

ANALISIS NILAI KARAKTERISTIK SPEED DROOP GOVERNOR TERHADAP KESTABILAN DAYA DAN FREKUENSI

Analysis Of Speed Droop Governor Characteristic Value On Power Stability And Frequency

Tizar Sepli A^[1], Ir. Agung Budi Muljono, S.T., M.T., IPU^[2], Ir. I Made Ginarsa, S.T., M.T., IPU^[3]
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat.
Email : tizarsepli@gmail.com, agungbm@yahoo.com, kadekgin@unram.ac.id

ABSTRAK

Perubahan nilai permintaan daya dari konsumen sangat berpengaruh pada nilai frekuensi. Nilai frekuensi harus dijaga dalam nilai nominal dimana pembangkit harus menyesuaikan daya yang dibangkitkan agar seimbang dengan nilai permintaan daya. Pada pembangkit sendiri terdapat *Governor* yang berfungsi untuk membuka katup aliran bahan bakar ataupun uap. Pada prinsip kerjanya, *governor fly ball* akan berputar seiring dengan semakin tinggi perputaran pada *engine*, maka katup yang terbuka untuk mengalirkan bahan bakar akan terbuka sedikit sehingga menyebabkan nilai putaran akan menurun. Begitupun sebaliknya apabila nilai kecepatan putaran rendah, maka katup akan terbuka lebih besar sehingga nilai putaran akan meningkat. Metode ini dikenal dengan *Speed Droop Governor*. Pengaplikasian *governor* ini disimulasikan menggunakan Matlab Simulink, dimana menggunakan nilai *speed droop* sebesar 4%. Kemudian dari simulasi ini dapat diketahui bagaimana pengaruh dari daya aktif terhadap frekuensi. Dimana diketahui nilai *overshoot*, *peak time*, dan juga nilai *settling time*.

Kata Kunci : Frekuensi, Speed Droop Governor, Overshoot, Peak time, dan Settling Time.

ABSTRACT

Changes in the value of power demand from consumers have a great influence on the frequency value. The frequency value must be maintained within the nominal value where the generator must adjust the power generated to balance it with the power demand value. In the generator itself there is a governor which functions to open the fuel or steam flow valve. In principle, the fly ball governor will rotate as the engine rotation increases, so the valve that is open to flow fuel will open slightly, causing the rotation value to decrease. Likewise, if the rotation speed value is low, the valve will open more so that the rotation value will increase. This method is known as Speed Droop Governor. The application of this governor is simulated using Matlab Simulink, which uses a speed droop value of 4%. Then from this simulation it can be seen how active power affects frequency. Where the overshoot value, peak time, and settling time value are known.

Keywords : Frequency, Speed Droop Governor, Overshoot, Peak Time, and Settling Time.

PENDAHULUAN

Listrik jika dikaitkan dengan kehidupan sehari-hari adalah suatu kebutuhan yang wajib dan sangat penting. Hampir semua peralatan pada saat ini menggunakan listrik sebagai sumber energi utamanya baik di kalangan rumah tangga, sekolah, perkantoran, dan sebagainya. Bahkan sekarang sudah banyak diproduksi untuk kendaraan yang menggunakan listrik agar lebih ramah lingkungan dan mengurangi emisi polusi gas di udara. Tentu dengan semakin banyaknya kebutuhan akan energi listrik ini harus diimbangi dengan adanya pembangkit yang dapat memproduksi energi listrik dan nantinya bisa disalurkan ke konsumen. Dalam sistem

kelistrikan Lombok sendiri terdapat beberapa pembangkit yang digunakan untuk mensuplai tenaga listrik. Ada beberapa jenis pembangkit yang terdapat pada sistem kelistrikan Lombok mulai dari PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya), PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro), PLTD (pembangkit Listrik Tenaga Diesel), PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap), dan terdapat juga PLTMGU (pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas Uap).

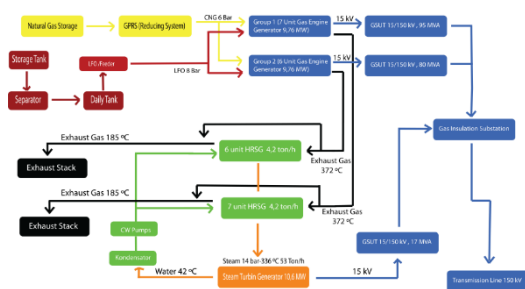
Governor sendiri adalah sebuah peralatan mekanis yang berfungsi untuk mengatur putaran dari sebuah mesin. Pada dasarnya cara kerja sebuah governor mengandalkan kecepatan

putaran turbin. Pengontrolan turbin pada PLTMGU dengan kapasitas mesin gas 10 MW dan turbin uap 12 MW berfungsi untuk menjaga nilai frekuensi 50 Hz. Nilai frekuensi ini dapat berubah-ubah terhadap waktu sehingga pada sistem pembangkitan tenaga listrik pada PLTMGU ini membutuhkan kontrol *governor* sehingga nilai frekuensi tetap pada 50 Hz. *Governor* mengatur kecepatan putaran *prime mover* dan mengatur beban secara otomatis melalui *speed droop* dengan mengatur jumlah bahan bakar yang dialirkan pada turbin.

Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas Uap

PLTMGU Merupakan Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas Uap yang dimana pembangkit ini merupakan pembangkit *Combined Cycle* pertama yang ada di Indonesia dimana menggunakan gas *engine* untuk proses pembakaran dan tidak menggunakan gas turbin seperti biasanya. Proses kerja dari *engine* ini sama halnya dengan sepeda motor atau mobil dimana menggunakan jenis mesin pembakaran dalam (*spark ignition combustion*). Letak perbedaan pada gas *engine* ini yaitu tidak memerlukan proses oengabutan, hal ini karena bahan bakar yang digunakan sudah dalam bentuk gas.

Energi panas serta uap yang berasal dari gas buang hasil dari pembakaran pada gas *engine* (PLTMG) kemudian digunakan untuk menghasilkan uap dimana uap ini akan digunakan sebagai fluida yang bekerja pada turbin (PLTU). Dimana air akan dipanaskan pada HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*), uap jenuh kering hasil dari HRSG kemudian akan digunakan untuk memutar baling-baling yang kemudian menggerakkan turbin dan generator sehingga nantinya akan menjadi energi listrik.



Gambar 1. Siklus kerja PLTMGU

Daya Listrik

Daya adalah sebuah besaran yang menyatakan banyaknya perubahan jumlah energi terhadap satuan waktu, yang dipengaruhi oleh besaran arus dan tegangan. Daya listrik ini dapat dibagi menjadi tiga, yaitu daya nyata (P), daya semu (S), dan daya reaktif (Q).

