

ANALISIS PERUBAHAN ARUS EKSITASI BERDASARKAN SUDUT PENYALAAAN *THYRISTOR* PADA GENERATOR ULPLTA BILI-BILI

Ahmad Rosyid Idris^{1,*}, Usman¹, Alamsyah Achmad¹, Devi Fitriana Ramli¹
¹ *Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar*

ABSTRACT

The excitation system is the process of strengthening the magnetic field by providing direct current to the field winding contained in the rotor. So a generator can produce electrical energy with a large output voltage depending on the magnitude of the excitation current. The purpose of this study is to analyze the modeling of the generator excitation system circuit at the Bili-Bili ULPLTA using Simulink Matlab so that it can see the effect of the *thyristor* angle opening on the excitation current and generator voltage output. The calculation results obtained, the value of the ignition angle of the *thyristor* is 84.8°. When the *thyristor* ignition angle value is simulated, the excitation voltage value is 35.59 V, the excitation current is 7.117 A and the generator output voltage that exceeds the nominal voltage is 6.627 kV. Based on the simulation results of the angle range test, the *thyristor* ignition angle value works at 84° to 85° to get an output voltage of about 6.6 kV.

Keywords: *Generator, Excitation System, Thyristor Ignition Angle.*

ABSTRAK

Generator sinkron adalah mesin listrik yang digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Sistem eksitasi adalah proses penguatan medan magnet dengan cara memberikan arus searah pada belitan medan yang terdapat pada rotor sehingga suatu generator dapat menghasilkan energi listrik dengan besar tegangan keluaran generator bergantung pada besarnya arus eksitasinya. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pemodelan rangkaian sistem eksitasi generator pada ULPLTA Bili-Bili menggunakan Simulink Matlab sehingga dapat melihat pengaruh bukaan sudut *thyristor* terhadap arus eksitasi dan keluaran tegangan generator. Hasil perhitungan didapatkan, nilai sudut penyalaaan *thyristor* sebesar 84,8°. Ketika nilai sudut penyalaaan *thyristor* disimulasikan, didapatkan nilai tegangan eksitasi sebesar 35,59 V, arus eksitasi sebesar 7,117 A dan tegangan keluaran generator yang melampaui tegangan nominalnya yaitu sebesar 6,627 kV. Berdasarkan hasil simulasi pengujian rentang sudut, didapatkan nilai sudut penyalaaan *thyristor* bekerja pada 84° hingga 85° untuk mendapatkan tegangan keluaran sekitar 6,6 kV. Dari penelitian ini juga diketahui bahwa pengaruh nilai sudut penyalaaan *thyristor* berbanding terbalik terhadap arus eksitasi, tegangan eksitasi dan tegangan keluaran generator.

Kata Kunci: *Generator, Sistem Eksitasi, Sudut Penyalaaan Thyristor.*

1. PENDAHULUAN

Generator sinkron merupakan salah satu jenis generator listrik dimana terjadi proses mengonversikan energi dari energi mekanik ke energi listrik yang dihasilkan oleh putaran kumparan rotor yang memotong suatu medan elektromagnetik yang dihasilkan di stator sehingga kemudian menyebabkan timbulnya energi listrik [1]. Sistem eksitasi adalah proses penguatan medan magnet dengan cara memberikan arus searah pada belitan magnet yang terdapat pada rotor. Pada perkembangannya, sistem eksitasi pada generator listrik dibedakan menjadi 2 macam, yaitu Sistem eksitasi dengan menggunakan sikat (*brush excitation*) dan sistem eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*) [2]. Salah satu komponen yang penting pada sistem eksitasi generator adalah AVR (*Automatic Voltage Regulator*). AVR berfungsi untuk menjaga agar tegangan generator tetap konstan dengan kata lain generator akan tetap mengeluarkan tegangan yang selalu stabil, yang tidak terpengaruh pada perubahan beban yang selalu berubah-ubah, dikarenakan beban sangat mempengaruhi tegangan *output* generator [3]. Prinsip kerja dari AVR adalah apabila tegangan *output* generator dibawah tegangan normal tegangan generator, maka AVR akan memperbesar arus penguatan (eksitasi) pada exciter. Dengan demikian apabila terjadi perubahan tegangan *output* generator akan dapat distabilkan oleh AVR secara otomatis dikarenakan dilengkapi dengan peralatan seperti alat yang digunakan untuk pembatasan minimum ataupun maksimum yang bekerja secara otomatis [4]. Dalam AVR, terdapat *thyristor* yang disebut juga dengan penyearah terkendali karena memiliki *gate* yang berfungsi untuk mengendalikan arus [5].

