

Analisis Pengoperasian Governor Sebagai Pengatur Kestabilan Frekuensi Pada PLTU Mamuju 2 x 25 MW

Nur Azizah Karim¹⁾, Purwito²⁾, Hamdani³⁾

¹ Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
nurazizahicha40@gmail.com

² Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
purwito@poliupg.ac.id

³ Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
hamdani.pnup@gmail.com

Abstrak

Keseimbangan antara pembangkitan dan beban sangat mempengaruhi kestabilan sistem tenaga listrik. Salah satu besaran yang sangat penting dijaga kestabilannya adalah frekuensi. Penyesuaian beban pada pembangkit dilakukan oleh governor yang mengatur kecepatan turbin dengan mengendalikan jumlah uap atau bahan bakar yang masuk ke turbin. Diperlukan suatu pengendali yang akan mengatur governor, misalnya Proporsional Integral Derivatif (PID). Tujuan penelitian ini untuk menganalisa pengoperasian governor menggunakan pengendali PID dan tanpa pengendali PID sebagai pengatur kestabilan frekuensi pada PLTU Mamuju 2 x 25 MW dengan menggunakan aplikasi MATLAB R2016a. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan bahwa governor lebih efektif menggunakan pengendali PID dibandingkan tidak menggunakan pengendali PID. Hal itu dikarenakan respon governor menggunakan pengendali PID cenderung lebih cepat mengembalikan frekuensi ke nilai normalnya jika diberi gangguan (misalnya gangguan fungsi step 0,1 pu) yaitu dalam kurung waktu 0,35 sekon. Nilai parameter kendali yang digunakan yaitu $K_p = 12,493322$; $K_i = 26,626341$; dan $K_d = 1,465495$.

Keywords: Frekuensi, Governor, MATLAB R2016a, Pengendali PID.

I. PENDAHULUAN

Salah satu masalah pokok yang dihadapi dalam pengoperasian sistem tenaga listrik adalah kestabilan frekuensi. Apabila daya yang dibangkitkan dalam sistem lebih kecil dari beban yang diminta, maka frekuensi akan turun. Begitupun sebaliknya, jika daya yang dibangkitkan oleh sistem lebih besar dari beban maka frekuensi akan naik. Daya aktif mempunyai hubungan erat dengan nilai frekuensi dalam sistem. Sedangkan beban sistem yang berupa daya aktif maupun daya reaktif selalu berubah sepanjang waktu.

Penyesuaian beban sistem pada pembangkit dilakukan oleh governor yang mengontrol kecepatan turbin dengan cara mengendalikan jumlah uap atau bahan bakar yang masuk ke turbin. Oleh karena itu, diperlukan suatu pengendali yang akan mengatur governor. Salah satu pengendali yang dapat digunakan yaitu *Proporsional Integral Derivatif* (PID), dimana pengendali ini bertujuan untuk meminimalisir kesalahan frekuensi selama kondisi operasi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui peran governor terhadap kestabilan frekuensi pada PLTU Mamuju 2 x 25 MW dengan membandingkan respon governor menggunakan pengendali PID dan tanpa pengendali PID. Penelitian ini diawali dengan membuat pemodelan matematis turbin, governor dan generator PLTU Mamuju. Kemudian mencari persamaan lingkaran terbuka dan persamaan lingkaran tertutup. Hasil persamaan

tersebut diimplementasikan ke dalam aplikasi MATLAB R2016. Pemodelan matematis menggunakan pendekatan dengan pemodelan persamaan linear.

II. KAJIAN LITERATUR

A. Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (disingkat PLTU) merupakan jenis pembangkit yang memanfaatkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Generator yang seporos dengan turbin akan digerakkan oleh tenaga kinetik dari uap panas/kering. Pembangkit listrik tenaga uap menggunakan berbagai macam bahan bakar terutama batu bara dan minyak bakar serta MFO (*Marine Fuel Oil*) untuk start up awal [1].

B. Kestabilan Frekuensi

Kestabilan frekuensi merupakan kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan frekuensi stabil mengikuti ketidakstabilan sistem yang menghasilkan ketidakseimbangan yang signifikan antara generator dan beban. Hal ini tergantung pada kemampuan untuk mempertahankan / mengembalikan keseimbangan antara sistem generator dan beban, dengan kehilangan beban minimal yang tidak disengaja. Ketidakstabilan yang terjadi dapat mengakibatkan permasalahan dalam bentuk ayunan frekuensi yang *leading* sehingga menyebabkan *tripping* unit pembangkit atau beban [2].