Perubahan nilai daya pada beban juga dapat mempengaruhi nilai dari *speed droop*, dimana sesuai dengan persamaan berikut.

$$\Delta P = \frac{\Delta f(\%)}{SD(\%)} \times P_0(MW) \dots \dots \dots (1)$$

Dimana,

ΔP = Perubahan Daya (MW)

P_0 = Daya Awal (MW)

SD= Speed Droop (%)

Δf = Perubahan nilai frekuensi (%)

Apabila diketahui nilai perubahan daya (ΔP) atau berapa jumlah daya yang dibutuhkan untuk mengembalikan frekuensi kembali ke nilai nominalnya, maka akan dapat diketahui berapa jumlah daya yang dibutuhkan oleh beban, menggunakan persamaan berikut.

$$P_{total} = P_{output} + \Delta P \dots \dots \dots (2)$$

Dimana,

P_{total} = Daya aktif kebutuhan beban (MW)

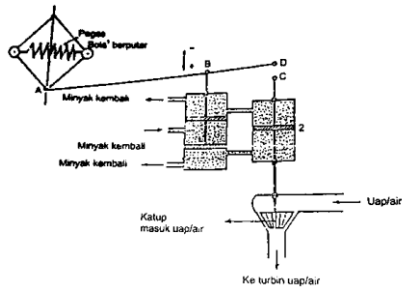
P_{output} = Daya keluaran dari generator (MW)

ΔP = Perubahan nilai daya (MW)

Governor

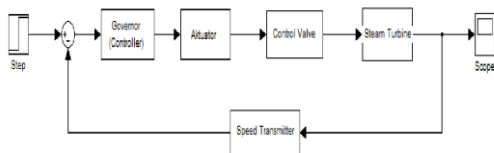
Ketika terjadi suatu kondisi dimana nilai daya yang dibangkitkan oleh generator lebih besar dibandingkan dengan kebutuhan daya yang dikonsumsi oleh beban, maka akan menyebabkan putaran dari generator meningkat, *governor* akan bekerja sesuai dengan naik atau turunnya kecepatan dari generator untuk mengontrol katup yang mengalirkan fluida ke *prime mover*. Ketika diberikan beban, diusahakan kecepatan putar dari generator untuk stabil, sehingga *governor* akan mengatur dengan cara membuka katup dan menambah fluida yang mengalir ke *prime mover* dan untuk mengurangi kecepatan maka *governor* akan menutup bukaan

katup sehingga fluida yang masuk ke *prime mover* lebih sedikit.



Gambar 2. Prinsip kerja *governor* (Marsudi,2006)

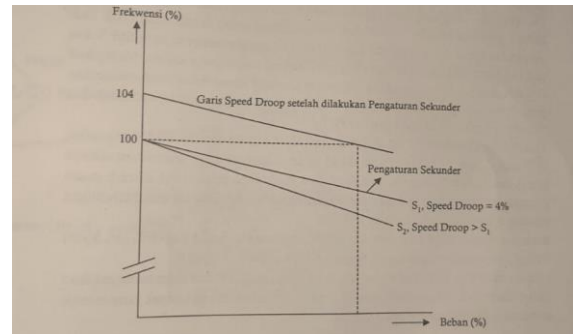
Dengan dihubungkannya titik C dan D pada sistem *governor* maka akan membuat titik kestabilan baru namun nilai frekuensinya lebih rendah daripada nilai frekuensi sebelumnya. Untuk mempertahankan nilai frekuensi F_0 maka titik B perlu ditekan kebawah. Hal ini akan menyebabkan frekuensi lebih rendah $F_1 < F_0$, yang dilakukan oleh *governor* secara otomatis yang disebut dengan pengaturan primer sedangkan pengaturan sekunder adalah upaya untuk menekan titik B untuk mengembalikan nilai frekuensi ke F_0 . Pengaturan sekunder dapat dilakukan manual oleh operator maupun oleh komputer.



Gambar 3. Blok diagram sistem *governor valve* (Sadono,2013)

Speed Droop Governor

Speed Droop adalah sebuah bilangan presentase dimana menyatakan kepekaan sebuah turbin yang merespon akibat adanya perubahan nilai frekuensi. Dimana ketika nilai presentase *speed droop* ini semakin kecil, maka *governor* akan semakin peka terhadap terjadinya perubahan nilai frekuensi. Begitupun sebaliknya, apabila nilai presentase *speed droop* ini semakin besar maka *governor* akan lebih lambat merespon ketika adanya perubahan nilai frekuensi.



Gambar 4. Karakteristik *Speed Droop Governor* (Marsudi,2006)

Nilai *speed droop* ini akan menentukan antara nilai sinyal pengaturan putaran pada *governor* dengan *output* beban yang akan dibangkitkan oleh generator. Sehingga nilai *speed droop* ini merupakan nilai perbandingan antara beban dengan frekuensi.

$$Speed\ droop = \frac{R_1 - R_2}{R} \times 100\% \dots\dots(3)$$

Dimana :

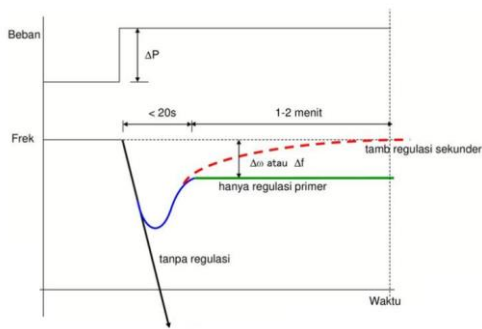
R = Putaran nominal

R_1 = Putaran tanpa beban

R_2 = Putaran beban penuh

Frekuensi

Pada pengendalian frekuensi ini sendiri terdapat dua cara yaitu regulasi primer dan regulasi sekunder. Pada regulasi primer (*free governor*) respon akan terjadi dengan sendirinya oleh pembangkit terhadap setiap perubahan nilai frekuensi dan berkaitan dengan karakteristik dari *speed droop governor*. Sedangkan pada regulasi sekunder menggunakan AGC (*Automatic Generation Controller*), dimana pengaturan beban akan diatur oleh pusat pengaturan beban. Pada AGC ini terdapat LFC (*Load Frequency Control*) yang tentunya dilengkapi pengaturan penyaluran dan penjadwalan ke beban.



Gambar 5. Grafik pengaturan pada frekuensi (Pamundra,2020)

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa bagaimana sebuah sistem *governor* merespon adanya perubahan frekuensi yang disebabkan perubahan nilai beban. Sehingga dari hal tersebut *governor* dapat menambah ataupun mengurangi aliran fluida sehingga dapat mengatur kecepatan putaran turbin.

Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah laptop dengan spesifikasi sistem operasi Windows 10 Home Single Language 64-bit, Intel Celeron N4000 CPU 1.10 GHz, dilengkapi dengan *mouse*, *charger*, printer dan peralatan pendukung lainnya. Untuk perangkat lunak yang digunakan adalah *Microsoft Word 2010* dan *Simulink Matlab*. Kemudian untuk bahan penelitian yang digunakan pada saat penelitian adalah data-data pembangkitan yang didapatkan dari PLTMGU dengan kapasitas mesin gas 10 MW dan turbin uap 12 MW.

Prosedur Penelitian

1. Studi Literatur
Studi literatur digunakan untuk mendapatkan beberapa data dan informasi terkait bagaimana sistem *governor* dan hal hal yang berkaitan mengenai PLTMGU. Informasi ini bisa didapatkan dari jurnal, buku atau *e-book*, dan sebagainya.
2. Pengumpulan Data
Proses pengumpulan data dilakukan pada PLTMGU dengan kapasitas mesin gas 10 MW dan turbin uap 12 MW yang digunakan untuk melakukan analisa

terhadap *governor* yang ada pada pembangkit tersebut.

