

ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN FREKUENSI SISTEM
TERHADAP KINERJA GOVERNOR
PADA PLTA BAKARU UNIT 1



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

Wawan Adhyaksa S
442 19 044

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2023

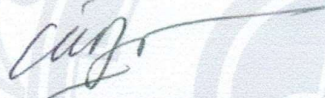
HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi ini dengan judul “Analisis Pengaruh Perubahan Frekuensi Sistem Terhadap Kinerja Governor Pada PLTA Bakaru Unit 1” oleh Wawan Adhyaksa S 442 19 044 dinyatakan layak untuk diseminarkan.

Makassar, 15 Agustus 2023

Menyetujui
Dosen Pembimbing I,

Menyetujui
Dosen Pembimbing II,



Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D.
NIP. 19600817 198903 1 002



Ir. Remigius Tandioga, M.Eng.Sc.
NIP. 19621210 199003 1 005

Mengetahui
Koordinator Program Studi



Ir. Melandira Buana, M.T
NIP. 19650319 199103 1 003

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:


Nama : Wawan Adhyaksa S
Nim : 442 19 044
Program Studi : D4 Teknik Pembangkit Energi
Jurusan : Teknik Mesin

Dengan ini menyatakan bahwa data yang saya sampaikan melalui berkas wisuda, laman simakpoliupg.ac.id dan laman pendaftaran wisuda adalah benar, sehingga data tersebut dapat digunakan untuk keperluan pencetakan Ijazah dan Transkrip Nilai. Dan apabila data tersebut terdapat kesalahan atas kelalaian saya, maka saya tidak akan menuntut untuk pencetakan ulang Ijazah dan Transkrip Nilai saya.

Demikian surat pernyataan saya buat atas dasar kesadaran sendiri, tanpa tekanan dari pihak manapun.

Makassar, 15 Agustus 2023

Yang Membuat,


Wawan Adhyaksa S
NIM. 44219044

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, hari Selasa, 15 Agustus 2023, tim penguji seminar skripsi telah menerima hasil seminar skripsi oleh mahasiswa: Wawan Adhyaksa S NIM 442 19 044 dengan judul **Analisis Pengaruh Perubahan Frekuensi Sistem Terhadap Kinerja Governor Pada PLTA Bakaru Unit 1.**

Makassar, 15 Agustus 2023

Tim Seminar Proposal Skripsi:

1. Ir. La Ode Musa, M.T. (Ketua.....)
2. Ir. Andreas Pangkung, M.T. (Sekretaris.....)
3. Dr. Jumadi Tangko, M.Pd. (Anggota.....)
4. Yiyin Klistafani, S.T., M.T. (Anggota.....)
5. Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D. (Pembimbing I.....)
6. Ir. Remigius T, M.Eng.Sc. (Pembimbing II.....)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat rahmat dan pertolongan-Nya, penulisan proposal skripsi ini yang berjudul ”**Analisis Pengaruh Perubahan Frekwensi Sistem Terhadap Kinerja Governor Pada PLTA Bakaru Unit 1**” dapat diselesaikan dengan baik.

Dalam penulisan skripsi ini tidak sedikit hambatan yang penulis alami. Namun, berkat bantuan banyak pihak terutama pembimbing, hambatan tersebut dapat teratasi. Sehubungan dengan itu, pada kesempatan dan melalui lembaran ini penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Kedua orang tua dan saudara-saudara penulis yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan kepada penulis.
2. Bapak Ir. Ilyas Mansur, M.T. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Bapak Dr. Ir. Syaharuddin Rasyid, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Ir. Chandra Buana, M.T. selaku Koordinator Program Studi D4 Teknik Pembangkit Energi
5. Bapak Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D. sebagai pembimbing 1 yang telah mencurahkan perhatian dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan proposal skripsi ini.
6. Bapak Ir. Remigius Tandioga, MEngSc. sebagai pembimbing 2 yang telah mencurahkan perhatian dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan proposal skripsi ini

7. Sege nap Dosen pada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya Dosen pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi.
8. Seluruh tenaga kependidikan dan instruktur pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri ujung Pandang.
9. Teman-teman Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya teman-teman pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi angkatan 2019 yang telah membantu dan memberikan dukungannya.
10. Buat semua pihak yang tidak sempat penulis sebutkan satu-persatu yang berjasa dalam penyelesaian proposal skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Makassar, 15 Agustus 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
HALAMAN PENERIMAAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR SIMBOL	xiii
RINGKASAN	xiv
SUMMARY	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 <i>Governor</i>	6
2.3 Prinsip Kerja <i>Governor</i>	7
2.4 <i>Speed Droop Governor</i>	8
2.5 Respon <i>Governor</i>	10
2.6 Mode Pengoperasian Kontrol <i>Governor</i>	11
2.7 Frekuensi Sistem Tenaga Listrik.....	13

2.8	Pengendalian Frekuensi Sistem.....	14
2.9	Hubungan Frekuensi dan Daya Aktif.....	15
2.10	Pengaturan Frekuensi dan Daya Aktif	17
2.11	Hubungan antara Ketidakstabilan Frekuensi dengan Kerusakan Peralatan Listrik	19
2.12	Perhitungan Daya Aktif Generator.....	20
2.13	Pengaturan <i>Speed Droop Governor</i>	21
2.14	Respon <i>Governor</i> terhadap Perubahan Beban	21
BAB III METODE PENELITIAN.....		24
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	24
3.2	Tahap Penelitian.....	24
3.3	Metode Analisis.....	26
3.4	Diagram Alir	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		29
4.1	Hasil Penelitian	29
4.1.1	Tabel Data Harian Generator Unit 1.....	29
4.1.2	Grafik Hubungan Beban Setiap Waktu (<i>Load-Duration Curve</i>).....	37
4.2	Pembahasan Hasil Penelitian	37
4.2.1	Pengaruh perubahan frekuensi sistem terhadap kinerja <i>governor</i> PLTA Bakaru Unit 1	37
4.2.2	Pengaruh Nilai <i>Speed Droop governor</i> terhadap kinerja <i>governor</i> saat terjadi perubahan frekuensi sistem pada PLTA Bakaru Unit 1	55
BAB V PENUTUP.....		76
5.1	Kesimpulan.....	76
5.2	Saran.....	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema <i>Governor</i> PLTA Bakaru.....	8
Gambar 2.2 Perbandingan respon <i>speed regulation</i> 2% dan 5%	9
Gambar 2.3 grafik respon <i>isochronous mode</i> terhadap perubahan beban	12
Gambar 2.4 Grafik respon frekuensi terhadap perubahan beban pada <i>droop mode</i>	13
Gambar 2.5 Grafik Pengaturan Frekuensi.....	15
Gambar 2.6 (a) Hubungan frekuensi dan daya aktif (50 Hz), (b) Hubungan frekuensi dan daya aktif (>50 Hz), (c) Hubungan frekuensi dan daya aktif (<50 Hz)	16
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> penelitian	28
Gambar 4.1 <i>Load duration curve</i> tanggal 20-26 Februari 2023	37
Gambar 4.2 Grafik hubungan <i>governor action</i> dan frekuensi aktual setiap waktu pada tanggal 20 Februari 2023.....	63
Gambar 4.3 Grafik hubungan <i>governor action</i> dan frekuensi aktual setiap waktu pada tanggal 21 Februari 2023.....	65
Gambar 4.4 Grafik hubungan <i>governor action</i> dan frekuensi aktual setiap waktu pada tanggal 22 Februari 2023.....	67
Gambar 4.5 Grafik hubungan <i>governor action</i> dan frekuensi aktual setiap waktu pada tanggal 23 Februari 2023	69
Gambar 4.6 Grafik hubungan <i>governor action</i> dan frekuensi aktual setiap waktu pada tanggal 24 Februari 2023.....	71
Gambar 4.7 Grafik hubungan <i>governor action</i> dan frekuensi aktual setiap waktu pada tanggal 25 Februari 2023.....	73

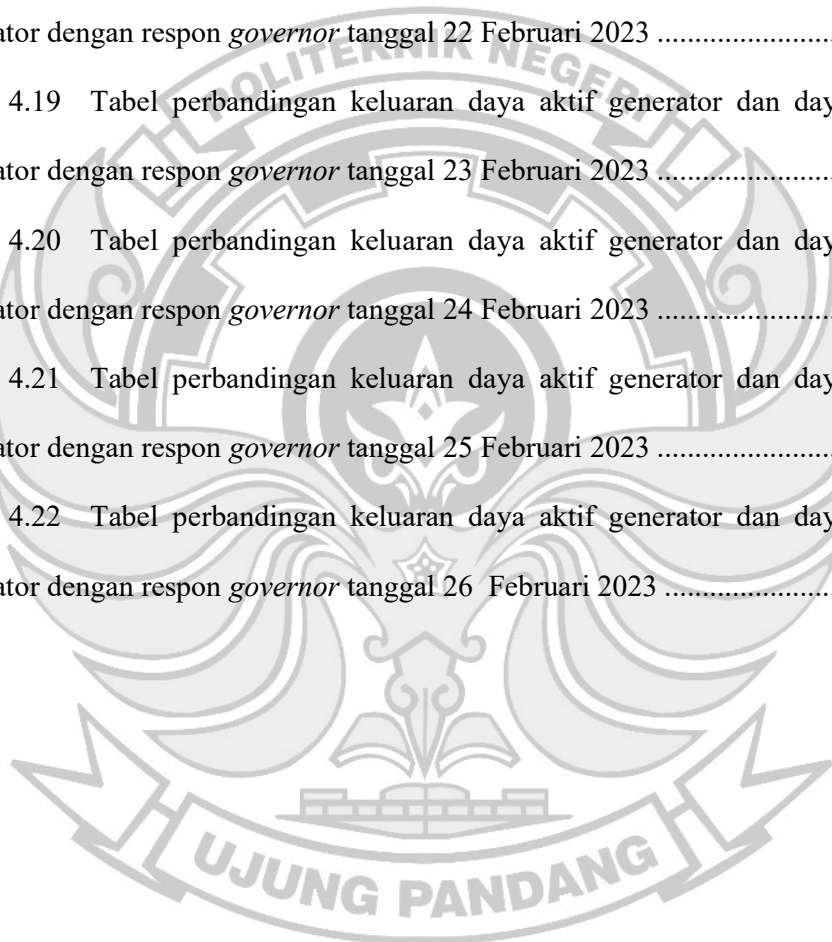
Gambar 4.8 Grafik hubungan *governor action* dan frekuensi aktual setiap waktu pada tanggal 26 Februari 2023 75



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Tabel data generator unit 1 PLTA Bakaru tanggal 20 Februari 2023..	30
Tabel 4.2	Tabel data generator unit 1 PLTA Bakaru tanggal 21 Februari 2023..	31
Tabel 4.3	Tabel data generator unit 1 PLTA Bakaru tanggal 22 Februari 2023.	32
Tabel 4.4	Tabel data generator unit 1 PLTA Bakaru tanggal 23 Februari 2023.	33
Tabel 4.5	Tabel data generator unit 1 PLTA Bakaru tanggal 24 Februari 2023.	34
Tabel 4.6	Tabel data generator unit 1 PLTA Bakaru tanggal 25 Februari 2023..	35
Tabel 4.7	Tabel data generator unit 1 PLTA Bakaru tanggal 26 Februari 2023..	36
Tabel 4.8	Tabel Karakteristik <i>Speed Droop</i>	41
Tabel 4.9	Tabel hasil perhitungan <i>speed droop</i> aktual dan perbandingan antara frekuensi teoritis dan frekuensi aktual tanggal 20 Februari 2023	42
Tabel 4.10	Tabel hasil perhitungan <i>speed droop</i> aktual dan perbandingan antara frekuensi teoritis dan frekuensi aktual tanggal 21 Februari 2023	44
Tabel 4.11	Tabel hasil perhitungan <i>speed droop</i> aktual dan perbandingan antara frekuensi teoritis dan frekuensi aktual tanggal 22 Februari 2023	46
Tabel 4.12	Tabel hasil perhitungan <i>speed droop</i> aktual dan perbandingan antara frekuensi teoritis dan frekuensi aktual tanggal 23 Februari 2023	48
Tabel 4.13	Tabel hasil perhitungan <i>speed droop</i> aktual dan perbandingan antara frekuensi teoritis dan frekuensi aktual tanggal 24 Februari 2023	50
Tabel 4.14	Tabel hasil perhitungan <i>speed droop</i> aktual dan perbandingan antara frekuensi teoritis dan frekuensi aktual tanggal 25 Februari 2023	52
Tabel 4.15	Tabel hasil perhitungan <i>speed droop</i> aktual dan perbandingan antara frekuensi teoritis dan frekuensi aktual tanggal 26 Februari 2023	54

Tabel 4.16	Tabel perbandingan keluaran daya aktif generator dan daya aktif generator dengan respon <i>governor</i> tanggal 20 Februari 2023	62
Tabel 4.17	Tabel perbandingan keluaran daya aktif generator dan daya aktif generator dengan respon <i>governor</i> tanggal 21 Februari 2023	64
Tabel 4.18	Tabel perbandingan keluaran daya aktif generator dan daya aktif generator dengan respon <i>governor</i> tanggal 22 Februari 2023	66
Tabel 4.19	Tabel perbandingan keluaran daya aktif generator dan daya aktif generator dengan respon <i>governor</i> tanggal 23 Februari 2023	68
Tabel 4.20	Tabel perbandingan keluaran daya aktif generator dan daya aktif generator dengan respon <i>governor</i> tanggal 24 Februari 2023	70
Tabel 4.21	Tabel perbandingan keluaran daya aktif generator dan daya aktif generator dengan respon <i>governor</i> tanggal 25 Februari 2023	72
Tabel 4.22	Tabel perbandingan keluaran daya aktif generator dan daya aktif generator dengan respon <i>governor</i> tanggal 26 Februari 2023	74



DAFTAR SIMBOL

Keterangan	Simbol	Satuan
Frekuensi	f	Hz
Putaran	n	rpm
Jumlah kutub	P	-
Kopel penggerak generator	T_G	Nm
Kopel beban generator	T_B	Nm
Momen inersia generator	H	kgm ²
Kecepatan sudut putar generator	Ω	rpm
Waktu	T	detik (s)
Reaktansi induktif	X_L	Ω
Induktor	L	H
Tegangan	V	V
Arus	I	A
Daya aktif	P	W
Daya aktif dengan aksi <i>governor</i>	P'	W
Faktor daya	$\cos \phi$	-
<i>Speed droop</i>	SD	%
Putaran tanpa beban	n_1	rpm
Putaran beban penuh	n_2	rpm
Putaran nominal	n_0	rpm
Faktor partisipasi	K	MW/Hz
Frekuensi referensi	f_0	50 Hz
Daya nominal	P_0	MW

RINGKASAN

PLTA Bakaru salah satu pembangkit energi harus menjaga kualitas listrik yang dihasilkan. Frekuensi yang selalu berubah menyebabkan kualitas listrik menjadi buruk. Untuk menjaga kualitas listrik yang dihasilkan maka diperlukan suatu alat yang dapat mengontrol dan menjaga frekuensi. *Governor* merupakan alat yang mampu menjaga putaran dan frekuensi pada pembangkit. Salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja *governor* adalah *speed droop*. Tujuan penelitian ini Mengkaji pengaruh perubahan frekuensi sistem terhadap kinerja *governor* PLTA Bakaru unit 1 serta untuk mengetahui pengaruh nilai *speed droop governor* terhadap kinerja *governor* saat terjadi perubahan frekuensi sistem pada PLTA Bakaru Unit 1.

Penelitian ini dilaksanakan dengan metode kuantitatif deskriptif. Data-data yang telah dikumpulkan dengan metode observasi, wawancara/diskusi dan studi dokumen dari PLTA Bakaru Unit 1 akan diolah dalam bentuk perhitungan untuk menghitung beberapa parameter yang dibutuhkan kemudian disajikan dalam bentuk grafik dan pembahasan.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa PLTA Bakaru dengan nilai *speed droop* 5% dapat menyebabkan putaran menurun menjadi 475 rpm saat beban penuh, sedangkan jika nilai *speed droop* yang ditetapkan diubah menjadi 3% dapat menurunkan putaran menjadi 485 rpm saat beban penuh. Secara aktual dengan nilai *speed droop* 5% *governor* PLTA Bakaru Unit 1 mampu bekerja dengan baik menjaga perubahan putaran yang terjadi mulai dari 498-502 rpm. Dengan nilai *speed droop* 5% juga dapat berpartisipasi dalam perbaikan frekuensi sistem dengan perubahan daya 25,2 MW/Hz sedangkan dengan nilai 3% dapat menyebabkan perubahan daya 42 MW/Hz.

Kata kunci: *Governor*, *Speed droop*, Frekuensi, Putaran

SUMMARY

PLTA Bakarú is one of the energy plants that must maintain the quality of electricity produced. The frequency that always changes causes the quality of electricity to be poor. To maintain the quality of electricity generated, a device is needed that can control and maintain frequency. Governor is a tool that is able to maintain rotation and frequency in the plant. One factor that affects the performance of the governor is speed droop. The purpose of this research is to examine the effect of changes in system frequency on the performance of the PLTA Bakarú Unit 1 governor and to determine the effect of the governor speed droop value on governor performance when there is a change in system frequency at PLTA Bakarú unit 1.

This research was conducted using descriptive quantitative method. The data that has been collected by observation, interview/discussion and document study methods from PLTA Bakarú Unit 1 will be processed in the form of calculations to calculate several parameters needed and then presented in the form of graphs and discussions.

The results of this research indicate that the PLTA Bakarú Unit 1 with a speed droop value of 5% can cause the rotation to decrease to 475 rpm at full load, while if the speed droop value set is changed to 3% it can reduce the rotation to 485 rpm at full load. Actually, with a speed droop value of 5%, the governor of Bakarú Unit 1 Hydropower Plant is able to work well to maintain the rotation changes that occur ranging from 498-502 rpm. With a speed droop value of 5% can also participate in improving the system frequency with a power change of 25.2 MW/Hz while with a value of 3% can cause a power change of 42 MW/Hz.

Keywords : *Governor, Speed droop, Frequency, Rotation*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan salah satu kebutuhan mutlak bagi manusia, baik energi langsung dari alam maupun energi yang didapatkan dari proses manipulasi pemanfaatan energi oleh manusia. Salah satu jenis energi yang sangat penting ialah energi listrik. Listrik merupakan faktor penting dalam kehidupan karena dengan adanya listrik akan sangat membantu di berbagai sektor, baik dalam sektor rumah tangga, industri, bahkan perekonomian yang dapat menunjang kesejahteraan hidup manusia (Sari, 2018).

PLTA Bakaru merupakan pembangkit energi tenaga air terbesar yang ada pada provinsi Sulawesi Selatan. PLTA Bakaru memanfaatkan aliran air sungai mamasa sebagai sumber air utama pembangkitan. PLTA Bakaru memiliki kapasitas sebesar 2 x 63 MW yang dimiliki oleh PT. PLN (PERSERO).

PLTA Bakaru sebagai salah satu penyedia listrik, maka perlu menjaga kualitas listrik yang dihasilkan. Salah satu indikator kualitas listrik yang baik ialah dengan menjaga nilai frekuensi yang stabil berada pada nilai 50 Hz. Frekuensi yang tidak stabil dapat merusak peralatan dikarenakan alat tidak dapat bekerja secara optimal (Simanjong dkk., 2019)

Frekuensi yang ada pada sistem tenaga listrik akan selalu berubah-ubah setiap waktu. Perubahan frekuensi ini bergantung dengan jumlah beban dan keluaran generator, ketika beban yang ada pada sistem lebih besar daripada keluaran generator, maka frekuensi akan menurun dan begitu

sebaliknya. Karena frekuensi akan selalu berubah maka diperlukan suatu alat yang mampu menjaga frekuensi sistem. Salah satu alat yang mampu menjaga frekuensi sistem ialah *governor*.

Governor merupakan suatu alat mekanis untuk menjaga putaran untuk tetap pada putaran nominal yang dikehendaki. Prinsip kerja *governor* ialah mengatur kecepatan putaran pada *prime mover* dan mengatur beban secara otomatis melalui *speed droop* dengan mengatur jumlah air yang masuk ke turbin pada PLTA Bakaru. Dimana *governor* ini akan terus bekerja sepanjang terjadinya deviasi putaran dari putaran nominal yang ditetapkan sehingga dapat menyebabkan masa pakai *governor* menjadi lebih pendek.

Governor PLTA Bakaru sering terjadi gagal fungsi yang dapat menyebabkan *stop* unit sehingga produksi listrik menjadi terganggu. Sehubungan dengan itu maka perlu dilakukan *maintenance* dan pengaturan nilai *speed droop* yang tepat agar tidak membebani kerja dari *governor* dan generator PLTA Bakaru Unit 1.

Speed droop merupakan nilai dalam persen dari perubahan daya aktif keluaran generator terhadap perubahan setiap persen frekuensi. Pada PLTA Bakaru menetapkan nilai *speed droop* 5%. Seharusnya nilai tersebut masih bisa lebih kecil sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan sesuai Peraturan Menteri Energi Sumber dan Daya Mineral No 20 Tahun 2020 tentang Aturan Sistem Tenaga dan Jaringan (*Grid Code*).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah yang diangkat pada skripsi ini ialah:

1. Bagaimana pengaruh perubahan frekuensi terhadap kinerja *governor* pada PLTA Bakaru Unit 1?
2. Bagaimana pengaruh *speed droop governor* terhadap kinerja *governor* saat terjadi perubahan frekuensi sistem pada PLTA Bakaru Unit 1?