Frekuensi merupakan salah satu karakteristik pada sistem tenaga listrik yang sangat penting untuk dijaga. Hal ini berkaitan erat dengan upaya untuk menyediakan sumber energi yang berkualitas bagi konsumen. Pasokan listrik dengan frekuensi yang berkualitas baik dapat menghindarkan peralatan konsumen dari ancaman kerusakan (pada umumnya alat hanya dirancang untuk dapat bekerja secara optimal dengan batasan frekuensi ± 50 Hz) [3].

C. Pengaturan Frekuensi dan Daya Aktif

Daya aktif memiliki hubungan erat dengan nilai frekuensi suatu sistem. Pengaturan daya aktif harus disesuaikan dengan kebutuhan daya aktif beban, dimana dapat dilakukan dengan mengatur kopel penggerak generator sehingga tidak ada pemborosan penggunaan daya. Dalam sistem tenaga listrik digunakan generator sinkron tiga fasa untuk pembangkit tenaga listrik yang utama. Oleh karena itu, pengaturan frekuensi sistem tergantung pada karakteristik generator sinkron [4]. Menurut Hukum Newton hubungan antara kopel mekanik penggerak generator dengan perputaran generator :

$$(T_G - T_B) = H \times \frac{\partial \omega}{\partial t} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

- T_G = Kopel penggerak generator
- T_B = Kopel beban yang membebani generator
- H = Momen inersia dari generator beserta mesin penggeraknya
- ω = Kecepatan sudut perputaran generator

Untuk menghitung nilai frekuensi pada generator adalah sebagai berikut:

$$F = \frac{\omega}{2\pi} \dots\dots\dots (2)$$

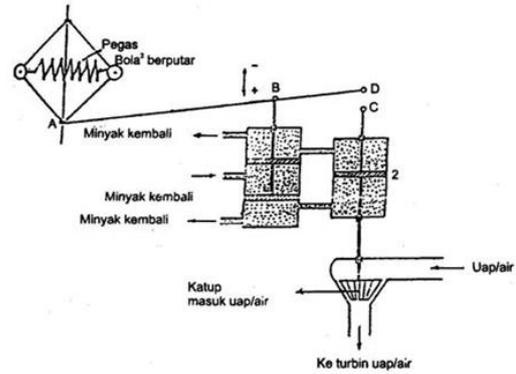
Pengaturan frekuensi dalam sistem dapat juga diartikan sebagai pengaturan daya aktif suatu generator. Secara mekanis apabila :

$(T_G - T_B) = \Delta T < 0$, maka $\frac{\partial \omega}{\partial t}$ sehingga frekuensi turun
 $(T_G - T_B) = \Delta T > 0$, maka $\frac{\partial \omega}{\partial t}$ sehingga frekuensi naik

Dari persamaan di atas, secara tidak langsung penyediaan daya aktif dapat pula mempengaruhi frekuensi sistem.

D. Governor

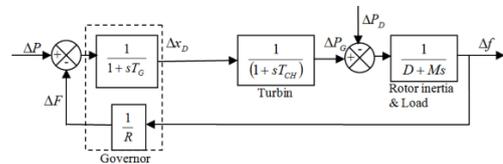
Governor merupakan peralatan yang berfungsi sebagai pengaturan frekuensi pada Turbin Uap, dimana governor akan membuka untuk menambah kapasitas Uap ketika frekuensi turun dari nominal, serta akan menutup untuk mengurangi kapasitas Uap ketika frekuensi naik. Tipe governor antara lain, MHC (*Mechanic Hydraulic Control*) dan EHC (*Electric Hydraulic Control*) [3]. Berikut adalah kema governor pada gambar 1.



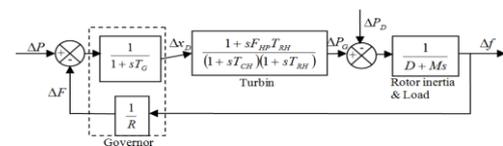
Gambar 1. Skema Governor [3]

E. Pemodelan Sistem Pembangkit pada PLTU

Berikut adalah blok diagram pemodelan sistem pembangkit pada PLTU yang mempunyai jenis turbin *Non-reheat* (tanpa pemanas ulang) pada gambar 2. Sedangkan blok diagram pemodelan sistem pembangkit pada PLTU jenis turbin *Reheat* (pemanas ulang) dapat dilihat pada gambar 3 [5].



