

Pengaturan *Automated Voltage Regulator* Untuk Kestabilan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap Menggunakan Matlab

Albert Gifson Hutajulu *) dan Rainhard Yosia

Institut Teknologi PLN, Indonesia

*) Corresponding author: albert.gifson@itpln.ac.id

(Submit pada : 16 Oktober 2024 | Terbit pada : 29 November 2024)

Abstract

There was a loading disruption at PLTU Bolok in semester 1 2022 Unit #1,2 where a trip occurred due to disruption to the Timor system network due to rainstorms and lightning. This incident resulted in the Bolok PLTU unit experiencing house load failure due to the PMT on the 70kV side and the Circuit Breaker Generator being in the open position. The aim of the research is that the Automatic Voltage Regulator (AVR) has a very important role in maintaining the generator output voltage so that it remains at its value even when load changes occur. The research method uses matlab simulation namely modeling the Automatic Voltage Regulator system and load testing under full load conditions, proving that the AVR system works well in controlling the generator output voltage according to the function of the AVR itself. When this disturbance occurs, it is necessary to reset the AVR so that it can work well in dealing with any changes in load that occur. In this way, the stability of the electricity system on the island of Timor can be maintained and also contribute to improving company performance. The results of this research are the lowest and highest voltage regulation percentage values. It is concluded that the voltage regulation percentage values are still in normal condition and do not exceed the specified tolerance values so that the Automatic Voltage Regulator works well as a generator voltage controller.

Abstrak

Terjadinya gangguan pembebanan pada PLTU Bolok di semester 1 2022 Unit #1,2 dimana terjadi trip akibat gangguan jaringan sistem Timor akibat adanya hujan badai dan petir. Kejadian ini mengakibatkan unit PLTU Bolok mengalami gagal house load akibat PMT sisi 70kV dan *Circuit Breaker Generator* posisi Open. Tujuan penelitian agar *Automatic Voltage Regulator* (AVR) memiliki peran yang sangat penting dalam menjaga tegangan output generator agar tetap berada pada nilainya walaupun saat terjadi perubahan beban. Metode penelitian menggunakan simulasi matlab yaitu pemodelan sistem *Automatic Voltage Regulator* dan pengujian beban dalam kondisi beban penuh ini membuktikan bahwa sistem AVR bekerja dengan baik dalam mengontrol tegangan luaran generator sesuai dengan fungsi AVR itu sendiri. Dengan terjadinya gangguan ini maka diperlukan pengaturan ulang terhadap AVR agar dapat bekerja dengan baik dalam mengatasi setiap perubahan beban yang terjadi. Dengan demikian kestabilan sistem kelistrikan pada pulau Timor dapat tetap terjaga dan juga berkontribusi dalam peningkatan kinerja perusahaan. Adapun hasil penelitian adalah nilai persentase regulasi tegangan terendah dan tertinggi disimpulkan bahwa nilai persentase regulasi tegangan masih dalam keadaan normal dan tidak melebihi nilai toleransi yang ditetapkan sehingga *Automatic Voltage Regulator* bekerja dengan baik sebagai pengendalian tegangan generator.

