

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan dasar manusia yang mendukung aktivitas sehari-hari hingga industri. Selama lebih dari satu abad, bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam menjadi sumber utama energi, mendorong pertumbuhan industri dan ekonomi [1][2]. Namun, meningkatnya permintaan energi akibat pertumbuhan populasi dan industri memperkuat ketergantungan pada fosil, yang menyebabkan kenaikan harga, ketidakstabilan pasokan, serta emisi gas rumah kaca [3]. Penggunaan bahan bakar fosil dalam skala besar juga berkontribusi pada perubahan iklim global, ditandai dengan peningkatan suhu, cuaca ekstrem, dan degradasi lingkungan [4].

Kesadaran global terhadap dampak emisi karbon mendorong berbagai negara menetapkan target *Net Zero Emission* (NZE), dengan target global pada 2050 dan Indonesia pada 2060 [5][6]. Transisi energi difokuskan pada pengurangan bahan bakar fosil serta percepatan integrasi energi terbarukan dalam sistem kelistrikan. Pemerintah Indonesia mengakselerasi peralihan dari pembangkit tidak ramah lingkungan ke energi bersih dengan mempercepat pembangunan Pembangkit Energi Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) [7]. Sistem tenaga listrik berbasis energi terbarukan menjadi solusi utama untuk keberlanjutan energi dan ketahanan pasokan di masa depan [8].

Sistem tenaga listrik saat ini masih bergantung pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbasis batu bara yang memiliki kapasitas besar dan mampu menyediakan daya secara kontinu, namun emisi karbon yang tinggi menjadi tantangan dalam mencapai NZE [9]. Untuk mengurangi ketergantungan pada PLTU, transisi ke sumber energi yang lebih ramah lingkungan diperlukan, dengan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) sebagai solusi utama karena keduanya memiliki kapasitas besar dan stabil [10][11]. Selain berperan sebagai tulang punggung sistem kelistrikan berbasis energi terbarukan, PLTA dan PLTP juga dapat menstabilkan sistem dengan menyeimbangkan fluktuasi daya dari sumber intermiten seperti tenaga surya dan angin [12][13].

Mengandalkan PLTA dan PLTP sebagai penyuplai utama dalam sistem tenaga listrik dapat menyebabkan peningkatan rugi-rugi daya, terutama pada jaringan transmisi dan distribusi, mengingat lokasi pembangkit ini umumnya berada jauh dari pusat beban [14]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dan meningkatkan efisiensi sistem, diperlukan integrasi pembangkit energi terbarukan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) [15]. Meskipun PLTS dan PLTB memiliki potensi untuk mengurangi rugi-rugi daya karena fleksibilitas lokasi instalasinya, keuntungan tersebut lebih

terasa pada sistem terdesentralisasi atau skala kecil yang dekat dengan beban. Pada pembangkit skala besar, apabila dibangun di lokasi yang jauh dari pusat konsumsi seperti wilayah dataran tinggi, rugi-rugi transmisi tetap menjadi permasalahan yang signifikan, serupa dengan yang terjadi pada pembangkit konvensional. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan pendekatan strategis dalam pengembangan PLTS dan PLTB skala besar yang memungkinkan untuk dibangun lebih dekat dengan pusat beban, sehingga efisiensi sistem dapat tetap terjaga.

Sifat intermiten dari energi surya dan angin, yang sangat dipengaruhi oleh variabilitas parameter cuaca seperti iradiasi matahari dan kecepatan angin, menimbulkan tantangan dalam menjaga kestabilan pasokan energi secara berkelanjutan [16][17]. Dengan prediksi yang andal, sistem tenaga dapat dijadwalkan secara optimal untuk memaksimalkan kontribusi dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) sebagai sumber utama, sementara pembangkit konvensional seperti PLTA dan PLTP difungsikan sebagai *load follower*, yakni pembangkit yang menyesuaikan output dayanya berdasarkan selisih antara kebutuhan beban dan daya yang tersedia dari energi terbarukan [18][19]. Karakteristik seperti *ramping rate* pada PLTA, yang membatasi kecepatan perubahan output daya, membuat penjadwalan menjadi penting agar pembangkit penyeimbang dapat lebih siap merespons variabilitas energi terbarukan. Dengan demikian, efisiensi sistem meningkat dan rugi-rugi daya akibat ketidakseimbangan pasokan dan permintaan dapat diminimalkan, sedangkan analisis aliran daya menjadi langkah penting dalam melihat kondisi sistem secara keseluruhan [20].

