

TUGAS AKHIR

ANALISIS *SPEED DROOP* GOVERNOR SEBAGAI PENGATURAN FREKUENSI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP DI PABRIK KELAPA SAWIT ADOLINA

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

ALDI SYAHPUTRA
2107220043



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh :

Nama : Aldi Syahputra

NPM : 2107220043

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisis *Speed Droop* Governor Sebagai Pengaturan Frekuensi
Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Di Pabrik Kelapa Sawit
Adolina

Bidang Ilmu : Sistem Tenaga

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



Faisal Irsan Pasaribu, S.T, S.Pd., M.T

Dosen Penguji I



Ir. Abdul Aziz Hutahut, MM

Dosen Penguji II



Dr. Rohana, S.T., M.T

Program Studi Teknik Elektro

Ketua



Faisal Irsan Pasaribu, S.T, S.Pd., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Aldi Syahputra
Tempat/Tanggal Lahir : Medan, 24 Maret 2003
NPM : 2107220043
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir Saya yang berjudul :

“Analisis *Speed Droop* Governor Sebagai Pengaturan Frekuensi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Di Pabrik Kelapa Sawit Adolina”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material maupun non material, ataupun segala kemungkinan lain, yang hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan ontentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dan kenyataan ini. Saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya perbuat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan atau paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 30 Juli 2025
Saya yang menyatakan,



Aldi Syahputra

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar biomassa di Pabrik Kelapa Sawit Adolina memanfaatkan limbah produksi sebagai sumber energi, namun fluktuasi beban berisiko menyebabkan ketidakstabilan frekuensi yang mengganggu kinerja sistem. *Speed droop* governor berperan penting dalam menjaga stabilitas frekuensi dengan menyesuaikan suplai uap ke turbin berdasarkan perubahan beban. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik kerja speed droop governor dalam menjaga stabilitas frekuensi selama fluktuasi beban serta mengevaluasi pengaruh pengaturan nilai speed droop terhadap respons sistem terhadap perubahan frekuensi. Menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif, data operasional PLTU dianalisis melalui pengamatan langsung, pengolahan numerik, dan visualisasi grafik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan nilai speed droop 3%, governor merespons perubahan frekuensi sebesar 1,5 Hz dari nominal 50 Hz dengan menghasilkan perubahan daya maksimum sebesar 800 kW. Nilai speed droop 3% menghasilkan konstanta respons sistem (K) sebesar 533,33 kW/Hz, yang berarti setiap perubahan frekuensi sebesar 0,01 Hz akan memicu respon daya sebesar 5,3 kW. Sebaliknya, peningkatan nilai speed droop menjadi 5% menurunkan konstanta K menjadi 320 kW/Hz, dimana respons daya hanya mencapai 3,20 kW per 0,01 Hz perubahan frekuensi. Di PLTU PKS Adolina, speed droop diatur standar 3% karena nilai ini memberikan keseimbangan optimal antara responsivitas governor dan stabilitas operasional sistem pembangkit, sekaligus mencegah keausan berlebihan pada katup kontrol turbin akibat fluktuasi beban produksi kelapa sawit yang dinamis. Penelitian ini menunjukkan bahwa semakin kecil nilai speed droop, semakin cepat dan besar respons governor terhadap perubahan frekuensi, sehingga sistem pembangkit menjadi lebih sensitif dan efektif dalam menjaga kestabilan frekuensi.

Kata Kunci : *Speed Droop*, Governor, Frekuensi, PLTU

ABSTRACT

The biomass-fueled Steam Power Plant (PLTU) at the Adolina Palm Oil Mill utilizes production waste as an energy source. However, load fluctuations pose a risk of frequency instability, which can disrupt system performance. The speed droop governor plays a crucial role in maintaining frequency stability by adjusting the steam supply to the turbine based on load changes. This study aims to analyze the operational characteristics of the speed droop governor in maintaining frequency stability during load fluctuations and to evaluate the impact of speed droop settings on the system's response to frequency changes. Using a descriptive quantitative approach, operational data from the PLTU were analyzed through direct observation, numerical processing, and graphical visualization. The results show that with a speed droop value of 3%, the governor responds to a 1.5 Hz frequency deviation from the nominal 50 Hz by generating a maximum power change of 800 kW. A 3% speed droop yields a system response constant (K) of 533.33 kW/Hz, meaning each 0.01 Hz frequency change triggers a power response of 5.3 kW. Conversely, increasing the speed droop value to 5% reduces the response constant to 320 kW/Hz, with a power response of only 3.2 kW per 0.01 Hz frequency change. At the Adolina PLTU, the speed droop is set at the standard 3% because this value provides an optimal balance between governor responsiveness and operational system stability, while also preventing excessive wear on the turbine control valves due to the dynamic load fluctuations of palm oil production. This research demonstrates that the smaller the speed droop value, the quicker and greater the governor's response to frequency changes, making the power generation system more sensitive and effective in maintaining frequency stability.

Keywords: *Speed Droop, Governor, Frequency, Power Plant*

KATA PENGANTAR

Assalammu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala Puji dan Syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul "**ANALISIS *SPEED DROOP* GOVERNOR SEBAGAI PENGATURAN FREKUENSI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP DI PABRIK KELAPA SAWIT ADOLINA**" sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU).

Laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik, tentunya tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak. Untuk itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayah dan Ibu tercinta, Rahmatullah dan Fatimah, dua orang yang sangat berjasa dalam hidup penulis. Terima kasih atas doa, cinta, kepercayaan dan segala bentuk yang telah diberikan, sehingga penulis merasa terdukung di segala pilihan dan keputusan yang diambil oleh penulis, serta tanpa lelah mendengar keluh kesah penulis hingga di titik ini. Semoga Allah SWT memberikan keberkahan di dunia serta tempat terbaik di akhirat kelak, karena telah menjadi figur orangtua terbaik bagi penulis.
2. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T, S.Pd., M.T, selaku Dosen Pembimbing, yang dengan sabar memberikan bimbingan, arahan, dan masukan berharga dalam proses penyusunan penelitian ini.
3. Bapak Ir. Abdul Aziz Hutasuhut, MM, selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan ide-ide dan masukan dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
4. Ibu Dr. Rohana, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan ide-ide dan masukan dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
5. Bapak Dr. Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

6. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., S.Pd., M.T selaku Ketua Prodi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Ibu Dr. Elvy Sahnur, S.T., M.Pd, selaku Sekretaris Prodi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Bapak Affandi, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan III Bidang Kemahasiswaan Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Bapak & Ibu Dosen Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan ilmu ketekniklistrikan kepada penulis.
10. Bapak & Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
11. Kepada seseorang yang tak kalah penting kehadirannya, Lulu Atika Fatin. Terima kasih telah mendengarkan keluh kesah penulis, berkontribusi dalam penulisan skripsi ini, memberikan dukungan, semangat, tenaga. Terima kasih telah menjadi bagian dalam perjalanan penyusunan skripsi saya hingga skripsi ini selesai.
12. Kepada diri saya sendiri Aldi Syahputra. Terima kasih sudah bertahan sejauh ini. Terima kasih tetap memilih berusaha dan merayakan dirimu sendiri di titik ini, walau sering kali merasa putus asa atas apa yang diusahakan belum berhasil, namun terima kasih tetap menjadi manusia yang selalu mau berusaha dan tidak lelah mencoba. Terima kasih karena memutuskan tidak menyerah sesulit apapun proses penyusunan skripsi, ini merupakan pencapaian yang patut di apresiasi untuk diri kita sendiri. Berbahagialah selalu dimanapun berada, Aldi Syahputra. Adapun kurang dan lebihmu mari merayakan diri sendiri.
13. Teman seperjuangan (Rian, Abdur, Dai, Fitria) yang telah mendampingi perjalanan selama masa perkuliahan dari awal hingga akhir, dan memberikan dukungan serta motivasi dalam menghadapi tantangan selama masa perkuliahan. Terima kasih untuk momen berharga selama perkuliahan ini.
14. Kepada teman-teman Kelas Elektro B1 angkatan 2021, terima kasih atas suka dan duka yang telah kita lalui, semoga kita menjadi orang yang sukses.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan maupun dalam susunan kalimat yang mana penulis menerima kritikan dan saran demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini. Penulis mengharapkan semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca. Dan akhirnya kepada Allah SWT penulis serahkan segalanya tercapainya keberhasilan yang sepenuhnya. Para mahasiswa/i Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara khususnya untuk mahasiswa pada Program Studi Teknik Elektro. Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Medan, 30 Juli 2025
Penulis,

Aldi Syahputra

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.5 Tujuan Penelitian.....	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kajian Pustaka Relevan	6
2.2 Landasan Teori	7
2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)	7
2.2.2 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).....	7
2.2.3 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).....	8
2.2.3.1 Ketel Uap (Boiler)	8
2.2.3.2 Kondensor	9
2.2.3.3 Turbin Uap	10
2.2.3.3.1 Spesifikasi Turbin di PTPN IV Unit PKS Adolina	13
2.2.3.4 Generator	15
2.2.3.4.1 Spesifikasi Generator Pada PTPN IV Unit PKS Adolina	15
2.2.2 Governor	17
2.2.3 Speed Droop Governor	18
2.2.4 Respon Governor.....	18

2.2.5 Mode Pengoperasian <i>Governor</i>	20
2.2.6 Frekuensi Sistem Tenaga Listrik.....	21
2.2.7 Pengendalian Frekuensi Sistem.....	21
2.2.8 Hubungan Frekuensi Dengan Daya Aktif.....	22
2.2.10 Prinsip Kerja <i>Governor</i>	25
2.2.11 Hubungan Antara Ketidakstabilan Frekuensi Terhadap Peralatan Listrik	27
2.2.12 Perhitungan Daya Aktif Generator.....	28
2.2.13 Pengaturan <i>Speed Droop Governor</i>	29
2.2.14 Respon <i>Governor</i> Terhadap Perubahan Beban	29
2.2.15 Karakteristik Kerja <i>Speed Droop</i> Pada <i>Governor</i> PLTU	30
2.2.15 Pengaruh Perubahan Frekuensi Terhadap Pengaturan <i>Speed Droop</i>	31
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	32
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	32
3.1.1 Tempat.....	32
3.1.2 Waktu	32
3.1.3 Jadwal Penelitian.....	32
3.2 Alat Penelitian	33
3.3 Tahap Penelitian	33
3.4 Metode Analisis.....	35
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	37
3.5.1 Penjelasan Dari Diagram Alir Penelitian	38
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
4.1 Hasil Penelitian.....	40
4.1.1 Tabel Data Harian Generator Unit 2	40
4.1.2 Grafik Hubungan Beban Setiap Waktu (<i>Load-Duration Curve</i>) ..	46
4.2 Pembahasan Hasil Penelitian.....	47
4.2.1 Karakteristik kerja <i>speed droop governor</i> dalam menjaga kestabilan frekuensi pada sistem tenaga listrik	47
4.2.2 Pengaruh pengaturan nilai <i>speed droop governor</i> terhadap kemampuan sistem dalam merespon perubahan frekuensi.....	60
BAB 5 PENUTUP.....	77
5.1 Kesimpulan.....	77

5.2 Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN.....	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema Prinsip Kerja PLTU.....	8
Gambar 2. 2 Komponen Boiler	9
Gambar 2. 3 Kondensor	10
Gambar 2. 4 Komponen Turbin Uap	13
Gambar 2. 5 Spesifikasi Turbin Uap di PKS Adolina	15
Gambar 2. 6 Spesifikasi Generator PKS Adolina	17
Gambar 2. 7 Governor Pada PLTU PKS Adolina.....	18
Gambar 2. 8 Blok Diagram Sistem Pembangkit Listrik	19
Gambar 2. 9 Blok Diagram Governor.....	19
Gambar 2. 10 Perbandingan Sistem Droop dan Isochronous.....	20
Gambar 2. 11 Grafik Pengaturan Frekuensi.....	22
Gambar 2. 12 a) Hubungan frekuensi dan daya aktif (50 Hz), (b) Hubungan frekuensi dan daya aktif (>50 Hz), (c) Hubungan frekuensi dan daya aktif (<50 Hz)	23
Gambar 2. 13 Skema Governor.....	25
Gambar 2. 14 Respon Governor.....	26
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian.....	37
Gambar 4. 1 Grafik Hubungan Beban Setiap Waktu (Load-Duration Curve).....	46
Gambar 4. 2 Pengaruh Pengaturan Speed Droop terhadap Faktor Partisipasi (K) dan Respon Governor (ΔP).....	63
Gambar 4. 3 Grafik hubungan governor action dan frekuensi aktual setiap waktu pada tanggal 17 Februari 2025	68
Gambar 4. 4 Grafik hubungan governor action dan frekuensi aktual setiap waktu pada tanggal 18 Februari 2025	70
Gambar 4. 5 Grafik hubungan governor action dan frekuensi aktual setiap waktu pada tanggal 19 Februari 2025	72
Gambar 4. 6 Grafik hubungan governor action dan frekuensi aktual setiap waktu	74
Gambar 4. 7 Grafik hubungan governor action dan frekuensi aktual setiap waktu pada tanggal 21 Februari 2025.....	76

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian.....	32
Tabel 4. 1 Data generator unit 2 PLTU PKS Adolina tanggal 17 Februari 2025...	41
Tabel 4. 2 Data generator unit 2 PLTU PKS Adolina tanggal 18 Februari 2025 .	42
Tabel 4. 3 Data generator unit 2 PLTU PKS Adolina tanggal 19 Februari 2025 .	43
Tabel 4. 4 Data generator unit 2 PLTU PKS Adolina tanggal 20 Februari 2025 .	44
Tabel 4. 5 Data generator unit 2 PLTU PKS Adolina tanggal 21 Februari 2025 .	45
Tabel 4. 6 Karakteristik Speed Droop.....	49
Tabel 4. 7 Hasil perhitungan speed droop aktual dan perbandingan antara frekuensi teoritis dan frekuensi aktual tanggal 17 Februari 2025	51
Tabel 4. 8 Hasil perhitungan speed droop aktual dan perbandingan antara frekuensi teoritis dan frekuensi aktual tanggal 18 Februari 2025	53
Tabel 4. 9 Hasil perhitungan speed droop aktual dan perbandingan antara frekuensi teoritis dan frekuensi aktual tanggal 19 Februari 2025	55
Tabel 4. 10 Hasil perhitungan speed droop aktual dan perbandingan antara frekuensi teoritis dan frekuensi aktual tanggal 20 Februari 2025	57
Tabel 4. 11 Hasil perhitungan speed droop aktual dan perbandingan antara frekuensi teoritis dan frekuensi aktual tanggal 21 Februari 2025	59
Tabel 4. 12 Pengaruh Pengaturan Speed Droop terhadap Faktor Partisipasi (K) dan Respon Governor (ΔP).....	62
Tabel 4. 13 Hasil perhitungan daya aktif generator berdasarkan respon governor terhadap perubahan frekuensi tanggal 17 Februari 2025	67
Tabel 4. 14 Hasil perhitungan daya aktif generator berdasarkan respon governor terhadap perubahan frekuensi tanggal 18 Februari 2025	69
Tabel 4. 15 Hasil perhitungan daya aktif generator berdasarkan respon governor terhadap perubahan frekuensi tanggal 19 Februari 2025	71
Tabel 4. 16 Hasil perhitungan daya aktif generator berdasarkan respon governor terhadap perubahan frekuensi tanggal 20 Februari 2025	73
Tabel 4. 17 Hasil perhitungan daya aktif generator berdasarkan respon governor terhadap perubahan frekuensi tanggal 21 Februari 2025	75

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan energi uap untuk menghasilkan listrik. PLTU yang menggunakan bahan bakar biomassa, seperti yang digunakan di Pabrik Kelapa Sawit Adolina, menjadi pilihan ideal untuk mendukung keberlanjutan energi karena memanfaatkan limbah produksi seperti cangkang dan fiber. Stabilitas frekuensi listrik pada sistem pembangkitan sangat penting, terutama di PLTU skala kecil, di mana fluktuasi beban dapat memengaruhi performa sistem secara keseluruhan.

Frekuensi merupakan salah satu parameter utama yang harus dijaga stabilitasnya untuk menjamin kualitas dan keandalan pasokan listrik dalam sistem tenaga. Salah satu komponen penting dalam menjaga stabilitas frekuensi adalah governor, yang berfungsi mengatur kecepatan turbin dan, secara langsung, memengaruhi frekuensi keluaran generator. Governor berperan penting dalam menjaga kestabilan operasi generator dengan menyesuaikan suplai uap ke turbin sesuai dengan perubahan beban (Saleem, 2023).

Speed droop governor beroperasi berdasarkan prinsip bahwa peningkatan beban akan menyebabkan penurunan kecepatan turbin. Dalam kondisi ini, governor akan secara otomatis menyesuaikan suplai uap untuk mengembalikan kecepatan turbin ke nilai nominal. *Speed Droop* adalah persentase perubahan kecepatan atau frekuensi terhadap perubahan beban, yang menentukan seberapa cepat governor dapat merespons perubahan frekuensi (Pamundra, 2020).

Speed droop governor memainkan peran yang sangat penting dalam menjaga kestabilan frekuensi pada sistem pembangkitan listrik, terutama di PLTU yang menggunakan bahan bakar biomassa. Governor ini berfungsi untuk menyesuaikan suplai uap ke turbin berdasarkan perubahan frekuensi yang terjadi akibat perubahan beban, sehingga dapat mengatur kecepatan turbin dan mempengaruhi frekuensi keluaran generator. Peran Governor dalam mengatur suplai uap sangat krusial untuk memastikan bahwa torsi penggerak generator seimbang dengan torsi beban, sehingga frekuensi tetap stabil (Nugraheni, 2021).

Pengaturan yang tepat dari *speed droop* governor tidak hanya menjaga kestabilan frekuensi tetapi juga meningkatkan efisiensi operasional sistem pembangkit (Das, 2010). Dengan demikian, pemahaman yang mendalam tentang karakteristik dan pengaturan *speed droop* governor menjadi sangat penting untuk memastikan bahwa sistem pembangkit listrik dapat beroperasi dengan andal dalam menghadapi fluktuasi beban yang mungkin terjadi.

Permasalahan utama dalam penelitian ini adalah memastikan *speed droop* governor mampu menjaga kestabilan frekuensi secara efektif dalam menghadapi fluktuasi beban yang tidak terduga. Perubahan beban yang signifikan dapat menyebabkan perubahan frekuensi yang, jika tidak ditangani, dapat mengganggu operasi pembangkit listrik. (Wahyuni et al., 2022) menyebutkan bahwa semakin kecil pengaturan nilai *speed droop*, semakin sensitif governor terhadap perubahan frekuensi.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan data yang dikumpulkan melalui observasi langsung dan analisis sistem di PLTU Pabrik Kelapa Sawit Adolina. Pendekatan ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik kerja *speed droop* governor dalam menjaga kestabilan frekuensi sistem tenaga listrik, terutama saat terjadi perubahan beban. Selain itu, penelitian ini juga berfokus pada pengaruh pengaturan nilai *speed droop* governor terhadap kemampuan sistem dalam merespons perubahan frekuensi. Dengan hasil analisis ini, diharapkan pengaturan optimal *speed droop* governor dapat ditentukan untuk menjaga stabilitas frekuensi dan meningkatkan efisiensi operasional sistem pembangkit listrik.

1.2 Identifikasi Masalah

Pada sistem pembangkit listrik, sering terjadi penurunan frekuensi ketika beban listrik meningkat, padahal kestabilan frekuensi harus tetap terjaga pada nilai nominal. Oleh karena itu, PLTU PKS Adolina diharapkan mampu memberikan respons yang optimal dalam menjaga kestabilan frekuensi, terutama saat terjadi lonjakan beban listrik secara tiba-tiba.

1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah penelitian ini, sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik kerja speed droop governor dalam menjaga kestabilan frekuensi pada sistem tenaga listrik di PLTU Pabrik Kelapa Sawit Adolina?
2. Bagaimana pengaruh pengaturan nilai speed droop governor terhadap kemampuan sistem tenaga listrik dalam merespon perubahan frekuensi akibat fluktuasi beban?

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Agar penelitian ini ter-arrah tanpa mengurangi maksud dan tujuan, maka ditetapkan ruang lingkup dalam penelitian sebagai berikut :

1. Mengkaji bagaimana *speed droop governor* bekerja dalam menjaga kestabilan frekuensi pada sistem tenaga listrik di PLTU PKS Adolina.
2. Mengkaji pengaruh pengaturan *speed droop governor* terhadap kemampuan sistem dalam merespon perubahan frekuensi.

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis karakteristik kerja speed droop governor dalam menjaga kestabilan frekuensi sistem tenaga listrik di PLTU Pabrik Kelapa Sawit Adolina, khususnya saat menghadapi perubahan beban.
2. Menganalisis pengaruh pengaturan nilai speed droop governor terhadap kemampuan sistem dalam merespons perubahan frekuensi.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini mencakup beberapa aspek, yaitu sebagai berikut :

A. Manfaat Bagi Mahasiswa

Penelitian ini memberikan pemahaman mendalam kepada mahasiswa mengenai prinsip kerja speed droop governor dalam sistem pembangkit tenaga listrik, khususnya dalam menjaga kestabilan frekuensi pada PLTU berbahan bakar biomassa. Selain itu, penelitian ini juga melatih kemampuan mahasiswa dalam melakukan pengolahan data teknis, analisis sistem

kontrol, serta penyusunan laporan ilmiah berbasis studi kasus di industri nyata. Dengan demikian, mahasiswa memperoleh pengalaman langsung yang relevan dengan bidang keteknikan, khususnya teknik elektro.

B. Manfaat Bagi Universitas

Hasil penelitian ini dapat menjadi bahan referensi atau rujukan ilmiah untuk pengembangan kurikulum, penelitian lanjutan, maupun tugas akhir lainnya yang berkaitan dengan sistem kontrol pada pembangkit listrik. Selain itu, kegiatan ini memperkuat hubungan kerja sama antara Universitas dengan dunia industri, khususnya PTPN IV PKS Adolina, yang dapat membuka peluang magang, penelitian kolaboratif, dan implementasi teknologi tepat guna di masa depan.

C. Manfaat Bagi Perusahaan

Bagi PLTU PKS Adolina, penelitian ini dapat memberikan informasi teknis mengenai kinerja speed droop governor serta pengaruh pengaturan nilainya terhadap stabilitas sistem tenaga listrik. Rekomendasi dari hasil analisis dapat dijadikan pertimbangan dalam mengoptimalkan pengaturan governor agar lebih efisien dalam merespons fluktuasi beban. Dengan demikian, perusahaan dapat meningkatkan keandalan operasional pembangkit serta mengurangi risiko gangguan akibat ketidakstabilan frekuensi.

1.7 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah pemahaman, sistematika penulisan ini disusun dalam beberapa bab yaitu sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam bab ini berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini berisikan tentang teori berupa pengertian dan landasan teori dari penelitian sebelumnya yang memaparkan teori-teori yang berhubungan dengan masalah yang diteliti.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini berisikan tentang langkah-langkah kerja yang akan dilakukan, tahapan penelitian, tentang bagaimana penelitian dilaksanakan, teknik pengumpulan data, metode pengumpulan data dan metode analisis.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini berisikan tentang pemaparan hasil dari data-data penelitian yang telah diperoleh dari hasil observasi lapangan yang kemudian digunakan untuk melakukan pengolahan data.

BAB 5 PENUTUP

Dalam bab ini merupakan penutup yang berisikan tentang kesimpulan dan saran atas hasil penelitian yang sudah dilakukan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka Relevan

Beberapa hasil penelitian sebelumnya digunakan sebagai dasar dalam tinjauan pustaka penelitian ini, sehingga dapat ditemukan keterkaitan antara penelitian tersebut dengan penelitian yang sedang dilakukan. Hasil-hasil penelitian sebelumnya ini dijadikan sebagai referensi dan acuan utama untuk mendukung serta memperkuat landasan teori dalam penelitian ini.

