

# Studi Perubahan Beban Terhadap Kinerja AVR Pada Generator Sinkron Unit 2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Ubjom Tenayan Raya

Poltak Rudi Hartono Marpaung<sup>\*1</sup>, Hamzah Eteruddin<sup>2</sup>, David Setiawan<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning Pekanbaru

\*e-mail: [poltakmarpaung68@gmail.com](mailto:poltakmarpaung68@gmail.com)<sup>1</sup>, [hamzah@unilak.ac.id](mailto:hamzah@unilak.ac.id)<sup>2</sup>,  
[dsetia@unilak.ac.id](mailto:dsetia@unilak.ac.id)<sup>3</sup>

## Abstract

*The excitation current in the synchronous generator of the PLTU UBJOM Tenayan Raya varies with each change in load. To maintain the nominal output voltage of the generator with a varying amount of voltage. The analysis data is obtained from the Operation Daily Report (Log sheet) of PLTU UBJOM Tenayan in accordance with changes in the generator load to determine its effect on changes in the AVR excitation current. The daily data obtained is then compared with simulating it on Matlab r2018b, based on this study the load changes that occur are at least 16% of the nominal value, with an excitation current of 597.6 Ampere, an excitation voltage of 76.9 Volts and a stator current of 794,451 Ampere. In the simulation of the AVR system modeling, the load test under full load conditions is  $P = 99.6$  MW,  $Q = 16.6$  MVAR with an ignition angle of  $113.906^\circ$  to obtain an excitation current of 985.2 Ampere and a generator output voltage of 13.28 kV as well as during load testing. low with  $P = 17.6$  MW,  $Q = -6.6$  MVAR with an ignition angle of  $130.6^\circ$  to obtain an excitation current of 636.2 A and a generator output voltage of 13.81 kV not far from its nominal value of 13.8 kV, This proves that the AVR system works well in controlling the generator output voltage according to the AVR function itself. Based on the analysis results from this study, the AVR performance works well in overcoming any changes in the load that occur. Thus, the reliability of PLTU UBJOM Tenayan in serving customers is to maintain system stability, so that it can contribute to improving company performance.*

**Keywords:** synchronous generator, AVR, load

## Abstrak

Arus eksitasi pada generator sinkron PLTU UBJOM Tenayan raya berubah-ubah pada setiap masing-masing perubahan beban. Untuk menjaga tegangan output nominal generator dengan besaran tegangan yang berubah-ubah. Data analisa diperoleh dari Laporan Harian Operasi (Log sheet) PLTU UBJOM Tenayan sesuai dengan terjadinya perubahan beban pembangkit untuk mengetahui pengaruhnya terhadap perubahan arus eksitasi AVR. Data harian yang diperoleh berikutnya dibandingkan dengan mensimulasikan nya pada Matlab r2018b, berdasarkan penelitian ini Perubahan beban yang terjadi paling rendah 16% dari nilainominalnya, dengan besar arus eksitasi 597.6 Ampere, tegangan eksitasi 76,9 Volt dan arus stator 794.451 Ampere. Pada simulasi pemodelan sytem AVR pengujian beban dalam kondisi beban penuh sebesar  $P = 99,6$  MW,  $Q = 16,6$  MVAR dengan sudut penyalaan  $113,906^\circ$  memperoleh arus eksitasi 985,2 Ampere dan tegangan keluaran generator 13,28 kV pada saat pengujian beban rendah dengan  $P = 17,6$  MW,  $Q = -6,6$  MVAR dengan sudut penyalaan  $130,6^\circ$  memperoleh arus eksitasi sebesar 636,2 A dan tegangan keluaran generator 13,81 kV tidak jauh dari nilai nominal nya sebesar 13,8 kV, ini membuktikan bahwa sistem AVR bekerja dengan baik dalam mengontrol tegangan output generator sesuai dengan fungsi AVR itu sendiri berdasarkan hasil analisa dari penelitian ini kinerja AVR bekerja dengan baik dalam mengatasi setiap perubahan beban yang terjadi. Dengan demikian kehandalan PLTU UBJOM Tenayan dalam melayani pelanggan untuk menjaga kestabilan sistem tetap terjaga, sehingga dapat berkontribusi dalam peningkatan kinerja perusahaan.

**Kata kunci:** generator sinkron, AVR, beban

## 1. PENDAHULUAN

Listrik merupakan bentuk energi sekunder yang paling praktis penggunaannya oleh manusia, dimana listrik dihasilkan dari proses konversi energi sumber energi primer seperti, potensial air, energi angin, minyak bumi, batu bara, sinar matahari, gas, dan lainnya (Zulfahri zulfahri, Tanjung, & Monice, 2020). Bentuk energi listrik dapat digerakkan, dibangkitkan dan bahkan diubah kedalam bentuk yang lain. Karena listrik dengan mudah dapat diubah ke berbagai bentuk energi lain dan mudah dalam pemindahan energi dari suatu tempat ketempat yang lain (Atmam, Zondra, & Monice, 2020). Karena alasan inilah dalam suatu proses produksi, listrik merupakan suatu yang mutlak harus ada. Pada saat ini dan masa yang akan datang, kebutuhan listrik untuk industri besar maupun perusahaan semakin meningkat. Disamping itu dengan penggunaan peralatan listrik yang banyak dan konsumsi daya yang besar dibutuhkan pasokan listrik yang cukup besar dan handal.