Keywords : *Automatic Voltage Regulator, Over Excitation, System Stability*

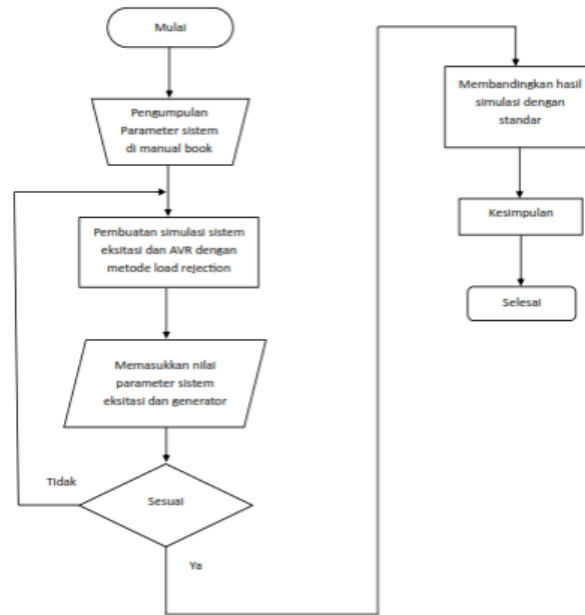
PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Bolok merupakan Pembangkit Listrik Tenaga Uap yang terletak di Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur dengan kapasitas daya terpasang 2 x 16,5 MW. PLTU Bolok menjadi tulang punggung kelistrikan pada Sistem Timor, hal tersebut dibuktikan dengan realisasi pencapaian *Capacity Factor* (CF) pada tahun 2021 sebesar 80,29% yang tentunya mempengaruhi BPP (Biaya Pokok Produksi) pada sistem Timor. Tercatat realisasi produksi PLTU Bolok selama tahun 2021 sebesar 187,26 GWH. Dengan pentingnya peran PLTU Bolok dalam menanggung beban kelistrikan kota Kupang maka perlu dipastikan bahwa kestabilan sistem didalamnya tetap terjaga. Terjadinya kegagalan *House Load* pada PLTU Bolok pada saat terjadi gangguan pada semester 1 tahun 2023 disebabkan oleh *over* eksitasi sebesar 49,4% dari arus nominal generator PLTU Bolok unit 1 dan 2. Terjadi gangguan di PLTU Bolok berdampak ke Pembangkit yang menyebabkan unit pembangkit lain trip [1]. PLTU Bolok masih bertahan karena sistem proteksi *Under Frequency Relay* dapat bekerja ketika frekuensi sistem turun. Saat kondisi UFR bekerja dengan tidak adanya beban yang dibangkitkan akibat banyak pembangkit lainnya yang trip terjadilah *over supply*. Tujuan penelitian agar AVR memberikan respon untuk menaikkan tegangan agar sistem kembali seimbang. Akan tetapi ketika AVR bekerja untuk menambah arus eksitasi, 2 detik setelahnya PMT 70 kV menjadi posisi Open secara otomatis diakibatkan adanya *over frequency*. Dari hal ini terjadi *over* eksitasi dan menyebabkan kenaikan tegangan pada PLTU Bolok Unit 1 dan 2. Oleh karena itu perlu dilakukan evaluasi terkait respon AVR dan langkah penting lainnya yang harus dilakukan untuk memperbaiki keadaan ini. Ketidakstabilan sistem tenaga secara keseluruhan salah satunya berakar dari tidak stabilnya tegangan. Selain itu hal ini juga dapat mengganggu sekuritas sistem, kualitas dan kemampuan transfer daya dari pembangkit ke konsumen. Manfaat penelitian adalah diperlukan suatu alat yang dapat menjaga profil tegangan agar selalu dalam nilai nominalnya. AVR (*Automatic Voltage Regulator*) merupakan salah satu alat kontrol dalam generator yang berfungsi untuk menstabilkan tegangan walaupun beban berubah ubah [2].

METODE PENELITIAN

Metode analisis ini dimulai setelah terjadinya gangguan pembebanan pada PLTU Bolok di kota Kupang pada semester 1 tahun 2023. Selanjutnya dilakukan tahapan analisis. Tahapan Analisis adalah sebagai berikut :

1. Mengumpulkan informasi kronologis kejadian Analisa dan Evaluasi Gangguan Meluas yang terjadi di PLTU Bolok pada semester 1 tahun 2023.
2. Mengumpulkan informasi lapangan untuk mencari data-data bagaimana Pembangkit Listrik Tenaga Uap Bolok melakukan konfigurasi pada generatornya dan mengumpulkan data yang diperlukan untuk dilakukan Analisis terkait dengan AVR.
3. Analisis berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi MATLAB. Setelah mendapat data hasil perhitungan, akan dilakukan analisis terkait profil dan keadaan dari AVR yang digunakan, selanjutnya dibandingkan dengan hasil simulasi. harapannya hasil yang sudah dilakukan dan hasil perhitungan mendapatkan hasil yang terbaik sehingga keandalan AVR terpenuhi dan tingkat kegagalan dalam penggunaannya rendah.

Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

Automatic Voltage Regulator

Regulator tegangan otomatis dapat juga disebut *Automatic Voltage Regulator (AVR)* adalah sebuah peralatan yang sangat penting dalam sistem pembangkit. Peralatan ini digunakan untuk menjaga agar tegangan output generator tetap berada pada nilai nominalnya meskipun terdiperubahan beban. Tegangan terminal generator akan turun dari keadaan tanpa beban (*no load*) sampai beban penuh (*full load*) bila tidak ada *voltage regulator* mengatur agar tegangan tersebut konstan [3].

Sistem eksitasi merupakan sistem mengalirnya pasokan listrik arus searah sebagai penguatan pada generator listrik, sehingga menghasilkan tenaga listrik dan besar tegangan keluaran bergantung pada besarnya arus eksitasi. Kontrol sistem eksitasi menghasilkan tegangan emf generator. Oleh karena itu, kontrol tersebut tidak hanya untuk mengontrol faktor daya, arus, dan perbaikan variabel lain. Setiap sistem eksitasi mempunyai fungsi dasar yaitu menyediakan arus searah (DC) ke gulungan medan dari generator sinkron. Padahal masih ada sistem eksitasi DC yang digunakan saat ini, sistem eksitasi biasanya berjenis AC. Jadi, perlu untuk memperbaiki keluaran dari sistem eksitasi dari AC ke DC untuk dapat digunakan sebagai arus medan untuk generator utama. Selain itu, sistem eksitasi juga diberikan fungsi untuk mengatur medan DC secara otomatis arus untuk mengontrol tingkat eksitasi [4]. Berdasarkan cara penyaluran arus searah pada rotor generator sinkron, sistem eksitasi terdapat dua jenis yaitu sistem eksitasi dengan menggunakan sikat (*brush excitation*) dan sistem eksitasi tanpa menggunakan sikat (*brushless*) [5]. Ada dua jenis sistem eksitasi dengan menggunakan sikat yaitu:

- a. Sistem eksitasi konvensional (menggunakan generator arus searah).
- b. Sistem eksitasi statis

Sedangkan sistem tanpa menggunakan sikat terdiri dari

- a. Sistem eksitasi menggunakan baterai
- b. Sistem eksitasi dengan menggunakan *Permanent Magnet Generator (PMG)*

Pengaturan tegangan adalah perubahan tegangan terminal alternator antara keadaan beban nol dengan beban penuh. Keadaan ini memberikan gambaran Batasan drop tegangan yang terjadi pada generator. Regulasi tegangan generator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\% \text{Regulasi Tegangan Turun} = \frac{E_0 - V_0}{V_0} \times 100 \% \quad (1)$$

$$\% \text{Regulasi Tegangan Naik} = \frac{V_0 - E_0}{V_0} \times 100 \% \quad (2)$$

Untuk menghitung sudut penyalan Thyristor harus melakukan tahapan sebagai berikut :

1. Menghitung Tegangan Induksi ($E_a - exc$) AC Exciter, dengan menghitung tegangan keluaran AC Exciter $V_m - e$

$$V_M - exc = \frac{V_{DC-gen}}{1.6548} \text{ Volt} \quad (3)$$

2. Menghitung Sudut penyalan pada rangkaian converter di AVR

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{2\pi V_{dc}}{\sqrt{3} V_m - exc} - 1 \right) \quad (4)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Penyebab Gagal *Houseload*

Sesaat setelah PMT 70 kV OPEN tegangan sisi 400 V mengalami kenaikan, begitu juga pada tegangan output generator naik hingga 11,11 kV (Nominal 10,5 kV). Setelah tegangan output generator naik hingga 11,11 kV , tegangan generator hilang seketika, sehingga menyebabkan CB Generator OPEN. Adapun analisa penyebab hilangnya tegangan generator akibat over excitation. Adapun data perhitungan pendukung adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Data Operasi Saat Kejadian

Jam	F (Hz)	V (kV)	I (kA)	P (MW)	Φ (Weber)	Cos Phi
17.40	51.72	10.97	0,8	4.83	10	0,81