Penelitian (Maharmi et al., 2024) yang berjudul “*Optimization Of Speed Droop Governor Operation At The Gas Turbine Cogeneration Unit*”, Menyatakan bahwa Fluktuasi beban pada daya aktif dapat memengaruhi frekuensi sistem, yang berpotensi menimbulkan ketidakstabilan pada sistem tenaga listrik. Perubahan daya aktif pada beban akan berdampak langsung pada perubahan frekuensi. Dengan pengaturan speed droop sebesar 4%, kestabilan sistem dapat dijaga. Namun, jika perubahan frekuensi melebihi $\pm 2,4$ Hz dari nilai nominal 60 Hz, governor tidak mampu mengembalikan frekuensi ke nilai nominal, yang dapat menyebabkan kegagalan sistem.

Skripsi (Pamundra, 2020), Fakultas Ketenaga Listrikan Dan Energi Terbarukan dengan Judul “*Analisis Speed Droop Governor Sebagai Pengaturan Frekuensi Pada Sistem Tenaga Listrik PLTU Muara Karang Unit 5*”. Menyatakan bahwa nilai speed droop memengaruhi respons governor dalam mengendalikan perubahan frekuensi. Semakin kecil nilai speed droop, semakin sensitif governor terhadap perubahan frekuensi. Sebaliknya, jika nilai speed droop semakin besar, sensitivitas governor terhadap perubahan frekuensi akan berkurang.

Penelitian (Wahyuni et al., 2022) yang berjudul “*Analisis Setting Speed Droop Dan Deadband Governor Unit 1 PLTA Maninjau Sebagai Pengaturan Frekuensi Pada Sistem 150 kV.*” Menyatakan bahwa pada setting speed droop sebesar 8%, governor mampu merespons perubahan frekuensi hingga 4 Hz. Namun, jika perubahan frekuensi berada di luar rentang kerja deadband, governor tidak akan merespons perubahan tersebut. Penelitian ini juga mengungkapkan bahwa semakin kecil nilai setting speed droop, semakin sensitif governor terhadap perubahan

frekuensi. Meskipun demikian, pengaturan speed droop yang terlalu kecil dapat memperpendek umur peralatan. Hal ini terjadi karena bahkan penurunan frekuensi yang kecil saja akan menyebabkan guide vane segera bereaksi dengan menambah atau mengurangi bukaan untuk menyesuaikan daya turbin dan generator secara signifikan.

Penelitian (Mobarak, 2015) yang berjudul *“Effects of the Droop Speed Governor and Automatic Generation Control AGC on Generator Load Sharing of Power System”* Menyatakan bahwa distribusi beban tambahan oleh generator dipengaruhi oleh nilai speed droop pada governor. Governor berfungsi untuk mencegah terjadinya perubahan kecepatan yang drastis secara mendadak akibat perubahan beban.

2.2 Landasan Teori

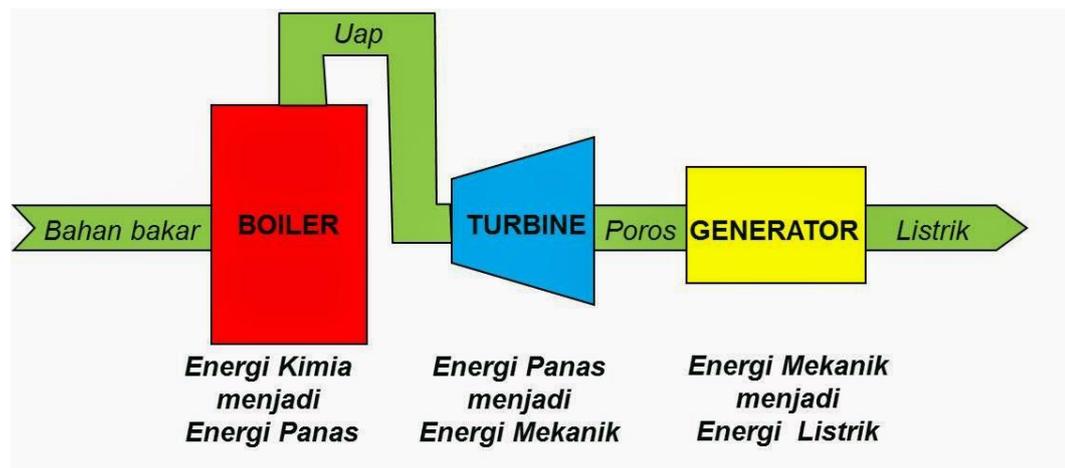
2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan energi panas untuk menghasilkan uap, yang kemudian digunakan untuk memutar turbin dan menggerakkan generator. Generator tersebut mengubah energi kinetik menjadi energi listrik. Secara umum, PLTU menggunakan bahan bakar utama seperti batu bara, gas, minyak bumi, dan bahan bakar lainnya (Simanjuntak, 2015). Bahan bakar ini diubah menjadi energi panas melalui proses pembakaran, yaitu reaksi antara bahan bakar, udara, dan panas. Energi panas yang dihasilkan digunakan untuk memanaskan air di dalam pipa boiler sehingga menghasilkan uap bertekanan. Uap bertekanan ini dialirkan ke turbin uap untuk memutar turbin. Karena poros turbin terhubung dengan generator, putaran turbin akan membuat generator berputar. Generator kemudian mengubah energi kinetik dari turbin menjadi energi listrik, yang selanjutnya disalurkan melalui jalur transmisi menuju beban atau pelanggan listrik.

2.2.2 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

PLTU ini bekerja berdasarkan pada prinsip atau siklus rankine. Konversi energi tingkat pertama yang berlangsung dalam PLTU adalah konversi energi primer menjadi energi panas (kalor dipindahkan ke dalam air yang ada di dalam

pipa katel untuk menghasilkan uap yang dikumpulkan dalam drum dari katel. Uap dari drum katel dialiri ke turbin uap. Dalam turbin uap energi (enthalpy) uap dikonversikan menjadi energi mekanis penggerak generator akhirnya energi). Hal ini dilakukan dalam ruang bakar dari katel uap PLTU. Energi panas ini kemudian pada turbin uap ini dapat dikonversikan menjadi energi listrik oleh generator.

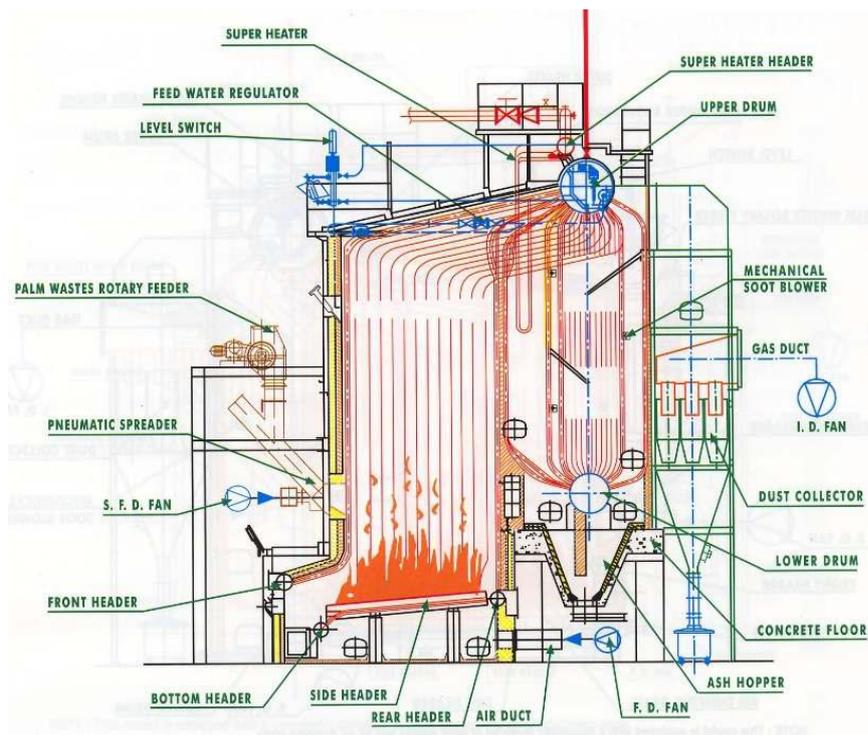


Gambar 2. 1 Skema Prinsip Kerja PLTU

2.2.3 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

2.2.3.1 Ketel Uap (Boiler)

Dalam pabrik kelapa sawit, Ketel Uap (Boiler) berperan sebagai komponen utama yang menjadi sumber tenaga dan uap untuk mengolah kelapa sawit. Ketel uap merupakan perangkat konversi energi yang berfungsi mengubah air menjadi uap melalui proses pemanasan, dengan panas yang dibutuhkan diperoleh dari pembakaran bahan bakar di ruang bakar ketel uap. Uap yang dihasilkan (berupa energi kalor) digunakan untuk mengoperasikan berbagai peralatan di pabrik kelapa sawit, terutama turbin uap. Turbin ini berfungsi sebagai penggerak generator dengan memanfaatkan uap dari ketel uap sebagai sumber energi. Selain turbin, uap juga diperlukan untuk operasi lain di pabrik, seperti proses sterilisasi (memasak tandan buah segar) dan stasiun pemurnian minyak (klarifikasi). Oleh karena itu, kualitas uap yang dihasilkan harus memenuhi kebutuhan operasional di pabrik kelapa sawit. Jika kualitas uap tidak sesuai, hal ini dapat mengganggu kelancaran proses pengolahan di pabrik.

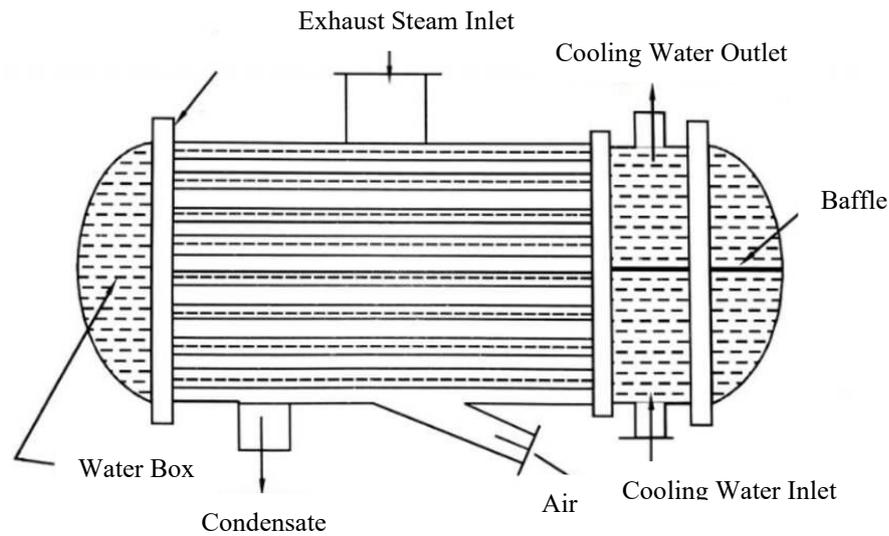


Gambar 2. 2 Komponen Boiler

2.2.3.2 Kondensor

Kondensor dalam Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah alat penukar panas yang berfungsi mengubah uap menjadi cair melalui proses kondensasi. Uap bertekanan rendah yang keluar dari turbin masuk ke kondensor dan bersentuhan dengan media pendingin, biasanya berupa air yang mengalir melalui pipa-pipa di dalam kondensor. Proses ini memindahkan panas dari uap ke air pendingin, sehingga uap tersebut berubah menjadi air kondensat.

Kondensor memiliki peran penting dalam siklus Rankine, karena air kondensat yang dihasilkan akan dipompa kembali ke boiler untuk dipanaskan dan digunakan kembali. Hal ini menciptakan siklus yang berkelanjutan dan efisien. Ada beberapa jenis kondensor, seperti *surface condenser* dan *direct contact condenser*, yang masing-masing memiliki cara kerja dan aplikasi berbeda untuk mendukung efisiensi operasional PLTU.



Gambar 2. 3 Kondensor

2.2.3.3 Turbin Uap

Turbin uap adalah perangkat penggerak utama yang berfungsi mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik, kemudian dikonversi menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran pada poros turbin. Poros turbin ini, baik secara langsung maupun melalui roda gigi reduksi, terhubung dengan mekanisme yang digerakkan. Bergantung pada jenis mekanisme yang digunakan, turbin uap dapat dimanfaatkan di berbagai bidang, seperti industri, pembangkit listrik, dan transportasi.

Turbin adalah perangkat yang berfungsi mengubah energi kinetik dari air atau uap menjadi tenaga listrik. Setiap turbin memiliki kapasitas tertentu yang dirancang untuk menggerakkan generator listrik. Oleh karena itu, pemilihan turbin harus disesuaikan dengan kebutuhan beban listrik yang akan dilayani. Apabila beban listrik melebihi kapasitas turbin, performa turbin dapat menurun dan berisiko menyebabkan kerusakan pada peralatan yang terhubung (Ramadhoni et al., 2024).

Turbin terdiri dari dua komponen utama, yaitu stator dan rotor, yang berfungsi sebagai bagian inti dari turbin. Selain itu, terdapat komponen pendukung seperti bantalan, kopling, dan sistem tambahan lainnya untuk meningkatkan kinerja turbin. Pada prinsipnya, turbin uap memanfaatkan energi kinetik uap yang meningkat akibat penambahan energi termal.

Fungsi utama turbin adalah mengubah energi panas yang terkandung dalam uap menjadi energi mekanik berupa putaran. Uap bertekanan tinggi dan bertemperatur tinggi mengalir melalui nozzle, yang meningkatkan kecepatan alirannya untuk mendorong sudu-sudu turbin. Hal ini menyebabkan poros turbin berputar, menghasilkan energi mekanik yang digunakan untuk menggerakkan generator listrik.

Sebagai salah satu komponen utama dalam pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), turbin uap beroperasi bersama dengan komponen lain seperti ketel uap, kondensor, dan pompa air ketel. Uap yang bertindak sebagai fluida kerja dihasilkan oleh ketel uap, yaitu perangkat yang mengubah air menjadi uap untuk kemudian digunakan dalam proses pembangkitan energi listrik.

Secara umum, turbin uap terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

1. Turbin Casing

Komponen ini berfungsi untuk melindungi dan menutupi bagian turbin.

2. *Shaft Seals*

Terletak di antara poros dan casing turbin, komponen ini berfungsi mencegah uap keluar dari turbin melalui celah antara poros dan casing akibat perbedaan tekanan, serta mencegah udara masuk selama operasi. Sistem yang digunakan adalah *labyrinth seal*, yang terdiri dari pola berkelok-kelok antara poros dan casing dengan sedikit celah. Sistem ini bertujuan untuk mengurangi tekanan uap secara bertahap sehingga tekanan uap dan udara luar mencapai kesetimbangan.

3. *Shaft* (Poros)

Komponen utama yang berputar pada turbin, terdiri dari poros dan deretan sudu turbin, yaitu *stationary blade* dan *moving blade*. Untuk turbin bertekanan tinggi atau ukuran besar, diperlukan balancing untuk mengimbangi gaya aksial akibat reaksi sudu.

4. *Gland Packing*

Bagian yang bertugas sebagai penyekat untuk menahan kebocoran uap atau oli.

5. *Front Bearing*

Bearing atau bantalan ini memiliki fungsi untuk:

- a. Menahan posisi rotor agar tetap stabil.
- b. Menahan beban rotor.
- c. Mengatasi gaya tidak stabil dari uap terhadap sudu turbin.
- d. Menyeimbangkan kerusakan sudu.
- e. Menahan gaya aksial akibat beban listrik yang berubah-ubah.

6. *Turbine Control Valve*

Katup ini mengatur jumlah uap yang masuk ke turbin berdasarkan beban listrik yang diperlukan, sesuai dengan sistem kontrol.

7. *Turning Device*

Mekanisme ini digunakan untuk memutar rotor saat turbin baru dihidupkan atau setelah dimatikan. Tujuannya adalah untuk mencegah distorsi atau bending akibat proses pemanasan atau pendinginan yang tidak merata.

8. *Turbine Stop Valve*

Katup ini bertugas menghentikan atau meneruskan aliran uap ke turbin. Dikenal juga sebagai Emergency Stop Valve, komponen ini digunakan untuk memutus pasokan uap pada kondisi darurat guna mencegah kerusakan atau overspeed.

9. *Balance Piston*

Pada turbin uap, gaya reaksi dari sudu yang berputar menghasilkan gaya aksial. Balance piston berfungsi untuk mengimbangi gaya tersebut di sisi belakang silinder pertama turbin.

10. *Moving Blade*

Sudu-sudu ini menerima dan mengubah arah energi uap menjadi energi kinetik yang memutar generator.

11. *Governor*

Komponen ini mengatur putaran turbin dengan mengontrol jumlah uap yang masuk.

12. *Stasionary Blade*

Sudu-sudu ini bertugas mengarahkan aliran uap ke bagian turbin berikutnya.

13. *Steam Chest (Katup Utama)*

Merupakan titik pertemuan antara pipa uap utama dan saluran uap masuk

ke turbin. Steam chest digunakan untuk menempatkan katup pengatur governor guna mengontrol aliran uap.

14. *Main Oil Pump*

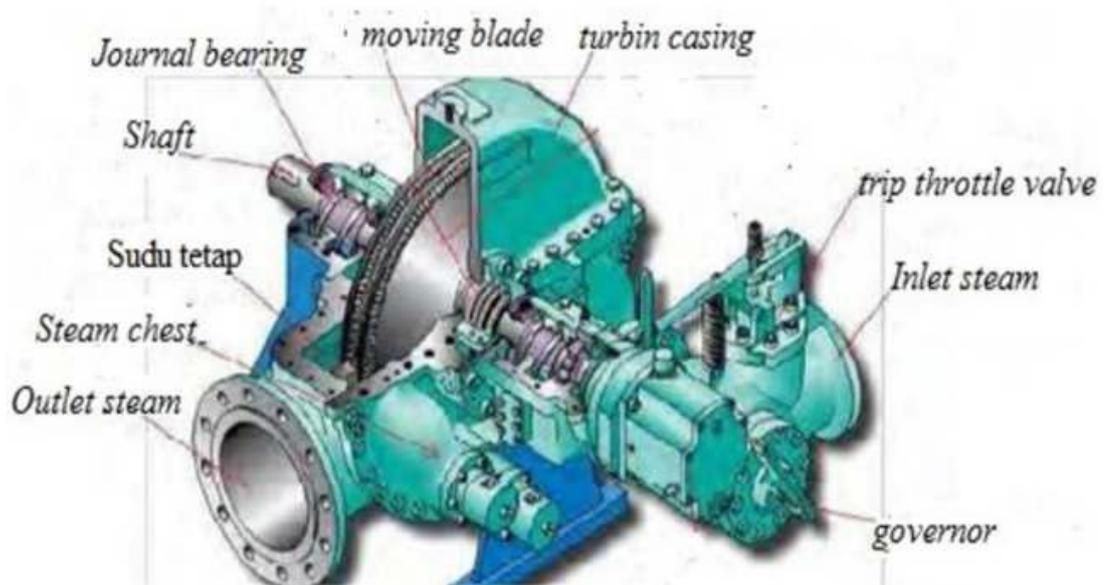
Komponen ini memompa oli dari tangki untuk disalurkan ke bagian turbin yang berputar.

15. *Labyrinth Ring*

Berfungsi seperti gland packing, komponen ini menyekat kebocoran uap atau oli pada turbin.

16. *Reducing Gear*

Biasanya digunakan pada turbin berkapasitas besar untuk menurunkan putaran poros rotor dari 5500 rpm menjadi 1500 rpm.



Gambar 2. 4 Komponen Turbin Uap

2.2.3.3.1 Spesifikasi Turbin di PTPN IV Unit PKS Adolina

Turbin Dresser Rand adalah turbin uap yang diproduksi oleh perusahaan teknik dan manufaktur Amerika yang dimiliki oleh Siemens Energy. Turbin ini digunakan dalam berbagai aplikasi seperti pembangkit listrik, industri kimia, dan industri kertas.

Turbin Dresser Rand tersedia dalam berbagai pilihan ukuran dan kapasitas, mulai dari 500 kW hingga 50.000 kW. Turbin ini didesain untuk memberikan efisiensi tinggi, daya tahan yang kuat, serta kemudahan dalam perawatan dan pengoperasian. Dengan teknologi mutakhir, Turbin Dresser Rand mampu menghasilkan energi listrik yang lebih hemat biaya dan ramah lingkungan.

Turbin Dresser Rand dilengkapi dengan sistem kontrol canggih untuk mengoptimalkan kinerja dan operasinya. Selain itu, turbin ini memiliki sistem pelumasan dan pendinginan yang efisien, sehingga umur pakai dapat diperpanjang dan performa tetap terjaga. Turbin ini juga dilengkapi dengan fitur keamanan tinggi untuk mencegah potensi kerusakan dan risiko kecelakaan selama pengoperasian.

Turbin Dresser Rand dirancang untuk dapat beroperasi dengan berbagai jenis bahan bakar, seperti batubara, gas alam, dan minyak. Hal ini menjadikan turbin ini sangat fleksibel, sehingga cocok digunakan dalam berbagai kondisi dan lingkungan yang beragam.

Adapun Spesifikasi Turbin di PTPN IV Unit PKS Adolina sesuai Gambar 2.5, yaitu :

a. Model	: 503WB
b. Output	: 846 kW
c. Total Weight	: 1100 kg
d. Speed	: 5400 rpm
e. Min. Speed	: 4590 rpm
f. Max. Speed	: 5670 rpm
g. Over Speed	: 5940 rpm
h. Crit. Speed	: 9813 rpm
i. Inlet Pres	: 19 bar g
j. Inlet Temp	: 260° C
k. Exh. Pres	: 3.5 bar g
l. Inl. Max Temp	: 260° C
m. Exh. Max Pres	: 3.5 bar g
n. Rotor Weight	: 114 kg

DRESSER-RAND		VITESSE SPEED	5400 RPM
STEAM TURBINE 31, Bd WINSTON CHURCHILL 76080 LE HAVRE cedex FRANCE		VITESSE MINI MIN. SPEED	4590 RPM
NOTRE REF OUR REF		VITESSE MAXI MAX. SPEED	5670 RPM
104949		SURVITESSE OVER SPEED	5940 RPM
CDE CLIENT CUST. ORD		VITESSE CRITIQUE CRIT. SPEED	1ST 9813 RPM 2ND N/A
REPERE ITEM		PRES. ADM. INLET PRES	19 bar g
TURBINE N° TURBINE N°		TEMP. ADM. INLET TEMP	260°C
TYPE		PRES. ECH. EXH. PRES	3,5 bar g
PUISSANCE POWER		PRES. ADM. MAXI INL. MAX PRES	19 bar g
POIDS TOTAL TOTAL WEIGHT		TEMP. MAXI INL. MAX TEMP	260 °C
1100 Kg		PRES. ECH. MAXI EXH. MAX PRES	3,5 bar g
		POIDS ROTOR ROTOR WEIGHT	114 Kg

Gambar 2. 5 Spesifikasi Turbin Uap di PKS Adolina

2.2.3.4 Generator

Generator dalam Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan komponen penting yang berfungsi mengubah energi mekanik dari turbin menjadi energi listrik. Dalam sistem ini, uap panas hasil pembakaran bahan bakar seperti batu bara atau minyak digunakan untuk memutar turbin. Turbin tersebut terhubung langsung dengan rotor generator, sehingga saat turbin bergerak, rotor juga ikut berputar.

Proses ini didasarkan pada prinsip induksi elektromagnetik. Ketika rotor bergerak dalam medan magnet, arus listrik dihasilkan di kumparan stator generator. Arus listrik ini kemudian dialirkan untuk memenuhi kebutuhan energi. Generator dalam PLTU umumnya berkapasitas besar dan dirancang untuk beroperasi secara stabil serta efisien, sehingga dapat memasok listrik dalam jumlah besar secara kontinu.

