

LAPORAN TUGAS AKHIR
IMPLEMENTASI KONTROL FREKUENSI SISTEM MENGGUNAKAN
METODE AGC (*AUTOMATIC GENERATION CONTROL*) PADA PLTA
SAGULING

Laporan Ini Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana (S1) Pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung



DISUSUN OLEH :

HARDIN AGUNG MAHENDRA

30602200163

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG

2025



FINAL PROJECT
IMPLEMENTATION OF SYSTEM FREQUENCY CONTROL USING THE
AGC (AUTOMATIC GENERATION CONTROL) METHOD AT THE
SAGULING HEPP

Proposed to complete the requirement of obtain a bachelor's degree (S1) at
Majoring of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology
Universitas Islam Sultan Agung



Arranged By :

HARDIN AGUNG MAHENDRA

30602200163

MAJORING OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG

2025

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Hadin Agung Mahendra
NIM : 30602200163
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang diajukan dengan judul **“IMPLEMENTASI KONTROL FREKUENSI SISTEM MENGGUNAKAN METODE AGC (*AUTOMATIC GENERATION CONTROL*) PADA PLTA SAGULING”** adalah hasil karya sendiri, tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi lain maupun ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini adalah milik saya segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tugas Akhir ini adalah tanggung jawab saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 6 Febuari 2025

Yang Menyatakan



Hadin Agung Mahendra

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “IMPLEMENTASI KONTROL FREKUENSI SISTEM MENGGUNAKAN METODE AGC (*AUTOMATIC GENERATION CONTROL*) PADA PLTA SAGULING” ini disusun oleh:

Nama : Hardin Agung Mahendra
NIM : 30602200163
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Senin
Tanggal : 20 Januari 2025

Mengetahui,
Ka Program Studi Teknik Elektro

Disahkan dan disetujui oleh,
Dosen Pembimbing



Lenny Putri Hapsari, S.T., M.T.
NIDN : 0607018501

Agus Suprajitno, ST., MT.
NIDN : 0602047301

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “IMPLEMENTASI KONTROL FREKUENSI SISTEM MENGGUNAKAN METODE AGC (*AUTOMATIC GENERATION CONTROL*) PADA PLTA SAGULING” ini telah dipertahankan di depan Penguji siding Tugas Akhir pada :

Hari : Kamis

Tanggal : 6 Febuari 2025

Tim Penguji

Tanda Tangan

Ir. Budi Pramono Jati, MM., MT.

NIDN : 0623126501

Ketua



Jenny Putri Hapsari, ST., MT.

NIDN : 0607018501

Penguji 1

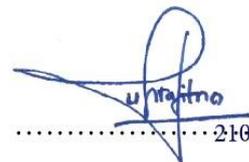


200225

Agus Supratjitno, ST., MT.

NIDN : 0602047301

Penguji II



210225



HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji Syukur kepada Allah SWT atas segala Rahmat, Berkah dan Kasih sayangnya yang telah memberikan kesabaran, kesehatan dan kekuatan sehingga Tugas Akhir ini sebagai syarat untuk mendapatkan gelas Sarjana dapat diselesaikan.

Setelah mengucapkan Syukur kepada Allah SWT tak lupa juga mengucapkan terima kasih kepada Ibu, Bapak, Istri dan Anak tercinta yang terus memberikan dukungan dan doa serta setia mendampingi.

Selain itu kami ucapkan terima kasih kepada rekan – rekan yang bersama – sama mengerjakan Tugas Akhir ini untuk saling mendukung dan semua pihak yang sudah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.



HALAMAN MOTTO

"Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat." (Q.S. Al-Mujadalah ayat 11)

"Seungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum, sebelum mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri." (QS Ar -Rad 11)



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul **“IMPLEMENTASI KONTROL FREKUENSI SISTEM MENGGUNAKAN METODE AGC (AUTOMATIC GENERATION CONTROL) PADA PLTA SAGULING”** dalam rangka memenuhi tugas semester enam dan sebagai syarat kelulusan pendidikan diploma dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung penyusunan Tugas Akhir ini, diantaranya :

1. Ibu Dr. Ir. Hj.Novi Marlyana, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Agus Suprajitno, ST., MT. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
4. Managemen dan karyawan PT PLN Indonesia Power UBP Saguling yang telah membimbing dalam kegiatan penyusunan Tugas Akhir.
5. Ibu Eni Yuliyati dan Bapak Mahfuri selaku kedua orang tua tercinta yang selalu memberikan dukungan selama proses perkuliahan dan penyusunan Tugas
6. Nima Aulia Desi dan Adam Aulia Hardin selaku istri dan anak tercinta yang selalu memberikan dukungan selama proses perkuliahan dan penyusunan Tugas Akhir.
7. Semua pihak yang telah membantu.

Semoga Allalh SWT memberkahi dan membalas semua kebaikan yang telah dilakukan.

Semarang, 20 Januari 2025

Penulis

DAFTAR ISI

LAPORAN TUGAS AKHIRi

*FINAL PROJECT*i

SURAT PERNYATAANError! Bookmark not defined.

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBINGiii

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJIError! Bookmark not defined.

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAHvi

HALAMAN PERSEMBAHANvii

HALAMAN MOTTOviii

KATA PENGANTARix

DAFTAR ISIx

DAFTAR TABELxii

DAFTAR GAMBARxiii

ABSTRAKxv

*ABSTRACT*xvi

BAB I PENDAHULUAN1

1.1.111

1.2.222

1.3.222

1.4.333

1.5.333

1.6.333

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI5

2.1.555

2.2.666

2.2.1.666

2.2.2.777

2.2.3.161616

2.2.4.17171717

2.2.5.181818

2.320202020



2.42222222	
2.5	Modus Senso.....23
BAB III METODE PENELITIAN 24	
3.1	24
3.2	26
3.2.1	26
3.2.2	29
3.2.3	34
BAB IV DATA DAN ANALISA 36	
4.1	36
4.2	36
4.2.1	36
4.2.2	41
4.2.3	41
4.3	44
4.4	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 48	
5.1	48
5.2	48
DAFTAR PUSTAKA 50	
LAMPIRAN 52	



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1999

Tabel 2.2101010

Tabel 3.1272727

Tabel 4.1373737

Tabel 4.2383838

Tabel 4.3393939

Tabel 4.4404040



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1777

Gambar 2.199999

Gambar 2.2121212

Gambar 2.3131313

Gambar 2.4141414

Gambar 2.5151515

Gambar 2.6161616

Gambar 3.1262626

Gambar 3.2Error! Bookmark not defined.Error! Bookmark not defined.Error!
Bookmark not defined.

Gambar 3.330303030

Gambar 3.43232323232

Gambar 3.53333333333

Gambar 3.634343434

Gambar 4.1424242

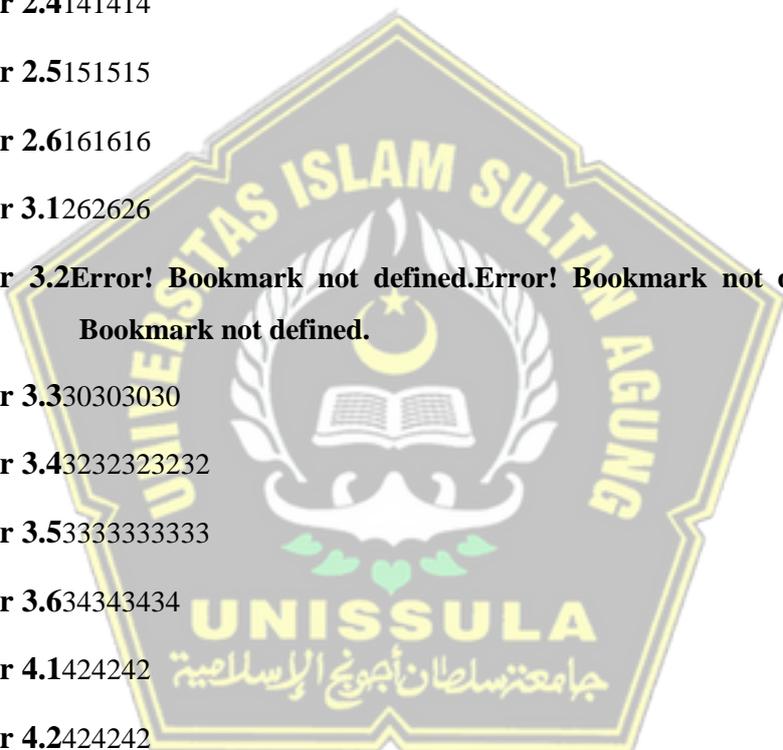
Gambar 4.2424242

Gambar 4.3434343

Gambar 4.4444444

Gambar 4.545454545

Gambar 4.6474747



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Berita Acara Pengujian AGC Unit 1 PLTA Saguling52

Lampiran 2. 5353

Lampiran 3. Falidasi data pengujian sistem governor PLTA Saguling53



ABSTRAK

Sesuai dengan peraturan menteri energi dan sumber daya mineral Republik Indonesia Nomor 20 tahun 2020 tentang aturan jaringan sistem tenaga listrik (*grid code*) di Indonesia, bahwasanya frekuensi sistem dipertahankan dalam kisaran kurang lebih 0.2 Hz disekitar 50 Hz, kecuali dalam periode *transient* yang singkat, dimana penyimpangan sebesar kurang lebih 0.5 Hz atau lebih diizinkan, serta selama kondisi darurat. Pengontrol frekuensi sistem ini dapat dicapai dengan dua cara, yaitu dari sisi governor unit pembangkit (kontrol primer) dan unit pembangkit yang memiliki AGC (kontrol sekunder). Dengan PLTA Saguling melakukan migrasi sistem LFC ke AGC dengan memodifikasi logic pada aplikasi Unity Pro XL dan design HMI menggunakan aplikasi Vijeo Scada 7.2, dimana sistem AGC meregulasi perubahan frekuensi sistem dengan cara mendapatkan *setpoint* perubahan beban dan beban pembangkit akan meregulasi mengikuti perubahan *setpoint* tersebut. Berdasarkan penelitian yang dilakukan pengujian transfer data AGC diperoleh tingkat keberhasilan setiap unit 92,3%, dan dapat meregulasi perubahan frekuensi sistem yang terjadi pada jum'at tanggal 13 mei tahun 2022, pukul 09:55 WIB terjadi penurunan frekuensi 50.021 – 49.766 Hz dengan adanya trip pada pembangkit PLTU PEC #8 dengan beban 510 MW. Dimana empat unit PLTA Saguling dapat merespon beban dari 140 MW ke beban maksimum 172 MW dengan kenaikan beban 42 MW dengan mode freegov dan AGC.

Kata kunci : *Frekuensi system, system JAMALI, AGC, LFC, PLTA Saguling*



ABSTRACT

In accordance with the regulation of the Minister of Energy and Mineral Resources of the Republic of Indonesia Number 20 of 2020 concerning the rules of the electric power system network (grid code) in Indonesia, that the system frequency is maintained in the range of approximately 0.2 Hz around 50 Hz, except in short transient periods, where deviations of approximately 0.5 Hz or more are permitted, as well as during emergency conditions. This system frequency controller can be achieved in two ways, namely from the governor side of the generating unit (primary control) and the generating unit that has AGC (secondary control). With the Saguling Hydroelectric Power Plant migrating the LFC system to AGC by modifying the logic in the Unity Pro XL application and the HMI design using the Vijeo Scada 7.2 application, where the AGC system regulates changes in system frequency by obtaining the setpoint of load changes and the generating load will regulate following the changes in the setpoint. Based on the research conducted, the AGC data transfer test obtained a success rate of 92.3% for each unit, and can regulate changes in system frequency that occurred on Friday, May 13, 2022, at 09:55 WIB, there was a decrease in frequency of 50,021 - 49,766 Hz with a trip at the PEC #8 PLTU generator with a load of 510 MW. Where four Saguling PLTA units can respond to loads from 140 MW to a maximum load of 172 MW with a load increase of 42 MW with freegov and AGC modes.

Keywords: Frequency system, system JAMALI, AGC, LFC, Saguling HEPP



BAB I

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

PLTA Saguling sebagai salah satu pembangkit yang terintegrasi dalam interkoneksi jaringan 500 kV Jawa-Madura-Bali (JAMALI) merupakan salah satu pembangkit strategis dengan kapasitas 700 MW. PLTA Saguling sebagai pembangkit listrik tenaga air memiliki efisiensi yang tinggi dan juga bertugas sebagai pemikul beban puncak pada jaringan 500 kV. Selain itu, PLTA Saguling juga memiliki fasilitas Line Charging yang memungkinkan PLTA Saguling dapat start unit secara individu ketika terjadi blackout jaringan 500 kV JawaBali.

Mengingat peran PLTA Saguling yang sangat vital, maka keandalan unit pembangkitnya harus selalu dijaga. Sesuai dengan peraturan menteri energi dan sumber daya mineral Republik Indonesia Nomor 20 tahun 2020 tentang aturan jaringan sistem tenaga listrik (grid code) di Indonesia, bahwasannya frekuensi sistem dipertahankan dalam kisaran kurang lebih 0.2 Hz disekitar 50 Hz, kecuali dalam periode transient yang singkat, dimana penyimpangan sebesar kurang lebih 0.5 Hz atau lebih diizinkan, serta selama kondisi darurat. Pengontrol frekuensi ini dapat dicapai dengan dua cara, yaitu aksi governor unit pembangkit (pengendali primer) dan unit pembangkit yang memiliki AGC (pengendali sekunder)[1].

Dengan diberlakukannya grid code yang baru, maka sistem LFC yang dulunya merupakan pengendali sekunder mulai harus dimigrasi ke sistem pengendali sekunder yang baru yaitu disebut sebagai sistem AGC (Automatic Generation Control). Sistem AGC mampu mengontrol frekuensi sistem dengan lebih baik, dimana dengan kemampuan PLTA yang bisa merespon perubahan frekuensi sistem dengan cepat maka sangat penting untuk segera

dilakukan implementasi pengontrol frekuensi sistem dengan metode AGC. Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis mendapatkan gagasan untuk membuat dan mengimplementasikan mode AGC untuk 4 unit mesin pembangkit PLTA Saguling dengan merancang proyek hingga pembuatan program secara mandiri. Gagasan tersebut kemudian melahirkan makalah tugas akhir ini dengan judul “Implementasi kontrol frekuensi sistem menggunakan metode AGC (*Automatic Generation Control*) Pada PLTA Saguling”.

1.2. Perumusan Masalah

Sesuai dengan peraturan menteri energi dan sumber daya mineral Republik Indonesia Nomor 20 tahun 2020 tentang aturan jaringan sistem tenaga listrik (grid code) di Indonesia, bahwasannya frekuensi sistem dipertahankan dalam kisaran kurang lebih 0.2 Hz disekitar 50 Hz, kecuali dalam periode transient yang singkat, dimana penyimpangan sebesar kurang lebih 0.5 Hz atau lebih diizinkan, serta selama kondisi darurat.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka didapatkan rumusan masalah antara lain sebagai berikut :

1. Bagaimana tingkat keberhasilan implementasi AGC (*Automatic Generation Control*) pada PLTA Saguling?
2. Bagaimana dampak yang ditimbulkan setelah implementasi sistem kontrol frekuensi mode AGC diterapkan pada 4 unit mesin pembangkit PLTA Saguling?

1.3. Pembatasan Masalah

Dalam penyusunan penelitian ini, telah ditentukan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Software CitectSCADA 7.2 untuk design HMI.
2. Software Unity ProXL untuk perubahan logic diagram.
3. Jaringan infrastruktur komunikasi PLTA Saguling – GISTET Saguling.
4. Peraturan menteri ESDM RI Nomor 20 tahun 2020 tentang aturan jaringan sistem tenaga listrik (grid code)

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui proses migrasi dan implementasi regulasi sekunder mode AGC untuk 4 unit mesin pembangkit PLTA Saguling.
2. Mengetahui dampak yang ditimbulkan setelah implementasi regulasi sekunder mode AGC diterapkan pada 4 unit mesin pembangkit PLTA Saguling.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk meningkatkan kinerja regulasi governor pembangkit dengan perubahan frekuensi sistem.
2. Untuk mengimplementasikan peraturan ESDM nomor 20 tahun 2020 tentang aturan sistem tenaga listrik (grid code).

1.6. Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian dan manfaat penelitian serta tercantum sistematika dalam penulisan laporan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Bab ini memuat tentang tinjauan pustaka dari penelitian serupa yang telah dilakukan terdahulu, *Generation Load Mismatch*, Regulasi Primer, Regulasi Sekunder, Regulasi Sekunder, AGC (*Automatic Generation Control*), Sistem SCADA pada AGC.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang obyek penelitian, alat alat penelitian, data data penelitian, metode penelitian dan *flowchart*.