Gambar 2. Pemodelan Sistem Pembangkit Pada PLTU tipe Non-reheat Turbin [5]



Gambar 3. Pemodelan Sistem Pembangkit Pada PLTU tipe Reheat Turbin [5]

Keterangan :

- R = Konstanta pengaruh kerja governor terhadap frekuensi (*speed droop*)
- K_G = Gain statis mekanisme *speed governing*
- T_G = *Time-constant* mekanisme *speed governing*
- K_T = Gain sistem pembangkit listrik
- F_{HP} = Koefisiensi pemanas ulang (*reheater*)
- T_{CH} = *Time-constant* turbin Low Pressure (tekanan rendah)
- T_{RH} = *Time-constant* turbin High Pressure (tekanan tinggi)
- H = Konstanta inersia (MWs/MVA)
- D = Konstanta *load-damping*
- ΔP = *Daya Input*
- $\Delta \omega$ = Output berupa kecepatan putaran

F. Kontroler PID (*Proporsional Integrator Derivative*)

Tujuan pengontrolan sebuah sistem adalah untuk memperoleh sinyal aktual yang diinginkan sesuai dengan sinyal *setting*. Semakin cepat respon sistem mengikuti

sinyal aktual dan semakin kecil kesalahan yang terjadi, maka semakin baik kemampuan sistem kontrol yang diterapkan. Dalam kendali PID terdapat tiga cara pengaturan yaitu kendali P (*Proportional*), D (*Derivative*), dan I (*Integral*) masing-masing dapat bekerja sendiri maupun gabungan. Tanggapan Sistem kendali PID terhadap perubahan parameter pada tabel 1.

Tabel 1. Tanggapan Sistem kendali PID terhadap perubahan parameter

Tanggapan loop tertutup	Waktu Naik (Rise Time)	Overshoot	Kesalahan keadaan tunak (error steady state)
Proporsional (Kp)	Menurun	Meningkat	Menurun
Integral (Ki)	Menurun	Meningkat	Hilang
Derivative (Kd)	Perubahan kecil	Menurun	Perubahan kecil

G. MATLAB (MATrix LABoratory)

MATLAB merupakan bahasa pemrograman tinggi, tertutup, dan *case sensitive* dalam lingkungan komputasi numerik yang dikembangkan oleh *MathWorks*.

MATLAB dapat digunakan untuk penelitian, pengembangan sistem dan desain sistem. MATLAB dapat membantu dalam perancangan desain suatu sistem dan analisis suatu algoritma. MATLAB mempunyai banyak *tools* yang dapat membantu berbagai disiplin ilmu, sehingga banyak industri yang menggunakan MATLAB. Tersedia beragam tool seperti *fuzzy logic designer*, *control system tuner*, *control system designer*, *linier system analyzer*, *neuro fuzzy designer*, dan *system identification*.

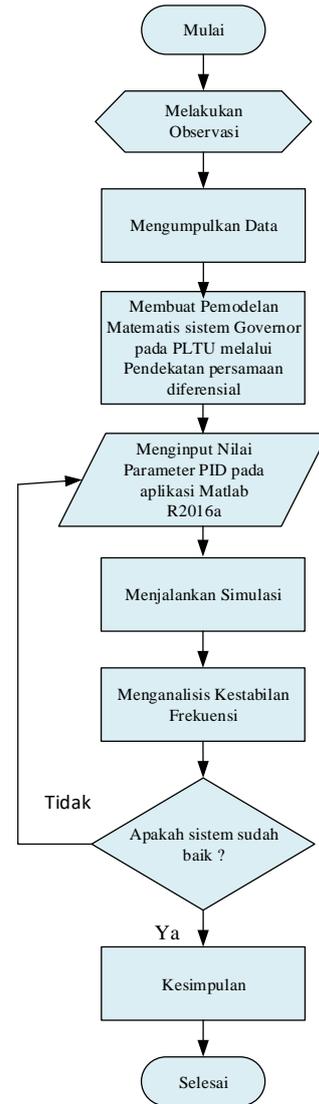
III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di PT. Rekind Daya Mamuju, Unit PLTU 2 x 25 MW, terletak di Belang-Belang, Kalukku, Kabupaten Mamuju, Provinsi Sulawesi Barat. Penelitian ini akan berlangsung mulai bulan Februari – April 2021. Penelitian dan pengumpulan data berlangsung selama 3 bulan (Februari sampai dengan April 2021).