2.2.3.4.1 Spesifikasi Generator Pada PTPN IV Unit PKS Adolina

Stamford adalah merek generator turbin listrik yang diproduksi oleh Cummins Generator Technologies, sebuah perusahaan dengan kantor pusat di Inggris. Meskipun berbasis di Inggris, perusahaan ini memiliki pabrik produksi yang tersebar di berbagai negara, termasuk Amerika Serikat, India, Tiongkok, dan Meksiko.

Sebagai salah satu merek terkemuka di industri generator listrik, Stamford menawarkan produk-produk berkualitas tinggi yang banyak digunakan untuk berbagai kebutuhan, seperti pembangkit listrik, sektor industri, komersial, hingga

kelautan. Merek ini dikenal karena keandalannya serta efisiensinya dalam menghasilkan energi listrik.

Adapun spesifikasi dari Generator yang berada di PTPN IV Unit PKS Adolina sesuai dengan Gambar 2.6, yaitu :

a. Serial Number	: X10f250193
b. Order Number	: X27567
c. Frame / Core	: Hc.1634j2
d. Kva Base Rate(Br)	: 1000.0
e. Kw Base Rate(Br)	: 800.0
f. Hz	: 50.0
g. Rpm	: 1500.0
h. Volts	: 380.0
i. Phase	: 3.0
j. Amps Base Rate(Br)	: 1519.3
k. Pf	: 0.8
l. Rating	: Cont
m. Ex.Volts	: 58.0
n. Ex.Amps	: 3.4
o. Ambient Temp. C	: 40
p. Enclosure	: 1p23
q. Insulation Class	: Class H
r. Stator Wdg.	: 12
s. Stator Conn.	: Star
t. Avr	: Mx321
u. Mounting Type	: Imb35
v. Cooling Method	: Ic01
w. Weight Kg	: 2300.0

SERIAL NUMBER	X10F250193	TOH GUAN ROAD # 05-04 TT INTL TRADEPARK SINGAPORE 608838
ORDER NUMBER	X27567	
FRAME / CORE	HC.1634J2	
KVA BASE RATE(BR)	1000.0	
KW BASE RATE(BR)	800.0	
Hz	50.0	
RPM	1500.0	
VOLTS	380.0	
PHASE	3.0	
AMPS BASE RATE(BR)	1519.3	
PF	0.8	
RATING	CONT	
EX.VOLTS	58.0	
EX.AMPS	3.4	
AMBIENT TEMP. C	40	BS 5000: PART 3 IEC 34-1 NEMA MG 1-32 ISO 8528-3
ENCLOSURE	IP23	
INSULATION CLASS	CLASS H	
STATOR WDG.	12	
STATOR CONN.	STAR	
AVR	MX321	
MOUNTING TYPE	IMB35	
COOLING METHOD	IC01	
WEIGHT Kg	2300.0	

Gambar 2. 6 Spesifikasi Generator PKS Adolina

2.2.2 Governor

Governor adalah komponen yang bertugas mengatur kecepatan putaran turbin dengan mengontrol bukaan katup, sehingga jumlah uap yang masuk ke turbin dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Kecepatan putaran turbin diatur berdasarkan nilai setpoint yang telah ditentukan, yaitu 5400 rpm, serta menjaga frekuensi tetap stabil di sekitar ± 50 Hz (Mamahit et al., 2024).

Prinsip kerja governor sebenarnya cukup sederhana. Governor berfungsi mengatur aliran uap yang masuk ke turbin sesuai kebutuhan beban. Dalam sistem governor, terdapat katup yang mengontrol aliran uap. Jika turbin berputar terlalu lambat, katup akan membuka untuk meningkatkan aliran uap ke turbin, sehingga tekanan bertambah dan turbin berputar lebih cepat. Sebaliknya, jika turbin berputar terlalu cepat, katup akan menutup untuk mengurangi volume uap yang masuk, sehingga kecepatan turbin dapat dikendalikan (Mamahit et al., 2024). Governor menentukan besarnya bukaan valve berdasarkan parameter sinyal masukan seperti daya aktual keluaran generator (P), daya setting (Preff), frekuensi (f) dan putaran turbin (rpm).



Gambar 2. 7 Governor Pada PLTU PKS Adolina

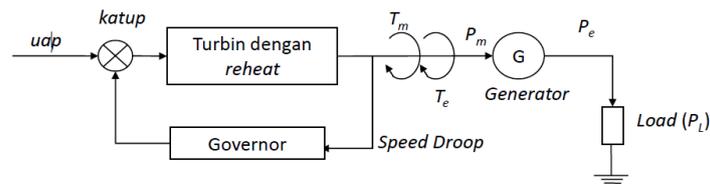
2.2.3 Speed Droop Governor

Speed droop, atau yang juga dikenal sebagai speed regulation, adalah persentase perubahan kecepatan (frekuensi) yang terjadi akibat perubahan beban. Speed droop juga dapat diartikan sebagai besarnya 100% output daya aktif generator untuk setiap persen perubahan frekuensi (Pamundra, 2020).

Sebagai contoh, jika sebuah unit memiliki speed droop sebesar 5% dan frekuensi mengalami penurunan sebesar 5%, maka output daya aktif unit pembangkit akan kembali menjadi 100%. Karakteristik speed droop mencerminkan respons governor, yaitu hubungan antara perubahan kecepatan (frekuensi) dengan perubahan output atau beban generator, yang menentukan seberapa besar perubahan frekuensi terhadap setiap perubahan beban (Wahyuni et al., 2022).

2.2.4 Respon Governor

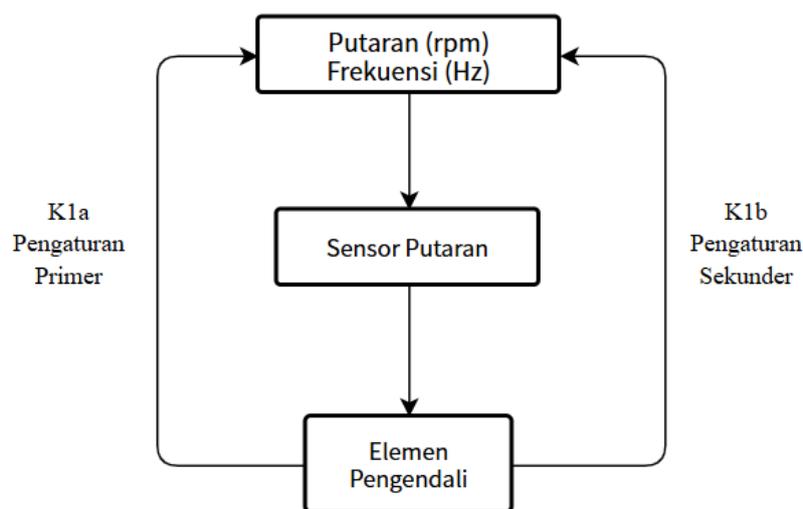
Putaran generator memiliki hubungan yang erat dengan beban yang diterima. Saat generator menerima beban yang berlebih, putarannya akan menurun, sedangkan tanpa beban, putarannya akan meningkat. Oleh karena itu, diperlukan pengaturan putaran untuk menyesuaikan dengan kondisi beban yang selalu berubah-ubah (Saputro, 2016).



Gambar 2. 8 Blok Diagram Sistem Pembangkit Listrik

Kecepatan putar generator akan menurun ketika terjadi kenaikan beban dan ketika daya aktif yang dibangkitkan oleh generator lebih besar dari daya aktif yang digunakan oleh beban, maka kecepatan putar generator akan naik. Governor memanfaatkan perubahan putaran generator, khususnya deviasi dari putaran nominal yang telah ditentukan. Dengan memanfaatkan perubahan tersebut, governor dapat mengatur bukaan katup yang mengalirkan fluida ke prime mover (Patriandari, 2010).

Kecepatan generator diatur untuk menyesuaikan dengan perubahan beban yang terus berubah. Ketika putaran generator menurun akibat beban yang besar, respon governor adalah membuka katub untuk menambah fluida yang masuk ke prime mover. Sebaliknya, saat putaran generator meningkat karena pengurangan beban, governor akan merespons dengan mengurangi dengan mengurangi jumlah fluida yang mengalir ke prime mover (Patriandari, 2010).



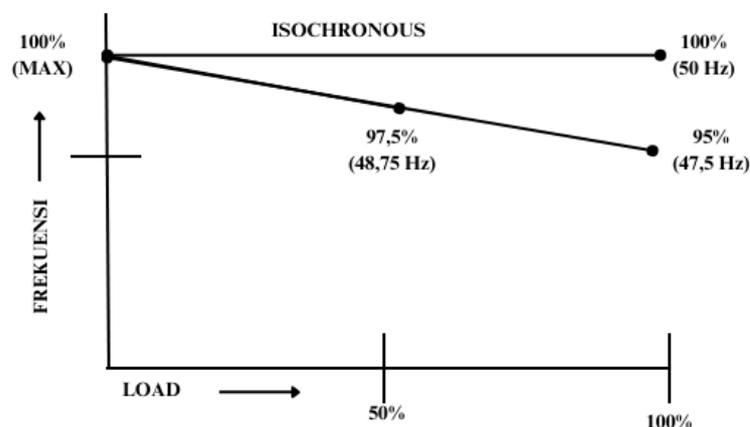
Gambar 2. 9 Blok Diagram Governor

Pengaturan primer yang dilakukan oleh governor, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9, membutuhkan waktu untuk merespons perubahan yang terjadi. Selama proses pengaturan primer berlangsung, pengaruh governor dapat diamati melalui karakteristik hubungan antara frekuensi dan waktu. Hubungan ini menunjukkan bagaimana respons governor berubah seiring waktu dalam menstabilkan sistem.

2.2.5 Mode Pengoperasian Governor

Governor memiliki dua mode operasi, yaitu *droop* dan *isochronous*. Pada mode *droop*, governor telah memiliki "set point" daya mekanik (P_{mech}) yang ditetapkan sesuai kapasitas nominal generator atau kebutuhan tertentu. Dengan pengaturan yang tetap ini, output daya listrik generator akan stabil, sehingga perubahan beban tidak memengaruhi putaran turbin (daya sebanding dengan putaran).

Sementara itu, pada mode *isochronous*, "set point" putaran governor ditentukan berdasarkan kebutuhan daya listrik sistem secara real time. Governor, melalui proses internalnya sesuai logika kontrol yang dirancang oleh pabrikan, akan menyesuaikan daya mekanik turbin agar sesuai dengan kebutuhan daya listrik sistem. Saat terjadi perubahan beban, governor akan menetapkan "set point" baru sesuai beban aktual, sehingga putaran dapat diatur untuk menjaga frekuensi listrik generator tetap pada nilai nominalnya dan mencegah generator keluar dari sinkronisasi.



Gambar 2. 10 Perbandingan Sistem Droop dan Isochronous

2.2.6 Frekuensi Sistem Tenaga Listrik

Sebuah pembangkit listrik harus mampu memenuhi kebutuhan daya aktif yang dibutuhkan oleh jaringan atau pelanggan dengan menjaga frekuensi tetap stabil. Berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 20 Tahun 2020 tentang Sistem Tenaga dan Jaringan (Grid Code), frekuensi jaringan harus dipertahankan pada nilai 50 Hz dengan toleransi deviasi sekitar $\pm 0,2$ Hz dari nilai tersebut. Frekuensi pada sistem jaringan tenaga ini dipengaruhi oleh perubahan beban yang selalu berfluktuasi sesuai kebutuhan konsumen. Oleh karena itu, menjaga frekuensi tetap sesuai dengan standar yang ditetapkan menjadi hal yang sangat penting (Peraturan Menteri ESDM, 2020).

2.2.7 Pengendalian Frekuensi Sistem

Perubahan frekuensi dalam sistem dihubungkan dengan perubahan daya aktif yang dihasilkan pembangkit sesuai dengan permintaan beban. Jika daya aktif yang dihasilkan pembangkit lebih kecil dari kebutuhan beban, frekuensi sistem akan menurun, dan sebaliknya, jika daya aktif lebih besar dari kebutuhan, frekuensi akan meningkat. Pengaturan frekuensi dapat dilakukan melalui berbagai metode (Pamundra, 2020).

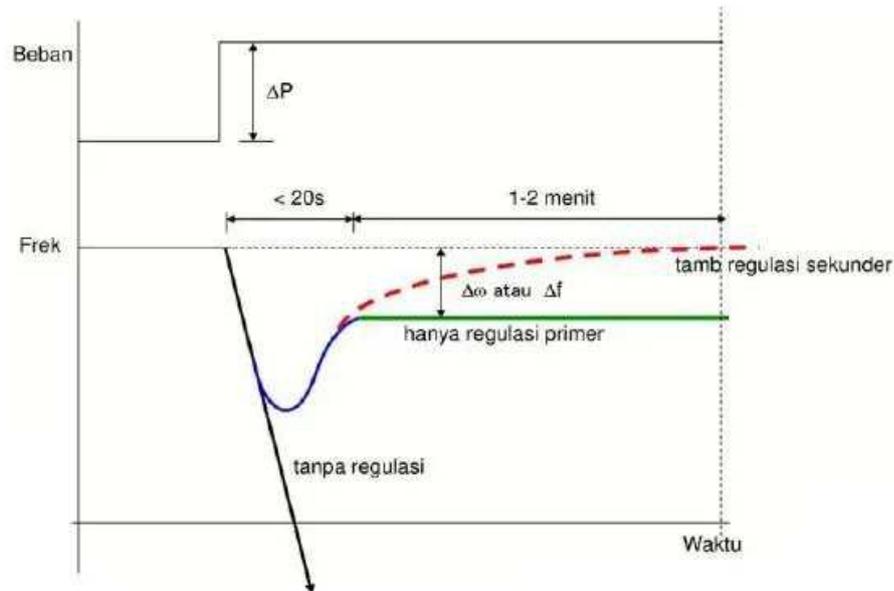
1. Aksi *governor* sebuah pembangkit sebagai *primary frequency control*.
2. Unit pembangkit memiliki *load frequency control* sebagai *secondary frequency control*.
3. Perintah P2B (Pusat Pengatur Beban) ke unit pembangkit untuk mengatur nilai *setting point governor* dalam merespon perubahan beban.

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*.

Pengaturan frekuensi dalam sistem pembangkit listrik, khususnya melalui *governor*, membutuhkan beberapa syarat penting untuk memastikan respons yang efektif terhadap perubahan beban. Salah satu hal utama adalah penentuan *set point* RPM yang akurat, disesuaikan dengan kondisi beban. *Set point* ini menjadi acuan bagi *governor* untuk mengatur kecepatan turbin sehingga frekuensi dapat dijaga pada nilai nominal, biasanya 50 Hz. Pada *set point* yang telah ditentukan pada PKS

Adolina, yaitu 5400 rpm governor bekerja untuk memastikan kestabilan sistem tenaga listrik sesuai kebutuhan beban.

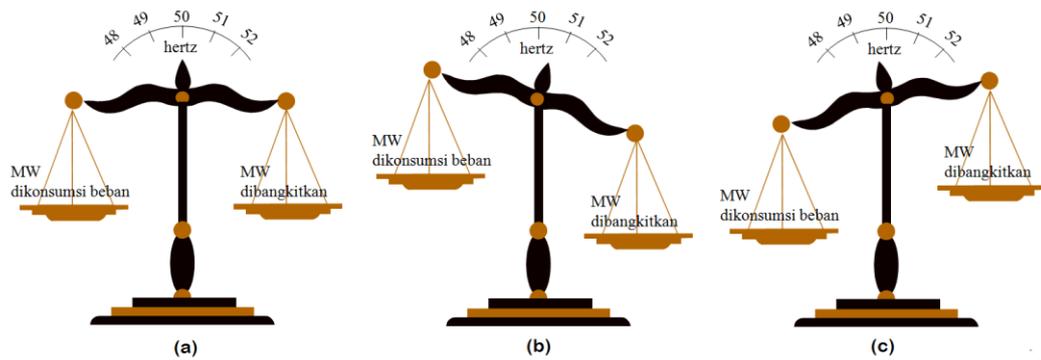
Selain itu, pengaturan nilai *speed droop* juga harus dilakukan dengan tepat. Nilai *speed droop* yang lebih kecil memungkinkan governor untuk merespons fluktuasi frekuensi dengan lebih cepat. Namun, hal ini juga dapat mempercepat keausan peralatan, seperti valve, karena seringnya terjadi penyesuaian.



Gambar 2. 11 Grafik Pengaturan Frekuensi

2.2.8 Hubungan Frekuensi Dengan Daya Aktif

Dalam sistem tenaga listrik, daya aktif dan frekuensi saling bergantung satu sama lain. Mengatur daya aktif berarti juga mengatur frekuensi, begitu pula sebaliknya. Hal ini karena pengendalian frekuensi berkaitan langsung dengan pengaturan daya aktif (Watt). Oleh karena itu, pengaturan frekuensi memiliki keterkaitan yang erat dengan penggerak utama, dalam hal ini turbin uap (Adhyaksa, 2023).



Gambar 2. 12 a) Hubungan frekuensi dan daya aktif (50 Hz), (b) Hubungan frekuensi dan daya aktif (>50 Hz), (c) Hubungan frekuensi dan daya aktif (<50 Hz)

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pengaturan frekuensi sangat berkaitan dengan turbin dalam mengatur daya aktif yang dihasilkan. Pada gambar (2.10 a), ketika daya yang dihasilkan oleh pembangkit sama dengan daya yang dibutuhkan oleh beban (mengabaikan rugi-rugi transmisi), frekuensi sistem akan tetap pada nilai nominal sebesar 50 Hz. Sementara itu, gambar (2.10 b) menunjukkan kondisi di mana daya yang dihasilkan pembangkit lebih besar daripada kebutuhan beban, sehingga frekuensi sistem akan meningkat (>50 Hz). Sebaliknya, pada gambar (2.10 c), jika kebutuhan daya beban lebih besar daripada daya yang dihasilkan pembangkit, frekuensi sistem akan menurun (<50 Hz).

Frekuensi sistem akan menurun jika daya aktif yang dihasilkan oleh generator tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan beban. Sebaliknya, frekuensi akan meningkat apabila daya aktif yang dihasilkan generator melebihi permintaan beban dalam sistem. Besaran bahan bakar yang digunakan oleh sistem pembangkit diatur oleh governor untuk menyesuaikan frekuensi yang diperlukan jaringan. Governor beroperasi secara otomatis untuk menyesuaikan daya yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan konsumen. Oleh karena itu, kinerja governor berkaitan dengan pengaturan suplai bahan bakar ke turbin uap, yang pada akhirnya memengaruhi nilai frekuensi sistem berdasarkan persamaan tertentu :

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

Dimana :

f : Frekuensi (Hz)

- n : Putaran (rpm)
 p : Jumlah kutub generator

Perubahan beban, dalam hal ini daya aktif (KW) yang diterapkan pada generator, menyebabkan penurunan kecepatan putaran turbin. Berdasarkan hukum Newton, terdapat hubungan antara torsi mekanis yang dihasilkan oleh penggerak generator dan kecepatan putar generator itu sendiri (Pamundra, 2020):

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

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

Sehingga pada 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 generator
 H : Momen inersia generator beserta mesin penggeraknya
 ω : Kecepatan sudut putar generator

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

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

Berdasarkan persamaan tersebut, frekuensi memiliki hubungan langsung dengan kecepatan putar poros generator. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kecepatan atau frekuensi generator akan menurun apabila daya aktif yang dihasilkan tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan beban. Secara mekanis apabila :

$$(TG - TB) = \Delta T < 0 \text{ maka } \frac{\delta \omega}{\delta t} < 0, \text{ Sehingga frekuensi turun } \dots\dots\dots(2.4)$$

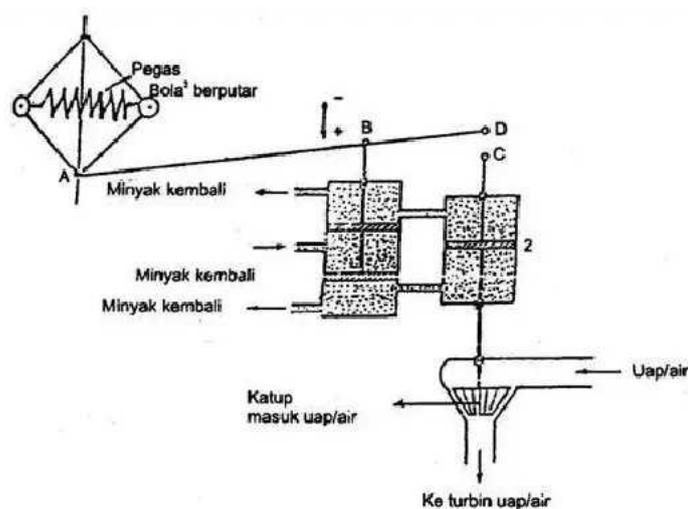
$$(TG - TB) = \Delta T > 0 \text{ maka } \frac{\delta \omega}{\delta t} > 0, \text{ Sehingga frekuensi naik } \dots\dots\dots(2.5)$$

Perubahan daya aktif yang dihadapi generator menimbulkan nilai ΔT , selanjutnya akan menimbulkan putaran nilai f sesuai dengan persamaan (2.4) dan (2.5). Perubahan nilai frekuensi ini akan menyebabkan governor bekerja (Pamundra, 2020).

2.2.10 Prinsip Kerja Governor

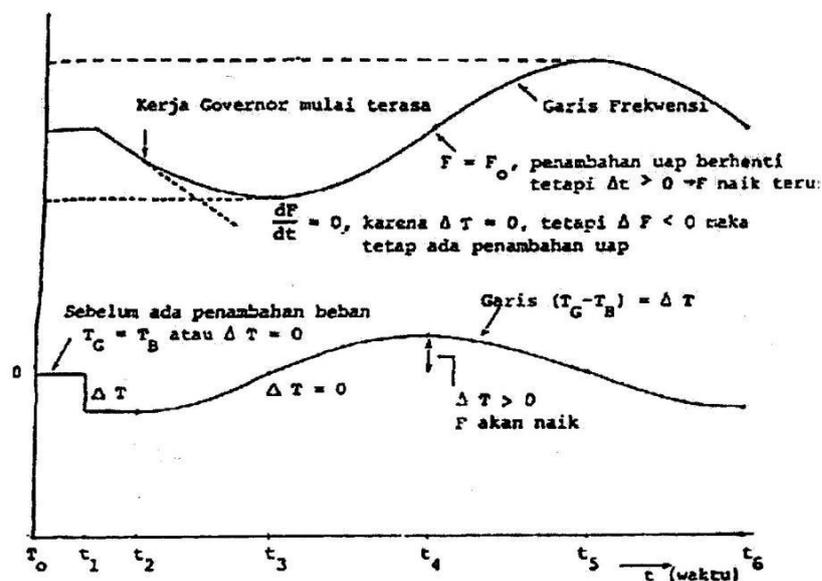
Governor pada PLTU Pabrik Kelapa Sawit memiliki fungsi utama untuk menjaga stabilitas frekuensi sistem tenaga listrik agar tetap berada pada nilai yang telah ditetapkan, yaitu 50 Hz. Perubahan frekuensi pada sistem terjadi akibat fluktuasi permintaan daya aktif dari beban. Ketika permintaan daya aktif meningkat, frekuensi cenderung menurun, sedangkan saat permintaan daya aktif menurun, frekuensi cenderung meningkat.

Ketidakstabilan frekuensi ini dapat menyebabkan kerusakan pada motor induksi yang digunakan, sehingga penting untuk menjaga frekuensi tetap stabil pada 50 Hz dengan toleransi yang telah ditentukan. Untuk mengatasi hal ini, turbin dilengkapi dengan sistem pengendalian frekuensi yang bekerja melalui governor. Governor mengatur katup kontrol (control valve) yang mengatur suplai uap ke turbin. Jika frekuensi turun, katup kontrol akan membuka untuk meningkatkan suplai uap ke turbin, dan sebaliknya, jika frekuensi meningkat, katup kontrol akan menutup untuk mengurangi suplai uap ke turbin.



