

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan populasi, kebutuhan energi listrik di Indonesia, khususnya pada sistem interkoneksi Jawa-Bali 500 kV, terus mengalami peningkatan. Pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan (EBT) seperti PLTS diperlukan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, serta mendukung program *Net Zero Emission*. Salah satu integrasi PLTS skala besar adalah PLTS Cirata.[1]

Perkembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Indonesia menunjukkan kemajuan signifikan dalam beberapa tahun terakhir, didorong oleh komitmen pemerintah dalam transisi energi dan potensi energi surya yang melimpah. Berdasarkan data Kementerian ESDM, kapasitas terpasang PLTS hingga tahun 2023 mencapai sekitar 473 MW. PLTS Cirata merupakan salah satu PLTS terapung terbesar di Asia Tenggara dengan kapasitas 145 MW, memiliki potensi signifikan untuk berkontribusi dalam penyediaan energi bersih pada sistem Jawa-Bali [2]. Pemerintah menargetkan peningkatan kapasitas energi surya hingga 4,7 GW pada tahun 2030 [3]. Dengan adanya penambahan PLTS diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil serta mendukung target *Net Zero Emission*.

Meskipun memiliki potensi besar, integrasi PLTS ke dalam sistem tenaga listrik membawa tantangan tersendiri. PLTS memiliki sifat *intermittency*, di mana produksi energi listrik dapat berfluktuasi tergantung pada kondisi cuaca yang dapat memicu osilasi pada frekuensi sistem dan tegangan bus. Selain itu, meningkatnya penetrasi PLTS skala besar menyebabkan penurunan momen inersia sistem, karena PLTS tidak memiliki elemen berputar seperti generator sinkron. Penurunan inersia ini dapat menyebabkan penurunan damping ratio, yaitu parameter yang menunjukkan kemampuan sistem dalam meredam osilasi setelah terjadi gangguan.[4],[5] Osilasi pada suatu saluran transmisi tidak dapat dihilangkan, namun dapat diredam oleh damping ratio [6].

Dalam sistem tenaga Listrik dikenal istilah *Small Signal Stability*. *Small Signal Stability* merupakan kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan kondisi operasi stabil ketika mengalami gangguan kecil [7]. Gangguan kecil dapat berupa perubahan beban secara gradual, variasi irradiance pada PLTS, perubahan kecil pada aliran daya, atau deviasi sudut rotor antar generator. Suatu sistem dikatakan stabil apabila setelah mengalami gangguan kecil, variabel-variabel seperti frekuensi, tegangan, dan sudut rotor bergerak kembali menuju titik kesetimbangan. Titik tersebut dapat berupa keadaan semula (*original operating point*) atau kestabilan tercapai pada titik kesetimbangan baru selama sistem tetap teredam dan tidak mengalami divergensi.

Analisis kestabilan ini dapat dilakukan dengan melihat posisi *eigenvalue* dari sistem pada bidang kompleks. Suatu *eigenvalue* dikatakan stabil apabila memiliki *real part* negatif, yang menunjukkan bahwa respon sistem bersifat teredam terhadap gangguan kecil. Sebaliknya, *eigenvalue* dengan *real part* positif atau mendekati nol menandakan redaman yang buruk dan potensi ketidakstabilan. Oleh karena itu, pergerakan *eigenvalue* akibat penambahan kapasitas PLTS menjadi indikator penting untuk menilai bagaimana integrasi PLTS memengaruhi dinamika dan kestabilan sistem tenaga.[8],[9]

Analisis *Small Signal Stability* diperlukan karena jenis gangguan yang dihadapi oleh sistem dalam operasi sehari – hari didominasi oleh gangguan kecil dan bersifat kontinu. Gangguan – gangguan tersebut dapat memicu osilasi dinamis dalam jangka panjang. Sistem bisa saja lolos dari gangguan besar tanpa kehilangan sinkronisasi, namun memiliki redaman yang kecil terhadap osilasi. Kondisi tersebut dapat menurunkan kualitas daya ketika osilasi tidak teredam dengan baik.