3. Pengolahan Data

Data yang didapatkan dari PLTMGU dengan kapasitas mesin gas 10 MW dan turbin uap 12 MW selanjutnya diolah dan dianalisa sebagai berikut:

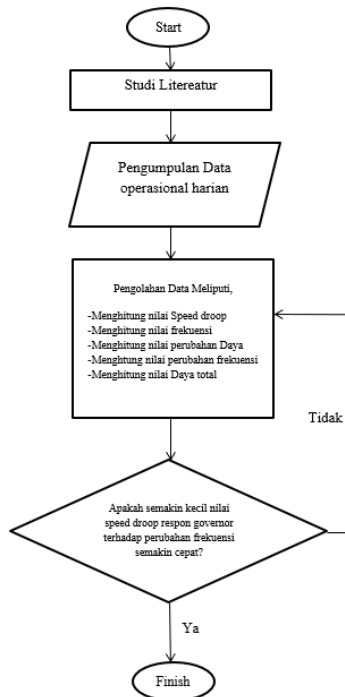
- a. Data operasional harian diolah untuk mengetahui berapa karakteristik *speed droop governor* yang digunakan. Adapun data parameter untuk mesin gas turbin generator yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Data parameter

Item Parameter dan Variabel	Satuan
Konstanta pengaruh governor terhadap perubahan frekuensi (Speed Droop)	%
Konstanta waktu saluran utama masuk (T_{CH})	s
Konstanta waktu torsi Governor (T_G)	s
Damping Pembebanan (D)	pu
Konstanta inerti (Ms)	MW-sec/MVAR
Nilai Daya Aktif	MW
Nilai Frekuensi	Hz
Nilai Putaran	Rpm

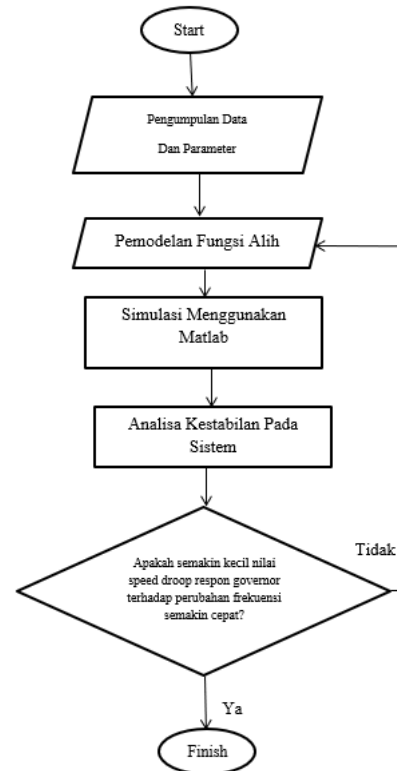
- b. Pembuatan blok diagram pada *Simulink* dari pemodelan sistem dan melakukan simulasi untuk mengetahui kestabilan sistem.
- c. Menghitung nilai kepekaan dari *governor* merespon setiap ada perubahan frekuensi yang ditentukan dari karakteristik *speed droop*.
- d. Menghitung Daya yang ditambah atau dikurangi setiap *governor* merespon adanya perubahan nilai frekuensi.
- e. Melakukan perhitungan dengan nilai karakteristik *speed droop* yang berbeda dan melakukan hal yang sama seperti sebelumnya.
- f. Melakukan analisa terhadap sinyal *output* hasil dari simulasi terhadap kestabilan sistem.

Diagram Alir Penelitian Diagram Alir Analisa *Speed Droop*



Gambar 6. Diagram alir analisa *Speed Droop*

Diagram Alir Pembuatan Model Simulink



Gambar 7. Diagram alir pembuatan model *simulink*

PEMBAHASAN

Data Operasional

Data yang diperlukan adalah parameter-parameter untuk memodelkan sistem governor pada PLTMGU dengan kapasitas mesin gas 10 MW dan turbin uap 12 MW. Parameter ini akan digunakan sebagai fungsi transfer pada Simulink Matlab. Selain data parameter yang digunakan untuk pemodelan sistem governor, data yang didapatkan dari PLTMGU merupakan data operasional harian, dimana didapatkan nilai Daya aktif keluaran generator, frekuensi, serta kecepatan putar generator mesin gas tanggal 25 Mei 2023. Data yang digunakan merupakan data per menit mulai dari jam 18.00 sampai dengan 18:59 WITA. Selain itu terdapat spesifikasi dari *engine* dan turbin yang terdapat pada *name plate*. Adapun data-data yang digunakan adalah sebagai berikut.

Pada PLTMGU dengan kapasitas mesin gas 10 MW dan turbin uap 12 MW menggunakan *engine* Wartsila W20V34DF dengan spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 2. Spesifikasi Mesin

Jenis Mesin	W20V34DF
Jumlah Silinder	20
Lubang Bor Silinder	340 mm
Langkah	400 mm
Putaran	750 rpm
Daya Output	10.000 kW
Tegangan	400 V
Arah Putaran	Searah jarum jam



Gambar 8. Nameplate engine

Pada turbin PLTMGU menggunakan turbin tipe C7-R8-Rx, dengan spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 3. Spesifikasi Turbin

Jenis	C7-R8-RX
Daya Output	12,820 kW
Kecepatan putaran	6984 rpm
Inlet steam pressure	15 BarA
Inlet steam temperature	339°C
Exhaust steam pressure	0,079 BarA
Weight	45.000 kg
Pembuatan	Agustus 2018



Gambar 9. Nameplate pada turbin

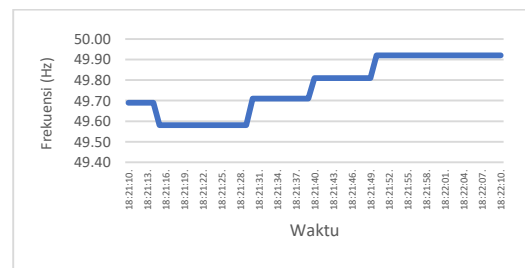
Data Parameter yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Nilai Parameter

Item Parameter dan Variabel	Nilai
Konstanta pengaruh governor terhadap perubahan frekuensi (Speed Droop)	4%
Torsi Governor (T_G)	0.09s
Konstanta waktu saluran utama masuk (T_{CH}) engine	2.5s
Konstanta waktu saluran utama masuk (T_{CH}) turbin	3 s
Damping Pembebanan (D)	10 pu
Konstanta inerti (M_s)	3.4

Karakteristik Speed Droop Pada Mesin Gas PLTMGU

Dari hasil data harian yang didapatkan dapat dibuatkan grafik perubahan frekuensi terhadap waktu yang terdapat pada Gambar 10 sebagai berikut.