Gambar 2. 13 Skema Governor

Pada saat $T = T_1$ (Gambar 2.13) terdapat penambahan daya aktif, maka nilai frekuensi akan turun dari f_0 ke f^1 . Penurunan nilai frekuensi dikarenakan oleh nilai T_B menjadi lebih besar sebagai akibat dari penambahan daya aktif sehingga T_B yang merupakan nilai dari kopel beban yang membebani generator bertambah, sehingga nilai $(T_G - T_B) = \Delta T < 0$, $\frac{\delta\omega}{\delta t} < 0$. $\frac{\delta\omega}{\delta t}$ merupakan nilai percepatan sudut karena $f = \frac{\omega}{2\pi}$ maka hal ini berarti terjadi penurunan nilai frekuensi. Penurunan nilai frekuensi dari f_0 menjadi f^1 direspon oleh governor sehingga governor akan merespon untuk mengembalikan frekuensi Kembali ke f_0 .



Gambar 2. 14 Respon Governor

Berikut ini adalah urutan dari respon reaksi governor ketika terjadi penurunan frekuensi :

1. Pada saat terjadi penambahan beban maka bola (Gambar 2.13) akan bergerak yang menyebabkan titik A menjadi turun. Turunnya titik A akan menyebabkan titik B juga turun. Jika titik B mengalami penurunan maka torak pengarah aliran minyak akan mengalirkan minyak ke torak utama, sehingga titik C naik dan katup utama terangkat untuk menambah suplai uap ke turbin.

2. Pada saat $t = t_2$ respon governor mulai terasa ditandai dengan mulai landainya penurunan nilai frekuensi sampai pada $t = t_3$ kecuraman penurunan nilai frekuensi telah hilang ($\frac{\delta\omega}{\delta t} = 0, T_G - T_B = \Delta T = 0$).
3. Pada saat $t = t_3$ meskipun $\Delta T = 0$ tetapi nilai frekuensi masi f^1 sehingga katup utama masih terbuka dan terus menambah suplai uap ke turbin. Untuk menaikkan nilai frekuensi, governor merespon dengan menambah nilai kopel penggerak generator ($\frac{\delta\omega}{\delta t} > 0, T_G - T_B = \Delta T > 0$). Pada saat $t = t_4$ penambahan suplai uap ke turbin berhenti tetap menjadi kenaikan frekuensi.
4. Pada saat $t = t_5$ nilai $\Delta T > 0$ sehingga nilai frekuensi $f > f_0$ dan governor merespon dengan menurunkan nilai frekuensi dengan cara mengurangi suplai uap ke turbin hingga nilai frekuensi bernilai f_0 , hal ini berarti mengurangi nilai ΔT dan juga memperkecil nilai $\frac{\delta\omega}{\delta t}$.

2.2.11 Hubungan Antara Ketidakstabilan Frekuensi Terhadap Peralatan

Listrik

Sebuah pembangkit listrik harus mampu menyalurkan listrik dengan frekuensi yang telah ditentukan. Jika motor induksi tiga fasa di pabrik Adolina menerima suplai tegangan yang sesuai tetapi dengan frekuensi yang berbeda, motor tersebut dapat mengalami overheating yang berpotensi merusaknya. Hal ini terjadi karena rasio antara tegangan dan frekuensi akan meningkat, menyebabkan arus yang lebih besar dan menghasilkan panas berlebih pada motor.

Fenomena ini dapat dijelaskan melalui analisis reaktansi induktif. Reaktansi induktif akan berkurang seiring dengan penurunan frekuensi, sesuai dengan persamaan yang mendefinisikannya (Pamundra, 2020) :

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

X_L : Reaktansi Induktif (Ω)

f : Frekuensi (Hz)

L : Nilai induktansi induktor (H)

$$I = \frac{v}{X_L} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

I : Arus (A)

V : Tegangan (V)

X_L : Reaktansi Induktif (Ω)

Berdasarkan persamaan tersebut, apabila frekuensi yang disalurkan pembangkit ke konsumen kurang dari 50 Hz, reaktansi induktif pada peralatan listrik akan menurun. Akibatnya, arus listrik akan meningkat, sehingga peralatan menjadi panas. Pada beban seperti motor induksi, hal ini dapat menyebabkan peningkatan putaran motor yang tidak terkendali serta kenaikan suhu, yang pada akhirnya berpotensi menyebabkan kerusakan pada motor tersebut (Pamundra, 2020) :

$$P = V.I.Cos \emptyset \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

P : Daya Aktif (W)

V : Tegangan (V)

I : Arus (A)

$\text{Cos } \emptyset$: Faktor Daya

2.2.12 Perhitungan Daya Aktif Generator

Perhitungan ini dilakukan untuk menentukan jumlah daya aktif yang dihasilkan oleh generator (Pamundra, 2020) :

$$P = \sqrt{3}.V.I.Cos \emptyset \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

P : Daya Aktif (W)

V : Tegangan (V)

I : Arus (A)

$\text{Cos } \emptyset$: Faktor Daya

2.2.13 Pengaturan *Speed Droop Governor*

Speed droop menggambarkan proporsi perubahan daya generator (KW) terhadap perubahan frekuensi sistem. Semakin kecil nilai speed droop, semakin sensitif governor dalam merespons perubahan frekuensi, dan sebaliknya. Nilai speed droop dapat dihitung menggunakan persamaan tertentu (Saputra, 2021) :

$$SD = \frac{n_1 - n_2}{n_0} \times 100\% \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

- SD : Speed Droop (%)
- n_1 : Putaran tanpa beban (rpm)
- n_2 : Putaran beban penuh (rpm)
- n_0 : Putaran nominal (rpm)

2.2.14 Respon *Governor Terhadap Perubahan Beban*

Respon *governor* terhadap perubahan beban mencerminkan kemampuan *governor* untuk mengembalikan frekuensi ke nilai nominalnya saat terjadi perubahan beban. Tindakan atau respon governor ini dapat dianalisis menggunakan persamaan tertentu (Saputra, 2021) :

$$K = \frac{1}{\text{speed droop}} \times \frac{P_0}{f_0} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

- K : Participant factor (KW/Hz)
- P_0 : Daya aktif yang dihasilkan generator (KW)
- f_0 : Frekuensi referensi (50 Hz)

Nilai K, atau faktor partisipasi, merupakan angka yang menunjukkan jumlah daya (dalam KW) yang dibutuhkan untuk menaikkan atau menurunkan frekuensi sistem sebesar 1 Hz tanpa melibatkan pengaturan sekunder. Besarnya nilai ini dipengaruhi oleh jumlah unit pembangkit yang beroperasi dalam sistem serta pengaturan speed droop pada masing-masing unit (Labulu et al., 2015). Setelah nilai tersebut diperoleh, respon governor dalam mengembalikan frekuensi sistem jaringan dapat dihitung menggunakan persamaan tertentu (Saputra, 2021) :

$$\Delta P = -K \times \Delta f \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

- ΔP : Required power respon (KW)
- Δf : Deviasi nilai frekuensi ($f-f_0$)
- f : Frekuensi sistem real time (Hz)
- f_0 : Frekuensi nilai referensi (50Hz)
- K : Faktor partisipasi (KW/Hz)

Tanda negatif pada nilai K menunjukkan pengurangan daya keluaran generator. Dari rumus tersebut, dapat dihitung jumlah daya yang diperlukan oleh sistem untuk mengembalikan frekuensi ke nilai nominalnya (Pamundra, 2020):

$$P' = \Delta P + P_0 \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

- P' : Daya aktif yang dibutuhkan beban (KW)
- P_0 : Daya aktif keluaran generator (KW)
- ΔP : Required power system (KW)

2.2.15 Karakteristik Kerja Speed Droop Pada Governor PLTU

Speed droop governor memainkan peran penting dalam menjaga stabilitas frekuensi pada sistem tenaga listrik, terutama pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Prinsip kerjanya didasarkan pada hubungan antara perubahan daya aktif generator dan perubahan frekuensi sistem. Parameter utama yang digunakan untuk mengukur respons governor ini adalah *speed droop*, yang dinyatakan dalam persentase perubahan frekuensi terhadap perubahan daya aktif. Saat frekuensi sistem menurun akibat peningkatan beban, governor akan merespons dengan membuka katup uap (*steam valve*) untuk meningkatkan suplai uap ke turbin, sehingga daya keluaran generator meningkat. Sebaliknya, jika frekuensi sistem meningkat akibat penurunan beban, governor akan menutup katup uap guna mengurangi daya yang dihasilkan dan menjaga keseimbangan sistem.

Setiap nilai *speed droop* memberikan karakteristik respons yang berbeda terhadap perubahan beban. *Speed droop* yang lebih kecil, sekitar 2-4%, membuat sistem lebih sensitif terhadap perubahan frekuensi, memungkinkan respons yang lebih cepat dalam kondisi kritis. Namun, sensitivitas tinggi ini juga dapat

meningkatkan keausan pada komponen mekanis akibat perubahan yang lebih sering dan agresif. Di sisi lain, speed droop yang lebih besar, sekitar 5-8%, memberikan respons yang lebih lambat tetapi meningkatkan stabilitas sistem dalam jangka panjang. Oleh karena itu, pemilihan nilai speed droop harus mempertimbangkan keseimbangan antara kecepatan respons, stabilitas operasional, serta umur peralatan, sehingga PLTU dapat bekerja secara optimal dan andal.

2.2.15 Pengaruh Perubahan Frekuensi Terhadap Pengaturan *Speed Droop*

Perubahan frekuensi pada sistem tenaga listrik merupakan indikator utama ketidakseimbangan antara produksi dan konsumsi daya listrik. Ketika terjadi fluktuasi beban, frekuensi sistem akan mengalami perubahan yang dapat mempengaruhi stabilitas dan kinerja sistem secara keseluruhan. Salah satu komponen penting dalam mengatasi perubahan frekuensi ini adalah governor dengan pengaturan *speed droop*.

Speed droop adalah parameter yang mengatur seberapa besar perubahan frekuensi yang diperlukan untuk menghasilkan perubahan output daya pada pembangkit listrik. Secara teknis, *speed droop* menghubungkan perubahan frekuensi (Δf) dengan perubahan daya keluaran (ΔP) melalui hubungan linier yang dinyatakan dalam persentase. Nilai *speed droop* yang lebih kecil menunjukkan respons yang lebih sensitif terhadap perubahan frekuensi, sehingga mampu merespons fluktuasi beban dengan cepat. Sebaliknya, nilai speed droop yang lebih besar menghasilkan respons yang lebih lambat, yang dapat menyebabkan frekuensi sistem menjadi kurang stabil dan berisiko menimbulkan gangguan.

Pengaturan *speed droop* yang tepat sangat penting untuk menjaga kestabilan frekuensi sistem tenaga listrik. Jika *speed droop* terlalu kecil, sistem akan merespons perubahan frekuensi dengan cepat namun berpotensi menyebabkan fluktuasi yang berlebihan dan mempercepat keausan peralatan. Sebaliknya, *speed droop* yang terlalu besar dapat menyebabkan sistem merespons lambat terhadap perubahan beban, sehingga frekuensi sistem menjadi kurang stabil dan berisiko menimbulkan gangguan.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat

Tempat penelitian ini dilaksanakan di PT. Perkebunan Nusantara IV (PTPN IV) Unit PKS Adolina yang terletak di Jalan Batang Terap, Kecamatan Perbaungan, Kabupaten Serdang Bedagai, Sumatera Utara.

3.1.2 Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian tugas akhir ini berlangsung pada bulan Desember 2024 – Mei 2025.

3.1.3 Jadwal Penelitian

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian

No	Uraian	Bulan Ke-					
		1	2	3	4	5	6
1	Kajian Literatur						
2	Penyusunan Proposal Penelitian						
3	Penulisan Bab 1 s/d Bab 3						
4	Seminar Proposal Penelitian						
5	Pengambilan Data						
6	Pengolahan dan Analisa Data						
7	Seminar Hasil Penelitian						
8	Sidang Akhir						

3.2 Alat Penelitian

Adapun beberapa peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

1. Satu unit laptop Asus Vivobook A1400EA-VIPS551 yang memiliki spesifikasi *Intel® Core™ i5-1135G7 Processor 2.4 GHz (8M Cache, up to 4.2 GHz, 4 cores) with Intel® UHD Graphics dan system operasional Windows 11 Home 64-bit Ram 8 GB*. Laptop ini digunakan sebagai alat utama dalam pengerjaan penelitian tugas akhir.
2. Satu unit Flashdisk San-disk memori 16 GB, digunakan sebagai menyimpan dan memindahkan file data pada pengerjaan penelitian Tugas Akhir.
3. Control Panel, digunakan sebagai pendukung dari mesin-mesin listrik agar bisa beroperasi sebagaimana mestinya sesuai prinsip kerja kelistrikan. Mengamankan komponen listrik supaya terlindungi dari hal-hal apapun yang bis amempengaruhinya.
4. Buku dan Pulpen, digunakan sebagai alat tulis dan mencatat data yang didapatkan.
5. Ampere Meter, Ampere meter adalah metering yang berfungsi mengukur besarnya arus yang mengalir kebeban pemakaian. Satuan dari arus listrik adalah ampere (A).
6. Volt Meter, adalah metering yang berfungsi mengukur beda potensial (tegangan) yang keluar dari generator, baik tegangan fasa per fasa ataupun fasa dengan netral. Satuan dari tegangan adalah volt (V).

3.3 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 memulai dengan mencari sumber teori yang relevan dengan tugas akhir ini untuk memperdalam pemahaman materi yang dibutuhkan dalam menyelesaikan masalah yang telah dirumuskan. Sumber-

sumber tersebut meliputi buku referensi, jurnal, artikel, dan skripsi yang terkait untuk mendukung penelitian. Studi literatur dilakukan sebagai panduan informasi yang berguna dalam pelaksanaan penelitian serta penyusunan laporan tugas akhir.

2. Studi Bimbingan

Studi bimbingan merupakan kegiatan interaksi antara penulis dan dosen pembimbing yang melibatkan diskusi tanya jawab. Tujuannya adalah memberikan arahan dan solusi dalam proses penulisan tugas akhir, sehingga permasalahan yang dihadapi dalam penelitian ini dapat diselesaikan.

3. 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 dan wawancara dengan pegawai serta staf operator PLTU PKS Adolina terkait objek penelitian, guna memperoleh data-data yang diperlukan untuk mendukung penelitian ini.

b. Metode Observasi

Dilakukan pengamatan langsung di PLTU PKS Adolina untuk memperoleh data-data yang diperlukan.

c. Studi Dokumen

Dengan studi dokumen ini, peneliti akan melihat dan mengambil data sekunder, yaitu data-data yang telah dikumpulkan atau diarsipkan oleh pegawai maupun staf operator PLTU PKS Adolina di masa lalu. Selain itu, peneliti juga akan melengkapi penelitian dengan data primer yang diperoleh langsung melalui wawancara dan diskusi dengan pegawai maupun staf operator untuk mendapatkan informasi yang lebih aktual dan mendalam.

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

- 1) Beban
- 2) Tegangan Generator Unit 2 PLTU PKS Adolina
- 3) Arus Generator Unit 2 PLTU PKS Adolina

- 4) Cos phi atau Faktor Daya
 - 5) Nilai *Speed Droop Governor* PLTU PKS Adolina
 - 6) Putaran Nominal
 - 7) Putaran Tanpa Beban
 - 8) Frekuensi Sistem PLTU PKS Adolina
4. Pengolahan Data dan Analisis Data

Pada tahap ini, data yang telah dikumpulkan akan diolah melalui proses perhitungan tertentu dan dianalisis untuk memperoleh hasil penelitian sesuai dengan yang diharapkan.

3.4 Metode Analisis

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa data yang telah didapatkan dari PLTU PKS Adolina sehingga menjawab permasalahan yang ada. Adapun Teknik analisis yang akan digunakan ialah metode kuantitatif deskriptif. Dimana data-data yang ditelah 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. Karakteristik kerja speed droop governor dalam menjaga kestabilan frekuensi pada sistem tenaga listrik.

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 (2.10)
- b) Menghitung frekuensi generator saat putaran beban penuh dengan persamaan (2.1)

2. Pengaruh pengaturan nilai speed droop governor terhadap kemampuan sistem dalam merespons perubahan frekuensi.

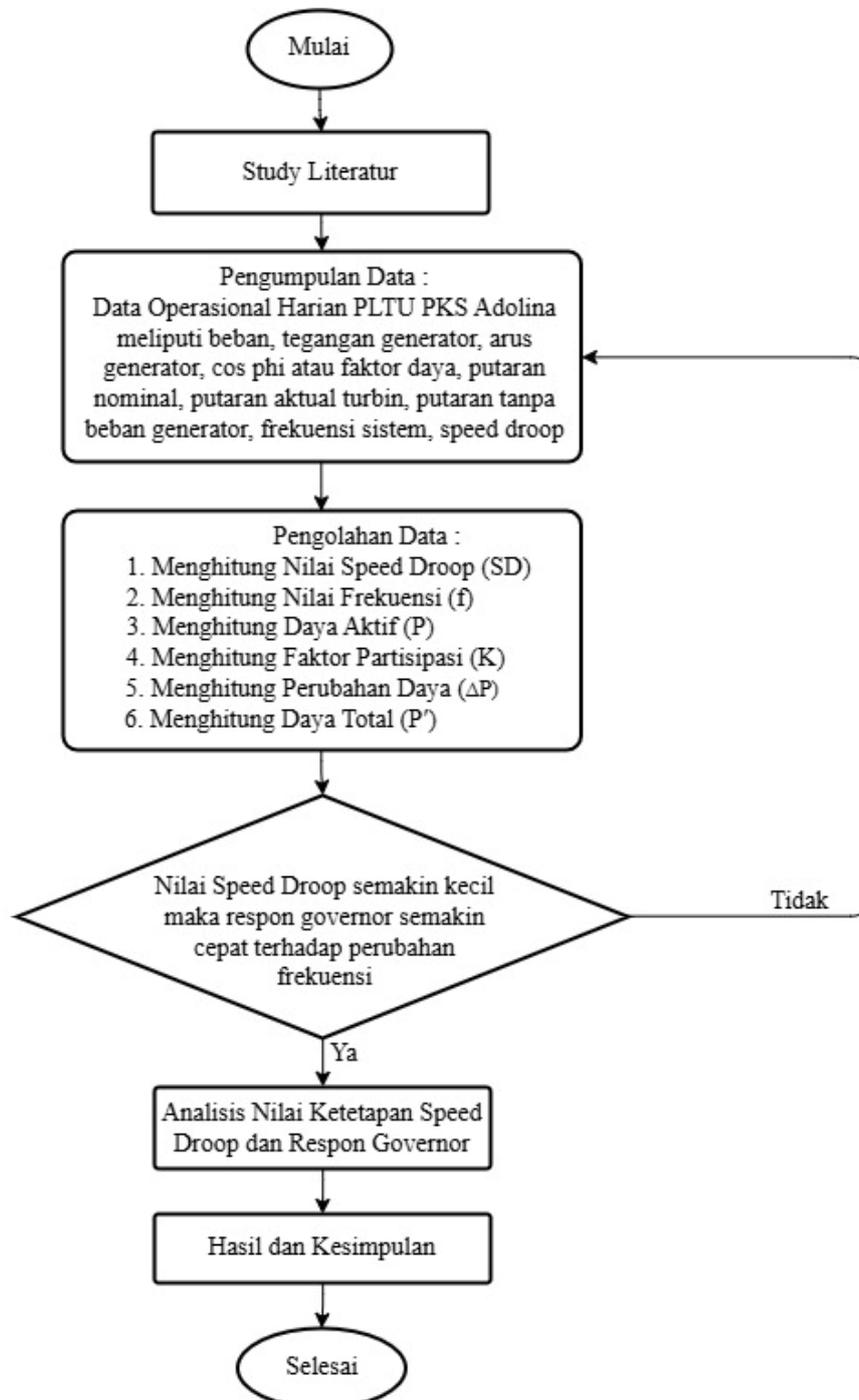
Untuk mencapai tujuan tersebut maka terdapat besaran-besaran yang akan dihitung antara lain :

- a) Menghitung daya aktif generator (daya nominal generator) dengan persamaan (2.9)

- b) Menghitung faktor partisipasi dengan nilai speed droop tertentu dengan persamaan (2.11)
- c) Menghitung governor action dengan nilai speed droop tertentu menggunakan persamaan (2.12)
- d) Menghitung total daya yang harus dikeluarkan untuk mengembalikan frekuensi ke nilai nominal akibat aksi governor menggunakan persamaan (2.13)

3.5 Diagram Alir Penelitian

Prosedur untuk penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, adapun tahap penelitian ini akan disajikan dalam bentuk Diagram Alir Penelitian.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.5.1 Penjelasan Dari Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara sistematis berdasarkan langkah-langkah dalam diagram alir pada Gambar 3.1. Berikut penjelasan masing-masing tahapan:

1. Mulai

Tahapan ini merupakan awal dari proses penelitian yang menandai dimulainya kegiatan penelitian secara keseluruhan.

2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan teori, konsep, dan referensi yang berkaitan dengan sistem kerja governor, prinsip speed droop, kestabilan frekuensi sistem tenaga listrik, serta standar dan praktik yang relevan. Tujuannya adalah agar peneliti memiliki landasan teori yang kuat untuk mendukung proses analisis dan interpretasi data.

3. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PLTU PKS Adolina. Data mencakup:

- a. Beban aktif (kW)
- b. Tegangan (V)
- c. Arus (A)
- d. $\cos \phi$ (faktor daya)
- e. Putaran turbin (RPM)
- f. Putaran nominal dan tanpa beban generator (RPM)
- g. Frekuensi aktual sistem (Hz)
- h. Nilai speed droop yang digunakan

Data dikumpulkan dalam rentang waktu tertentu untuk memastikan hasil analisis mencerminkan kondisi operasi nyata.

4. Pengolahan Data

Setelah data terkumpul, dilakukan perhitungan dan analisis sebagai berikut:

- a. Menghitung Nilai Speed Droop (SD): Untuk mengetahui besar penurunan kecepatan yang diizinkan terhadap daya output.
- b. Menghitung Nilai Frekuensi (f): Menentukan nilai frekuensi sistem yang terjadi dalam kondisi aktual.
- c. Menghitung Daya Aktif (P): Menentukan daya yang dihasilkan oleh generator pada kondisi tertentu.

- d. Menghitung Faktor Partisipasi (K): Untuk melihat sensitivitas perubahan daya terhadap frekuensi (dalam kW/Hz).
- e. Menghitung Perubahan Daya atau Respon Governor (ΔP): Mengukur besar daya yang berubah akibat deviasi frekuensi.
- f. Menghitung Daya Total (P'): Merupakan total daya aktif hasil perhitungan setelah respon governor.

5. Pengujian Hipotesis

Hasil perhitungan dianalisis untuk menguji apakah semakin kecil nilai speed droop, maka respon governor terhadap perubahan frekuensi semakin cepat dan besar. Jika iya, maka dapat dilanjutkan ke tahap analisis ketetapan pengaturan speed droop.

6. Analisis Nilai Ketetapan Speed Droop dan Respon Governor

Analisis dilakukan untuk mengevaluasi seberapa efektif nilai speed droop yang telah diterapkan dalam merespons fluktuasi frekuensi, serta melihat apakah terdapat nilai alternatif yang lebih optimal untuk pengaturan ke depannya.

7. Hasil dan Kesimpulan

Hasil akhir dari seluruh rangkaian proses akan disimpulkan dalam bentuk temuan penelitian. Kesimpulan mencakup efektivitas nilai speed droop 3% di PLTU PKS Adolina dan rekomendasi teknis bila diperlukan.

8. Selesai

Menandakan bahwa seluruh rangkaian penelitian telah diselesaikan.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian yang dilakukan di PLTU PKS Adolina ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik dan peran *speed droop governor* dalam menjaga kestabilan frekuensi listrik, khususnya saat terjadi perubahan beban secara tiba-tiba. Tujuan ini dilandasi oleh pentingnya frekuensi sebagai parameter utama dalam sistem tenaga listrik yang harus dijaga agar tetap pada nilai nominalnya. Hasil yang diharapkan adalah diperolehnya gambaran yang jelas mengenai bagaimana sistem governor merespons dinamika beban serta seberapa efektif pengaturan *speed droop* dalam mempertahankan kestabilan sistem.