1.3 Ruang Lingkup Masalah

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah tersebut, maka penulis dapat memberi batasan masalah agar tidak meluasnya pembahasan permasalahan yang akan dibahas serta untuk mencapai pembahasan yang tepat dan terarah. Penulis membatasi permasalahan antara lain :

1. Hanya membahas pengaruh *speed droop governor* terhadap perubahan nilai frekuensi pada PLTA Bakaru dengan mengabaikan pembangkit lain .
2. Mengabaikan pengaruh VAR atau daya reaktif.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian skripsi ini yaitu:

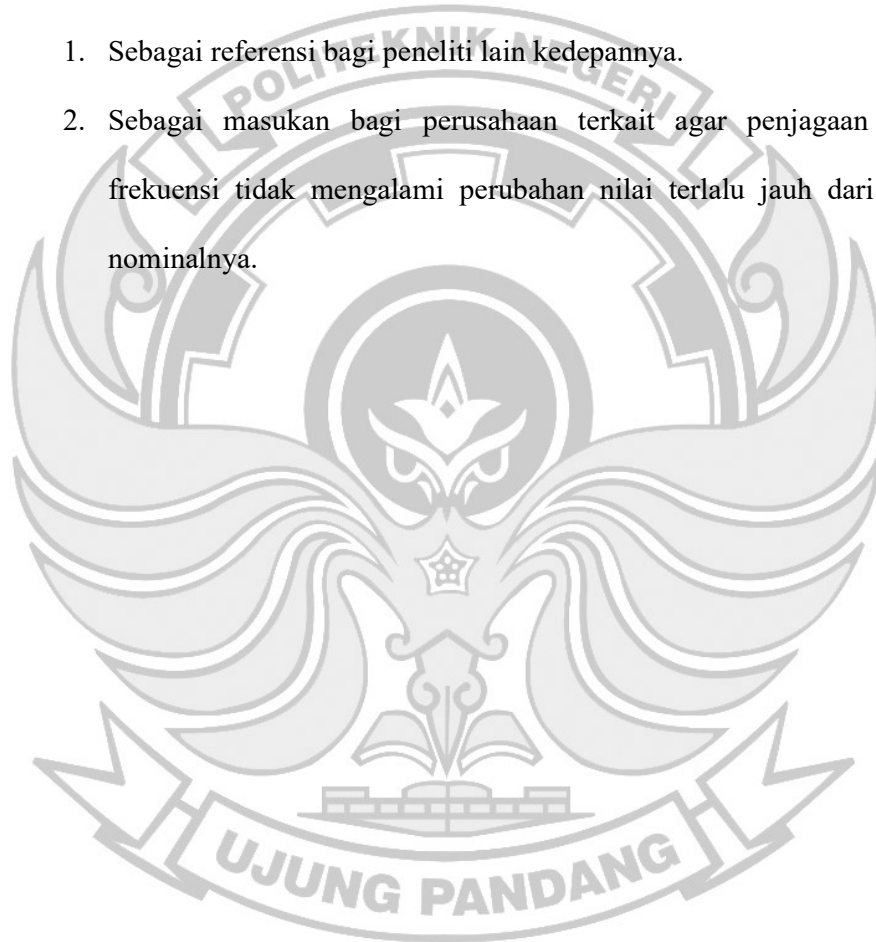
1. Mengkaji pengaruh perubahan frekuensi sistem terhadap kinerja *governor* PLTA Bakaru unit 1.

2. Untuk mengetahui pengaruh nilai *speed droop governor* terhadap kinerja *governor* saat terjadi perubahan frekuensi sistem pada PLTA Bakaru Unit 1.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini yaitu:

1. Sebagai referensi bagi peneliti lain kedepannya.
2. Sebagai masukan bagi perusahaan terkait agar penjaminan nilai frekuensi tidak mengalami perubahan nilai terlalu jauh dari nilai nominalnya.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Ada beberapa hasil penelitian terdahulu yang dijadikan tinjauan pustaka dalam penelitian ini, sehingga akan didapatkan keterkaitan dengan hasil penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai acuan pada penelitian ini. Adapun hasil penelitian terdahulu yang penulis maksud sebagai berikut :

Skripsi Karunia Akbar Gusti Pamundra (2020), Fakultas Ketenaga Listrik Dan Energi Terbarukan dengan Judul “Analisis *Speed Droop Governor* Sebagai Pengaturan Frekuensi Pada Sistem Tenaga Listrik PLTU Muara Karang Unit 5”. Menyatakan bahwa *speed droop* berpengaruh terhadap respon *governor* dalam mengontrol perubahan frekuensi, dimana semakin kecil nilai *speed droop* maka semakin peka *governor* terhadap perubahan frekuensi.

Penelitian lain dalam karya ilmiah (Mobarak, 2015), yang berjudul “*Effects of the Droop Speed Governor and Automatic Generation Control AGC on Generator Load Sharing of Power System.*” Menyatakan bahwa pembagian beban ekstra oleh generator ditentukan oleh *speed droop* dari *governor*. Dimana *governor* akan mencegah kenaikan atau penurunan putaran yang besar secara tiba-tiba yang diakibatkan oleh perubahan beban.

Penelitian lain menurut (Wahyuni dkk., 2022) yang berjudul “Analisis *Setting Speed Droop Dan Deadband Governor* Unit 1 PLTA Maninjau Sebagai Pengaturan Frekuensi Pada Sistem 150 kV.” Menjelaskan

bahwa *Setting speed droop* 8% maka *governor* dapat merespon perubahan nilai frekuensi sebesar 4 Hz. Jika rentang nilai perubahan frekuensi berada di luar rentang kerja *deadband* maka *governor* tidak dapat merespon perubahan frekuensi. Dalam penelitiannya juga menjelaskan bahwa semakin kecil *setting speed droop* maka respon *governor* akan semakin peka terhadap perubahan nilai frekuensi. Akan tetapi semakin kecil *setting speed droop* dapat menyebabkan umur peralatan semakin pendek karena. Ketika terjadi penurunan frekuensi sedikit saja, maka *guide vane* langsung merespon menambah atau mengurangi bukaan agar turbin dan generator menambah daya yang besar.

2.2 **Governor**

Governor adalah sebuah peralatan mekanis yang berfungsi untuk mengatur putaran dari sebuah mesin (turbin), yaitu dengan cara mengatur jumlah masuknya aliran fluida (air) ke turbin. Prinsip kerja *governor* sangat sederhana dengan memanfaatkan perbedaan putaran dari generator terhadap putaran nominalnya. Kemudian *governor* akan mengatur bukaan *guide vane* agar debit air dapat diatur sesuai dengan perubahan putaran yang terjadi akibat perubahan beban sehingga dapat kembali ke putaran nominal (Masruhan dkk., 2019).

Mengatur putaran turbin identik dengan mengatur frekuensi. Kecepatan putar turbin diatur sedemikian rupa agar tetap konstan pada saat diberi beban. Pada saat beban bertambah dan frekuensi menurun dimana kecepatan turbin generator berkurang, maka *governor* akan mengatur bukaan

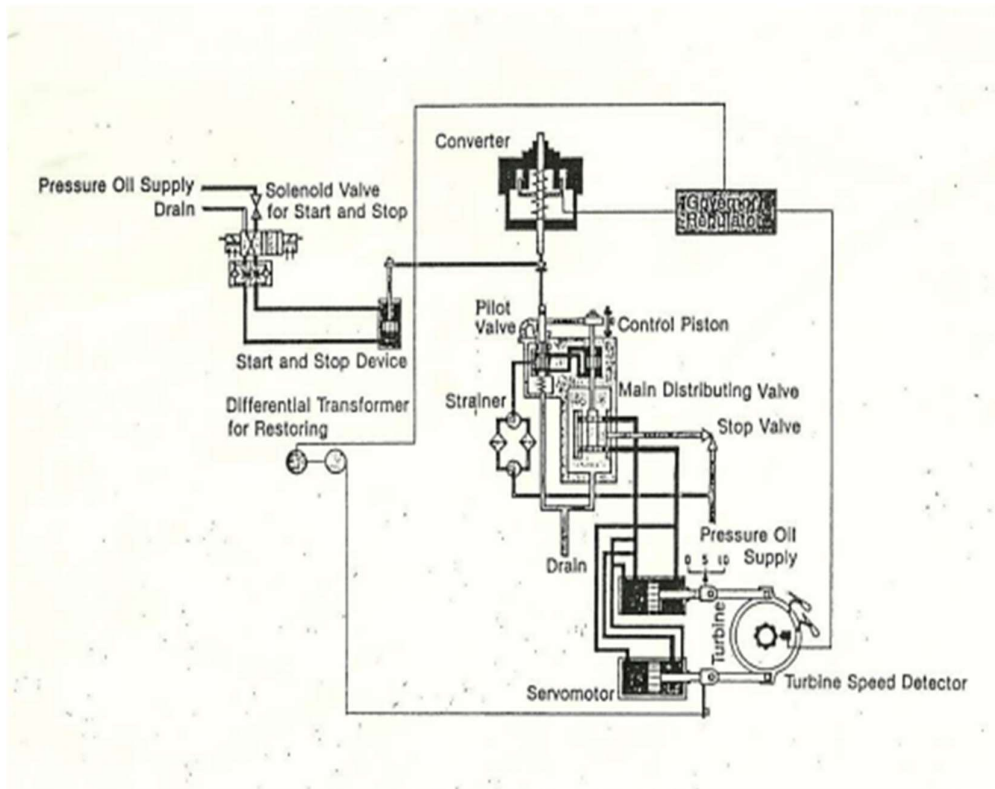
gate vane sehingga debit fluida air bertambah dan kecepatan turbin generator bertambah sehingga frekuensi bisa Kembali ke nilai nominalnya, sedangkan bila terjadi penurunan beban dan frekuensi naik, maka *governor* akan mengatur *gate vane* agar debit fluida air yang masuk berkurang dan kecepatan putar turbin generator akan menurun sehingga mengembalikan frekuensi ke nilai nominalnya (Anthony, 2018).

Pengaturan frekuensi ini bertujuan untuk menjaga kualitas listrik yang dihasilkan serta menjaga pembangkit itu sendiri, ketidakstabilan frekuensi yang dihasilkan dapat merusak peralatan elektronik oleh pelanggan. Frekuensi yang ditetapkan sesuai dengan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral yaitu berada pada 50 Hz dengan toleransi perubahan sebesar $\pm 0,2$ Hz sekitar 50 Hz (Pamundra, 2020).

2.3 Prinsip Kerja Governor

Governor aktuator terdiri dari konverter, *pilot valve*, *distributing valve* dan perangkat *shutdown* otomatis. Pergerakan *guide vane servomotor* merupakan *feedback* secara listrik ke *governor* regulator melalui *electric restoring mechanism* untuk mencegah *over-running* dari *guide vane*.

Ketika kecepatan unit berubah, aktuator segera merespon sinyal listrik dari regulator yang mengubah kecepatan menjadi sinyal listrik dan mengoperasikan *converter* untuk mengontrol *servomotor* melalui *primary* dan *secondary distribtng valves*. Pembukaan *guide vane* berubah untuk mengubah *output* generator agar tetap menjaga kecepatan unit pada kecepatan nominal (Toshiba Corporation, 1991).



Gambar 2.1 Skema *Governor* PLTA Bakaru
(Sumber : PLTA Bakaru)

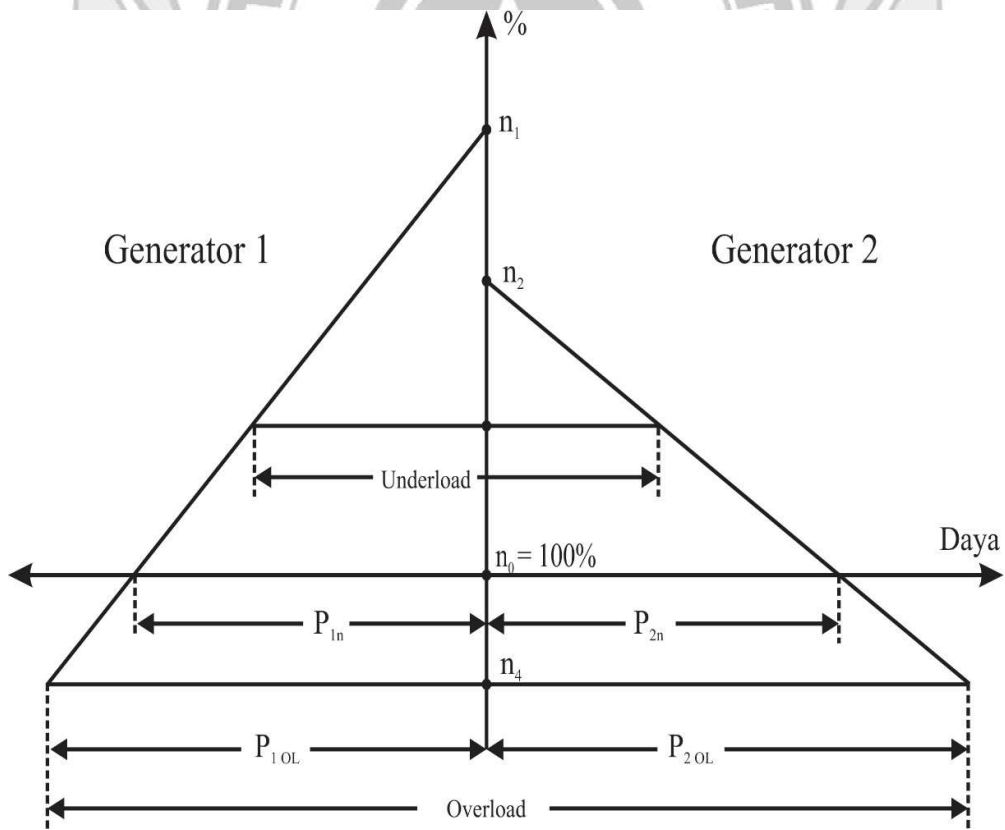
2.4 *Speed Droop Governor*

Speed droop atau biasa juga disebut *speed regulation* dapat didefinisikan sebagai persentase perubahan kecepatan (frekuensi) terhadap perubahan beban. *Speed droop* juga dapat diartikan sebagai besarnya 100% nilai *output* generator (daya aktif yang dihasilkan) pada tiap % perubahan nilai frekuensi (Pamundra, 2020).

Sebagai contoh jika sebuah unit memiliki *speed droop* 5% dan terjadi penurunan frekuensi sebesar 5% maka akan mengembalikan keluaran daya aktif sebuah unit pembangkit menjadi 100%. Karakteristik *speed droop* berarti karakteristik respon *governor* (karakteristik kecepatan terhadap

output atau beban generator) yang menentukan perubahan frekuensi (kecepatan) setiap perubahan beban (Wahyuni dkk., 2022).

Semakin kecil nilai *speed droop* maka semakin cepat pembangkit merespon dengan menambahkan *output* yang lebih besar. Sebagai contoh terdapat dua unit pembangkit masing masing mempunyai kapasitas daya yang sama. Pada generator 1 mempunyai pengaturan putaran 100% sampai dengan n_1 dari keadaan beban penuh sampai tanpa beban. Geneator 2 mempunyai pengaturan putaran dari 100% sampai dengan n_2 dari keadaan beban penuh sampai tanpa beban. Dapat dilihat respon kedua unit pembangkit pada gambar dibawah:



Gambar 2.2 Perbandingan respon *speed regulation* 2% dan 5%

Dapat dilihat pada gambar diatas dua buah unit pembangkit yang memiliki kapasitas yang sama bekerja secara *parallel*. Generator 1 memiliki pengaturan putaran dari 100% sampai dengan n_1 akan menyuplai beban terlebih dahulu ketika posisi generator 2 dalam pengaturan putarannya yang tanpa beban atau pada putaran n_2 . Pada keadaan kedua generator berada pada nilai putaran nominalnya yaitu n_0 kedua generator akan menyuplai beban sesuai dengan daya kapasitasnya masing masing sebesar P_{1n} dan P_{2n} . Pada saat keadaan n_4 dimana pada saat putaran itu lebih kecil dari n_0 , maka kedua generator akan sama sama menyuplai beban tambahan untuk merespon penurunan kecepatan itu menjadi P_{1OL} dan P_{2OL} . Namun dengan pengaturan putaran yang lebih kecil akan menambah *output* generator menjadi lebih besar ketika terjadi perubahan frekuensi (putaran).

2.5 Respon Governor

Hubungan putaran sangat erat dengan pembebanan yang diterima oleh generator. Putaran yang dihasilkan generator akan menurun ketika diberi beban yang berlebih, sebaliknya putaran generator akan semakin cepat ketika tanpa beban. Sehingga perlu adanya pengaturan putaran dikarenakan kondisi beban yang berubah-ubah (Saputro, 2016).

Governor akan memanfaatkan perubahan putaran generator dalam hal ini deviasi dari putaran nominal yang ditetapkan. Dengan memanfaatkan perubahan putaran tersebut *governor* dapat mengatur bukaan *guide vane* untuk mengontrol debit air yang masuk ke turbin sebagai *prime mover* (Patriandari, 2010).

Kecepatan diatur sesuai dengan perubahan beban yang selalu berubah-ubah. Ketika putaran generator menurun akibat beban yang besar, maka *governor* secara otomatis merespon dengan menambah bukaan *guide vane* sehingga menambah debit air yang masuk ke turbin. Sebaliknya ketika putaran generator meningkat saat terjadi pengurangan beban, maka respon *governor* secara otomatis akan mengurangi bukaan *guide vane* agar dapat mengurangi debit air yang masuk ke turbin (Patriandari, 2010).

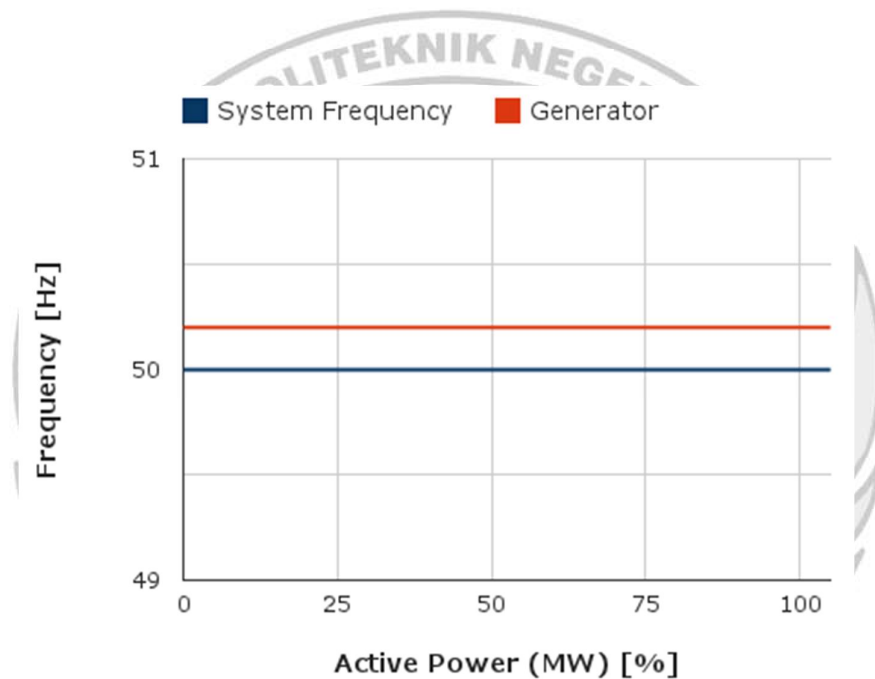
2.6 Mode Pengoperasian Kontrol *Governor*

Untuk mempertahankan frekuensi *system* pada jaringan yang sinkron maka diperlukan kontrol *governor* untuk menjaga kestabilan frekuensi pada jaringan. Terdapat dua *mode* operasi kontrol *governor* sebagai berikut :

1. *Isochronous control mode*

Pada *mode* ini *governor* akan terus menambah daya mekanik pada *prime mover* guna menjaga kestabilan frekuensi seperti menambah bukaan *guide vane* untuk menambah daya mekanik pada turbin air. Dengan penambahan daya pada *prime mover* diharapkan frekuensi *system* terjaga. Putaran *governor* atau penambahan daya pada *prime mover* ditentukan berdasarkan kebutuhan daya listrik *system* pada saat itu (*real time*) kemudian *governor* akan menyesuaikan *output* daya mekanik pada *prime mover* dalam hal ini turbin air supaya sesuai dengan daya listrik yang dibutuhkan oleh *system* jaringan (Rofi dkk., 2021).

Pada saat terjadi perubahan beban, *governor* akan menentukan nilai *setpoint* baru sesuai dengan nilai aktual beban pada jaringan sehingga dengan pengaturan ini diharapkan frekuensi listrik generator tetap berada dalam nilai nominalnya dan generator tidak mengalami *out of synchronization* (Rofi dkk., 2021).