Gambar 10. Grafik perubahan nilai frekuensi terhadap waktu

Terjadinya perubahan nilai frekuensi dapat disebabkan karena adanya permintaan daya dari beban lebih tinggi dari daya yang dibangkitkan, dapat dilihat pada data sebelumnya bahwa dengan kenaikan nilai daya tersebut

menyebabkan nilai frekuensi menjadi turun. Perubahan nilai frekuensi ini harus dijaga agar tetap pada nilai nominalnya yaitu sebesar 50Hz. Disinilah peran dari governor dibutuhkan untuk mengatur bagaimana agar kenaikan atau penurunan frekuensi dapat dikontrol tetap pada nilai nominalnya.

Besar kecilnya nilai setting *speed droop* mempengaruhi terhadap respon dari governor ketika terjadinya perubahan nilai frekuensi. Apabila nilai setting *speed droop* semakin kecil, maka governor akan lebih cepat dalam merespon terjadinya perubahan frekuensi. Pada PLTMGU dengan kapasitas mesin gas 10 MW dan turbin uap 12 MW menggunakan nilai *speed droop* sebesar 4%. Dari data tersebut dapat kita hitung berapa kecepatan putar generator pada saat beban penuh.

$$SD = \frac{R_1 - R_2}{R} \times 100\%$$

Apabila diketahui,

$$SD = 4\%$$

$$R_1 = 746 \text{ rpm}$$

$$R = 750 \text{ rpm}$$

Maka,

$$R_2 = \dots\dots\dots?$$

$$R_2 = 746 \text{ rpm} - (4\% \times 750 \text{ rpm})$$

$$R_2 = 746 \text{ rpm} - 30 \text{ rpm}$$

$$R_2 = 716 \text{ rpm}$$

Dengan nilai *speed droop* 4% didapatkan bahwa kecepatan putar pada saat beban penuh sebesar 716 rpm dengan jumlah kutub sebanyak 8, maka dapat dihitung nilai frekuensinya ketika beban penuh.

Apabila diketahui,

$$\text{rpm} = 716$$

$$p = 8$$

Maka,

$$\text{Frekuensi} = \dots\dots\dots?$$

$$f = \frac{\text{rpm}}{60} \times \frac{p}{2}$$

$$f = \frac{716}{60} \times \frac{8}{2}$$

$$f = 47,733 \text{ Hz}$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa ketika menggunakan nilai *speed droop* sebesar 4%, maka pada saat beban penuh frekuensi akan turun sebesar 47,733 Hz. Governor akan merespon ketika perubahan frekuensi sebesar 2,267 Hz dan akan menambah atau mengurangi jumlah bahan bakar yang mengalir ke *prime mover* hingga mencapai daya maksimumnya sebesar 10 MW.

Kemudian apabila dilakukan percobaan untuk mengurangi nilai *setting speed droop* sebesar 2%, maka kecepatan putaran *engine* ketika beban penuh dapat dicari:

$$SD = \frac{R_1 - R_2}{R} \times 100\%$$

Apabila diketahui,

$$SD = 2\%$$

$$R_1 = 746$$

$$R = 750$$

Maka,

$$R_2 = \dots\dots\dots?$$

$$R_2 = 746 \text{ rpm} - (2\% \times 750 \text{ rpm})$$

$$R_2 = 746 \text{ rpm} - 15 \text{ rpm}$$

$$R_2 = 731 \text{ rpm}$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat diketahui bahwa ketika diberikan nilai *speed droop* yang lebih kecil yaitu sebesar 2%, maka putaran dari generator akan lebih cepat daripada ketika menggunakan nilai *speed droop* sebesar 4%. Semakin kecil nilai dari *speed droop* maka kecepatan putar generator akan semakin mendekati nilai putaran nominalnya. Dengan kecepatan yang sudah didapatkan, maka dapat dicari nilai frekuensi ketika beban penuh.

Apabila diketahui,

$$\text{rpm} = 731$$

$$p = 8$$

Maka,

$$\text{Frekuensi} = \dots\dots\dots?$$

$$f = \frac{\text{rpm}}{60} \times \frac{p}{2}$$

$$f = \frac{731}{60} \times \frac{8}{2}$$

$$f = 48,733 \text{ Hz}$$

Dari hasil perhitungan tersebut diketahui bahwa ketika menggunakan nilai *speed droop* sebesar 2% maka governor akan bereaksi ketika

terjadi perubahan nilai frekuensi sebesar 1,267 Hz. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin kecil nilai *speed droop* yang digunakan maka akan semakin kecil rentang frekuensi yang menjadi acuan untuk governor bekerja dan semakin cepat respon dari governor untuk mengembalikan nilai frekuensi ke nilai nominalnya.

Analisa Pengoperasian Speed Droop Governor

Pada PLTMGU dengan kapasitas mesin gas 10 MW, dengan nilai *speed droop* yang digunakan sebesar 4% maka dapat diketahui bagaimana respon dari pembangkit ketika terjadi perubahan nilai frekuensi dengan melihat berapa jumlah daya yang dikurangi ataupun ditambah untuk mengembalikan nilai frekuensi. Apabila dimisalkan terjadi perubahan nilai frekuensi sebesar 1%, maka dapat dilakukan perhitungan sesuai dengan persamaan 2.1 sebagai berikut.

Apabila Diketahui,

$$\Delta f = 1\%$$

$$SD = 4\%,$$

Maka,

$$\Delta P = \dots\dots\dots?$$

$$\Delta P = \frac{\Delta f}{SD} \times P_0$$

$$\Delta P = \frac{1\%}{4\%} \times 10 \text{ MW}$$

$$\Delta P = 2,5 \text{ MW}$$

Apabila menggunakan karakteristik nilai *speed droop* sebesar 2%, dengan memisalkan adanya perubahan nilai frekuensi sebesar 1% dari 50 Hz, maka akan didapatkan nilai daya sesuai dengan persamaan 2.1 sebagai berikut.

Apabila diketahui,

$$\Delta f = 1\%$$

$$SD = 2\%,$$

Maka,

$$\Delta P = \dots\dots\dots?$$

$$\Delta P = \frac{\Delta f}{SD} \times P_0$$

$$\Delta P = \frac{1\%}{2\%} \times 10 \text{ MW}$$

$$\Delta P = 5 \text{ MW}$$

Sebagai perbandingan, kita dapat melihat karakteristik dari beberapa nilai setting *speed droop* dengan menggunakan jumlah respon

governor yang sama yaitu $\Delta P = 2,5 \text{ MW}$. Dengan menggunakan nilai karakteristik *speed droop* yang bervariasi dari 2% hingga 7%, maka akan didapatkan hasil sebagai berikut.

