

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem tenaga listrik modern dituntut untuk beroperasi secara andal dan stabil, khususnya dalam menjaga kestabilan frekuensi sistem akibat perubahan beban yang terjadi secara kontinu. Ketidakseimbangan antara daya pembangkitan dan beban akan menyebabkan deviasi frekuensi yang apabila tidak segera dikoreksi dapat berdampak pada penurunan kinerja sistem hingga potensi terjadinya gangguan berskala besar [1].

Untuk menjaga keseimbangan tersebut, sistem tenaga listrik menerapkan mekanisme pengendalian pembangkitan yang dikenal sebagai *Automatic Generation Control* (AGC). AGC merupakan bagian dari pengendalian sekunder dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi mengatur daya keluaran unit pembangkit secara otomatis berdasarkan deviasi frekuensi dan kebutuhan sistem, sehingga frekuensi dapat dikembalikan ke nilai nominal setelah terjadi gangguan atau perubahan beban [2], [3]. Selain itu, penerapan AGC juga berkontribusi dalam meningkatkan keandalan sistem dan mencegah gangguan besar seperti blackout [4].

Dalam sistem interkoneksi berskala besar seperti sistem Jawa–Bali, peran AGC menjadi semakin penting seiring dengan meningkatnya variasi beban dan kompleksitas operasi sistem. Oleh karena itu, melalui Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 20 Tahun 2020 tentang Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik, unit pembangkit dengan kapasitas tertentu diwajibkan untuk memiliki kemampuan pengaturan pembangkitan otomatis guna mendukung stabilitas dan keandalan sistem [5].

Keberhasilan implementasi AGC tidak hanya ditentukan oleh sistem pengendali terpusat dan infrastruktur komunikasi, tetapi sangat bergantung pada kelayakan teknis unit pembangkit itu sendiri. Kemampuan pembangkit dalam merespons perintah perubahan daya dari AGC dipengaruhi oleh karakteristik dinamis sistem mekanikal, sistem kontrol, serta sumber energi primer yang digunakan [1] [3].

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan pembangkit termal konvensional. Proses konversi energi pada PLTP sangat dipengaruhi oleh sistem geothermal meliputi karakteristik sumur produksi, jaringan pipa uap, serta respons katup pengendali aliran. Selain itu, respons turbin uap dan governor pada PLTP umumnya lebih terbatas dibandingkan pembangkit berbahan bakar fosil, sehingga fleksibilitas perubahan daya relatif rendah [6] [7].

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa keterbatasan *generation rate constraint*, waktu tunda aliran fluida panas bumi, serta keterbatasan respons turbin dan governor merupakan faktor yang dapat membatasi kemampuan PLTP dalam mengikuti perubahan setpoint daya yang diberikan oleh AGC [8][9]. Kondisi ini mengindikasikan bahwa penerapan AGC pada PLTP memerlukan penilaian kelayakan teknis yang lebih mendalam dibandingkan pembangkit konvensional.

Berdasarkan hal tersebut, diperlukan suatu penelitian akademik yang menganalisis kelayakan teknis sistem pembangkit PLTP terhadap implementasi AGC, dengan meninjau secara khusus keterbatasan dan kemampuan respons sistem pembangkit dari aspek geothermal, mekanikal, serta sistem kontrol dan instrumentasi internal. Analisis ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai batasan teknis yang mempengaruhi implementasi AGC pada pembangkit listrik tenaga panas bumi.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana karakteristik dan keterbatasan sistem geothermal pada PLTP dalam merespons perubahan beban akibat implementasi *Automatic Generation Control* (AGC)?
2. Bagaimana kemampuan respons mekanikal pembangkit, yang meliputi turbin, governor, dan *Main Control Valve* (MCV), dalam mengikuti perintah perubahan daya dari sistem AGC?
3. Bagaimana sistem kontrol dan instrumentasi pada PLTP untuk mengeksekusi sinyal pengaturan daya dari AGC secara akurat?
4. Faktor teknis apa saja yang menjadi pembatas utama dalam kemampuan PLTP untuk beroperasi secara optimal dalam skema AGC?