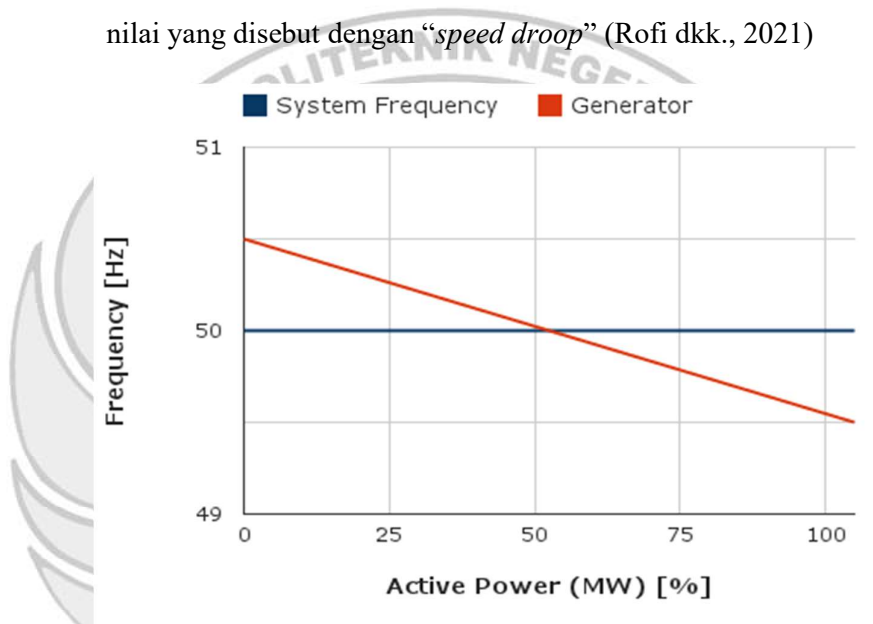


Gambar 2.3 grafik respon *isochronous mode* terhadap perubahan beban (Sumber : www.svri.nl)

2. *Droop Mode*

Pada *mode* ini biasanya digunakan untuk generator yang bekerja *parallel* sehingga pembagian bebannya seimbang untuk terhubung ke sistem jaringan. Dimana pada *mode* ini memungkinkan perubahan beban terhadap perubahan frekuensi pada sistem. Pada *mode droop governor* telah memiliki *setpoint* sesuai dengan rating generator atau sesuai kebutuhan. Dengan adanya *fixed setting* ini

output daya listrik generator nilainya tetap dan adanya perubahan beban akan mengakibatkan perubahan pada putaran turbin (frekuensi). Dimana semakin besar beban maka frekuensi akan turun, begitupun sebaliknya semakin kecil beban yang ada pada system jaringan maka frekuensi yang dihasilkan akan naik. *Mode* ini memiliki nilai yang disebut dengan “*speed droop*” (Rofidkk., 2021)



Gambar 2.4 Grafik respon frekuensi terhadap perubahan beban pada *droop mode* (Sumber : www.svri.nl)

2.7 Frekuensi Sistem Tenaga Listrik

Sebuah pembangkit harus mampu memenuhi beban daya aktif yang dibutuhkan oleh sistem jaringan atau pelanggan dengan frekuensi yang stabil. Berdasarkan Peraturan Menteri Energi Sumber dan Daya Mineral No 20 Tahun 2020 Tentang Sistem Tenaga dan Jaringan (*Grid Code*), frekuensi jaringan harus mampu dijaga pada nilai 50 Hz, dengan toleransi deviasi frekuensi skitar $\pm 0,2$ Hz dari 50 Hz. Nilai frekuensi pada sistem tenaga

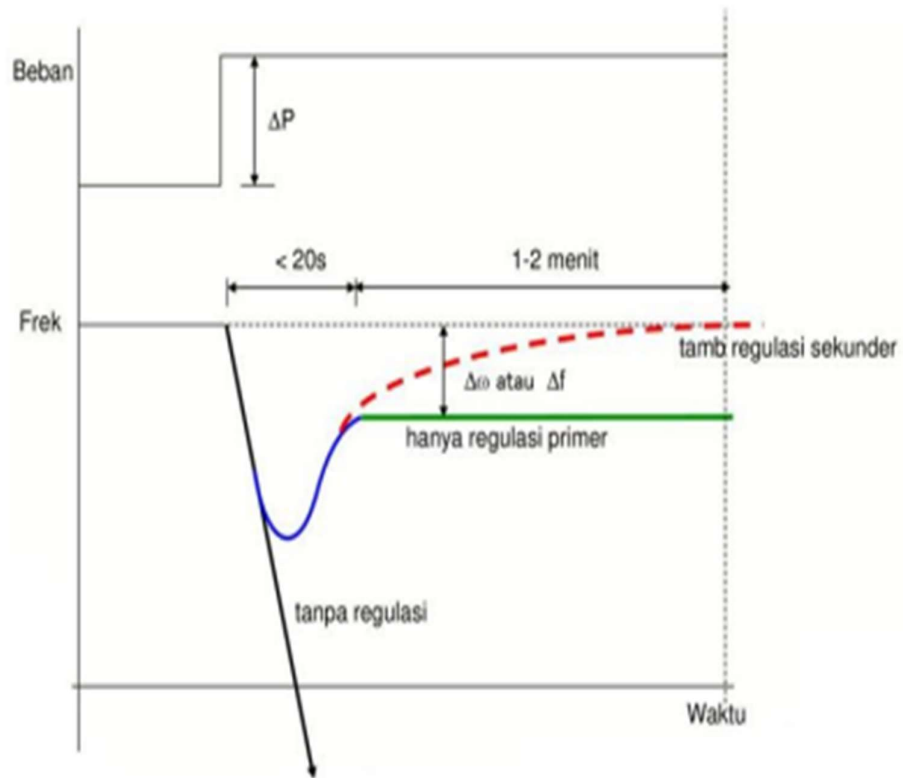
jaringan ini dipengaruhi oleh beban yang selalu berubah-ubah sesuai dengan kebutuhan konsumen. Oleh karena itu frekuensi perlu dijaga agar sesuai dengan frekuensi yang telah ditetapkan (Peraturan Menteri ESDM, 2020).

2.8 Pengendalian Frekuensi Sistem

Perubahan frekuensi digambarkan dengan perubahan daya aktif yang dihasilkan pembangkit sesuai dengan permintaan beban. Jika daya aktif yang dihasilkan oleh pembangkit lebih kecil dari permintaan beban maka frekuensi pada sistem akan turun dan begitu sebaliknya. Pengaturan frekuensi dapat dicapai dengan berbagai cara (Pamundra, 2020):

1. Aksi *governor* sebuah pembangkit sebagai *primary frequency control*.
2. Unit pembangkit memiliki *load frequency control* sebagai *secondary frequency control*.
3. Perintah P2B (Pusat Pengatur Beban) ke unit pembangkit untuk mengatur nilai *setting point governor* dalam merespon perubahan beban.

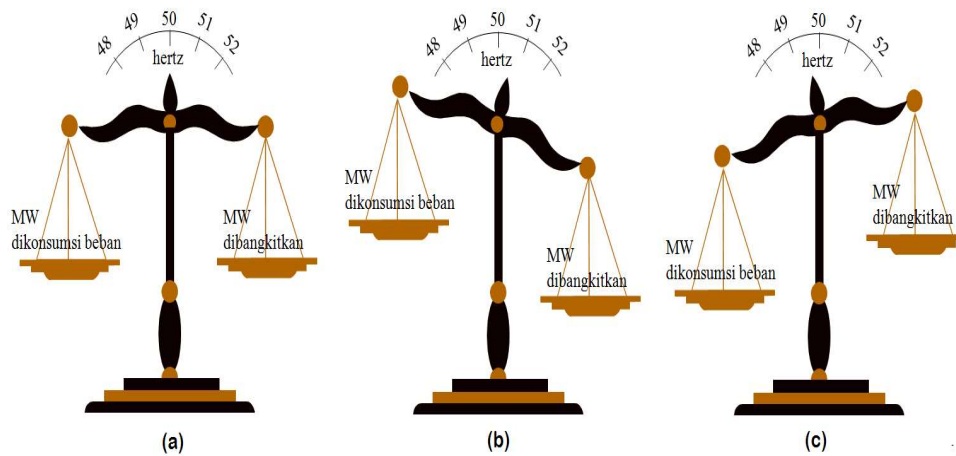
Namun jika pengaturan tersebut tidak dapat tercapai maka akan muncul efek *deadband*. Efek ini disebabkan karena adanya pergeseran muatan dan beberapa efek dari reaksi yang tidak baik dari sebuah *governor*.



Gambar 2.5 Grafik Pengaturan Frekuensi
(Sumber : PT. PLN Pusdiklat Semarang)

2.9 Hubungan Frekuensi dan Daya Aktif

Dalam sistem daya listrik, daya aktif dan frekuensi merupakan dua besaran yang saling bergantung. Mengatur daya aktif sama halnya mengatur frekuensi dan begitu sebaliknya. Hal ini dikarenakan pengaturan frekuensi menyangkut pengaturan daya aktif (Watt). Sehingga pengaturan frekuensi ini sangat erat hubungannya dengan *prime mover* dalam hal ini turbin air.



Gambar 2.6 (a) Hubungan frekuensi dan daya aktif (50 Hz), (b) Hubungan frekuensi dan daya aktif (>50 Hz), (c) Hubungan frekuensi dan daya aktif (<50 Hz)
(Sumber: electrical-zone.blogspot.com)

Sebagaimana yang telah dipaparkan sebelumnya, bahwa pengaturan frekuensi sangat erat hubungannya dengan turbin untuk mengatur daya aktif yang dihasilkan. Dapat dilihat pada gambar (2.6 a) jika daya yang dibangkitkan pada suatu pembangkit sama besarnya dengan daya yang dibutuhkan beban (rugi-rugi transmisi diabaikan), maka frekuensi sistem akan berada pada nilai nominal yang ditetapkan sebesar 50 Hz. Pada gambar (2.6 b) menunjukkan keadaan dimana daya yang dibangkitkan pembangkit lebih besar daripada daya yang dibutuhkan oleh beban, maka frekuensi sistem akan naik (>50 Hz). Sedangkan pada gambar (2.6 c) daya yang dibutuhkan oleh beban lebih besar dari daya yang dibangkitkan pembangkit, maka frekuensi sistem akan menurun (<50Hz).

2.10 Pengaturan Frekuensi dan Daya Aktif

Untuk mempertahankan frekuensi pada sistem tenaga jaringan maka perlu adanya penyesuaian daya aktif yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan beban. Penyesuaian daya aktif yang dihasilkan generator ini dilakukan dengan mengatur besarnya energi kopel penggerak dari generator, dalam hal ini energi mekanik pada turbin. Ditinjau dari segi beban pada sistem, frekuensi akan turun apabila daya aktif yang dihasilkan oleh pembangkit lebih kecil daripada daya aktif yang dibutuhkan oleh beban dan begitu sebaliknya. Pada sebuah pembangkit berkapasitas besar umumnya menggunakan generator sinkron 3 fasa, sehingga pengaturan frekuensi bergantung pada putaran dari generator sinkron tersebut.

Pada PLTA Bakaru pengaturan putaran dari generator sinkron dilakukan dengan mengatur bukaan *guide vane* sehingga dapat mengontrol debit air yang masuk ke turbin. Semakin besar debit yang masuk ke turbin maka semakin besar daya aktif yang dihasilkan oleh generator dan begitu sebaliknya. Besar kecilnya bukaan *guide vane* pada PLTA Bakaru diatur oleh *governor*. *Governor* akan secara otomatis menyesuaikan daya aktif yang dihasilkan generator sesuai dengan kebutuhan beban.

Pengaturan frekuensi berkaitan dengan pengaturan putaran, maka kerja *governor* berkaitan dengan pengaturan debit air untuk mempertahankan putaran pada nilai nominal. Berikut rumus hubungan frekuensi dan putaran (Patriandari, 2010) :

$$f = \frac{n \cdot p}{120} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

n = putaran (rpm)

f = frekuensi (Hz)

p = jumlah kutub generator

Perubahan beban dalam hal ini daya aktif (MW) yang diberikan pada generator menyebabkan putaran turbin akan menurun. Menurut hukum Newton ada hubungan antara kopel mekanik penggerak dari generator dengan perputaran dari generator yaitu (Pamundra, 2020) :

$$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$$

$$\Delta F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$$

Sehingga pada gerak rotasi :

$$\Delta T \cdot \Delta t = I \cdot \Delta \omega, \text{ dimana } I = H$$

$$\Delta T \cdot \Delta t = H \cdot \Delta \omega$$

$$\Delta T = \frac{H \cdot \Delta \omega}{\Delta t}$$

$$TG - TB = \frac{H \cdot \Delta \omega}{\Delta t} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

TG : Kopel penggerak generator

TB : Kopel beban yang diberikan pada generator

H : Momen insersia generator beserta mesin penggeraknya

ω : Kecepatan sudut putar generator

Kecepatan sudut putar poros generator dapat mempengaruhi perubahan frekuensi melalui persamaan (Pamundra, 2020) :

$$\omega = 2\pi f \dots\dots\dots(2.3)$$

Dari persamaan diatas dapat dilihat frekuensi berbanding lurus dengan kecepatan putar poros generator. Sehingga dapat diketahui bahwa kecepatan (frekuensi) generator akan menurun jika tidak memenuhi kebutuhan beban. Dalam hal ini daya aktif generator yang dihasilkan tidak memenuhi kebutuhan beban.

2.11 Hubungan antara Ketidakstabilan Frekuensi dengan Kerusakan Peralatan Listrik

Sebuah pembangkit listrik diharuskan dapat menyalurkan listrik dengan nilai frekuensi yang telah ditetapkan. Jika sebuah peralatan listrik menggunakan suplai tegangan yang sama namun frekuensi yang berbeda maka peralatan listrik tersebut menjadi panas sehingga menyebabkan kerusakan. Hal ini disebabkan karena rasio tegangan dan frekuensi akan meningkat seiring dengan terjadinya kenaikan arus sehingga dapat memanaskan peralatan listrik secara berlebih.

Hal ini dapat dianalisis dengan persamaan reaktansi induktif. Reaktansi induktif dapat menurun ketika terjadi penurunan frekuensi. Adapun persamaannya sebagai berikut (Pamundra, 2020) :

$$X_L = 2\pi.f.L \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

X_L : Reaktansi induktif (Ω)

f : Frekuensi (Hz)

L : Nilai induktansi induktor (H)

$$I = \frac{V}{X_L} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

I : Arus (A)

V : Tegangan (V)

X_L : Reaktansi induktif (Ω)

Dari persamaan diatas dapat diketahui bahwa jika frekuensi <50HZ yang disalurkan oleh sebuah pembangkit pada konsumen makan dapat menyebabkan reaktansi induktif peralatan listrik menurun. Sehingga arus listrik akan naik dan menyebabkan peralatan menjadi panas. Khususnya pada beban seperti motor-motor induksi dapat menyebabkan putaran yang berlebih dan suhu yang panas sehingga dapat menyebabkan kerusakan (Pamundra, 2020).

$$P = V.I. \cos \phi \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

P : Daya Aktif (W)

V : Tegangan (V)

I : Arus (A)

$\cos \phi$: Faktor daya

2.12 Perhitungan Daya Aktif Generator

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui daya aktif yang dihasilkan generator (Pamundra, 2020).

$$P = \sqrt{3}.V.I. \cos \phi \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

P = Daya aktif (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

Cos ϕ = Faktor daya

2.13 Pengaturan *Speed Droop Governor*

Speed droop menyatakan nilai proporsi perubahan daya generator (MW) terhadap perubahan frekuensi sistem. Semakin kecil nilai *speed droop* maka semakin peka *governor* merespon perubahan frekuensi dan begitulah sebaliknya. Nilai *speed droop* dapat diketahui melalui persamaan (Saputra, 2021):

$$SD = \frac{n_1 - n_2}{n_0} \times 100\% \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

SD = *Speed droop* (%)

n₁ = Putaran tanpa beban (rpm)

n₂ = Putaran beban penuh (rpm)

n₀ = Putaran nominal (rpm)

2.14 Respon *Governor* terhadap Perubahan Beban

Respon *governor* terhadap perubahan beban menggambarkan kemampuan suatu *governor* dalam mengembalikan frekuensi ke nilai nominal ketika terjadi perubahan beban. Aksi atau respon *governor* ini dapat diketahui melalui persamaan (Saputra, 2021):

$$K = \frac{1}{\text{Speed Droop}} \times \frac{P_0}{f_0} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

K = *Participant factor* (MW/Hz)

P_0 = daya aktif yang dihasilkan generator (MW)

f_0 = frekuensi referensi (50 Hz)

Nilai K atau faktor partisipasi merupakan suatu angka yang menggambarkan berapa MW yang diperlukan untuk menurunkan atau menaikkan frekuensi sistem 1 Hz tanpa adanya pengaturan sekunder. Dimana nilai ini bergantung pada banyaknya unit pembangkit yang beroperasi dalam sistem serta penyetelan *speed droop*-nya (Labulu dkk., 2015). Setelah didapatkan nilai tersebut, maka dapat diketahui pula respon *governor* dalam mengembalikan frekuensi sistem jaringan dari persamaan (Saputra, 2021):

$$\Delta P = -K \times \Delta f \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

ΔP = *Required power* respon (MW)

Δf = Deviasi nilai frekuensi ($f-f_0$)

f = Frekuensi sistem *real time* (Hz)

f_0 = Frekuensi referensi (50 Hz)

K = Faktor partisipasi (MW/Hz)

Tanda negatif pada nilai K berarti akan mengurangi keluaran generator. Sehingga dari rumus diatas dapat diketahui berapada daya yang dibutuhkan oleh sistem untuk mengembalikan frekuensi ke nilai nominal (Pamundra, 2020).

$$P' = \Delta P + P_0 \text{ (MW)} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

P' = Daya aktif yang dibutuhkan beban (MW)

P_0 = Daya aktif keluaran generator (MW)

ΔP = *Required power respon* (MW)



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari-Juli 2023 di Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA Bakaru) yang memanfaatkan aliran sungai mamasa sebagai sumber air pembangkitan di Desa Bakaru, Kecamatan Lembang, Kabupaten Pinrang.

3.2 Tahap Penelitian

Tahap penelitian ini dilakukan dalam berbagai tahapan untuk menentukan proses awal dari sebuah Analisa penelitian agar dapat sesuai yang bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada. Adapun tahap-tahap yang akan dilakukan sebagai berikut :

1. Studi literatur

Pada tahap ini penulis mencari berbagai landasan teori ataupun literatur-literatur yang berhubungan dengan masalah yang akan diteliti. Landasan teori dan literatur-literatur ini diperoleh dari berbagai sumber baik dari buku, jurnal penelitian, dan lain-lain.

2. Pengumpulan data

Pada tahapan ini akan dilakukan proses pengumpulan data yang dibutuhkan. Adapun metode atau Teknik pengumpulan data yang digunakan sebagai berikut:

a. Metode diskusi serta wawancara

Dilakukan diskusi serta wawancara kepada pegawai maupun staff operator PLTA Bakaru terhadap objek

penelitian sehingga memperoleh data-data yang dibutuhkan untuk penelitian ini.

b. Metode observasi

Dilakukan pengamatan langsung di PLTA Bakaru untuk memperoleh data-data yang diperlukan.

c. Metode studi dokumen

Dengan studi dokumen ini peneliti akan melihat dan mengambil data sekunder. Dimana data sekunder yang dimaksudkan ialah data-data yang telah dikumpulkan atau diarsipkan oleh pegawai maupun staff operator PLTA Bakaru yang telah lalu.

Adapun data-data yang akan digunakan pada penelitian ini sebagai berikut :

- 1) Beban
- 2) Tegangan generator unit 1 PLTA Bakaru.
- 3) Arus generator unit 1 PLTA Bakaru.
- 4) Cos phi atau faktor daya.
- 5) Nilai *speed droop governor* PLTA Bakaru.
- 6) Putaran nominal.
- 7) Putaran tanpa beban.
- 8) Frekuensi sistem PLTA Bakaru.

Pengamatan dan pengambilan data secara aktual dilaksanakan pada tanggal 15 Maret 2023, namun data yang digunakan pada penelitian ini yaitu

data harian generator turbin pada tanggal 20-26 Februari 2023. Hal ini dimaksudkan agar mengetahui kapan terjadinya beban puncak.

3. Pengolahan data dan analisis data

Pada tahapan ini, data-data yang telah dikumpulkan akan diolah dengan perhitungan sedemikian rupa dan kemudian dianalisa untuk mendapatkan hasil penelitian yang diharapkan.

3.3 Metode Analisis

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa data yang telah didapatkan dari PLTA Bakaru sehingga menjawab permasalahan yang ada. Adapun Teknik analisis yang akan digunakan ialah metode kuantitatif deskriptif. Dimana data-data yang telah didapatkan akan diolah untuk menghasilkan nilai atau angka sebagai hasil perhitungan. Kemudian hasil dari perhitungan data tersebut akan diolah dalam bentuk grafik dan dideskripsikan pada pembahasan. Untuk mencapai tujuan penelitian, maka ada berapa besaran-besaran yang akan dihitung sebagai berikut:

1. Pengaruh perubahan frekuensi sistem terhadap kinerja *governor*

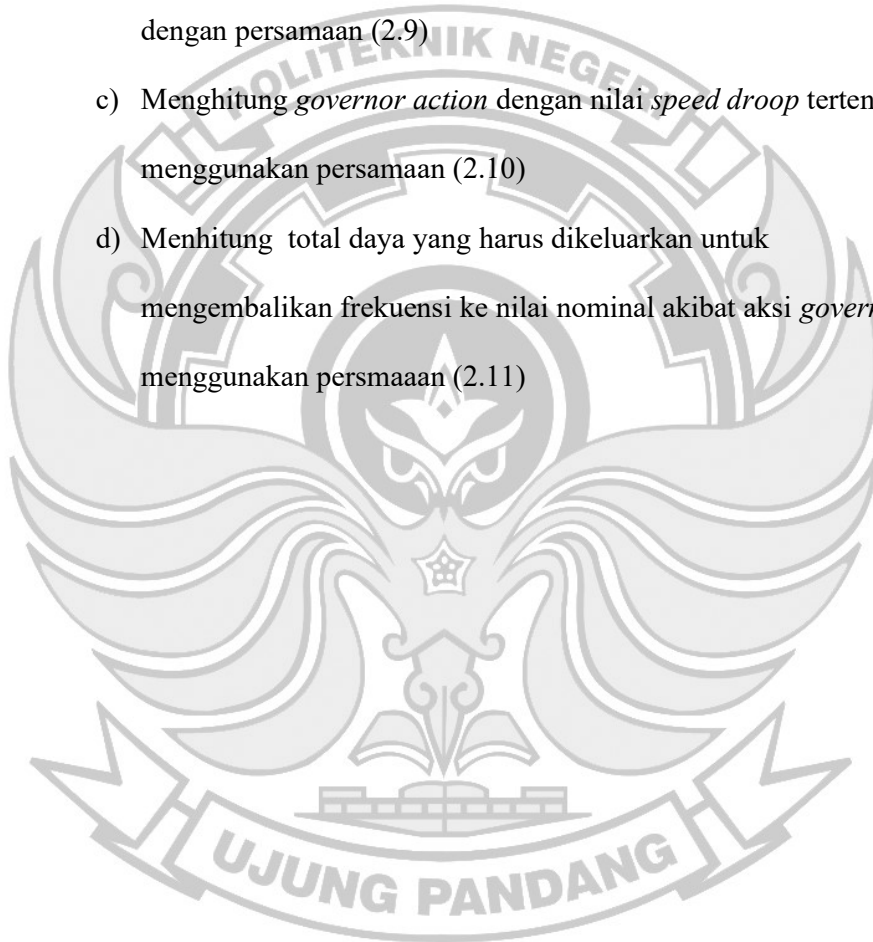
Untuk mencapai tujuan tersebut maka terdapat besaran-besaran yang akan dihitung antara lain :

- a) Menghitung putaran beban penuh generator dengan nilai *speed droop* tertentu menggunakan persamaan (2.8)
- b) Menghitung frekuensi generator saat putaran beban penuh dengan persamaan (2.1)