PT. PJB UBJOM PLTU Tenayan memiliki unit *Steam Turbin generator* dengan kapasitas 2x110 MW (Erisman, Eteruddin, & Atmam, 2018; Eteruddin, Setiawan, & Sitepu, 2020). Tegangan yang dihasilkan oleh generator akan senantiasa berubah karena beban yang terus berfluktuasi. Untuk menjaga agar tegangan tetap konstan dalam nilai yang diizinkan, maka dibutuhkan alat yang disebut dengan *Automatic Voltage Regulator (AVR)*. AVR bertujuan mengatur besarnya arus eksitasi yang dipasok ke generator. Dan besarnya arus eksitasi berbanding lurus dengan besarnya beban pada generator. Arus eksitasi sangat mempengaruhi tegangan dan daya yang dihasilkan oleh generator, bila arus eksitasi naik maka daya yang disalurkan generator ke sistem akan naik sebaliknya bila turun maka daya yang disalurkan akan berkurang. Jika arus eksitasi yang diberikan terlalu kecil, aliran daya reaktif akan berbalik dari sistem menuju kegenerator sehingga generator menyerap daya reaktif dari sistem. Keadaan ini sangat berbahaya karena akan menyebabkan pemanasan berlebihan pada stator.

PLTU ini menghasilkan daya sebesar 220 MW yang terdiri dari 2 unit generator (Gunawan, Eteruddin, & Situmeang, 2020). Dengan dihasilkannya daya yang cukup besar, maka perubahan beban yang terjadi pada generator akan mempengaruhi kinerja dari AVR. Besar perubahan beban yang terjadi dapat dilihat dari data harian atau *logsheet* generator pada tanggal 25 juli 2020 beban berubah sebesar 17 % dari nilai nominalnya (*Nameplate*). Untuk itu diharapkan peran AVR bekerja maksimal dalam setiap perubahan beban yang terjadi, sehingga penulis ingin menganalisa kinerja AVR pada perubahan beban pada pembangkit unit 2 agar *life time* dari generator ini bisa lebih panjang dan menguntungkan Pihak perusahaan dan Pelanggan dan akan disimulasikan menggunakan *Matlab Simulink R2018b*.

## 2. METODE

### 2.1. Generator Sinkron

Konversi energi elektromagnetik adalah perubahan bentuk energi dari mekanik ke bentuk listrik dan bentuk listrik ke bentuk mekanik. Generator sinkron (alternator) adalah jenis mesin listrik yang berfungsi sebagai penghasil tegangan bolak-balik dengan cara mengubah energi mekanis menjadi energi listrik (Arief, Samsul, Saad, & Eteruddin, 2020). Energi mekanis diperoleh dari putaran rotor yang digerakkan oleh penggerak mula (*prime mover*), sedangkan energi listrik berasal dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan stator dan rotornya (Pane, 2010)

### 2.2. Automatic Voltage Regulator (AVR)

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 terjadi perubahan 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 (Yudistira Heri Istanto, 2019).

**2.3. Sistem Eksitasi**

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 (Nurdin, Azis, & Rozal, 2018).

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*) (Peter Butros, 2011). Ada dua jenis sistem eksitasi dengan menggunakan sikat yaitu:

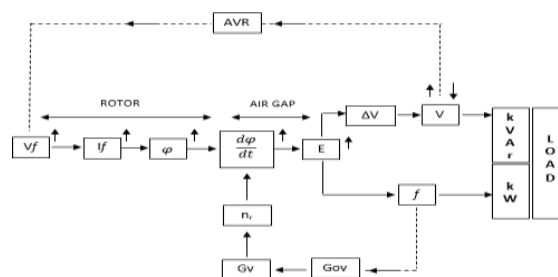
- a. Sistem eksitasi konvensional (menggunakan generator arus searah)
- b. Sistem eksitasi statis

Sedangkan sistem tanpa menggunakan sikat terdiri dari

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

**2.4. Hubungan Parameter Operasi**

Generator sebagai penghasil daya listrik mengalirkan arus beban ( $I_a$ ) atau memberikan daya yang dibutuhkan oleh bebannya (peralatan listrik) yaitu berupa daya aktif ( $P, MW$ ) dan daya reaktif ( $Q, MVar$ ). Daya yang dibutuhkan beban pada dasarnya selalu berfluktuasi (naik dan turun), maka frekuensi dan tegangan generator juga akan berfluktuasi pula. Naik dan turunnya frekuensi atau tegangan ini tidak baik bagi peralatan. Oleh sebab itu diperlukan kontrol frekuensi atau putaran (*Governor*) dan kontrol tegangan (*Automatic Voltage Regulator, AVR*), sehingga frekuensi dan tegangan tetap stabil walaupun daya beban berubah-ubah seperti pada Gambar 1 (Mufrizon, 2016)



Gambar 1 Hubungan parameter-parameter generator

Naiknya tegangan *output* dirasakan oleh sensor tegangan dan sensor meneruskan sinyalnya ke AVR. Sinyal tegangan yang diterima oleh AVR diproses oleh rangkaian AVR dan selanjutnya mengirim sinyal ke U untuk memperkecil tegangan eksitasi (Vf) dan arus eksitasi (If)

pada kumparan rotor, sehingga menurunkan fluksi medan magnet ( $\emptyset$ ) yang dihasilkan oleh kumparan stator. Akibatnya, tegangan induksi ( $E$ ) yang dihasilkan oleh kumparan stator menjadi turun dan pada akhirnya menurunkan kembali tegangan *output* generator ( $V$ ) ke nilai yang di setting yaitu pada nilai tegangan normal atau nominal. Demikian jugasebaliknya apabila daya reaktif beban ( $Q, MVAR$ ) menurun, tegangan *output* generator turun ( $V$ ), tegangan eksitasi ( $V_f$ ) dan arus eksitasi ( $I_f$ ) diturunkan oleh AVR, fluksi medan magnet ( $\emptyset$ ) serta tegangan induksi pada kumparan stator juga ikut turun ( $E$ ), dan akhirnya menurunkan kembali tegangan *output* generator ( $V$ ) ke nilai tegangan settingnya (Mufrizon, 2016).