Melalui serangkaian pengamatan langsung dan analisis data operasional generator, penelitian ini berupaya untuk menilai sejauh mana kinerja governor dapat mengimbangi perubahan beban pada kondisi aktual di PLTU PKS Adolina. Dengan demikian, hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai mekanisme pengendalian frekuensi serta menjadi dasar pertimbangan teknis dalam pengaturan sistem governor yang lebih optimal.

4.1.1 Tabel Data Harian Generator Unit 2

PLTU PKS Adolina memiliki dua unit generator, masing-masing dengan kapasitas 800 kW. Pada Unit 2, governor telah ditetapkan dengan nilai *speed droop* sebesar 3%, yang berarti governor dapat mendeteksi perubahan putaran dalam rentang 1455 RPM hingga 1545 RPM dari nilai nominalnya, yaitu 1500 RPM. Berikut ini merupakan data operasional harian dari generator Unit 2 PLTU PKS Adolina yang dikumpulkan dalam periode 17-21 Februari 2025.

Tabel 4. 1 Data generator unit 2 PLTU PKS Adolina tanggal 17 Februari 2025

Jam	TURBIN GENERATOR UNIT 2					
	Beban Aktif	Arus	Tegangan	Cos ϕ Lagging	Putaran	Frekuensi
	(KW)	(A)	(V)		(rpm)	(Hz)
07:00	500	800	380	0,95	1500	50,03
08:00	500	800	380	0,95	1500	50,01
09:00	500	800	380	0,95	1501	50,06
10:00	520	823	380	0,96	1498	49,98
11:00	520	823	380	0,96	1498	49,97
12:00	520	823	380	0,96	1498	49,95
13:00	510	807	380	0,96	1497	49,93
14:00	510	807	380	0,96	1497	49,91
15:00	510	816	380	0,95	1497	49,92
16:00	510	816	380	0,95	1497	49,90
17:00	530	848	380	0,95	1496	49,91
18:00	530	848	380	0,95	1497	49,93
18:30	530	848	380	0,95	1497	49,94
19:00	530	848	380	0,95	1497	49,98
19:30	530	839	380	0,96	1497	49,96
20:00	540	855	380	0,96	1498	49,95
20:30	540	855	380	0,96	1498	49,95
21:00	540	855	380	0,96	1499	49,99
21:30	540	855	380	0,96	1499	50,00
22:00	540	855	380	0,96	1499	50,01
22:30	540	855	380	0,96	1500	50,01
23:00	540	864	380	0,95	1500	50,03
24:00	540	864	380	0,95	1501	50,07
01:00	540	864	380	0,95	1501	50,06
02:00	510	816	380	0,95	1500	50,01
03:00	510	816	380	0,95	1497	49,97
04:00	510	816	380	0,95	1498	49,97
05:00	510	816	380	0,95	1498	49,99
06:00	510	816	380	0,95	1499	49,98

Tabel 4. 2 Data generator unit 2 PLTU PKS Adolina tanggal 18 Februari 2025

Jam	TURBIN GENERATOR UNIT 2					
	Beban Aktif	Arus	Tegangan	Cos ϕ	Putaran	Frekuensi
	(KW)	(A)	(V)	Lagging	(rpm)	(Hz)
07:00	440	704	380	0,95	1500	50,00
08:00	480	768	380	0,95	1501	50,03
09:00	400	640	380	0,95	1498	49,98
10:00	320	506	380	0,96	1495	49,95
11:00	460	728	380	0,96	1497	49,97
12:00	420	665	380	0,96	1497	49,97
13:00	410	649	380	0,96	1498	49,98
14:00	450	712	380	0,96	1498	49,98
15:00	470	752	380	0,95	1500	50,00
16:00	470	752	380	0,95	1501	50,03
17:00	470	752	380	0,95	1501	50,04
18:00	450	720	380	0,95	1499	49,99
18:30	450	720	380	0,95	1499	49,99
19:00	480	768	380	0,95	1500	50,01
19:30	480	760	380	0,96	1500	50,03
20:00	440	696	380	0,96	1497	49,97
20:30	470	744	380	0,96	1498	49,98
21:00	480	760	380	0,96	1501	50,06
21:30	480	760	380	0,96	1501	50,07
22:00	480	760	380	0,96	1500	50,00
22:30	490	775	380	0,96	1500	50,01
23:00	500	800	380	0,95	1502	50,09
24:00	490	784	380	0,95	1499	49,99
01:00	490	784	380	0,95	1501	50,05
02:00	480	768	380	0,95	1500	50,02
03:00	480	768	380	0,95	1500	50,01
04:00	490	784	380	0,95	1501	50,06
05:00	480	768	380	0,95	1500	50,00
06:00	490	784	380	0,95	1501	50,06

Tabel 4. 3 Data generator unit 2 PLTU PKS Adolina tanggal 19 Februari 2025

Jam	TURBIN GENERATOR UNIT 2					
	Beban Aktif	Arus	Tegangan	Cos ϕ	Putaran	Frekuensi
	(KW)	(A)	(V)	Lagging	(rpm)	(Hz)
07:00	460	736	380	0,95	1500	50,00
08:00	480	768	380	0,95	1501	50,07
09:00	450	720	380	0,95	1500	50,02
10:00	440	704	380	0,95	1499	49,99
11:00	410	656	380	0,95	1498	49,97
12:00	430	688	380	0,95	1499	49,98
13:00	450	720	380	0,95	1499	49,98
14:00	440	704	380	0,95	1499	49,98
15:00	420	665	380	0,96	1498	49,97
16:00	460	728	380	0,96	1500	50,02
17:00	400	633	380	0,96	1497	49,96
18:00	450	712	380	0,96	1501	50,06
18:30	480	760	380	0,96	1501	50,07
19:00	500	791	380	0,96	1501	50,08
19:30	520	832	380	0,95	1502	50,12
20:00	500	800	380	0,95	1501	50,06
20:30	480	768	380	0,95	1499	49,98
21:00	450	720	380	0,95	1499	49,97
21:30	480	768	380	0,95	1500	50,02
22:00	500	800	380	0,95	1501	50,07
22:30	480	768	380	0,95	1500	50,03
23:00	480	760	380	0,96	1500	50,03
24:00	460	728	380	0,96	1501	50,06
01:00	460	728	380	0,96	1501	50,07
02:00	440	696	380	0,96	1502	50,11
03:00	440	696	380	0,96	1502	50,12
04:00	460	728	380	0,96	1500	50,04
05:00	470	752	380	0,95	1500	50,05
06:00	480	768	380	0,95	1500	50,02

Tabel 4. 4 Data generator unit 2 PLTU PKS Adolina tanggal 20 Februari 2025

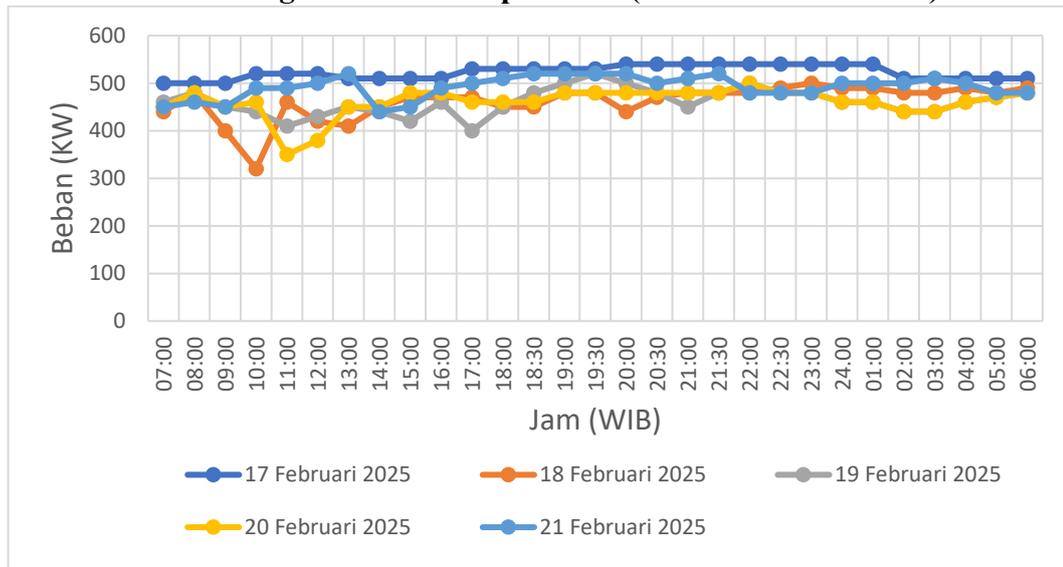
Jam	TURBIN GENERATOR UNIT 2					
	Beban Aktif	Arus	Tegangan	Cos ϕ Lagging	Putaran	Frekuensi
	(KW)	(A)	(V)		(rpm)	(Hz)
07:00	450	720	380	0,95	1500	50,03
08:00	480	768	380	0,95	1499	49,98
09:00	450	712	380	0,96	1499	49,99
10:00	460	728	380	0,96	1499	49,99
11:00	350	554	380	0,96	1501	50,09
12:00	380	601	380	0,96	1500	50,07
13:00	450	720	380	0,95	1500	50,02
14:00	450	720	380	0,95	1500	50,03
15:00	480	768	380	0,95	1500	50,05
16:00	480	768	380	0,95	1500	50,06
17:00	460	736	380	0,95	1500	50,07
18:00	460	736	380	0,95	1499	49,98
18:30	460	728	380	0,96	1499	49,97
19:00	480	760	380	0,96	1500	50,02
19:30	480	760	380	0,96	1500	50,03
20:00	480	760	380	0,96	1501	50,07
20:30	480	768	380	0,95	1501	50,08
21:00	480	768	380	0,95	1501	50,09
21:30	480	768	380	0,95	1500	50,04
22:00	500	800	380	0,95	1499	49,99
22:30	480	768	380	0,95	1500	50,02
23:00	480	760	380	0,96	1500	50,00
24:00	460	728	380	0,96	1500	50,04
01:00	460	728	380	0,96	1500	50,06
02:00	440	696	380	0,96	1500	50,03
03:00	440	704	380	0,95	1500	50,04
04:00	460	736	380	0,95	1500	50,02
05:00	470	752	380	0,95	1500	50,01
06:00	480	768	380	0,95	1500	50,03

Tabel 4. 5 Data generator unit 2 PLTU PKS Adolina tanggal 21 Februari 2025

Jam	TURBIN GENERATOR UNIT 2					
	Beban Aktif	Arus	Tegangan	Cos ϕ Lagging	Putaran	Frekuensi
	(KW)	(A)	(V)		(rpm)	(Hz)
07:00	450	720	380	0,95	1500	50,04
08:00	460	736	380	0,95	1500	50,03
09:00	450	720	380	0,95	1500	50,05
10:00	490	784	380	0,95	1499	49,98
11:00	490	784	380	0,95	1499	49,97
12:00	500	800	380	0,95	1500	50,02
13:00	520	823	380	0,96	1500	50,01
14:00	440	696	380	0,96	1500	50,03
15:00	450	712	380	0,96	1500	50,02
16:00	490	775	380	0,96	1500	50,01
17:00	500	791	380	0,96	1500	50,05
18:00	510	807	380	0,96	1499	49,98
18:30	520	832	380	0,95	1499	49,97
19:00	520	832	380	0,95	1500	50,03
19:30	520	832	380	0,95	1501	50,05
20:00	520	832	380	0,95	1501	50,05
20:30	500	800	380	0,95	1500	50,02
21:00	510	807	380	0,96	1500	50,03
21:30	520	823	380	0,96	1500	50,04
22:00	480	760	380	0,96	1500	50,00
22:30	480	760	380	0,96	1500	50,02
23:00	480	760	380	0,96	1500	50,04
24:00	500	800	380	0,95	1499	49,99
01:00	500	800	380	0,95	1499	49,98
02:00	500	800	380	0,95	1500	50,04
03:00	510	816	380	0,95	1500	50,06
04:00	500	800	380	0,95	1500	50,04
05:00	480	768	380	0,95	1501	50,09
06:00	480	768	380	0,95	1501	50,08

Tabel 4.1 hingga Tabel 4.5 menunjukkan data operasional harian dari generator unit 2 PLTU PKS Adolina, yang menggambarkan kondisi operasi dengan beban yang bervariasi setiap harinya, mulai dari 350 kW hingga 540 kW. Data ini mencerminkan fluktuasi beban yang terjadi dalam periode operasional.

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



Gambar 4. 1 Grafik Hubungan Beban Setiap Waktu (*Load-Duration Curve*)

Dapat dilihat pada Gambar 4.1 bahwa beban selalu berubah setiap jamnya. Perubahan beban ini terjadi karena pemakaian daya oleh peralatan di pabrik yang selalu berfluktuasi. Beban rata-rata yang ditanggung oleh PLTU PKS Adolina berkisar antara 400-500 kW. Namun, pada tanggal 18 Februari 2025, beban sempat turun hingga di bawah 350 kW, terutama pada pagi hingga siang hari. Hal ini disebabkan oleh penurunan pemakaian daya pada motor listrik 3 fasa. Setelah siang hari, beban kembali naik secara bertahap hingga stabil di malam hari. Perubahan ini menunjukkan adanya pola penggunaan daya yang berbeda setiap harinya, bergantung pada kebutuhan operasional pabrik.

4.2 Pembahasan Hasil Penelitian

4.2.1 Karakteristik kerja speed droop governor dalam menjaga kestabilan frekuensi pada sistem tenaga listrik

Perubahan beban yang terjadi secara terus-menerus menyebabkan ketidakstabilan frekuensi. Hal ini dipengaruhi oleh fluktuasi konsumsi daya aktif oleh peralatan pabrik yang selalu berubah seiring waktu. Berdasarkan data yang disajikan dalam Tabel 4.1 hingga Tabel 4.5, terlihat bahwa beban mengalami perubahan setiap saat. Frekuensi akan meningkat saat beban menurun, dan sebaliknya, ketika beban meningkat, frekuensi serta putaran generator akan menurun. Dengan kata lain, jika daya yang dihasilkan oleh generator lebih besar dibandingkan dengan kebutuhan daya aktif peralatan pabrik, maka frekuensi akan naik. Sebaliknya, jika daya keluaran generator lebih kecil dari kebutuhan daya aktif, maka frekuensi akan mengalami penurunan.

Stabilitas frekuensi sistem tenaga listrik harus dipertahankan pada sekitar 50 Hz, sesuai dengan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tentang Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik (Grid Code). Dalam aturan tersebut, toleransi frekuensi yang diperbolehkan adalah $\pm 0,2$ Hz dari nilai nominal 50 Hz. Oleh karena itu, respons dan kinerja governor menjadi sangat penting dalam menjaga kestabilan ini. Salah satu variabel utama yang memengaruhi respons dan kinerja governor adalah *speed droop*, yaitu parameter yang mengatur hubungan antara perubahan daya aktif keluaran generator dengan perubahan frekuensi sistem.

Nilai besar kecilnya speed droop berpengaruh pada aksi dan kerja governor untuk merespon perubahan frekuensi. Pada PLTU PKS Adolina nilai speed droop yang ditentukan sebesar 3% sehingga dengan persamaan (2.10) maka dapat dihitung toleransi atau putaran yang mampu dijaga governor saat terjadi beban penuh adalah sebagai berikut:

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

$$SD = 3\%$$

$$n_1 = 1500 \text{ rpm}$$

$$n_0 = 1500 \text{ rpm, Maka :}$$

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

$$3\% = \frac{1500 \text{ rpm} - n_2}{1500 \text{ rpm}} \times 100\%$$

$$n_2 = 1500 \text{ rpm} - 45 \text{ rpm} = 1455 \text{ rpm}$$

Dengan nilai speed droop sebesar 3% maka putaran generator saat beban penuh akan turun 45 rpm atau menjadi 1455 rpm. Dengan jumlah kutub generator PLTU PKS Adolina Unit 2 sebanyak 4 buah, menurut persamaan (2.1) maka dapat dihitung nilai frekuensi saat terjadi beban penuh :

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

$$f = \frac{1455 \cdot 4}{120}$$

$$f = 48,5 \text{ Hz}$$

Sesuai dengan perhitungan nilai frekuensi saat beban penuh dengan menggunakan persamaan (2.1) maka dapat diketahui bahwa unit pembangkit jika dibebani penuh maka frekuensinya akan turun 1.5 Hz. Dengan nilai setting speed droop yang telah ditetapkan sebesar 3% berarti ketika terjadi perubahan frekuensi sebesar 1.5 Hz maka respon atau kerja governor akan menambah atau mengurangi aliran uap ke turbin hingga daya aktif yang dikeluarkan oleh generator bernilai maksimum 800 KW.

Selanjutnya, jika nilai setting speed droop diubah menjadi 5%, maka dengan metode perhitungan yang sama, putaran generator saat mencapai beban penuh dapat ditentukan sebagai berikut:

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

$$SD = 5\%$$

$$n_1 = 1500 \text{ rpm}$$

$$n_0 = 1500 \text{ rpm, Maka :}$$

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

$$5\% = \frac{1500 \text{ rpm} - n_2}{1500 \text{ rpm}} \times 100\%$$

$$n_2 = 1500 \text{ rpm} - 75 \text{ rpm} = 1425 \text{ rpm}$$

Dengan *setting speed droop* sebesar 5%, putaran generator saat mengalami beban penuh akan berkurang sebesar 75 rpm, sehingga menjadi 1425 rpm. Pada

putaran tersebut, frekuensi generator saat dibebani penuh dapat dihitung sebagai berikut:

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

$$f = \frac{1425 \cdot 4}{120}$$

$$f = 47,5 \text{ Hz}$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa putaran generator dan frekuensi saat beban penuh dengan karakteristik nilai speed droop sebesar 5% maka governor akan bereaksi menambah daya maksimum 800 KW saat terjadi perubahan frekuensi sebesar 2,5 Hz. Jadi, dari hasil perbandingan nilai speed droop diatas dapat disimpulkan bahwa semakin kecil karakteristik nilai speed droop maka respon governor semakin peka terhadap perubahan nilai frekuensi. Hal ini dapat dilihat dari Tabel 4.6 , sebagai berikut sesuai dengan spesifikasi governor :

Tabel 4. 6 Karakteristik Speed Droop

SD	Putaran (rpm)	Frekuensi (Hz)
1%	1485	49,5
2%	1470	49
3%	1455	48,5
4%	1440	48
5%	1425	47,5
6%	1410	47
7%	1395	46,5
8%	1380	46
9%	1365	45,5
10%	1350	45

Berdasarkan Tabel 4.6, dapat diketahui bahwa semakin kecil nilai speed droop, maka semakin kecil perubahan putaran saat beban penuh, dan semakin kecil pula perubahan frekuensinya. Ketika speed droop diatur pada nilai terkecil, yaitu 1%, governor mampu merespons perubahan frekuensi dalam rentang 49,5 - 50,5 Hz, dengan perubahan putaran antara 1485 – 1515 rpm.

Sebaliknya, ketika speed droop diatur pada nilai terbesar, yaitu 10%, governor merespons perubahan frekuensi dalam kisaran 45 - 55 Hz, dengan perubahan putaran antara 1350 – 1650 rpm. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa

semakin kecil nilai speed droop, semakin sensitif governor dalam merespons perubahan frekuensi dan putaran.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Pamundra (2020) menunjukkan hasil serupa, di mana dengan speed droop sebesar 5%, pada putaran 3000 rpm, terjadi penurunan 150 rpm menjadi 2850 rpm saat beban penuh, sehingga frekuensi turun menjadi 47,5 Hz. Hasil ini sejalan dengan data yang ditunjukkan dalam Tabel 4.6.

Untuk menganalisis kinerja governor pada PLTU PKS Adolina Unit 2, perhitungan dilakukan berdasarkan Tabel 4.1 hingga Tabel 4.7, dengan menggunakan persamaan (2.1) dan (2.8) sebagai berikut:

Tabel 4. 7 Hasil perhitungan speed droop aktual dan perbandingan antara frekuensi teoritis dan frekuensi aktual tanggal 17 Februari 2025

Jam	TURBIN GENERATOR UNIT 2					
	Cos ϕ Lagging	Putaran (rpm)	SD Aktual %	Frekuensi		Error Frekuensi %
				Aktual Hz	Teotiritis Hz	
07:00	0,95	1500	0,00	50,03	50,00	0,06
08:00	0,95	1500	0,00	50,01	50,00	0,02
09:00	0,95	1501	-0,07	50,06	50,03	0,05
10:00	0,96	1498	0,13	49,98	49,93	0,09
11:00	0,96	1498	0,13	49,97	49,93	0,07
12:00	0,96	1498	0,13	49,95	49,93	0,03
13:00	0,96	1497	0,20	49,93	49,90	0,06
14:00	0,96	1497	0,20	49,91	49,90	0,02
15:00	0,95	1497	0,20	49,92	49,90	0,04
16:00	0,95	1497	0,20	49,90	49,90	0,00
17:00	0,95	1496	0,27	49,91	49,87	0,09
18:00	0,95	1497	0,20	49,93	49,90	0,06
18:30	0,95	1497	0,20	49,94	49,90	0,08
19:00	0,95	1497	0,20	49,98	49,90	0,16
19:30	0,96	1497	0,20	49,96	49,90	0,12
20:00	0,96	1498	0,13	49,95	49,93	0,03
20:30	0,96	1498	0,13	49,95	49,93	0,03
21:00	0,96	1499	0,07	49,99	49,97	0,05
21:30	0,96	1499	0,07	50,00	49,97	0,07
22:00	0,96	1499	0,07	50,01	49,97	0,09
22:30	0,96	1500	0,00	50,01	50,00	0,02
23:00	0,95	1500	0,00	50,03	50,00	0,06
24:00	0,95	1501	-0,07	50,07	50,03	0,07
01:00	0,95	1501	-0,07	50,06	50,03	0,05
02:00	0,95	1500	0,00	50,01	50,00	0,02
03:00	0,95	1497	0,20	49,97	49,90	0,14
04:00	0,95	1498	0,13	49,97	49,93	0,07
05:00	0,95	1498	0,13	49,99	49,93	0,11
06:00	0,95	1499	0,07	49,98	49,97	0,03

Berdasarkan Tabel 4.7, dapat diketahui bahwa eror frekuensi yang terjadi pada PLTU PKS Adolina Unit 2 <1% sehingga dapat dikatakan bahwa *governor* bekerja dengan baik menjaga frekuensi dan putaran. Dimana putaran terendah berada pada jam 17:00 WIB dengan nilai putaran 1496 rpm, sehingga nilai *speed*

droop aktual pada jam tersebut yaitu 0.27% artinya perlu menambah putaran 0.27% untuk mengembalikan ke putaran nominal dan eror frekuensinya sebesar 0.09%. Putaran tertinggi yaitu 1501 rpm salah satunya terjadi pada jam 09:00 WIB,, sehingga nilai *speed droop* aktual pada jam tersebut -0,07% artinya perlu pengurangan putaran -0.07% untuk mengembalikan ke putaran nominal dan eror frekuensinya sebesar 0.05%.