2. Pengaruh nilai *speed droop* terhadap kinerja *governor*

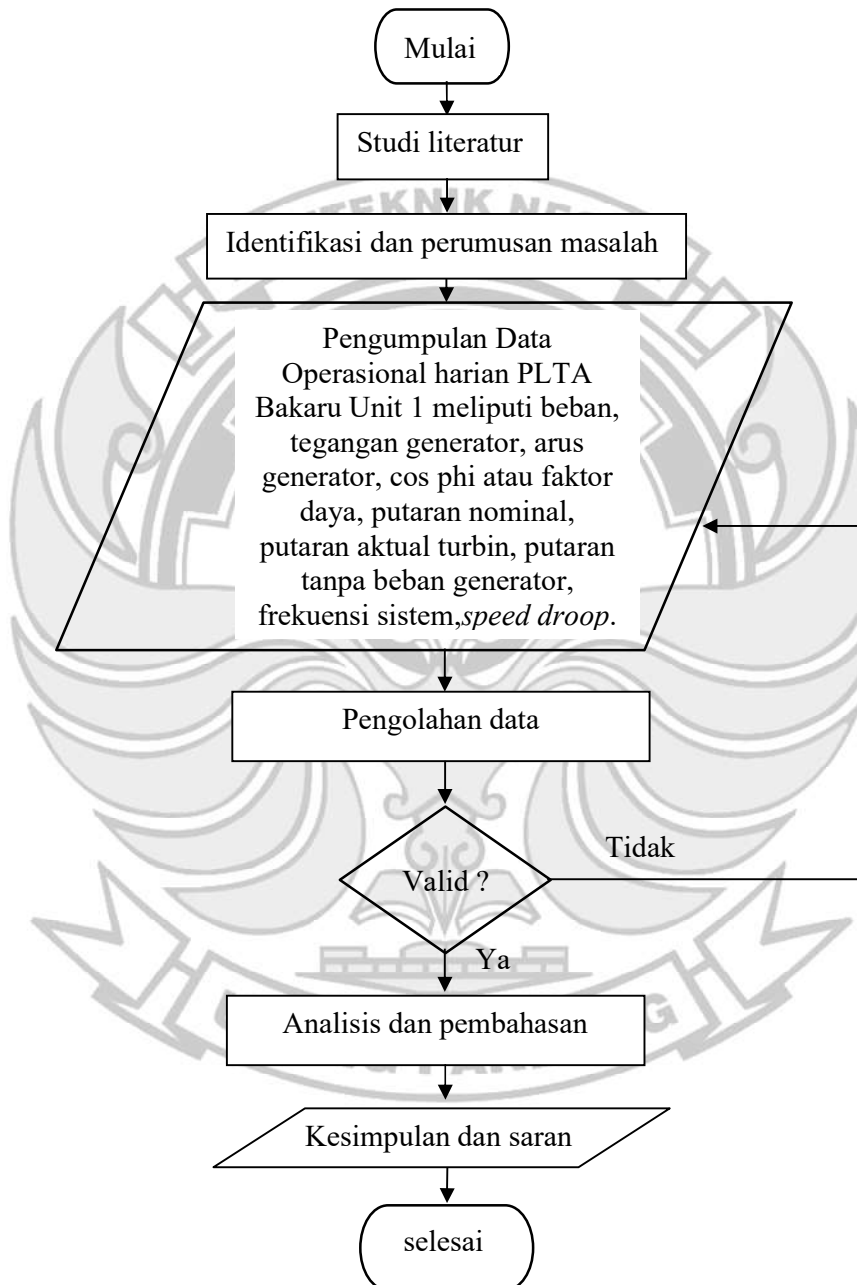
Untuk mencapai tujuan tersebut, maka terdapat besaran-besaran yang akan dihitung sebagai berikut :

- a) Menghitung daya aktif generator (daya nominal generator) dengan persamaan (2.7)
- b) Menghitung faktor partisipasi dengan nilai *speed droop* tertentu dengan persamaan (2.9)
- c) Menghitung *governor action* dengan nilai *speed droop* tertentu menggunakan persamaan (2.10)
- d) Menhitung total daya yang harus dikeluarkan untuk mengembalikan frekuensi ke nilai nominal akibat aksi *governor* menggunakan persamaan (2.11)



3.4 Diagram Alir

Prosedur untuk penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, adapun tahap penelitian ini akan disajikan dalam bentuk *flowchart*.



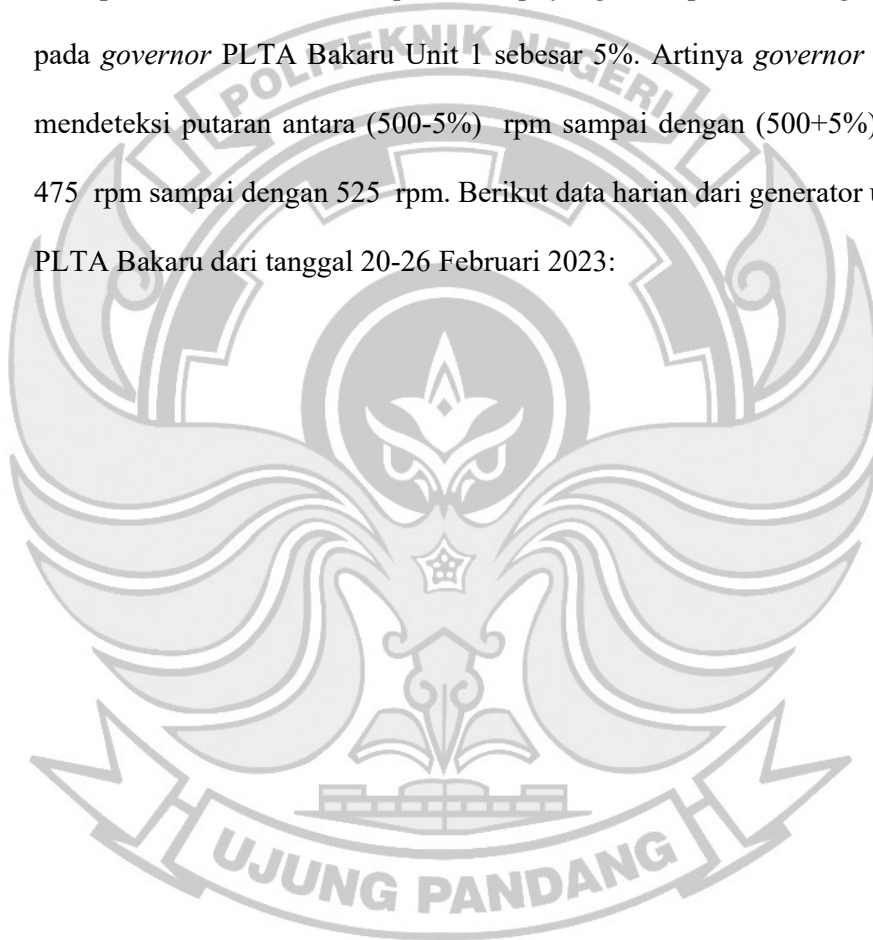
Gambar 3.1 *Flowchart* penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Tabel Data Harian Generator Unit 1

PLTA Bakaru memiliki 2 unit generator yang masing-masing berkapasitas 63 MW. Nilai *speed droop* yang ditetapkan dan digunakan pada *governor* PLTA Bakaru Unit 1 sebesar 5%. Artinya *governor* dapat mendeteksi putaran antara $(500-5\%)$ rpm sampai dengan $(500+5\%)$ atau 475 rpm sampai dengan 525 rpm. Berikut data harian dari generator unit 1 PLTA Bakaru dari tanggal 20-26 Februari 2023:



Tabel 4.1 Tabel data generator unit 1 PLTA Bakaru tanggal 20 Februari 2023

JAM	TURBIN GENERATOR UNIT 1									
	Beban Aktif (MW)	Arus			Tegangan			Cos Φ Lagging	Putaran (rpm)	Frekuensi Hz
		R	S	T	R - S	S - T	T - R			
		(A)	(A)	(A)	(kV)	(kV)	(kV)			
01:00	61	3168	3350	3193	11.2	11.2	11.2	0.97	500	50.00
02:00	61.3	3172	3361	3204	11.3	11.3	11.3	0.97	500	50.01
03:00	61.3	3165	3353	3211	11.3	11.3	11.3	0.97	500	50.02
04:00	61.1	3154	3349	3193	11.3	11.3	11.3	0.97	499	49.95
05:00	61.1	3151	3348	3187	11.3	11.3	11.3	0.97	499	49.94
06:00	40.1	2044	2203	2098	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.03
07:00	40.5	2054	2232	2112	11.2	11.2	11.2	0.99	499	49.95
08:00	41.2	2026	2181	2101	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.01
09:00	41.2	2011	2206	2070	11.2	11.2	11.2	0.99	499	49.96
10:00	41.2	2055	2230	2104	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.03
11:00	41.2	2037	2183	2087	11.2	11.2	11.2	0.99	502	50.18
12:00	41.3	2037	2200	2094	11.2	11.2	11.2	0.99	499	49.96
13:00	41.2	2033	2204	2078	11.2	11.2	11.2	0.99	501	50.10
14:00	41.4	2046	2189	2099	11.2	11.2	11.2	0.99	501	50.08
15:00	41.5	2026	2217	2106	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.04
16:00	41.3	2023	2234	2127	11.2	11.2	11.2	0.99	499	49.97
17:00	41.5	2020	2210	2112	11.2	11.2	11.2	0.99	498	49.90
18:00	61.3	3170	3325	3199	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.03
18:30	61.1	3138	3309	3230	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.02
19:00	61	3127	3310	3215	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.01
19:30	61	3134	3295	3239	11.2	11.2	11.2	0.98	499	49.96
20:00	61	3126	3299	3215	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.01
20:30	61	3115	3302	3217	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.04
21:00	61	3101	3304	3220	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.01
21:30	61.4	3114	3322	3232	11.2	11.2	11.2	0.98	499	49.95
22:00	61.4	3126	3330	3209	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.01
23:00	61.4	3155	3346	3212	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.01
24:00	61.4	3151	3360	3232	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.01

(Sumber : Logsheet harian PLTA Bakaru)

Tabel 4.2 Tabel data generator unit 1 PLTA Bakaru tanggal 21 Februari 2023

JAM	TURBIN GENERATOR UNIT 1									
	Beban Aktif	Arus			Tegangan			Cos Φ Lagging	Putaran (rpm)	Frekuensi (Hz)
		R	S	T	R - S	S - T	T - R			
	(MW)	(A)	(A)	(A)	(kV)	(kV)	(kV)			
01:00	62.1	3160	3359	3226	11.3	11.3	11.3	0.97	500	50.01
02:00	62.1	3166	3364	3227	11.3	11.3	11.3	0.97	500	50.01
03:00	62.2	3150	3346	3206	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.02
04:00	62.2	3162	3344	3177	11.3	11.3	11.3	0.98	500	50.02
05:00	62.2	3151	3347	3200	11.2	11.2	11.2	0.98	499	49.95
06:00	62.1	3129	3344	3193	11.2	11.2	11.2	0.98	500	49.98
07:00	62.3	3143	3333	3192	11.2	11.2	11.2	0.99	499	49.95
08:00	62.6	3147	3347	3223	11.2	11.2	11.2	0.99	499	49.96
09:00	62.2	3131	3320	3195	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.99
10:00	62.3	3131	3315	3230	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.99
11:00	41	2085	2250	2136	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.02
12:00	41	2038	2236	2166	11.3	11.3	11.3	0.98	499	49.95
13:00	40	1932	2115	2002	11.3	11.3	11.3	0.98	500	50.01
14:00	46.1	3020	2200	2103	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.02
15:00	40	1922	2109	1993	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.03
16:00	40.5	2118	2221	2056	11.2	11.2	11.2	0.99	499	49.96
17:00	51.6	2576	2762	2651	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.01
18:00	59.1	3127	3026	3027	11.2	11.2	11.2	0.99	499	49.96
18:30	61.8	3114	3297	3178	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.99
19:00	60.7	3078	3214	3114	11.2	11.2	11.2	0.99	499	50.02
19:30	60	2987	3182	3110	11.2	11.2	11.2	0.99	499	49.96
20:00	62.4	3118	3308	3253	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.01
20:30	62.3	3126	3331	3225	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.98
21:00	62	3098	3281	3200	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.99
21:30	62	3070	3277	3201	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.01
22:00	61	3070	3206	3165	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.02
23:00	61	3039	3243	3122	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.01
24:00	61	3150	3325	3172	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.01

(Sumber : Logsheet harian PLTA Bakaru)

Tabel 4.3 Tabel data generator unit 1 PLTA Bakaru tanggal 22 Februari 2023

JAM	TURBIN GENERATOR UNIT 1									
	Beban Aktif (MW)	ARUS			TEGANGAN			Cos Φ Lagging	Putaran (rpm)	Frekuensi Hz
		R (A)	S (A)	T (A)	R-S (kV)	S-T (kV)	T-R (kV)			
01:00	61.1	3056	3253	3116	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.01
02:00	60	3029	3233	3073	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.01
03:00	60.7	3077	3288	3120	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.02
04:00	61.1	3059	3274	3239	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.01
05:00	60.7	3077	3288	3120	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.03
06:00	60	3018	3223	3071	11.2	11.2	11.2	0.98	501	50.06
07:00	60	3020	3213	3069	11.2	11.2	11.2	0.99	499	49.96
08:00	61.2	3066	3278	3159	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.99
09:00	62.1	3079	3277	3322	11.2	11.2	11.2	0.99	499	49.96
10:00	60.9	3089	3287	3197	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.98
11:00	61	3072	3260	3147	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.00
12:00	61	3054	3252	3147	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.02
13:00	60.1	3018	3198	3068	11.2	11.2	11.2	0.99	499	49.95
14:00	60.1	2972	3201	3109	11.2	11.2	11.2	0.99	499	49.94
15:00	59.8	2961	3145	3059	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.03
16:00	61.1	3065	3222	3105	11.2	11.2	11.2	1.00	500	50.02
17:00	61.8	3100	3284	3199	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.02
18:00	60	3002	3187	3081	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.01
18:30	60	3002	3187	3081	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.01
19:00	61.1	3057	3258	3166	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.99
19:30	60	2983	3182	3112	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.98
20:00	61.1	3063	3276	3214	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.99
20:30	61.6	2988	3181	3106	11.2	11.2	11.2	0.99	498	49.88
21:00	60.8	303	3253	3158	11.3	11.3	11.3	0.99	501	50.05
21:30	60.8	303	3253	3158	11.3	11.3	11.3	0.99	501	50.05
22:00	61	3068	3278	3170	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.02
23:00	61	3029	3215	3079	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.02
24:00	61	3118	3317	3167	11.3	11.3	11.3	0.99	500	50.01

(Sumber : Logsheet harian PLTA Bakaru)

Tabel 4.4 Tabel data generator unit 1 PLTA Bakaru tanggal 23 Februari 2023

JAM	TURBIN GENERATOR UNIT 1									
	Beban Aktif	ARUS			TEGANGAN			Cos Φ Lagging	Putaran (rpm)	Frekuensi (Hz)
		R	S	T	R - S	S - T	T - R			
	(MW)	(A)	(A)	(A)	(kV)	(kV)	(kV)			
01:00	61	3005	3250	3045	11.3	11.3	11.3	0.99	500	50.01
02:00	60.7	3005	3214	3082	11.2	11.2	11.2	0.98	502	50.13
03:00	60.9	3085	3283	3131	11.3	11.3	11.3	0.98	500	50.02
04:00	60.9	3155	3336	3118	11.3	11.3	11.3	0.98	500	50.03
05:00	60.9	3032	3228	3089	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.03
06:00	61	3103	3278	3115	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.02
07:00	60.08	3132	3333	3208	11.2	11.2	11.2	0.98	501	50.08
08:00	61.1	3139	3346	3222	11.3	11.3	11.3	0.98	499	49.97
09:00	61	3098	3282	3168	11.3	11.3	11.3	0.98	500	49.99
10:00	61	3026	3194	3128	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.99
11:00	61	3029	3226	3154	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.01
12:00	61	3043	3219	3150	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.02
13:00	61	3127	3282	3105	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.00
14:00	60.8	3053	3261	3170	11.2	11.2	11.2	0.99	501	50.06
15:00	60.9	3085	3274	3181	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.02
16:00	61	3042	3233	3111	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.99
17:00	61.1	3054	3233	3096	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.98
18:00	61.1	3101	3220	3099	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.99
18:30	61	3102	3222	3100	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.02
19:00	61.1	3034	3243	3192	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.99
19:30	61.1	2982	3206	3156	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.01
20:00	60.8	3090	3248	3170	11.2	11.2	11.2	0.99	501	50.07
20:30	60.8	3090	3248	3170	11.2	11.2	11.2	0.99	501	50.06
21:00	61.2	3033	3289	3208	11.2	11.2	11.2	0.99	499	49.96
21:30	61	3077	3260	3182	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.99
22:00	61.4	3001	3227	3145	11.2	11.2	11.2	0.99	498	49.89
23:00	61	3040	3208	3077	11.2	11.2	11.2	0.98	500	49.98
24:00	61	3060	3226	3090	11.3	11.3	11.3	0.98	500	50.00

(Sumber : Loghsheet harian PLTA Bakaru)

Tabel 4.5 Tabel data generator unit 1 PLTA Bakaru tanggal 24 Februari 2023

JAM	TURBIN GENERATOR UNIT 1									
	Beban Aktif (MW)	ARUS			TEGANGAN			Cos Φ Lagging	Putaran (rpm)	Frekuensi Hz
		R (A)	S (A)	T (A)	R-S (kV)	S-T (kV)	T-R (kV)			
01:00	60	3031	3258	3006	11.3	11.3	11.3	0.98	500	50.04
02:00	61	3089	3241	3114	11.3	11.3	11.3	0.98	500	50.03
03:00	61	3264	3134	3156	11.3	11.3	11.3	0.98	500	50.02
04:00	61.1	3077	3310	3109	11.3	11.3	11.3	0.98	500	50.01
05:00	61.1	3111	3313	3175	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.04
06:00	61.1	3066	3295	3187	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.01
07:00	61	3117	3293	3147	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.03
08:00	61	3111	3205	3292	11.3	11.3	11.3	0.98	500	50.02
09:00	60	3012	3186	3068	11.2	11.2	11.2	0.99	499	49.95
10:00	61	3115	3289	3179	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.99
11:00	61	3111	3288	3150	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.99
12:00	61	3040	3216	3104	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.98
13:00	61.3	3005	3170	3038	11.2	11.2	11.2	0.99	499	49.95
14:00	61	3039	3252	3137	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.01
15:00	60.8	3020	3209	3115	11.2	11.2	11.2	0.99	501	50.06
16:00	61.4	3001	3190	3068	11.2	11.2	11.2	0.99	499	49.96
17:00	61.4	3061	3249	3151	11.2	11.2	11.2	0.99	499	49.95
18:00	61	3077	3295	3192	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.04
18:30	61.2	3050	3188	3112	11.2	11.2	11.2	0.99	499	49.95
19:00	61	3060	3255	3165	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.99
19:30	61	3048	3245	3190	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.98
20:00	61	3060	3206	3087	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.03
20:30	60.9	2978	3220	3172	11.2	11.2	11.2	0.99	501	50.06
21:00	61	3087	3291	3107	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.01
21:30	61	3105	3291	3204	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.99
22:00	61	3068	3282	3212	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.00
23:00	61	3010	3271	3214	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.01
24:00	61	3079	3316	3234	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.03

(Sumber : Logsheet harian PLTA Bakaru)

Tabel 4.6 Tabel data generator unit 1 PLTA Bakaru tanggal 25 Februari 2023

JAM	TURBIN GENERATOR UNIT 1									
	Beban Aktif (MW)	ARUS			TEGANGAN			Cos Φ Lagging	Putaran (rpm)	Frekuensi Hz
		R (A)	S (A)	T (A)	R-S (kV)	S-T (kV)	T-R (kV)			
01:00	60.9	3085	3327	3210	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.03
02:00	61	3116	3237	3083	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.02
03:00	61	3167	3363	3239	11.3	11.3	11.3	0.98	500	50.01
04:00	60.8	3072	3198	3010	11.3	11.3	11.3	0.98	501	50.05
05:00	61	3062	3276	3138	11.3	11.3	11.3	0.98	500	50.03
06:00	61.2	3001	3195	3083	11.3	11.3	11.3	0.98	499	49.95
07:00	61.1	3040	3294	3184	11.3	11.3	11.3	0.98	500	49.99
08:00	60.8	3068	3234	3127	11.3	11.3	11.3	0.98	501	50.06
09:00	61.1	3023	3221	3128	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.04
10:00	61	3096	3256	3116	11.3	11.3	11.3	0.98	500	50.03
11:00	61	3123	3291	3145	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.01
12:00	61	3162	3132	3305	11.3	11.3	11.3	0.98	500	50.01
13:00	60.9	3093	3264	3106	11.3	11.3	11.3	0.98	500	49.99
14:00	60.9	3120	3287	3171	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.99
15:00	60.9	3096	3223	3059	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.98
16:00	61	3032	3203	3084	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.00
17:00	61	3111	3293	3065	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.01
18:00	61.2	3088	3277	3168	11.2	11.2	11.2	0.98	499	49.96
18:30	61	3023	3214	3132	11.2	11.2	11.2	0.98	500	49.99
19:00	60.7	3087	3238	3150	11.2	11.2	11.2	0.98	502	50.15
19:30	61	2974	3194	3177	11.2	11.2	11.2	0.98	500	49.99
20:00	61.2	2999	3269	3143	11.2	11.2	11.2	0.98	499	49.95
20:30	60.7	3070	3266	3193	11.2	11.2	11.2	0.99	502	50.13
21:00	61	2972	3182	3115	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.01
21:30	61	2998	3184	3106	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.01
22:00	61	3101	3228	3084	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.01
23:00	60.8	3078	3275	3166	11.3	11.3	11.3	0.98	501	50.06
24:00	61	3136	3365	3212	11.3	11.3	11.3	0.98	500	50.01

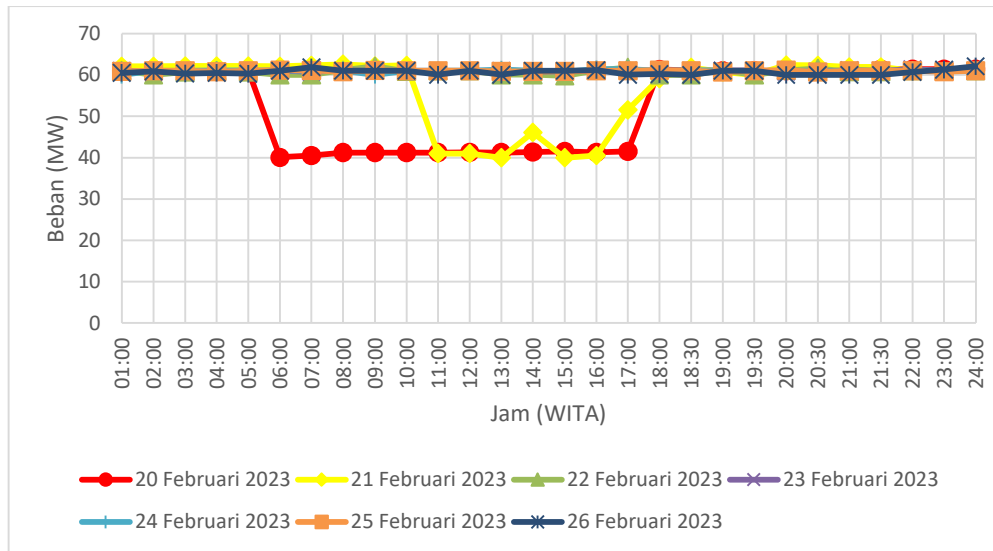
(Sumber : Logsheet harian PLTA Bakaru)