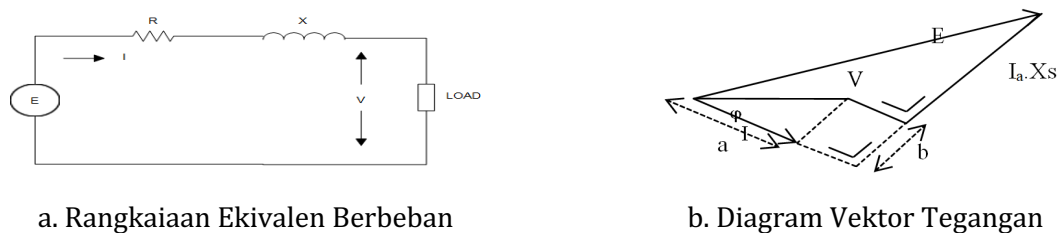
Pengaturan tegangan induksi ( $E$ ) pada kumparan stator dapat dilakukan dengan pengaturan tegangan eksitasi ( $V_f$ ) atau arus eksitasi ( $I_f$ ), dimana AVR akan menambah atau mengurangi tegangan eksitasi ke rotor sesuai dengan yang dibutuhkan, apabila tegangan induksi dan daya reaktif ingin dinaikkan sesuai dengan kenaikan beban maka, AVR yang akan bekerja menstabilkan tegangan ke kumparan stator, sehingga tegangan induksi dan daya reaktif pun naik sesuai kebutuhan beban, sedangkan pengaturan putar rotor ( $n_r$ ) unruk mengatur frekuensi dan daya aktif yang diperlukan beban, apabila beban naik dan daya aktifnya naik maka governor berfungsi untuk menambahkan bahan bakar sehingga putaran rotor bertambah dan frekuensi nya naik.

**2.5 Analisa Pembebanan Pada Generator Sinkron**

Apabila generator diberi beban atau mengirim daya ke beban, maka arus beban ( $I_a$ ) mengalir pada kumparan stator yang memiliki impedansi sebesar  $Z = (R + jX_s)$  Ohm. Mengalirnya arus beban menyebabkan terjadinya hilang tegangan pada kumparan stator, sehingga menurunkan tegangan *output* generaor ( $V$ ).

Hubungan arus beban ( $I_a$ ) dan tegangan *output* generator diberikan seperti pada Gambar (2). Apabila arus beban makin tinggi, maka kehilangan tegangan pada kumparan stator generator juga semakin tinggi dan menyebabkan semakin turunnya tegangan *output* generator ( $V$ ). Untuk menaikkan tegangan *output* generator kembali ke nilai nominal, maka tegangan induksi ( $E$ ) dinaikkan dengan cara memperbesar arus eksitasi ( $I_f$ ).

Fungsi pengaturan arus eksitasi untuk mempertahankan tegangan *output* tetap pada nilai nominalnya. Walaupun arus beban berubah-ubah, merupakan fungsi AVR sebagai kontrol tegangan. Peralatan *control* ini bekerja berdasarkan sinyal dari tegangan *output* yang diterima dari sensor tegangan seperti pada Gambar 2 (Eteruddin & Mohd Zin, 2012; Mufrizon, 2016)



Gambar 2. Hubungan Arus dan Tegangan luaran Generator

Dengan menggunakan hukum kirchoff tegangan, maka persamaan tegangan pada rangkaian tersebut adalah (Mufrizon, 2016):

$$E = V + I_a (R_a + jX_s) = V + \Delta V \tag{1}$$

Dimana :

$E$  = Tegangan induksi pada kumparan stator (Volt)

$V$  = Tegangan terminal generator (Volt)

$I_a$  = Arus beban pada kumparan stator (Amper)

$R_a$  = Resistansi kawat kumparan stator (Ohm)

$X_s$  = Reaktansi sinkron (=  $X_m + X_a$ ) (Ohm)

$\Delta V$  = Drop tegangan pada kumparan stator (Volt)

### 2.6 Faktor Daya

Faktor daya yang sering disebut  $\cos \phi$  didefinisikan sebagai perbandingan daya aktif (MW) dan daya semu (kVA) atau sebagai perbandingan antara arus yang dapat menghasilkan kerja didalam suatu rangkaian terhadap arus total yang masuk ke dalam rangkaian adapun segitiga daya.

$$\text{Faktor daya} = \cos \phi = \tan^{-1} \frac{Q(WVAR)}{P(W)} \tag{2}$$

Untuk mendapatkan nilai daya semu (S) dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (Nurdin et al., 2018)

$$Q = \sqrt{3}x V x \sin \phi \tag{3}$$

$$P = \sqrt{3}x V x \cos \phi \tag{4}$$

$$S = \sqrt{3}x V \tag{5}$$

Persamaan daya tiga phasa

$$P = 3V\phi I \phi \cos \phi \tag{6}$$

Untuk jenis beban  $I_{LL} = I\phi = I_a$ , dan  $V_{LL} = \sqrt{3} V_\phi$ , jadi daya yang dikonsumsi oleh beban juga dapat dinyatakan sebagai (Chapman, 2012).

$$P = 3 \left( \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}} \right) I_L \cos \phi \tag{7}$$

$$P = \sqrt{3} V_{LL} I_L \cos \phi \tag{8}$$

$$I_l = \frac{P}{\sqrt{3} V_{LL} \cos \phi} \quad (I_L = I_a) \tag{9}$$

$$I_l = \frac{P}{\sqrt{3} V_{LL} \cos \phi} \tag{10}$$

### 2.7. Pengaturan Tegangan Generator

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

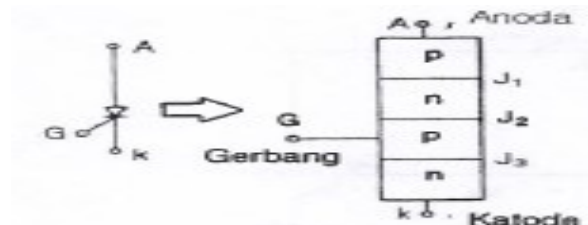
$$\% \text{Regulasi Tegangan turun} = \frac{E-V}{V} x 100\% \tag{11}$$

$$\% \text{Regulasi Tegangan naik} = \frac{V-E}{V} x 100\% \tag{12}$$

Terjadinya perbedaan tegangan terminal (V) dalam keadaan berbeban dengan tegangan ( $E_0$ ) pada saat tidak berbeban dipengaruhi oleh faktor daya dan besarnya arus jangkar ( $I_a$ ) yang mengalir.