BAB IV DATA DAN ANALISA

Bab ini membahas mengenai pembahasan hasil penelitian, yaitu data data hasil pengujian dan analisa hasil dari pengujian implementasi AGC pada PLTA Saguling.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dalam pengembangan penelitian ini.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Pada penelitian sebelumnya di jurnal yang ditulis oleh Hakim & Firmansyah, telah dilakukan upgrade infrastruktur komunikasi untuk menunjang proses migrasi regulasi sekunder governor dari LFC ke AGC. Dimana pada jurnal ini diterkangkan baru sampai penggantian kabel komunikasi dari serial ke fiber optic agar komunikasi data lebih cepat, tetapi untuk regulasi masih menggunakan LFC belum AGC sesuai dengan gridcode tahun 2020 [2].

Pada penelitian implementasi AGC yang dilakukan oleh Helmi, telah dilakukan migrasi regulasi pembangkit terhadap perubahan frekuensi dari load frekuensi control (LFC) ke automatic generation control (AGC), dimana dilakukan modifikasi IO dan pembuatan dan modifikasi logic diagram, dengan menyesuaikan sinyal yang baru, tetapi saat pembuatan PID untuk mengatur penggunaan gas belum dijelaskan dan tidak diupgrade untuk bisa disetting ramping ratenya [3].

Zainudin telah melakukan penelitian keunggulan AGC dan kontribusinya untuk mempertahankan frekuensi sistem, dimana hasil dari penelitian ini adalah AGC pada PLTGU Grati Blok 2 berfungsi dengan baik dalam merespon target beban, serta kontribusinya dalam menjaga frekuensi jaringan tetap aman dan terpercaya, tetapi masih menggunakan komunikasi ada 2 yaitu multiplex dan Modbus tcp yang membuat komunikasi terlambat [4].

Penelitian yang disusun oleh Aulia menerangkan mengenai pasokan gas PLTGU tambak lorok yang digunakan untuk meregulasi frekuensi menggunakan sistem AGC, dimana pasokan gas ini menggunakan dua pasokan gas dari SPP

dan KJG serta satu CNG Plant, masing – masing sumber gas memiliki batasan-batasan operasinonal dan kontraktural, tetapi operator perlu melakukan perhitungan dalam pengaturan flow gas dan CNG agar unit dapat beroperasi sesuai rencana dan kebutuhan jaringan sekaligus terhindar dari kerugian akibat TOP dan surecharge. Belum berlakunya digitalisasi dan otomatisasi dalam pengaturan gas untuk mengurangi potensi gangguan [5].

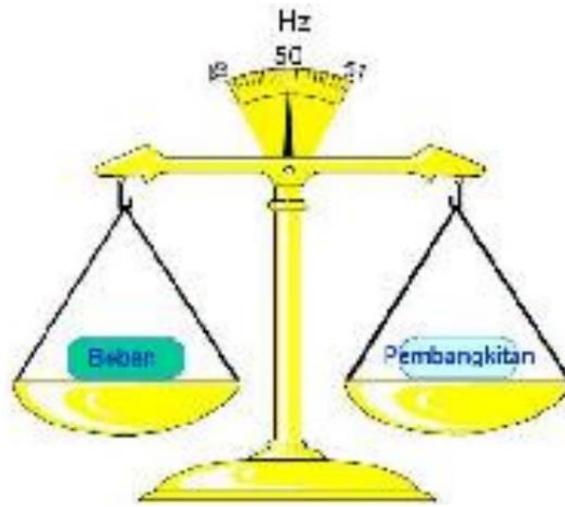
penelitian yang disusun oleh Rosadi menyatakan bahwa Penjadwalan beban AGC akan dilakukan otomatis via Rapsodi, sehingga pengaturan CNG bisa otomatis juga. PLTGU yang beroperasi dengan HSD tidak mengaktifkan AGC. Respons setpoint JCC saat shutdown unit masih terlambat. Respons setpoint JCC masih terlambat saat proses shutdown unit, yang berakibat beban GTG yang masih beroperasi naik mencapai batas atas operasi. Komunikasi dan kajian bersama dispatcher perlu dilakukan untuk mengatasi masalah ini [6].

2.2. Landasan Teori

2.2.1. *Generation Load Missmaeth*

Kestabilan sistem tenaga listrik dinilai dari dua parameter yaitu, tegangan dan frekuensi. Kestabilan tenaga listrik sangatlah penting untuk kesetabilan sistem kelistrikan, dan ketidak kestabilan ini dipengaruhi oleh adanya gangguan kecil maupun besar, untuk menjaga agar sistem tenaga listrik ini stabil diperlukan sistem regulasi yang tepat. Sistem regulasi ini diperlukan untuk menjaga kestabilan listrik ketika terjadi gangguan dan bisa merespon dengan cepat dan handal[7].

Frekuensi listrik merupakan besaran yang terus menerus berubah sesuai dengan perubahan beban, sistem regulasi menjaga kestabilan frekuensi pada nilai frekuensi nominal, frekuensi nominal di Indonesia adalah 50Hz. Sesuai pada gambar 2.1 menunjukkan neraca frekuensi, dimana menunjukkan hubungan dimana beban yang dibangkitkan harus sama dengan beban yang di salurkan, apabila beban yang disalurkan lebih besar maka frekuensi akan turun dan begitu pula sebaliknya[8].



Gambar 2.1 Neraca Frekuensi [2]

2.2.2. Regulasi Primer

Regulasi primer atau yang juga biasa disebut sebagai sistem *governor free*. Sistem *governor free* melakukan pengaturan daya keluaran berdasarkan selisih frekuensi yang dibaca oleh *Speed Signal Generator* (SSG) dengan frekuensi nominal. Nama lain dari SSG diantaranya adalah *Permanent Magnet Generator* (PMG) seperti yang digunakan di PLTA Saguling. PMG terletak satu poros dengan turbin sehingga kecepatan putar turbin sama dengan kecepatan putar PMG. PMG berputar menghasilkan frekuensi (f_p). Frekuensi hasil keluaran PMG dibandingkan dengan frekuensi nominal (f_o). Apabila terjadi deviasi antara f_p dengan f_o , sistem governor akan melakukan regulasi untuk mengatasi hal tersebut.

Regulasi primer biasanya merupakan fungsi logic yang tertanam pada sistem governor atau yang juga biasa disebut sebagai *Governor Regulator Control System* (GRC). Pada regulasi primer terdapat beberapa istilah dan parameter penting yang mempengaruhi kinerja dan karakteristik regulasi dari masing masing unit. Beberapa parameter itu antara lain *speed droop*, *participant factor*, *deadband*, *governor action*.

a. Speed Droop

Kemampuan *governor* untuk melakukan regulasi dipengaruhi oleh nilai *speed droop*. *Speed droop* adalah suatu parameter yang menunjukkan nilai perubahan kecepatan atau frekuensi yang dibutuhkan oleh *governor* untuk menggerakkan *Guide Vane (GV)* dari posisi *full close* menjadi *full open* atau sebaliknya. *Speed droop* identik dengan tingkat kepekaan *governor* dalam merespon perubahan frekuensi. Semakin kecil nilai *speed droop* menyebabkan *governor* lebih cepat merespon perubahan nilai frekuensi. Nilai *speed droop* pembangkit ditentukan minimal 5% menurut aturan jaringan tahun 2007 (*Grid Code*). Formula untuk menghitung nilai *speed droop* ditunjukkan sebagai berikut :

$$s = \frac{R1 - R2}{R} \cdot 100\% \quad (2.1)$$

s = *speed droop* (%)

$R1$ = kecepatan putar tanpa beban (rpm)

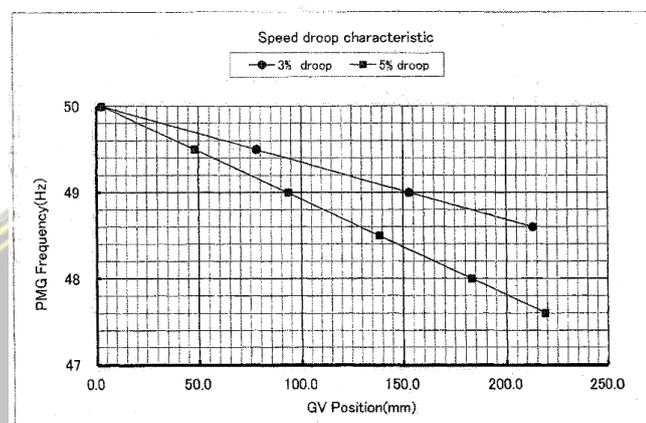
$R2$ = kecepatan putar saat beban penuh (rpm)

R = kecepatan putar nominal (rpm)

Karakteristik *speed droop* pembangkit Unit-1 PLTA Saguling terhadap penurunan nilai frekuensi ditunjukkan oleh Gambar 2.1 Dilakukan pengujian karakteristik respon Unit-1 dengan setting nilai *speed droop* 3% dan 5%. Nilai frekuensi keluaran PMG diturunkan secara bertahap dari frekuensi nominal, selanjutnya diamati respon *governor* terhadap penurunan tersebut. Respon *governor* berupa perubahan posisi *GV*. Posisi awal *GV* adalah *full close* tanpa beban. Tabulasi hasil pengujian *speed droop* pembangkit Unit-1 PLTA Saguling terhadap penurunan nilai frekuensi ditunjukkan oleh Tabel 2.1[9].

Tabel 2.1 Hasil pengujian speed droop unit 1 PLTA Saguling terhadap penurunan nilai frekuensi

Speed Droop 3%						
PMG Frequency (Hz)	50,0	49,5	49,0	48,6		
GV position (%)	1,1	35,0	68,6	95,5		
GV position (mm)	2,5	78,0	153,0	213,0		
Speed Droop 5%						
PMG Frequency (Hz)	50,0	49,5	49,0	48,5	48,0	47,6
GV position (%)	1,1	21,5	41,9	62,1	82,1	98,2
GV position (mm)	2,5	48,0	93,5	138,5	183,0	219,0



Gambar 2.1 Karakteristik *Speed Droop* [9]

Dengan *setting speed droop* 3%, penurunan frekuensi sebesar 1,4 Hz (dari frekuensi nominal) menyebabkan persentase *opening* dari GV mencapai 95,5% (mendekati *full open*). Sedangkan dengan *setting speed droop* 5%, penurunan frekuensi sebesar 2,4 Hz (dari frekuensi nominal) menyebabkan persentase *opening* dari GV mencapai 98,2% (mendekati *full open*). Data tersebut menunjukkan bahwa semakin kecil nilai *setting speed droop* menyebabkan respon governor untuk berubah dari posisi awal *full close* menjadi *full open* menjadi semakin cepat.

Karakteristik *speed droop* pembangkit Unit-1 PLTA Saguling terhadap kenaikan nilai frekuensi ditunjukkan oleh Gambar 2.1 Dilakukan pengujian karakteristik respon Unit-1 dengan setting nilai *speed droop* 3% dan 5%. Nilai frekuensi keluaran PMG dinaikkan secara bertahap dari frekuensi nominal, selanjutnya diamati respon governor terhadap kenaikan tersebut. Respon governor berupa perubahan posisi GV. Posisi awal GV adalah *full open* dengan beban penuh.

Tabulasi hasil pengujian *speed droop* pembangkit Unit-1 PLTA Saguling terhadap kenaikan nilai frekuensi ditunjukkan oleh Tabel 2.2[9].

Tabel 2.2 Hasil pengujian speed droop unit 1 PLTA Saguling terhadap kenaikan nilai frekuensi

Speed Droop 3%			Speed Droop 5%		
PMG Freq. (Hz)	GV position (PU)		PMG Freq. (Hz)	GV position (PU)	
	Criteria	Factory		Criteria	Factory
50.0	0.98~1.00~1.02	1.000	50.0	0.98~1.00~1.02	1.000
50.5	0.64~0.66~0.68	0.666	50.5	0.78~0.8~0.82	0.801
51.0	0.31~0.33~0.35	0.330	51.0	0.58~0.6~0.62	0.601
51.5	-0.02~0.00~0.02	0.001	51.5	0.38~0.4~0.42	0.401

Speed Droop 3%			Speed Droop 5%		
PMG Freq. (Hz)	GV position (PU)		PMG Freq. (Hz)	GV position (PU)	
	Criteria	Factory		Criteria	Factory
52.0			52.0	0.18~0.20.22	0.198
52.5			52.5	-0.02~0.00~0.02	0.000

Dengan *setting speed droop* 3%, dibutuhkan kenaikan frekuensi sebesar 1,5 Hz (dari frekuensi nominal) agar GV berubah posisi dari *full open* menjadi *full close*. Sedangkan dengan *setting speed droop* 5%, dibutuhkan kenaikan frekuensi sebesar 2,5 Hz (dari frekuensi nominal) agar GV berubah posisi dari *full open* menjadi *full close*. Data tersebut menunjukkan bahwa semakin kecil nilai *setting speed droop* menyebabkan respon governor semakin cepat, perubahan dari posisi awal *full open* menjadi *full close*. Pada PLTA Saguling, nilai *setting speed droop* untuk Unit-1, Unit-2, Unit-3 dan Unit-4 adalah 2%. *Setting speed droop* 2% ini telah mengacu pada grid code tahun 2020 yang merupakan aturan jaringan terbaru. *Setting speed droop* 2% ini menjadikan PLTA Saguling memiliki langkah stroke lebih lebar terhadap perubahan frekuensi dibandingkan dengan *setting* 3% dan 4% yang sesuai rekomendasi OM. Biasanya pada PLTA diatur nilai *speed droop* yang relatif kecil karena PLTA dianggap mampu melakukan *fast respon governor free* karena didukung oleh ketersediaan energi primer dan sistem mekanik dalam proses konversi energi.

b. Faktor Partisipasi

Faktor partisipasi merupakan parameter yang menunjukkan nilai daya energi listrik yang harus disesuaikan oleh unit pembangkit untuk merespon setiap perubahan nilai frekuensi. Satuan faktor partisipasi adalah MW/Hz.

Formula untuk menghitung nilai faktor partisipasi adalah [10]:

$$k = \frac{1}{s} \cdot \frac{P_{nom}}{f_0} \quad (2.2)$$

k = faktor partisipasi (MW/Hz)

s = *speed droop* (%)

P_{nom} = daya nominal (MW)

f_0 = frekuensi nominal (Hz)

Sebagai contoh unit-1 PLTA Saguling, dengan nilai *speed droop* 2%, daya nominal 175 MW dan frekuensi nominal 50 Hz, maka didapatkan nilai faktor partisipasi sebagai berikut:

$$k = \frac{1}{s} \cdot \frac{P_{nom}}{f_0}$$

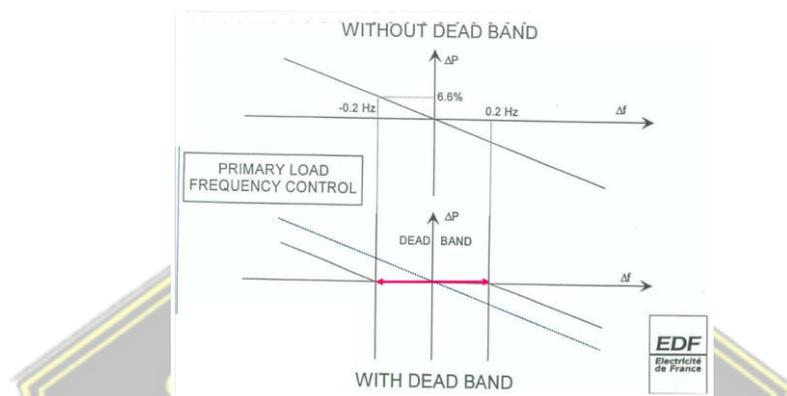
$$k = \frac{1}{0.02} \cdot \frac{175}{50}$$

$$k = 175 \text{ MW/Hz}$$

Dengan *setting speed droop* 2% maka didapatkan faktor partisipasi unit-1 PLTA Saguling adalah 175 MW/Hz. Apabila terjadi perubahan frekuensi sistem sebesar 1 Hz, maka Unit-1 akan melakukan regulasi dengan cara menaikkan atau menurunkan daya yang dibangkitkan sebesar 175 MW. Dengan kata lain, besarnya faktor partisipasi antara pembangkit bisa jadi berbeda walaupun diatur pada nilai *speed droop* yang sama. Berdasarkan formulasi diatas, nilai faktor partisipasi selain bergantung pada nilai *setting speed droop* bergantung juga pada daya nominal dari unit. Semakin besar daya nominal dari suatu unit maka semakin besar pula faktor partisipasi yang diberikan pada perubahan frekuensi di sistem[11].

c. *Speed Deadband* (Pita Mati)

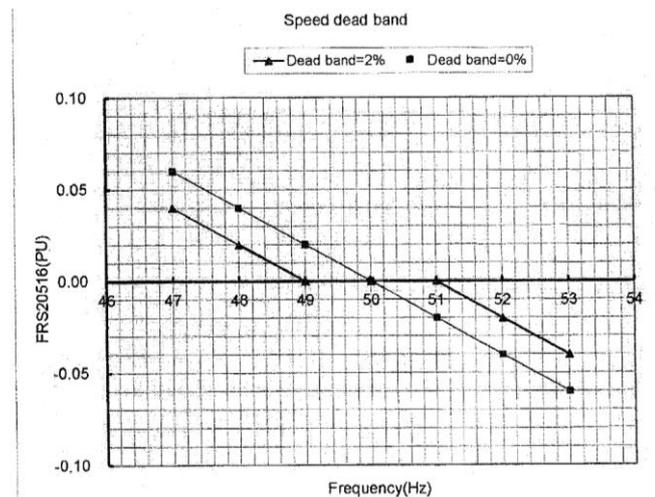
Secara harfiah *deadband* atau pita mati bisa diartikan sebagai rentan kondisi yang mengabaikan parameter masukan (*input*) sehingga tidak mengubah parameter keluaran (*Output*). Frekuensi *deadband* pada sistem *governor free* dapat diartikan rentan kondisi frekuensi dimana sistem *governor free* tidak melakukan regulasi.



