

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) merupakan tulang punggung dalam transmisi energi listrik, yang menghubungkan pusat pembangkit dengan sistem distribusi utama. Ketersediaan dan kinerja sistem proteksi pada GITET sepenuhnya bergantung pada ketersediaan catu daya arus searah (DC) yang disuplai oleh bank Baterai 110VDC. Fungsi vital baterai ini adalah untuk memastikan operasional peralatan kendali (*relay* proteksi dan *Circuit Breaker*) tetap terjaga, khususnya saat terjadi gangguan serius atau kegagalan daya AC (*blackout*), sehingga meminimalisir dampak kerugian sistem yang lebih besar (Afandi, Hidayat, & Bangsa, 2021).

Namun, keandalan sistem baterai sering menghadapi tantangan serius. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa penuaan baterai, beban yang berlebihan, dan pemeliharaan yang kurang optimal dapat menyebabkan degradasi kapasitas yang signifikan dari nilai nominalnya (Supari, 2024; Atmaja, 2023). Kapasitas baterai yang menurun drastis—bahkan hingga di bawah 60%—menghadirkan risiko tinggi terhadap integritas sistem proteksi GITET (Furkan, 2021). Faktor utama yang mempercepat degradasi dan mengurangi efisiensi baterai adalah ketidakseimbangan tegangan dan *State of Charge* (SOC) antar sel individu yang terhubung secara seri dalam bank baterai 110VDC. Fenomena ini muncul akibat variasi suhu, perbedaan impedansi internal, dan pengisian *float* yang berkepanjangan (Nurhadi & Liliana, 2022).

Para peneliti sepakat bahwa ketidakseimbangan sel ini menurunkan efisiensi, keandalan, dan umur pakai baterai secara keseluruhan (Qiang et al., 2023; Adejare et al., 2025). Ketika sel tidak seimbang, sel dengan SOC terendah akan menjadi titik lemah, membatasi kinerja seluruh bank baterai. Oleh karena itu, strategi penyeimbangan muatan (*charge balancing*) dan ekualisasi (*equalization*) diakui sebagai teknik penting untuk mempertahankan tingkat muatan optimal pada bank baterai.

Salah satu metode yang teruji untuk mengatasi ketidakseimbangan sel pada baterai timbal-asam di gardu induk adalah Metode *Equalizing Charge*. Metode ini melibatkan pengisian berlebih (*over-charging*) yang terkontrol dengan menaikkan tegangan pengisian di atas level *float* normal (NPP Power, 2023). Tujuannya adalah untuk mendepolarisasi pelat elektroda dan menghilangkan kristal sulfat yang terakumulasi, sehingga mengembalikan keseragaman tegangan dan densitas elektrolit antar sel. Meskipun metode *Equalizing* adalah prosedur standar, tantangan yang muncul adalah menentukan parameter optimal—seperti besaran tegangan dan durasi waktu— yang menghasilkan penyeimbangan sel maksimal tanpa menyebabkan *overheating* dan kerusakan sel akibat gas berlebih (NPP Power, 2023).

Penurunan performa sistem catu daya DC 110V pada Unit 2 sering kali dipicu oleh kombinasi faktor mekanis eksternal dan degradasi kimiawi internal yang saling berkaitan. Secara teknis, keberadaan terminal baterai yang kendor menciptakan resistansi kontak tinggi (R_{contact}) yang memicu jatuh tegangan (*voltage drop*) serta panas berlebih, sehingga mengakibatkan pembacaan tegangan pada *busbar* beban tidak akurat dan memicu alarm *undervoltage* prematur. Kondisi ini diperparah oleh faktor usia baterai Unit 2 (pengadaan tahun 2019) yang lebih tua dibandingkan Unit 1 (tahun 2022), di mana akumulasi sulfasi dan peningkatan resistansi internal (R_{internal}) telah menyebabkan ketidakseimbangan (*imbalance*) tegangan antar sel dalam rangkaian seri. Akibatnya, sel-sel yang melemah akibat usia operasional yang lebih lama menjadi beban bagi sel lainnya, sehingga diperlukan langkah evaluasi dan optimasi yang komprehensif untuk mengembalikan keandalan sistem *backup* daya dan memperpanjang masa pakai (*lifetime*) baterai tersebut.