Tabel 4. 8 Hasil perhitungan speed droop aktual dan perbandingan antara frekuensi teoritis dan frekuensi aktual tanggal 18 Februari 2025

Jam	TURBIN GENERATOR UNIT 2					
	Cos ϕ Lagging	Putaran (rpm)	SD Aktual %	Frekuensi		Error Frekuensi %
				Aktual Hz	Teotiritis Hz	
07:00	0,95	1500	0,00	50,00	50,00	0,00
08:00	0,95	1501	-0,07	50,03	50,03	0,01
09:00	0,95	1498	0,13	49,98	49,93	0,09
10:00	0,96	1495	0,33	49,95	49,83	0,23
11:00	0,96	1497	0,20	49,97	49,90	0,14
12:00	0,96	1497	0,20	49,97	49,90	0,14
13:00	0,96	1498	0,13	49,98	49,93	0,09
14:00	0,96	1498	0,13	49,98	49,93	0,09
15:00	0,95	1500	0,00	50,00	50,00	0,00
16:00	0,95	1501	-0,07	50,03	50,03	0,01
17:00	0,95	1501	-0,07	50,04	50,03	0,01
18:00	0,95	1499	0,07	49,99	49,97	0,05
18:30	0,95	1499	0,07	49,99	49,97	0,05
19:00	0,95	1500	0,00	50,01	50,00	0,02
19:30	0,96	1500	0,00	50,03	50,00	0,06
20:00	0,96	1497	0,20	49,97	49,90	0,14
20:30	0,96	1498	0,13	49,98	49,93	0,09
21:00	0,96	1501	-0,07	50,06	50,03	0,05
21:30	0,96	1501	-0,07	50,07	50,03	0,07
22:00	0,96	1500	0,00	50,00	50,00	0,00
22:30	0,96	1500	0,00	50,01	50,00	0,02
23:00	0,95	1502	-0,13	50,09	50,07	0,05
24:00	0,95	1499	0,07	49,99	49,97	0,05
01:00	0,95	1501	-0,07	50,05	50,03	0,03
02:00	0,95	1500	0,00	50,02	50,00	0,04
03:00	0,95	1500	0,00	50,01	50,00	0,02
04:00	0,95	1501	-0,07	50,06	50,03	0,05
05:00	0,95	1500	0,00	50,00	50,00	0,00
06:00	0,95	1501	-0,07	50,06	50,03	0,05

Berdasarkan Tabel 4.8, dapat diketahui bahwa eror frekuensi yang terjadi pada PLTU PKS Adolina Unit 2 <1% sehingga dapat dikatakan bahwa *governor* bekerja dengan baik menjaga frekuensi dan putaran. Dimana putaran terendah berada pada jam 10:00 WIB dengan nilai putaran 1495 rpm, sehingga nilai *speed*

droop aktual pada jam tersebut yaitu 0.33% artinya perlu menambah putaran 0.33% untuk mengembalikan ke putaran nominal dan eror frekuensinya sebesar 0.23%. Putaran tertinggi terjadi pada jam 23:00 WIB yaitu 502 rpm , sehingga nilai *speed droop* aktual pada jam tersebut -0,13% artinya perlu pengurangan putaran -0.13% untuk mengembalikan ke putaran nominal dan eror frekuensinya sebesar 0.5%.

Tabel 4. 9 Hasil perhitungan speed droop aktual dan perbandingan antara frekuensi teoritis dan frekuensi aktual tanggal 19 Februari 2025

Jam	TURBIN GENERATOR UNIT. 2					
	Cos ϕ Lagging	Putaran (rpm)	SD Aktual %	Frekuensi		Error Frekuensi %
				Aktual Hz	Teotiritis Hz	
07:00	0,95	1500	0,00	50,00	50,00	0,00
08:00	0,95	1501	-0,07	50,07	50,03	0,07
09:00	0,95	1500	0,00	50,02	50,00	0,04
10:00	0,95	1499	0,07	49,99	49,97	0,05
11:00	0,95	1498	0,13	49,97	49,93	0,07
12:00	0,95	1499	0,07	49,98	49,97	0,03
13:00	0,95	1499	0,07	49,98	49,97	0,03
14:00	0,95	1499	0,07	49,98	49,97	0,03
15:00	0,96	1498	0,13	49,97	49,93	0,07
16:00	0,96	1500	0,00	50,02	50,00	0,04
17:00	0,96	1497	0,20	49,96	49,90	0,12
18:00	0,96	1501	-0,07	50,06	50,03	0,05
18:30	0,96	1501	-0,07	50,07	50,03	0,07
19:00	0,96	1501	-0,07	50,08	50,03	0,09
19:30	0,95	1502	-0,13	50,12	50,07	0,11
20:00	0,95	1501	-0,07	50,06	50,03	0,05
20:30	0,95	1499	0,07	49,98	49,97	0,03
21:00	0,95	1499	0,07	49,97	49,97	0,01
21:30	0,95	1500	0,00	50,02	50,00	0,04
22:00	0,95	1501	-0,07	50,07	50,03	0,07
22:30	0,95	1500	0,00	50,03	50,00	0,06
23:00	0,96	1500	0,00	50,03	50,00	0,06
24:00	0,96	1501	-0,07	50,06	50,03	0,05
01:00	0,96	1501	-0,07	50,07	50,03	0,07
02:00	0,96	1502	-0,13	50,11	50,07	0,09
03:00	0,96	1502	-0,13	50,12	50,07	0,11
04:00	0,96	1500	0,00	50,04	50,00	0,08
05:00	0,95	1500	0,00	50,05	50,00	0,10
06:00	0,95	1500	0,00	50,02	50,00	0,04

Berdasarkan Tabel 4.9, dapat diketahui bahwa eror frekuensi yang terjadi pada PLTU PKS Adolina Unit 2 <1% sehingga dapat dikatakan bahwa *governor* bekerja dengan baik menjaga frekuensi dan putaran. Dimana putaran terendah berada pada jam 17:00 WIB dengan nilai putaran 1497 rpm, sehingga nilai *speed*

droop aktual pada jam tersebut yaitu 0.20% artinya perlu menambah putaran 0.20% untuk mengembalikan ke putaran nominal dan eror frekuensinya sebesar 0.12%. Putaran tertinggi yaitu 502 rpm salah satunya terjadi pada jam 02:00 WIB , sehingga nilai *speed droop* aktual pada jam tersebut -0,13% artinya perlu pengurangan putaran -0.13% untuk mengembalikan ke putaran nominal dan eror frekuensinya sebesar 0.09%.

Tabel 4. 10 Hasil perhitungan speed droop aktual dan perbandingan antara frekuensi teoritis dan frekuensi aktual tanggal 20 Februari 2025

Jam	TURBIN GENERATOR UNIT. 2					
	Cos ϕ Lagging	Putaran (rpm)	SD Aktual %	Frekuensi		Error Frekuensi %
				Aktual Hz	Teotiritis Hz	
07:00	0,95	1500	0,00	50,03	50,00	0,06
08:00	0,95	1499	0,07	49,98	49,97	0,03
09:00	0,96	1499	0,07	49,99	49,97	0,05
10:00	0,96	1499	0,07	49,99	49,97	0,05
11:00	0,96	1501	-0,07	50,09	50,03	0,11
12:00	0,96	1500	0,00	50,07	50,00	0,14
13:00	0,95	1500	0,00	50,02	50,00	0,04
14:00	0,95	1500	0,00	50,03	50,00	0,06
15:00	0,95	1500	0,00	50,05	50,00	0,10
16:00	0,95	1500	0,00	50,06	50,00	0,12
17:00	0,95	1500	0,00	50,07	50,00	0,14
18:00	0,95	1499	0,07	49,98	49,97	0,03
18:30	0,96	1499	0,07	49,97	49,97	0,01
19:00	0,96	1500	0,00	50,02	50,00	0,04
19:30	0,96	1500	0,00	50,03	50,00	0,06
20:00	0,96	1501	-0,07	50,07	50,03	0,07
20:30	0,95	1501	-0,07	50,08	50,03	0,09
21:00	0,95	1501	-0,07	50,09	50,03	0,11
21:30	0,95	1500	0,00	50,04	50,00	0,08
22:00	0,95	1499	0,07	49,99	49,97	0,05
22:30	0,95	1500	0,00	50,02	50,00	0,04
23:00	0,96	1500	0,00	50,00	50,00	0,00
24:00	0,96	1500	0,00	50,04	50,00	0,08
01:00	0,96	1500	0,00	50,06	50,00	0,12
02:00	0,96	1500	0,00	50,03	50,00	0,06
03:00	0,95	1500	0,00	50,04	50,00	0,08
04:00	0,95	1500	0,00	50,02	50,00	0,04
05:00	0,95	1500	0,00	50,01	50,00	0,02
06:00	0,95	1500	0,00	50,03	50,00	0,06

Berdasarkan Tabel 4.10, dapat diketahui bahwa eror frekuensi yang terjadi pada PLTU PKS Adolina Unit 2 <1% sehingga dapat dikatakan bahwa *governor* bekerja dengan baik menjaga frekuensi dan putaran. Dimana putaran terendah yaitu 1499 rpm salah satunya terjadi pada jam 10:00 WIB , sehingga nilai *speed droop*

aktual pada jam tersebut yaitu 0.07% artinya perlu menambah putaran 0.07% untuk mengembalikan ke putaran nominal dan eror frekuensinya sebesar 0.05%. Putaran tertinggi yaitu 501 rpm salah satunya terjadi pada jam 20:00 WIB , sehingga nilai *speed droop* aktual pada jam tersebut -0,07% artinya perlu pengurangan putaran 0.07% untuk mengembalikan ke putaran nominal dan eror frekuensinya sebesar 0.07%.

Tabel 4. 11 Hasil perhitungan speed droop aktual dan perbandingan antara frekuensi teoritis dan frekuensi aktual tanggal 21 Februari 2025

Jam	TURBIN GENERATOR UNIT 2					
	Cos ϕ Lagging	Putaran (rpm)	SD Aktual %	Frekuensi		Error Frekuensi %
				Aktual Hz	Teotiritis Hz	
07:00	0,95	1500	0,00	50,04	50,00	0,08
08:00	0,95	1500	0,00	50,03	50,00	0,06
09:00	0,95	1500	0,00	50,05	50,00	0,10
10:00	0,95	1499	0,07	49,98	49,97	0,03
11:00	0,95	1499	0,07	49,97	49,97	0,01
12:00	0,95	1500	0,00	50,02	50,00	0,04
13:00	0,96	1500	0,00	50,01	50,00	0,02
14:00	0,96	1500	0,00	50,03	50,00	0,06
15:00	0,96	1500	0,00	50,02	50,00	0,04
16:00	0,96	1500	0,00	50,01	50,00	0,02
17:00	0,96	1500	0,00	50,05	50,00	0,10
18:00	0,96	1499	0,07	49,98	49,97	0,03
18:30	0,95	1499	0,07	49,97	49,97	0,01
19:00	0,95	1500	0,00	50,03	50,00	0,06
19:30	0,95	1501	-0,07	50,05	50,03	0,03
20:00	0,95	1501	-0,07	50,05	50,03	0,03
20:30	0,95	1500	0,00	50,02	50,00	0,04
21:00	0,96	1500	0,00	50,03	50,00	0,06
21:30	0,96	1500	0,00	50,04	50,00	0,08
22:00	0,96	1500	0,00	50,00	50,00	0,00
22:30	0,96	1500	0,00	50,02	50,00	0,04
23:00	0,96	1500	0,00	50,04	50,00	0,08
24:00	0,95	1499	0,07	49,99	49,97	0,05
01:00	0,95	1499	0,07	49,98	49,97	0,03
02:00	0,95	1500	0,00	50,04	50,00	0,08
03:00	0,95	1500	0,00	50,06	50,00	0,12
04:00	0,95	1500	0,00	50,04	50,00	0,08
05:00	0,95	1501	-0,07	50,09	50,03	0,11
06:00	0,95	1501	-0,07	50,08	50,03	0,09

Berdasarkan Tabel 4.11, dapat diketahui bahwa eror frekuensi yang terjadi pada PLTU PKS Adolina Unit 2 <1% sehingga dapat dikatakan bahwa *governor* bekerja dengan baik menjaga frekuensi dan putaran. Dimana putaran terendah yaitu 1499 rpm salah satunya terjadi pada jam 11:00 WIB , sehingga nilai *speed droop*

aktual pada jam tersebut yaitu 0.07% artinya perlu menambah putaran 0.07% untuk mengembalikan ke putaran nominal dan eror frekuensinya sebesar 0.01%. Putaran tertinggi yaitu 501 rpm salah satunya terjadi pada jam 05:00 WIB , sehingga nilai *speed droop* aktual pada jam tersebut -0,07% artinya perlu pengurangan putaran 0.07% untuk mengembalikan ke putaran nominal dan eror frekuensinya sebesar 0.11%.

4.2.2 Pengaruh pengaturan nilai *speed droop* governor terhadap kemampuan sistem dalam merespon perubahan frekuensi

PLTU PKS Adolina merupakan pembangkit listrik tenaga uap yang memiliki dua unit generator dengan kapasitas masing-masing 800 kW. Meskipun kedua unit tersedia, namun dalam operasionalnya hanya satu unit yang dijalankan pada satu waktu. PLTU PKS Adolina menetapkan nilai *speed droop* governor sebesar 3%. Nilai *speed droop* ini menjadi salah satu faktor penting yang memengaruhi kinerja governor dalam mengatur keluaran daya dari generator berdasarkan perubahan frekuensi yang terjadi pada sistem. Governor akan bekerja dengan menambah atau mengurangi aliran uap ke turbin, sehingga keluaran daya dari generator bisa disesuaikan terhadap kondisi sistem, terutama saat terjadi perubahan frekuensi. Dengan menggunakan persamaan (2.11) untuk kapasitas generator dan *speed droop* governor dengan mengacu pada frekuensi referensi sebesar 50 Hz, maka dapat dihitung sebagai berikut:

$$K = \frac{1}{\text{speed droop}} \times \frac{P_0}{f_0}$$

$$K = \frac{1}{3\%} \times \frac{800kW}{50 Hz}$$

$$K = 533,3 kW/Hz \text{ tiap generator}$$

Artinya, dengan nilai *speed droop* sebesar 3%, governor pada PLTU PKS Adolina akan merespon ketika terjadi perubahan frekuensi sebesar 1 Hz dengan menambah atau mengurangi aliran uap ke turbin, sehingga daya keluaran dari generator akan ikut berubah. Berdasarkan perhitungan sebelumnya, diketahui bahwa dengan kapasitas generator sebesar 800 kW, maka governor pada unit pembangkit ini mampu merespon perubahan daya sebesar 533,3 kW untuk setiap

perubahan frekuensi sebesar 1 Hz, tanpa melibatkan pengaturan sekunder, dalam rentang frekuensi antara 48,5 hingga 51,5 Hz.

Selanjutnya setelah nilai K didapatkan, maka dapat diketahui respon *governor* setiap terjadi perubahan nilai frekuensi, dengan menggunakan persamaan (2.12) maka dapat dilihat:

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

Dimana :

$$\Delta P = -533,3 \text{ KW/Hz} \times (49,99 \text{ Hz} - 50 \text{ Hz})$$

$$\Delta P = 5,33 \text{ KW}$$

Dari perhitungan diatas, dapat diketahui bahwa ketika frekuensi sistem turun menjadi 49,99 Hz maka governor akan merespon perubahan tersebut dengan menambah daya keluaran generator sebesar 5,33 kW.

Selanjutnya dimisalkan nilai speed droop diubah menjadi 5%. Dengan cara perhitungan yang sama maka dapat diketahui respon governor setiap terjadi perubahan 1 Hz frekuensi :

$$K = \frac{1}{\text{speed droop}} \times \frac{P_0}{f_0}$$

$$K = \frac{1}{5\%} \times \frac{800 \text{ KW}}{50 \text{ Hz}}$$

$$K = 320 \text{ KW/Hz} \text{ tiap generator}$$

Pada perhitungan diatas dapat diketahui bahwa dengan nilai speed droop 5% dengan total daya 800KW maka PLTU PKS Adolina mampu merespon 320 KW jika terjadi perubahan frekuensi sebesar 1 Hz tanpa adanya pengaturan sekunder dari rentang 47,5 – 52,5 Hz. Sehingga dapat diketahui pula bahwa semakin kecil nilai *speed droop* governor maka semakin besar pula kerja governor dan generator.

Dengan didapatkan nilai K atau faktor partisipasi governor, maka dapat diketahui pula respon governor setiap terjadinya perubahan nilai frekuensi sistem dengan menggunakan persamaan (2.12).

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

Dimana :

$$\Delta P = -320 \text{ KW/Hz} \times (49,99 \text{ Hz} - 50 \text{ Hz})$$

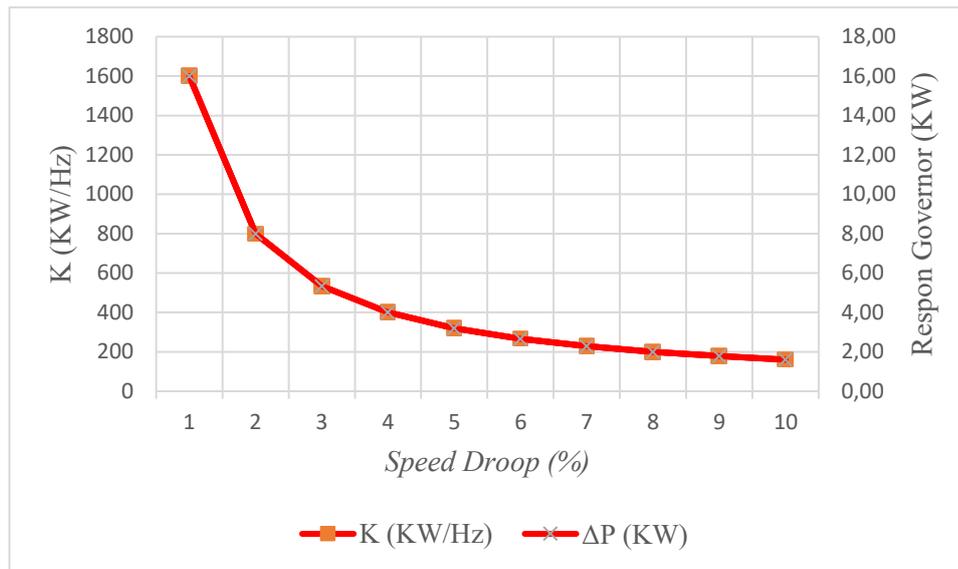
$$\Delta P = 3,2 \text{ KW}$$

Dari perhitungan di atas, dapat diketahui bahwa ketika frekuensi sistem berubah menjadi 49.99 Hz maka *governor* akan merespon dengan menambahkan daya keluaran generator sebesar 3,2 KW. Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat diketahui bahwa semakin kecil nilai *speed droop* maka semakin besar perubahan daya yang terjadi. Hal ini dapat dilihat dari Tabel 4.12 berikut sesuai dengan spesifikasi governor :

Tabel 4. 12 Pengaruh Pengaturan *Speed Droop* terhadap Faktor Partisipasi (*K*) dan Respon Governor (ΔP)

<i>Speed Droop</i> (%)	K KW/Hz	ΔP KW
1	1600,00	16,00
2	800,00	8,00
3	533,33	5,33
4	400,00	4,00
5	320,00	3,20
6	266,67	2,67
7	228,57	2,29
8	200,00	2,00
9	177,78	1,78
10	160,00	1,60

Berdasarkan Tabel 4.12, menunjukkan pengaruh pengaturan nilai *speed droop* terhadap faktor partisipasi sistem (*K*) dan respons daya dari governor (ΔP). Dari tabel tersebut terlihat bahwa semakin kecil nilai *speed droop* yang diterapkan, maka nilai *K* dan ΔP akan semakin besar. Sebagai contoh, pada *speed droop* sebesar 1%, nilai *K* mencapai 1600 kW/Hz dan respons daya ΔP sebesar 16 kW untuk setiap deviasi frekuensi 0,01 Hz. Sebaliknya, jika nilai *speed droop* dinaikkan menjadi 10%, maka nilai *K* turun drastis menjadi 160 kW/Hz, dan ΔP hanya sebesar 1,6 kW. Hal ini menunjukkan bahwa pengaturan nilai *speed droop* sangat memengaruhi sensitivitas dan kecepatan respons sistem terhadap perubahan frekuensi. Semakin kecil nilai *speed droop*, maka sistem menjadi lebih responsif terhadap penurunan frekuensi, karena governor akan memberikan koreksi daya yang lebih besar. Sebaliknya, semakin besar nilai *speed droop*, sistem akan menjadi kurang sensitif dan respons yang diberikan terhadap fluktuasi frekuensi juga menjadi lebih lambat atau kecil.



Gambar 4. 2 Pengaruh Pengaturan Speed Droop terhadap Faktor Partisipasi (K) dan Respon Governor (ΔP)

Berdasarkan Gambar 4.2, memperlihatkan hubungan antara pengaturan nilai *speed droop* terhadap faktor partisipasi sistem (K) dan respons daya dari governor (ΔP). Terlihat bahwa semakin besar nilai *speed droop* yang ditetapkan, maka baik nilai K maupun ΔP cenderung mengalami penurunan secara signifikan. Pada saat *speed droop* disetel sebesar 1%, nilai K mencapai puncaknya yaitu 1600 kW/Hz dan ΔP sebesar 16 kW. Namun ketika *speed droop* dinaikkan menjadi 10%, nilai K dan ΔP masing-masing turun menjadi 160 kW/Hz dan 1,6 kW. Grafik ini menunjukkan pola penurunan eksponensial, yang menggambarkan sensitivitas sistem terhadap perubahan frekuensi menjadi semakin kecil seiring meningkatnya nilai *speed droop*. Artinya, semakin besar pengaturan *speed droop*, semakin lambat respons governor terhadap fluktuasi frekuensi, yang berpotensi menyebabkan kestabilan sistem kurang optimal saat terjadi gangguan atau lonjakan beban. Sebaliknya, dengan *speed droop* yang lebih kecil, sistem dapat memberikan koreksi daya lebih cepat dan besar terhadap deviasi frekuensi, sehingga lebih efektif dalam menjaga frekuensi tetap mendekati nilai nominal. Dengan demikian, tabel ini memperjelas bahwa pemilihan nilai *speed droop* sangat memengaruhi kecepatan respon dan besarnya penyesuaian daya oleh governor dalam menjaga kestabilan frekuensi sistem pembangkit.

Daya aktif memiliki hubungan yang sangat erat dengan nilai frekuensi dalam sistem tenaga listrik. Pasokan daya aktif dari pembangkit harus seimbang dengan kebutuhan daya aktif dari beban. Jika beban membutuhkan daya aktif lebih besar dibandingkan yang mampu disuplai oleh pembangkit, maka frekuensi sistem akan menurun. Sebaliknya, jika daya aktif yang dihasilkan pembangkit melebihi kebutuhan beban, maka frekuensi akan mengalami kenaikan.

Berdasarkan data dari Tabel 4.1 hingga Tabel 4.7, terlihat bahwa setiap jam terjadi perubahan daya aktif dan perubahan nilai frekuensi. Nilai frekuensi tidak akan pernah stabil 50 Hz, hal ini disebabkan oleh perubahan beban daya aktif yang terus-menerus sepanjang waktu. Sebagai contoh pada Tabel 4.1 jam 09:00 PLTU PKS Adolina unit 2 beroperasi dengan beban 500 KW dan frekuensi tercatat sebesar 50,06 Hz. Sedangkan pada jam 16:00, terjadi penurunan frekuensi menjadi 49,90, dengan beban sedikit meningkat menjadi 510 KW.

Dengan menggunakan data pada jam 09:00 WIB pada Tabel 4.1, maka dapat diketahui berapa keluaran generator yang diperlukan sesuai dengan perubahan frekuensi yang terjadi senilai 50,06 Hz :

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

$$P_0 = \sqrt{3} \cdot 380V \cdot 800A \cdot (0,95) = 500 \text{ KW}$$

Sehingga pada jam 09:00 Keluaran generator PLTU PKS Adolina Unit 2 sebesar 500 KW. Kemudian akan dihitung respon governor untuk mengembalikan nilai frekuensi menjadi 50 Hz dengan menggunakan persamaan (2.11) dan (2.12) :

$$K = \frac{1}{\text{speed droop}} \times \frac{P_0}{f_0}$$

$$K = \frac{1}{3\%} \times \frac{500 \text{ KW}}{50 \text{ Hz}} = 333,33 \text{ KW/Hz}$$

Sehingga dengan nilai speed droop 3% sesuai dengan nilai yang ditetapkan pada PLTU PKS Adolina. Maka respon governor akan menambah atau mengurangi keluaran daya aktif generator sebesar 333,33 KW setiap terjadi perubahan frekuensi 1 Hz. Dari nilai tersebut dapat diketahui berapa perubahan keluaran daya generator ketika nilai frekuensi sebesar 50,06 Hz.