Apabila diketahui,

$$\Delta P = 2,5 \text{ MW}$$

$$SD = 4\%,$$

$$P_0 = 10 \text{ MW}$$

Maka,

$$\Delta f = \dots\dots\dots?$$

$$\Delta P = \frac{\Delta f}{SD} \times P_0$$

$$\Delta f = \frac{\Delta P \times SD}{P_0} \times 100\%$$

$$\Delta f = \frac{2,5 \times 2}{10} \times 100\%$$

$$\Delta f = 0,5\% \text{ atau } \Delta f = 0,25 \text{ Hz}$$

Tabel 5. Karakteristik *Speed droop* dengan nilai yang berbeda

Speed Droop(%)	$\Delta P(\text{MW})$	$\Delta f(\text{Hz})$	$\Delta f(\%)$
2	10	0,25	0,5
3	10	0,75	1,5
4	10	1	2
5	10	1,25	2,5
6	10	1,5	3
7	10	1,75	3,5

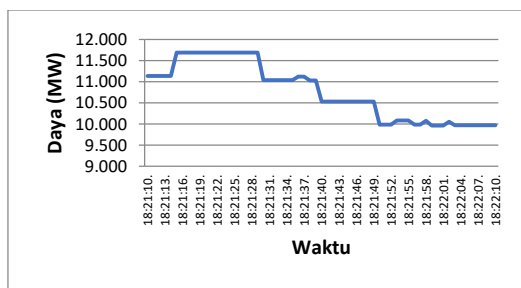
Pada karakteristik nilai *speed droop* sebesar 2% maka governor akan merespon terhadap perubahan frekuensi 0,5% atau 0,25 Hz. Artinya governor akan bekerja ketika terjadi perubahan nilai frekuensi sebesar 50,25 Hz atau 49,75 Hz. Sedangkan ketika menggunakan nilai *speed droop* sebesar 7% maka respon governor lebih lama. Governor akan merespon ketika terjadinya perubahan sebesar 3,5% atau sebesar 1,75 Hz. Artinya governor akan bekerja ketika frekuensi sebesar 51,75 Hz atau 48,25 Hz.

Diketahui bahwa terjadi penurunan nilai frekuensi dari 49,69 Hz menjadi 49,58 Hz. Adanya perubahan nilai frekuensi sebesar 0,22% atau sebesar 0,11 Hz bisa terjadi karena nilai permintaan daya dari beban meningkat. Hal ini juga menunjukkan bahwa daya yang disuplai oleh pembangkit masih lebih besar daripada daya yang dibutuhkan oleh beban. Selanjutnya dapat dihitung berapa jumlah permintaan daya dari

beban sebagai berikut, dengan menggunakan sample pada waktu 18:08 dimana terjadinya penurunan nilai frekuensi.

$$\begin{aligned}
 &\text{Apabila diketahui,} \\
 P_{out} &= 9,585 \text{ MW} \\
 \Delta f &= 0,11\% \\
 SD &= 4\% \\
 P_0 &= 10 \text{ MW} \\
 P_{total} &= P_{output} + \Delta P \\
 P_{total} &= 9,585 \text{ MW} + \frac{0,11\%}{4\%} \times 10 \text{ MW} \\
 P_{total} &= 9,86 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan kemudian didapatkan hasil yang dibuatkan ke dalam grafik sebagai berikut.



Gambar 11. Grafik permintaan daya dari beban

Dapat dibandingkan bahwa ketika nilai permintaan daya dari beban meningkat maka akan menyebabkan frekuensi juga akan menurun. Sedangkan pada saat nilai permintaan daya beban menurun akan menyebabkan nilai frekuensi menjadi naik. Hal ini karena nilai permintaan daya dari beban berbanding terbalik dengan nilai frekuensi, apabila pembangkit tidak dapat mengimbangi dengan penambahan daya yang dibangkitkan sesuai dengan kebutuhan beban, maka nilai frekuensi akan menurun.

Deadband Frequency

Pada PLTMGU ini sendiri menggunakan nilai *speed droop* sebesar 4%. Dari data ini dapat dicari berapa rentang frekuensi yang diizinkan untuk governor bekerja sesuai dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 f_0 &= 50 \text{ Hz} \\
 SD &= 4\% \\
 \text{Maka,} \\
 \text{Respon governor} &= f_0 \times SD \\
 &= 50 \times 4\%
 \end{aligned}$$

$$= 2 \text{ Hz}$$

Selanjutnya dapat dilakukan perhitungan apabila dimisalkan penggunaan nilai *speed droop* sebesar 2%, maka akan diketahui bagaimana respon governor sesuai dengan perhitungan berikut.

Apabila diketahui,

$$\begin{aligned}
 f_0 &= 50 \text{ Hz} \\
 SD &= 2\% \\
 \text{Maka,} \\
 \text{Respon governor} &= f_0 \times SD \\
 &= 50 \times 2\% \\
 &= 1 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan bahwa ketika menggunakan nilai *speed droop* sebesar 2% maka nilai rentang frekuensi yang didapatkan sebesar ± 1 Hz. Artinya governor paling lambat bekerja ketika terjadi perubahan frekuensi sebesar 1 Hz pada saat menggunakan nilai *speed droop* sebesar 2%. Apabila terjadi perubahan nilai frekuensi yang melebihi dari 1 Hz maka governor tidak bisa mengembalikan nilai frekuensi kembali ke nilai nominalnya. Apabila hal ini terjadi maka perlu dilakukan pengaturan regulasi sekunder untuk mengembalikan nilai frekuensi.

Berikut adalah perbandingan nilai respon governor terhadap nilai *speed droop* yang berbeda-beda mulai dari 2% hingga 7%.

Tabel 6. Batas frekuensi pada *governor* untuk merespon perubahan frekuensi

<i>Speed droop</i> (%)	Respon Governor(Hz)	Rentang frekuensi (Hz)
2	1	49-51
3	1,5	48,5-51,5
4	2	48-52
5	2,5	47,5-52,5
6	3	47-53
7	3,5	46,5-53,5

Ketika menggunakan nilai *speed droop* sebesar 2% maka *governor* akan merespon ketika terjadinya perubahan frekuensi saat frekuensi mencapai nilai 49 Hz ataupun 51 Hz, sedangkan pada saat menggunakan nilai *speed droop* sebesar 7% *governor* akan merespon ketika terjadinya perubahan frekuensi saat nilai frekuensi mencapai nilai 46,5 Hz ataupun 53,5 Hz. Dimana *governor* akan lebih cepat merespon

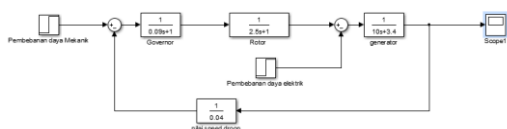
apabila menggunakan nilai *speed droop* yang lebih rendah.

Pengaturan Frekuensi Sekunder

Pada PLTMGU dengan kapasitas mesin gas 10 MW dan turbin uap 12 MW ini menggunakan AGC (*Automatic Generation Control*) sebagai pengaturan frekuensi sekunder. AGC (*Automatic Generation Control*) digunakan sebagai pengatur dalam koordinasi pembangkit dalam membangkitkan daya untuk mengatur pembagian pembangkit antar area. Pada PLTMGU menggunakan sistem AGC yang dimana sistem ini diatur oleh Lombok Control Center (LCC). Ketika menggunakan pengaturan frekuensi sekunder ini maka nilai daya yang dibangkitkan oleh pembangkit akan sepenuhnya diatur dari pihak LCC. Hal ini terjadi apabila nilai frekuensi tidak dapat dikembalikan ke nilai nominal oleh sistem dari *governor*. Ketika menggunakan mode AGC maka pihak dari LCC akan membuat *setpoint* daya, yaitu berupa jumlah daya yang harus dibangkitkan. Sehingga dari masukan nilai *setpoint* tersebut maka pembangkit akan secara otomatis membangkitkan daya sesuai dengan perintah dari LCC.