Tabel 4.7 Tabel data generator unit 1 PLTA Bakaru tanggal 26 Februari 2023

JAM	TURBIN GENERATOR UNIT 1									
	Beban Aktif (MW)	ARUS			TEGANGAN			Cos Φ Lagging	Putaran (rpm)	Frekuensi Hz
		R (A)	S (A)	T (A)	R-S (kV)	S-T (kV)	T-R (kV)			
01:00	60.5	3053	3255	3167	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.03
02:00	60.9	3134	3211	3178	11.2	11.2	11.2	0.98	499	49.99
03:00	60.4	3029	3284	3167	11.2	11.2	11.2	0.98	500	49.99
04:00	60.5	3123	3283	3074	11.2	11.2	11.2	0.98	499	50.00
05:00	60.3	3038	3217	3072	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.02
06:00	61	3071	3248	3106	11.3	11.3	11.3	0.98	500	50.01
07:00	61.9	3110	3286	3133	11.3	11.3	11.3	0.99	499	49.95
08:00	61	3072	3261	3101	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.99
09:00	61	3072	3261	3101	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.02
10:00	61	3076	3226	3177	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.03
11:00	60.1	3026	3236	3094	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.99
12:00	61	3057	3275	3139	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.01
13:00	60.1	3024	3179	3033	11.3	11.3	11.3	0.99	500	49.98
14:00	61	3140	3300	3078	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.01
15:00	61	3093	3221	3062	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.99
16:00	61.2	3084	3210	3045	11.2	11.2	11.2	0.99	499	49.95
17:00	60.1	3109	3220	3043	11.3	11.3	11.3	0.98	500	49.99
18:00	60.2	3023	3178	3037	11.3	11.3	11.3	0.98	500	50.01
18:30	60	2968	3158	3070	11.2	11.2	11.2	0.98	501	50.06
19:00	61	3134	3287	3132	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.01
19:30	61	3134	3287	3132	11.2	11.2	11.2	0.98	500	50.01
20:00	60	2982	3182	3092	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.02
20:30	60	3049	3217	3096	11.2	11.2	11.2	0.99	499	49.95
21:00	60	3068	3203	3057	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.97
21:30	60	3005	3173	3063	11.2	11.2	11.2	0.99	500	49.99
22:00	60.7	2999	3215	3201	11.2	11.2	11.2	0.99	502	50.12
23:00	61.3	3117	3287	3114	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.05
24:00	62.1	3151	3343	3190	11.2	11.2	11.2	0.99	500	50.02

(Sumber : Loghsheet harian PLTA Bakaru)

4.1.2 Grafik Hubungan Beban Setiap Waktu (*Load-Duration Curve*)



Gambar 4.1 *Load duration curve* tanggal 20-26 Februari 2023

Dapat dilihat pada gambar 4.1 bahwa beban selalu berubah setiap jamnya. Perubahan beban ini dikarenakan konsumsi daya oleh konsumen yang selalu berubah. Dapat dilihat bahwa beban rata-rata yang ditanggung PLTA Bakaru khususnya generator unit 1 sekitar 60-63 MW. Namun pada tanggal 20-21 Februari 2023 beban yang ditanggung PLTA Bakaru unit 1 sempat turun sekitar 40 MW. Hal ini karena PLTA Bakaru khususnya unit 1 sengaja menurunkan bebannya karena inflow di DAM sangat rendah, sehingga dengan penurunan beban maka air di DAM dapat ditampung hingga mencapai elevasi normalnya kembali untuk menyuplai beban puncak yang akan datang di malam hari.

4.2 Pembahasan Hasil Penelitian

4.2.1 Pengaruh perubahan frekuensi sistem terhadap kinerja *governor* PLTA Bakaru Unit 1

Kondisi beban yang sering berubah-ubah menyebabkan frekuensi yang tidak stabil. Hal ini disebabkan oleh permintaan daya aktif pelanggan

yang berubah setiap waktunya. Dapat dilihat dari Tabel 4.1 sampai dengan Tabel 4.7 bahwa beban berubah setiap waktunya. Frekuensi naik ketika beban menurun dan begitu sebaliknya, ketika beban naik maka frekuensi dan putaran dari generator akan menurun. Artinya jika daya generator yang dihasilkan lebih besar daripada daya aktif permintaan beban maka frekuensi akan naik dan sebaliknya ketika daya aktif keluaran generator lebih kecil daripada daya aktif permintaan maka frekuensi akan turun.

Perubahan frekuensi inilah yang harus dijaga agar tetap stabil di sekitar 50 Hz sesuai dengan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tentang Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik (*Grid Code*) dimana frekuensi sistem harus dipertahankan dalam kisaran ± 0.2 Hz di sekitar 50 Hz, oleh karena itu respon dan kinerja *governor* sangat penting. Respon dan kinerja *governor* ditentukan oleh beberapa variabel salah satunya *speed droop*.

Nilai *speed droop* berpengaruh pada aksi dan kerja *governor* untuk merespon perubahan frekuensi. Pada PLTA Bakaru Unit 1 nilai *speed droop* yang ditentukan sebesar 5% sehingga dengan persamaan (2.8) maka dapat dihitung toleransi atau putaran yang mampu dijaga *governor* saat terjadi beban penuh adalah sebagai berikut:

$$SD = \frac{n_1 - n_2}{n_0} \times 100\%$$

$$SD = 5\%$$

$$n_1 = 500 \text{ rpm}$$

$$n_0 = 500 \text{ rpm, Maka :}$$

$$SD = \frac{n_1 - n_2}{n_0} \times 100\%$$

$$5\% = \frac{500 \text{ rpm} - n_2}{500 \text{ rpm}} \times 100\%$$

$$n_2 = 500 \text{ rpm} - 25 \text{ rpm} = 475 \text{ rpm}$$

Dengan nilai *speed droop* sebesar 5% maka putaran generator saat beban penuh akan turun 25 rpm atau menjadi 475 rpm. Dengan jumlah kutub generator PLTA Bakaru Unit 1 sebanyak 12 buah, menurut persamaan (2.1) maka dapat dihitung nilai frekuensi saat terjadi beban penuh:

$$f = \frac{n \cdot p}{120}$$

$$f = \frac{475 \text{ rpm} \cdot 12}{120}$$

$$f = 47.5 \text{ Hz}$$

Sesuai perhitungan nilai frekuensi saat beban penuh dengan menggunakan persamaan (2.1) maka dapat diketahui bahwa jika unit pembangkit dibebani penuh maka frekuensinya akan turun 2.5 Hz. Dengan nilai *setting speed droop* yang telah ditetapkan sebesar 5% berarti ketika terjadi perubahan frekuensi sebesar 2.5 Hz maka respon atau kerja *governor* akan menambah atau mengurangi daya aktif sebesar 100%.

Selanjutnya dengan dimisalkan nilai *setting speed droop* diubah menjadi 3%, dengan cara perhitungan yang sama untuk mencari putaran generator saat beban penuh sebagai berikut:

$$SD = \frac{n_1 - n_2}{n_0} \times 100\%$$

$$3\% = \frac{500 \text{ rpm} - n_2}{500 \text{ rpm}} \times 100\%$$

$$n_2 = 500 \text{ rpm} - 15 \text{ rpm} = 485 \text{ rpm}$$

Dengan nilai *speed droop* sebesar 3% maka putaran generator saat dibebani penuh akan menurun sebesar 15 rpm atau akan menjadi 485 rpm. Dengan putaran tersebut, maka akan dicari frekuensi saat generator dibebani penuh :

$$f = \frac{n \cdot p}{120}$$

$$f = \frac{485 \text{ rpm} \cdot 12}{120}$$

$$f = 48.5 \text{ Hz}$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa ketika terjadi perubahan frekuensi 1.5 Hz atau penuruna kecepatan generator 15 rpm akibat dibebani penuh maka *governor* akan menambah atau mengurangi keluaran daya aktif generator 100%. Sehingga semakin kecil nilai *speed droop* maka semakin peka *governor* terhadap perubahan frekuensi (putaran). Hal ini dapat dilihat dari tabel berikut sesuai dengan spesifikasi *governor* :

Tabel 4. 8 Tabel Karakteristik *Speed Droop*

SD	Putaran (rpm)	Frekuensi (Hz)
1%	495	49.5
2%	490	49
3%	485	48.5
4%	480	48
5%	475	47.5
6%	470	47
7%	465	46.5
8%	460	46
9%	455	45.5
10%	450	45

Berdasarkan Tabel 4.8 dapat diketahui bahwa semakin kecil nilai *speed droop* maka semakin kecil perubahan putaran saat beban penuh dan semakin kecil juga perubahan frekuensinya. Ketika *speed droop* diatur dengan nilai terkecil yaitu 1% maka *governor* mampu merespon perubahan frekuensi antara 49,5 - 50,5 Hz dengan perubahan putaran antara 495 – 505 rpm. Sedangkan ketika *speed droop* diatur dengan nilai terbesar yaitu 10% maka *governor* mampu merespon perubahan frekuensi antara 45 - 55 Hz dengan perubahan putaran antara 450 – 550 rpm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin kecil nilai *speed droop* maka semakin peka *governor* terhadap perubahan frekuensi dan putaran. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan (Pamundra, 2020) dengan nilai *speed droop* 5% untuk putaran 3000 rpm terjadi penurunan putaran 150 rpm atau menjadi 2850 rpm saat putaran beban penuh dan frekuensi menjadi 47,5 Hz sehingga didapatkan hasil yang sama pada penelitian sebelumnya berdasarkan Tabel 4.8. Untuk mengetahui kerja *governor* pada PLTA Bakaru Unit 1 berdasarkan Tabel 4.1 sampai Tabel 4.7 dengan menggunakan persamaan (2.1) dan (2.8) sebagai berikut :

Tabel 4.9 Tabel hasil perhitungan *speed droop* aktual dan perbandingan antara frekuensi teoritis dan frekuensi aktual tanggal 20 Februari 2023

JAM	Cos Φ Lagging	Putaran (rpm)	SD Aktual (%)	Frekuensi		Eror Frekuensi (%)
				Aktual	Teoritis	
				Hz	Hz	
01:00	0.97	500	0.0	50.00	50.00	0.00
02:00	0.97	500	0.0	50.01	50.00	0.02
03:00	0.97	500	0.0	50.02	50.00	0.04
04:00	0.97	499	0.2	49.95	49.90	0.10
05:00	0.97	499	0.2	49.94	49.90	0.08
06:00	0.98	500	0.0	50.03	50.00	0.06
07:00	0.99	499	0.2	49.95	49.90	0.10
08:00	0.99	500	0.0	50.01	50.00	0.02
09:00	0.99	499	0.2	49.96	49.90	0.12
10:00	0.99	500	0.0	50.03	50.00	0.06
11:00	0.99	502	-0.4	50.18	50.20	0.04
12:00	0.99	499	0.2	49.96	49.90	0.12
13:00	0.99	501	-0.2	50.10	50.10	0.00
14:00	0.99	501	-0.2	50.08	50.10	0.04
15:00	0.99	500	0.0	50.04	50.00	0.08
16:00	0.99	499	0.2	49.97	49.90	0.14
17:00	0.99	498	0.4	49.90	49.80	0.20
18:00	0.98	500	0.0	50.03	50.00	0.06
18:30	0.98	500	0.0	50.02	50.00	0.04
19:00	0.98	500	0.0	50.01	50.00	0.02
19:30	0.98	499	0.2	49.96	49.90	0.12
20:00	0.98	500	0.0	50.01	50.00	0.02
20:30	0.98	500	0.0	50.04	50.00	0.08
21:00	0.98	500	0.0	50.01	50.00	0.02
21:30	0.98	499	0.2	49.95	49.90	0.10
22:00	0.98	500	0.0	50.01	50.00	0.02
23:00	0.98	500	0.0	50.01	50.00	0.02
24:00	0.98	500	0.0	50.01	50.00	0.02

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa eror frekuensi yang terjadi pada PLTA Bakaru Unit 1 <1% sehingga dapat dikatakan bahwa *governor* bekerja dengan baik menjaga frekuensi dan putaran. Dimana putaran terendah berada pada

jam 17:00 WITA dengan nilai putaran 498 rpm, sehingga nilai *speed droop* aktual pada jam tersebut yaitu 0.4% artinya perlu menambah putaran 0.4% untuk mengembalikan ke putaran nominal dan eror frekuensinya sebesar 0.20%. Putaran tertinggi terjadi pada jam 11:00 WITA yaitu 502 rpm, sehingga nilai *speed droop* aktual pada jam tersebut -0,4% artinya perlu pengurangan putaran 0.4% untuk mengembalikan ke putaran nominal dan eror frekuensinya sebesar 0.04%.



Tabel 4.10 Tabel hasil perhitungan *speed droop* aktual dan perbandingan antara frekuensi teoritis dan frekuensi aktual tanggal 21 Februari 2023

JAM	Cos Φ Lagging	Putaran (rpm)	SD Aktual (%)	Frekuensi		Eror Frekuensi (%)
				Aktual (Hz)	Teoritis (Hz)	
01:00	0.97	500	0.0	50.01	50.00	0.02
02:00	0.97	500	0.0	50.01	50.00	0.02
03:00	0.98	500	0.0	50.02	50.00	0.04
04:00	0.98	500	0.0	50.02	50.00	0.04
05:00	0.98	499	0.2	49.95	49.90	0.10
06:00	0.98	500	0.0	49.98	50.00	0.04
07:00	0.99	499	0.2	49.95	49.90	0.10
08:00	0.99	499	0.2	49.96	49.90	0.12
09:00	0.99	500	0.0	49.99	50.00	0.02
10:00	0.99	500	0.0	49.99	50.00	0.02
11:00	0.98	500	0.0	50.02	50.00	0.04
12:00	0.98	499	0.2	49.95	49.90	0.10
13:00	0.98	500	0.0	50.01	50.00	0.02
14:00	0.98	500	0.0	50.02	50.00	0.04
15:00	0.99	500	0.0	50.03	50.00	0.06
16:00	0.99	499	0.2	49.96	49.90	0.12
17:00	0.99	500	0.0	50.01	50.00	0.02
18:00	0.99	499	0.2	49.96	49.90	0.12
18:30	0.99	500	0.0	49.99	50.00	0.02
19:00	0.99	499	0.2	50.02	49.90	0.24
19:30	0.99	499	0.2	49.96	49.90	0.12
20:00	0.99	500	0.0	50.01	50.00	0.02
20:30	0.99	500	0.0	49.98	50.00	0.04
21:00	0.99	500	0.0	49.99	50.00	0.02
21:30	0.99	500	0.0	50.01	50.00	0.02
22:00	0.99	500	0.0	50.02	50.00	0.04
23:00	0.99	500	0.0	50.01	50.00	0.02
24:00	0.98	500	0.0	50.01	50.00	0.02

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa eror frekuensi yang terjadi pada PLTA Bakaru Unit 1 <1% sehingga dapat dikatakan bahwa *governor* bekerja dengan baik menjaga frekuensi dan putaran. Dimana putaran terendah berada pada

nilai putaran 499 rpm salah satunya terjadi pada saat jam 05:00 WITA, sehingga nilai *speed droop* aktual pada jam tersebut yaitu 0,2% artinya perlu menambah putaran 0,2% untuk mengembalikan ke putaran nominal dan eror frekuensinya sebesar 0,10%. Sedangkan tidak ada putaran yang melebihi nilai putaran nominal (500 rpm).



Tabel 4.11 Tabel hasil perhitungan *speed droop* aktual dan perbandingan antara frekuensi teoritis dan frekuensi aktual tanggal 22 Februari 2023

JAM	Cos Φ Lagging	Putaran (rpm)	SD Aktual (%)	Frekuensi		Eror Frekuensi (%)
				Aktual Hz	Teoritis Hz	
01:00	0.99	500	0.0	50.01	50.00	0.02
02:00	0.98	500	0.0	50.01	50.00	0.02
03:00	0.98	500	0.0	50.02	50.00	0.04
04:00	0.98	500	0.0	50.01	50.00	0.02
05:00	0.98	500	0.0	50.03	50.00	0.06
06:00	0.98	501	-0.2	50.06	50.10	0.08
07:00	0.99	499	0.2	49.96	49.90	0.12
08:00	0.99	500	0.0	49.99	50.00	0.02
09:00	0.99	499	0.2	49.96	49.90	0.12
10:00	0.99	500	0.0	49.98	50.00	0.04
11:00	0.99	500	0.0	50.00	50.00	0.00
12:00	0.99	500	0.0	50.02	50.00	0.04
13:00	0.99	499	0.2	49.95	49.90	0.10
14:00	0.99	499	0.2	49.94	49.90	0.08
15:00	0.99	500	0.0	50.03	50.00	0.06
16:00	1.00	500	0.0	50.02	50.00	0.04
17:00	0.99	500	0.0	50.02	50.00	0.04
18:00	0.99	500	0.0	50.01	50.00	0.02
18:30	0.99	500	0.0	50.01	50.00	0.02
19:00	0.99	500	0.0	49.99	50.00	0.02
19:30	0.99	500	0.0	49.98	50.00	0.04
20:00	0.99	500	0.0	49.99	50.00	0.02
20:30	0.99	498	0.4	49.88	49.80	0.16
21:00	0.99	501	-0.2	50.05	50.10	0.10
21:30	0.99	501	-0.2	50.05	50.10	0.10
22:00	0.99	500	0.0	50.02	50.00	0.04
23:00	0.99	500	0.0	50.02	50.00	0.04
24:00	0.99	500	0.0	50.01	50.00	0.02

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa eror frekuensi yang terjadi pada PLTA Bakaru Unit 1 <1% sehingga dapat dikatakan bahwa *governor* bekerja dengan baik menjaga frekuensi dan putaran. Dimana putaran terendah berada pada

jam 20:30 WITA dengan nilai putaran 498 rpm, sehingga nilai *speed droop* aktual pada jam tersebut yaitu 0.4% artinya perlu menambah putaran 0,4% untuk mengembalikan ke putaran nominal dan eror frekuensinya sebesar 0,16%. Putaran tertinggi yaitu 501 rpm salah satunya terjadi pada jam 21:00 WITA, sehingga nilai *speed droop* aktual pada jam tersebut -0,2% artinya perlu pengurangan putaran 0,2% untuk mengembalikan ke putaran nominal dan eror frekuensinya sebesar 0,10%.



Tabel 4.12 Tabel hasil perhitungan *speed droop* aktual dan perbandingan antara frekuensi teoritis dan frekuensi aktual tanggal 23 Februari 2023

JAM	Cos Φ Lagging	Putaran (rpm)	SD Aktual (%)	Frekuensi		Eror Frekuensi (%)
				Aktual	Teoritis	
				Hz	Hz	
01:00	0.99	500	0.0	50.01	50.00	0.02
02:00	0.98	502	-0.4	50.13	50.20	0.14
03:00	0.98	500	0.0	50.02	50.00	0.04
04:00	0.98	500	0.0	50.03	50.00	0.06
05:00	0.98	500	0.0	50.03	50.00	0.06
06:00	0.98	500	0.0	50.02	50.00	0.04
07:00	0.98	501	-0.2	50.08	50.10	0.04
08:00	0.98	499	0.2	49.97	49.90	0.14
09:00	0.98	500	0.0	49.99	50.00	0.02
10:00	0.99	500	0.0	49.99	50.00	0.02
11:00	0.99	500	0.0	50.01	50.00	0.02
12:00	0.99	500	0.0	50.02	50.00	0.04
13:00	0.99	500	0.0	50.00	50.00	0.00
14:00	0.99	501	-0.2	50.06	50.10	0.08
15:00	0.99	500	0.0	50.02	50.00	0.04
16:00	0.99	500	0.0	49.99	50.00	0.02
17:00	0.99	500	0.0	49.98	50.00	0.04
18:00	0.99	500	0.0	49.99	50.00	0.02
18:30	0.99	500	0.0	50.02	50.00	0.04
19:00	0.99	500	0.0	49.99	50.00	0.02
19:30	0.99	500	0.0	50.01	50.00	0.02
20:00	0.99	501	-0.2	50.07	50.10	0.06
20:30	0.99	501	-0.2	50.06	50.10	0.08
21:00	0.99	499	0.2	49.96	49.90	0.12
21:30	0.99	500	0.0	49.99	50.00	0.02
22:00	0.99	498	0.4	49.89	49.80	0.18
23:00	0.98	500	0.0	49.98	50.00	0.04
24:00	0.98	500	0.0	50.00	50.00	0.00

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa eror frekuensi yang terjadi pada PLTA Bakaru Unit 1 <1% sehingga dapat dikatakan bahwa *governor* bekerja dengan baik menjaga frekuensi dan putaran. Dimana putaran terendah berada pada

jam 22:00 WITA dengan nilai putaran 498 rpm, sehingga nilai *speed droop* aktual pada jam tersebut yaitu 0,4% artinya perlu menambah putaran 0,4% untuk mengembalikan ke putaran nominal dan eror frekuensinya sebesar 0,04%. Putaran tertinggi terjadi pada jam 02:00 WITA yaitu 502 rpm, sehingga nilai *speed droop* aktual pada jam tersebut -0,4% artinya perlu pengurangan putaran 0,4% untuk mengembalikan ke putaran nominal dan eror frekuensinya sebesar 0,14%.