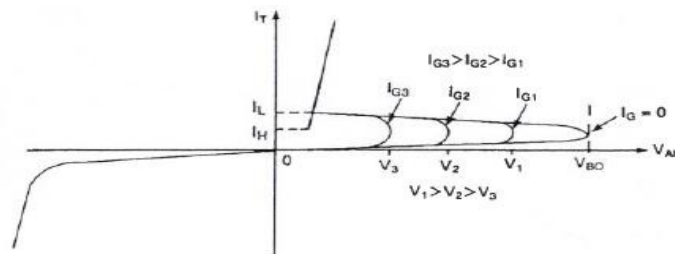
### 2.8. Sudut Penyalaan Thyristor

Sudut penyalan adalah waktu setelah tegangan masuk mulai menjadi positif sampai *Thyristor* dipicu yang artinya ketika *Thyristor* diaplikasikan dengan tegangan AC. Untuk membuat ON, *Thyristor* harus disulut dengan sudut tertentu. Sudut ini disebut dengan sudut penyulutan/penyalan (*firing angle*). *Thyristor* disebut juga penyearah terkendali, karena memiliki gate yang berfungsi untuk mengendalikan arus. Teknik penyalan *thyristor* yang sering digunakan yaitu menggunakan arus gerbang. Ini adalah salah satu cara paling umum, untuk mengaktifkan *Thyristor* atau Dalam pemacu gerbang, untuk menyalakan *Thyristor* (Erickson & Maksimovic, 2020; Rashid, 2017).



Gambar 3 Simbol *Thyristor*

Dengan menggunakan metode pemacu gerbang, ketika pulsa gerbang diterapkan, persimpangan  $J_2$  putus, persimpangan  $J_1$  dan  $J_2$  mendapat bias maju atau *Thyristor* datang dalam keadaan konduksi. Oleh karena itu, memungkinkan arus mengalir melalui anoda ke katoda. Jika suatu *thyristor* diberi tegangan bias forward, injeksi arus gerbang dengan menerapkan tegangan positif antara terminal gerbang dan katoda akan dapat membuat *thyristor* on. Tegangan positif pada terminal Gate hingga terdapat arus yang mengalir pada Gate ( $I_G$ ), kondisi ini umum disebut sebagai *triggering*. Besarnya arus pada terminal Gate untuk meng-on kan *Thyristor* tergantung dari besarnya tegangan maju pada Anoda-Katoda, semakin besar tegangan bias maju maka semakin kecil arus pada terminal Gate yang diperlukan untuk meng-on-kan *Thyristor*. Ketika arus gerbang ditingkatkan. Tegangan forward blocking akan menurun seperti pada Gambar 4 (Erickson & Maksimovic, 2020; Rashid, 2017)



Gambar 4 Efek arus gerbang pada tegangan maju blocking

Kelebihan *Thyristor* dibanding dengan komponen semikonduktor lainnya yaitu dapat mendapatkan masukan baik listrik AC maupun DC. Kelebihan *Thyristor* jika dibanding dengan Dioda adalah, kemampuannya untuk dapat diatur sesuai dengan kebutuhan dengan mengatur sudut penyulutan/penyalan di terminal gate. Dengan kelebihan-kelebihan ini, *Thyristor* dapat digunakandi berbagai rangkaian elektronika daya seperti rangkaian pengubah AC ke DC.

### 2.9 Perhitungan Sudut Penyalan *Tyhristor* Pada Rangkaian AVR

Untuk menghitung sudut penyalan *thyristor* harus melakukan tahapan perhitungan sebagai berikut :

1. Menghitung tegangan induksi ( $E_{a-exc}$ ) AC Exciter, dengan menghitung tegangan keluaran AC Exciter  $V_{M-exc}$  berdasarkan persamaan (13) (Rashid, 2013)

$$V_{M-exc} = \frac{V_{DC-gen}}{1.6548} \text{ Volt} \tag{13}$$

2. Menghitung Sudut penyalan pada rangkaian converter di AVR yang digunakan berdasarkan persamaan (14) (Rashid, 2013)

$$\alpha = \cos^{-1} \left( \frac{2\pi V_{dc}}{3\sqrt{3}V_{m-exc}} - 1 \right) \tag{14}$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Data Parameter Kinerja Generator

Berdasarkan data yang diperoleh dari *logsheet* maka data yang akan digunakan untuk menganalisa kinerja AVR dan dikelompokkan berdasarkan keterkaitan data yang diberikan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Parameter Kinerja Generator Unit 2 Berdasarkan *logsheet*

No	Generator				Excitation		
	Beban Aktif [MW]	Daya Reaktif [MVar]	Tegangan (kV)	Arus [A]	Frekuensi [Hz]	Tegangan [V]	Arus [A]
1	17,9	-6,6	13,94	742	50,2	76,9	597,6
2	30,7	-4,4	13,93	1.235	50,4	82,1	625,3
3	35,7	-0,4	13,91	1.433	50,2	87,9	666
4	47,2	-2,3	13,93	1.907	50,1	89,5	680,2
5	65,5	1,8	13,81	2.687	50,2	101,3	764
6	78,6	2,8	13,86	3.225	50,3	110,3	816,3
7	85,9	2	13,91	3.541	50,2	113,6	851,4
8	90,7	5	13,89	3.790	50,2	116,8	880,1
9	99	9	13,86	4.099	50,2	127,3	936,4
10	99,6	16,6	13,93	4.148	50,3	132,2	975,8

Pada Tabel 1 data diperoleh dari *logsheet* generator bulan juli 2020, yang diambil beberapa untuk dijadikan sampel dan dilakukan perhitungan agar dapat menganalisa kinerja dari AVR terhadap perubahan beban.