- a. Mencari putaran generator

$$n = \frac{120 \cdot f}{p} = \frac{120 \cdot 51,75}{2} = 3,103 \text{ rpm}$$

- b. Mencari tahanan generator

$$R_f = \frac{V_f}{I_f} = \frac{51,75 \text{ kV}}{0,801 \text{ kA}} = 13,87 \text{ Ohm}$$

- c. Perhitungan arus exitasi

$$I_f = \frac{E_f}{R_f} = \frac{230 \text{ V}}{13,87} = 22,85 \text{ A}$$

Dengan tegangan output generator sesaat PMT 70 kV open maka tegangan generator tanpa beban naik hingga 11,147 kV, dengan regulasi tegangan rate AVR sebesar sebesar 37,8%. Sehingga tegangan sisi LV naik hingga 448,15 V (20,42% dari Tegangan Nominal Generator 400 V). Penyebab gagal house load PLTU Bolok saat kejadian tanggal 21 Februari 2022 adalah terjadinya *loss excitation* sehingga menyebabkan GCB OPEN. Terjadi *over eksitasi* hingga 49,4% dari arus nominal exciter generator. Penyebab terjadinya over eksitasi pada generator saat kejadian akibat terjadi fenomena *deep voltage* pada kejadian sebelumnya (Tegangan sisi LV turun hingga 363,712 V pukul 17:40:30), sehingga generator memerintahkan AVR untuk

menambahkan arus eksitasi. Namun setelah AVR menambah arus eksitasi, 2 detik setelahnya PMT 70 kV OPEN akibat *over frequency*. Evaluasi dari kejadian ini perlu dilakukan assessment settingan AVR.

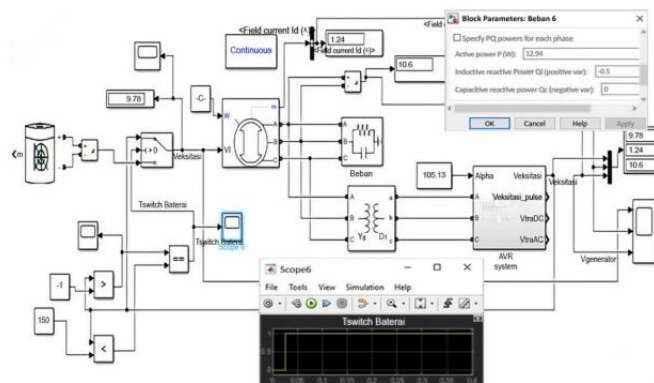
Hasil Simulasi Pengaruh Perubahan Beban Daya Reaktif Kapasitif

Data diperoleh dari *logsheet* generator bulan Juni 2023, yang diambil dari sampel per tanggal 30 Juni 2023 untuk dilakukan perhitungan agar dapat menganalisa kinerja dari AVR terhadap perubahan beban.

Tabel 2. Beban Daya Reaktif Kapasitif

Time	Generator Unit 1 PLTU Bolok					Excitation		
	Tegangan (V)	Arus (A)	Beban Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)	Cos 0	Tagangan (V)	Arus (A)	Sudut Penyalaan Thyristor (°)
03:00	10,60	699,00	12,94	-0,50	0,99	9,50	1,20	105,113
04:00	10,60	702,00	13,29	-2,00	0,99	9,50	1,20	105,113
05:00	10,60	720,00	13,29	-2,10	0,98	12,60	1,80	91,116
06:00	10,60	717,00	13,18	-2,00	0,97	12,60	1,98	91,116

Gambar di bawah menunjukkan hasil dari simulasi pengujian pertama pada beban $P = 12,94$ MW, $Q = -0,5$ MVAR, dengan sudut penyalaan $105,13^\circ$ memperoleh arus eksitasi $I_f = 1,24$ A, $V_f = 9,78$ V, dan output generator $10,592$ kV. Pemodelan AVR pada simulasi bekerja dengan mengontrol nilai tegangan luaran tidak jauh dari nilai nominalnya $10,6$ kV dengan memberikan sudut penyalaan Thyristor sebesar $105,13^\circ$. Gambar 2 berikut merupakan gelombang dari hasil pengujian.