Gambar 2.2 Grafik Nilai Rentang Kerja Deadband [10]

Dalam literasi lain *deadband* juga diartikan sebagai besarnya perubahan kecepatan dimana hasil perubahannya tidak bisa diukur pada posisi *Valve* atau *Gate* di satu titik tertentu. *Deadband* disebabkan oleh pergeseran *Coulomb* dan beberapa efek dari reaksi yang tidak baik dari governor, *valve* dan sistem relay hidrolik. Pengaturan *dead band* ini dimaksudkan agar tidak terjadi kelelahan dalam sistem mekanik hidrolik governor akibat respon terhadap setiap perubahan frekuensi. Sehingga pada rentan frekuensi tertentu diantara frekuensi nominal (50Hz) yang telah diatur dan dianggap aman, sistem governor akan dibuat tidak respon. Sehingga dalam rentan tersebut governor tidak akan meregulasi berapapun perubahan frekuensi.

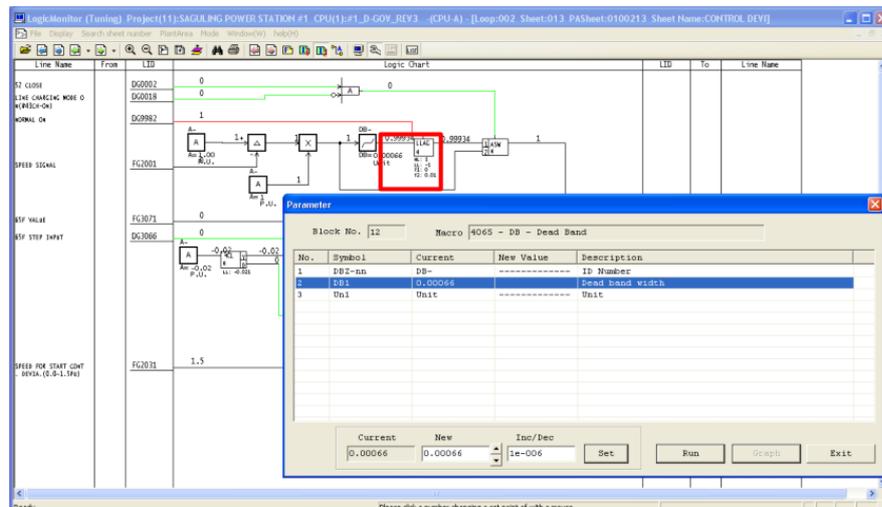
Sebagai contoh di PLTA saguling unit 1 pada saat *commissioning test* governor tahun 2012 dilakukan pengaturan *deadband* governor pada nilai 0% dan 2% dari frekuensi nominal. Berikut grafik hasil uji karakteristik *governor* untuk nilai *deadband* pada 0% dan 2% [9].



Gambar 2.3 Grafik karakteristik deadband Unit 1 PLTA Saguling [9]

Dari hasil uji *commissioning test* PLTA Saguling unit 1, bisa diketahui bahwa pada *setting* nilai *deadband* di 0%, governor mengeluarkan nilai regulasi disemua rentan nilai frekuensi. Sehingga setiap perubahan nilai frekuensi walaupun disekitar nilai nominal menyebabkan adanya *action* dari sistem governor. Sedangkan pada *setting* nilai *deadband* 2% atau di (1Hz), governor tidak melakukan *action* apapun pada rentan nilai frekuensi 49-51Hz (50 ± 1 Hz). Nilai rentan frekuensi inilah yang disebut sebagai *speed deadband*, dimana sistem governor akan *ignore regulation* pada nilai rentan frekuensi tersebut.

Sedangkan kondisi terkini hingga buku ini ditulis, nilai *speed deadband* yang diatur di unit 1 hingga unit 4 PLTA Saguling adalah pada nilai 0,066% atau pada nilai 0,033Hz. Nilai *setting* ini sudah sesuai dengan *grid code* tahun 2020 untuk jenis pembangkit listrik tenaga air. Dengan nilai *setting* ini maka seluruh unit PLTA Saguling akan tidak melakukan regulasi pada rentan nilai frekuensi 49,967-50,033Hz ($50 \pm 0,033$ Hz). Berikut adalah bukti *setting* nilai *deadband* pada *governor regulator*:



Gambar 2.4 Nilai Setting Deadband pada Logic Governor (Tosmap)

d. Governor Action

Governor action adalah regulasi yang dilakukan oleh governor akibat adanya perubahan frekuensi dengan nilai tertentu. Governor akan meregulasi besar daya energi listrik yang dibangkitkan berdasarkan nilai deviasi frekuensi (Δf) dan faktor partisipasi (k) [10].

Formula untuk menghitung *governor action* sebagai berikut :

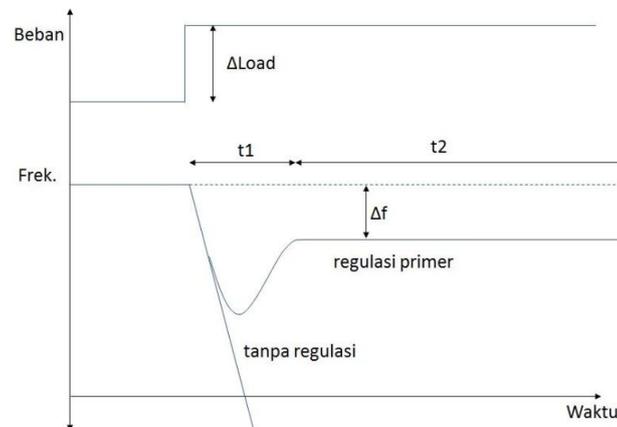
$$\Delta P = k \cdot \Delta f \quad (2.3)$$

ΔP = Governor action (MW)

k = Faktor partisipasi (MW/Hz)

Δf = Delta frekuensi terhadap nominal (Hz)

Grafik respon regulasi primer terhadap perubahan nilai pembebanan ditunjukkan oleh gambar berikut



Gambar 2.5 Grafik Respon Regulasi Primer Terhadap Perubahan nilai Pembebanan [10]

Ketika terjadi kenaikan nilai beban pada sistem, nilai frekuensi akan turun. Untuk pembangkit yang tidak memiliki regulasi, nilai frekuensi tersebut akan terus turun. Dengan adanya regulasi primer, nilai frekuensi tersebut akan terkoreksi dalam rentang waktu t_1 . Namun, masih terdapat *error steady state* berupa deviasi frekuensi dengan frekuensi nominal dikarenakan karakteristik dari *speed droop*.

Sebagai contoh kasus, PLTA Saguling *disetting* pada nilai *speed droop* 2% sehingga memiliki nilai faktor partisipasi 175MW/Hz. Jika di *grid* terbaca bahwa nilai frekuensi berada di f_1 49.8 Hz. Didapatkan nilai $\Delta f = f_1 - f_0 = 49.8 - 50 = -0.2$ Hz. Pada contoh kasus tersebut, maka *governor action* dari PLTA Saguling adalah sebagai berikut:

$$\Delta P = k \cdot \Delta f \quad (2.4)$$

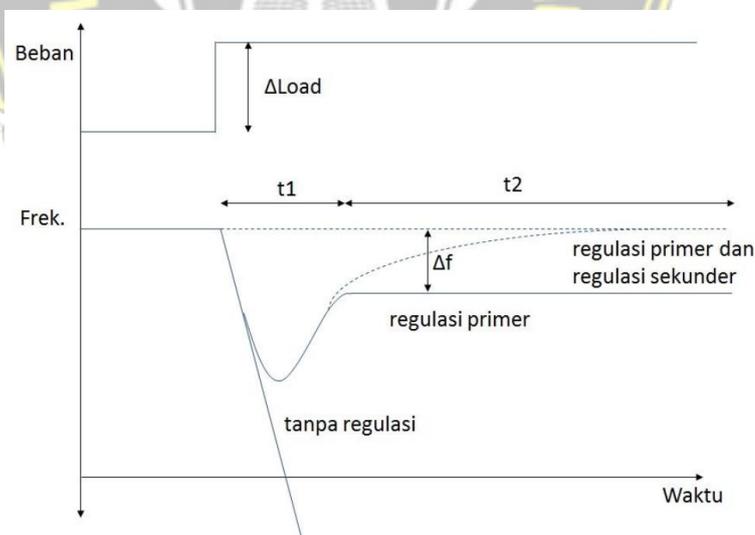
$$\Delta P = 175 \cdot -0.2$$

$$\Delta P = 35 \text{ MW}$$

Dari hasil perhitungan tersebut, jika terjadi penurunan nilai frekuensi 0.2 Hz dari frekuensi nominal maka Unit PLTA Saguling akan merespon untuk naik beban 35 MW dari beban awal. Tanda “-” pada kalkulasi menunjukkan penurunan, sedangkan tanda “+” menunjukkan kenaikan.

2.2.3. Regulasi Sekunder

Regulasi sekunder merupakan regulasi frekuensi pada sistem governor yang merupakan backup dan penyempurnaan dari regulasi primer. Regulasi sekunder yang ditetapkan di Indonesia disebut sebagai *Automation Generation Control* (AGC). Regulasi sekunder dalam sistem regulasi beban oleh governor bertugas untuk mengembalikan nilai frekuensi pada nominal. Bisa dikatakan bahwa regulasi sekunder akan melengkapi dan menyempurnakan regulasi primer. Regulasi primer hanya bertugas untuk mencegah nilai frekuensi *grid* jatuh bebas atau terlalu tinggi dengan respon cepat yang dimiliki oleh governor. Namun jika hanya regulasi primer yang diterapkan maka nilai frekuensi pada *grid* tidak akan kembali ke nilai nominal pasca terjadi gangguan. Disinilah tugas dari regulasi sekunder untuk mengembalikan nilai frekuensi *grid* ke nilai nominal dengan cara memberikan perintah *set point* beban secara terdistribusi pada masing-masing pembangkit yang terkoneksi ke *grid*.



Gambar 2.6 Grafik fungsi dan peran regulasi sekunder [10]

Dari grafik tersebut, bisa kita ketahui fungsi dan peranan dari regulasi sekunder sngatlah penting dalam menjaga kehandalan interkoneksi 500kv. Dengan adanya regulasi sekunder maka setiap pembangkit akan bergotong royong memikul

beban grid dengan komando oleh pusat pengontrol jaringan, dengan contoh untuk sistem interkoneksi JAMALI oleh JCC (*Java Control Center*) di Gandul.

2.2.4. AGC (*Automatic Generation Control*)

Secara sederhana *Automation Generation Control* bisa diartikan sebagai mekanisme pengaturan beban pembangkit di suatu sistem interkoneksi jaringan secara terpusat. Dengan demikian terdapat suatu pusat *control* sistem jaringan tertentu yang bertugas untuk mendistribusikan perintah beban daya yang harus dibangkitkan oleh masing-masing unit pembangkit yang terkoneksi didalamnya. Dari gambar 2.6, bisa dilihat bahwa *flowchart* dari sistem AGC memerlukan *feedback* sinyal *frekuensi grid* yang memang menjadi *set point* utama yang harus dijaga oleh AGC. Namun selain input *feedback* frekuensi sistem yang dibandingkan dengan frekuensi nominal, terdapat juga parameter lain seperti kondisi perkiraan cuaca, ketersediaan energi primer fosil dan lain-lain. Data-data tersebut digunakan untuk formulasi prioritas jenis pembangkit yang akan dioperasikan atau di *dispatch* bebannya.

Setelah pusat control AGC mendapatkan informasi terkait kondisi frekuensi sistem dan parameter-parameter lain, maka akan terdapat kalkulasi dengan *output* beban yang harus dibangkitkan oleh masing-masing pembangkit. Sinyal *output* yang dikirimkan oleh pusat kontrol bisa berupa nilai Pset ataupun nilai N level. Untuk sinyal Pset maka sinyal sudah dalam bentuk nominal MW (beban) yang harus dibangkitkan oleh pembangkit tersebut. Sedangkan sinyal N level (*Niveau*) merupakan sinyal isyarat atau formulasi integratif dari parameter *controller* seluruh pembangkit yang terkoneksi ke jaringan. Sinyal N level merupakan konstanta pengkali dalam rentan (-1 ~+1) .

Pada awalnya hingga akhir tahun 2020 PLTA Saguling memiliki fitur regulasi sekunder yang biasa disebut sebagai LFC (*Load Frequency Control*). Pada sistem LFC ini maka formulasi regulasi beban diterapkan sebagai berikut:

$$P_g = P_o + N \cdot Pr - k \cdot \Delta f \quad (2.5)$$

P_g = *Power Generation*, nilai daya yang dibangkitkan (MW),

P_o = *Power Order*, nilai daya yang diperintahkan (MW),

N = *Niveau*, level isyarat atau formulasi integratif dari parameter *controller* seluruh pembangkit yang terkoneksi ke jaringan, nilai $N = -1 \sim +1$

P_r = *Power Regulation*, rentang regulasi (MW), dapat diset antara 0 – 40 MW atau maksimum sebesar 20 % dari MVA terpasang,

k = faktor partisipasi (MW/Hz),

Δf = deviasi frekuensi dengan frekuensi nominal (Hz).

Rentang kerja dari sistem LFC ditunjukkan oleh Gambar 2.6. Saat nilai $N = +1$, daya yang dibangkitkan adalah daya maksimum yaitu nilai P_o ditambah dengan P_r ($P_o + P_r$). Saat nilai $N = -1$, daya yang dibangkitkan adalah daya minimum yaitu nilai P_o dikurangi dengan P_r ($P_o - P_r$).

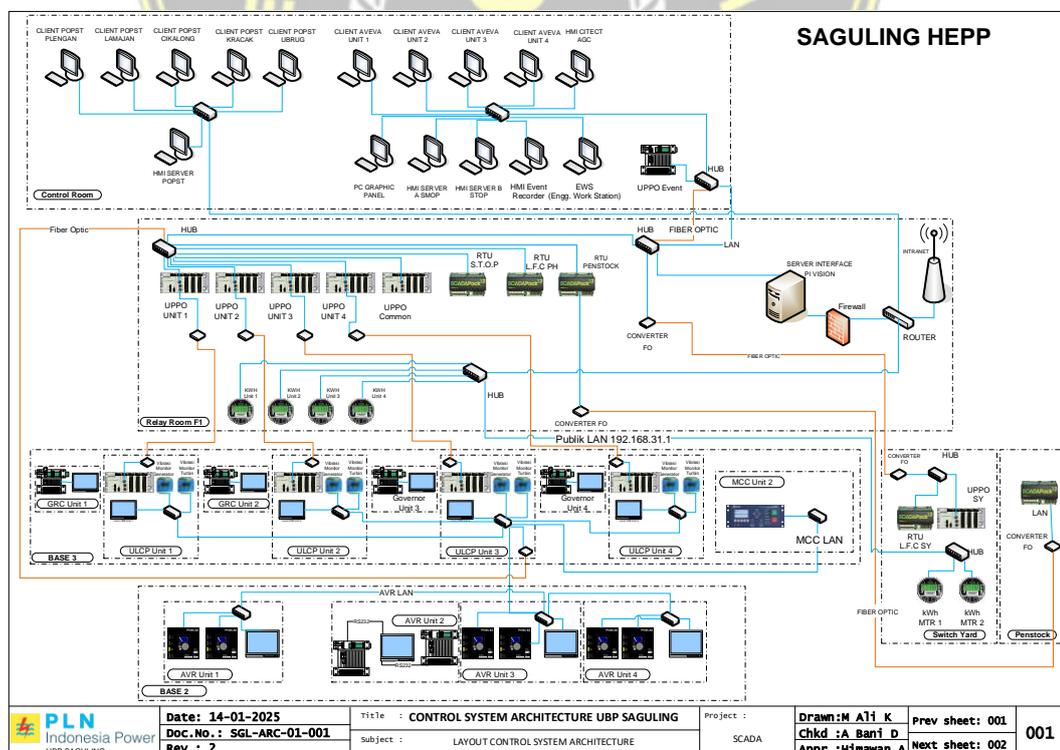
Misalkan Unit-1 PLTA Saguling, dengan nilai $P_o = 120$ MW, $P_r = 20$ MW, $N = 0.75$, $k = 87.5$ MW/Hz dan $f = 49.8$ Hz. Deviasi frekuensi adalah 0.2Hz (49.8 Hz – 50 Hz). Maka, didapatkan nilai P_g adalah 152.5 MW (152.5 MW = 120 MW + $(0.75 \times 20$ MW) – $(87.5$ MW/Hz $\times (-0.2$ Hz))).

