

Respon Automatic Generation Control (AGC) & Free Governor (FG) Di PLTU Cilacap 660 MW Terhadap Perubahan Frekuensi Jaringan PLN Sebuah Studi Kasus

Muhammad Isnain Wiyasatama^{1*}; Hendra Setiawan¹

1. Magister Rekayasa Elektro, Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang Km.14.5, Daerah Istimewa Yogyakarta 55584, Indonesia

*Email: 23925003@students.uii.ac.id

Received: 9 Desember 2023 | Accepted: 11 Desember 2023 | Published: 2 Januari 2024

ABSTRAK

This study focuses on the critical frequency regulation in the electrical grid system of the Jawa-Bali, particularly through the implementation of Automatic Generation Control (AGC) and Free Governor (FG) in the Cilacap Unit 3 power plant. This research is significant due to the region's power capacity reaching 41,800.90 MW in 2022. Utilizing data collection methods from the PLN Dispatch Center and the Load Rejection Test (LRT) from the Tambaklorok Block 3 Gas and Steam Power Plant, this study observes the frequency response of the network to various operational loads and conditions of AGC and FG. The results include observations of the power unit's response to frequency fluctuations, where AGC and FG play a crucial role in the recovery and normalization of frequency. For example, at a load of 350 MW, the response to frequencies from 50.09 Hz to 50.18 Hz showed a decrease in load of 1-3 MW below the Low Operating Limit (LOL) setting. At a load of 575 MW, frequency fluctuations from 49.89 Hz to 50.00 Hz indicated consistent frequency stability with AGC and FG. During the LRT with a load of 746 MW, the frequency fluctuated from 50.09 Hz to 49.86 Hz, with the actual power (Pact) ranging from 432 MW to 459 MW, demonstrating a rapid and efficient response in stabilizing the network frequency. This study provides valuable insights for the development and optimization of frequency regulation systems in large-scale electrical networks.

Keywords: automatic generation control (AGC), free governor (FreeGov), frequency fluctuations, pltu cilacap, response network

ABSTRAK

Penelitian ini berfokus pada pengaturan frekuensi kritis dalam sistem jaringan listrik di wilayah Jawa Bali, khususnya melalui penerapan Automatic Generation Control (AGC) dan Free Governor (FG) di PLTU Cilacap unit 3. Studi ini penting karena kapasitas pembangkit di wilayah ini mencapai 41.800,90 MW pada tahun 2022. Dengan metode pengumpulan data dari PLN Dispatch Center dan Load Rejection Test (LRT) dari PLTGU Tambaklorok Blok 3, studi ini mengamati respons frekuensi jaringan terhadap berbagai beban operasional dan kondisi AGC serta FG. Hasilnya mencakup pengamatan respon unit pembangkit terhadap fluktuasi frekuensi, di mana AGC dan FG berperan penting dalam pemulihan dan normalisasi frekuensi. Misalnya, pada beban 350 MW, respons terhadap frekuensi 50,09 Hz hingga 50,18 Hz menunjukkan penurunan beban 1-3 MW di bawah setting LOL. Pada beban 575 MW, fluktuasi frekuensi dari 49,89 Hz hingga 50,00 Hz mengindikasikan stabilitas frekuensi yang konsisten dengan AGC dan FG. Selama LRT dengan beban 746 MW, frekuensi berfluktuasi dari 50,09 Hz ke 49,86 Hz, dengan Pact

berkisar antara 432 MW hingga 459 MW, menunjukkan respon yang cepat dan efisien dalam menstabilkan frekuensi jaringan. Penelitian ini memberikan wawasan berharga untuk pengembangan dan optimisasi sistem regulasi frekuensi di jaringan listrik skala besar.

Kata kunci: *automatic generation control (AGC), free governor (Freegov), frekuensi, pltu cilacap, sistem jawa bali*

1. PENDAHULUAN

Frekuensi adalah salah satu parameter kritis yang harus diatur dengan cermat dalam sistem jaringan listrik. Untuk menjaga operasional jaringan secara berkelanjutan, frekuensi harus dipertahankan dalam rentang 49 Hz hingga 51 Hz untuk beroperasi terus menerus [1]. Pengaturan beban dilakukan melalui penggunaan *Automatic Generation Control (AGC)* dan *Free Governor (FG)* sebagai sistem regulasi frekuensi *real-time*, memastikan keseimbangan antara permintaan beban dan kapasitas pembangkit yang tersedia [2].

Pada tahun 2022, kapasitas pembangkit terpasang mencapai 44.939,88 MW, dimana sebanyak 31.328,92 MW (67,71%) berada di wilayah Jawa. Beban puncak mencapai 41.800,90 MW [1]. Sistem Jawa Bali terus mengalami perkembangan signifikan baik dalam pertumbuhan beban, peningkatan kapasitas pembangkit, maupun adopsi teknologi baru guna mendukung kestabilan sistem jaringan. Masuknya pembangkit dengan kapasitas 1000 MW membuat pentingnya pengaturan *Under Frequency Relay (UFR)* dan *Fast Response* dalam *Grid Code* semakin diperjelas. Jika pembangkit dengan kapasitas 1000 MW terputus dari jaringan (*Trip*) di wilayah Jawa Bali, hal ini dapat menyebabkan penurunan frekuensi hingga mencapai 0,8 Hz [1] [3].

Pada tahun 2023, PLTU Cilacap unit 3 sudah menerapkan mode pengoperasian AGC dan FG untuk mendukung kestabilan frekuensi jaringan. Menurut data dari Perusahaan Listrik Negara Pusat Pengaturan Beban (PLN P2B) [1] penerapan AGC telah mencapai tingkat 37,1%, sementara penggunaan Free Governor mencapai 87,1% dalam Sistem Jawa Bali. Perkembangan ini menandakan langkah penting dalam memastikan ketahanan dan keandalan jaringan listrik Indonesia di masa depan.