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

$$\Delta P = -300,33 \text{ KW/Hz} \times (50,06 \text{ Hz} - 50 \text{ Hz})$$

$$\Delta P = -20,00 \text{ KW}$$

Sehingga dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa untuk mengembalikan frekuensi ke nilai 50 Hz maka governor akan merespon dengan mengurangi keluaran generator sebesar 20,00 KW.

Jadi pada jam 09:00 daya aktif yang perlu dikeluarkan generator sebesar :

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

$$P' = 500 \text{ KW/Hz} + (-20 \text{ KW}) = 480 \text{ KW}$$

Jadi daya aktif yang diperlukan oleh keluaran generator untuk mengembalikan frekuensi menjadi 50 Hz sebesar 480 KW.

Sementara itu, pada pukul 16:00 terjadi penurunan frekuensi di bawah 50 Hz, yaitu mencapai 49,90 Hz. Penurunan ini disebabkan oleh meningkatnya kebutuhan daya pada sistem. Untuk menentukan berapa besar daya keluaran generator yang dibutuhkan agar frekuensi dapat kembali stabil di angka 50 Hz, dilakukan perhitungan dengan metode yang sama seperti sebelumnya, yaitu menggunakan persamaan (2.9) sebagai dasar untuk menghitung daya keluaran generator :

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

$$P_0 = \sqrt{3} \cdot 380V \cdot 816A \cdot (0,95) = 510 \text{ KW}$$

Sehingga pada jam 16:00 Keluaran generator PLTU PKS Adolina Unit 2 sebesar 510 KW. Kemudian akan dihitung respon governor untuk mengembalikan nilai frekuensi menjadi 50 Hz dengan menggunakan persamaan (2.11) dan (2.12) :

$$K = \frac{1}{\text{speed droop}} \times \frac{P_0}{f_0}$$

$$K = \frac{1}{3\%} \times \frac{510 \text{ KW}}{50 \text{ Hz}} = 340 \text{ KW/Hz}$$

Sehingga dengan nilai speed droop 3% sesuai dengan nilai yang ditetapkan pada PLTU PKS Adolina. Maka respon governor akan menambah atau mengurangi keluaran daya aktif generator sebesar 340 KW setiap terjadi perubahan frekuensi 1 Hz. Dari nilai tersebut dapat diketahui berapa perubahan keluaran daya generator ketika nilai frekuensi sebesar 49,90 Hz.

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

$$\Delta P = -340 \text{ KW/Hz} \times (49,90 \text{ Hz} - 50 \text{ Hz})$$

$$\Delta P = 34 \text{ KW}$$

Sehingga dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa untuk mengembalikan frekuensi ke nilai 50 Hz maka governor akan merespon dengan menambah keluaran generator sebesar 34 KW.

Jadi pada jam 16:00 daya aktif yang perlu dikeluarkan generator sebesar :

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

$$P' = 510 \text{ KW/Hz} + 34 \text{ KW} = 544 \text{ KW}$$

Jadi daya aktif yang diperlukan oleh keluaran generator untuk mengembalikan frekuensi menjadi 50 Hz sebesar 544 KW.

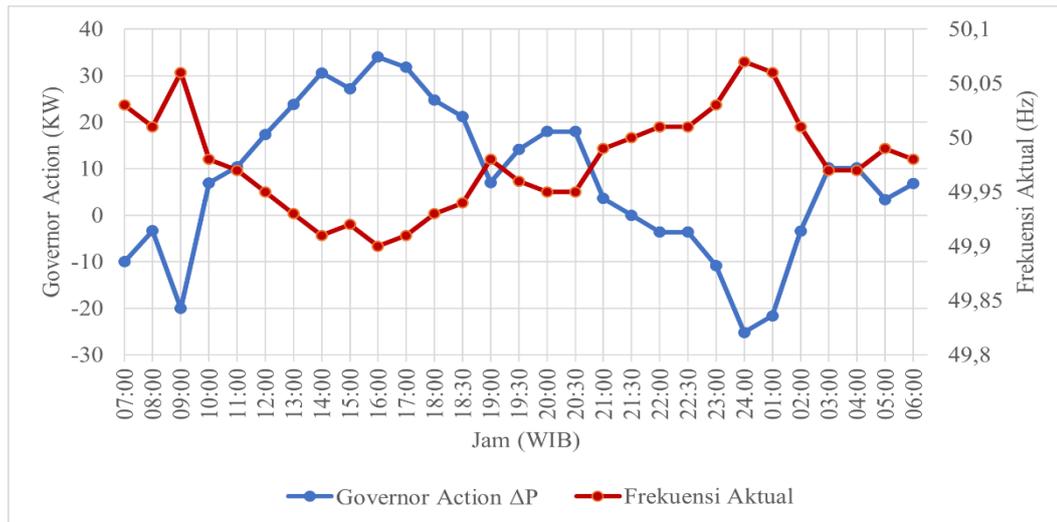
Tabel berikut memperlihatkan hasil perhitungan daya aktif generator secara teoritis dan daya aktif hasil respons governor akibat pengaturan speed droop terhadap variasi frekuensi :

Tabel 4. 13 Hasil perhitungan daya aktif generator berdasarkan respon governor terhadap perubahan frekuensi tanggal 17 Februari 2025

Jam	<i>Speed Droop = 3%</i>					
	P	Frekuensi	K	ΔP	P'	
	Teoritis				Hitung	Aktual
	KW	Hz	KW/Hz	KW	KW	KW
07:00	500	50,03	333,33	-10,00	490,00	500
08:00	500	50,01	333,33	-3,33	496,67	500
09:00	500	50,06	333,33	-20,00	480,00	500
10:00	520	49,98	346,67	6,93	526,93	520
11:00	520	49,97	346,67	10,40	530,40	520
12:00	520	49,95	346,67	17,33	537,33	520
13:00	510	49,93	340,00	23,80	533,80	510
14:00	510	49,91	340,00	30,60	540,60	510
15:00	510	49,92	340,00	27,20	537,20	510
16:00	510	49,90	340,00	34,00	544,00	510
17:00	530	49,91	353,33	31,80	561,80	530
18:00	530	49,93	353,33	24,73	554,73	530
18:30	530	49,94	353,33	21,20	551,20	530
19:00	530	49,98	353,33	7,07	537,07	530
19:30	530	49,96	353,33	14,13	544,13	530
20:00	540	49,95	360,00	18,00	558,00	540
20:30	540	49,95	360,00	18,00	558,00	540
21:00	540	49,99	360,00	3,60	543,60	540
21:30	540	50,00	360,00	0,00	540,00	540
22:00	540	50,01	360,00	-3,60	536,40	540
22:30	540	50,01	360,00	-3,60	536,40	540
23:00	540	50,03	360,00	-10,80	529,20	540
24:00	540	50,07	360,00	-25,20	514,80	540
01:00	540	50,06	360,00	-21,60	518,40	540
02:00	510	50,01	340,00	-3,40	506,60	510
03:00	510	49,97	340,00	10,20	520,20	510
04:00	510	49,97	340,00	10,20	520,20	510
05:00	510	49,99	340,00	3,40	513,40	510
06:00	510	49,98	340,00	6,80	516,80	510

Berdasarkan Tabel 4.13 dapat dilihat bahwa frekuensi terbesar ialah 50,06 Hz pada jam 09:00 WIB. Ketika frekuensi berada pada nilai 50,06 Hz maka respon governor akan mengurangi daya pada turbin sehingga keluaran generator berkurang sebanyak 20,00 KW. Sedangkan frekuensi terendah yaitu 49,90 Hz pada saat pukul

16:00 WIB. Ketika frekuensi berada pada nilai tersebut maka respon governor akan menambah daya pada turbin sehingga keluaran generator bertambah sebanyak 34,00 KW. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ketika frekuensi >50 maka governor akan mengurangi keluaran generator dengan mengurangi aliran uap ke turbin dan begitu sebaliknya ketika frekuensi <50 Hz maka governor akan menambah keluarana generator dengan menambahkan aliran uap ke turbin.



Gambar 4. 3 Grafik hubungan governor action dan frekuensi aktual setiap waktu pada tanggal 17 Februari 2025

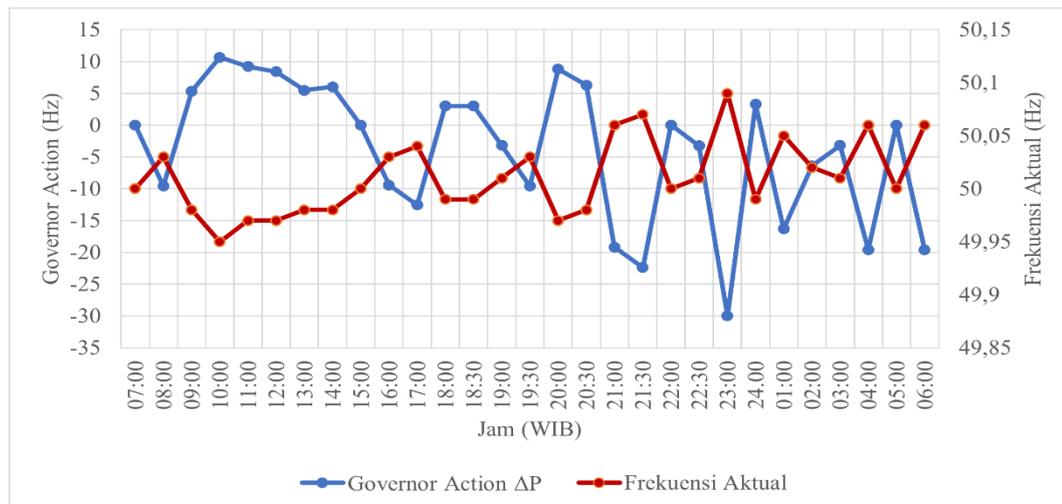
Berdasarkan Gambar 4.3, menunjukkan hubungan antara respons governor (ΔP) dan frekuensi aktual selama tanggal 17 Februari 2025, yang menggambarkan bagaimana sistem governor bekerja dalam menjaga kestabilan frekuensi pada PLTU PKS Adolina. Grafik memperlihatkan bahwa ketika frekuensi aktual turun di bawah nilai nominal 50 Hz, governor merespons dengan menaikkan daya keluaran (ΔP positif), sedangkan saat frekuensi naik melebihi 50 Hz, governor merespons dengan menurunkan daya keluaran (ΔP negatif). Misalnya, pada pukul 16:00 ketika frekuensi mencapai 49,90 Hz, governor memberikan respons sebesar 34,00 kW untuk meningkatkan daya, sementara pada pukul 09:00 saat frekuensi menyentuh 50,05 Hz, respons ΔP bernilai negatif sebesar 20 kW untuk menurunkan daya. Pola ini menunjukkan hubungan berbanding terbalik antara ΔP dan frekuensi, yang mencerminkan bahwa pengaturan speed droop sebesar 3% mampu memberikan respons adaptif terhadap perubahan beban, sehingga sistem tetap menjaga frekuensi di sekitar nilai nominal secara stabil.

Tabel 4. 14 Hasil perhitungan daya aktif generator berdasarkan respon governor terhadap perubahan frekuensi tanggal 18 Februari 2025

Jam	<i>Speed Droop = 3%</i>					
	P	Frekuensi	K	ΔP	P'	
	Teoritis				Hitung	Aktual
	KW	Hz	KW/Hz	KW	KW	KW
07:00	440	50,00	293,33	0,00	440,00	440
08:00	480	50,03	320,00	-9,60	470,40	480
09:00	400	49,98	266,67	5,33	405,33	400
10:00	320	49,95	213,33	10,67	330,67	320
11:00	460	49,97	306,67	9,20	469,20	460
12:00	420	49,97	280,00	8,40	428,40	420
13:00	410	49,98	273,33	5,47	415,47	410
14:00	450	49,98	300,00	6,00	456,00	450
15:00	470	50,00	313,33	0,00	470,00	470
16:00	470	50,03	313,33	-9,40	460,60	470
17:00	470	50,04	313,33	-12,53	457,47	470
18:00	450	49,99	300,00	3,00	453,00	450
18:30	450	49,99	300,00	3,00	453,00	450
19:00	480	50,01	320,00	-3,20	476,80	480
19:30	480	50,03	320,00	-9,60	470,40	480
20:00	440	49,97	293,33	8,80	448,80	440
20:30	470	49,98	313,33	6,27	476,27	470
21:00	480	50,06	320,00	-19,20	460,80	480
21:30	480	50,07	320,00	-22,40	457,60	480
22:00	480	50,00	320,00	0,00	480,00	480
22:30	490	50,01	326,67	-3,27	486,73	490
23:00	500	50,09	333,33	-30,00	470,00	500
24:00	490	49,99	326,67	3,27	493,27	490
01:00	490	50,05	326,67	-16,33	473,67	490
02:00	480	50,02	320,00	-6,40	473,60	480
03:00	480	50,01	320,00	-3,20	476,80	480
04:00	490	50,06	326,67	-19,60	470,40	490
05:00	480	50,00	320,00	0,00	480,00	480
06:00	490	50,06	326,67	-19,60	470,40	490

Berdasarkan Tabel 4.14 dapat dilihat bahwa frekuensi terbesar ialah 50,09 Hz pada jam 23:00 WIB. Ketika frekuensi berada pada nilai 50,09 Hz maka respon governor akan mengurangi daya pada turbin sehingga keluaran generator berkurang sebanyak 30,00 KW. Sedangkan frekuensi terendah yaitu 49,95 Hz pada saat pukul

10:00 WIB. Ketika frekuensi berada pada nilai tersebut maka respon governor akan menambah daya pada turbin sehingga keluaran generator bertambah sebanyak 10,67KW. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ketika frekuensi >50 maka governor akan mengurangi keluaran generator dengan mengurangi aliran uap ke turbin dan begitu sebaliknya ketika frekuensi <50 Hz maka governor akan menambah keluarana generator dengan menambahkan aliran uap ke turbin.



Gambar 4. 4 Grafik hubungan governor action dan frekuensi aktual setiap waktu pada tanggal 18 Februari 2025

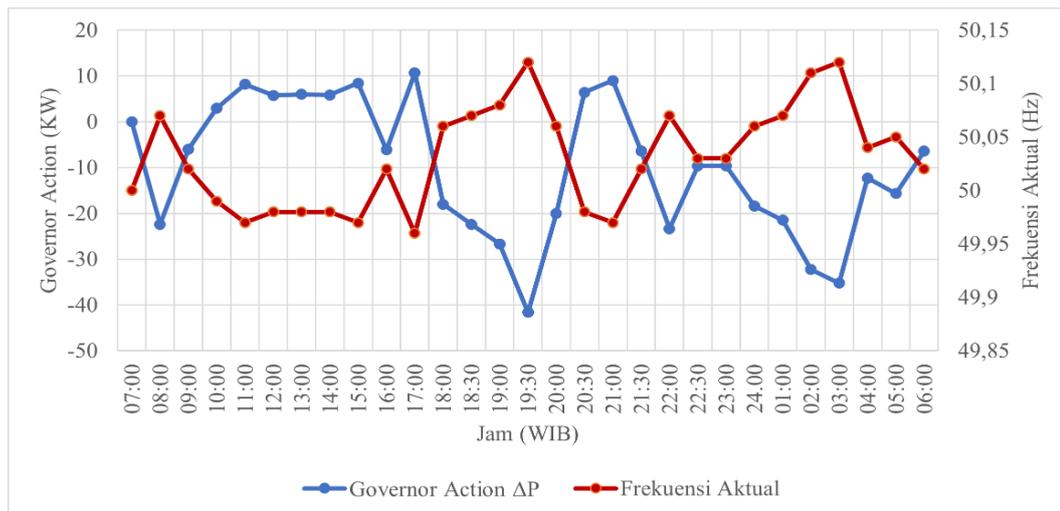
Berdasarkan Gambar 4.4, menunjukkan hubungan antara respons governor (ΔP) dan frekuensi aktual selama tanggal 18 Februari 2025, yang menggambarkan bagaimana sistem governor bekerja dalam menjaga kestabilan frekuensi pada PLTU PKS Adolina. Grafik memperlihatkan bahwa ketika frekuensi aktual turun di bawah nilai nominal 50 Hz, governor merespons dengan menaikkan daya keluaran (ΔP positif), sedangkan saat frekuensi naik melebihi 50 Hz, governor merespons dengan menurunkan daya keluaran (ΔP negatif). Misalnya, pada pukul 10:00 ketika frekuensi mencapai 49,95 Hz, governor memberikan respons sebesar 10,67 kW untuk meningkatkan daya, sementara pada pukul 23:00 saat frekuensi menyentuh 50,09 Hz, respons ΔP bernilai negatif sebesar 30 kW untuk menurunkan daya. Pola ini menunjukkan hubungan berbanding terbalik antara ΔP dan frekuensi, yang mencerminkan bahwa pengaturan speed droop sebesar 3% mampu memberikan respons adaptif terhadap perubahan beban, sehingga sistem tetap menjaga frekuensi di sekitar nilai nominal secara stabil.

Tabel 4. 15 Hasil perhitungan daya aktif generator berdasarkan respon governor terhadap perubahan frekuensi tanggal 19 Februari 2025

Jam	<i>Speed Droop = 3%</i>					
	P	Frekuensi	K	ΔP	P'	
	Teoritis				Hitung	Aktual
	KW	Hz	KW/Hz	KW	KW	KW
07:00	460	50,00	306,67	0,00	460,00	460
08:00	480	50,07	320,00	-22,40	457,60	480
09:00	450	50,02	300,00	-6,00	444,00	450
10:00	440	49,99	293,33	2,93	442,93	440
11:00	410	49,97	273,33	8,20	418,20	410
12:00	430	49,98	286,67	5,73	435,73	430
13:00	450	49,98	300,00	6,00	456,00	450
14:00	440	49,98	293,33	5,87	445,87	440
15:00	420	49,97	280,00	8,40	428,40	420
16:00	460	50,02	306,67	-6,13	453,87	460
17:00	400	49,96	266,67	10,67	410,67	400
18:00	450	50,06	300,00	-18,00	432,00	450
18:30	480	50,07	320,00	-22,40	457,60	480
19:00	500	50,08	333,33	-26,67	473,33	500
19:30	520	50,12	346,67	-41,60	478,40	520
20:00	500	50,06	333,33	-20,00	480,00	500
20:30	480	49,98	320,00	6,40	486,40	480
21:00	450	49,97	300,00	9,00	459,00	450
21:30	480	50,02	320,00	-6,40	473,60	480
22:00	500	50,07	333,33	-23,33	476,67	500
22:30	480	50,03	320,00	-9,60	470,40	480
23:00	480	50,03	320,00	-9,60	470,40	480
24:00	460	50,06	306,67	-18,40	441,60	460
01:00	460	50,07	306,67	-21,47	438,53	460
02:00	440	50,11	293,33	-32,27	407,73	440
03:00	440	50,12	293,33	-35,20	404,80	440
04:00	460	50,04	306,67	-12,27	447,73	460
05:00	470	50,05	313,33	-15,67	454,33	470
06:00	480	50,02	320,00	-6,40	473,60	480

Berdasarkan Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa frekuensi terbesar ialah 50,12 Hz pada jam 19:30 WIB. Ketika frekuensi berada pada nilai 50,12 Hz maka respon governor akan mengurangi daya pada turbin sehingga keluaran generator berkurang sebanyak 41,60 KW. Sedangkan frekuensi terendah yaitu 49,96 Hz pada saat pukul

17:00 WIB. Ketika frekuensi berada pada nilai tersebut maka respon governor akan menambah daya pada turbin sehingga keluaran generator bertambah sebanyak 10,67 KW. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ketika frekuensi >50 maka governor akan mengurangi keluaran generator dengan mengurangi aliran uap ke turbin dan begitu sebaliknya ketika frekuensi <50 Hz maka governor akan menambah keluarana generator dengan menambahkan aliran uap ke turbin.



Gambar 4. 5 Grafik hubungan governor action dan frekuensi aktual setiap waktu pada tanggal 19 Februari 2025

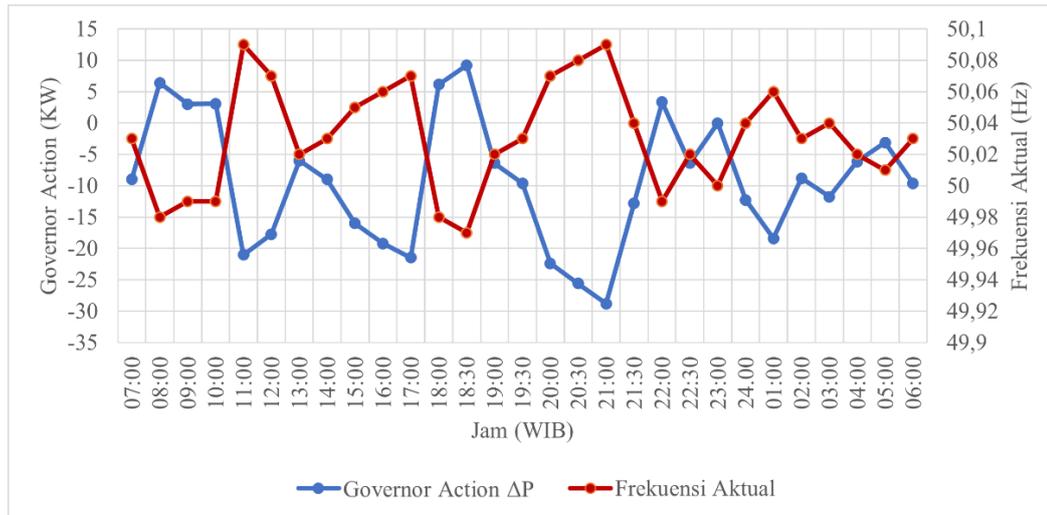
Berdasarkan Gambar 4.5, menunjukkan hubungan antara respons governor (ΔP) dan frekuensi aktual selama tanggal 19 Februari 2025, yang menggambarkan bagaimana sistem governor bekerja dalam menjaga kestabilan frekuensi pada PLTU PKS Adolina. Grafik memperlihatkan bahwa ketika frekuensi aktual turun di bawah nilai nominal 50 Hz, governor merespons dengan menaikkan daya keluaran (ΔP positif), sedangkan saat frekuensi naik melebihi 50 Hz, governor merespons dengan menurunkan daya keluaran (ΔP negatif). Misalnya, pada pukul 17:00 ketika frekuensi mencapai 49,96 Hz, governor memberikan respons sebesar 10,67 kW untuk meningkatkan daya, sementara pada pukul 19:30 saat frekuensi menyentuh 50,12 Hz, respons ΔP bernilai negatif sebesar 41,60 kW untuk menurunkan daya. Pola ini menunjukkan hubungan berbanding terbalik antara ΔP dan frekuensi, yang mencerminkan bahwa pengaturan speed droop sebesar 3% mampu memberikan respons adaptif terhadap perubahan beban, sehingga sistem tetap menjaga frekuensi di sekitar nilai nominal secara stabil.