1.3. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis karakteristik dan keterbatasan sistem geothermal pada PLTP dalam merespons perubahan beban akibat implementasi *Automatic Generation Control* (AGC).

2. Mengevaluasi kemampuan respons mekanikal pembangkit, yang meliputi turbin, governor, dan *Main Control Valve* (MCV), dalam mengikuti perintah perubahan daya dari sistem AGC.
3. Menilai kelayakan sistem kontrol dan instrumentasi pada PLTP dalam mengeksekusi sinyal pengaturan daya dari AGC secara akurat.
4. Mengidentifikasi faktor-faktor teknis yang menjadi pembatas utama dalam kemampuan PLTP untuk beroperasi secara optimal dalam skema AGC.

1.4. Manfaat

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

a. Manfaat Akademis

Menambah referensi ilmiah di bidang ketenagalistrikan terkait analisis kelayakan teknis pembangkit panas bumi terhadap AGC serta menjadi dasar bagi penelitian lanjutan mengenai pengoperasian PLTP dalam sistem tenaga listrik modern.

b. Manfaat Praktis

Memberikan gambaran teknis mengenai batasan dan kelayakan PLTP dalam implementasi AGC serta menjadi bahan evaluasi teknis bagi pengelola pembangkit dalam perencanaan pengoperasian berbasis AGC.

1.5. Ruang Lingkup Masalah

Penelitian ini dibatasi pada analisis kelayakan teknis pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) dalam mendukung implementasi *Automatic Generation Control* (AGC) berdasarkan kondisi operasional aktual. Adapun ruang lingkup penelitian ini meliputi beberapa batasan sebagai berikut:

1. Objek Penelitian

Difokuskan pada PLTP Kamojang Unit 4 dengan menggunakan data operasional pembangkit pada periode bulan Mei 2026.

2. Analisis Aspek Geothermal

Dibatasi pada karakteristik aliran uap dan pengaruhnya terhadap respon pembangkit, khususnya terkait dinamika aliran dan *time delay* dalam sistem penyaluran energi.

3. Analisis Aspek Mekanikal

Mencakup kinerja turbin, governor dan *Main Control Valve* (MCV) dalam merespons perubahan beban, termasuk evaluasi hubungan MCV terhadap daya serta kemampuan ramp rate pembangkit.

4. Analisis Sistem Kontrol dan Instrumentasi

Difokuskan pada kinerja *Distributed Control System* (DCS), logika kontrol, limiter, serta keandalan sistem pengukuran dalam mendukung proses pengendalian daya.

5. Evaluasi Kelayakan AGC

Dilakukan berdasarkan kemampuan pembangkit dalam mengikuti perubahan daya, tanpa membahas secara detail desain atau implementasi sistem AGC eksternal pada tingkat sistem tenaga listrik.

6. Penelitian ini tidak mencakup analisis ekonomi, optimasi dispatch sistem tenaga, maupun simulasi interkoneksi jaringan secara keseluruhan, melainkan difokuskan pada evaluasi teknis di tingkat unit pembangkit.

1.6. Kebaharuan

Kebaharuan penelitian ini terletak pada pendekatan analisis kelayakan teknis pembangkit PLTP terhadap implementasi *Automatic Generation Control* (AGC) yang dilakukan secara terintegrasi berdasarkan data operasional aktual. Penelitian ini menitikberatkan pada evaluasi respons dinamis pembangkit melalui kajian aspek geothermal, mekanikal, serta sistem kontrol dan instrumentasi secara menyeluruh. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya berfokus pada pengembangan atau optimasi algoritma pengendalian, penelitian ini menunjukkan bahwa keterbatasan utama respon PLTP dalam skema AGC tidak berasal dari sistem kontrol maupun instrumentasi yang telah bekerja dengan baik, melainkan dari dinamika sistem geothermal yang memiliki karakteristik *time delay* serta keterbatasan respons mekanikal pembangkit.