Berangkat dari urgensi keandalan sistem proteksi dan temuan-temuan terbaru mengenai perlunya optimasi *Equalizing Charge* untuk mengatasi degradasi kapasitas akibat *cell imbalance*, penelitian ini berfokus pada Analisa Optimasi Operasi Battery 110VDC Dengan Metode Equalizing di GITET Jawa 9&10. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis dalam menentukan prosedur *Equalizing Charge* yang paling efektif untuk lokasi spesifik, sehingga menjamin kapasitas baterai selalu optimal dan meningkatkan keandalan operasional sistem tenaga listrik di GITET Jawa 9&10.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, didapatkan rumusan masalah untuk pembahasan pada penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana kondisi ketidakseimbangan tegangan sel (*cell imbalance*) pada baterai 110VDC di GITET Jawa 9&10 mempengaruhi keandalan sistem baterai secara keseluruhan?
2. Bagaimana prosedur dan parameter *Equalizing Charge* yang optimal dapat diterapkan untuk memulihkan keseragaman tegangan baterai 110VDC di GITET Jawa 9&10?
3. Seberapa signifikan peningkatan kinerja dan usia pakai sistem baterai 110VDC di GITET Jawa 9&10 setelah dilakukan Optimasi Operasi dengan metode *Equalizing Charge*?

1.3 Tujuan

Melihat rumusan masalah, penelitian bertujuan :

1. Menganalisis dan mengidentifikasi sejauh mana kondisi *cell imbalance* yang terjadi pada baterai 110VDC di GITET Jawa 9&10 mempengaruhi keseragaman tegangan baterai dan potensi risiko terhadap keandalan sistem proteksi.
2. Menentukan dan mengevaluasi prosedur dan parameter optimal dari Metode *Equalizing Charge* (termasuk durasi dan besaran tegangan) yang paling efektif untuk memulihkan keseragaman tegangan antar sel pada baterai 110VDC di GITET Jawa 9&10.
3. Mengukur dan menganalisis peningkatan kinerja, dan keseragaman tegangan sistem baterai 110VDC pasca implementasi *Equalizing Charge* optimal, sebagai dasar untuk merekomendasikan strategi operasi dan pemeliharaan yang mampu memperpanjang usia pakai dan menjamin keandalan tertinggi di GITET.

1.4 Manfaat

Dengan penelitian ini, manfaat yang diharapkan yaitu :

1. Dapat meningkatkan Keandalan Sistem Proteksi, memastikan pasokan daya darurat (110VDC) stabil saat terjadi gangguan atau *blackout*, sehingga sistem proteksi (relay dan *Circuit Breaker*) dapat bekerja tanpa gagal, menjamin keamanan GITET. Dapat memperpanjang usia pakai baterai dan menunda investasi penggantian bank baterai baru, serta menyediakan SOP *Equalizing* yang efisien untuk pemeliharaan rutin.
2. Keseragaman Tegangan Sel menjadi Optimal, mengeliminasi ketidakseimbangan tegangan sel (*cell imbalance*) secara efektif, yang merupakan penyebab utama degradasi, sehingga kapasitas *discharge* baterai maksimal saat dibutuhkan.

1.5 Ruang Lingkup Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diberikan, penulis membatasi perdebatan dengan membangun ruang lingkup isu :

1. Hanya berfokus pada Bank Baterai 110VDC jenis Timbal-Asam (Lead Acid) yang beroperasi di GITET Jawa 9&10.
2. Hanya membahas metode *Equalizing Charge* untuk mengatasi ketidakseimbangan tegangan sel (*cell imbalance*).