Tabel 4. 16 Hasil perhitungan daya aktif generator berdasarkan respon governor terhadap perubahan frekuensi tanggal 20 Februari 2025

Jam	<i>Speed Droop = 3%</i>					
	P	Frekuensi	K	ΔP	P'	
	Teoritis				Hitung	Aktual
	KW	Hz	KW/Hz	KW	KW	KW
07:00	450	50,03	300,00	-9,00	441,00	450
08:00	480	49,98	320,00	6,40	486,40	480
09:00	450	49,99	300,00	3,00	453,00	450
10:00	460	49,99	306,67	3,07	463,07	460
11:00	350	50,09	233,33	-21,00	329,00	350
12:00	380	50,07	253,33	-17,73	362,27	380
13:00	450	50,02	300,00	-6,00	444,00	450
14:00	450	50,03	300,00	-9,00	441,00	450
15:00	480	50,05	320,00	-16,00	464,00	480
16:00	480	50,06	320,00	-19,20	460,80	480
17:00	460	50,07	306,67	-21,47	438,53	460
18:00	460	49,98	306,67	6,13	466,13	460
18:30	460	49,97	306,67	9,20	469,20	460
19:00	480	50,02	320,00	-6,40	473,60	480
19:30	480	50,03	320,00	-9,60	470,40	480
20:00	480	50,07	320,00	-22,40	457,60	480
20:30	480	50,08	320,00	-25,60	454,40	480
21:00	480	50,09	320,00	-28,80	451,20	480
21:30	480	50,04	320,00	-12,80	467,20	480
22:00	500	49,99	333,33	3,33	503,33	500
22:30	480	50,02	320,00	-6,40	473,60	480
23:00	480	50,00	320,00	0,00	480,00	480
24:00	460	50,04	306,67	-12,27	447,73	460
01:00	460	50,06	306,67	-18,40	441,60	460
02:00	440	50,03	293,33	-8,80	431,20	440
03:00	440	50,04	293,33	-11,73	428,27	440
04:00	460	50,02	306,67	-6,13	453,87	460
05:00	470	50,01	313,33	-3,13	466,87	470
06:00	480	50,03	320,00	-9,60	470,40	480

Berdasarkan Tabel 4.16 dapat dilihat bahwa frekuensi terbesar ialah 50,09 Hz pada jam 21:00 WIB. Ketika frekuensi berada pada nilai 50,09 Hz maka respon governor akan mengurangi daya pada turbin sehingga keluaran generator berkurang sebanyak 28,80 KW. Sedangkan frekuensi terendah yaitu 49,97 Hz pada saat pukul

18:30 WIB. Ketika frekuensi berada pada nilai tersebut maka respon governor akan menambah daya pada turbin sehingga keluaran generator bertambah sebanyak 9,20 KW. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ketika frekuensi >50 maka governor akan mengurangi keluaran generator dengan mengurangi aliran uap ke turbin dan begitu sebaliknya ketika frekuensi <50 Hz maka governor akan menambah keluarana generator dengan menambahkan aliran uap ke turbin.



Gambar 4. 6 Grafik hubungan governor action dan frekuensi aktual setiap waktu pada tanggal 20 Februari 2025

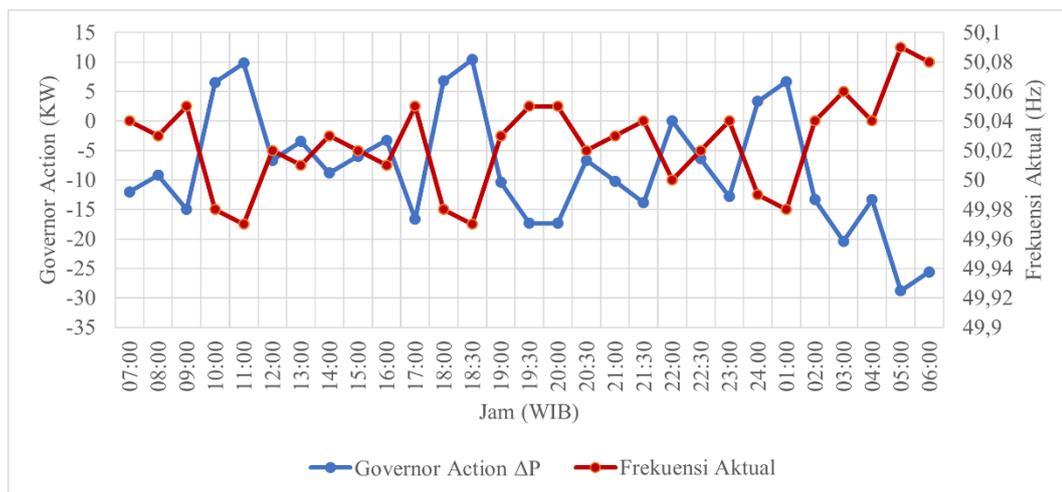
Berdasarkan Gambar 4.6, menunjukkan hubungan antara respons governor (ΔP) dan frekuensi aktual selama tanggal 20 Februari 2025, yang menggambarkan bagaimana sistem governor bekerja dalam menjaga kestabilan frekuensi pada PLTU PKS Adolina. Grafik memperlihatkan bahwa ketika frekuensi aktual turun di bawah nilai nominal 50 Hz, governor merespons dengan menaikkan daya keluaran (ΔP positif), sedangkan saat frekuensi naik melebihi 50 Hz, governor merespons dengan menurunkan daya keluaran (ΔP negatif). Misalnya, pada pukul 18:30 ketika frekuensi mencapai 49,97 Hz, governor memberikan respons sebesar 9,20 kW untuk meningkatkan daya, sementara pada pukul 21:00 saat frekuensi menyentuh 50,09 Hz, respons ΔP bernilai negatif sebesar 28,80 kW untuk menurunkan daya. Pola ini menunjukkan hubungan berbanding terbalik antara ΔP dan frekuensi, yang mencerminkan bahwa pengaturan speed droop sebesar 3% mampu memberikan respons adaptif terhadap perubahan beban, sehingga sistem tetap menjaga frekuensi di sekitar nilai nominal secara stabil.

Tabel 4. 17 Hasil perhitungan daya aktif generator berdasarkan respon governor terhadap perubahan frekuensi tanggal 21 Februari 2025

Jam	<i>Speed Droop = 3%</i>					
	P	Frekuensi	K	ΔP	P'	
	Teoritis				Hitung	Aktual
	KW	Hz	KW/Hz	KW	KW	KW
07:00	450	50,04	300,00	-12,00	438,00	450
08:00	460	50,03	306,67	-9,20	450,80	460
09:00	450	50,05	300,00	-15,00	435,00	450
10:00	490	49,98	326,67	6,53	496,53	490
11:00	490	49,97	326,67	9,80	499,80	490
12:00	500	50,02	333,33	-6,67	493,33	500
13:00	520	50,01	346,67	-3,47	516,53	520
14:00	440	50,03	293,33	-8,80	431,20	440
15:00	450	50,02	300,00	-6,00	444,00	450
16:00	490	50,01	326,67	-3,27	486,73	490
17:00	500	50,05	333,33	-16,67	483,33	500
18:00	510	49,98	340,00	6,80	516,80	510
18:30	520	49,97	346,67	10,40	530,40	520
19:00	520	50,03	346,67	-10,40	509,60	520
19:30	520	50,05	346,67	-17,33	502,67	520
20:00	520	50,05	346,67	-17,33	502,67	520
20:30	500	50,02	333,33	-6,67	493,33	500
21:00	510	50,03	340,00	-10,20	499,80	510
21:30	520	50,04	346,67	-13,87	506,13	520
22:00	480	50,00	320,00	0,00	480,00	480
22:30	480	50,02	320,00	-6,40	473,60	480
23:00	480	50,04	320,00	-12,80	467,20	480
24:00	500	49,99	333,33	3,33	503,33	500
01:00	500	49,98	333,33	6,67	506,67	500
02:00	500	50,04	333,33	-13,33	486,67	500
03:00	510	50,06	340,00	-20,40	489,60	510
04:00	500	50,04	333,33	-13,33	486,67	500
05:00	480	50,09	320,00	-28,80	451,20	480
06:00	480	50,08	320,00	-25,60	454,40	480

Berdasarkan Tabel 4.17 dapat dilihat bahwa frekuensi terbesar ialah 50,09 Hz pada jam 05:00 WIB. Ketika frekuensi berada pada nilai 50,09 Hz maka respon governor akan mengurangi daya pada turbin sehingga keluaran generator berkurang sebanyak 28,80 KW. Sedangkan frekuensi terendah yaitu 49,97 Hz pada saat pukul

11:00 WIB. Ketika frekuensi berada pada nilai tersebut maka respon governor akan menambah daya pada turbin sehingga keluaran generator bertambah sebanyak 9,80 KW. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ketika frekuensi >50 maka governor akan mengurangi keluaran generator dengan mengurangi aliran uap ke turbin dan begitu sebaliknya ketika frekuensi <50 Hz maka governor akan menambah keluarana generator dengan menambahkan aliran uap ke turbin.



Gambar 4. 7 Grafik hubungan governor action dan frekuensi aktual setiap waktu pada tanggal 21 Februari 2025

Berdasarkan Gambar 4.7, menunjukkan hubungan antara respons governor (ΔP) dan frekuensi aktual selama tanggal 21 Februari 2025, yang menggambarkan bagaimana sistem governor bekerja dalam menjaga kestabilan frekuensi pada PLTU PKS Adolina. Grafik memperlihatkan bahwa ketika frekuensi aktual turun di bawah nilai nominal 50 Hz, governor merespons dengan menaikkan daya keluaran (ΔP positif), sedangkan saat frekuensi naik melebihi 50 Hz, governor merespons dengan menurunkan daya keluaran (ΔP negatif). Misalnya, pada pukul 11:00 ketika frekuensi mencapai 49,97 Hz, governor memberikan respons sebesar 10,40 kW untuk meningkatkan daya, sementara pada pukul 05:00 saat frekuensi menyentuh 50,09 Hz, respons ΔP bernilai negatif sebesar 28,80 kW untuk menurunkan daya. Pola ini menunjukkan hubungan berbanding terbalik antara ΔP dan frekuensi, yang mencerminkan bahwa pengaturan speed droop sebesar 3% mampu memberikan respons adaptif terhadap perubahan beban, sehingga sistem tetap menjaga frekuensi di sekitar nilai nominal secara stabil.

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Perubahan frekuensi dalam sistem tenaga listrik di PLTU PKS Adolina terjadi akibat fluktuasi beban aktif yang berlangsung sepanjang waktu. Untuk menjaga frekuensi tetap stabil di sekitar nilai nominal 50 Hz, governor berperan dalam mengatur aliran uap menuju turbin melalui katup kontrol. Ketika frekuensi meningkat, pasokan uap dikurangi agar daya yang dihasilkan menurun. Sebaliknya, saat frekuensi menurun, katup uap dibuka lebih lebar untuk meningkatkan pasokan uap dan menambah daya keluaran generator. Karakteristik nilai *speed droop* yang diterapkan di PLTU PKS Adolina Unit 2 adalah sebesar 3%, dengan daya terpasang sebesar 800 kW. Nilai ini menunjukkan bahwa ketika terjadi perubahan frekuensi sebesar 3% atau 1,5 Hz, governor merespons dengan menambah pasokan uap ke turbin hingga menghasilkan perubahan daya maksimum sebesar 800 kW.
2. Nilai *speed droop* sebesar 3% yang diterapkan pada PLTU PKS Adolina menghasilkan konstanta K sebesar 533,33 kW/Hz, sehingga untuk setiap perubahan frekuensi sebesar 0,01 Hz, governor memberikan respons daya sebesar 5,33 kW. Apabila nilai *speed droop* dinaikkan menjadi 5%, konstanta K menurun menjadi 320 kW/Hz dengan respons daya sebesar 3,20 kW untuk perubahan frekuensi yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil nilai *speed droop*, respons governor terhadap perubahan frekuensi menjadi lebih besar dan cepat, sehingga sistem pembangkit lebih sensitif dalam menjaga kestabilan frekuensi. Sebaliknya, semakin besar nilai *speed droop*, sistem pembangkit memberikan respon daya yang lebih kecil dan cenderung lambat terhadap perubahan frekuensi.

5.2 Saran

1. Nilai *speed droop* sebesar 3% yang digunakan saat ini sudah cukup baik dalam menjaga kestabilan frekuensi. Namun, pengujian dan analisis lebih lanjut terhadap kemungkinan penyesuaian nilai tersebut dapat dilakukan untuk mengoptimalkan respons governor terhadap perubahan beban, tanpa mengorbankan stabilitas sistem.

2. Operator PLTU sebaiknya diberikan pelatihan secara rutin, khususnya yang berkaitan dengan pengaturan *speed droop*, pemantauan respons sistem, serta cara menangani gangguan frekuensi. Dengan bekal pengetahuan dan keterampilan yang baik, operator akan lebih siap dalam mengambil keputusan secara cepat dan tepat ketika terjadi fluktuasi beban atau kondisi sistem yang tidak normal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhyaksa, W. (2023). *Analisis Pengaruh Perubahan Frekuensi Sistem Terhadap Kinerja Governor Pada PLTA Bakaru Unit 1*. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Das, J. . (2010). *Transient In Electrical Systems*. US: McGraw-Hill Profesional
- ESDM, K. (2020). *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 20 Tahun 2020 tentang Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik (Grid Code)*. <https://jdih.esdm.go.id/dokumen/download?id=PM+ESDM+No+20+Tahun+2020.pdf>
- Labulu, H., Lisi, F., & Tuegeh, M. (2015). *Analisa Sistem Tenaga Listrik Di Minahasa Dalam Menghindari Padam Total*. *E-Journal Teknik Elektro Dan Komputer*, 1–7.
- Maharmi, B., Cholid, I., Syafii, & Arya, E. H. (2024). *Optimization of speed droop governor operation at the gas turbine cogeneration unit*. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 33(1), 20–30. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v33.i1.pp20-30>
- Mamahit, A. T., Patras, L. S., & Mangindaan, G. M. C. (2024). *Analysis of Governor Performance at North Sulawesi Power Plant II*. 1–9.
- 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)*, 4(2), 84–95.
- Nugraheni, A. (2011). *Simulasi Pelepasan Beban Dengan Menggunakan Rele Frekuensi Pada Sistem Tenaga Listrik*. *CNOOC SES Ltd*. 1–157.
- Pamundra, K. A. G. (2020). *Analisis Speed Droop Governor Sebagai Pengaturan Frekuensi Pada Sistem Tenaga Listrik Di PLTU Muara Karang Unit 5* [Institut Teknologi PLN]. <https://www.scribd.com/document/542999071/Skripsi-201611134-Karunia-Akbar-Gusti-Pamundra-1>
- Patriandari. (2010). *Analisis Pengoperasian Speed Droop Governor Sebagai*

Pengaturan Frekuensi Pada Sistem Kelistrikaan PLTU Gresik. Digilib ITS Undergraduate, 1–6.

Ramadhoni, W., Pasaribu, F. I., Kusuma, B. S., Nasution, E. S., Rimbawati., Evalina, N., & Amiruddin, A. (2024). *Analisa Kapasitas Penggunaan Generator Turbin 800 KW Terhadap Pemakaian Beban Di PTPN IV Unit Berangir*, *Industrial Engineering Journal*. 13(2), 41–47.

Saleem, J. (2023). *Speed Droop In Power Generation*. diambil dari LinkedIn: <https://www.linkedin.com/pulse/speed-droop-power-generation-jamshed-saleem-senior-member-ieee-dru4e/>

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 Fasa 6 Kutub*. Universitas Muhammadiyah Surakarta, 19.

Simanjuntak, O. T. (2015). *Studi Keandalan (Reliability) Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Labuhan Angin Sibolga*. Singuda ENSIKOM, 10(26), 1–6.

Wahyuni, V. T., Manungal, B. P., & Melkias, A. A. (2022). *Analisis Setting Speed Droop dan Deadband Governor Unit 1 PLTA Maninjau Sebagai Pengaturan Frekuensi pada Sistem 150 KV*. *Jurnal Teknik Energi*, 11(2), 25–29. <https://doi.org/10.35313/energi.v11i2.3912>

LAMPIRAN



Lampiran Gambar 1: Lokasi Penelitian



Lampiran Gambar 2: Pengambilan Data



Lampiran Gambar 3: Generator Turbin 800 kW



Lampiran Gambar 4: Tempat Pengambilan Data

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PENULIS

Nama Lengkap : Aldi Syahputra
Nomor Pokok Mahasiswa : 2107220043
Tempat Tanggal Lahir : Medan, 23 Maret 2003
Alamat : Jln. Pinang Baris, Wakaf 2, Gg. Nur
Muhammad, Kec. Medan Sunggal, Kota
Medan, Sumatera Utara
Agama : Islam
Jenis Kelamin : Laki-laki
No. Telp : 0896-5854-5860
Email : aldiisyahputraa24@gmail.com

ORANG TUA

Nama Ayah : Rahmatullah
Agama : Islam
Nama Ibu : Fatimah
Agama : Islam
Alamat : Jln. Pinang Baris, Wakaf 2, Gg. Nur
Muhammad, Kec. Medan Sunggal, Kota
Medan, Sumatera Utara

RIWAYAT PENDIDIKAN

2009-2015 : SD Negeri 066655
2015-2018 : SMP Negeri 9 Medan
2018-2021 : SMAS YPS SUPRIYADI MEDAN
2021-2025 : S1 Teknik Elektro Universitas
Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU)



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya
Bila mengabdikan diri, ia agar diabdikan
semua dan tanggapnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

UMSU Terakreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 1913/SK/BAN-PT/Ak.KPI/PT/XI/2022
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003
<https://fatek.umsu.ac.id> fatek@umsu.ac.id [fumsumedan](#) [umsumedan](#) [umsumedan](#) [umsumedan](#)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 2314/II.3AU/UMSU-07/F/2024

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Elektro Pada Tanggal 16 Desember 2024 dengan ini Menetapkan :

Nama : ALDI SYAHPUTRA
Npm : 2107220043
Program Studi : TEKNIK ELEKTRO
Semester : 7 (Tujuh)
Judul Tugas Akhir : ANALISIS SPEED DROOP GOVERNOR SEBAGAI
PENGATURAN FREKUENSI PADA SISTEM TENAGA LISTRIK
PLTU PABRIK KELAPA SAWIT ADOLINA ..

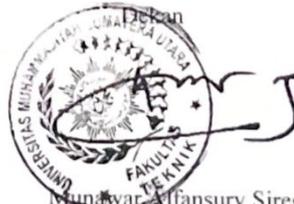
Pembimbing : FAISAL IRSAN PASARIBU ST.MT

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik ELEKTRO .
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya

Medan, 14 Jumadil Akhir 1446 H
16 Desember 2024 M



Munawar Alfansury Siregar, ST.,MT
NIDN: 0101017202



MEMO

Dari : Manajer

Kepada :
Pj. Masinis Kepala
di -
Adolina.

Tanggal : Februari 2025

Nomor : 2ADO / M.____ / II / 2025

Lamp. : -

Hal : **Izin Pengambilan Data.**

Sesuai surat dari Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Nomor : 341/II.3.AU/UMSU-07/B/2025, tgl. 12 Februari 2025 perihal tersebut diatas dengan ini disampaikan bahwa Mahasiswa/i UMSU akan mengadakan Pengambilan Data di Kebun/Pabrik Adolina.

Nama Mahasiswa/i yang ambil data adalah :

❖ **ALDI SYAHPUTRA** **NIM : 2107220043** **BID : FAK. TEKNIK**

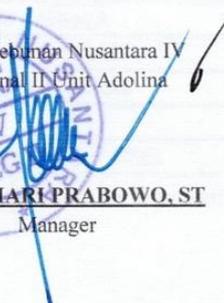
Jadwal dan objek Penelitian sebagai berikut :

Tanggal	Program Studi	Pembimbing
25 - 28 Feb - 2025	ANALISIS SPEED DROOP GOVERNOR SEBAGAI PENGATURAN FREKUENSI PADA SISTEM TENAGA LISTRIK PLTU PKS ADOLINA	MASINIS REPERASI

Selama melaksanakan Penelitian harus mematuhi ketentuan yang berlaku di PTPN IV sbb :

1. Mematuhi Protokol Kesehatan
2. Semua biaya di tanggung oleh Mahasiswa/Siswa yang bersangkutan
3. Mematuhi peraturan dan ketentuan yang berlaku termasuk menjaga kerahasiaan Data
4. Selesai Praktek diwajibkan melaporkan hasil Praktek 1 (satu) set ke Kantor Pusat Medan Bagian SDM dan 1 (satu) set untuk PT Perkebunan Nusantara IV Kebun Adolina.
5. Hasil Praktek tersebut hanya dipergunakan untuk kepentingan Ilmiah pada Mahasiswa ybs
6. Jika terjadi kecelakaan terhadap peserta yang sedang melaksanakan PPI baik di dalam maupun di luar PTPN IV tidak menjadi tanggung jawab PTPN IV
7. a. Untuk SMK/SMA/Sederajat agar memakai pakaian seragam sekolah dan sepatu
b. Bagi Mahasiswa agar memakai pakaian rapi, sopan, memakai sepatu dan tidak dibenarkan memakai jeans, jika mempunyai pakaian Almamater agar dipakai
c. Bagi yang melanggar aturan tersebut maka Perusahaan memberikan sanksi dikeluarkan dari Pengambilan Data.

Demikian agar maklum.


 PT Perkebunan Nusantara IV
 Regional II Unit Adolina
YUDHI HARI PRABOWO, ST
 Manager

Tembusan :

1. Asst. Personalia
2. SMK3
3. UMSU
4. Peringgal

AKHLAK - Amanah, Kompeten, Harmonis, Loyal, Adaptif, Kolaboratif



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
Jl. Kapten Muchtar Basri No.3 Medan Telp. (061)6622400

LEMBAR ASISTENSI BIMBINGAN

NAMA : ALDI SYAHPUTRA
NPM : 2107220043
JUDUL : ANALISIS SPEED DROOP GOVERNOR SEBAGAI PENGATURAN
FREKUENSI PADA SISTEM TENAGA LISTRIK PLTU PABRIK
KELAPA SAWIT ADOLINA

No.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1.	20-12-2024	- Perbaiki Gambar dan Keterangan Gambar 2.3 - Pada Bab 2.2.4 ubah spasi menjadi 1,5	
2.	24-12-2024	- Tambahkan Gambar Gubernur dan Diagram Gubernur - Tambahkan Syarat pengaturan Frekuensi Pada peralatan Gubernur	
3.	27-12-2024	- Perbaiki Daftar Pustaka - Tambahkan Sub Judul Pengaruh Perubahan Beban terhadap Speed Droop	
4.	3-1-2025	- Perhatikan kualitas gambar / diperbaiki - spasi Rumus. - lanjut Bab III.	
5.	10-1-2025	- Perbaiki Flowchart - Perhatikan TYPO di setiap kata	
6	15-1-2025	ACC untuk diseminar proposal.	

Dosen Pembimbing

Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
Jl. Kapten Muchtar Basri No.3 Medan Telp. (061)6622400

LEMBAR ASISTENSI BIMBINGAN

NAMA : ALDI SYAHPUTRA
NPM : 2107220043
JUDUL : ANALISIS *SPEED DROOP* GOVERNOR SEBAGAI PENGATURAN FREKUENSI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP DI PABRIK KELAPA SAWIT ADOLINA

No.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1	18 - 04 - 2025	Penjelasan di setiap Tabel data yang diambil setiap gambar harus ada penjelasan.	
2	21 - 04 - 2025	Di Bab 4 belum nampak pengaruh perubahan speed drop terhadap beban listrik.	
3	25 - 04 - 2025	Tabel 4.12 dibantu grafiknya.	
4	28 - 4 - 2025	Abstrak Segera dibuat	
5	07 - 05 - 2025	Penambahan alasan Nilai 3% Speed Drop pd Abstrak	
6	09 - 05 - 2025	ACC untuk disemahkan!	

Dosen Pembimbing

Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T.



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
Jl. Kapten Muchtar Basri No.3 Medan Telp. (061)6622400

LEMBAR ASISTENSI BIMBINGAN

NAMA : ALDI SYAHPUTRA
NPM : 2107220043
JUDUL : ANALISIS *SPEED DROOP* GOVERNOR SEBAGAI PENGATURAN FREKUENSI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP DI PABRIK KELAPA SAWIT ADOLINA

No.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1.	20 - 06 - 2025	- Tambahkan sub bab Identifikasi Masalah - Tambahkan narasi pada sub bab 4.1	
2.	23 - 06 - 2025	- ACC untuk disidangkan	

Dosen Pembimbing



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T