#### 3.2. Perhitungan Sudut Penyalan Thyristor

Untuk melakukan perhitungan sudut penyalan thyristor digunakan persamaan (13)

##### a. Beban 1

- Mencari nilai  $V_{M-exc}$

$$V_{M-exc} = \frac{V_{DC-gen}}{1.6548} \text{ Volt}$$

$$V_{M-exc} = \frac{440}{1.6548} = 265,893 \text{ Volt}$$

- Menghitung sudut penyalan thyristor  $\alpha$

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

$$\alpha = \cos^{-1} \left( \frac{2\pi 7}{3\sqrt{3.265,893}} - 1 \right) = 130,562^\circ$$

##### b. Beban 2

1. Mencari nilai  $V_{M-exc}$

$$V_{M-exc} = \frac{V_{DC-gen}}{1.6548} \text{ Volt}$$

$$V_{M-exc} = \frac{440}{1.6548} = 265,893 \text{ Volt}$$

2. Menghitung sudut penyalaaan *thyristor*  $\alpha$

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

$$\alpha = \cos^{-1} \left( \frac{2\pi 82,1}{3\sqrt{3.265,893}} - 1 \right) = 127,846^{\circ}$$

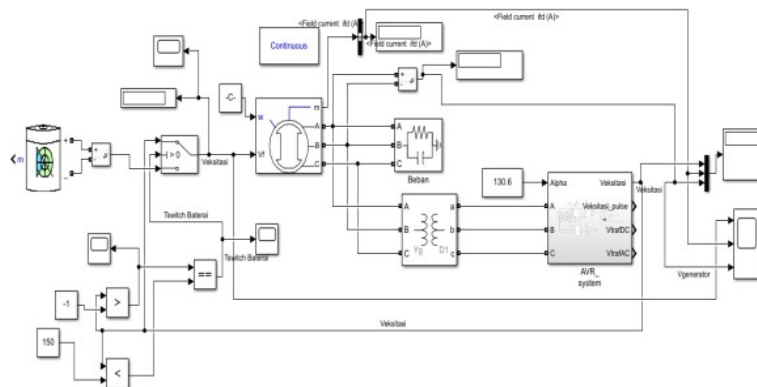
Tabel 2 Perhitungan Sudut Penyalaaan *Thyristor*

No	Daya Aktif [MW]	Arus Eksitasi [A]	Tegangan Eksitasi [V]	Sudut Penyalaaan <i>Thyristor</i> [°]
1	17,9	597,6	76,9	130,6
2	30,7	625,3	82,1	129
3	35,7	666	87,9	126,888
4	47,2	680,2	89,5	126,368
5	65,5	764	101,3	122,63
6	78,6	816,3	110,3	119,893
7	85,9	851,4	113,6	118,906
8	90,7	880,1	116,8	117,958
9	99	936,4	127,3	114,902
10	99,6	975,8	132,2	113,502

Hasil dari perhitungan sudut penyalaaan *Thyristor* pada tabel 2 akan digunakan pada pengujian beban kedalam sistem AVR yang diimplementasikan di *Simulink Matlab R2018b* untuk menganalisa besarnya arus eksitasi, tegangan eksitasi dan tegangan *output* generator.

### 3.3. Model Simulink

Seluruh sistem dimodelkan dengan menggunakan *Matlab Simulink R2018b* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Model Simulink



Sistem 13,8 kV ini, dihubungkan ke beban dengan jenis sistem eksitasi statis yang diterapkan. sebagaimana terlihat pada Gambar 5. Sistem eksitasi berfungsi untuk menyediakan sumber DC kekumparan medan generator sinkron. Sistem eksitasi mengontrol dan melindungi fungsi- fungsi penting dari sistem tenaga untuk operasi dan kinerja yang optimal. Fungsi kontrol termasuk kontrol tegangan generator dan peningkatan stabilitas sistem. Fungsi pelindung memastikan bahwa batas kemampuan mesin sinkron, sistem eksitasi dan peralatan lainnya tidak terlampaui Dalam sistem eksitasi yang direalisasikan, sumber daya untuk menyediakan eksitasi berasal dari baterai 110 VDC sebagai sumber eksitasi pertama.

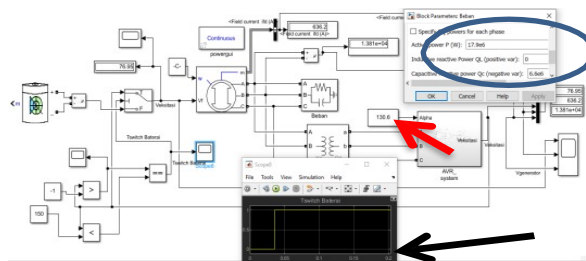
3.4. Hasil Simulasi Pengaruh Perubahan Beban Daya Reaktif (Kapasitif)

Hasil simulasi pemodelan kinerja AVR pada generator sinkron selanjutnya yaitu dengan menyesuaikan beban yang diberikan pada generator sehingga nantinya dapat diketahui besarnya arus eksitasi yang dapat mempengaruhi besarnya tegangan keluaran generator terhadap perubahan beban, dan untuk sudut penyalan Thyristor tiap beban daya reaktif (kapasitif), sudah dilakukan perhitungan seperti pada Tabel 2 diatas. Tabel 3 berikut merupakan beban daya reaktif kapasitif yang akan digunakan dalam pengujian Kinerja AVR

Tabel 3. Beban Daya Reaktif Kapasitif

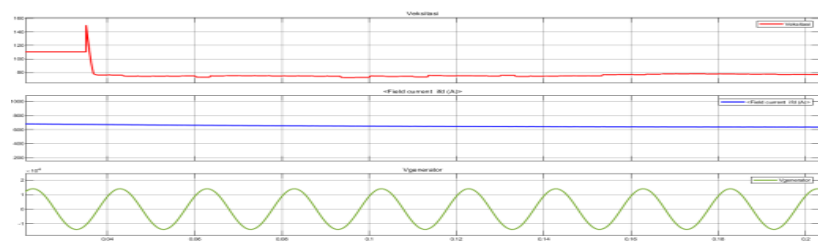
No	Generator			Eksitasi		Sudut penyalan [°]
	Daya Aktif [MW]	Daya Reaktif [MVar]	Tegangan (kV)	Tegangan [V]	Arus [A]	
1	17,9	-6,6	13,94	76,9	597,6	130,6
2	30,7	-4,4	13,93	82,1	625,3	129
3	35,7	-0,4	13,91	87,9	666	126,888
4	47,2	-2,3	13,93	89,5	680,2	126,368