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mendukung integrasi pembangkit energi terbarukan, seperti studi tentang prediksi produksi daya PLTS serta estimasi daya listrik yang dihasilkan dari PLTB berdasarkan kecepatan angin [21][22]. Penelitian tersebut berperan penting dalam meningkatkan akurasi perencanaan sistem tenaga listrik berbasis energi terbarukan. Namun, kajian mengenai bagaimana hasil prediksi ini diintegrasikan dalam penjadwalan pembangkit penyeimbang dan evaluasinya dalam sistem tenaga listrik masih terbatas.

Melalui penelitian ini, dirancang sebuah model penjadwalan pembangkit listrik penyeimbang dengan memanfaatkan data cuaca *real-time* sebagai dasar prediksi daya dari pembangkit tenaga surya dan angin yang bersifat intermiten. Prediksi ini menjadi elemen krusial dalam menentukan jadwal operasi PLTA dan PLTP sebagai pembangkit penyeimbang, guna mengatasi fluktuasi pasokan energi dan menjaga keseimbangan sistem. Simulasi aliran daya selama periode 24 jam dilakukan untuk mengevaluasi dampak integrasi PLTS dan PLTB terhadap sistem tenaga listrik, terutama dalam aspek tegangan dan rugi-rugi daya. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan teknis dalam perencanaan sistem tenaga listrik berbasis energi terbarukan yang efisien, responsif terhadap dinamika cuaca, serta mendukung transisi menuju sistem kelistrikan yang lebih berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dapat dirumuskan permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini.

1. Bagaimana memperoleh prediksi daya keluaran pembangkit tenaga surya dan angin berdasarkan pembacaan parameter cuaca?
2. Bagaimana strategi penjadwalan operasi pembangkit penyeimbang untuk meningkatkan efisiensi operasi sistem yang terintegrasi pembangkit tenaga surya dan angin?
3. Bagaimana nilai tegangan dan rugi-rugi daya dalam sistem tenaga listrik yang terintegrasi pembangkit tenaga surya dan angin?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan prediksi daya keluaran dari pembangkit tenaga surya dan angin berdasarkan pembacaan parameter cuaca pada jam tertentu.
2. Mendapatkan strategi penjadwalan operasi pembangkit penyeimbang yang terintegrasi pembangkit tenaga surya dan angin pada jam tertentu.
3. Mengevaluasi nilai tegangan dan rugi-rugi daya dalam sistem tenaga listrik yang terintegrasi pembangkit tenaga surya dan angin pada jam tertentu.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh prediksi daya keluaran dari pembangkit tenaga surya dan angin berdasarkan pembacaan parameter cuaca pada jam tertentu.
2. Meningkatkan efisiensi operasi sistem tenaga listrik melalui strategi penjadwalan pembangkit penyeimbang berdasarkan hasil prediksi daya pembangkit tenaga surya dan angin.
3. Memperoleh evaluasi nilai tegangan dan rugi-rugi daya dalam sistem tenaga listrik yang terintegrasi pembangkit tenaga surya dan angin.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan batasan masalah sebagai berikut:

1. Pembangkit intermiten yang digunakan dalam sistem adalah PLTS dan PLTB.
2. Prediksi daya keluaran PLTS dan PLTB hanya berdasarkan parameter iradiasi matahari dan kecepatan angin.
3. Metode prediksi yang digunakan adalah *AutoRegressive Integrated Moving Average* (ARIMA) dengan data historis 72 jam sebelumnya (3 hari per jam) untuk menghasilkan prediksi daya keluaran 24 jam ke depan secara per jam.
4. Pembangkit Penyeimbang dalam hal ini adalah PLTA, sedangkan PLTP digunakan sebagai *based-load* dengan operasi 40% dari kapasitasnya.

5. Kurva beban yang digunakan merupakan kurva beban umum sebagai sampel untuk menganalisis distribusi daya pembangkit terhadap kebutuhan beban setiap jamnya.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas teori dan konsep yang mendukung penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini terdiri dari tahapan penelitian dan langkah-langkah yang dilakukan dalam memperoleh prediksi daya pembangkit intermiten, penjadwalan pembangkit, serta analisis aliran daya.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil penelitian yang diperoleh, termasuk hasil prediksi daya, penjadwalan pembangkit, serta evaluasi tegangan dan rugi-rugi daya berdasarkan simulasi aliran daya.

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dan saran berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan.

