

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peralihan global dari pembangkit listrik konvensional berbasis bahan bakar fosil menuju energi terbarukan kini menjadi agenda strategis dalam upaya menanggulangi perubahan iklim dan mewujudkan sistem energi yang berkelanjutan. Energi terbarukan dinilai lebih bersih, berkelanjutan, dan tidak bergantung pada sumber daya alam yang terbatas seperti batu bara dan minyak bumi. Dalam konteks ini, Indonesia sebagai negara berkembang yang kaya potensi energi hijau turut menetapkan komitmen transisi energi melalui Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), dengan target bauran energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025 [1]. Hal ini menandakan bahwa pengembangan pembangkit listrik ramah lingkungan bukan lagi pilihan, melainkan kebutuhan mutlak untuk mencapai ketahanan energi nasional yang bersih dan efisien.

Salah satu pendekatan yang mendukung akselerasi energi terbarukan adalah konsep *Distributed Generation* (DG), yaitu sistem pembangkitan terdistribusi yang menempatkan unit-unit pembangkit kecil hingga menengah (umumnya < 50 MW) lebih dekat ke pusat beban. Tidak seperti pembangkit sentralisasi yang memerlukan transmisi daya jarak jauh, DG mampu mengurangi rugi daya, meningkatkan kestabilan tegangan, serta menyuplai daya aktif dan reaktif secara langsung ke sistem distribusi [2]. Dengan demikian, DG berpotensi besar dalam mendukung pengembangan sistem kelistrikan modern yang lebih efisien dan terdesentralisasi.

Dari berbagai sumber DG yang tersedia, Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan salah satu yang paling menjanjikan di Indonesia. Selain bersifat ramah lingkungan, PLTA juga dikenal memiliki efisiensi tinggi dan mampu beroperasi sebagai sumber daya aktif maupun reaktif yang dapat diandalkan dalam menjaga stabilitas sistem tenaga listrik [3]. Dengan karakteristik tersebut, integrasi PLTA dalam sistem distribusi dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan performa jaringan, terutama dalam mengurangi tegangan jatuh (*voltage drop*) dan rugi daya (*power losses*).

PLTA Ampelgading, yang telah terhubung langsung dengan jaringan distribusi 20 kV *Feeder* Ampelgading milik PLN, menjadi salah satu contoh nyata penerapan konsep DG di jaringan tegangan menengah.

Namun, meskipun telah terintegrasi dengan sistem distribusi, hasil pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa tegangan pada beberapa titik ujung saluran masih berada di bawah batas standar SPLN (0,95–1,05 p.u.), yang menandakan bahwa injeksi daya dari PLTA saja belum cukup untuk menjaga kualitas tegangan. Hal ini diperburuk oleh panjang saluran distribusi yang mencapai ± 180 km, sehingga nilai impedansi total (resistansi dan reaktansi) cukup besar dan berkontribusi terhadap peningkatan rugi-rugi daya di jaringan [4].

Dalam upaya memperbaiki kondisi tersebut, salah satu strategi teknis yang banyak diterapkan adalah injeksi daya reaktif melalui pemasangan bank kapasitor di titik-titik strategis. Bank kapasitor dapat menurunkan arus reaktif di saluran, memperbaiki faktor daya, dan secara langsung meningkatkan profil tegangan serta mengurangi rugi daya saluran [5]. Kombinasi antara pembangkit terdistribusi dan kapasitor bank diyakini mampu menghasilkan efek sinergis dalam memperbaiki kualitas daya, khususnya di sistem distribusi tegangan menengah yang memiliki karakteristik jaringan panjang dan tersebar.

Untuk memverifikasi pengaruh kombinasi tersebut terhadap performa jaringan, dilakukan pemodelan dan simulasi sistem menggunakan perangkat lunak ETAP. Model jaringan yang dibangun mencakup elemen-elemen penting seperti saluran distribusi, transformator, beban, karakteristik pembangkit (PLTA), serta parameter bank kapasitor. Simulasi dilakukan berdasarkan standar teknik dari IEEE dan IEC guna memastikan keandalan hasil yang diperoleh. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak integrasi DG dan injeksi daya reaktif terhadap profil tegangan dan rugi daya pada Feeder 20 kV Ampelgading, serta memberikan gambaran teknis yang relevan dan terukur kepada pemangku kepentingan seperti PLN.

