3,3–5 VDC dengan keluaran berupa sinyal analog yang akan diproses oleh mikrokontroler untuk monitoring kondisi baterai dan sistem. Pada penelitian ini, sensor tegangan digunakan untuk mengetahui kondisi tegangan baterai, membantu perhitungan status pengisian baterai (*SoC*), serta

mendukung sistem manajemen beban adaptif dalam mengatur penggunaan energi secara lebih efisien dan aman.

h. LCD TFT

Komponen LCD TFT 2,8 inci digunakan sebagai perangkat tampilan utama pada sistem monitoring energi *hybrid*. Modul ini memiliki resolusi 240 x 320 piksel dan mampu menampilkan 65.536 warna, sehingga informasi parameter sistem dapat disajikan dengan jelas dan mudah dibaca. LCD TFT beroperasi pada tegangan 3,3–5 V dan berkomunikasi dengan mikrokontroler ESP32 melalui antarmuka SPI. Selain itu, modul ini dilengkapi fitur layar sentuh resistif yang memungkinkan interaksi langsung dengan pengguna dalam pengoperasian sistem monitoring.

i. Inverter

Komponen inverter DC-AC pada penelitian ini digunakan untuk mengubah tegangan DC dari baterai menjadi tegangan AC agar dapat digunakan untuk menyuplai beban listrik AC pada sistem *hybrid* angin dan surya. Inverter yang digunakan memiliki tegangan input sebesar 12 VDC dan tegangan *output* 220 VAC dengan frekuensi 50 Hz. Daya inverter disesuaikan dengan kebutuhan beban pada penelitian, yaitu sekitar 100–300 Watt. Inverter ini berfungsi untuk mendukung pengoperasian beban AC serta membantu proses pengujian sistem manajemen beban adaptif pada kondisi penggunaan energi secara nyata.

2. Sistem Penyimpanan Energi

a. Baterai

Komponen baterai pada penelitian ini digunakan sebagai media penyimpanan energi listrik yang dihasilkan dari sistem *hybrid* angin dan surya sebelum disalurkan ke beban. Baterai yang digunakan merupakan baterai aki 12 V dengan kapasitas 220 Wh yang berfungsi untuk menyimpan surplus energi dan menyuplai daya ketika produksi energi dari panel surya atau turbin angin menurun. Baterai ini dipilih karena memiliki kemampuan penyimpanan energi yang cukup stabil untuk mendukung sistem monitoring, pengendalian beban, serta pengujian efisiensi energi dan umur baterai pada penelitian

3. Sumber Energi *Hybrid*

a. Panel Surya (*Solar Panel*)

Berperan sebagai sumber energi utama selama periode siang hari. Besarnya energi listrik yang dapat dihasilkan sangat dipengaruhi oleh tingkat iradiasi matahari. Pada rancangan *Prototype* ini, panel yang digunakan memiliki kapasitas antara 50 hingga 200 Wp. Panel surya bekerja dengan mengubah cahaya matahari menjadi listrik yang kemudian dimanfaatkan untuk mengisi baterai serta memberikan suplai daya ke beban. Komponen ini dipilih karena mampu menghasilkan energi secara stabil pada siang hari dan mudah diterapkan pada sistem dengan kapasitas kecil.

b. Turbin Angin (*Wind Turbine*)

Berfungsi sebagai sumber energi tambahan yang dapat bekerja baik pada siang maupun malam hari selama tersedia hembusan angin. Komponen ini menghasilkan energi listrik melalui konversi energi kinetik angin. Kehadiran turbin angin sangat membantu untuk menjaga kestabilan pasokan daya, terutama saat kondisi mendung atau ketika panel surya tidak mampu menghasilkan energi secara optimal. Keunggulan utama turbin angin adalah kemampuannya beroperasi hingga 24 jam, selama ada angin yang memadai, sehingga dapat meningkatkan kontinuitas suplai energi dalam sistem *hybrid*.

c. *Charge Controller Hybrid*

Merupakan perangkat yang berfungsi mengatur proses pengisian baterai yang berasal dari dua sumber energi, yaitu panel surya dan turbin angin. Alat ini mengendalikan arus yang masuk ke baterai agar proses pengisian berlangsung aman dan sesuai kapasitas. Selain itu, *charge controller hybrid* melindungi baterai dari risiko *overcharge* serta membantu menjaga kestabilan tegangan pada sistem DC. Komponen ini dipilih karena mampu memberikan efisiensi konversi daya yang lebih konsisten serta menawarkan proteksi baterai yang lebih optimal dibandingkan pengontrol manual.

d. MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)

Komponen MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) pada penelitian ini digunakan untuk mengoptimalkan daya keluaran dari panel surya sehingga proses pengisian baterai pada sistem *hybrid* angin dan surya menjadi lebih efisien. MPPT bekerja dengan mencari titik daya maksimum panel surya secara otomatis berdasarkan kondisi intensitas cahaya matahari dan tegangan keluaran panel. Komponen yang digunakan memiliki tegangan input dari panel surya sekitar 12–24 VDC dengan tegangan output yang disesuaikan untuk pengisian baterai 12 V. MPPT juga berfungsi mengatur arus dan tegangan pengisian agar tetap stabil serta melindungi baterai dari overcharging dan overdischarging. Pada penelitian ini, MPPT digunakan untuk meningkatkan efisiensi penyerapan energi surya, menjaga kestabilan sistem *hybrid*, serta membantu memperpanjang umur baterai melalui proses pengisian yang lebih optimal dan terkontrol.

G. Pentingnya Pengembangan

Pengembangan penelitian ini penting dilakukan karena penelitian sebelumnya mengenai sistem manajemen beban adaptif pada sistem *hybrid* umumnya masih berfokus pada pengaturan penjadwalan beban dan efisiensi energi dalam skala besar, sedangkan penerapan pada sistem *hybrid* skala kecil yang terintegrasi dengan kondisi baterai secara *Real-time* masih belum banyak dikembangkan. Selain itu, penelitian sebelumnya juga belum banyak

membahas hubungan antara pengelolaan beban adaptif dengan upaya menjaga umur baterai pada sistem *hybrid* angin dan surya. Oleh karena itu, penelitian ini dikembangkan untuk memberikan pendekatan yang lebih spesifik dalam mengatur penggunaan beban berdasarkan kondisi daya dan status baterai agar sistem dapat bekerja lebih efisien dan stabil.

Pengembangan penelitian ini juga penting sebagai dasar untuk penelitian selanjutnya dalam bidang energi terbarukan dan sistem kontrol cerdas. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem manajemen energi yang lebih modern, otomatis, dan efisien, baik pada skala rumah tangga maupun skala yang lebih besar. Selain itu, penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan dengan penambahan teknologi *Internet of Things (IoT)*, monitoring jarak jauh, maupun algoritma kecerdasan buatan untuk meningkatkan performa pengelolaan energi dan memperpanjang umur baterai pada sistem *hybrid*.