➤ Dengan daya reaktif kapasitif -6,6 MVar



Gambar 6 Pengujian beban daya reaktif kapasitif -6,6 MVar

Gambar 6 menunjukkan hasil dari simulasi pengujian pertama pada beban P = 17,9 MW, Q = - 6,6 MVar, dengan sudut penyalan 130,6° memperoleh arus eksitasi  $I_f = 636,2$  A,  $V_f = 76,95$  V, dan output generator 13,85 kV Pemodelan AVR pada simulasi bekerja dengan mengontrol nilai tegangan luaran tidak jauh dari nilai nominalnya 13,8 kV dengan memberikan sudut penyalan Thyristor sebesar 130,6°. Gambar 7 merupakan bentuk gelombang dari hasil pengujian.



Gambar 7. Gelombang Tegangan eksitasi  $V_f$ , arus eksitasi  $I_f$ , dan tegangan output generator  $V_{out}$

Gambar 7 menunjukkan gelombang:

- Gelombang pertama menunjukkan gelombang Tegangan eksitasi  $V_f$ , yang masuk ke blok generator sebesar 76,95 VDC.
- Gelombang kedua menunjukkan gelombang arus eksitasi  $I_f$ , sebesar 636,2 Amper yang dihasilkan generator, dan
- Gelombang ketiga menunjukkan gelombang tegangan output yang dihasilkan generator sebesar 13,81 VAC

Dari hasil pengujian beban daya reaktif kapasitif diatas dapat dibuat tabel hasil pengujian, seperti pada Tabel 4. berikut:

Tabel 4 Hasil pengujian beban daya reaktif kapasitif

No	Generator		Hasil Simulasi			
	Beban		Eksitasi		Ouput Generator	
	Daya Aktif [MW]	Daya Reaktif [MVAR]	Tegangan (kV)	Tegangan [V]	Arus [A]	Voltage (kV)
1	17,9	-6,6	13,94	76,95	636,2	13,81
2	30,7	-4,4	13,93	82,61	682,7	13,78
3	35,7	-0,4	13,91	96,31	716	13,79
4	47,2	-2,3	13,93	98,16	727,6	13,85

Berdasarkan Tabel 4, naiknya beban daya reaktif (kapasitif) dapat menyebabkan kenaikan tegangan *output* pada generator. Dan blok sistem AVR memerlukan sudut penyalan *Thyristor* agar sytem AVR dapat menginjeksikan arus eksitasi kegenerator lebih besar, untuk memperoleh nilai arus eksitasi dan tegangan keluaran generator sesuai dengan nilai nominal nya

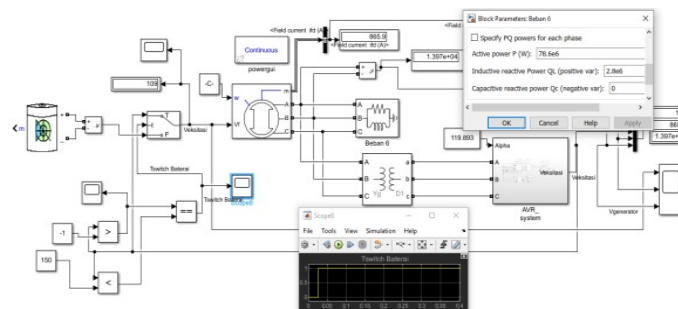
### 3.5 Hasil Simulasi Pengaruh Perubahan Beban Daya Reaktif (Induktif)

Berikut merupakan hasil data pengujian perubahan beban daya reaktif (induktif) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5, dan untuk pengaturan sudut penembakkan *Thyristor* sudah dilakukan perhitung seperti pada Tabel 2.

Tabel 5 Beban Daya Reaktif Induktif

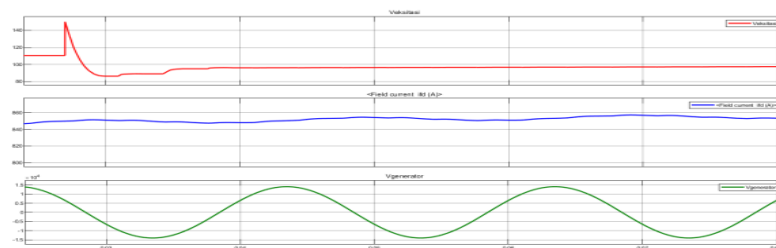
No	Generator		Excitation			Sudut Penyalan [°]
	Daya Aktif [MW]	Daya Raktif [MVAR]	Tegangan (kV)	Tegangan [V]	Arus [A]	
1	65,5	1,8	13,81	101,3	764	122,63
2	78,6	2,8	13,86	110,3	816,3	119,893
3	85,9	2,0	13,91	113,6	851,4	118,906
4	90,7	5,0	13,89	116,8	880,1	117,958
5	99,0	9,0	13,86	127,3	936,4	114,902
6	99,6	16,6	13,93	132,2	975,8	113,502

Dengan daya reaktif induktif  $Q = 2,8 \text{ MVAr}$



Gambar 8 Pengujian beban daya reaktif induktif 2,8 MVAr

Gambar 8 menunjukkan hasil dari simulasi pengujian beban daya reaktif induktif pada beban  $Q = 2.8 \text{ MVAr}$  dan  $P = 78,6 \text{ MW}$  dengan sudut penyalaan  $119,893^\circ$  memperoleh arus eksitasi  $I_f = 865,9 \text{ A}$ ,  $V_f = 109 \text{ V}$ . Gambar 9 merupakan bentuk gelombang dari hasil pengujian