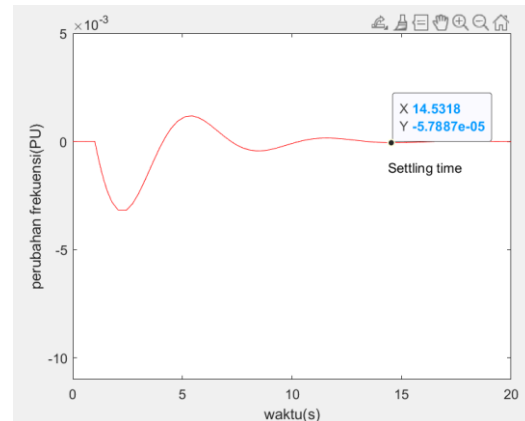
Pemodelan Sistem Governor

Pemodelan Sistem Governor pada Engine Unit 1



Gambar 12. Pemodelan sistem *governor* pada mesin gas PLTMGU

Dari hasil simulasi, didapatkan respon frekuensi pada sistem. Dengan nilai perubahan nilai frekuensi 0,004 pu, maka terjadi perubahan frekuensi sebesar 0,2 Hz. Hal ini memiliki selisih 0,1 Hz dari nilai yang didapatkan dari lapangan dimana didapatkan perubahan frekuensi sebesar 0,1 Hz.

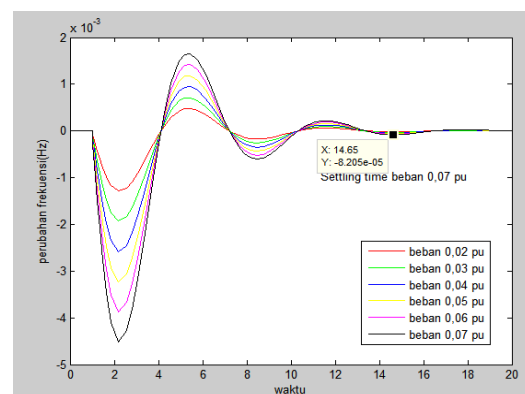


Gambar 13. Respon frekuensi mesin gas dengan penambahan beban sebesar 0,155 pu

Ketika divariasikan nilai penambahan beban dari 0,02 sampai dengan 0,07 pu, maka didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 7. Hasil perbandingan dengan nilai beban yang berbeda

Nilai Beban (pu)	Overshoot (%)	Peak Time (s)	Settling Time (s)
0,02	$-1,27 \times 10^{-3}$	2,1	15,5
0,03	$-1,92 \times 10^{-3}$	2,14	14,92
0,04	$-2,54 \times 10^{-3}$	2,07	14,8
0,05	$-3,17 \times 10^{-3}$	2,44	14,6
0,06	$-3,81 \times 10^{-3}$	2,45	14,55
0,07	$-4,44 \times 10^{-3}$	2,46	14,65

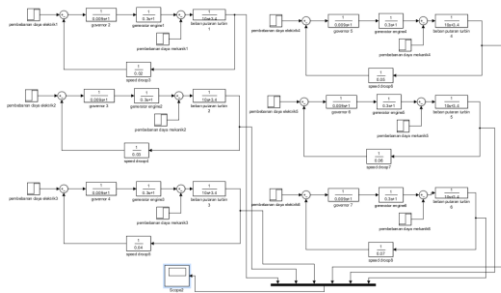


Gambar 14. Hasil keluaran pada *scope* dengan nilai beban yang berbeda

Dari Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa respon frekuensi dengan semakin besar nilai beban maka nilai *overshoot* yang didapatkan semakin besar dan juga nilai *settling time* cenderung semakin lama.

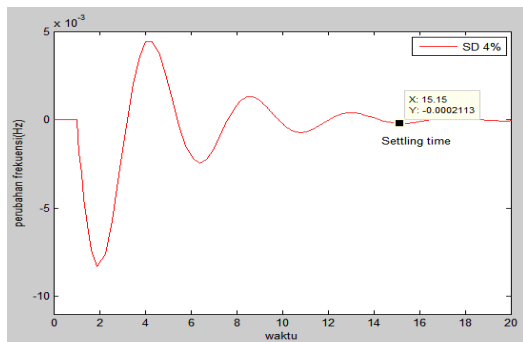
Perbandingan Dengan Nilai Speed Droop Yang Berbeda

Untuk membandingkan nilai speed droop, maka dibuatkan pemodelan dengan masing-masing nilai speed droop sebesar 2% hingga 7% dengan penambahan beban yang sama yaitu sebesar 0,15 pu.



Gambar 15. Pemodelan governor dengan perbandingan nilai speed droop yang berbeda

Dari pemodelan tersebut didapatkan untuk hasil respon frekuensi dari sistem untuk mengetahui bagaimana perbandingan dengan menggunakan nilai pengaturan speed droop yang berbeda.



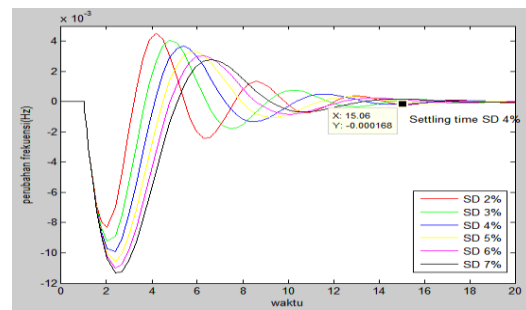
Gambar 16. Respon frekuensi menggunakan speed droop 2%

Dari Gambar 16 dapat dilihat respon frekuensi terhadap waktu pada engine yang disimulasikan. Dari gambar tersebut dapat diketahui untuk nilai overshoot, peak time, dan nilai settling time. Selanjutnya dibandingkan bagaimana respon dengan menggunakan nilai speed droop yang berbeda mulai dari 2% hingga 7% dengan nilai penambahan beban yang sama sebesar 0,15 pu.

Tabel 8. Hasil perbandingan mesin gas dengan nilai speed droop yang berbeda

Speed droop (%)	Overshoot (%)	Peak Time (s)	Settling Time (s)
2	$-8,3 \times 10^{-3}$	1,86	15,15
3	$-9,32 \times 10^{-3}$	2,16	15,5
4	$-9,85 \times 10^{-3}$	2,44	15,06
5	$10,5 \times 10^{-3}$	2,41	14,4
6	11×10^{-3}	2,35	14,2
7	$11,3 \times 10^{-3}$	2,33	13,9

Dapat dilihat bahwa ketika menggunakan nilai speed droop yang berbeda dengan nilai penambahan beban sebesar 0,155 pu sesuai dengan data pada tabel 4.7 didapatkan bahwa nilai Settling Time yang didapatkan semakin besar ketika nilai speed droop yang digunakan semakin besar. Pada saat nilai speed droop sebesar 2% didapatkan sebesar 15,2 detik sedangkan ketika menggunakan nilai speed droop sebesar 7% didapatkan nilai settling time sebesar 13,9 detik.