Namun, hingga saat ini, tidak ada informasi yang tersedia mengenai unjuk kerja AGC dan FG di PLTU Cilacap khususnya di unit 3 terhadap respon frekuensi yang bertujuan untuk meningkatkan keandalan sistem jaringan.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

Keberadaan PLTU Cilacap memegang peran vital sebagai penghubung sistem kelistrikan dari wilayah barat dan timur Pulau Jawa melalui jalur selatan menggunakan dua jalur saluran udara ekstra tinggi (SUTET) Tasik – Kesugihan – Pedan [4]. Unit 3 kapasitas 660 MW dan Unit 4 kapasitas 1000 MW PLTU Cilacap terhubung ke transmisi 500 KV melalui gardu induk tegangan tinggi (GITET) PLN Adipala. GITET ini juga terkoneksi dengan pembangkit Indonesia Power kapasitas 660 MW dan diteruskan ke GITET Kesugihan. Dari sana, listrik disalurkan ke arah barat melalui GITET Tasik dan ke arah timur melalui GITET Pedan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



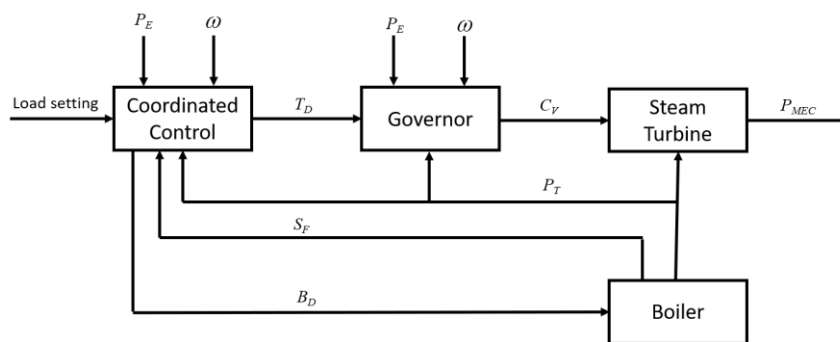
Gambar 1. Letak PLTU Cilacap dan Transmisi Jalur Selatan Jawa.

2.1. Metode Penelitian

Metode penelitian dalam studi kasus ini melibatkan mengumpulkan data respon AGC & FG terhadap frekuensi jaringan pada saat dilakukan pengujian secara langsung dengan PLN *Dispatch Center* pada tanggal 29 Januari 2023 pukul 10:00 s.d 17:00 WIB dan pengambilan data pada saat terjadi uji coba *Load Rejection Test (LRT)* dari pembangkit PLTGU Tambaklorok Blok 3 pada beban 746 MW dengan AGC dan FG kondisi “ON” pada 18 September 2023 Pukul 20:00 s.d 21:00 WIB. Dengan demikian, respon frekuensi jaringan terhadap beban unit dapat diamati dengan tujuan memahami unjuk kerja pemulihan dan normalisasi fluktuasi frekuensi.

2.2. Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Dalam sistem kestabilan [5] perhatian utamanya adalah pada pengaruh sistem tenaga pembangkit terhadap stabilitas sistem dan frekuensi. Model matematis untuk pembangkit *thermal* digambar pada gambar 2 sebagai berikut.



Gambar 2. Model Sistem PLTU

T_D adalah posisi perintah valve utama keluaran turbin dalam mode *coordinated control system (CCS)*; B_D keluaran sistem pembakaran pada boiler dalam mode CCS; P_E input tenaga listrik; ω adalah turbin speed; C_V posisi bukaan main stem valve turbin; P_{MEC} keluaran daya mekanik unit; P_T tekanan uap utama; S_F aliran uap turbin. Mode pengoperasian pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dibagi menjadi 3 macam;

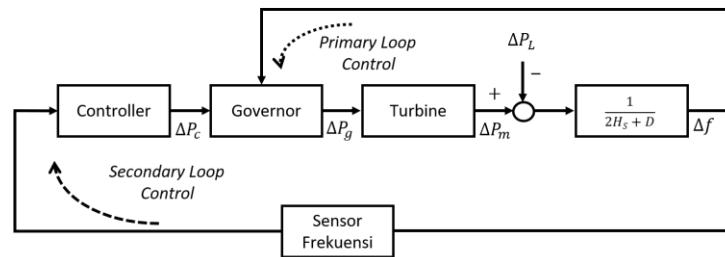
1. Regulasi pengoperasian dengan *Boiler Follow Steam Turbine (BF)*
 Pada mode ini boiler dioperasikan secara otomatis (*coal feeder*) dan turbin dioperasikan secara manual (*governor valve*).
2. Regulasi pengoperasian *Steam Turbine Following Boiler (TF)*
 Pada mode ini pengoperasian turbin secara otomatis (*governor valve*) dan pengoperasian boiler secara manual (*coal feeder*).
3. *Coordinated control of boiler and steam turbine (CCS)*
 Dalam mode pengoperasian *Coordinated Control System (CCS)*, sinyal kontrol akan dikirimkan ke setiap controller boiler dan turbin untuk melakukan pengaturan otomatis yang terkait dengan sistem pembakaran dan tekanan uap. Ini bertujuan untuk membuka *control valve (CV)* turbin sesuai dengan permintaan beban.