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Pada saat pengambilan data selesai, dilakukan pengolahan data dengan mencari persamaan matematis pemodelan fungsi lingkaran terbuka dari penggabungan komponen governor, turbin, generator pada PLTU Mamuju 2 x 25 MW kemudian memasukkan ke dalam aplikasi MATLAB R2016a menggunakan perintah script,
2. Menghitung parameter Kp, Ki, dan Kd,
3. Mencari persamaan matematis pemodelan fungsi lingkaran tertutup dari pemodelan yang telah dilakukan dengan menggunakan pengendali PID,
4. Membandingkan hasil tanggapan waktu sinyal keluaran dari kedua persamaan tersebut.
5. Kemudian menarik suatu kesimpulan sebagai hasil evaluasi.

Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4 berikut.



Gambar 4 Diagram alir penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada PLTU Mamuju terdapat 2 unit generator sinkron tipe QF2W-30-2E yang memiliki spesifikasi yang sama. Data generator disajikan pada tabel 2.

Tabel 2 Data Generator PLTU Mamuju

No	Deskripsi	Nilai	Satuan
1	Daya	30	MW
2	Tegangan	10,5	kV
3	Arus	1941	A
4	Faktor Daya	0,85	Lag
5	Frekuensi	50	Hz
6	Speed	3000	rpm
7	Tegangan Eksitasi	200	V
8	Arus Eksitasi	390	A

Turbin pada PLTU Mamuju menggunakan tipe N30-8.83-11 dengan data spesifikasi yang sama tiap unit, disajikan pada tabel 3.

Tabel 3 Data Turbin PLTU Mamuju

No	Deskripsi	Nilai	Satuan
1	Daya	30	MW
2	Daya Maksimal	33,9	MW
3	Suhu Uap Masuk	535°	C
4	Tekanan	8.5	Kpa
5	Aliran Uap Maksimal	130	TPH
6	Putaran	3000	RPM

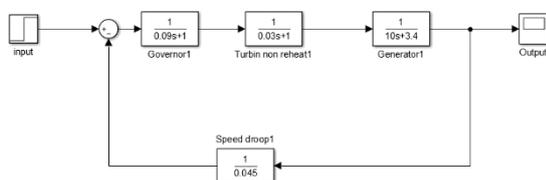
Pada PLTU Mamuju berdasarkan *Manual Book* Turbin, pada pengontrolan beban turbin dilengkapi dengan *Primary Frequency Modulation*, dimana berfungsi untuk mempertahankan nilai frekuensi sesuai dengan frekuensi grid, melalui kerja dari governor turbin. Apabila nilai frekuensi melebihi atau kurang dari nilai batasan frekuensi (51,1 Hz \leq 48,83 Hz), maka *Primary Frequency Modulation* akan bekerja mengatur *supply* uap (pengaturan beban) ke turbin. Berikut data spesifikasi pengontrolan beban turbin pada tabel 4.

Tabel 4 Data pengontrolan beban turbin

No	Deskripsi	Nilai	Satuan
1	Konstanta pengaruh kerja governor terhadap frekuensi	4,5	%
2	Time-constan dari mekanisme <i>speed governing</i>	0,09	detik
3	Time-constan Turbin Low Pressure	0,03	detik
4	Time-constan Turbin High Pressure	0,03	detik
5	Daya Aktif	30	MW
6	Daya Reaktif	20	VAR
7	Beban Sistem	0,05	pu
8	Tegangan	10,5	kV

A. Pemodelan Matematis Pembangkit

Untuk menggambarkan pemodelan matematik sistem pembangkit, dapat diasumsikan sebagai input adalah daya (P), sebagai *plant* adalah governor (G1), turbin (G2), generator (G3), sedangkan sebagai umpan balik adalah *Speed drop* (H), dan sebagai keluaran adalah frekuensi (ω). Dapat dilihat blok diagram beserta parameter data pada gambar 5.