Gambar 2. Pengujian Daya Kapasitif Dengan Matlab

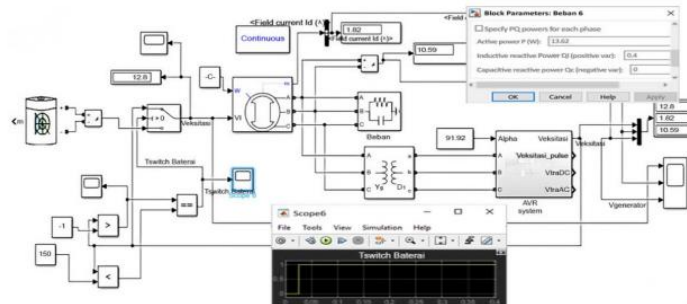
Gambar diatas menunjukkan hasil dari simulasi pengujian pertama pada beban $P = 12,94$ MW, $Q = -0,5$ MVAR, dengan sudut penyalaan $105,13^\circ$ memperoleh arus eksitasi $I_f = 1,24$ A, $V_f = 9,78$ V, dan output generator $10,592$ kV. Pemodelan AVR pada simulasi bekerja dengan mengontrol nilai tegangan luaran tidak jauh dari nilai nominalnya $10,6$ kV dengan memberikan sudut penyalaan Thyristor sebesar $105,13^\circ$

Hasil Simulasi Pengaruh Perubahan Beban Daya Reaktif Induktif

Tabel 3. Beban Daya Reaktif Induktif

Time	Generator Unit 1 PLTU Bolok					Excitation		
	Tegangan (V)	Arus (A)	Beban Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)	Cos 0	Tagangan (V)	Arus (A)	Sudut Penyalaan Thyristor (°)
00:00	10,60	736,00	13,62	0,40	0,99	12,80	1,82	90,224
01:00	10,60	734,00	13,12	0,40	0,99	12,60	1,76	91,116
19:00	10,70	871,00	16,00	1,66	0,98	15,80	2,34	76,73
20:00	10,70	875,00	16,20	1,60	0,97	15,80	2,39	76,73
24:00	10:60	894,00	16,50	0,50	0,990	16,20	2,40	74. 89

Dengan daya reaktif induktif $Q = 0,4$ MVar



Gambar 3. Pengujian Beban Daya Induktif 0,4 MVar dengan Mathlab

Gambar 3 menunjukkan hasil dari simulasi pengujian beban daya reaktif induktif pada beban $Q = 0,4$ MVar dan $P = 13,62$ MW dengan sudut penyalaan $91,92$ o memperoleh arus eksitasi $I_f = 1,82$ A, $V_f = 12,8$ V.

Pada saat pengujian beban daya reaktif (induktif) naik dari $P = 0,4$ MVar menjadi $Q = 1.66$ MVar, dapat menyebabkan fluktuasi tegangan dimana tegangan keluaran generator akan menurun. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya beban daya reaktif (induktif) maka tegangan keluaran generator menurun, sehingga untuk tetap menjaga kestabilan tegangan yang dihasilkan oleh generator agar tidak melebihi batas toleransi maka pada pemodelan system AVR perlu menyesuaikan sudut penyalaan Thyristor, sehingga arus eksitasi diperbesar dan memperoleh tegangan Output yang konstan dinilai nominalnya 10 kV.

Tabel 4. Tegangan Luaran Yang Dihasilkan dari Logsheet

Time	Generator Unit 1 PLTU Bolok		
	Log Sheet Tegangan (KV)	Hasil Simulasi Tegangan (KV)	Persentase (%)
00:00	10,60	10,59	0,12
01:00	10,60	10,59	0,07
03:00	10,60	10,59	0,08
04:00	10,60	10,60	0,03
05:00	10,60	10,61	-0,11
06:00	10,60	10,59	0,07
11:00	10,60	10,59	0,09
19:00	10,70	10,67	0,30
20:00	10,70	10,69	0,14
24:00	10,60	10,57	0,29