2.3. Pengaturan Kontrol Utama Pembangkit (Primary Control)

Dalam sistem jaringan listrik setelah unit pembangkit masuk kedalam jaringan (sinkron) dengan pengaturan kecepatan (*speed governor*). Untuk beroperasi pada dua atau lebih pembangkitan secara paralel dalam satu area beban yang sama *governor* akan dilengkapi dengan sinyal *feedback* (R) yang akan memberikan masukan sinyal *error speed* menuju nol pada keluaran generator yang berbeda. Sinyal *error* ini menentukan perubahan *output* unit untuk perubahan tertentu dalam frekuensi seperti dalam persamaan (1) [6].

$$R(\%) = \frac{\text{Perubahan Frekuensi } (\%)}{\text{Perubahan daya } (\%)} \times 100 \tag{1}$$

Pengaturan frekuensi melibatkan pengendalian utama yang dikontrol oleh *speed governor* dan karakteristik beban, yang merespons fluktuasi frekuensi sistem dalam beberapa detik, dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Blok diagram pembangkit dengan frekuensi kontrol

2.4. Automatic Generator Control (Secondary Control)

Secondary control, yang dikenal sebagai *Load Frequency Control* (LFC), adalah fungsi utama dari *Automatic Generation Control* (AGC) yang bertujuan mengembalikan frekuensi sistem listrik ke nilai nominalnya. Dalam sistem tenaga listrik, ketidaksesuaian daya nyata antara pembangkit dan beban menyebabkan penyimpangan frekuensi, sementara ketidakseimbangan daya reaktif menyebabkan variasi tegangan [5]. AGC memastikan keseimbangan ini dengan mengatur daya pembangkit secara presisi untuk mencegah penyimpangan frekuensi signifikan dan mengelola aliran listrik [1].

Informasi telemetering melalui sistem *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) mencakup daya output, aliran daya antar wilayah, dan frekuensi sistem. Pusat pengendali menghitung *Area Control Error* (ACE) [6] berdasarkan pengukuran ini dan mengirimkan sinyal ke pengontrol. *Output* pengontrol digunakan sebagai set point untuk mengatur *governor* pada unit pembangkit sesuai dengan *grid code* Sistem Jawa Bali.

2.5. Pengaturan Frekuensi Sistem

Deviasi frekuensi secara langsung menggambarkan ketidakseimbangan antara beban listrik dengan ketersediaan daya pembangkit, apabila frekuensi ini tidak segera dikembalikan ke nilai nominalnya 50 Hz [7]. Nilai frekuensi yang tidak normal dalam waktu lama akan mempengaruhi operasi sistem kelistrikan terutama kualitas, keandalan dan keamanan serta dapat mengaktifkan sistem proteksi transmisi dan pembangkit. Hubungan dinamis antara ketidaksesuaian daya ($\Delta P_m - \Delta P_L$) dan deviasi frekuensi (Δf) dinyatakan oleh persamaan (2) [3] [4] [5].

$$\Delta P_m(t) - \Delta P_L(t) = 2H \frac{d\Delta f(t)}{dt} + D\Delta f(t) \tag{2}$$

Dimana Δf merupakan deviasi frekuensi, ΔP_m merupakan perubahan daya mekanik pembangkit, ΔP_L adalah perubahan beban, H adalah konstanta inersia, dan D adalah koefisien damping beban.

2.6. Variabel Respon Karakteristik Beban

Secara umum [8] beban dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu beban murni resistif dan beban motor seperti pompa. Beban murni resistif tidak dipengaruhi oleh perubahan frekuensi sistem, sedang beban motor seperti pompa tidak mempengaruhi frekuensi sistem, seperti dijelaskan dalam persamaan (3) perubahan daya elektrik (ΔP_e).

$$\Delta P_e = \Delta P_L + D \Delta \omega_r \tag{3}$$

Dengan ΔP_L , $\Delta \omega_r$, D berturut-turut adalah perubahan beban resistif murni, perubahan beban tidak murni dan D adalah konstanta damping beban. Konstanta D dinyatakan sebagai persentase perubahan beban yang menyebabkan perubahan frekuensi sebesar 1% [4]. Jika nilai $D = 2$ berarti 1% perubahan di frekuensi akan menyebabkan 2% perubahan beban.

2.7. Variabel Pembatasan Unit Pembangkit

AGC dipengaruhi oleh respons cepat pembangkit listrik dalam menambah atau mengurangi daya. Pembatasan pada pembangkit listrik tenaga uap terjadi pada tekanan mekanis turbin dan tekanan *thermal boiler* [7] [9]. Klasifikasi pembangkit melibatkan jenis, kapasitas, dan pembatasan laju peningkatan (*ramp rate up*) serta penurunan daya (*ramp rate down*). Batasan atas dan batas bawah terkait dengan daya mampu netto masing-masing pembangkit [6]. *Low operating limit* (LOL) & *high operating limit* (HOL) menandai kisaran operasi AGC; jika nilai melebihi atau kurang dari ketentuan sinyal AGC akan ditahan untuk melindungi unit pembangkit [10]. Tabel 1 menampilkan batasan unit pembangkit PLTU Cilacap Unit 3.

Tabel 1. Sistem Parameter Pembangkit

| Parameter | PLTU Cilacap 3 |
|------------------|----------------|
| P max (MW) | 610 MW NETT |
| P min (MW) | 350 NETT |
| Ramp rate (MW/s) | 3 MW/Menit |
| Speed Droop (%) | 5% |
| Deadband (±Hz) | 0.03 Hz |

Pmax kapasitas netto pembangkit, Pmin beban minimum pembangkit. *Ramp rate* kemampuan unit pembangkit untuk naik dan turun daya, sementara *speed droop* toleransi dalam rpm untuk turun saat ada perubahan frekuensi. *Deadband* frekuensi selisih antara frekuensi unit pembangkit dan jaringan, batasan AGC & FG beroperasi dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Batasan AGC & FG

| Parameter | PLTU Cilacap 3 |
|--------------------------------------|----------------|
| LOL & HOL AGC | 20 MW |
| Limiter Free Governor (2.5% DMN) | 15 MW |
| Batas range AGC "ON" (LOL – HOL) | 330 – 610 MW |
| Batas range Freegov "ON" (LOL – HOL) | 350 – 575 MW |