Berdasarkan formula diatas dapat ditarik kesimpulan, bahwa setiap unit pembangkit yang dilengkapi dengan sistem LFC mampu memberikan kontribusi respon pembebanan terhadap fluktuasi beban pada jaringan yaitu maksimum sebesar N dikali dengan P_r ($N \cdot P_r$). Dengan rentang nilai $N = -1 \sim +1$ dan $P_r = 0 \sim 40$ MW, maka setiap unit pembangkit dapat berkontribusi maksimum kepada jaringan sebesar 80 MW (2×40 MW). Untuk unit pembangkit di PLTA Saguling yang berjumlah 4 unit, maka PLTA Saguling dapat memberikan kontribusi maksimum kepada jaringan sebesar 320 MW (4 unit $\times 80$ MW).

2.2.5. Sistem SCADA pada AGC

SCADA adalah singkatan dari *Supervisory Control and Data Acquisition*, yang secara harfiah dapat diartikan Akuisisi Data dan Supervisi Kendali. SCADA merupakan aplikasi perangkat lunak yang dirancang untuk proses kendali otomatis yang terhubung dengan peralatan di lapangan (*Plant*). Sistem SCADA adalah suatu

metode dalam sistem kontrol, dimana operator dapat melakukan fungsi kontrol (*controlling*), pengawasan (*monitoring*) dan pengambilan serta perekaman data (*data acquisition*) dari sebuah sistem yang sedang bekerja. SCADA dapat difungsikan sebagai sistem yang dapat mengumpulkan informasi atau data-data dari lapangan dan kemudian mengirimkannya ke sebuah komputer sentral yang akan mengatur dan mengontrol data-data tersebut. Sistem SCADA tidak hanya digunakan dalam proses-proses industri, misalnya, pabrik baja, pembangkit, dan pendistribusian tenaga listrik (konvensional maupun nuklir), pabrik kimia, tetapi juga pada beberapa fasilitas eksperimen seperti fusi nuklir. Beberapa fungsi dasar dari sistem SCADA antar lain: (1) Menghimpun (Akuisisi) besaran proses secara terpadu (*Integrated*) yang sistematis. (2) Memberikan *supervisory control* terhadap peralatan (Komando, *Setpoint* dll). (3) Memberi kemudahan dalam *monitoring* dan *reporting*. (4) Untuk menggantikan sistem *display, recording, alarm* dan *control* panel konvensional.



Gambar 2.7 Topologi Jaringan SCADA PLTA Saguling

Sebuah sistem SCADA memberikan keleluasaan dalam mengatur maupun mengkonfigurasi sistem. Semakin banyak hal yang bisa dipantau, semakin detail operasi yang dilihat dan semuanya bekerja secara *realtime*. Sehingga sekompleks apapun proses yang ditangani oleh PLC, operator dari *plant* bisa melihat operasi proses dalam skala yang besar maupun kecil, dan operator bisa melakukan penelusuran jika terjadi kesalahan untuk meningkatkan efisiensi. Dalam fungsi *controlling* dan *monitoring*, sistem SCADA dilengkapi dengan media *interface* yang biasa disebut sebagai HMI (*Human Machine Interface*).

Dengan demikian SCADA dapat digunakan dalam aplikasi-aplikasi yang membutuhkan kemudahan dalam pemantauan sekaligus juga pengontrolan, dengan berbagai macam media *interface* dan komunikasi yang tersedia saat ini. Pada sistem interkoneksi 500kV JAMALI, diaplikasikan teknologi dari SCADA yang menggunakan *basis brand Siemens* dan teknologi komunikasi secara protokol melalui media kabel *fiber optic*. Infrastruktur SCADA ini dimanfaatkan dalam implementasi *smart grid* dan transaksi sinyal AGC ke masing-masing unit pembangkit. Secara umum sinyal-sinyal AGC ini dikirim dan diterima oleh master station yang terpusat pada *Java Control Center (JCC)* ke unit-unit pembangkit melalui RTU JCC dan perangkat *gateway* ke setiap pembangkit. Di PLTA Saguling sendiri, sinyal-sinyal AGC dikirim dan diterima oleh master station melalui RTU JCC (Siemens Sicam AK3) dan kemudian diterima oleh *gateway* dan main PLC Unit PLTA Saguling (Modicon Quantum 311 Unity).

2.3 Pemahaman Filosofi AGC Terhadap Sistem 500kV (*Black Out*)

AGC (*Automatic Generation Control*) merupakan suatu metode untuk pengaturan daya yang dibangkitkan secara tersentralisasi berdasarkan nilai frekuensi sistem berupa nilai set poin daya aktif yang didistribusikan ke setiap pembangkit. Kebutuhan regulasi AGC untuk sistem 500 kV ini merupakan pengembangan dari sistem regulasi sekunder sebelumnya yaitu LFC. PLTA Saguling merupakan pembangkit yang sangat diandalkan dan juga dibutuhkan pada sistem JAMALI karena memiliki beberapa keunggulan, diantaranya adalah

pemikul beban puncak, mempunyai kemampuan untuk melakukan *black start line charging* dan *fast respon* pembangkit.

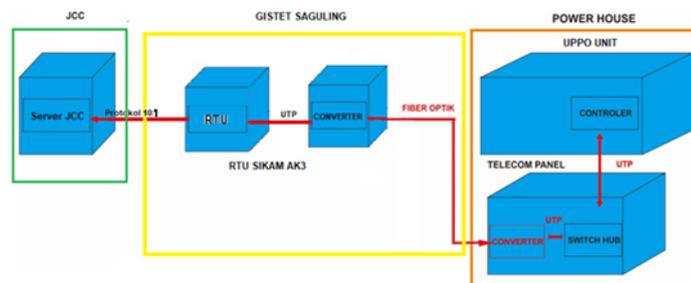
Blackout merupakan suatu keadaan dimana sebuah jaringan mengalami padam sehingga mengakibatkan jaringan tidak bertegangan. *Blackout* dapat terjadi oleh banyak hal, diantaranya adalah terputusnya koneksi antara pembangkit dengan jaringan transmisi, terjadinya ketidakseimbangan antara daya yang dibangkitkan oleh pembangkit dengan pemakaian yang digunakan oleh konsumen. Sebagai contoh adalah kasus yang terjadi pada tanggal 04 Agustus 2019 terjadi *Blackout* di wilayah JABODETABEK dan Jawa Barat, dikarenakan terputusnya jaringan interkoneksi antara grid bagian barat dan grid bagian timur. Terputusnya grid ini mengakibatkan tidak seimbangnya antara beban yang dibangkitkan dan beban yang dikonsumsi pada grid di wilayah barat. Dimana daya pemakaian lebih banyak dari daya yang dibangkitkan, sehingga membuat frekuensi yang ada pada *grid* mengalami penurunan hingga 43,5 Hz padahal pada frekuensi tersebut sudah melewati titik dimana proteksi *under* frekuensi aktif dan mengharuskan pembangkit untuk lepas dari jaringan *grid* JAMALI. Dengan adanya kejadian *Blackout* ini maka kemudian PLTA Saguling melakukan mode darurat pengoperasian *Black Start Line Charging* (BSLC) dimana merupakan suatu mode pengoperasian unit pembangkit yang dioperasikan untuk mengisi tegangan pada *grid* yang kosong. BSLC pada PLTA Saguling menggunakan *Emergency Generator* sebagai *supply* daya pertamanya.

Sistem regulasi sekunder ini digunakan untuk menunjang keandalan dari sistem JAMALI dan juga berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia nomor 20 tahun 2020 tentang aturan jaringan sistem tenaga listrik (*grid code*) di Indonesia, bahwasannya frekuensi sistem dipertahankan dalam kisaran kurang lebih 0.2 Hz disekitar 50 Hz, kecuali dalam periode *transient* yang singkat, dimana penyimpangan sebesar kurang lebih 0.5 Hz atau lebih diizinkan, serta selama kondisi darurat. Dengan demikian maka ada instruksi dan surat edaran tentang pengaktifan AGC untuk PLTA Saguling.

Keandalan yang diharapkan dengan adanya regulasi sekunder AGC ini adalah untuk menghindari terjadinya *Generator Loss Mismatch* yaitu suatu keadaan dimana daya yang dibangkitkan oleh unit pembangkit tidak sama dengan kebutuhan yang digunakan. Mengingat pada regulasi sekunder sebelumnya yaitu mode LFC, masih menggunakan N Level yang kemudian perlu formulasi untuk menentukan daya yang harus dibangkitkan pada unit pembangkit dan juga pada mode LFC, nilai N Level ini dikirimkan untuk ke 4 mesin unit pembangkit, sedangkan dengan AGC *set point* yang dikirimkan bukan N Level melainkan langsung dalam bentuk nilai *Power Set* tanpa formulasi kembali dan nilai *Power Set* ini bisa ditujukan untuk masing-masing unit pembangkit, bukan langsung pada semua unit secara serempak. Jadi pada akhirnya AGC ini merupakan suatu mode regulasi yang sudah lebih baik dan *upgrade* dari sistem sebelumnya yaitu LFC.

2.4 Penentuan Metode *Handshaking controller*

Handshaking merupakan suatu cara ataupun standar prosedur yang digunakan untuk melakukan komunikasi antara dua *device* ataupun antara device dengan peralatan peripheralnya. *Handshaking* ini sangat penting pada penerapan AGC, karena digunakan pada komunikasi antara UPPO dengan RTU SIKAM AK3. Komunikasi antara kedua device ini adalah dengan menggunakan protokol Modbus TCP/IP. Modbus TCP/IP ini menggunakan IP Address sebagai pengenal untuk melakukan komunikasi. Proses transfer data dari UPPO unit hingga server JCC adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Topologi Jaringan AGC PLTA Saguling[12][13]

Data sinyal diterima dari plant dan diproses pertama kali di UPPO unit yang mana komunikasi antara plant dengan *controller* UPPO menggunakan *hardwire*. Kemudian data yang akan digunakan dalam proses regulasi AGC, diteruskan melalui *converter* UTP menjadi FO di panel Telecom Panel yang berada di ruang relay panel. FO ini terhubung dari panel telecom menuju panel yang ada di ruangan GISTET Saguling dengan jarak 600 meter. Pada ruangan GISTET, diubah kembali media perantaranya dari menggunakan FO menjadi UTP yang langsung menuju RTU (Remote Terminal Unit) SIKAM AK3. Kemudian data yang sudah berada pada RTU yang ada pada GISTET Saguling dikirimkan menuju server yang berada di JCC menggunakan protokol komunikasi IEC 101.

2.5 Modbus Sensor

Modbus sensor merupakan aplikasi berbasis sensor untuk pengontrol dalam mengirim permintaan ke perangkat dan menggunakan antarmuka RS-485 sebagai lapisan transport. Pesan yang dikirimkan oleh Modbus sensor terdiri dari alamat slave yang menunjukkan alamat perangkat dari 0 hingga 247, kode fungsi yang menentukan operasi yang dilakukan. Master bersifat aktif dengan mengirimkan permintaan atau query yang terdiri dari function codedan data. Sedangkan slave bersifat pasif yang hanya merespon jika ada permintaan dari master dengan mengirimkan pesan data response saat kondisi normal maupun exception code saat terjadi error . Beberapa jenis modbus yaitu Modbus RTU (Remote Terminal Unit), Modbus ASCII (Supervisory Control and Data Acquisition), Modbus TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol). Modbus RTU lebih efisien dalam komunikasi karena dapat mengirim lebih banyak data dalam baud rate yang sama. Setiap data yang dikirim memiliki jeda waktu antara 1,5 hingga 3,5 karakter pada awal dan akhir pesan dari baud rate yang dipakai[14].

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Pada sub bab ini dibahas mengenai tahapan alur penelitian yang dilakukan. Berikut merupakan tahapan penelitian yang dilakukan :

1. Studi Literatur

Tahap studi literatur adalah tahap dimana dilakukannya pencarian informasi yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan melalui sumber berupa buku, jurnal, karya tulis ilmiah dan juga skripsi tugas akhir atau penelitian yang sesuai dengan topik permasalahan implementasi regulasi kontrol frekuensi menggunakan metode AGC.

2. Penentuan Tujuan Penelitian

Penentuan tujuan penelitian dilakukan untuk mengetahui arah dalam pelaksanaan penelitian dan juga laporan hasil penelitian.

3. Perancangan implementasi regulasi frekuensi

Perancangan implementasi dilakukan untuk menentukan desain sistem keseluruhan dari regulasi frekuensi yaitu menentukan *handshaking controller* Kemudian perancangan perangkat lunak yaitu menentukan alur kerja dari alat yang dibuat dengan pembuatan *flowchart* yang kemudian dituangkan dalam *function blok diagram*.

4. Proses Implementasi

Pada tahapan kali ini dilakukan pengimplementasian dari perancangan regulasi frekuensi yang baru, mulai dari persiapan I/O dan program pada PLC, pembuatan HMI sesuai dengan yang telah dirancang.

5. Pengujian Alat & Analisa Hasil

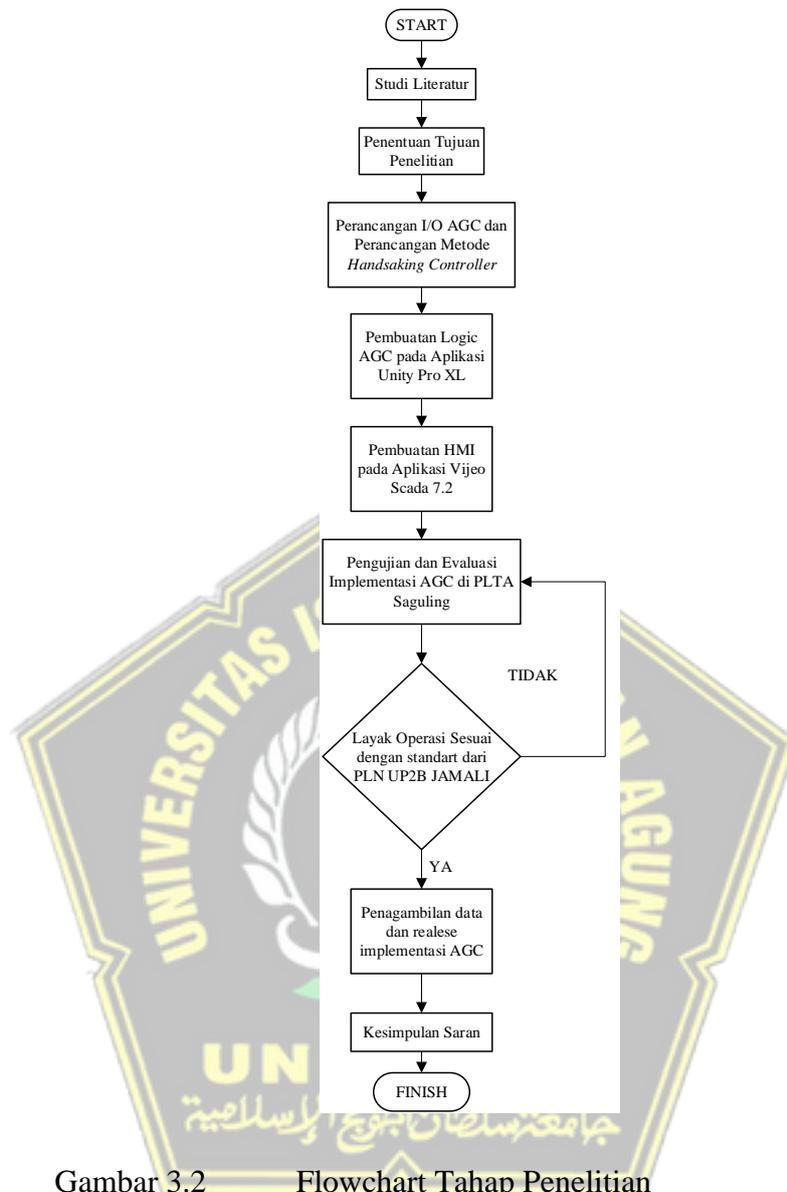
Pada tahapan kali ini, dilakukan proses uji coba pada sistem regulasi frekuensi yang baru. Pengujian dilakukan untuk memastikan kesesuaian fungsi dari perancangan sistem serta untuk mengetahui nilai respon dari pembangkit terhadap perubahan frekuensi sistem.

6. Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan akhir kali ini, dimana dilakukan penarikan kesimpulan dari proses dan analisa hasil penelitian, kemudian memberikan saran agar penelitian dapat lebih berkembang dan menjadi lebih baik lagi.

Untuk mempermudah dalam memahami langkah – langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini, maka prosedur penelitian ini disajikan dalam bentuk flowchat pada gambar 3.1.





Gambar 3.2 Flowchart Tahap Penelitian

3.2 Perancangan Implementasi AGC

Dalam tahap perancangan alat, penulis mulai merancang dimulai dari Penentuan *Handsaking Controller*, persiapan I/O, simulasi *project*, *Design* HMI, pada proses implementasi AGC pada PLTA Saguling.

3.2.1 Persiapan I/O

Kebutuhan sinyal AGC dan LFC yang diperlukan sesuai tabel 3.1

Tabel 3.1 Data Kebutuhan AGC dan LFC [15]

No	Sinyal LFC	Sinyal AGC	Data Type	Keterangan
1	LFC off/on	AGC off/on	TSD/TSS	aktif/tidaknya LFC atau AGC
2	LFC Req (LFR)	AGC Request (AGR)	TSD & RCD	permintaan dispatcher untuk mengaktifkan/menonaktifkan LFC/AGC
3	LFC Ava (LFA)	AGC Remote/Lokal	TSD/TSS	LFC/AGC siap untuk dioperasikan ON
4	Active Power P Gross	Active Power P Gross	TM	Penunjukan MW gross pembangkit
5	Active Power P Net	Active Power P Net	TM	Penunjukan MW nett pembangkit
6		Ramp Rate	TM	MW/Menit
7		High Operation Limit	TM	Batas maksimum MW pengoperasian
8		Low Operation Limit	TM	Batas minimum MW pengoperasian
9		Limit Desired Power (Setpoint)	RCA (Remote Control Analog)	Perintah target pencapaian daya dari JCC
10	PoOP		RCA (Remote Control Analog)	permintaan base operation
11	PrOP		RCA (Remote Control Analog)	permintaan daya regulating
12	PoAq		TM	penyesuaian base operation yang dikirim dari pembangkit
13	PrAq		TM	permintaan daya regulating yang dikirim dari pembangkit
14	N Level		RCA (Remote Control Analog)	perintah kepada unit pembangkit untuk naik turun beban dalam rentang daya regulating
15	LFC Fail (LFF)	AGC Fail	TSD/TSS	alarm LFC/AGC gagal beroperasi

Regulasi AGC ini tercipta dengan adanya beberapa parameter dan sinyal yang harus dikomunikasikan antara UPPO unit dengan server JCC. Ketentuan parameter

dan sinyal yang dibutuhkan dalam regulasi AGC ini sudah ditentukan, diantaranya adalah sinyal AGC *ON/OFF* yaitu sinyal yang digunakan untuk mengindikasikan aktif atau tidaknya regulasi AGC yang ada pada UPPO unit. Kemudian sinyal AGC *Request*, yaitu sinyal yang memiliki fungsi untuk mengindikasikan serta sinyal yang memberikan perintah untuk mengaktifkan regulasi AGC yang ada pada unit pembangkit, sinyal ini dikirim dari JCC.

Sinyal selanjutnya yang dibutuhkan untuk terciptanya regulasi AGC ini adalah sinyal untuk indikasi posisi pengoperasian AGC mode remote atau mode lokal, dimana posisi remote berarti pengoperasian regulasi AGC dalam penentuan nilai *set point (Power Set)* nya diberikan langsung dari JCC. Sedangkan dalam proses pengoperasian lokal AGC maka regulasi untuk nilai *set point (Power Set)* diisikan sendiri oleh operator yang ada pada unit pembangkit. Sinyal yang terakhir adalah AGC *Fail* yaitu sebagai indikasi untuk terjadinya kegagalan dalam sistem komunikasi antara UPPO unit dengan RTU yang ada di GISTET Saguling.

Selain status sinyal, ada pula parameter atau nilai-nilai hasil pengukuran dari unit pembangkit untuk menunjang dalam proses terciptanya regulasi AGC yang baik. Parameter yang dibutuhkan diantaranya adalah *Active Power Gross* yaitu, suatu parameter yang digunakan untuk menunjukkan besarnya daya total yang dibangkitkan saat unit beroperasi. Kemudian ada pula *Active Power Nett* yaitu suatu parameter yang digunakan untuk menunjukkan besarnya daya bersih yang dibangkitkan oleh unit saat beroperasi yang didapatkan dari hasil pengurangan antara *Active Power Gross* dengan besarnya pemakaian sendiri (PS) saat unit beroperasi.

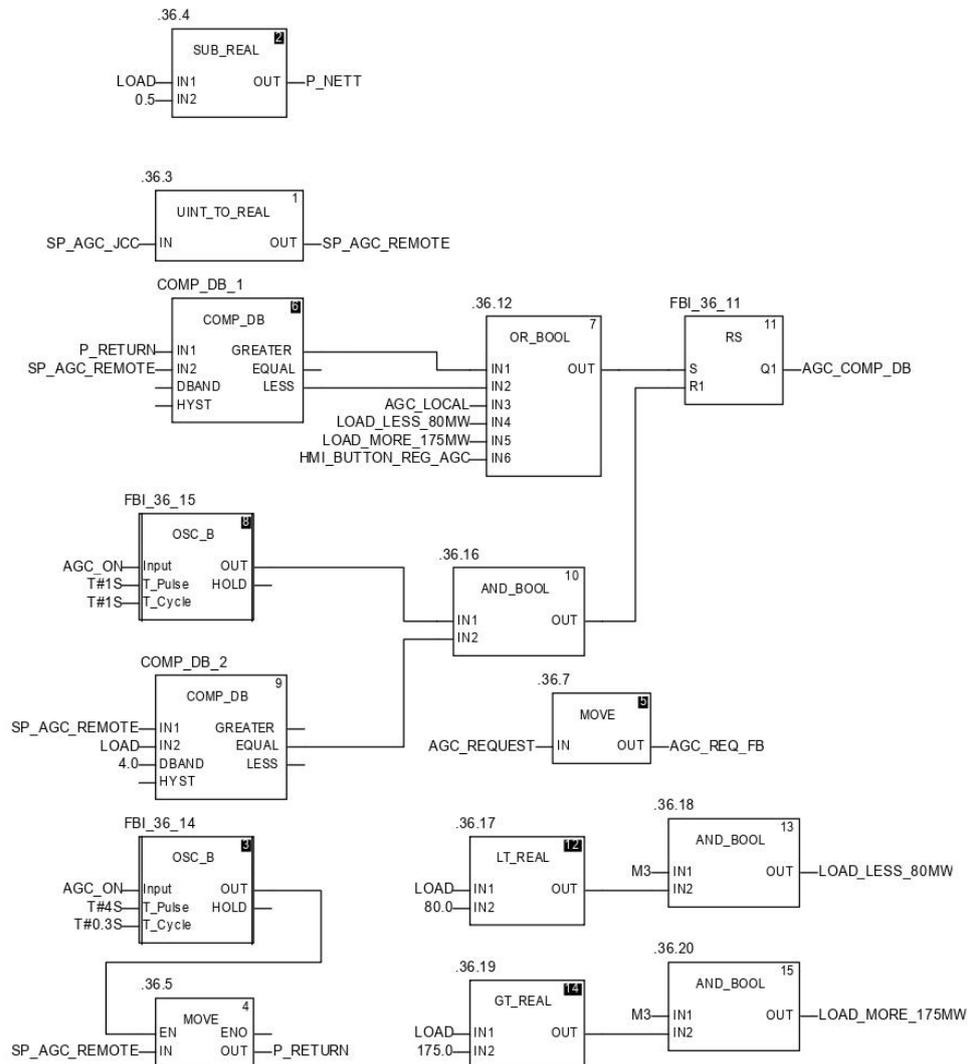
Parameter yang lainnya adalah *Ramprate*, yaitu suatu parameter yang digunakan untuk menunjukkan kemampuan unit pembangkit dalam proses membangkitkan daya baik untuk proses turun beban atau naik beban dalam satuan menit, pada kasus ini unit pembangkit PLTA Saguling memiliki nilai *Ramprate* sebesar 35 MW/menit. Selanjutnya adalah parameter *High Operation Limit (HOL)* yaitu suatu parameter yang digunakan sebagai acuan untuk membatasi nilai

maksimal daya yang boleh dioperasikan dengan mode AGC, berbalikan dengan HOL ada juga parameter *Low Operation Limit (LOL)* yaitu suatu parameter yang digunakan untuk menunjukkan batas minimal daya yang boleh dioperasikan dengan mode AGC kedua parameter ini diisikan manual dari operator pembangkit dan dikirim menuju JCC.

Parameter penting lainnya yaitu *Unit Desired Power (Power Setpoint)* yaitu sebagai parameter acuan dan referensi untuk daya yang dibangkitkan yang mana parameter ini dikirim oleh JCC dalam ketentuan menggunakan pengoperasian regulasi AGC secara remote.

3.2.2 Simulasi Project

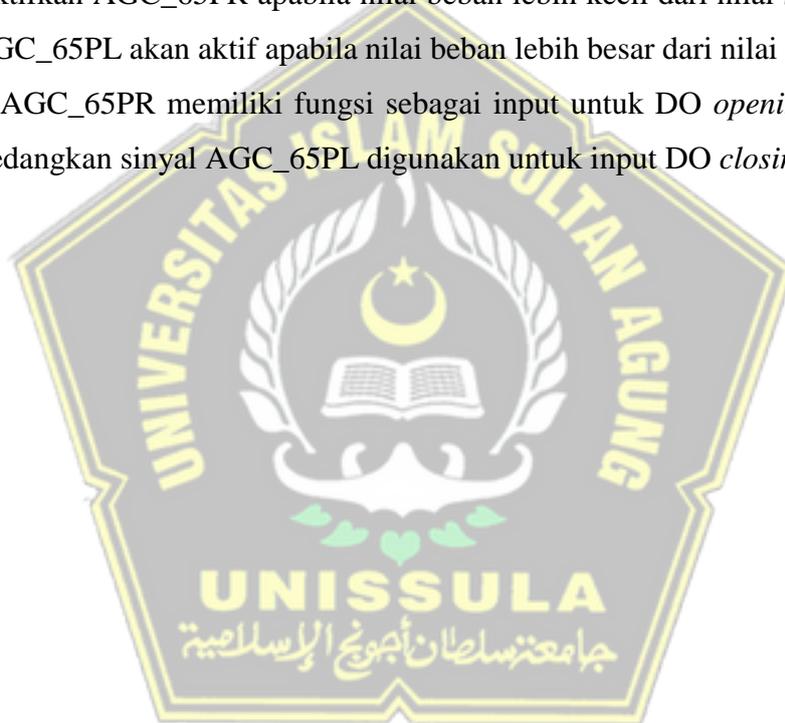
Simulasi project dilakukan dengan menggunakan software unity proXL. Project yang disimulasikan merupakan project unit eksisting yang ditambahkan dengan beberapa logic dan laddernya. Penambahan untuk logic AGC ini menambahkan 3 section baru, yaitu Data_AGC, AGC_Regulation dan AGC_Starting. Section Data_AGC berisi beberapa data analog yang digunakan untuk regulasi, diantaranya P_Nett, SP_AGC_Remote, AGC_COMP_DB, P_Return, AGC_REQ dan Load_Less_80MW.

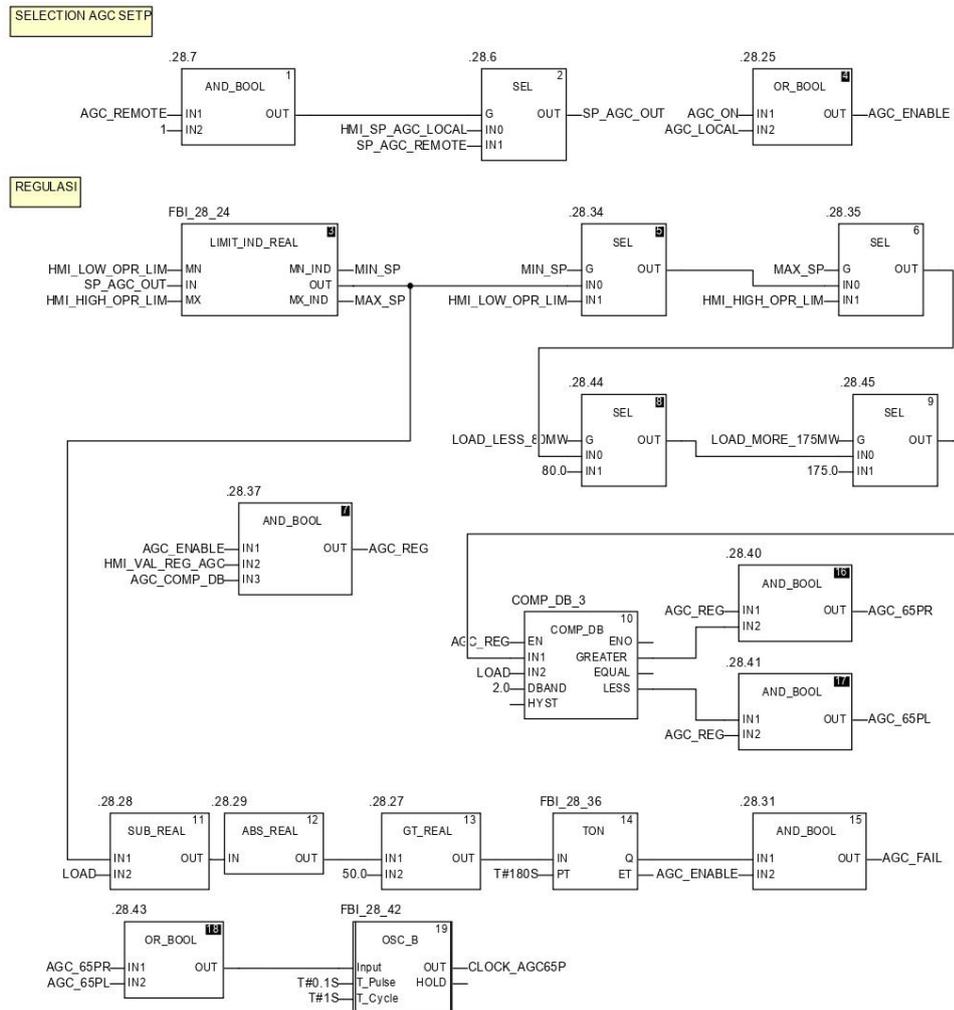


Gambar 3.3 *Logic Section Data_AGC (PLC Unity Pro XL)*

P_Net disini merupakan daya bersih yang dibangkitkan, dimana diperoleh dari formulasi daya yang dibangkitkan pembangkit dikurangi oleh daya pemakaian sendiri. SP_AGC_Remote merupakan data *setpoint* yang digunakan sebagai *setpoint* regulasi AGC dari JCC, dimana data ini diperoleh dari data SP_AGC_JCC. AGC_COMP_DB digunakan sebagai syarat regulasi AGC yang berfungsi untuk membatasi regulasi AGC agar nilai beban pembangkit yang diregulasi sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan oleh sistem. Dimana AGC_COMP_DB diperoleh dari P_Return dan dibandingkan dengan SP_AGC_Remote, apabila masih ada selisih nilai antara kedua data maka AGC_COMP_DB akan aktif.