Dari hasil simulasi matlab yang dilakukan nilai tegangan output generator tidak jauh dari data yang diperoleh dari data logsheet yang diperoleh dari PLTU Bolok Unit 1. Dari data perhitungan nilai persentase regulasi tegangan diatas dapat diketahui bahwa besarnya persentase regulasi tegangan dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya yaitu besarnya nilai arus eksitasi dan frekuensi generator. Semakin besar frekuensi generator maka semakin besar kecepatan generator. Semakin besar nilai kecepatan generator dan nilai arus eksitasi maka semakin besar tegangan generator tanpa beban selain itu persentase regulasi tegangan juga dipengaruhi oleh tegangan terminal. Apabila tegangan generator tanpa beban tinggi dan tegangan terminal kecil maka semakin besar nilai persentase regulasi tegangan sebaliknya apabila tegangan generator tanpa beban kecil dan tegangan terminal makin besar maka nilai persentasenya semakin kecil, Dari nilai persentase regulasi tegangan tersebut maka berarti AVR bekerja dengan baik dan AVR berperan dalam pengendalian tegangan PLTU Bolok.

KESIMPULAN

Pengaturan *Automatic Voltage Regulator* (AVR) harus disesuaikan dengan spesifikasi generator dan peralatan yang digunakan, untuk memastikan bahwa pengaturan yang digunakan sudah tepat maka diperlukan perbandingan pengaturan dengan alat simulasi. Pada simulasi pemodelan system *Automatic Voltage Regulator* (AVR) pengujian beban dalam kondisi beban rendah dengan $P = 12,94\text{MW}$, $Q = -0,5\text{MVA}$ r dengan sudut penyalan $105,13^\circ$ memperoleh arus eksitasi sebesar 1,2 Ampere dan tegangan keluaran generator 10,592 kV tidak berbeda jauh dengan nilai nominalnya sebesar 10,6 kV, serta pada saat simulasi *Automatic Voltage Regulator* (AVR) dalam kondisi beban penuh sebesar $P = 16,5\text{MW}$, $Q = 0,5\text{MVA}$ r dengan sudut penyalan $74,890^\circ$ memperoleh arus eksitasi sebesar 2,4 Ampere dan tegangan keluaran generator 10,57 kV tidak berbeda jauh dengan nilai nominalnya sebesar 10,6 kV, ini membuktikan bahwa sistem *Automatic Voltage Regulator* (AVR) bekerja dengan baik dalam mengontrol tegangan keluar generator sesuai dengan fungsi AVR tersebut.

Pemeliharaan *Automatic Voltage Regulator* (AVR) harus dilakukan secara intensif agar *Automatic Voltage Regulator* (AVR) dapat mengontrol tegangan keluaran generator apabila terjadinya perubahan beban yang berubah ubah dalam waktu tertentu, sehingga keadaan sistem PLTU Bolok dapat bekerja dengan optimal dan mengurangi terjadinya lepas beban atau *blackout* akibat ketidakseimbangan beban.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Harahap Muchsin dkk., "Pengaruh Perubahan Variasi Eksitasi Tegangan Terhadap Daya Reaktif Pada Generator," Jurnal RELE, vol. 3, no. 2, pp. 71–76, 2021.
- [2] Yudistira Heri Istanto, "Analisis Pengaruh Arus Eksitasi Pada Generator Sinkron Terhadap Pembebanan di PLTA Wlingi PT. PJB UP Brantas", Jurnal Qua Teknik Vol 9 No 1, 2019, Universitas Islam Blitar.
- [3] Alimin Nurdin, Abdul Azis, Aresta Rozal, "Peranan Automativ Voltage Regulator Sebagai Pengendali Tegangan Generator Sinkron", Jurnal Ampere Vol 3 No 1, 2018, Universitas PGRI Palembang
- [4] Peter Butros, "Simulation of Rotating Brushless AC Excitation System with Control Thristor Bridge Rectifier For Hydropower Generator", Thesis, 2011
- [5] R. H. Marpaung, H. Eteruddin, and D. Setiawan, "Studi Perubahan Beban Terhadap Kinerja AVR pada Generator Sinkron Unit 2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Ubjom Tenayan Raya," *Semin. Nas. Karya Ilmiah Multidisiplin*, vol. 1, no. 1, pp. 96–109, 2021.