LOL & HOL merupakan rentang batas atas dan bawah unit pembangkit. *Limiter freegovernor* pengaturan proteksi unit pembangkit yang menyumbang daya aktif saat merespon perubahan frekuensi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian AGC dan FG variasi frekuensi mengikuti Dispatch Center PLN UIP2B

Pengujian AGC dan FG dilakukan dengan menggunakan beberapa skenario perubahan frekuensi jaringan mengikuti *dispatch center* unit induk pelayanan pengaturan beban (UIP2B) perusahaan listrik negara (PLN) guna melihat respon dari sisi pembangkit dalam hal merespon perubahan yang terjadi pada frekuensi jaringan, pengujian antara lain sebagai berikut;

- 1. Beban 350 MW dengan 4 Mill beroperasi:** AGC "ON", FG "OFF" (Tabel 3). AGC dan FG "ON" (Tabel 4)
- 2. Beban 450 MW dengan 5 Mill beroperasi:** AGC "ON", FG "OFF" (Tabel 5). AGC dan FG "ON" (Tabel 6), AGC "OFF" dan FG "ON" (Tabel 7).
- 3. Beban 576 MW dengan 6 Mill beroperasi:** AGC "ON", FG "OFF" (Tabel 8). AGC dan FG "ON" (Tabel 9), AGC "OFF" dan FG "ON" (Tabel 10).
- 4. LRT PLTGU Tambaklorok Blok 3 dengan 6 Mill beroperasi:** AGC dan FG "ON" (Tabel 11)

3.2. Pengujian beban 350 MW

Pada pengujian AGC & FG dengan beban 350 MW kondisi unit dengan mode CCS dengan operasi 4 mill pada pengujian respon AGC "ON" dan FG "OFF", AGC & FG "ON", dapat di lihat pada tabel 3 dan tabel 4, frekuensi jaringan (Frek), daya aktual setting UIP2B PLN ke unit pembangkit (Pset), daya aktual unit pembangkit yang dibangkitkan (Pact).

Tabel 3. Pengujian Load 350MW mode AGC "ON" dan FG "OFF"

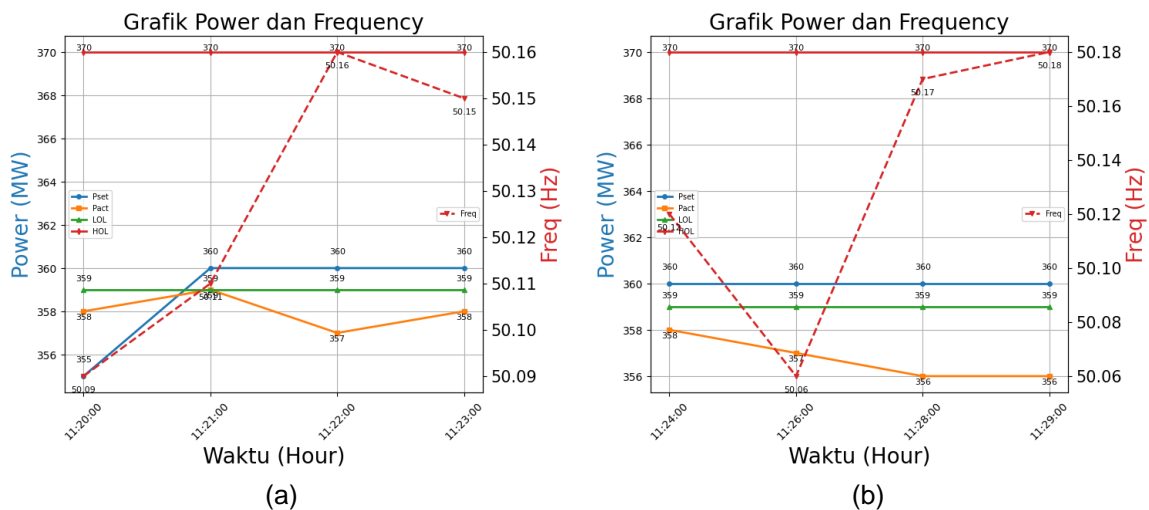
| No | Waktu | Frek. | Pset | Pact | LOL | HOL | Keterangan |
|----|----------|-------|------|------|-----|-----|------------|
| 1 | 11:20:00 | 50,09 | 355 | 358 | 359 | 370 | Frek. Atas |
| 2 | 11:21:00 | 50,11 | 360 | 359 | 359 | 370 | Frek. Atas |
| 3 | 11:22:00 | 50,16 | 360 | 357 | 359 | 370 | Frek. Atas |
| 4 | 11:23:00 | 50,15 | 360 | 358 | 359 | 370 | Frek. Atas |

Tabel 4. Pengujian Load 350MW mode AGC "ON" dan FG "ON"

| No | Waktu | Frek. | Pset | Pact | LOL | HOL | Keterangan |
|----|----------|-------|------|------|-----|-----|------------|
| 1 | 11:24:00 | 50,12 | 360 | 358 | 359 | 370 | Frek. Atas |
| 2 | 11:26:00 | 50,06 | 360 | 357 | 359 | 370 | Frek. Atas |
| 3 | 11:28:00 | 50,17 | 360 | 356 | 359 | 370 | Frek. Atas |
| 4 | 11:29:00 | 50,18 | 360 | 356 | 359 | 370 | Frek. Atas |

Pada tabel 3 pada saat pengujian frekuensi jaringan pada nilai 50,09 Hz dinaikan sampai dengan 50,15 Hz dalam waktu durasi 3 detik unit merespon dengan menurunkan beban sedikit dibawah LOL yang di tentukan sebesar 1-2 MW, dan pada saat pengujian ke 2 pada tabel 4 frekuensi jaringan dari 50,12 Hz menjadi 50,18 Hz naik sebesar 0,6 Hz dengan durasi selama 5 detik FG merespon dengan menurun beban unit sampai dengan di bawah setting LOL pembangkit sebesar 3 MW dari LOL 359 MW menjadi 356 MW.