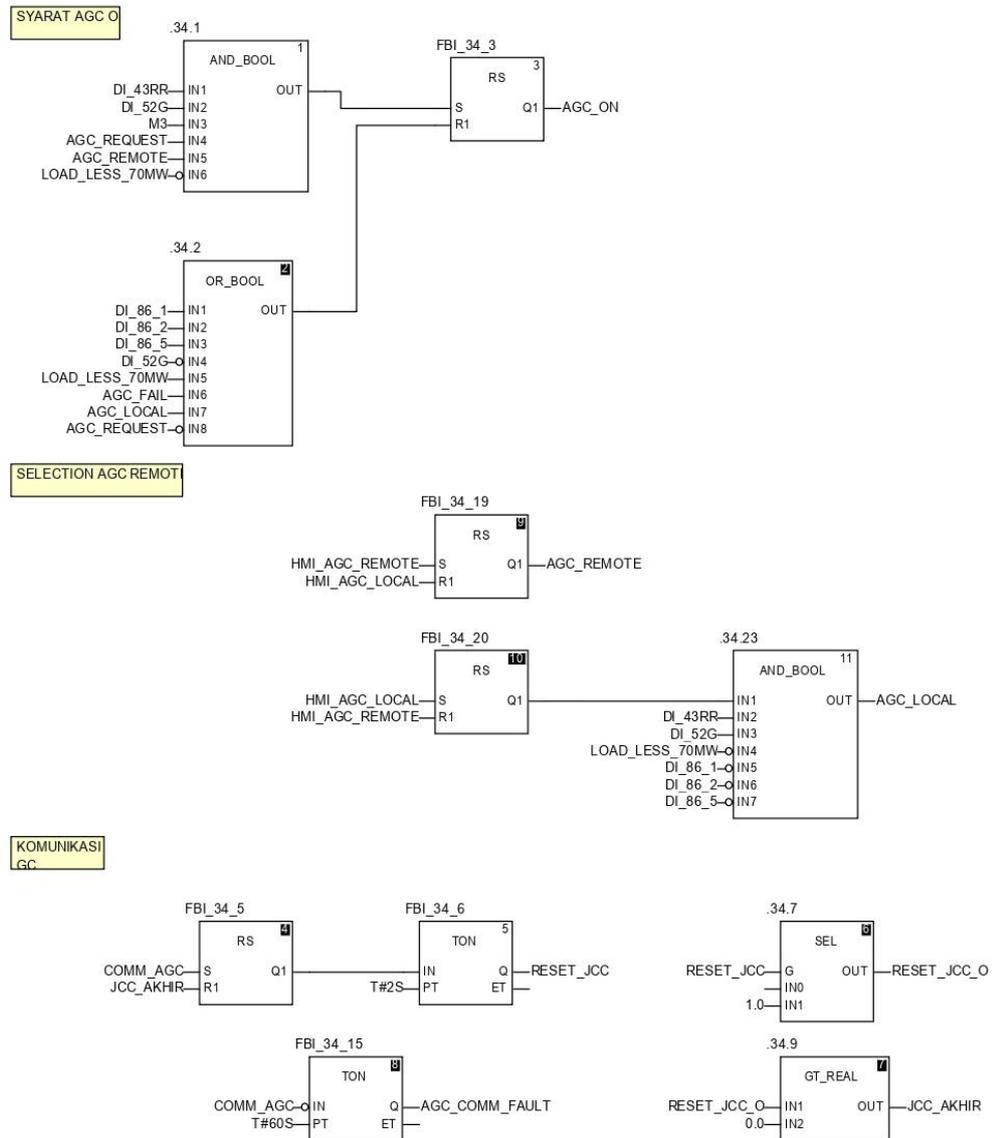
Kemudian P_Return merupakan nilai balikan SP_AGC_Remote yang dikirimkan kembali ke JCC. AGC_REC digunakan untuk mengaktifkan regulasi AGC yang direquest oleh JCC. Load_Less_80MW merupakan *logic* yang akan aktif apabila beban unit pembangkit bernilai diatas 80MW, dan *logic* ini sebagai syarat dari regulasi AGC ON. *Section AGC_Regulation* berisikan *logic* yang digunakan untuk naik turunnya beban unit yang diregulasi oleh AGC, setelah AGC dinyatakan aktif dan mendapatkan *setpoint* baru untuk regulasi AGC, maka apabila nilai *setpoint* AGC berbeda dengan nilai beban unit pembangkit *logic* akan mengaktifkan AGC_65PR apabila nilai beban lebih kecil dari nilai *setpoint* AGC, atau AGC_65PL akan aktif apabila nilai beban lebih besar dari nilai *setpoint* AGC. Sinyal AGC_65PR memiliki fungsi sebagai input untuk DO *opening guide vane* (65), sedangkan sinyal AGC_65PL digunakan untuk input DO *closing guide vane*.





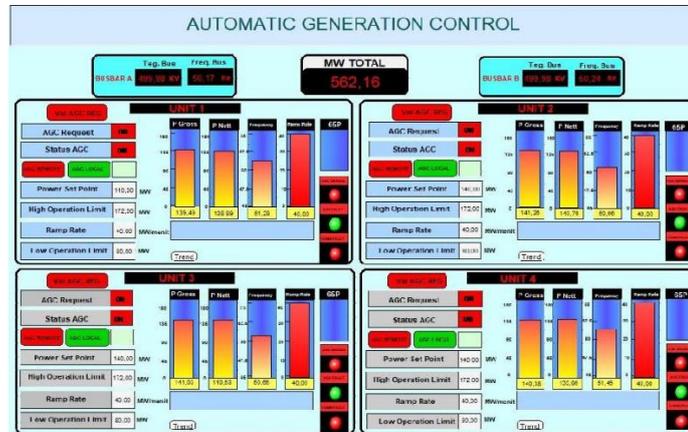
Gambar 3.4 *Logic Section AGC_Regulation (PLC Unity Pro XL)*

Section AGC_Starting berisikan logic yang berfungsi untuk syarat pengaktifan regulasi AGC, dimana syarat itu didapat dari pengoperasian mode remote (DI_43RR), CB Close (DI_52G), *preparation complete* (M3), adanya *request* perintah AGC aktif dari JCC (AGC_Request), AGC sudah pada mode remote (AGC_Remote) yang mana perintah ini diaktifkan dari HMI, beban diatas 70 MW (*Load_Less_70MW*), dan syarat terakhir berupa tidak aktifnya lock out *relay trip* (86-1, 86-2, dan 86-5)



Gambar 3.5 *Logic Section AGC_Starting (PLC Unity Pro XL)*

3.2.3 Design HMI (*Human Machine Interface*) AGC



Gambar 3.6 *Human Machine Interface* AGC

Design HMI dibuat menggunakan aplikasi Citect SCADA 7.2 yang bertujuan untuk menjadi sistem SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) pada proses sistem AGC di PLTA Saguling. Sistem SCADA pada *design* HMI ini memiliki fungsi untuk *controlling*, *monitoring*, *trending*, *alarm* dan *event and history*.

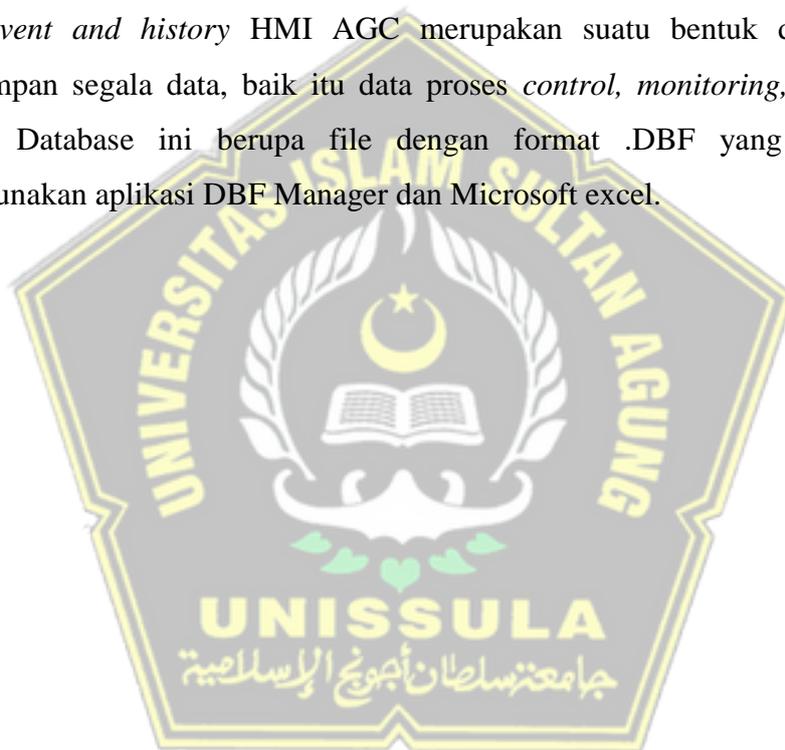
Controlling HMI AGC berfungsi untuk mengatur proses sistem kerja AGC secara menyeluruh. Beberapa perintah untuk *controlling* AGC pada HMI ini adalah Validasi AGC Reg, AGC Remote, AGC Local, *Setpoint* AGC Local, *High Operation Limit*, *Ramp Rate*, *Low Operation Limit*.

Monitoring HMI AGC berisikan data analog dan data digital yang dipantau untuk mendukung sistem kerja AGC agar sistem kerja AGC dapat bekerja sesuai dengan nilai dan *setpoint* yang telah ditentukan. Dimana data yang dimonitoring yaitu AGC *Request*, Status AGC, Nilai SP AGC *Remote*, tegangan busbar A dan B, Frekuensi Busbar A dan B, Total Beban yang dibangkitkan, beban tiap unit, beban bersih tiap unit, frekuensi unit, *ramprate* unit, indikator naik turunnya beban.

Trending berfungsi untuk memantau perubahan nilai-nilai *setpoint* selama periode tertentu, nilai *setpoint* yang dipantau pada *trending* adalah nilai beban unit, nilai frekuensi unit, nilai *setpoint* AGC, dan nilai Frekuensi unit.

Alarm pada HMI AGC merupakan data yang digunakan sebagai notifikasi apabila ada perubahan nilai *setpoint* AGC. Nilai *setpoint* yang digunakan untuk mengaktifkan alarm adalah adanya perubahan nilai *setpoint* baru pada SP_AGC_Remote dan adanya regulasi naik atau turun beban.

Event and history HMI AGC merupakan suatu bentuk database yang menyimpan segala data, baik itu data proses *control*, *monitoring*, *trending* dan *alarm*. Database ini berupa file dengan format .DBF yang bisa dibuka menggunakan aplikasi DBF Manager dan Microsoft excel.



BAB IV

DATA DAN ANALISA

4.1. Hasil Implementasi AGC

Implementasi regulasi frekuensi mode AGC pada PLTA Saguling dilakukan dengan merancang program AGC pada aplikasi Unity Pro XL, dimana program ini dibuat menggunakan *function block diagram* yang berfungsi untuk meregulasi frekuensi dimana apabila terjadi penurunan frekuensi sistem akan ada *setpoint* kenaikan ataupun penurunan beban pembangkit dan program ini yang nantinya akan meregulasi beban naik maupun turun. Proses implementasi ini juga dibuat HMI yang berfungsi untuk memantau dan mengoperasikan AGC pada masing-masing unit PLTA Saguling.

4.2. Pengujian Implementasi AGC

Implementasi AGC pada PLTA Saguling perlu dilakukan pengujian agar bisa beroperasi dengan maksimal, dimana pengujian ini meliputi pengujian transfer data, pengujian logic AGC, Pengujian HMI dan pengujian respon AGC terhadap perubahan setpoint saat unit beroperasi online.

4.2.1 Pengujian Transfer Data

Pengujian transfer data AGC dilakukan dengan melakukan pengujian sinyal dan data transfer dari PLC yang ada di PLTA Saguling dengan RTU Sikam AK-3 yang ada di GITET Saguling sesuai dengan topologi jaringan pada gambar 3.1. pengujian sinyal ini dilakukan dengan cara melakukan *force value* pada address PLC yang kemudian dilakukan pembacaan address pada RTU, apakah nilai yang di RTU dan PLC sama atau tidak, dimana pengujian ini dilakukan pada unit 1, 2, 3 dan 4 PLTA Saguling.

Tabel 4.1 Hasil pengujian transfer data AGC unit 1

AGC PLTA SAGULING UNIT 1								
NO	VARIABLE TAG		ADDRESS		PENGUJIAN		HASIL	KETERANGAN
	PLTA	JCC	MODBUS	IEC 101	VALUE	SATUAN		
1	AGC_REQUEST	AGC Req	000562	31.10.31	1	ON	OK	REQUEST AGC DARI JCC
					0	OFF	OK	
2	AGC_ON	AGC ON FF	000563	31.3.31	1	ON	OK	STATUS AGC ON
					0	OFF	OK	
3	AGC_REQ_FBD	AGC Req	000566	31.101.31	1	ON	OK	FEEDBACK AGC REQ
					0	OFF	OK	
4	AGC_REMOTE	AGC Remote	000572	31.7.31	1	ON	OK	ORDER AGC REMOTE FROM MM
5	COMM_JCC	AGC FAIL	000574	31.8.31			NOK	KOMUNIKASI TEST DARI JCC
6	LOAD	P GROSS	400301	31.6.31	100	MW	OK	DAYA GROSS DENGAN PS
					80	MW	OK	
7	MVAR	MVAR	400303	31.11.31	20	MVAR	OK	DAYA REAKTIF UNIT
					-25	MVAR	OK	
8	HMI_HIGH_OPR_LIM	HOL	400560	31.1.31	123	MW	OK	INPUT MAKSIMUM
					175	MW	OK	
9	HMI_LOW_OPR_LIM	LOL	400562	31.2.31	70	MW	OK	INPUT MINIMUM BEBAN DARI HMI
					80	MW	OK	
10	HMI_SP_RAMPRATE	RAMP	400564	31.4.31	12	MW/Menit	OK	INPUT RAMPRATE DARI
					23	MW/Menit	OK	
11	SP_AGC_JCC	P SET	400572	31.100.31	120	MW	OK	POWER SET DARI JCC
12	P_NETT	P NETTO	400574	31.5.31	99,5	MW	OK	DAYA NETT TERKURANGI PS
					49,5	MW	OK	
13	P_RETURN	P RETURN	400586	31.9.31	120	MW	OK	FEEDBACK POWER SET

Dari data pada tabel 4.1 didapat 12 parameter yang diuji untuk data transfer dengan hasil OK dan untuk nilai yang dikirim dari PLC pembangkit sesuai dengan yang diterima pada master AGC di JCC, begitupun sebaliknya data yang dikirim dari JCC nilainya sama dengan data yang diterima di PLC pembangkit. Akan tetapi ada satu parameter yaitu status AGC *Fail* yang masih belum bisa terkonfigurasi dikarenakan masih terjadi kendala dalam proses konfigurasi program pada master AGC di JCC. Dengan hasil ini AGC di unit 1 PLTA Saguling sudah bisa diimplementasikan sesuai dengan kebutuhan jaringan dengan presentasi keberhasilan pengujian 92,3%.

Tabel 4.2 Hasil pengujian transfer data AGC unit 2

AGC PLTA SAGULING UNIT 2								
NO	VARIABLE TAG		ADDRESS		PENGUJIAN		HASIL	KETERANGAN
	PLTA	JCC	MODBUS	IEC 101	VALUE	SATUAN		
1	AGC_REQUEST	AGC Req	000562	32.10.32	1	ON	OK	REQUEST AGC DARI JCC
					0	OFF	OK	
2	AGC_ON	AGC ON F	000563	32.3.32	1	ON	OK	STATUS AGC ON
					0	OFF	OK	
3	AGC_REQ_FBD	AGC Req	000566	32.101.32	1	ON	OK	FEEDBACK AGC REQ
					0	OFF	OK	
4	AGC_REMOTE	GC Remo	000572	32.7.32	1	ON	OK	ORDER AGC REMOTE FROM MM
5	COMM_JCC	AGC FAIL	000574	32.8.32			NOK	KOMUNIKASI TEST DARI JCC
6	LOAD	P GROSS	400301	32.6.32	100	MW	OK	DAYA GROSS DENGAN PS
					80	MW	OK	
7	MVAR	MVAR	400303	32.11.32	20	MVAR	OK	DAYA REAKTIF UNIT
					-25	MVAR	OK	
8	HMI_HIGH_OPR_LIM	HOL	400560	32.1.32	123	MW	OK	INPUT MAKSIMUM
					175	MW	OK	
9	HMI_LOW_OPR_LIM	LOL	400562	32.2.32	70	MW	OK	INPUT MINIMUM BEBAN DARI HMI
					80	MW	OK	
10	HMI_SP_RAMPRATE	RAMP	400564	32.4.32	12	MW/Menit	OK	INPUT RAMPRATE DARI
					23	MW/Menit	OK	
11	SP_AGC_JCC	P SET	400572	32.100.32	125	MW	OK	POWER SET DARI JCC
12	P_NETT	P NETTO	400574	32.5.32	99,5	MW	OK	DAYA NETT TERKURANGI PS
					49,5	MW	OK	
13	P_RETURN	P RETURN	400586	32.9.32	125	MW	OK	FEEDBACK POWER SET

Dari data pada tabel 4.2 didapat 12 parameter yang diuji untuk data transfer dengan hasil OK dan untuk nilai yang dikirim dari PLC pembangkit sesuai dengan yang diterima pada master AGC di JCC, begitupun sebaliknya data yang dikirim dari JCC nilainya sama dengan data yang diterima di PLC pembangkit. Akan tetapi ada satu parameter yaitu status AGC *Fail* yang masih belum bisa terkonfigurasi dikarenakan masih terjadi kendala dalam proses konfigurasi program pada master AGC di JCC. Dengan hasil ini AGC di unit 2 PLTA Saguling sudah bisa diimplementasikan sesuai dengan kebutuhan jaringan dengan presentasi keberhasilan pengujian 92,3%.