Gambar 5 Diagram Blok sistem tanpa PID

Berikut adalah persamaan fungsi alih lingkaran terbuka [6].

$$\frac{\Delta \omega}{\Delta P} = \frac{1}{H(G1.G2.G3)}$$

$$\frac{\Delta \omega}{\Delta P} = \frac{1}{0,045(0,09s + 1)(0,03s + 1)(10s + 3,4)}$$

$$\frac{\Delta \omega}{\Delta P} = \frac{1}{0,001215s^3 + 0,054413s^2 + 0,46836s + 0,153}$$

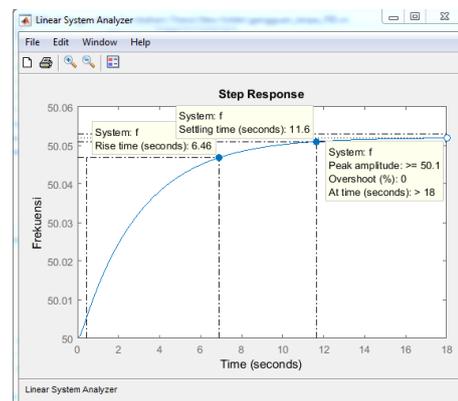
B. Hasil Simulasi dengan memberikan gangguan tanpa pengendali PID

Pada simulasi ini diberikan gangguan berupa memberikan gangguan fungsi step 0,1 pu dari sistem 50

MW yang mengakibatkan adanya perubahan daya sebesar 5 MW. Maka tanggapan sinyal keluarannya dapat diketahui dengan menggunakan bantuan Matlab metode *scrip* dengan perintah sebagai berikut.

```
%beban mengalami perubahan beban
deltaPL diasumsikan masuk kedalam
sistem
%Besarnya deltaPL adalah 5MW,dalam hal
ini adalah 0.1 pu
PL=0.1;
num=[1]
den=[0.001215 0.054413 0.46836 0.153];
%persamaan lingkaran terbuka sistem
a=tf(num,den)*PL; %persamaan lingkaran
terbuka dikali PL
f=50+a/(4*pi)
ltiview(f)
```

Maka tanggapan sinyal output dapat dilihat pada gambar 6



Gambar 6 Hasil Simulasi Dengan Pemberian Gangguan Tanpa Pengendali PID

Dapat dilihat pada gambar 6 terjadi peningkatan sinyal frekuensi dari frekuensi normal dan belum kembali ke frekuensi normalnya yaitu 50 Hz. Di lain pihak kondisi keadaan mantap tercapai dalam waktu yang sangat lama yaitu 18 detik. Sinyal frekuensi yang tidak kembali ke posisi normal dengan segera dapat meyebabkan kerusakan peralatan pada pembangkit. Oleh karena itu diperlukan sebuah teknik pengendalian yang akurat.

C. Simulasi dengan menggunakan pengendali PID

Dari nilai Kp, Ki, dan Kd yang telah diperoleh dari hasil perhitungan, maka dibuat persamaan lingkaran tertutup dengan pengendali PID.

$$\frac{\Delta \omega}{\Delta P} = \left\{ \frac{Kd.s^2 + Kp.s + Ki}{s(a3.s^3 + a2.s^2 + (Kd + a1)s + (Kp + a0) + Ki)} \right\}$$

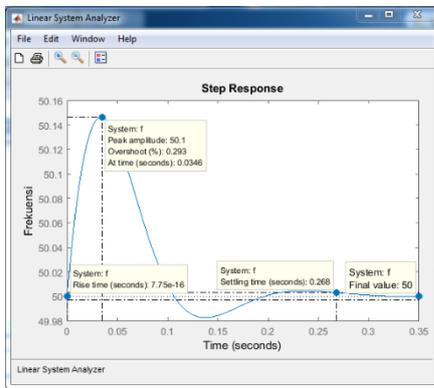
$$= \left\{ \frac{1,465495.s^2 + 12,493322.s + 26,626341}{s(0,001215.s^3 + 0,054413.s^2 + (1,465495 + 0,46836)s^2 + (12,493322 + 0,153) + (26,626341))} \right\}$$

Kemudian persamaan yang telah diperoleh disimulasikan dengan menuangkan nilai-nilai pembilang

dan penyebut ke dalam aplikasi MATLAB menggunakan perintah *script* berikut.

```
%beban mengalami perubahan beban
deltaPL diasumsikan masuk kedalam
sistem
%Besarnya deltaPL adalah 5MW,dalam hal
ini adalah 0.1 pu
PL=0.1;
Kd=1.465495;
Kp=12.493322;
Ki=26.626341;
t=50:1:10;
num=[0 Kd Kp Ki 0];
den=[0.001215 0.054413 (0.46836+Kd)
(0.153+Kp) 0+Ki]; %persamaan lingkaran
terbuka sistem
a=tf(num,den)*PL; %persamaan lingkaran
terbuka dikali PL
f=50+a/(4*pi)
ltiview(f)
```