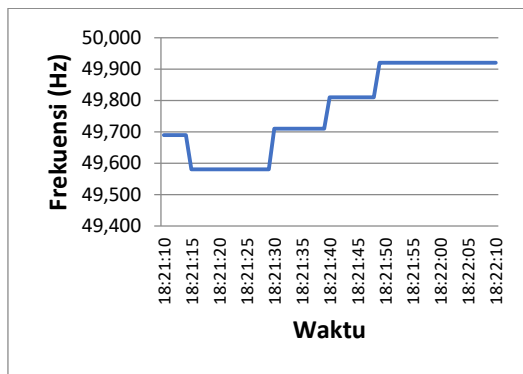


Gambar 17. Perbandingan hasil keluaran grafik dengan nilai speed droop yang berbeda

Dari gambar diatas yang merupakan perbandingan grafik dimana penggunaan nilai speed droop yang berbeda. Ketika diberikan penambahan sebesar 0,15 pu, maka akan terjadi penurunan frekuensi dan governor akan menambah aliran bahan bakar agar frekuensi kembali ke frekuensi nominal. Pada grafik yang menggunakan nilai speed droop sebesar 2% memiliki respon yang cepat saat terjadi penurunan frekuensi, sedangkan dengan frekuensi yang menggunakan nilai speed droop sebesar 7%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan nilai speed droop yang

semakin kecil maka respon dari *governor* untuk merespon terhadap adanya perubahan frekuensi semakin cepat, begitu juga sebaliknya apabila menggunakan nilai *speed droop* yang semakin besar, maka respon dari *governor* untuk mengembalikan nilai frekuensi ke nilai nominal akan semakin lama dan nilai *overshoot* gelombang saat osilasi akan lebih besar.

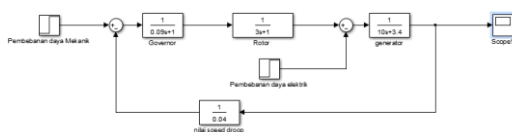
Karakteristik *Speed Droop* Pada *Steam Turbin*



Gambar 18. Grafik perubahan frekuensi terhadap waktu pada turbin

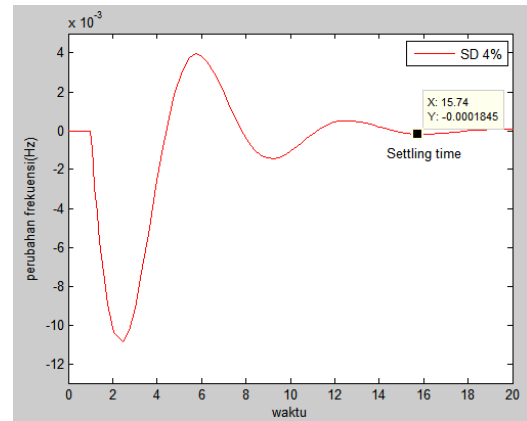
Pada turbin ini menggunakan gas buangan dari *engine* untuk memanaskan uap yang akan masuk dan memutar turbin. Sehingga daya pada turbin meningkat karena daya pada *engine* meningkat yang mengakibatkan gas buangan dari *engine* memiliki temperatur yang semakin tinggi, akibatnya tekanan pada boiler meningkat sehingga daya untuk memutar turbin semakin besar. Nilai sisa panas uap yang digunakan dapat diatur dalam jumlah berapa persen yang disalurkan untuk memanaskan uap dan sisanya akan dibuang ke udara. Pada turbin juga memiliki nilai setpoint dimana nilai set point ini digunakan sebagai *load limit* dari turbin agar nilai daya yang dihasilkan oleh turbin dapat dikontrol.

Pemodelan Sistem *Governor* Pada *Steam Turbin*



Gambar 19. Pemodelan sistem *Governor* pada turbin

Kemudian dilakukan simulasi untuk mengetahui grafik keluaran frekuensi terhadap waktu dan mengetahui nilai *Settling Time*, *Overshoot*, dan nilai *Peak Time* dengan mengganti nilai perubahan beban yang berbeda mulai dari 0,02 pu sampai dengan 0,07 pu.

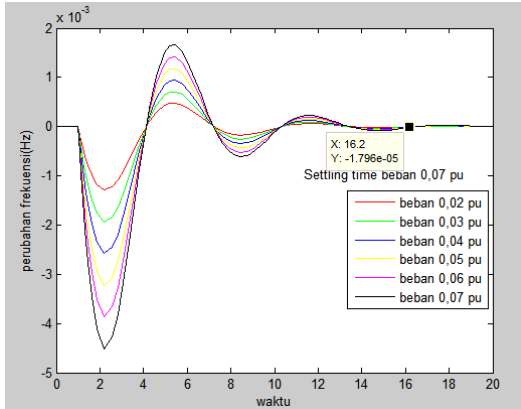


Gambar 20. Respon frekuensi pada turbin ketika penambahan beban 0,155 pu

Didapatkan hasil respon frekuensi pada turbin dengan menggunakan *speed droop* sebesar 4% dengan nilai penambahan beban sebesar 0,155 pu. Dari hasil tersebut dapat diketahui untuk nilai *overshoot*, *peak time*, dan nilai *settling time*. Selanjutnya dilakukan simulasi dengan mengubah nilai penambahan beban mulai dari 0,02 pu sampai dengan 0,07 pu.

Tabel 9. Hasil perbandingan dengan nilai beban yang berbeda

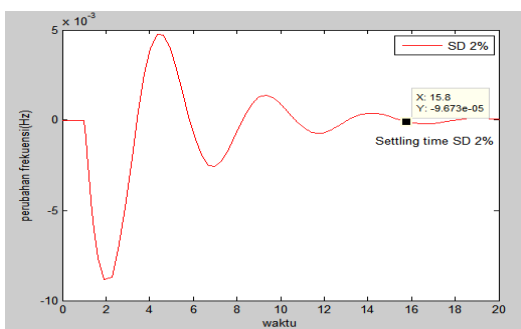
Nilai Beban (pu)	Overshoot (%)	Peak Time (s)	Settling Time (s)
0,02	$-1,4 \times 10^{-3}$	2,49	15,5
0,03	$-2,08 \times 10^{-3}$	2,31	15,55
0,04	$-2,77 \times 10^{-3}$	2,26	15,9
0,05	$-3,46 \times 10^{-3}$	2,24	16
0,06	$-4,15 \times 10^{-3}$	2,2	16,3
0,07	$-4,85 \times 10^{-3}$	2,18	16,2



Gambar 21. Respon frekuensi pada turbin dengan nilai beban yang berbeda

Dapat dilihat bahwa terdapat perbandingan respon frekuensi dengan menggunakan nilai beban yang berbeda. Ketika terjadi penambahan beban pada detik ke 1 maka frekuensi akan turun kemudian *governor* akan bekerja untuk menambah aliran uap yang memutar turbin sehingga frekuensi akan naik. Saat frekuensi beresilasi dan mencapai keadaan *steady state*, nilai beban yang kecil akan lebih cepat untuk kembali ke frekuensi nominal. Dimana semakin besar nilai beban maka akan semakin besar juga *overshoot* yang didapatkan ketika terjadi penambahan beban.