Gambar 9 Gelombang Tegangan eksitasi  $V_f$ , arus eksitasi  $I_f$ , dan tegangan luaran generator  $V_{out}$

Gambar 9 menunjukkan Gelombang:

- Gelombang pertama menunjukkan gelombang Tegangan eksitasi  $V_f$ , yang masuk ke blok generator sebesar 109 VDC
- Gelombang kedua menunjukkan gelombang arus eksitasi  $I_f$ , sebesar 865,9 Amper yang dihasilkan generator, dan
- Gelombang ketiga menunjukkan gelombang tegangan luaran yang dihasilkan generator sebesar 13,97 VAC

Dari hasil pengujian beban daya reaktif kapasitif diatas dapat dibuat tabel hasil pengujian, seperti pada Tabel 6 berikut:

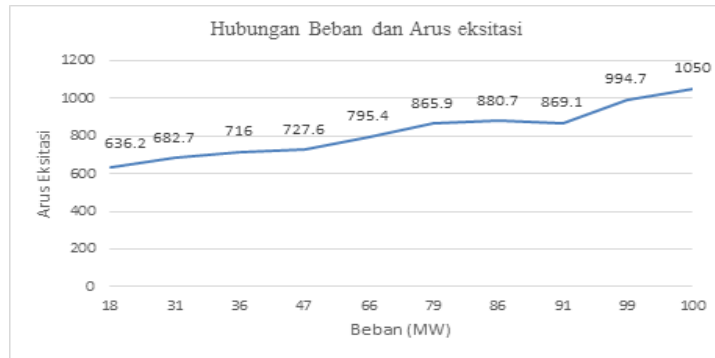
Tabel 6 Hasil pengujian beban daya reaktif Induktif

No	Generator			Hasil Simulasi		
	Beban		Tegangan (kV)	Eksitasi		Ouput Generator Tegangan (kV)
	Daya Aktif [MW]	Daya Raktif [MVAr]		Tegangan [V]	Arus [A]	
1	65,5	1,8	13,81	100,5	795,4	13,76
2	78,6	2,8	13,86	109	865,9	13,97
3	85,9	2,0	13,91	114,3	880,7	13,85
4	90,7	5,0	13,89	116,4	869,1	13,80
5	99,0	9,0	13,86	128	994,7	13,81
6	99,6	16,6	13,93	131,9	1050	13,86

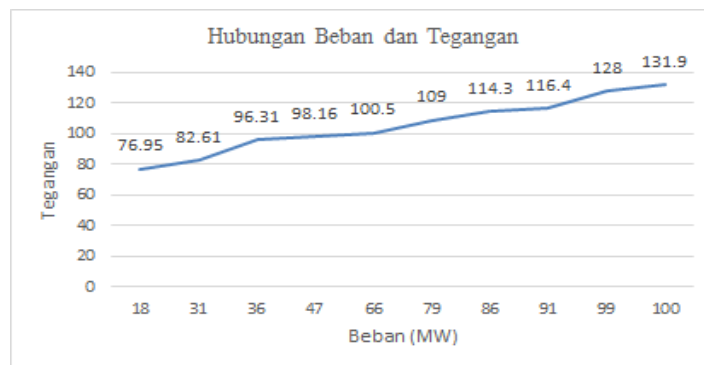
Pada saat pengujian beban daya reaktif (induktif) naik dari  $P = 1,8 \text{ MVAr}$  menjadi  $Q = 16,6 \text{ MVAr}$ , dapat menyebabkan fluktuasi tegangan dimana tegangan keluaran generator akan menurun. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya beban daya reaktif (induktif) maka tegangan keluaran generator menurun, sehingga untuk tetap menjaga kestabilan tegangan yang

dihasilkan oleh generator agar tidak melebihi batas toleransi maka pada pemodelan blok sisstem AVR perlu menyesuaikan sudut penyalaan *Thyristor* sehingga arus eksitasi diperbesar dan memperoleh tegangan *output* yang konstan dinilai nominalnya 13,8 kV.

Berdasarkan Tabel 4 Hasil pengujian beban daya reaktif kapasitif, dan Tabel 6 Hasil pengujian beban daya reaktif Induktif dapat dibuat Grafik hubungan beban dan arus dan Grafik hubungan beban dan tegangan eksitasi Pada Gambar 10 dan Gambar 11 Dimana grafik menunjukan pada saat beban naik dari beban rendah P = 17,9 MW sampai beban Tinggi P = 99,6 MW. Maka arus eksitasi dan tegangan eksitasi akan naik sesuai dengan kebutuhan beban.



Gambar 10 Hubungan beban dan Arus eksitasi



Gambar 11 Hubungan beban dan Tegangan eksitasi

Berdasarkan Tabel 4 Hasil pengujian beban daya reaktif kapasitif, dan Tabel 6 Hasil pengujian beban daya reaktif Induktif dapat dilakukan perhitungan persentase tegangan output generator berdasarkan data yang diperoleh pada (PLTU) PT. Ubjom Tenayan Raya dengan hasil simulasi pemodelan sistem AVR, seperti Pada Tabel 7.