Grafik pengujian masing-masing tabel di perlihatkan pada gambar grafik 4 (a) dan (b) dibawah untuk memudahkan melihat respon beban pembangkit dengan perubahan frekuensi sistem jaringan listrik.



Gambar 4. Grafik (a) AGC “ON” & FG “OFF” tabel 3; (b) AGC & FG “ON” tabel 4

3.3. Pengujian beban 450 MW

Pengujian dengan beban unit sebesar 450 MW dengan 5 mill beroperasi. Pada tabel 5 pengujian dengan mode AGC “ON” dan FG “OFF” dengan perubahan frekuensi bawah dan frekuensi atas. Pada tabel 6 pengujian dengan mode AGC & FG dalam kondisi “ON”, dan pada tabel 7 pengujian dengan mode AGC “OFF” dan FG “ON”.

Tabel 5. Pengujian Load 450 MW mode AGC “ON” dan FG “OFF”

| No | Waktu | Frek. | Pset | Pact | LOL | HOL | Keterangan |
|----|----------|-------|------|------|-----|-----|-------------|
| 1 | 13:18:00 | 50,01 | 450 | 448 | 450 | 460 | Frek. Bawah |
| 2 | 13:20:00 | 49,97 | 451 | 447 | 450 | 460 | Frek. Bawah |
| 3 | 13:22:00 | 49,96 | 456 | 453 | 450 | 460 | Frek. Bawah |
| 4 | 13:25:00 | 48,99 | 460 | 458 | 450 | 460 | Frek. Bawah |
| 5 | 13:55:00 | 50,00 | 450 | 449 | 450 | 460 | Frek. Atas |
| 6 | 14:00:00 | 50,12 | 441 | 441 | 440 | 460 | Frek. Atas |
| 7 | 14:03:00 | 50,18 | 440 | 438 | 440 | 460 | Frek. Atas |

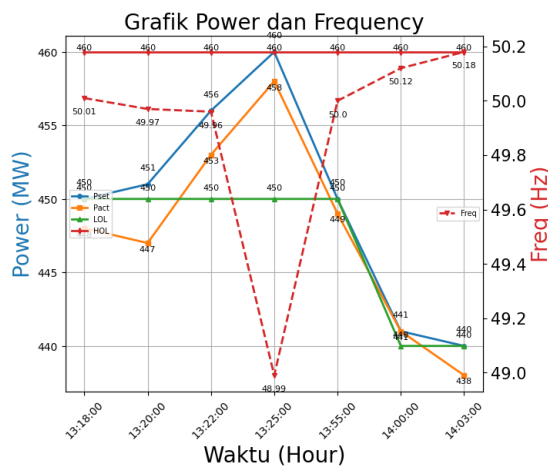
Tabel 6. Pengujian Load 450 MW mode AGC “ON” dan FG “ON”

| No | Waktu | Frek. | Pset | Pact | LOL | HOL | Keterangan |
|----|----------|-------|------|------|-----|-----|-------------|
| 1 | 13:30:00 | 49,91 | 460 | 458 | 450 | 460 | Frek. Bawah |
| 2 | 13:32:00 | 49,89 | 460 | 467 | 450 | 460 | Frek. Bawah |
| 3 | 13:34:00 | 49,86 | 460 | 468 | 450 | 460 | Frek. Bawah |
| 4 | 13:35:00 | 49,87 | 460 | 468 | 450 | 460 | Frek. Bawah |
| 5 | 14:07:00 | 50,10 | 440 | 431 | 440 | 460 | Frek. Atas |
| 6 | 14:10:00 | 50,15 | 440 | 426 | 404 | 526 | Frek. Atas |
| 7 | 14:11:00 | 50,14 | 440 | 424 | 404 | 526 | Frek. Atas |
| 8 | 14:14:00 | 50,05 | 440 | 437 | 404 | 526 | Frek. Atas |

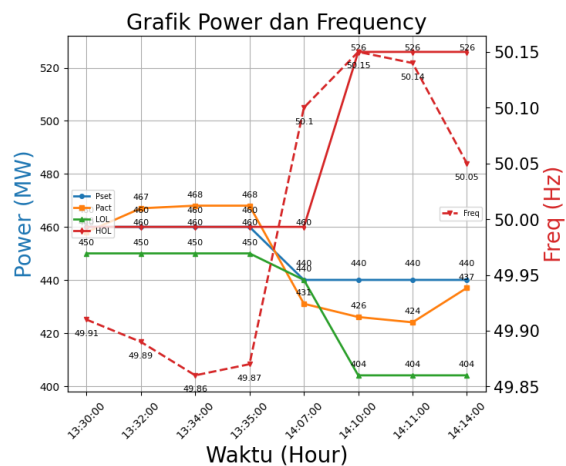
Tabel 7. Pengujian Load 450 MW mode AGC “OFF” dan FG “ON”

| No | Waktu | Frek. | Pset | Pact | LOL | HOL | Keterangan |
|----|----------|-------|------|------|-----|-----|-------------|
| 1 | 13:37:00 | 48,87 | 460 | 467 | 450 | 460 | Frek. Bawah |
| 2 | 13:38:00 | 48,88 | 460 | 467 | 450 | 460 | Frek. Bawah |
| 3 | 13:39:00 | 49,91 | 460 | 465 | 450 | 460 | Frek. Bawah |
| 4 | 13:40:00 | 49,91 | 460 | 463 | 450 | 460 | Frek. Bawah |
| 5 | 14:08:00 | 50,14 | 440 | 431 | 440 | 460 | Frek. Atas |
| 6 | 14:09:00 | 50,17 | 440 | 424 | 440 | 460 | Frek. Atas |