Untuk melakukan analisis *Small Signal Stability* pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak DIgSILENT PowerFactory 15.1, karena perangkat ini menyediakan simulasi Modal Analysis yang mampu melakukan perhitungan *eigenvalue*, mode osilasi, damping ratio, serta participation factor dengan tingkat presisi tinggi untuk sistem tenaga listrik skala besar. DIgSILENT juga banyak digunakan oleh lembaga ketenagalistrikan di seluruh dunia karena keandalannya dalam memodelkan komponen pembangkitan konvensional maupun energi terbarukan, termasuk PLTS yang menggunakan inverter. Dengan demikian, DIgSILENT menjadi alat yang tepat untuk

mengevaluasi dampak penambahan PLTS Cirata secara bertahap terhadap *Small Signal Stability* dan karakteristik modal sistem tenaga listrik.[10],[11].

1.2 Rumusan Masalah

Integrasi PLTS dengan kapasitas besar berpotensi memengaruhi dinamika sistem, khususnya pada aspek redaman osilasi daya dan sinkronisasi antar pembangkit dalam sistem interkoneksi. Oleh karena itu, perlu dirumuskan permasalahan yang akan dikaji guna mengetahui sejauh mana pengaruh PLTS Cirata terhadap karakteristik stabilitas dinamis sistem Jawa-Bali :

1. Bagaimana dampak integrasi PLTS Cirata terhadap *Small Signal Stability* pada sistem Jawa-Bali
2. Bagaimana pergerakan *eigenvalue* terhadap integrasi PLTS Cirata secara bertahap

1.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan

Dengan adanya integrasi PLTS yang memiliki sifat *intermittency*, diperlukan kajian untuk mengetahui sejauh mana dampaknya terhadap redaman osilasi daya. Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis pengaruh integrasi PLTS Cirata terhadap *Small Signal Stability* pada sistem kelistrikan Jawa–Bali 500 kV
2. Menganalisis pergerakan dari *eigenvalue* terhadap penambahan PLTS Cirata secara bertahap.

Manfaat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan gambaran teknis dan analitis mengenai dampak integrasi PLTS terhadap stabilitas dinamis sistem tenaga listrik interkoneksi Jawa–Bali.
2. Dengan adanya integrasi PLTS Cirata dapat membantu menuju program “Net Zero Emission 2060”

1.4 Batasan Masalah

Agar diskusi tetap dalam lingkup penelitian, maka ditetapkan batasan - batasan sebagai berikut.:

1. Penelitian berfokus pada respon *Small Signal Stability* terhadap integrasi PLTS Cirata
2. Penelitian dilakukan dengan simulasi menggunakan software *DIGSILENT PowerFactor*.

1.5 Sistematika Penulisan

Laporan skripsi ini disusun secara sistematis agar memudahkan pembaca dalam memahami isi dan pembahasannya. Penulisan laporan ini dibagi menjadi beberapa bab yang tersusun rapi dan disesuaikan dengan standar penulisan akademik, sehingga setiap bagian dapat dijelaskan secara runtut dan jelas.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan mengenai pengaruh integrasi PLTS Terterterterapung Cirata terhadap *Small Signal Stability* pada sistem transmisi 500 KV Jawa-Bali.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memberikan penjelasan mendalam mengenai konsep dasar dan teori yang menjadi landasan penelitian, seperti pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), stabilitas sistem tenaga, dan *Small Signal Stability*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas tentang *flowchart* sistem, desain sistem kelistrikan jawa-bali yang telah dibuat pada *software DIGSILENT PowerFactor*, serta data parameter yang digunakan untuk melakukan simulasi.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas dan menganalisis mengenai hasil simulasi *Small Signal Stability* yang dilakukan dengan beberapa case. *Case 1* kondisi ketika tidak ada integrasi PLTS, *case 2* kondisi ketika adanya integrasi PLTS.

BAB V PENUTUP

Bab ini memuat kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil analisis dan temuan dari penelitian yang telah dilakukan. Selain itu, bab ini juga menyajikan saran-saran yang diharapkan dapat menjadi masukan atau acuan untuk penelitian selanjutnya, serta memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan penerapan praktis di bidang terkait.

DAFTAR PUSTAKA

Daftar pustaka berisi kumpulan referensi yang digunakan sebagai dasar teori, acuan, dan pendukung dalam penyusunan penelitian ini.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)