

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem tenaga listrik merupakan infrastruktur vital dalam kehidupan modern sehingga keberlangsungannya harus dijaga secara optimal. Apabila terjadi pemadaman listrik (*blackout*) akibat gangguan, aktivitas manusia akan terhenti dan dapat menimbulkan kerugian besar bagi suatu negara [1]. Oleh karena itu, kestabilan dan keandalan sistem tenaga listrik menjadi aspek yang sangat penting untuk dijaga.

Salah satu tantangan utama yang dihadapi oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) adalah mengelola beban secara efektif, terutama dalam situasi darurat yang berpotensi menyebabkan padam total (*blackout*) [2]. Gangguan yang umum terjadi meliputi tegangan berlebih, lonjakan maupun penurunan tegangan (*surge* dan *sag*), hubung singkat satu fasa, dua fasa, maupun fasa ke tanah, pemutusan jaringan, penurunan frekuensi, serta gangguan harmonisa [3].

Frekuensi merupakan indikator penting dalam menilai kondisi kestabilan sistem tenaga listrik. Penurunan frekuensi dapat terjadi akibat keluarnya salah satu pembangkit berkapasitas besar dari sistem maupun akibat gangguan hubung singkat [4]. Gangguan lepasnya pembangkit biasanya menyebabkan penurunan frekuensi dalam waktu singkat yang kemudian pulih kembali dengan bantuan pengaturan governor. Namun, penurunan frekuensi akibat beban berlebih memerlukan pelepasan beban agar frekuensi dapat dipulihkan [5], [6].

Salah satu metode yang digunakan untuk mengatasi kondisi tersebut adalah pelepasan beban otomatis menggunakan *Under Frequency Relay* (UFR), relai ini bekerja dengan memutuskan beban tertentu ketika frekuensi sistem turun di bawah ambang batas. Berdasarkan standar ANSI/IEEE C37.106-2003, batas bawah frekuensi operasi sistem adalah 49,5 Hz. UFR memiliki kemampuan untuk mendeteksi perubahan cepat frekuensi dan melaksanakan pelepasan beban secara bertahap dengan waktu tunda tertentu untuk mencegah pelepasan beban yang tidak diperlukan [7].

Pertumbuhan beban dan integrasi energi terbarukan menambah kompleksitas jaringan listrik sehingga tantangan dalam pengelolaan beban semakin besar [8]. Oleh

karena itu, diperlukan strategi pelepasan beban yang efektif melalui analisis dan simulasi menggunakan perangkat lunak DIgSILENT PowerFactory.

Beberapa penelitian terkait pelepasan beban menggunakan UFR telah dilakukan sebelumnya. Misalnya, penelitian berjudul “*Analisis Load Shedding pada Sistem Kelistrikan Bali Akibat Lepasnya Kabel Laut Jawa-Bali 150 kV*”. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya terletak pada objek kajian, di mana penelitian ini difokuskan pada sistem di Gardu Induk Arun. Melalui simulasi, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mendekati kondisi nyata mengenai efektivitas strategi pelepasan beban dalam menjaga kestabilan sistem tenaga listrik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penurunan frekuensi terhadap kestabilan sistem di Gardu Induk?
2. Bagaimana kinerja sistem tenaga listrik sebelum dan sesudah penerapan skema pelepasan beban berbasis UFR yang dimodelkan pada perangkat lunak DIgSILENT PowerFactory?
3. Bagaimana menentukan *setting Under Frequency Relay* (UFR) pada sistem untuk melakukan pelepasan beban secara bertahap agar dapat mencegah penurunan frekuensi lebih lanjut dan menghindari *blackout*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dirumuskan, adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis penurunan frekuensi pada sistem tenaga listrik di Gardu Induk saat terjadi ketidakseimbangan antara daya pembangkitan dan daya beban.
2. Membuat model simulasi sistem tenaga listrik Gardu Induk menggunakan perangkat lunak DIgSILENT PowerFactory untuk menguji kinerja skema pelepasan beban berbasis UFR.

3. Menentukan *setting Under Frequency Relay* (UFR), meliputi frekuensi pemicu, waktu tunda (*time delay*), dan pembagian tahap pelepasan beban untuk mencegah penurunan frekuensi yang berlebihan.

1.4 Batasan Masalah

Masalah pada penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Objek penelitian dibatasi pada sistem tenaga listrik di Gardu Induk yang menjadi lokasi studi, dengan parameter teknis sesuai data aktual yang diperoleh dari pihak terkait.
2. Penelitian ini memiliki keterbatasan pada ketersediaan data unit pembangkit yang beroperasi (*online/standby*). Oleh karena itu, analisis dilakukan dengan menggunakan data total suplai daya dari GI Arun sebagai representasi kondisi sistem, dan asumsi pembagian daya rata-rata antar unit digunakan untuk keperluan simulasi.
3. Dalam penelitian ini data beban nyata pada GI Arun adalah 129 MW, sedangkan kapasitas mampu pembangkit tercatat 184 MW sehingga terdapat cadangan sebesar 54 MW. Karena data detail alokasi beban cadangan ke penyulang tidak tersedia, untuk keperluan simulasi cadangan 54 MW diasumsikan ditempatkan pada tiga penyulang (AR14, AR16, AR17) sebagai beban yang dapat dilepas (*shedable loads*). Asumsi ini dibuat untuk memungkinkan pengujian skema *Under Frequency Load Shedding* (UFLS) yang terkoordinasi pada level penyulang, semua tindakan ini merupakan skenario simulasi dan bukan representasi pelanggan nyata.
4. Penelitian ini memiliki keterbatasan yaitu penggunaan nilai tipikal untuk konstanta inersia generator eksisting. Nilai aktual di lapangan dapat bervariasi, yang berpotensi mempengaruhi hasil simulasi respon frekuensi. Untuk memitigasi hal ini, telah dilakukan analisis sensitivitas dengan menggunakan rentang nilai H dari 3 detik hingga 7 detik yang menunjukkan bahwa simpangan frekuensi maksimum tetap berada dalam batas aman.

1.5 Manfaat Penelitian

Semoga dengan adanya penelitian ini akan memberikan memberikan manfaat bagi orang lain, berikut manfaat dari penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi akademis dalam bidang sistem tenaga listrik, khususnya strategi pelepasan beban berbasis UFR.
2. Menyediakan referensi tambahan bagi penelitian selanjutnya terkait strategi optimasi pengendalian frekuensi.
3. Meningkatkan pemahaman mengenai skema pelepasan beban sebagai upaya menjaga kestabilan frekuensi dan keandalan sistem distribusi.
4. Memberikan rekomendasi berbasis data dan simulasi yang dapat digunakan oleh pengelola Gardu Induk dalam pengambilan keputusan terkait pengelolaan beban.