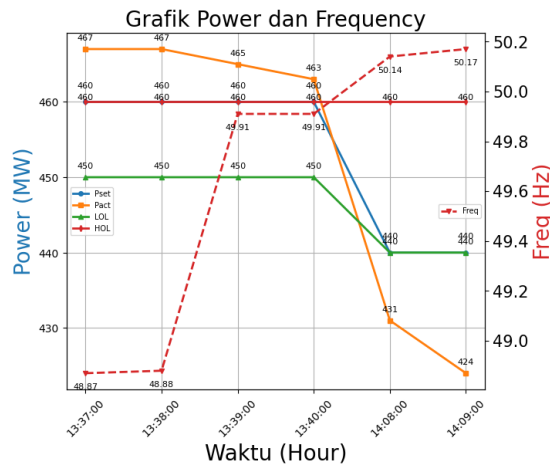
Pada tabel 5, AGC “ON” & FG “OFF” unit pembangkit mampu merespon dengan baik fluktuasi frekuensi, ketika frekuensi bawah dikorelasikan dengan beban Pact hampir sama dengan Pset yang diberikan UIP2B. Pada tabel 6, AGC & FG “ON” respon unit pembangkit terhadap fluktuasi frekuensi terlihat lebih stabil. Pada frekuensi bawah Pset dan Pact hampir sesuai menunjukkan efektivitas kombinasi AGC dan FG. Pada frekuensi atas FG merespon fluktuasi frekuensi sampai dengan dibawah batas LOL sebesar 16 MW dengan Pset 440 MW. Tabel 7, AGC “OFF” & FG “ON” frekuensi bawah menunjukkan FG mampu menjaga beban unit mendekati Pset, gambar 5 menunjukkan grafik dari ketiga tabel pengujian diatas.



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. Grafik (a) AGC “ON” & FG “OFF” tabel 5; (b) AGC & FG “ON” tabel 6; (b) AGC “OFF” & FG “ON” tabel 7

3.4. Pengujian beban 575 MW

Pada pengujian dengan beban unit sebesar 575 MW dengan 6 mill beroperasi, pada pengujian ini dilakukan pada frekuensi bawah dari frekuensi 50,00 Hz difluktuasikan sampai dengan frekuensi 49,89 Hz selama 16 detik. Dengan masing-masing mode pengujian diperlihatkan pada tabel 8 pengujian dengan mode AGC “ON” dan FG “OFF”, pada tabel 9 pengujian dengan mode AGC & FG “ON”, pada tabel 10 pengujian dengan mode AGC “OFF” dan FG “ON”.

Tabel 8. Pengujian Load 575 MW mode AGC “ON” dan FG “OFF”

| No | Waktu | Frek. | Pset | Pact | LOL | HOL | Keterangan |
|----|----------|-------|------|------|-----|-----|-------------|
| 1 | 16:29:00 | 50,00 | 575 | 575 | 570 | 580 | Frek. Bawah |
| 2 | 16:30:00 | 49,93 | 577 | 571 | 570 | 580 | Frek. Bawah |
| 3 | 16:31:00 | 49,98 | 580 | 578 | 570 | 580 | Frek. Bawah |
| 4 | 16:32:00 | 49,93 | 580 | 578 | 570 | 580 | Frek. Bawah |
| 5 | 16:33:00 | 49,93 | 580 | 578 | 570 | 580 | Frek. Bawah |
| 6 | 16:34:00 | 49,95 | 580 | 578 | 570 | 580 | Frek. Bawah |
| 7 | 16:35:00 | 49,93 | 580 | 578 | 570 | 580 | Frek. Bawah |

Tabel 9. Pengujian Load 575 MW mode AGC & FG “ON”

| No | Waktu | Frek. | Pset | Pact | LOL | HOL | Keterangan |
|----|----------|-------|------|------|-----|-----|-------------|
| 1 | 16:36:00 | 49,90 | 580 | 578 | 570 | 580 | Frek. Bawah |
| 2 | 16:37:00 | 49,89 | 580 | 578 | 570 | 580 | Frek. Bawah |
| 3 | 16:38:00 | 49,90 | 580 | 586 | 570 | 580 | Frek. Bawah |
| 4 | 16:39:00 | 49,93 | 580 | 583 | 570 | 580 | Frek. Bawah |