Diharapkan, hasil dari penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi terhadap peningkatan efisiensi sistem distribusi tenaga listrik di wilayah studi, namun juga menjadi masukan penting dalam pengambilan kebijakan operasional dan pengembangan infrastruktur energi terbarukan ke depan. Integrasi antara teknologi pembangkitan terdistribusi dan pengaturan daya reaktif menjadi salah satu kunci dalam mewujudkan sistem kelistrikan yang handal, adaptif, dan berkelanjutan di era transisi energi saat ini.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini dirancang untuk mengkaji secara komprehensif pengaruh injeksi bank kapasitor dan penambahan unit DG baru pada performa teknis *Feeder* 20kV Ampelgading, dengan fokus sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh lokasi dan kapasitas kapasitor bank serta penambahan unit DG baru terhadap profil tegangan dan rugi daya saluran pada *Feeder* 20 kV Ampelgading dengan PLTA Ampelgading sebagai kondisi *base case*?
2. Sejauh mana pengaruh masing-masing skenario, yaitu injeksi kapasitor bank, integrasi DG tambahan, dan kombinasi keduanya, terhadap perbaikan profil tegangan dan penurunan rugi daya saluran berdasarkan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai pengaruh penempatan dan penentuan kapasitas injeksi kapasitor bank serta penambahan unit DG baru pada performa distribusi listrik *Feeder* 20 kV Ampelgading. Tujuan ini difokuskan pada dua aspek utama, yaitu:

1. Menganalisis pengaruh lokasi dan kapasitas kapasitor bank serta penambahan unit DG baru terhadap perbaikan profil tegangan dan penurunan rugi daya saluran pada *Feeder* 20 kV Ampelgading dengan PLTA Ampelgading sebagai kondisi *base case*.
2. Mengevaluasi pengaruh masing-masing skenario, yaitu injeksi kapasitor bank, integrasi DG tambahan, dan kombinasi keduanya, terhadap perbaikan profil tegangan dan penurunan rugi daya saluran pada jaringan distribusi berdasarkan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP

1.4 Batasan Masalah

Untuk menjaga agar diskusi tetap sesuai dengan lingkup penelitian ini, penulis menetapkan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Penelitian hanya membahas dua aspek teknis utama pada *Feeder* 20 kV Ampelgading, yaitu peningkatan profil tegangan dan penurunan rugi daya saluran akibat:
 - Penempatan dan penentuan kapasitas injeksi bank kapasitor (*Optimal Capacitor Placement/OCP*).
 - Penambahan unit *Distributed Generation* (DG) baru, selain PLTA Ampelgading yang telah menjadi *base case*.
2. Data yang digunakan adalah data nyata Sistem Kelistrikan Distribusi JTM 20 kV dengan 129 bus pada *Feeder* Ampelgading, Malang.
3. Simulasi dan analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak ETAP; parameter teknis jaringan (resistansi kabel, panjang saluran, faktor daya) diasumsikan telah tervalidasi sesuai standar IEEE dan SPLN.
4. Aspek non-teknis seperti analisis biaya, dampak lingkungan, dan kebijakan regulasi tidak dibahas dalam penelitian ini.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan skripsi ini disusun secara sistematis untuk mempermudah pemahaman terhadap pembahasan yang dilakukan. Struktur penelitian ini disusun dalam beberapa bab sesuai dengan standar penulisan akademik, dengan susunan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang pentingnya penambahan unit *Distributed Generation* (DG) baru dan injeksi bank kapasitor dalam memperbaiki performa distribusi tegangan menengah 20 kV pada *Feeder* Ampelgading. Selain itu, dibahas permasalahan utama (profil tegangan rendah dan rugi daya tinggi), rumusan masalah, batasan masalah, dan tujuan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memaparkan teori dan konsep dasar yang mendukung penelitian, antara lain sistem tenaga listrik Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 kV, konsep DG, karakteristik PLTA dan bank kapasitor, serta teori profil tegangan dan rugi daya saluran. Selain itu, diuraikan standar operasional (IEEE, IEC, SPLN) yang menjadi acuan analisis.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan metode penelitian, mulai dari pengumpulan data teknis Feeder 20 kV Ampelgading (350 bus), penentuan skenario (injeksi bank kapasitor, penambahan unit DG baru, kombinasi keduanya), pemodelan sistem di ETAP, asumsi teknis jaringan (resistansi kabel, panjang saluran, faktor daya, kapasitas DG), hingga prosedur simulasi dan analisis untuk mengevaluasi profil tegangan dan rugi daya.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil simulasi untuk setiap skenario dan membandingkan performa melalui grafik dan tabel analisis. Diskusi fokus pada perubahan profil tegangan versus standar operasional dan perubahan rugi daya saluran, serta interpretasi implikasi teknis dari masing-masing skenario.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menyajikan kesimpulan penelitian yang menekankan perbandingan efektivitas berbagai skenario (injeksi bank kapasitor, penambahan unit DG baru, dan kombinasi keduanya) dalam meningkatkan profil tegangan dan mengurangi rugi daya saluran. Selain itu, bab ini memberikan saran teknis dan arahan penelitian selanjutnya terkait optimasi kapasitas, strategi pengaturan daya reaktif, serta penerapan kontrol adaptif.