Tabel 4.3 Hasil pengujian transfer data AGC unit 3

AGC PLTA SAGULING UNIT 3								
NO	VARIABLE TAG		ADDRESS		PENGUJIAN		HASIL	KETERANGAN
	PLTA	JCC	MODBUS	IEC 101	VALUE	SATUAN		
1	AGC_REQUEST	AGC Req	000562	33.10.33	1	ON	OK	REQUEST AGC DARI JCC
					0	OFF	OK	
2	AGC_ON	AGC ON F	000563	33.3.33	1	ON	OK	STATUS AGC ON
					0	OFF	OK	
3	AGC_REQ_FBD	AGC Req	000566	33.101.33	1	ON	OK	FEEDBACK AGC REQ
					0	OFF	OK	
4	AGC_REMOTE	GC Remo	000572	33.7.33	1	ON	OK	ORDER AGC REMOTE FROM MM
5	COMM_JCC	AGC FAIL	000574	33.8.33			NOK	KOMUNIKASI TEST DARI JCC
6	LOAD	P GROSS	400301	33.6.33	50	MW	OK	DAYA GROSS DENGAN PS
					70	MW	OK	
7	MVAR	MVAR	400303	33.11.33	20	MVAR	OK	DAYA REAKTIF UNIT
					-10	MVAR	OK	
8	HMI_HIGH_OPR_LIM	HOL	400560	33.1.33	175	MW	OK	INPUT MAKSIMUM
					173	MW	OK	
9	HMI_LOW_OPR_LIM	LOL	400562	33.2.33	70	MW	OK	INPUT MINIMUM BEBAN DARI HMI
					97	MW	OK	
10	HMI_SP_RAMPRATE	RAMP	400564	33.4.33	35,5	MW/Menit	OK	INPUT RAMPRATE DARI
					31,2	MW/Menit	OK	
11	SP_AGC_JCC	P SET	400572	33.100.33	135	MW	OK	POWER SET DARI JCC
12	P_NETT	P NETTO	400574	33.5.33	59,5	MW	OK	DAYA NETT TERKURANGI PS
					49,5	MW	OK	
13	P_RETURN	P RETURN	400586	33.9.33	135	MW	OK	FEEDBACK POWER SET

Dari data pada tabel 4.3 didapat 12 parameter yang diuji untuk data transfer dengan hasil OK dan untuk nilai yang dikirim dari PLC pembangkit sesuai dengan yang diterima pada master AGC di JCC, begitupun sebaliknya data yang dikirim dari JCC nilainya sama dengan data yang diterima di PLC pembangkit. Akan tetapi ada satu parameter yaitu status AGC *Fail* yang masih belum bisa terkonfigurasi dikarenakan masih terjadi kendala dalam proses konfigurasi program pada master AGC di JCC. Dengan hasil ini AGC di unit 3 PLTA Saguling sudah bisa diimplementasikan sesuai dengan kebutuhan jaringan dengan presentasi keberhasilan pengujian 92,3%.

Tabel 4.4 Hasil pengujian transfer data AGC unit 4

AGC PLTA SAGULING UNIT 4								
NO	VARIABLE TAG		ADDRESS		PENGUJIAN		HASIL	KETERANGAN
	PLTA	JCC	MODBUS	IEC 101	VALUE	SATUAN		
1	AGC_REQUEST	AGC Req	000562	34.10.34	1	ON	OK	REQUEST AGC DARI JCC
					0	OFF	OK	
2	AGC_ON	AGC ON F	000563	34.3.34	1	ON	OK	STATUS AGC ON
					0	OFF	OK	
3	AGC_REQ_FBD	AGC Req	000566	34.101.34	1	ON	OK	FEEDBACK AGC REQ
					0	OFF	OK	
4	AGC_REMOTE	GC Remo	000572	34.7.34	1	ON	OK	ORDER AGC REMOTE FROM MM
5	COMM_JCC	AGC FAIL	000574	34.8.34			NOK	KOMUNIKASI TEST DARI JCC
6	LOAD	P GROSS	400301	34.6.34	50	MW	OK	DAYA GROSS DENGAN PS
					70	MW	OK	
7	MVAR	MVAR	400303	34.11.34	-5	MVAR	OK	DAYA REAKTIF UNIT
					15	MVAR	OK	
8	HMI_HIGH_OPR_LIM	HOL	400560	34.1.34	175	MW	OK	INPUT MAKSIMUM
					168	MW	OK	
9	HMI_LOW_OPR_LIM	LOL	400562	34.2.34	90	MW	OK	INPUT MINIMUM BEBAN DARI HMI
					86	MW	OK	
10	HMI_SP_RAMPRATE	RAMP	400564	34.4.34	35,8	MW/Menit	OK	INPUT RAMPRATE DARI
					31,8	MW/Menit	OK	
11	SP_AGC_JCC	P SET	400572	34.100.34	150	MW	OK	POWER SET DARI JCC
12	P_NETT	P NETTO	400574	34.5.34	59,6	MW	OK	DAYA NETT TERKURANGI PS
					174	MW	OK	
13	P_RETURN	P RETURN	400586	34.9.34	150	MW	OK	FEEDBACK POWER SET

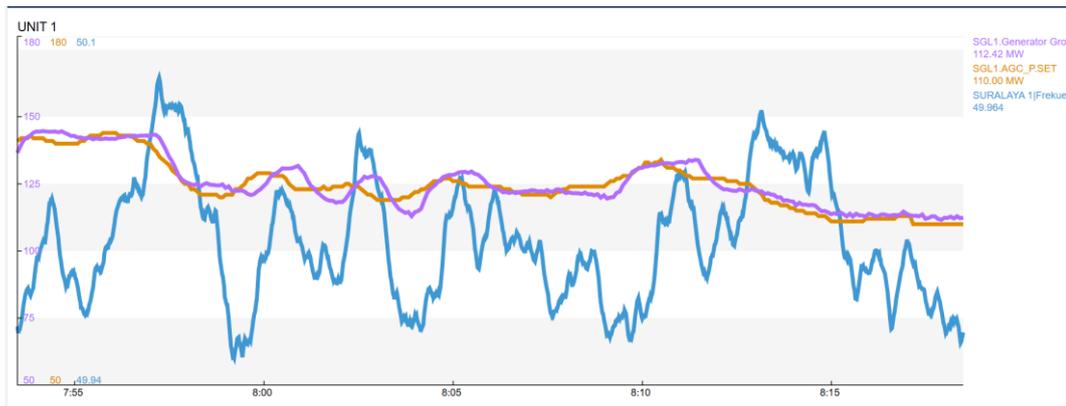
Dari data pada tabel 4.4 didapat 12 parameter yang diuji untuk data transfer dengan hasil OK dan untuk nilai yang dikirim dari PLC pembangkit sesuai dengan yang diterima pada master AGC di JCC, begitupun sebaliknya data yang dikirim dari JCC nilainya sama dengan data yang diterima di PLC pembangkit. Akan tetapi ada satu parameter yaitu status AGC *Fail* yang masih belum bisa terkonfigurasi dikarenakan masih terjadi kendala dalam proses konfigurasi program pada master AGC di JCC. Dengan hasil ini AGC di unit 4 PLTA Saguling sudah bisa diimplementasikan sesuai dengan kebutuhan jaringan dengan presentasi keberhasilan pengujian 92,3%.

4.2.2 Pengujian Implementasi AGC

Sesuai dengan Lampiran 1 Berita Acara pengujian individu *Automatic Generation Control* (AGC) PLTA Saguling unit 1, Pada hari Sabtu tanggal 4 September 2021 dilakukan pengujian implementasi AGC pada unit 1 dengan pengujian sinyal dan komunikasi AGC antara JCC dan PLTA Saguling berhasil merespon dengan baik dan kondisi unit pembangkit dengan aman. Akan tetapi masih ada kendala saat pengujian implementasi ini, dimana regulasi AGC masih menyebabkan beban unit hunting saat merespon Pset sehingga dilakukan perubahan *response time* saat terjadi perubahan Pset. Kendala yang lain adalah saat nilai beban sama dengan nilai *high operation limit* (HOL) dan frekuensi sistem masih mengalami penurunan maka beban unit akan merespon dengan sistem *freegov* dan beban akan naik melebihi nilai HOL akan tetapi beban unit kembali turun menyesuaikan nilai HOL yang seharusnya tidak mengalami penurunan beban sampai ada perubahan nilai Pset, sehingga perlu dilakukan perubahan *logic* AGC pada unit PLTA Saguling. Data *setting* parameter yang digunakan selama pengujian yaitu *Low operation limit* 80 MW, *high operation limit* 175 MW, *ramprate* 40MW/Minutes. Berdasarkan hasil pengujian ini, unit PLTA Saguling Unit-1 aktif AGC dan sedang dalam masa pemantauan dan evaluasi.

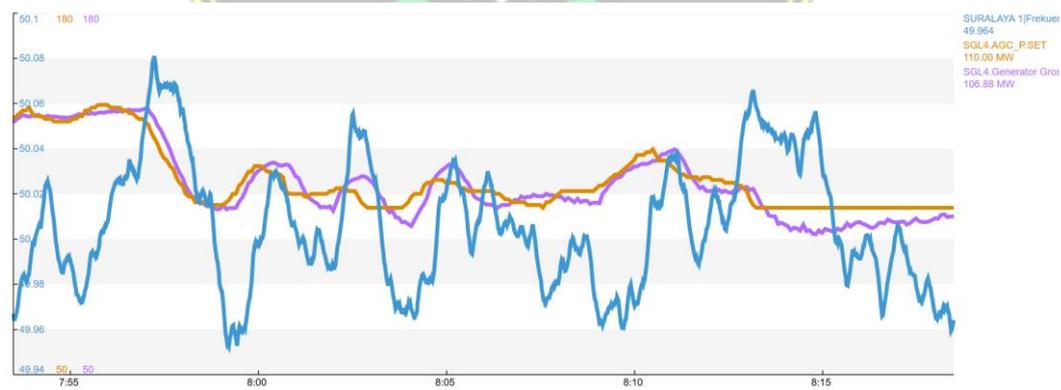
4.2.3 Evaluasi Implementasi AGC

Setelah diimplementasikan di unit PLTA Saguling selama satu bulan dilakukan evaluasi respon dari sistem AGC terhadap perubahan frekuensi yang fluktuatif. Pada tahap evaluasi Unit 1 ini didapatkan deviasi antara daya yang dibangkitkan dengan *setpoint* Pset yang dibutuhkan oleh jaringan. Pada grafik pembandingan daya yang dibangkitkan dengan *setpoint* AGC masih terjadi keterlambatan respon daya terhadap *setpoint* AGC sehingga unit tidak bisa merespon perubahan frekuensi dengan cepat. Pada tahap evaluasi ini juga diperlukan *improvement logic freegov* unit 1 agar unit mampu merespon perubahan frekuensi saat nilai daya yang dibangkitkan sama dengan nilai HOL maupun LOL.



Gambar 4.1 Grafik Evaluasi Respon AGC Unit 1 PLTA Saguling

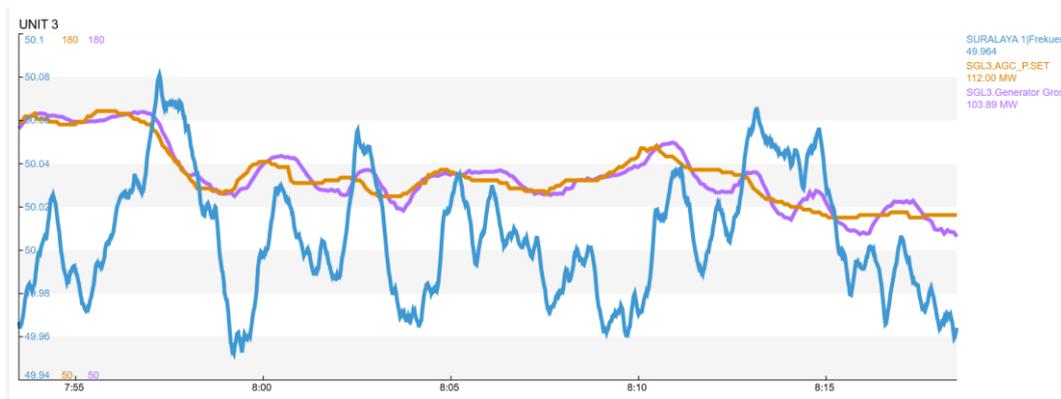
Pada evaluasi Unit 2 sesuai pada gambar 4.3 ini didapatkan deviasi antara daya yang dibangkitkan dengan *setpoint* Pset yang dibutuhkan oleh jaringan. Pada grafik perbandingan daya yang dibangkitkan dengan *setpoint* AGC masih terjadi sedikit keterlambatan respon daya terhadap *setpoint* AGC sehingga unit tidak bisa merespon perubahan frekuensi dengan cepat sehingga perlu dilakukan perubahan nilai *response time* regulasi AGC. Pada tahap evaluasi ini juga diperlukan *improvement logic freegov* unit 2 agar unit mampu merespon perubahan frekuensi saat nilai daya yang dibangkitkan sama dengan nilai HOL maupun LOL.



Gambar 4.2 Grafik Evaluasi Respon AGC Unit 2 PLTA Saguling

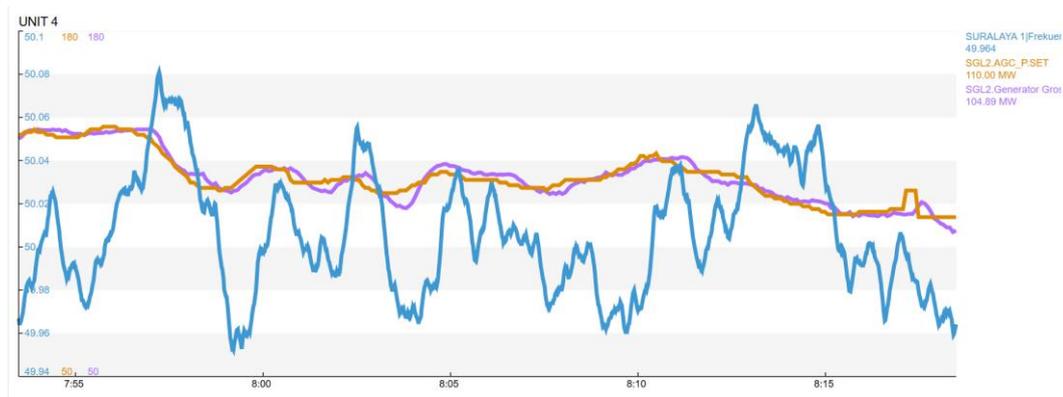
Pada evaluasi Unit 3 ini didapatkan deviasi antara daya yang dibangkitkan dengan *setpoint* Pset yang dibutuhkan oleh jaringan. Pada grafik perbandingan daya yang dibangkitkan dengan *setpoint* AGC masih terjadi sedikit keterlambatan response daya terhadap *setpoint* AGC sehingga unit tidak bisa merespon perubahan

frekuensi dengan cepat sehingga perlu dilakukan perubahan nilai response time regulasi AGC. Pada tahap evaluasi ini juga diperlukan *improvement logic freegov* unit 3 agar unit mampu meresponse perubahan frekuensi saat nilai daya yang dibangkitkan sama dengan nilai HOL maupun LOL.