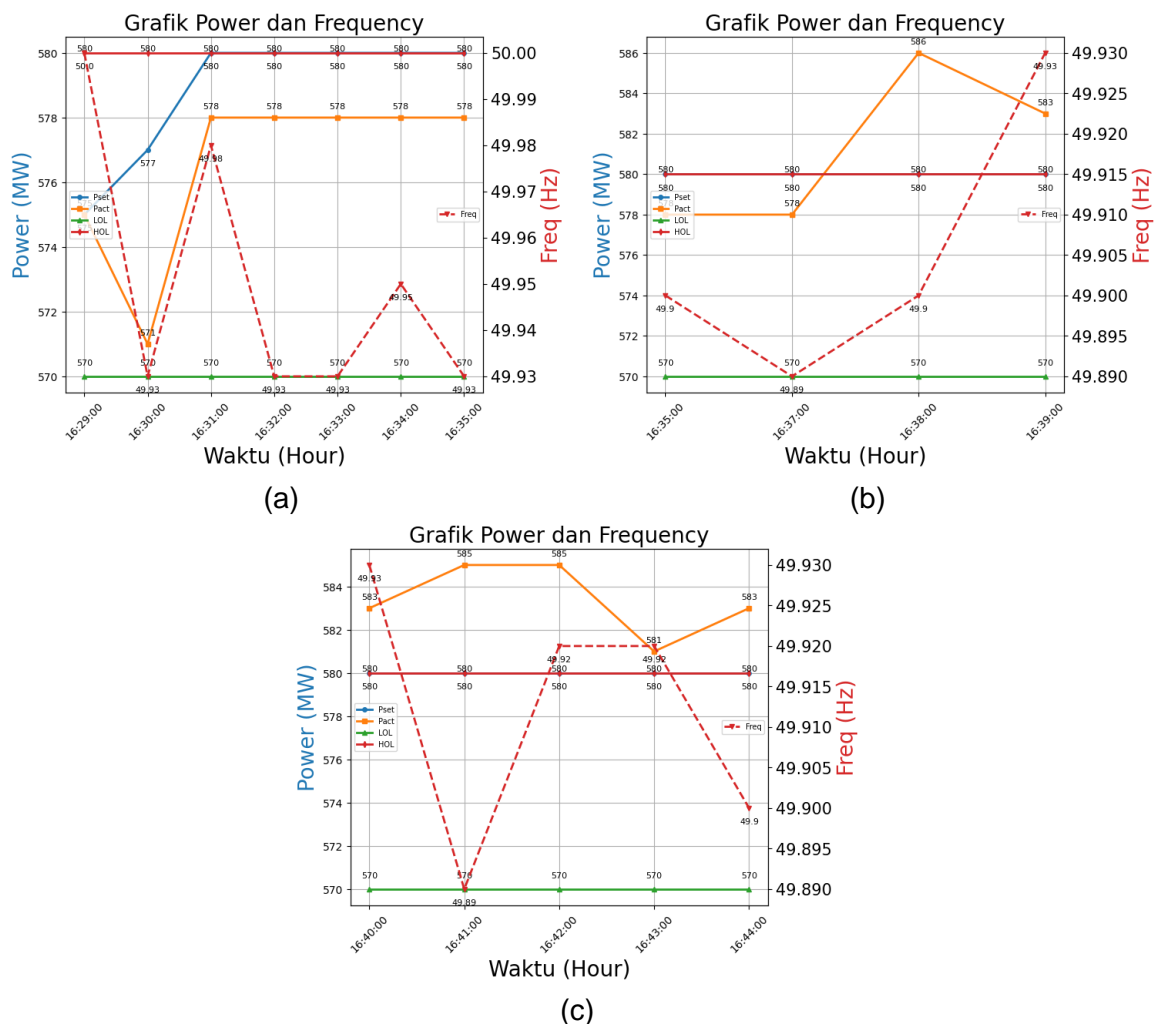
Tabel 10. Pengujian Load 575 MW mode AGC “OFF” dan FG “ON”

| No | Waktu | Frek. | Pset | Pact | LOL | HOL | Keterangan |
|----|----------|-------|------|------|-----|-----|-------------|
| 1 | 16:40:00 | 49,93 | 580 | 583 | 570 | 580 | Frek. Bawah |
| 2 | 16:41:00 | 49,89 | 580 | 585 | 570 | 580 | Frek. Bawah |
| 3 | 16:42:00 | 49,92 | 580 | 585 | 570 | 580 | Frek. Bawah |
| 4 | 16:43:00 | 49,92 | 580 | 581 | 570 | 580 | Frek. Bawah |
| 5 | 16:44:00 | 49,90 | 580 | 583 | 570 | 580 | Frek. Bawah |

Pada tabel 8 dengan kondisi AGC “ON” dan FG “OFF”, terlihat bahwa nilai Pset dan Pact berfluktuasi antara 575 MW hingga 580 MW dengan frekuensi berkisar antara 49,93 Hz hingga 50,00 Hz menunjukkan stabilitas frekuensi relatif konsisten dikarenakan pengaruh dari AGC.

Pada tabel 9 dengan kondisi AGC & FG “ON” frekuensi turun lebih rendah, mencapai 49,89 Hz unit pembangkit merespon dalam batasan AGC dan ketika batasan tersebut tercapai FG akan merespon melebihi setting HOL unit pembangkit sebesar 6 MW dari Pset UIP2B PLN.

Pengujian dalam tabel 10 frekuensi dan output beban unit pembangkit tampak berfluktuasi dengan rentang yang lebih sempit, menandakan dampak signifikan dari FG dalam menjaga stabilitas frekuensi dengan merespon penambahan daya aktif keluaran unit sebesar 5 MW. Gambar 6 menunjukkan grafik dari ketiga respon tabel diatas



Gambar 5. Grafik (a) AGC “ON” & FG “OFF” tabel 8; (b) AGC & FG “ON” tabel 9; (c) AGC “OFF” & FG “ON” tabel 10

3.5. Pengujian Load Rejection Test (LRT)

Pada saat pengujian *load rejection test* dari pembangkit PLTGU Tambaklorok Blok #3 dilakukan pada beban 746 MW, pengamatan terhadap respon AGC dan FG terhadap fluktuasi frekuensi jaringan terhadap respon beban yang diberikan oleh PLTU Cilacap 3. Selama pengujian yang dilakukan oleh PLN UIP2B, setiap pembangkit yang sudah beroperasi dengan AGC dan FG diwajibkan mengaktifkannya. Sebelum pengujian, kondisi

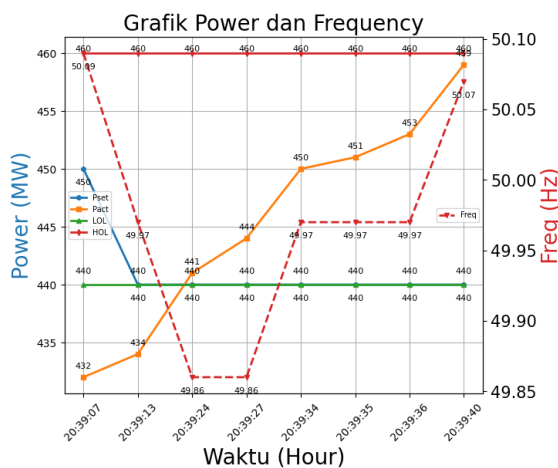
normal frekuensi jaringan berada pada nilai 50.25 Hz. Selama uji coba, cadangan daya tanggap cepat yang tersedia adalah sebesar 1050 MW.