Dengan menggunakan nilai parameter yang sama kemudian disimulasikan *speed droop* pada turbin dengan menggunakan nilai *speed droop* yang berbeda yaitu dari 2% hingga 7%.



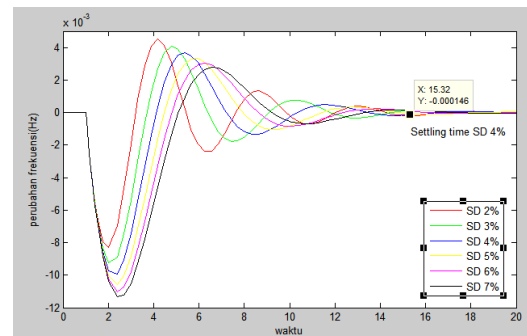
Gambar 22. Respon frekuensi pada turbin dengan *speed droop* 2%

Didapatkan respon frekuensi pada turbin dengan menggunakan nilai *speed droop* sebesar 2% dengan nilai penambahan beban sebesar 0,02 pu. Kemudian didapatkan untuk nilai *Rise Time*, *Settling Time*, *Overshoot*, *Peak*, dan *Peak Time* dengan penambahan beban sebesar 0.15 pu.

Selanjutnya dilakukan simulasi untuk nilai penggunaan *speed droop* yang berbeda mulai dari 2% hingga 7% dengan nilai penambahan beban yang sama yaitu sebesar 0,15 pu.

Tabel 10. Hasil perbandingan dengan nilai *speed droop* yang berbeda

Speed Droop (%)	Overshoot (%)	Peak Time (t)	Settling Time (t)
2	$-8,92 \times 10^{-3}$	1,95	15,8
3	$-10,1 \times 10^{-3}$	2,22	15,48
4	$-10,7 \times 10^{-3}$	2,25	15,32
5	$-11,5 \times 10^{-3}$	2,51	15,5
6	-12×10^{-3}	2,55	14,9
7	$-12,4 \times 10^{-3}$	2,92	14,1



Gambar 23. Respon frekuensi sistem dengan nilai *speed droop* yang berbeda

Dapat dilihat bahwa pada saat terjadi penambahan beban sebesar 0,15 pu pada detik ke 1 maka akan terjadi penurunan nilai frekuensi, dengan turunnya nilai frekuensi ini akan membuat *governor* bekerja sehingga suplai uap ke turbin akan lebih banyak sehingga putaran meningkat yang menyebabkan frekuensi naik. Apabila menggunakan nilai *speed droop* yang kecil maka nilai turunnya frekuensi lebih rendah dibandingkan dengan nilai *speed droop* yang besar, akan tetapi akan lebih lama mencapai *settling time* dibandingkan dengan nilai *speed droop* yang besar. Akan tetapi jika menggunakan nilai *speed droop* yang besar, maka nilai *overshoot* gelombang akan lebih tinggi apabila dibandingkan pada saat menggunakan nilai *speed droop* yang lebih kecil.

PENUTUP

Kesimpulan

Setelah dilakukan perhitungan, simulasi, dan pengolahan data maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Diketahui bahwa pada PLTMGU dengan kapasitas mesin gas 10 MW dan turbin uap 12 MW menggunakan nilai karakteristik *Speed Droop* sebesar 4%, Dengan kapasitas *engine* sebesar 10 MW, maka pada saat terjadi penambahan beban sebesar 0,155 pu akan menyebabkan nilai frekuensi turun sebesar 0,11 Hz. Kemudian nilai frekuensi akan distabilkan hingga mencapai keadaan *steady state* dengan nilai *settling time* sebesar 14 detik. Ketika menggunakan nilai *speed droop* sebesar 4%, governor akan merespon ketika perubahan frekuensi sebesar 2,267 Hz dan akan menambah atau mengurangi jumlah bahan bakar yang mengalir ke *prime mover* hingga mencapai daya maksimumnya sebesar 10 MW.
2. Pada saat dilakukan pemodelan sistem *governor* pada PLTMGU dengan kapasitas mesin gas 10 MW dan turbin uap 12 MW dengan menggunakan Simulink Matlab, maka didapatkan hasil sebagai berikut:
 - Pada saat menggunakan nilai *speed droop* sebesar 4%, dan dilakukan simulasi dengan nilai beban yang berbeda didapatkan bahwa semakin besar jumlah penambahan beban yang terjadi, maka akan semakin lama governor mengembalikan nilai frekuensi ke nilai nominal, serta saat beresilasi nilai *overshoot* juga akan semakin besar.
 - Simulasi dengan menggunakan nilai *speed droop* yang berbeda mulai dari 2% hingga 7% dengan nilai penambahan beban sebesar 1,5 pu didapatkan bahwa jika semakin besar nilai *speed droop* yang digunakan maka akan semakin lama untuk *governor* merespon dan mengembalikan nilai frekuensi ke nilai nominal serta nilai *overshoot* yang didapatkan semakin besar juga seiring dengan besarnya nilai *speed droop* yang digunakan.

Saran

Pada PLTMGU dengan kapasitas mesin gas 10 MW dan turbin uap 12 MW menggunakan nilai *speed droop* sebesar 4%, namun pada PLTMGU lebih sering menggunakan metode isochronous dimana lebih cepat dalam merespon frekuensi, akan tetapi dapat menyebabkan peralatan lebih cepat rusak dan lebih sering dalam perawatan. Apabila menggunakan metode *speed droop* dapat mengurangi jumlah perawatan karena lebih konsisten *governor* bekerja dan juga sudah sesuai dengan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 03 Tahun 2007, yaitu penggunaan nilai *speed droop* sebesar 3% sampai 4%.

REFERENSI

- [1] Dries, M., (1996). *Linear Control Systems Engineering*. International Edition. U.S. Naval Postgraduate School, Monterey, California: McGraw-Hill.
- [2] Karim, N. A. dkk., (2021). Analisis Pengoperasian Governor Sebagai Pengatur Kestabilan Pada PLTU Mamuju 2x25 MW . *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika(SNTEI)*. Makassar.
- [3] Marsudi,D., (2006). *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Penerbit Graha Ilmu: Yogyakarta.
- [4] Pamundra, K. A. G., (2020). Analisis Speed Droop Governor Sebagai Pengaturan Frekuensi Pada Sistem Tenaga Listrik PLTU Muara Karang Unit 5. *Program Studi Sarjana Teknik Elektro. Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan. Institut Teknologi PLN*.
- [5] Patriandari., (2011). *Analisis pengoperasian speed droop governor sebagai pengaturan frekuensi pada sistem kelistrikan PLTU Gresik*. <https://adoc.pub/analisis-pengoperasian-speed-droop-governor-sebagai-pengatur.html>.
- [6] Ramadhan, B. A., (2019). Analisis Eksergi dan Energi pada PLTU 5 Muara Karang. Jakarta: STT-PLN Jakarta.
- [7] Sadono, S. dkk., (2013). *Identifikasi Sistem Governor Control Valve Dalam Menjaga*

Kestabilan Putaran Turbin Uap PLTP
Wayang Windu Unit 1. Jurnal TEKNOFISIKA
Volume 2 Nomor 3.