Tabel 7 Tegangan luaran yang dihasilkan dari *Logsheet* dan hasil simulasi

Tgl	Jam	Output generator		
		Data <i>Logsheet</i> [kV]	Hasil Simulasi [kV]	Persentase [%]
21 Juli 2020	00.00	13,94	13,81	0,13%
	02.00	13,93	13,78	0,15
	04.00	13,91	13,79	0,12
	06.00	13,93	13,85	0,08
20 Juli 2020	12.00	13,81	13,76	0,05
	14.00	13,86	13,97	-0,11
21 Juli 2020	16.00	13,91	13,85	0,06
	18.00	13,89	13,80	0,09
22 Juli 2020	20.00	13,86	13,81	0,05
	22.00	13,93	13,86	0,57

Dari hasil simulasi yang dilakukan nilai tegangan *output* generator tidak jauh dari data yang diperoleh dari data *logsheet* yang diperoleh dari PT. UBJOM Tenayan Raya.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa hasil perhitungan dan simulasi yang dilakukan dapat disimpulkan :

1. Pada simulasi pemodelan sistem AVR pengujian beban dalam kondisi beban penuh sebesar  $P = 99,6$  MW,  $Q = 16,6$  MVar dengan sudut penyalan  $113,502^\circ$  memperoleh arus eksitasi 985,2 Amper dan tegangan keluaran generator 13,86 kV serta pada saat pengujian beban rendah dengan  $P = 17,6$  MW,  $Q = -6,6$  MVar dengan sudut penyalan  $130,6^\circ$  memperoleh arus eksitasi sebesar 636,2 Amper dan tegangan keluaran generator 13,81 kV tidak jauh dari nilai nominal nya sebesar 13,8 kV, ini membuktikan bahwa sistem AVR bekerja dengan baik dalam mengontrol tegangan luaran generator sesuai dengan fungsi AVR itu sendiri.
2. Apabila tegangan keluaran generator telah meningkat melampaui tegangan nominalnya, maka perlu penambahan sudut penyalan *Thyristor* pada sistem AVR, begitu juga sebaliknya hingga eksitasi disesuaikan.
3. Kenaikan beban daya reaktif (induktif) dapat menyebabkan tegangan keluaran generator mengalami penurunan sehingga arus eksitasi harus diperbesar. Sedangkan kenaikan beban daya reaktif (kapasitif) dapat menyebabkan tegangan keluaran generator meningkat sehingga arus eksitasi perlu dikurangi.

Perlunya perawatan intentif pada sistem AVR agar dapat mengontrol tegangan keluaran generator apabila terjadi nya perubahan beban yang berubah ubah dalam waktu tertentu, sehingga sistem dapat bekerja dengan optimal dan mengurangi terjadinya lepas sinkron atau *black out* akibat beban yang berubah ubah.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Arief, Y. Z., Samsul, E., Saad, M. H. I., & Eteruddin, H. (2020). Comparative Analysis of Nuclear Power Plant and Thermal Power Plants Using Analytic Hierarchy Process (AHP). *2020 13th International UNIMAS Engineering Conference (EnCon)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/EnCon51501.2020.9299324>
- Atmam, A., Zondra, E., & Monice, M. (2020). Analisis Pengaruh Perubahan Tegangan Dan Frekuensi Sumber Terhadap Tegangan Keluaran Rectifier. *Prosiding Seminar Pakar Ke 3 Tahun 2020, Buku 1: Sainas Dan Teknologi*, 1–6. pekanbaru.
- Chapman, S. J. (2012). *Electric Machinery Fundamentals* (5th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Erickson, R. W., & Maksimovic, D. (2020). *Fundamentals of Power Electronics* (3rd ed.). Cham: Springer.
- Erismam, Eteruddin, H., & Atmam, A. (2018). Evaluasi Kinerja Motor Ship Moving 3 Fasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD) Pada PLTU Tenayan Raya Pekanbaru. *Seminar Nasional Cendekiawan Ke 4*, 237–242. <https://doi.org/10.25105/semnas.v0i0.3381>
- Eteruddin, H., & Mohd Zin, A. A. (2012). Reduced Dielectric Losses for Underground Cable Distribution Systems. *International Journal of Applied Power Engineering (IJAPE)*, 1(1), 37–46. <https://doi.org/10.11591/ijape.v1i1.583>
- Eteruddin, H., Setiawan, D., & Sitepu, H. P. (2020). Modifikasi Sistem ATS-AMF Diesel Emergency Generator Pada PLTU dengan Metode Warming Up. *Jurnal Teknik*, 14(2), 129–136. <https://doi.org/10.31849/teknik.v14i1.4021>
- Gunawan, I., Eteruddin, H., & Situmeang, U. (2020). Analisis Transien Pada Sistem Transmisi 150

- kV Riau Setelah Beroperasinya PLTU Tenayan Raya Menggunakan Powerworld Simulator. *Jurnal Teknik*, 14(2), 223–231. <https://doi.org/10.31849/teknik.v14i2.2287>
- Mufrizon, E. (2016). *Pemeriksaan dan Pengujian Kelaikan Operasi Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik* (Vol. 7). Pekanbaru: Universitas Lancang Kuning.
- Nurdin, A., Azis, A., & Rozal, R. A. (2018). Peranan Automatic Voltage Regulator Sebagai Pengendali Tegangan Generator Sinkron. *Jurnal Ampere*, 3(1), 163. <https://doi.org/10.31851/ampere.v3i1.2144>
- Pane. (2010). *Studi Sistem Eksitasi Dengan Menggunakan Permanent Magnet Generator*. Teknik Elektro USU.
- Peter Butros. (2011). *Simulations of Rotating Brushless AC Excitation System with Controlled Thyristor Bridge Rectifier for Hydropower Generators*. Teknisk- naturvetenskaplig fakultet UTH-enheten UPPSALA.
- Rashid, M. H. (2013). *Power Electronics : Circuits, Devices, and Applications* (3rd ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Rashid, M. H. (2017). *Power Electronics Handbook* (4th ed.). Florida: Butterworth-Heinemann.
- Yudistira Heri Istanto. (2019). Analisis Pengaruh Arus Eksitasi Pada Generator Sinkron Terhadap Pembebanan Di PLTA Wlingi PT PJB UP Brantas. *Jurnal Qua Teknika*, 9(1), 43–55.
- Zulfahri zulfahri, Tanjung, A., & Monice, M. (2020). Optimalisasi Pengaturan Tegangan di Jaringan Listrik Dengan Menggunakan Genetik Algoritma. *Jurnal Teknik*, 14(2), 216–222. <https://doi.org/10.31849/teknik.v14i2.5113>