Tabel 4.13 Tabel hasil perhitungan *speed droop* aktual dan perbandingan antara frekuensi teoritis dan frekuensi aktual tanggal 24 Februari 2023

JAM	Cos Φ Lagging	Putaran (rpm)	SD Aktual (%)	Frekuensi		Eror Frekuensi (%)
				Aktual Hz	Teoritis Hz	
01:00	0.98	500	0.0	50.04	50.00	0.08
02:00	0.98	500	0.0	50.03	50.00	0.06
03:00	0.98	500	0.0	50.02	50.00	0.04
04:00	0.98	500	0.0	50.01	50.00	0.02
05:00	0.98	500	0.0	50.04	50.00	0.08
06:00	0.98	500	0.0	50.01	50.00	0.02
07:00	0.98	500	0.0	50.03	50.00	0.06
08:00	0.98	500	0.0	50.02	50.00	0.04
09:00	0.99	499	0.2	49.95	49.90	0.10
10:00	0.99	500	0.0	49.99	50.00	0.02
11:00	0.99	500	0.0	49.99	50.00	0.02
12:00	0.99	500	0.0	49.98	50.00	0.04
13:00	0.99	499	0.2	49.95	49.90	0.10
14:00	0.99	500	0.0	50.01	50.00	0.02
15:00	0.99	501	-0.2	50.06	50.10	0.08
16:00	0.99	499	0.2	49.96	49.90	0.12
17:00	0.99	499	0.2	49.95	49.90	0.10
18:00	0.98	500	0.0	50.04	50.00	0.08
18:30	0.99	499	0.2	49.95	49.90	0.10
19:00	0.99	500	0.0	49.99	50.00	0.02
19:30	0.99	500	0.0	49.98	50.00	0.04
20:00	0.99	500	0.0	50.03	50.00	0.06
20:30	0.99	501	-0.2	50.06	50.10	0.08
21:00	0.99	500	0.0	50.01	50.00	0.02
21:30	0.99	500	0.0	49.99	50.00	0.02
22:00	0.99	500	0.0	50.00	50.00	0.00
23:00	0.99	500	0.0	50.01	50.00	0.02
24:00	0.99	500	0.0	50.03	50.00	0.06

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa eror frekuensi yang terjadi pada PLTA Bakaru Unit 1 <1% sehingga dapat dikatakan bahwa *governor* bekerja dengan baik menjaga frekuensi dan putaran. Dimana putaran terendah berada pada

nilai putaran 499 rpm salah satunya terjadi pada jam 13:00 WITA, sehingga nilai *speed droop* aktual pada jam tersebut yaitu 0,2% artinya perlu menambah putaran 0,2% untuk mengembalikan ke putaran nominal dan eror frekuensinya sebesar 0,10%. Putaran tertinggi yaitu 501 rpm salah satunya terjadi pada jam 20:30 WITA, sehingga nilai *speed droop* aktual pada jam tersebut -0,2% artinya perlu pengurangan putaran 0,2% untuk mengembalikan ke putaran nominal dan eror frekuensinya sebesar 0,08%.



Tabel 4.14 Tabel hasil perhitungan *speed droop* aktual dan perbandingan antara frekuensi teoritis dan frekuensi aktual tanggal 25 Februari 2023

JAM	Cos Φ Lagging	Putaran (rpm)	SD Aktual (%)	Frekuensi		Eror Frekuensi (%)
				Aktual Hz	Teoritis Hz	
01:00	0.99	500	0.0	50.03	50.00	0.06
02:00	0.99	500	0.0	50.02	50.00	0.04
03:00	0.98	500	0.0	50.01	50.00	0.02
04:00	0.98	501	-0.2	50.05	50.10	0.10
05:00	0.98	500	0.0	50.03	50.00	0.06
06:00	0.98	499	0.2	49.95	49.90	0.10
07:00	0.98	500	0.0	49.99	50.00	0.02
08:00	0.98	501	-0.2	50.06	50.10	0.08
09:00	0.99	500	0.0	50.04	50.00	0.08
10:00	0.98	500	0.0	50.03	50.00	0.06
11:00	0.99	500	0.0	50.01	50.00	0.02
12:00	0.98	500	0.0	50.01	50.00	0.02
13:00	0.98	500	0.0	49.99	50.00	0.02
14:00	0.99	500	0.0	49.99	50.00	0.02
15:00	0.99	500	0.0	49.98	50.00	0.04
16:00	0.99	500	0.0	50.00	50.00	0.00
17:00	0.99	500	0.0	50.01	50.00	0.02
18:00	0.98	499	0.2	49.96	49.90	0.12
18:30	0.98	500	0.0	49.99	50.00	0.02
19:00	0.98	502	-0.4	50.15	50.20	0.10
19:30	0.98	500	0.0	49.99	50.00	0.02
20:00	0.98	499	0.2	49.95	49.90	0.10
20:30	0.99	502	-0.4	50.13	50.20	0.14
21:00	0.99	500	0.0	50.01	50.00	0.02
21:30	0.99	500	0.0	50.01	50.00	0.02
22:00	0.99	500	0.0	50.01	50.00	0.02
23:00	0.98	501	-0.2	50.06	50.10	0.08
24:00	0.98	500	0.0	50.01	50.00	0.02

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa eror frekuensi yang terjadi pada PLTA Bakaru Unit 1 <1% sehingga dapat dikatakan bahwa *governor* bekerja dengan baik menjaga frekuensi dan putaran. Dimana putaran terendah berada pada

499 rpm salah satunya terjadi pada jam 20:00 WITA, sehingga nilai *speed droop* aktual pada jam tersebut yaitu 0,2% artinya perlu menambah putaran 0,2% untuk mengembalikan ke putaran nominal dan eror frekuensinya sebesar 0.10%. Putaran tertinggi yaitu 502 rpm salah satunya terjadi pada jam 20:30 WITA, sehingga nilai *speed droop* aktual pada jam tersebut -0,4% artinya perlu pengurangan putaran 0,4% untuk mengembalikan ke putaran nominal dan eror frekuensinya sebesar 0,14%.



Tabel 4.15 Tabel hasil perhitungan *speed droop* aktual dan perbandingan antara frekuensi teoritis dan frekuensi aktual tanggal 26 Februari 2023

JAM	Cos Φ Lagging	Putaran (rpm)	SD Aktual (%)	Frekuensi		Eror Frekuensi (%)
				Aktual	Teoritis	
				Hz	Hz	
01:00	0.98	500	0.0	50.03	50.00	0.06
02:00	0.98	499	0.2	49.99	49.90	0.18
03:00	0.98	500	0.0	49.99	50.00	0.02
04:00	0.98	499	0.2	50.00	49.90	0.20
05:00	0.98	500	0.0	50.02	50.00	0.04
06:00	0.98	500	0.0	50.01	50.00	0.02
07:00	0.99	499	0.2	49.95	49.90	0.10
08:00	0.99	500	0.0	49.99	50.00	0.02
09:00	0.99	500	0.0	50.02	50.00	0.04
10:00	0.99	500	0.0	50.03	50.00	0.06
11:00	0.99	500	0.0	49.99	50.00	0.02
12:00	0.99	500	0.0	50.01	50.00	0.02
13:00	0.99	500	0.0	49.98	50.00	0.04
14:00	0.99	500	0.0	50.01	50.00	0.02
15:00	0.99	500	0.0	49.99	50.00	0.02
16:00	0.99	499	0.2	49.95	49.90	0.10
17:00	0.98	500	0.0	49.99	50.00	0.02
18:00	0.98	500	0.0	50.01	50.00	0.02
18:30	0.98	501	-0.2	50.06	50.10	0.08
19:00	0.98	500	0.0	50.01	50.00	0.02
19:30	0.98	500	0.0	50.01	50.00	0.02
20:00	0.99	500	0.0	50.02	50.00	0.04
20:30	0.99	499	0.2	49.95	49.90	0.10
21:00	0.99	500	0.0	49.97	50.00	0.06
21:30	0.99	500	0.0	49.99	50.00	0.02
22:00	0.99	502	-0.4	50.12	50.20	0.16
23:00	0.99	500	0.0	50.05	50.00	0.10
24:00	0.99	500	0.0	50.02	50.00	0.04

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa eror frekuensi yang terjadi pada PLTA Bakaru Unit 1 <1% sehingga dapat dikatakan bahwa *governor* bekerja dengan baik menjaga frekuensi dan putaran. Dimana putaran terendah berada pada

499 rpm salah satunya terjadi pada jam 20:30 WITA, sehingga nilai *speed droop* aktual pada jam tersebut yaitu 0,2% artinya perlu menambah putaran 0,2% untuk mengembalikan ke putaran nominal dan eror frekuensinya sebesar 0,10%. Putaran tertinggi terjadi pada jam 22:00 WITA yaitu 502 rpm, sehingga nilai *speed droop* aktual pada jam tersebut -0,4% artinya perlu pengurangan putaran 0,4% untuk mengembalikan ke putaran nominal dan eror frekuensinya sebesar 0,16%.

4.2.2 Pengaruh Nilai *Speed Droop governor* terhadap kinerja *governor* saat terjadi perubahan frekuensi sistem pada PLTA Bakaru Unit 1

PLTA Bakaru merupakan PLTA yang berkapasitas 2×63MW. PLTA Bakaru menetapkan nilai *speed droop governor* 5%. Nilai ini merupakan salah satu faktor mempengaruhi kerja dari *governor* dalam menentukan keluaran generator sesuai dengan perubahan frekuensi yang terjadi, baik menambah atau mengurangi keluaran generator sesuai dengan perubahan frekuensi pada sistem. Dengan menggunakan persamaan (2.9) untuk kapasitas generator dan *speed droop governor* dengan frekuensi referensi 50 Hz maka dapat dihitung sebagai berikut :

$$K = \frac{1}{\text{Speed Droop}} \times \frac{P_0}{f_0}$$

$$K = \frac{1}{5\%} \times \frac{63 \text{ MW}}{50 \text{ Hz}}$$

$$K = 25,2 \text{ MW/Hz} \text{ tiap generator}$$

Artinya dengan nilai *speed droop* 5%, *governor* akan merespon ketika terjadi perubahan frekuensi sebesar 1 Hz dengan menambah atau mengurangi bukaan *guide vane* sehingga keluaran generator akan ikut berpengaruh. Pada perhitungan diatas dapat diketahui bahwa dengan nilai *speed droop* 5%

dengan total daya 63 MW maka *governor* PLTA Bakaru Unit 1 akan mampu merespon 25,2 MW jika terjadi perubahan frekuensi 1 Hz tanpa adanya pengaturan sekunder dari rentang frekuensi 47,5 - 52,5 Hz.

Selanjutnya setelah nilai K didapatkan, maka dapat diketahui respon *governor* setiap terjadi perubahan nilai frekuensi, dengan menggunakan persamaan (2.10) maka dapat dilihat:

$$\Delta P = -K \times \Delta f$$

Dimana :

$$\Delta P = -25,2 \text{ MW/Hz} \times (49.99 \text{ Hz} - 50 \text{ Hz})$$

$$\Delta P = 0,252 \text{ MW}$$

Dari perhitungan diatas, dapat diketahui bahwa ketika frekuensi sistem berubah menjadi 49.99 Hz maka *governor* akan merespon dengan menambahkan daya keluaran generator sebesar 0,252 MW.

Selanjutnya dimisalkan nilai *speed droop governor* diubah menjadi 3%. Dengan cara perhitungan yang sama maka dapat diketahui respon *governor* setiap terjadinya perubahan 1Hz frekuensi :

$$K = \frac{1}{\text{Speed Droop}} \times \frac{P_0}{f_0}$$

$$K = \frac{1}{3\%} \times \frac{63 \text{ MW}}{50 \text{ Hz}}$$

$$K = 42 \text{ MW/Hz}$$

Pada perhitungan diatas dapat diketahui bahwa dengan nilai *speed droop* 3% dengan total daya 63 MW maka *governor* PLTA Bakaru Unit 1 mampu merespon 42 MW jika terjadi perubahan frekuensi 1 Hz tanpa adanya

pengaturan sekunder dari rentang perubahan nilai frekuensi 48,5 - 51,5Hz.. Sehingga dapat diketahui pula bahwa semakin kecil *nilai speed droop governor* maka semakin besar pula kerja *governor* dan generator.

Dengan didapatkannya nilai K atau faktor partisipasi *governor*, maka dapat diketahui pula respon *governor* setiap terjadinya perubahan nilai frekuensi sistem dengan menggunakan persamaan (2.10)

$$\Delta P = -K \times \Delta f$$

Dimana :

$$\Delta P = -42MW/Hz \times (49.99 Hz - 50 Hz)$$

$$\Delta P = 0.42 MW$$

Dari perhitungan diatas, dapat diketahui bahwa ketika frekuensi sistem berubah menjadi 49.99 Hz maka *governor* akan merespon dengan menambahkan daya keluaran generator sebesar 0.42 MW. Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat diketahui bahwa semakin kecil nilai *speed droop* maka semakin besar perubahan daya yang terjadi. Sehingga berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Wahyuni dkk. (2022) memiliki hasil penelitian yang sama. Dimana pada penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa dengan nilai *speed droop* 8% mengakibatkan perubahan daya sebesar 2,125 MW untuk setiap perubahan 1% frekuensi sedangkan dengan nilai *speed droop* 4% akan mengakibatkan perubahan daya sebesar 4,24 MW untuk setiap perubahan 1% frekuensi.

Daya aktif sangat erat kaitannya dengan nilai frekuensi pada sistem. Penyediaan daya aktif yang dihasilkan pembangkit harus sesuai dengan

kebutuhan daya aktif yang dibutuhkan beban. Nilai frekuensi akan turun ketika kebutuhan daya aktif beban lebih besar dari daya aktif yang dibangkitkan pembangkit dan sebaliknya frekuensi akan naik ketika kebutuhan daya aktif beban lebih kecil dari daya aktif yang dihasilkan pembangkit.

Pada Tabel 4.1 sampai dengan Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa setiap jamnya terjadi perubahan daya aktif dan perubahan nilai frekuensi. Nilai frekuensi tidak akan pernah stabil 50 Hz hal ini disebabkan karena perubahan daya aktif beban setiap waktunya. Seperti contoh pada Tabel 4.1 jam 11:00 PLTA Bakaru Unit 1 menurunkan bebannya menjadi 41.2 MW dan frekuensi sebesar 50.18 Hz. Namun pada jam 17:00 terjadi perubahan frekuensi menjadi 49.90 Hz dan beban menjadi 41.5 MW.

Dengan menggunakan data pada jam 11:00 WITA pada Tabel 4.1, maka dapat diketahui berapa keluaran generator yang diperlukan sesuai dengan perubahan frekuensi yang terjadi senilai 50.18 Hz:

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi$$

$$P_0 = \sqrt{3} \cdot 11,2 \text{ kV} \cdot \left(\frac{2037 + 2183 + 2087}{3} \text{ A} \right) \cdot (0.99) = 40.4 \text{ MW}$$

Sehingga pada jam 11:00 Keluaran generator PLTA Bakaru Unit 1 sebesar 40.4 MW. Kemudian akan dihitung respon *governor* untuk mengembalikan nilai frekuensi menjadi 50 Hz dengan menggunakan persamaan (2.9) dan (2.10)

$$K = \frac{1}{\text{Speed Droop}} \times \frac{P_0}{f_0}$$

$$K = \frac{1}{5\%} \times \frac{40.4 \text{ MW}}{50 \text{ Hz}} = 16.15 \text{ MW/Hz}$$

Sehingga dengan nilai *speed droop* 5% sesuai dengan nilai yang ditetapkan pada PLTA Bakaru. Maka respon *governor* akan menambah atau mengurangi keluaran daya aktif generator sebesar 16.15 MW setiap terjadi perubahan frekuensi 1 Hz. Dari nilai tersebut dapat diketahui berapa perubahan keluaran daya generator ketika nilai frekuensi sebesar 50,18 Hz.

$$\Delta P = -K \times \Delta f$$

$$\Delta P = -16.15 \text{ MW/Hz} \times (50.18 \text{ Hz} - 50 \text{ Hz})$$

$$\Delta P = -2,907 \text{ MW}$$

Sehingga dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa untuk mengembalikan frekuensi ke nilai 50 Hz maka *governor* akan merespon dengan mengurangi keluaran generator sebesar 2,907 MW.

Jadi pada jam 11:00 daya aktif yang perlu dikeluarkan generator sebesar :

$$P' = P_0 + \Delta P$$

$$P' = 40.4 \text{ MW} + (-2,907 \text{ MW}) = 37.5 \text{ MW}$$

Jadi daya aktif yang diperlukan oleh keluaran generator untuk mengembalikan frekuensi menjadi 50 Hz sebesar 37.5 MW.

Namun pada jam 17:00 terjadi perubahan frekuensi yang kurang dari 50 Hz yaitu 40.90 Hz. Perubahan frekuensi ini dikarenakan kebutuhan beban pada sistem semakin besar. Untuk mencari keluarangan generator yang dibutuhkan agar frekuensi kembali ke nilai 50 Hz digunakan cara yang sama

seperti diatas dengan menggunakan persamaan (2.7) untuk menghitung daya keluaran generator sebagai berikut :

$$P = \sqrt{3}.V.I.\cos \phi$$

$$P_0 = \sqrt{3}.11,2\text{ kV}.\left(\frac{2020 + 2210 + 2112}{3}\text{ A}\right).(0.99) = 40.6\text{ MW}$$

Sehingga pada jam 17:00 Keluaran generator PLTA Bakaru Unit 1 sebesar 40.6 MW. Kemudian akan dihitung respon *governor* untuk mengembalikan nilai frekuensi menjadi 50 Hz dengan menggunakan persamaan (2.9) dan (2.10)

$$K = \frac{1}{\text{Speed Droop}} \times \frac{P_0}{f_0}$$

$$K = \frac{1}{5\%} \times \frac{40.6\text{ MW}}{50\text{ Hz}} = 16.24\text{ MW/Hz}$$

Sehingga dengan nilai *speed droop* 5% sesuai dengan nilai yang ditetapkan pada PLTA Bakaru. Maka respon *governor* akan menambah atau mengurangi keluaran daya aktif generator sebesar 16.24 MW setiap terjadi perubahan frekuensi 1 Hz. Dari nilai tersebut dapat diketahui berapa perubahan keluaran daya generator ketika nilai frekuensi sebesar 49.90 Hz.

$$\Delta P = -K \times \Delta f$$

$$\Delta P = -16.24\text{ MW/Hz} \times (49.90\text{ Hz} - 50\text{ Hz})$$

$$\Delta P = 1.624\text{ MW}$$

Sehingga dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa untuk mengembalikan frekuensi ke nilai 50 Hz maka *governor* akan merespon dengan mengurangi keluaran generator sebesar 1.624 MW.

Jadi pada jam 17:00 daya aktif yang perlu dikeluarkan generator sebesar :

$$P' = P_0 + \Delta P$$

$$P' = 40.6 \text{ MW} + (1.624 \text{ MW}) = 42.2 \text{ MW}$$

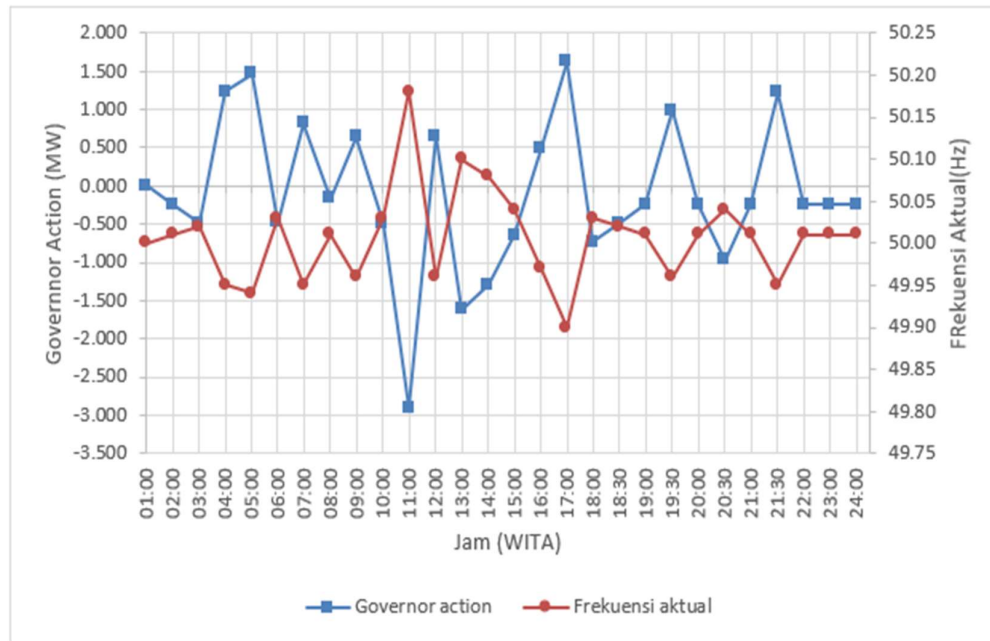
Jadi daya aktif yang diperlukan oleh keluaran generator untuk mengembalikan frekuensi menjadi 50 Hz sebesar 42,2 MW

. Berikut Tabel perbandingan antara keluaran daya aktif generator dan keluaran daya aktif generator setelah adanya respon *governor* :



Tabel 4.16 Tabel perbandingan keluaran daya aktif generator dan daya aktif generator dengan respon *governor* tanggal 20 Februari 2023

<i>Speed droop = 5%</i>						
JAM	P	Frekuensi	K	ΔP	P'	
	Teoritis				Hitung	Aktual
	MW	Hz	MW/Hz	MW	MW	
01:00	60.9	50.00	24.36	0.000	60.9	61
02:00	61.6	50.01	24.65	-0.246	61.4	61.3
03:00	61.6	50.02	24.63	-0.493	61.1	61.3
04:00	61.4	49.95	24.54	1.227	62.6	61.1
05:00	61.3	49.94	24.52	1.471	62.8	61.1
06:00	40.2	50.03	16.08	-0.482	39.7	40.1
07:00	41.0	49.95	16.38	0.819	41.8	40.5
08:00	40.4	50.01	16.15	-0.162	40.2	41.2
09:00	40.2	49.96	16.10	0.644	40.9	41.2
10:00	40.9	50.03	16.36	-0.491	40.4	41.2
11:00	40.4	50.18	16.15	-2.907	37.5	41.2
12:00	40.5	49.96	16.21	0.648	41.2	41.3
13:00	40.4	50.10	16.17	-1.617	38.8	41.2
14:00	40.5	50.08	16.22	-1.298	39.3	41.4
15:00	40.6	50.04	16.26	-0.650	40.0	41.5
16:00	40.9	49.97	16.35	0.490	41.4	41.3
17:00	40.6	49.90	16.24	1.624	42.2	41.5
18:00	61.4	50.03	24.57	-0.737	60.7	61.3
18:30	61.3	50.02	24.53	-0.491	60.8	61.1
19:00	61.2	50.01	24.47	-0.245	60.9	61
19:30	61.3	49.96	24.51	0.980	62.2	61
20:00	61.1	50.01	24.44	-0.244	60.8	61
20:30	61.1	50.04	24.42	-0.977	60.1	61
21:00	61.0	50.01	24.40	-0.244	60.7	61
21:30	61.3	49.95	24.51	1.225	62.5	61.4
22:00	61.2	50.01	24.50	-0.245	61.0	61.4
23:00	61.6	50.01	24.62	-0.246	61.3	61.4
24:00	61.7	50.01	24.70	-0.247	61.5	61.4