Maka tanggapan sinyal output dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7 Hasil Simulasi Dengan Menggunakan Pengendali PID

Pada gambar 7 sistem memiliki *rise time* sebesar 7 detik. Sistem ini kemudian merasakan adanya perubahan beban karena dapat dilihat terjadi osilasi frekuensi sebesar 0,15 Hz selama 0,0346 detik yang merupakan nilai *tp*. Kemudian frekuensi sistem berisolasi. Sampai dengan nilai keadaan normalnya dengan periode lama waktu menuju keadaan mantap $t_s = 0,268$ detik. Sistem dalam keadaan mantap selama 0.35 detik. Hal ini berlangsung cepat dan termasuk hasil yang diinginkan.

Berdasarkan hasil simulasi pada gambar 7 (tanpa pengendali PID) dan gambar 8 (menggunakan PID) dapat diketahui bahwa governor lebih efektif menggunakan pengendali PID dibandingkan tidak menggunakan pengendali PID. Hal itu dikarenakan respon governor dengan menggunakan pengendali PID cenderung lebih cepat mengembalikan frekuensi ke nilai normalnya jika terjadi gangguan (contoh gangguan fungsi step 0,1 pu) yaitu dalam kurung waktu 0,35 sekon.

V. KESIMPULAN

Peran governor dalam menjaga kestabilan frekuensi pada PLTU Mamuju 2 x 25 MW jauh lebih baik menggunakan sistem pengendali PID daripada tidak menggunakan sistem pengendali PID. Dimana saat diberikan gangguan fungsi step 0,1 pu dari sistem 50 MW yang mengakibatkan adanya perubahan daya sebesar 5 MW. Jika menggunakan sistem kendali maka respon sistem cepat kembali ke frekuensi normalnya yaitu 0,35 sekon dibandingkan tidak menggunakan sistem kendali. Kondisi tersebut diperoleh pada nilai parameter kendali $K_p = 12,493322$; $K_i = 26,626341$; dan $K_d = 1,465495$.

REFERENSI

- [1] N. H. Yuniarti and E. Priarto, Pengantar Pembangkit Tenaga Listrik, Yogyakarta: Bahan Ajar, 2017.
- [2] Rosalina, "Stabilitas Sistem Tenaga Listrik," 2010. [Online]. Available: <http://www.lontar.ui.ac.id/file?file=digital/131359-T+27636-Analisis+kestabilan-Tinjauan+literatur.pdf>.
- [3] D. Marsudi, Operasi Sistem Tenaga Listrik, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2016.
- [4] Y. Arifin, "RESPON STABILITAS SISTEM YANG MENGGUNAKAN GOVERNOR KONVENSIONAL DAN GOVERNOR FUZZY LOGIC," "MEKTEK" TAHUN XIII NO. 1, JANUARI 2011, pp. 60-66, 2011.
- [5] A. A. Firdaus, "Desain Model Kontrol Governor Dengan Menggunakan Kontroler PID Di PLTU," *ISSN Cetak: 2087-4286; ISSN On Line: 2580-6017*, p. 8, 2016.
- [6] H. Saadat, Power System Analysis, New York: Kevin Kane, 1999.
- [7] Patriandari, "ANALISIS PENGOPERASIAN SPEED DROOP GOVERNOR SEBAGAI PENGATURAN FREKUENSI PADA SISTEM KELISTRIKAN PLTU GRESIK," *Proceeding Seminar Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS*, p. 6, 2010.
- [8] E. Sutjiadi and S. Soewono, "PEMODELAN KONTROL FREKUENSI BEBAN DAN STRATEGI PEMUTUSAN BEBAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS," *JURNAL ENERGI & KELISTRIKAN VOL. 8 NO. 2, JUNI - DESEMBER 2016*, pp. 80-91, 2016.
- [9] G. M. N. C. Aryanata, I. N. Suweden and I. M. Mataram, "Studi Analisis Governor sebagai Load Frequency Control pada PLTG menggunakan Fuzzy Logic Controller," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, Vol. 17, No. 1, Januari - April 2018*, p. 9, 2018.