Gambar 4.3 Grafik Evaluasi Respon AGC Unit 3 PLTA Saguling

Pada evaluasi Unit 4 ini didapatkan deviasi antara daya yang dibangkitkan dengan setpoint Pset yang dibutuhkan oleh jaringan. Pada grafik perbandingan daya yang dibangkitkan dengan setpoint AGC masih terjadi sedikit keterlambatan response daya terhadap setpoint AGC sehingga unit tidak bisa merespon perubahan frekuensi dengan cepat hal ini tentu menjadi bahan evaluasi yang utama dan perlu dilakukan perubahan logic untuk meningkatkan nilai response time regulasi AGC. Pada tahap evaluasi ini juga diperlukan *improvement* yang berkaitan dengan logic *freegov* untuk 4 unit, supaya nantinya 4 unit PLTA Saguling mampu merespons perubahan frekuensi walaupun saat nilai PSet AGC tidak berubah.

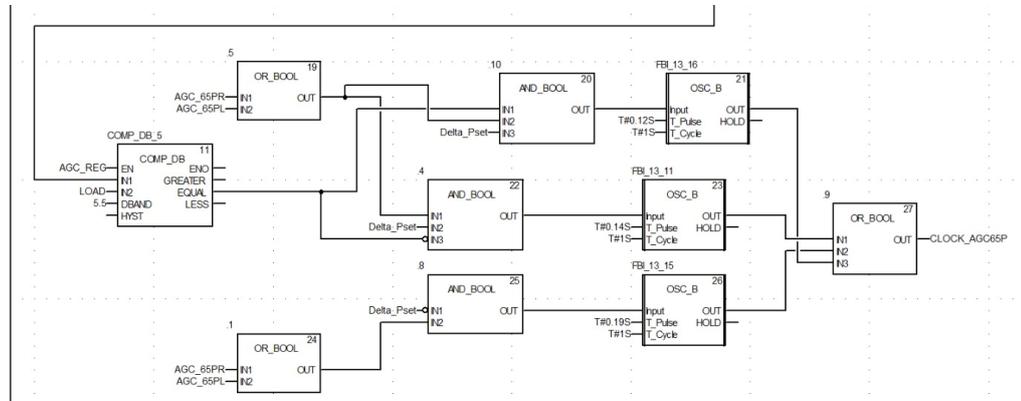


Gambar 4.4 Grafik Evaluasi Respon AGC Unit 4 PLTA Saguling

Kemudian evaluasi tidak hanya tertuju pada pengujian pada respon unit, akan tetapi juga terkait dengan pengujian sinyal AGC Fail yang juga masih belum bisa dilakukan. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan konfigurasi Protokol Komunikasi Modbus TCP/IP pada PLC UPPO Modicon dengan RTU SIKAM AK3. Kendalanya adalah Modbus pada RTU SIKAM AK3 masih belum bisa dikonfigurasi untuk alamat Node/Station. Karena syarat dari pembacaan untuk sinyal komunikasi Modbus pada PLC UPPO Modicon adalah dengan mengkonfigurasi antara alamat IP PLC dan alamat Node/Station Modbusnya.

4.3. Finalisasi Project

Finalisasi *project* dilakukan untuk penyempurnaan *logic* AGC yang sebelumnya telah dilakukan evaluasi pada sistem regulasi AGC unit PLTA Saguling. Pada tahap evaluasi implementasi AGC selama 1 bulan, masih ada beberapa catatan diantaranya kurangnya respon daya yang dibangkitkan unit dengan perubahan *setpoint* Pset AGC dan juga diperlukan *improvement* yang berkaitan dengan *logic freegov* untuk 4 unit, supaya nantinya 4 unit PLTA Saguling mampu merespon perubahan frekuensi walaupun saat nilai PSet AGC tidak berubah. Kemudian dilakukan modifikasi perubahan *logic* untuk meningkatkan *response time* dengan mengubah nilai *timer clock* dan penambahan *logic timer* agar respon beban unit terhadap *setpoint* Pset AGC lebih cepat dan lebih presisi dan sesuai antara beban yang dibangkitkan dengan *setpoint* Pset AGC.



Gambar 4.5 *Update Logic* Regulasi AGC

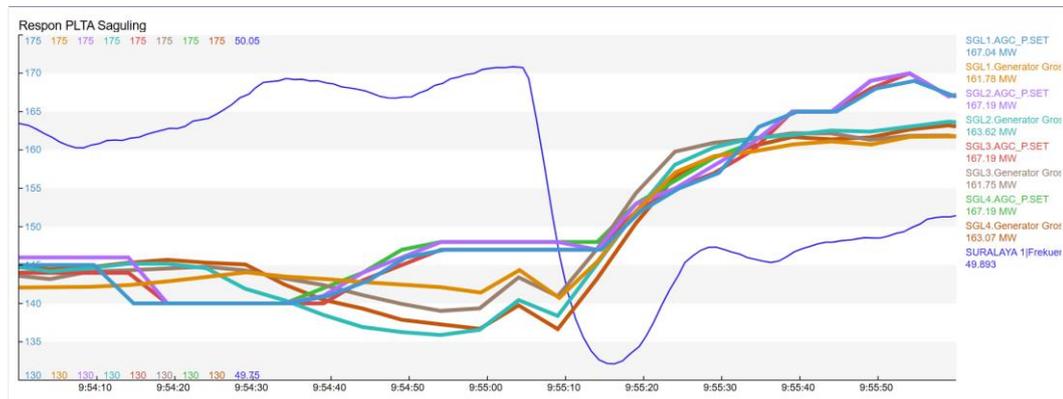
Perubahan *logic* dilakukan dengan menambahkan 2 *function block* baru yang mana berfungsi untuk memberikan respon waktu ketika ada perubahan beban secara signifikan dan ketika mendapatkan perubahan beban yang kecil. Sehingga ketika terjadi deviasi antara daya yang dibangkitkan dengan PSet daya yang diminta dari JCC maka akan langsung memilih penggunaan *function block* yang sesuai. *Function block* pertama digunakan apabila terjadi deviasi diatas 10 MW, 5.5 MW dan 3 MW.

Setelah dilakukan perubahan pada *logic* dan melakukan penyempurnaan untuk sistem AGC pada unit pembangkit PLTA Saguling, maka pada tanggal 1 Oktober 2021 ditetapkan pemakaian mode operasi AGC dan bersamaan dengan hal ini penandatanganan IK sesuai pada lampiran 2 untuk pengoperasian pembangkit dengan menggunakan mode AGC.

Ketentuan pada nilai setpoint HOL (High Operation Limit), LOL (Low Operation Limit) berdasarkan IK pengoperasian merupakan setpoint yang sudah disetujui saat dilakukan komisioning yang sudah melalui pengujian bersama dengan UIP2B dan harus disamakan dengan nilai DMN tiap unit pada kondisi normal. Setpoint dapat berubah apabila terdapat kebutuhan yang mendesak dengan memperimbangan kondisi mesin pembangkit maupun menyesuaikan dengan keadaan jaringan JAMALI yang untuk perubahannya dapat dikomunikasikan dan disepakati melalui komunikasi pesawat telepon.

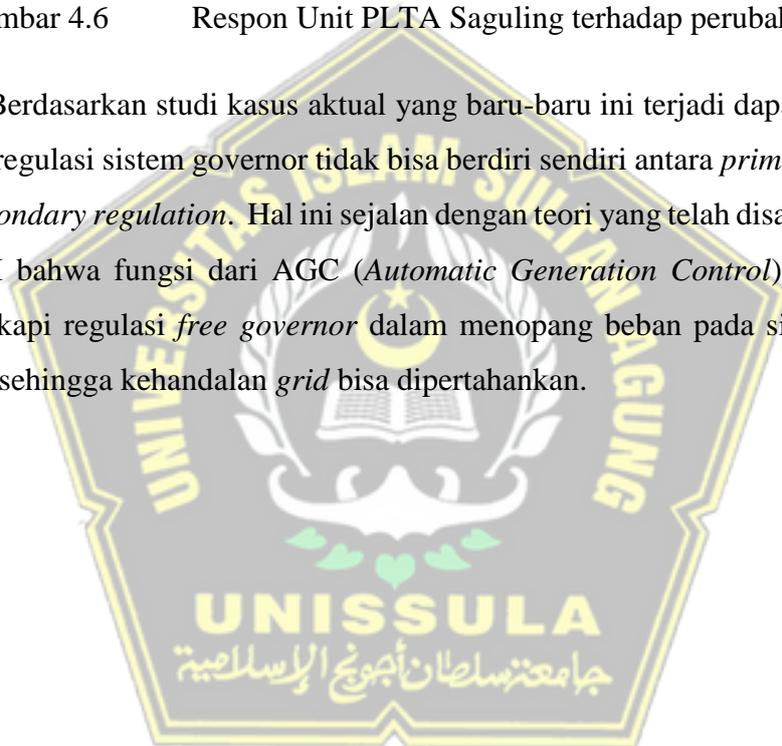
4.4. *REALESE AGC*

Setelah dilakukan penyempurnaan logic pada penyempurnaan project, sistem AGC secara resmi di implementasikan pada PLTA Saguling. Dengan ini PLTA Saguling sudah mampu meregulasi perubahan frekuensi sistem, sebagai contoh pada hari Jum'at tanggal 13 Mei tahun 2022 terjadi trip PLTU PEC #8 dengan beban 510 MW pada Pukul 09:55 WIB. Frekuensi *system* mengalami penurunan dari 50.021 - 49.766 Hz. Pada saat itu PLTA Saguling sedang beroperasi 4 unit dengan beban awal disekitar 140 MW. Pada saat frekuensi turun, keempat unit PLTA Saguling merespon turunnya frekuensi *system* dengan naiknya beban dengan fitur *freegovernor* yang telah aktif di semua unit. Dengan setting nilai *speed droop* 2% serta terjadi delta frekuensi sebesar 0,24Hz maka respon PLTA Saguling telah sesuai yaitu naik beban sekitar 42MW sehingga beban keempat PLTA Saguling menjadi maksimal di 172 MW. Setelah respon *freegov* bekerja di detik-detik awal hal ini dapat mencegah penurunan nilai frekuensi yang lebih drastis di *grid*. Namun setelah adanya respon dari *freegovernor* nilai dari frekuensi *grid* masih belum nominal, kemudian nilai *Set Point* ACG yang baru dikirmkan oleh *master station* JCC. Sehingga regulasi unit diambil alih oleh *secondary regulation* untuk membantu frekuensi *grid* kembali ke nilai nominal di 50Hz.



Gambar 4.6 Respon Unit PLTA Saguling terhadap perubahan frekuensi

Berdasarkan studi kasus aktual yang baru-baru ini terjadi dapat kita pelajari bahwa regulasi sistem governor tidak bisa berdiri sendiri antara *primary regulation* dan *secondary regulation*. Hal ini sejalan dengan teori yang telah disampaikan pada BAB II bahwa fungsi dari AGC (*Automatic Generation Control*) adalah untuk melengkapi regulasi *free governor* dalam menopang beban pada sistem jaringan 500 kv sehingga kehandalan *grid* bisa dipertahankan.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan data yang didapat pada proses implementasi regulasi frekuensi menggunakan metode AGC pada PLTA Saguling dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Proses transfer data AGC unit 1, 2, 3 dan 4 PLTA Saguling dari JCC ke PLTA Saguling dan begitupun sebaliknya berhasil dengan presentasi keberhasilan pengujian transfer data 92,3% pada setiap unit dengan kategori OK disetiap pengujian, ada satu parameter yang belum berhasil dalam proses transfer data, akan tetapi ini tidak berpengaruh dalam proses implementasi AGC pada PLTA Sgauling.
2. Impelentasi AGC pada PLTA Saguling dapat merespon perubahan frekuensi sistem yang terjadi pada jum'at tanggal 13 mei tahun 2022, pukul 09:55 WIB terjadi penurunan frekuensi 50.021 – 49.766 Hz dengan adanya trip pada pembangkit PLTU PEC #8 dengan beban 510 MW. Dimana empat unit PLTA Saguling dapat merespon beban dari 140 MW ke beban maksimum 172 MW dengan kenaikan beban 42 MW dengan mode freegov dan AGC.

5.2. Saran

Berdasarkan proses penelitian pada implementasi kontrol frekuensi menggunakan metode AGC pada PLTA Saguling terdapat saran untuk mengembangkan penelitian selanjutnya antara lain sebagai berikut :

1. AGC di PLTA Saguling perlu dilakukan pegecekan pada setiap sisi baik sisi mekanik maupun sisi kontrollernya yang bisa menyebabkan terjadi telat repon pada beban pembangkit terhadap perubahan *setpoint* AGC.

2. Implementasi AGC dikembangkan untuk mengaktifkan sinyal AGC Fail yang sekarang masih belum aktif, supaya kedepannya AGC di PLTA Saguling menjadi lebih handal.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Nuryanto, “Peran Free Governor Gas Turbin Pltgu Priok Dalam Membantu Pemulihan Subsistem Priok Bekasi.” diakses dari <https://knowladgecenter.plnindonesiapower.co.id>
- [2] L. (PT P. I. P. Hakim and H. (PT P. I. P. Firmansyah, “Upgrade Infrastruktur Komunikasi System Load Frequency Control (LFC) PLTA Saguling,” 2020. diakses dari <https://knowladgecenter.plnindonesiapower.co.id>
- [3] F. (PT P. I. P. Helmi, “MODIFIKASI SISTEM Low Frequency Control MENJADI Automatic Generation Control PADA PLTGU TAMBAK LOROK BLOK 2,” p. 6, 2022. diakses dari <https://knowladgecenter.plnindonesiapower.co.id>
- [4] A. (PT P. I. P. Zainudin, “Keunggulan AGC dan Kontribusinya dalam Mempertahankan Frekuensi Sistem Studi kasus: Proyek PLTU Grati Blok #2,” 2022. diakses dari <https://knowladgecenter.plnindonesiapower.co.id>
- [5] L. Aulia, “Pengaturan Pasokan Gas Saat Pengoperasian PLTGU SMG PGU Dengan Sistem AGC.” diakses dari <https://knowladgecenter.plnindonesiapower.co.id>
- [6] H. Rosadi, “Pengoperasian Automatic Generation Control (AGC) PLTGU Semarang PGU.” diakses dari <https://knowladgecenter.plnindonesiapower.co.id>
- [7] D. hidayat fahrul, “Prinsip dan Implementasi Automatic Generation Control (AGC) Pada PLTU Pelabuhan Ratu,” pp. 31–41, 2023. diakses dari <https://knowladgecenter.plnindonesiapower.co.id>
- [8] M. D. Noviantara, I. N. Suweden, and I. M. Mataram, “Analisis Stabilitas Sistem Tenaga Listrik Dengan Automatic Generation Control (AGC) Dua Area Menggunakan Fuzzy Logic Controller,” *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 2, p. 263, 2018, doi: 10.24843/mite.2018.v17i02.p15.
- [9] T. Corporate, *Field Test Record for #1 Unit Governor Regulator Saguling Hydrielectric Power Plant*. Bandung, Indonesia, 2011.
- [10] T. S. A, I. Agung, B. Muljono, and I. I. M. Ginarsa, “ANALISIS NILAI KARAKTERISTIK SPEED DROOP GOVERNOR TERHADAP KESTABILAN DAYA DAN FREKUENSI Analysis Of Speed Droop

Governor Characteristic Value On Power Stability And Frequency,” pp. 1–15.

- [11] F. Romario Marpaung, “Penerapan Sistem Automatic Generation Control (AGC) Pada Pembangkit Mrica On Grid Dalam Pengendalian Operasi Sistem Jawa Bali.” diakses dari <https://knowledgecenter.plnindonesiapower.co.id>
- [12] J. E. C. Inc, *Saguling Hydroelectric Power Plan Operation and Manatence Manual for Generating Equipment Volue I*. Osaka, Japan, 1985.
- [13] J. E. C. Inc, *Saguling Hydroelectric Power Plan Operation and Manatence Manual for Generating Equipment Volue III*. Osaka, Japan, 1985.
- [14] S. Romadhona, Z. Hanni Pradana, S. Larasati, and S. L. Br Perangin-angin, “Prtotipe Monitoring Suhu Dan Kelembapan Pada Budidaya Kelinci Dengan Komunikasi Modbus Pada Sensor Xy-Md02,” *J. SINTA Sist. Inf. dan Teknol. Komputasi*, vol. 1, no. 3, pp. 118–128, 2024, doi: 10.61124/sinta.v1i3.21.
- [15] P. P. (Persero), *SPLN S5.004: 2021 Sistem automatic generation control (AGC)*, no. 0099. Jakarta: PT PLN (Persero), 2022.