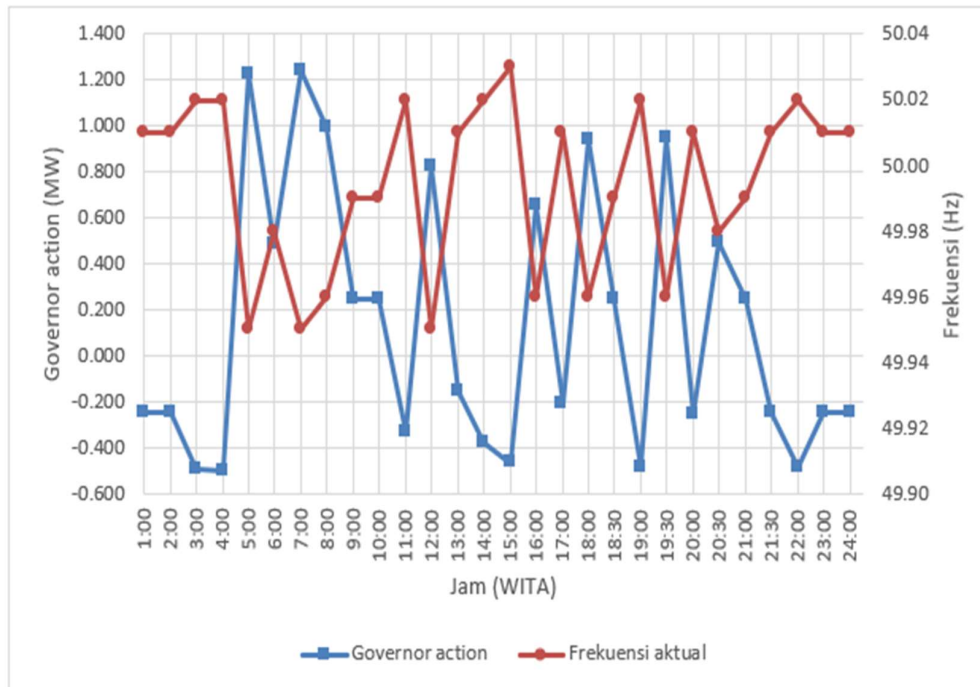


Gambar 4.2 Grafik hubungan *governor action* dan frekuensi aktual setiap waktu pada tanggal 20 Februari 2023

Berdasarkan Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa frekuensi terbesar ialah 50.18 Hz pada jam 11:00 WITA. Ketika frekuensi berada pada nilai 50.18 Hz maka respon *governor* akan mengurangi daya pada turbin sehingga keluaran generator berkurang sebanyak 2.907 MW. Sedangkan frekuensi terendah yaitu 49.90 Hz pada saat pukul 17:00 WITA. Ketika frekuensi berada pada nilai tersebut maka respon *governor* akan menambahkan daya pada turbin sehingga keluaran generator bertambah sebanyak 1.624 MW. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ketika frekuensi >50 Hz maka *governor* akan mengurangi keluaran generator dengan mengurangi bukaan *guide vane* dan begitu sebaliknya ketika frekuensi <50 Hz maka *governor* akan menambah keluaran generator dengan menambahkan bukaan *guide vane*.

Tabel 4.17 Tabel perbandingan keluaran daya aktif generator dan daya aktif generator dengan respon *governor* tanggal 21 Februari 2023

<i>Speed droop = 5%</i>						
JAM	P	Frekuensi	K	ΔP	P'	
	Teoritis				Hitung	Aktual
WITA	MW	Hz	MW/Hz	MW	MW	MW
01:00	61.7	50.01	24.67	-0.247	61.4	62.1
02:00	61.7	50.01	24.70	-0.247	61.5	62.1
03:00	61.5	50.02	24.59	-0.492	61.0	62.2
04:00	61.9	50.02	24.76	-0.495	61.4	62.2
05:00	61.5	49.95	24.58	1.229	62.7	62.2
06:00	61.3	49.98	24.50	0.490	61.7	62.1
07:00	61.9	49.95	24.76	1.238	63.1	62.3
08:00	62.2	49.96	24.88	0.995	63.2	62.6
09:00	61.8	49.99	24.70	0.247	62.0	62.2
10:00	61.9	49.99	24.78	0.248	62.2	62.3
11:00	41.0	50.02	16.40	-0.328	40.7	41
12:00	41.2	49.95	16.47	0.823	42.0	41
13:00	38.7	50.01	15.47	-0.155	38.5	40
14:00	46.4	50.02	18.56	-0.371	46.0	46.1
15:00	38.6	50.03	15.43	-0.463	38.1	40
16:00	40.9	49.96	16.38	0.655	41.6	40.5
17:00	51.1	50.01	20.46	-0.205	50.9	51.6
18:00	58.8	49.96	23.51	0.940	59.7	59.1
18:30	61.4	49.99	24.55	0.246	61.6	61.8
19:00	60.2	50.02	24.09	-0.482	59.7	60.7
19:30	59.4	49.96	23.76	0.950	60.4	60
20:00	62.0	50.01	24.78	-0.248	61.7	62.4
20:30	62.0	49.98	24.79	0.496	62.5	62.3
21:00	61.3	49.99	24.53	0.245	61.6	62
21:30	61.1	50.01	24.45	-0.244	60.9	62
22:00	60.4	50.02	24.18	-0.484	60.0	61
23:00	60.2	50.01	24.08	-0.241	60.0	61
24:00	61.1	50.01	24.45	-0.245	60.9	61

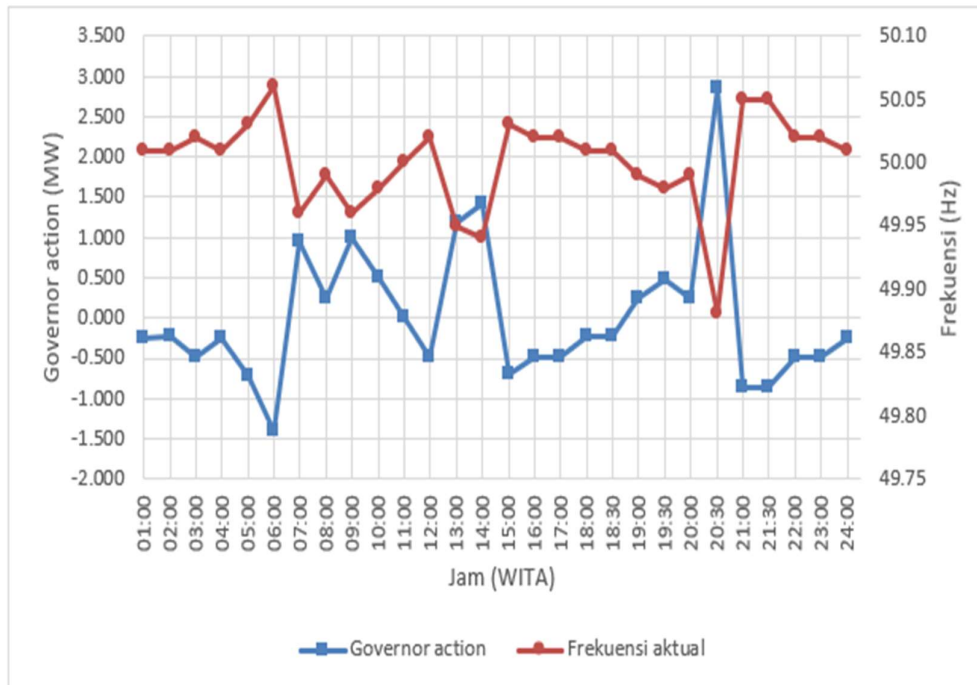


Gambar 4.3 Grafik hubungan *governor action* dan frekuensi aktual setiap waktu pada tanggal 21 Februari 2023

Berdasarkan Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa frekuensi terbesar ialah 50.03 Hz pada jam 15:00 WITA. Ketika frekuensi berada pada nilai 50.03 Hz maka respon *governor* akan mengurangi keluaran generator sebanyak 0.463 MW dengan cara mengurangi bukaan *guide vane* untuk mengembalikan nilai frekuensi ke 50 Hz. Sedangkan frekuensi terendah yaitu 49.95 Hz pada saat pukul 12:00 WITA. Ketika frekuensi berada pada nilai tersebut maka respon *governor* akan menambahkan keluaran generator sebanyak 0.823 MW dengan menambah bukaan *guide vane*.

Tabel 4.18 Tabel perbandingan keluaran daya aktif generator dan daya aktif generator dengan respon *governor* tanggal 22 Februari 2023

<i>Speed Droop = 5%</i>						
JAM	P	Frekuensi	K	ΔP	P'	
	Teoritis				Hitung	Aktual
WITA	MW	Hz	MW/Hz	MW	MW	MW
1:00	60.3	50.01	24.13	-0.241	60.1	61.1
2:00	59.2	50.01	23.66	-0.237	58.9	60
3:00	60.1	50.02	24.04	-0.481	59.6	60.7
4:00	60.7	50.01	24.26	-0.243	60.4	61.1
5:00	60.1	50.03	24.04	-0.721	59.4	60.7
6:00	59.0	50.06	23.60	-1.416	57.6	60
7:00	59.5	49.96	23.82	0.953	60.5	60
8:00	60.8	49.99	24.33	0.243	61.1	61.2
9:00	62.0	49.96	24.78	0.991	62.9	62.1
10:00	61.3	49.98	24.51	0.490	61.8	60.9
11:00	60.7	50.00	24.27	0.000	60.7	61
12:00	60.5	50.02	24.21	-0.484	60.0	61
13:00	59.4	49.95	23.77	1.189	60.6	60.1
14:00	59.4	49.94	23.77	1.426	60.8	60.1
15:00	58.7	50.03	23.47	-0.704	58.0	59.8
16:00	60.7	50.02	24.29	-0.486	60.2	61.1
17:00	61.3	50.02	24.54	-0.491	60.9	61.8
18:00	59.3	50.01	23.74	-0.237	59.1	60
18:30	59.3	50.01	23.74	-0.237	59.1	60
19:00	60.7	49.99	24.28	0.243	60.9	61.1
19:30	59.4	49.98	23.76	0.475	59.9	60
20:00	61.2	49.99	24.46	0.245	61.4	61.1
20:30	59.4	49.88	23.75	2.850	62.2	61.6
21:00	43.4	50.05	17.35	-0.867	42.5	60.8
21:30	43.4	50.05	17.35	-0.867	42.5	60.8
22:00	60.9	50.02	24.37	-0.487	60.4	61
23:00	59.7	50.02	23.87	-0.477	59.2	61
24:00	62.0	50.01	24.81	-0.248	61.8	61

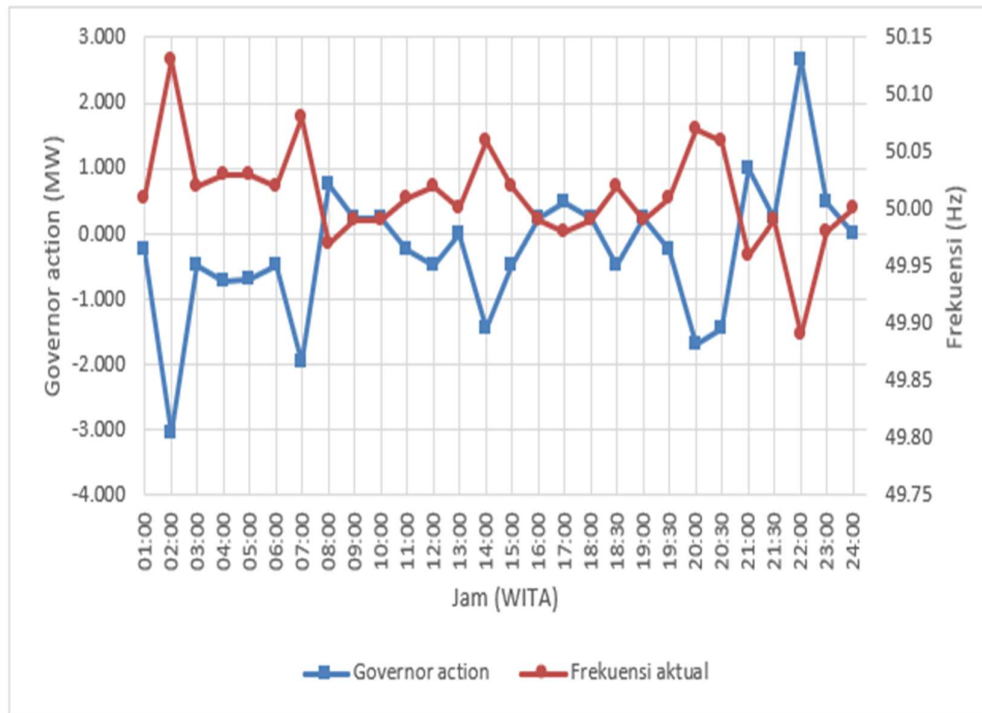


Gambar 4.4 Grafik hubungan *governor action* dan frekuensi aktual setiap waktu pada tanggal 22 Februari 2023

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa frekuensi terbesar ialah 50.06 Hz pada jam 06:00 WITA. Ketika frekuensi berada pada nilai 50.06 Hz maka respon *governor* akan mengurangi keluaran generator sebanyak 1.416 MW dengan mengurangi bukaan *guide vane*. Sedangkan frekuensi terendah yaitu 49.88 Hz pada saat pukul 20:30 WITA. Ketika frekuensi berada pada nilai tersebut maka respon *governor* akan menambahkan keluaran generator sebanyak 2.850 MW dengan menambah bukaan *guide vane*.

Tabel 4.19 Tabel perbandingan keluaran daya aktif generator dan daya aktif generator dengan respon *governor* tanggal 23 Februari 2023

<i>Speed droop = 5%</i>						
JAM	P	Frekuensi	K	ΔP	P'	
	Teoritis				Hitung	Aktual
WITA	MW	Hz	MW/Hz	MW	MW	MW
01:00	60.1	50.01	24.03	-0.240	59.8	61
02:00	58.9	50.13	23.58	-3.065	55.9	60.7
03:00	60.7	50.02	24.29	-0.486	60.2	60.9
04:00	61.4	50.03	24.57	-0.737	60.7	60.9
05:00	59.2	50.03	23.70	-0.711	58.5	60.9
06:00	60.2	50.02	24.07	-0.481	59.7	61
07:00	61.3	50.08	24.52	-1.962	59.3	60.8
08:00	62.1	49.97	24.82	0.745	62.8	61.1
09:00	61.0	49.99	24.42	0.244	61.3	61
10:00	59.8	49.99	23.94	0.239	60.1	61
11:00	60.2	50.01	24.09	-0.241	60.0	61
12:00	60.3	50.02	24.10	-0.482	59.8	61
13:00	60.9	50.00	24.36	0.000	60.9	61
14:00	60.7	50.06	24.29	-1.457	59.3	60.8
15:00	61.1	50.02	24.43	-0.489	60.6	60.9
16:00	60.1	49.99	24.03	0.240	60.3	61
17:00	60.1	49.98	24.03	0.481	60.5	61.1
18:00	60.3	49.99	24.12	0.241	60.5	61.1
18:30	60.3	50.02	24.13	-0.483	59.8	61
19:00	60.6	49.99	24.25	0.242	60.9	61.1
19:30	59.8	50.01	23.93	-0.239	59.6	61.1
20:00	60.9	50.07	24.35	-1.704	59.2	60.8
20:30	60.9	50.06	24.35	-1.461	59.4	60.8
21:00	61.0	49.96	24.40	0.976	62.0	61.2
21:30	60.9	49.99	24.37	0.244	61.2	61
22:00	60.0	49.89	24.00	2.640	62.6	61.4
23:00	59.1	49.98	23.64	0.473	59.6	61
24:00	59.9	50.00	23.98	0.000	59.9	61

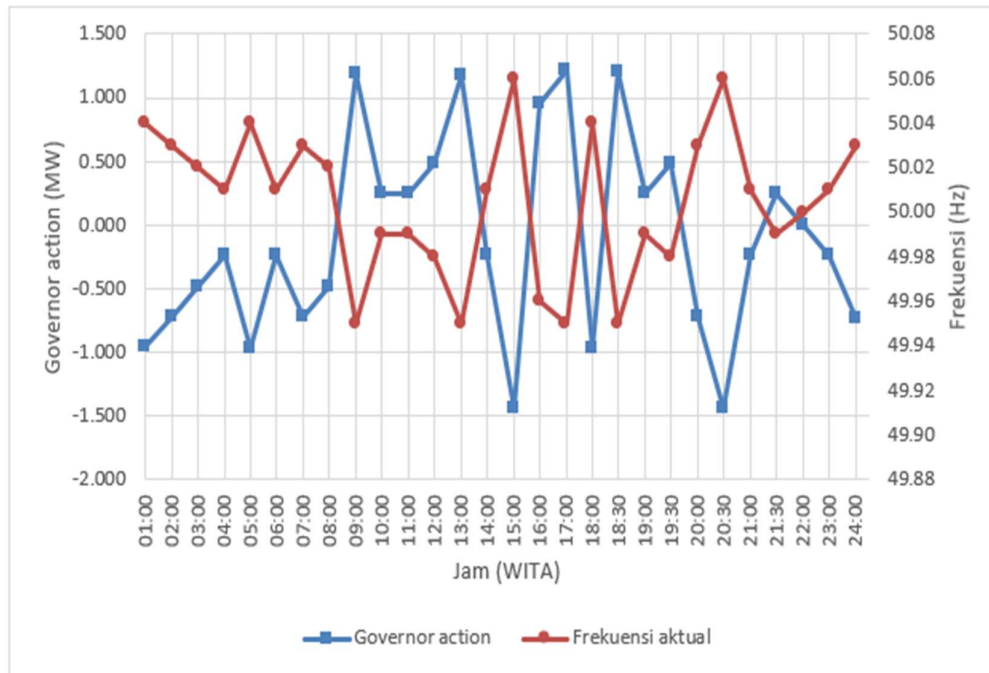


Gambar 4.5 Grafik hubungan *governor action* dan frekuensi aktual setiap waktu pada tanggal 23 Februari 2023

Berdasarkan Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa frekuensi terbesar ialah 50.13 Hz pada jam 02:00 WITA. Ketika frekuensi berada pada nilai 50.13 Hz maka respon *governor* akan mengurangi keluaran generator sebanyak 3.065 MW. Sedangkan frekuensi terendah yaitu 49.89 Hz pada saat pukul 22:00 WITA. Ketika frekuensi berada pada nilai tersebut maka respon *governor* akan menambahkan keluaran generator sebanyak 2.640 MW.

Tabel 4.20 Tabel perbandingan keluaran daya aktif generator dan daya aktif generator dengan respon *governor* tanggal 24 Februari 2023

<i>Speed droop = 5%</i>						
JAM	P	Frekuensi	K	ΔP	P'	
	Teoritis				Hitung	Aktual
WITA	MW	Hz	MW/Hz	MW	MW	MW
01:00	59.4	50.04	23.8	-0.951	58.5	60
02:00	60.4	50.03	24.2	-0.725	59.7	61
03:00	61.1	50.02	24.4	-0.489	60.6	61
04:00	60.7	50.01	24.3	-0.243	60.5	61.1
05:00	60.8	50.04	24.3	-0.973	59.9	61.1
06:00	60.5	50.01	24.2	-0.242	60.3	61.1
07:00	60.6	50.03	24.2	-0.727	59.8	61
08:00	61.4	50.02	24.6	-0.491	60.9	61
09:00	59.3	49.95	23.7	1.186	60.5	60
10:00	61.3	49.99	24.5	0.245	61.6	61
11:00	61.1	49.99	24.5	0.245	61.4	61
12:00	59.9	49.98	24.0	0.479	60.4	61
13:00	59.0	49.95	23.6	1.180	60.2	61.3
14:00	60.4	50.01	24.1	-0.241	60.1	61
15:00	59.8	50.06	23.9	-1.436	58.4	60.8
16:00	59.3	49.96	23.7	0.948	60.2	61.4
17:00	60.6	49.95	24.2	1.211	61.8	61.4
18:00	60.6	50.04	24.2	-0.970	59.6	61
18:30	59.9	49.95	23.9	1.197	61.1	61.2
19:00	60.7	49.99	24.3	0.243	60.9	61
19:30	60.7	49.98	24.3	0.486	61.2	61
20:00	59.9	50.03	23.9	-0.718	59.2	61
20:30	60.0	50.06	24.0	-1.440	58.5	60.9
21:00	60.7	50.01	24.3	-0.243	60.5	61
21:30	61.5	49.99	24.6	0.246	61.7	61
22:00	61.2	50.00	24.5	0.000	61.2	61
23:00	60.8	50.01	24.3	-0.243	60.5	61
24:00	61.6	50.03	24.7	-0.740	60.9	61

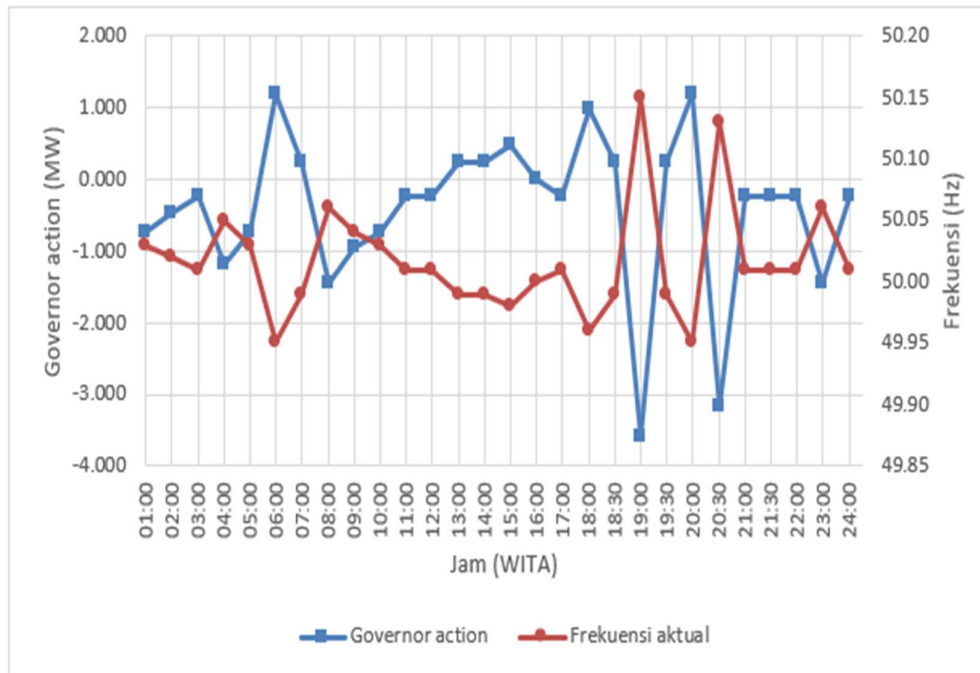


Gambar 4.6 Grafik hubungan *governor action* dan frekuensi aktual setiap waktu pada tanggal 24 Februari 2023

Berdasarkan Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa frekuensi terbesar ialah 50.06 Hz pada jam 20:30 WITA. Ketika frekuensi berada pada nilai 50.06 Hz maka respon *governor* akan mengurangi keluaran generator sebanyak 1.440 MW. Sedangkan frekuensi terendah yaitu 49.95 Hz pada saat pukul 18:30 WITA. Ketika frekuensi berada pada nilai tersebut maka respon *governor* akan menambahkan keluaran generator sebanyak 1.197 MW. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ketika frekuensi >50 Hz maka *governor* akan mengurangi keluaran generator dan begitu sebaliknya ketika frekuensi <50 Hz maka *governor* akan menambah keluaran generator.