Pengujian ini juga bertujuan untuk memahami bagaimana sistem kestabilan listrik Jawa Bali dalam merespon fluktuasi frekuensi pada saat salah satu pembangkit yang terhubung ke jaringan terlepas atau trip. Pada saat terjadi trip ini diperkirakan frekuensi akan mengalami penurunan sampai dengan 0.27 Hz, sehingga pengujian akan menggunakan respon frekuensi bawah. Kondisi unit diatur dengan *low operating limit* (LOL) 440 MW dan *High Operating Limit* (HOL) 460 MW sedangkan Pset UIP2B PLN terhadap unit sebesar 440 MW sampai dengan 450 MW sehingga respon dari frekuensi dan Pact dapat diamati seperti dalam tabel 11 dengan kondisi AGC & FG “ON”.

Tabel 11. Pengujian load rejecton test 746 MW mode AGC “OFF” dan FG “ON”

| No | Waktu | Frek. | Pset | Pact | LOL | HOL | Keterangan |
|----|----------|-------|------|------|-----|-----|-------------|
| 1 | 20:39:07 | 50,09 | 450 | 432 | 440 | 460 | Frek. Bawah |
| 2 | 20:39:13 | 49,97 | 440 | 434 | 440 | 460 | Frek. Bawah |
| 3 | 20:39:24 | 49,86 | 440 | 441 | 440 | 460 | Frek. Bawah |
| 4 | 20:39:27 | 49,86 | 440 | 444 | 440 | 460 | Frek. Bawah |
| 5 | 20:39:34 | 49,97 | 440 | 450 | 440 | 460 | Frek. Bawah |
| 6 | 20:39:35 | 49,97 | 440 | 451 | 440 | 460 | Frek. Bawah |
| 7 | 20:39:36 | 49,97 | 440 | 453 | 440 | 460 | Frek. Bawah |
| 8 | 20:39:40 | 50,07 | 440 | 459 | 440 | 460 | Frek. Bawah |

Dalam tabel 11 terlihat bagaimana respon frekuensi dan daya aktual (Pact) berubah sepanjang pengujian. Frekuensi berfluktuasi dari 50,09 Hz menjadi 49,86 Hz sementara Pact bervariasi dari 432 MW hingga 459 MW. Respon dari sistem AGC dan FG adalah dengan menambah daya aktif sebesar 27 MW untuk membantu menstabilkan frekuensi jaringan kembali ke nilai ke 50,07 Hz. Gambar 6 menunjukkan grafik respon pada saat pengujian LRT terhadap respon unit PLTU Cilacap 3.



Gambar 6. Grafik Respon Uji LRT Terhadap PLTU Cilacap 3

Dengan adanya respon yang cepat dan efisien dari sistem AGC dan FG di PLTU Cilacap unit 3, pembangkit ini berhasil berperan sangat penting dalam menjaga kestabilan sistem jaringan listrik di wilayah Jawa Bali.

4. KESIMPULAN

Pengaturan frekuensi merupakan aspek kritis dalam operasional jaringan listrik di wilayah Jawa Bali, dengan frekuensi stabil antara 49 Hz hingga 51 Hz. Implementasi AGC dan FG di PLTU Cilacap 3 telah menunjukkan respon yang efektif dan efisien dalam menghadapi fluktuasi frekuensi atas maupun frekuensi bawah serta pada kondisi normal maupun darurat seperti terlihat pada proses *load rejection test*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Isnandar, "Grid Code Jawa Madura Bali 2022 urgensi dan tantangan grid code compliance," 15 April 2021. [Online]. Available: https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/c67cf-materi-gm-p2b.pdf. [Diakses 8 Oktober 2023].
- [2] P. P. (Persero), "Statistik PLN," 2022. [Online]. Available: <https://web.pln.co.id/statics/uploads/2023/05/Statistik-PLN-2022-Final-2.pdf>. [Diakses 8 Oktober 2023].
- [3] O. A. Erlina, "Pengaruh Pola Operasi Load Limit dan Free Governor terhadap Kinerja Turbin Gas PLTGU Muarakarang," *Energi & Kelistrikan*, vol. 8, no. 1, pp. 9-14, 2016.
- [4] P. P. (. U. I. P. Beban, "id.scribd.com," 4 Agustus 2019. [Online]. Available: <https://id.scribd.com/document/420975535/asesmen-awal>. [Diakses 8 Oktober 2023].
- [5] I. a. A. B. M. Nrartha, "Pengaruh Power System Stabilizer Pada Sistem Tenaga Listrik dengan Unit Pembangkit Tersebar," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 9 no 1, pp. 12-21, 2010.
- [6] S. a. I. G. M. Rositawati, "Dampak Variasi Beban dan Keterbatasan Pembangkit terhadap Kontrol Frekuensi Sistem Menggunakan Automatic Generation Control," *SUTET*, vol. vol 12, 2022.
- [7] I. N. S. I. M. M. Made Dewi Novantara, "Analisis Stabilitas Sistem Tenaga Listrik dengan Automatic Generation Control (AGC) Dua Area Menggunakan Metode Fuzzy Logic Controler," 2018.
- [8] H. Saadat, *Power System Analysis Third Edition*, United State of America: PSA Publishings, 2010.
- [9] Y. Tang, *Voltage Stability Analysis of Power System*, Beijing: Science Press, Springer, 2021.
- [10] P. Kundur, *Power System Stability and Control*, McGraw-Hill, Inc., 2007.