Tabel 4.21 Tabel perbandingan keluaran daya aktif generator dan daya aktif generator dengan respon *governor* tanggal 25 Februari 2023

<i>Speed droop = 5%</i>						
JAM	P	Frekuensi	K	ΔP	P'	
	Teoritis				Hitung	Aktual
WITA	MW	Hz	MW/Hz	MW	MW	MW
01:00	61.6	50.03	24.64	-0.739	60.9	60.9
02:00	60.4	50.02	24.16	-0.483	59.9	61
03:00	62.5	50.01	24.98	-0.250	62.2	61
04:00	59.3	50.05	23.73	-1.187	58.1	60.8
05:00	60.6	50.03	24.23	-0.727	59.9	61
06:00	59.3	49.95	23.73	1.187	60.5	61.2
07:00	60.9	49.99	24.34	0.243	61.1	61.1
08:00	60.3	50.06	24.11	-1.447	58.8	60.8
09:00	60.0	50.04	24.00	-0.960	59.0	61.1
10:00	60.5	50.03	24.21	-0.726	59.8	61
11:00	61.2	50.01	24.48	-0.245	60.9	61
12:00	61.4	50.01	24.55	-0.245	61.1	61
13:00	60.5	49.99	24.20	0.242	60.7	60.9
14:00	61.3	49.99	24.53	0.245	61.6	60.9
15:00	60.0	49.98	24.01	0.480	60.5	60.9
16:00	59.7	50.00	23.86	0.000	59.7	61
17:00	60.6	50.01	24.25	-0.242	60.4	61
18:00	60.4	49.96	24.16	0.967	61.4	61.2
18:30	59.4	49.99	23.75	0.237	59.6	61
19:00	60.0	50.15	24.02	-3.603	56.4	60.7
19:30	59.2	49.99	23.69	0.237	59.5	61
20:00	59.6	49.95	23.85	1.193	60.8	61.2
20:30	61.0	50.13	24.40	-3.172	57.8	60.7
21:00	59.3	50.01	23.73	-0.237	59.1	61
21:30	59.5	50.01	23.78	-0.238	59.2	61
22:00	60.3	50.01	24.10	-0.241	60.0	61
23:00	60.9	50.06	24.34	-1.461	59.4	60.8
24:00	62.1	50.01	24.84	-0.248	61.9	61

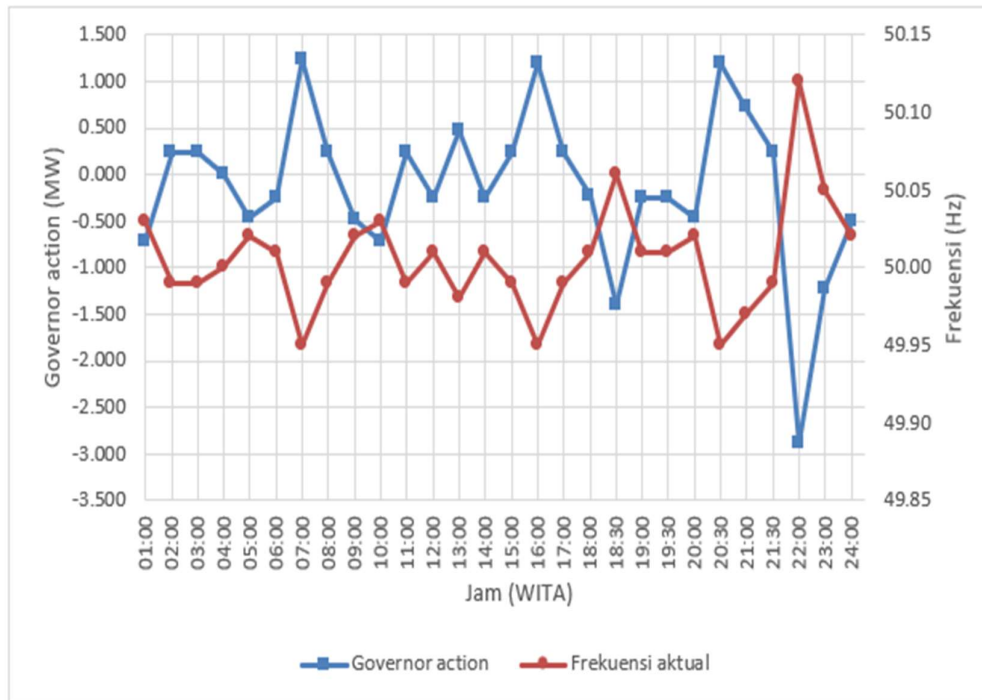


Gambar 4.7 Grafik hubungan *governor action* dan frekuensi aktual setiap waktu pada tanggal 25 Februari 2023

Berdasarkan Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa frekuensi terbesar ialah 50.15 Hz pada jam 19:00 WITA. Ketika frekuensi berada pada nilai 50.15 Hz maka respon *governor* akan mengurangi keluaran generator sebanyak 3.603 MW. Sedangkan frekuensi terendah yaitu 49.95 Hz pada saat pukul 20:00 WITA. Ketika frekuensi berada pada nilai tersebut maka respon *governor* akan menambahkan keluaran generator sebanyak 1.193 MW. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ketika frekuensi >50 Hz maka *governor* akan mengurangi keluaran generator dan begitu sebaliknya ketika frekuensi <50 Hz maka *governor* akan menambah keluaran generator.

Tabel 4.22 Tabel perbandingan keluaran daya aktif generator dan daya aktif generator dengan respon *governor* tanggal 26 Februari 2023

<i>Speed droop = 5%</i>						
JAM	P	Frekuensi	K	ΔP	P'	
	Teoritis				Hitung	Aktual
WITA	MW	Hz	MW/Hz	MW	MW	MW
01:00	60.0	50.03	24.02	-0.721	59.3	60.5
02:00	60.3	49.99	24.14	0.241	60.6	60.9
03:00	60.1	49.99	24.03	0.240	60.3	60.4
04:00	60.1	50.00	24.03	0.000	60.1	60.5
05:00	59.1	50.02	23.64	-0.473	58.6	60.3
06:00	60.3	50.01	24.10	-0.241	60.0	61
07:00	61.5	49.95	24.62	1.231	62.8	61.9
08:00	60.4	49.99	24.16	0.242	60.6	61
09:00	60.4	50.02	24.16	-0.483	59.9	61
10:00	60.7	50.03	24.27	-0.728	60.0	61
11:00	59.9	49.99	23.96	0.240	60.1	60.1
12:00	60.6	50.01	24.25	-0.243	60.4	61
13:00	59.7	49.98	23.86	0.477	60.1	60.1
14:00	60.9	50.01	24.37	-0.244	60.7	61
15:00	60.0	49.99	24.01	0.240	60.3	61
16:00	59.8	49.95	23.91	1.196	61.0	61.2
17:00	59.9	49.99	23.97	0.240	60.2	60.1
18:00	59.1	50.01	23.63	-0.236	58.8	60.2
18:30	58.3	50.06	23.31	-1.399	56.9	60
19:00	60.5	50.01	24.21	-0.242	60.3	61
19:30	60.5	50.01	24.21	-0.242	60.3	61
20:00	59.3	50.02	23.70	-0.474	58.8	60
20:30	59.9	49.95	23.97	1.199	61.1	60
21:00	59.7	49.97	23.89	0.717	60.4	60
21:30	59.2	49.99	23.66	0.237	59.4	60
22:00	60.3	50.12	24.11	-2.893	57.4	60.7
23:00	60.9	50.05	24.37	-1.219	59.7	61.3
24:00	62.0	50.02	24.80	-0.496	61.5	62.1



Gambar 4.8 Grafik hubungan *governor action* dan frekuensi aktual setiap waktu pada tanggal 26 Februari 2023

Berdasarkan Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa frekuensi terbesar ialah 50.12 Hz pada jam 22:00 WITA. Ketika frekuensi berada pada nilai 50.12 Hz maka respon *governor* akan mengurangi keluaran generator sebanyak -2.893 MW. Sedangkan frekuensi terendah yaitu 49.95 Hz pada saat pukul 16:00 WITA. Ketika frekuensi berada pada nilai tersebut maka respon *governor* akan menambahkan keluaran generator sebanyak 1.196 MW. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ketika frekuensi >50 Hz maka *governor* akan mengurangi keluaran generator dan begitu sebaliknya ketika frekuensi <50 Hz maka *governor* akan menambah keluaran generator.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Perubahan frekuensi pada sistem disebabkan oleh kebutuhan beban daya aktif) yang selalu berubah. *Governor* akan merespon perubahan frekuensi yang terjadi jika menyimpang dari nilai set pointnya (50 Hz). Jika terjadi kenaikan frekuensi pada sistem maka *governor* akan merespon dengan menutup bukaan *guide vane* untuk mengurangi daya mekanik pada turbin sehingga menyebabkan keluaran generator berkurang, dan sebaliknya jika terjadi penurunan frekuensi maka *governor* akan merespon dengan menambah bukaan *guide vane* untuk menambah daya mekanik pada turbin sehingga menyebabkan keluaran generator bertambah.
2. Nilai *speed droop* 5% yang ditetapkan pada PLTA Bakaru menyebabkan penurunan kecepatan akibat beban penuh menjadi 475 rpm atau turun 25 rpm dari putaran nominalnya. Sedangkan jika nilai *speed droop* diubah menjadi 3% maka penurunan akibat beban penuh menjadi 485 rpm atau turun 15 rpm dari putaran nominalnya. Maka *speed droop* mempengaruhi kerja *governor*, semakin kecil nilai *speed droop* maka semakin peka *governor* terhadap perubahan frekuensi (putaran).

5.2 Saran

1. PLTA Bakaru mengatur nilai *speed droop governor* sebesar 5% dengan rentang frekuensi yang dapat direspon *governor* adalah $\pm 2,5$ Hz. Nilai *speed droop governor* PLTA Bakaru mampu diatur lebih kecil hingga 3%

sesuai dengan PM ESDM No 20 Tahun 2020, namun hal ini mengakitbatkan kerja generator dan turbin akan semakin berat.

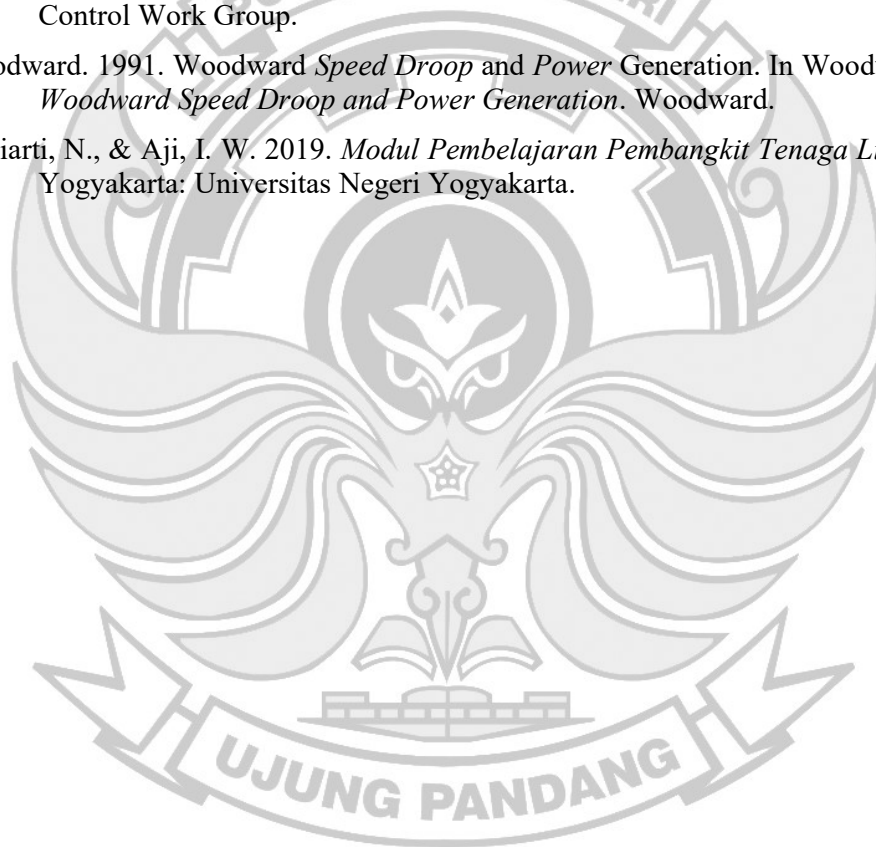
2. Perlu melakukan maintenance terjadwal terkait *governor* dan perlu adanya suku cadang alat/part *governor* agar ketika terjadi kerusakan dapat ditangani dengan cepat.



DAFTAR PUSTAKA

- Anthony, Z. 2018. *Mesin Listrik Dasar*. Padang: ITP Press.
- Aryanata, G. M., Suweden, N., & Mataram, I. M. 2018. Studi Analisis *Governor* sebagai *Load Frequency Control* pada PLTG menggunakan Fuzzy Logic Controller. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 107-115.
- Labulu, H., Lisi, F., & Tuegeh, M. 2015. Analisa Sistem Tenaga Listrik di Minahasa dalam Menghindari Padam Total. *E-Journal Teknik Elektro dan Komputer*.
- Masruhan, K., Pambudi, P. E., & Mujiman. 2019. Analisis Sistem *Governor* dalam Menjaga Kestabilan Frekuensi pada PT. Indonesia Power UP MRICA Sub Unit PLTA Wadaslintang. *Jurnal Elektrikal*, 48-55.
- Mobarak, Y. 2015. *Effects of the Droop Speed Governor and Automatic Generation Control AGC on Generator Load Sharing of Power System*. *International Journal of Applied Power Engineering (IJAPE)*, 84-95.
- Mulyadi, K., Koswara, E., & J, E. D. 2018. Sistem Kerja *Governor* di PLTA Parakankondang Sumedang.
- Pamundra, K. A. 2020. Analisis *Speed Droop Governor* Sebagai Pengaturan Frekuensi Pada Sistem Tenaga Listrik Pltu Muara Karang Unit 5. Jakarta.
- Patriandari. 2010. Analisis Pengoperasian *Speed Droop Governor* sebagai Pengatur Frekuensi pada Sistem Kelistrikan PLTU Gresik. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Peraturan Menteri Energi Sumber dan Daya Mineral No 20 Tahun 2020 tentang Aturan jaringan Sistem Tenaga Listrik (Grid Code)*
- Rofi, R., Mardiyanto, I. R., & Utami, S. 2021. Perancangan dan Simulasi Pengendalian Governing Isochronous pada PLTP Darajat. *Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar*, 478-484.
- Sadono, S., Effendy, N., & Sihana. 2013. Identifikasi Sistem *Governor Control Valve* Dalam Menjaga Kestabilan Putaran Turbin Uap PLTP Wayang Windu Unit 1. *TEKNOFISIKA*, 83-90.
- Saputra, R. 2021. *Regulasi Frekuensi Sistem*. diambil dari LinkedIn: <https://www.linkedin.com/pulse/regulasi-frekuensi-sistem-riko-saputra/>
- Saputro, D. A. 2016. Pengaruh Kecepatan Putar terhadap Tegangan dan Frekuensi Generator Induksi 1 Fase 6 Kutub. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Sari, D. P. 2018. Sistem Monitoring Kecepatan Putar Turbin dan Tegangan Keluaran Generator pada Pembangkit Listrik Tenaga Mini-Mikrohidro Skala Laboratorium. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

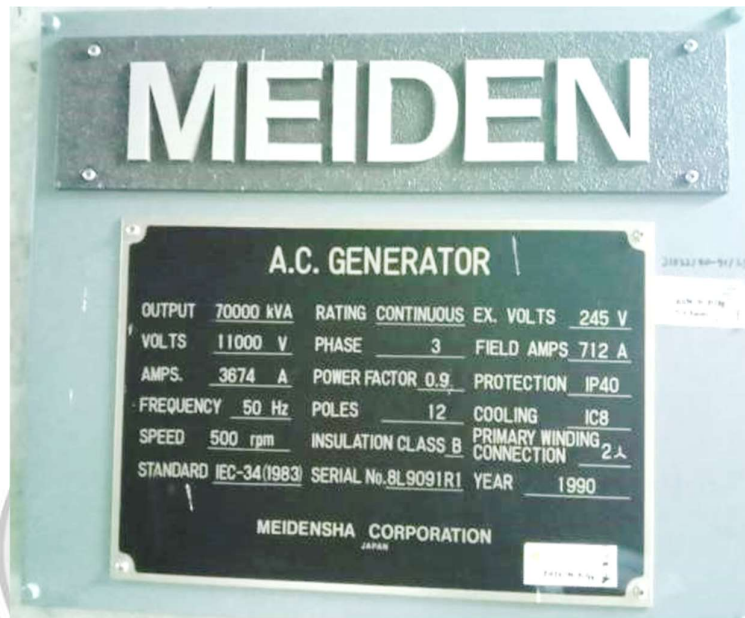
- Simanjanjorang, B., Siahaan, S., & Hutabarat, J. L. 2019. Studi Analisis Eksitasi dan *Governor* Untuk Mengatur Tegangan dan Frekuensi Keluaran Generator Pada PLTMH Aek Raisan I. *ELPOTECs Jurnal*.
- T. C. 1991. *Perusahaan Umum Listrik Negara Agency of Ministry of Mines and Energy Government of The Republic Indonesia Bakaru Power Plant Operation and Maintenance Manuals for Lot-V Turbines and Auxiliary Equipment* (Vol. I). Tokyo: Toshiba Corporation.
- Wahyuni, V. T., Manunggal, B. P., & Melkias, A. A. 2022. Analisis Setting *Speed Droop* Dan Deadband Governoor Unit 1 Plta Maninjau Sebagai Pengaturan Frekuensi Pada Sistem 150 Kv. *Jurnal Energi*, 25-29.
- WECC Control Work Group. 1998. *WECC Tutorial on Speed Governors*. WECC Control Work Group.
- Woodward. 1991. Woodward *Speed Droop and Power Generation*. In Woodward, *Woodward Speed Droop and Power Generation*. Woodward.
- Yuniarti, N., & Aji, I. W. 2019. *Modul Pembelajaran Pembangkit Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.





LAMPIRAN

Data spesifikasi generator



Type	: Poros tegak, generator sinkron
Tegangan	: 11 kV
Kuat arus	: 3.674 A
Daya keluaran	: 70000 kVA
Frekuensi	: 50 Hz
Faktor Kerja	: 0,9 Lagging
Putaran sinkron	: 500 rpm
kelas isolasi	: B
Tegangan Eksitasi	: 245 V
Arus eksitasi	: 712 A
Pabrik pembuat	: Meidensha tahun 1990

Data spesifikasi governor

SECTION : 4

GOVERNOR

4. GOVERNOR

4.1 Technical Data

4.1.1 Technical Data

(1) Manufacturer's name	<u>TOSHIBA CORPORATION</u>
(2) Type Electro-Hydraulic Governor	<u>FUC3 (Control Unit)</u> <u>CK2 (Actuator)</u>
(3) Range of speed droop	<u>0 - 10</u> %
(4) Sensitivity of governor	<u>0.02</u> %
(5) Dead time	<u>less than 0.25</u> sec.
(6) Normal oil pressure	<u>50</u> kg/cm ²
(7) Speed Signal generator Frequency	<u>1000</u> Hz
(8) Normal opening speed from fully closed position to full gate opening	<u>1</u> min.

4.1.2 Material List of Main Components

<u>Component</u>	<u>Material (Standard)</u>
Actuator bed	Rolled steel for general structure (JIS G3101 SS 41)
Control frame	- Ditto -
Main distributing valve body	Spheroidal graphite iron castings (JIS G5502 FCD 55)
Pilot valve body	- Ditto - (JIS G5502 FCD 25)
Converter housing	Bronze castings (JIS H5111 BC 3)
SSG stab shaft	Rolled steel for general structure (JIS G3101 SS 41)
SSG housing	- Ditto -

B4 - 1

4.1.3 Normal Operation Range and Setting data Table

No.	Item	Normal Operation Range	Actual Setting Data
1.	Power Supply (V) (DC 110V)	90 to 140	-
2.	Speed Adjustment Range (%)	85 to 115	-
3.	Dead Band (%)	0.04 or less	0.5
4.	Speed Droop (%)	0 to 10	5
5.	Frequency Setting Range (%)	90 to 108	-
6.	Proportional Gain (off line) (on line)	0 to 2 0 to 20	0.18 0.25
7.	Integral Time Constant (sec) (off line) (on line)	40 to 500 1 to 20	190 80
8.	Derivative Gain	0 to 1	0.07
9.	Derivative Time Constant (sec)	2 to 50	2
10.	Oil Pressure for Governor Converter (kg/cm ²)	48 to 52	-

Foto dokumentasi