* Korespondensi penulis: Ahmad Rosyid Idris, email ahmadrosyid@poliupg.ac.id

** Mahasiswa tingkat Sarjana (S1)

ULPLTA (Unit Layanan Pembangkit Listrik Tenaga Air) Bili-Bili merupakan salah satu unit PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Bakaru wilayah Sulselrabar yang berada di desa Bili-Bili, Kecamatan Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. Sistem eksitasi yang digunakan pada ULPLTA Bili-Bili yaitu menggunakan jenis sistem *brushless excitation*. ULPLTA ini memiliki kapasitas yang terpasang sebesar 19,5 MW, dimana yang terpasang pada Unit 1 sebesar 5,8 MW dan Unit 2 sebesar 13,7 MW. Besar dan kestabilan jumlah arus eksitasi menentukan kestabilan tegangan keluaran yang dihasilkan oleh generator. Arus dan tegangan eksitasi dapat dilihat pada AVR, sedangkan bukaan sudut penyalan *thyristor* tidak dapat diketahui. Kondisi tersebutlah yang melatarbelakangi penelitian ini. Sistem eksitasi pada generator dimodelkan dan disimulasikan dengan menggunakan MATLAB Simulink sehingga dapat diketahui besarnya arus eksitasi, tegangan keluaran generator dan juga sudut bukaan *thyristor*. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) merancang dan mensimulasikan sistem eksitasi pada generator menggunakan MATLAB Simulink, (2) menentukan nilai sudut penyalan *thyristor* pada kondisi beban penuh, dan (3) menentukan nilai sudut penyalan *thyristor* pada kondisi beban penuh.

2. METODE PENELITIAN

Metodologi pemodelan simulasi pengaturan eksitasi berdasarkan sudut penyalan *thyristor* terbagi menjadi beberapa tahapan dengan tujuan agar pelaksanaan kegiatan dapat tersusun rapi serta memudahkan dalam identifikasi permasalahan, diantaranya (1) Mengumpulkan data spesifikasi generator, sistem eksitasi, data monitoring dan pengukuran parameter kerja generator, (2) Memodelkan sistem eksitasi ULPLTA Bili-Bili dengan menggunakan MATLAB Simulink. Saat menjalankan simulasi, terdapat 2 keadaan. Apabila simulasi tidak berjalan dengan benar, maka harus dilakukan pengecekan data kembali dan memperbaiki pemodelan sistem eksitasi generator. Pemodelan dikatakan benar apabila pada saat pengujian dijalankan, pemodelan tersebut sudah bisa menampilkan dan mendapatkan nilai sudut penyalan *thyristor* serta nilai tegangan dan arus pada generator, dimana nilai arus dan tegangan tersebut sesuai dengan data yang ada di lapangan, (3) Melakukan perhitungan dengan menggunakan rumus yang ada untuk mencari sudut penyalan *thyristor*, dan (4) Membandingkan dan menganalisis hasil perhitungan dengan hasil simulasi Simulink. Dalam pengumpulan data, digunakan 3 metode, yaitu studi literatur, observasi lapangan dan wawancara.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Generator yang digunakan pada ULPLTA Bili-Bili adalah generator sinkron 3-fasa dengan merek Toshiba tipe *TAKL-Synchronous Vertical Shaft*. Data untuk menganalisa sistem eksitasi generator dari ULPLTA Bili-Bili diambil dari data harian logsheet generator ULPLTA Bili-Bili pada tanggal 24 Januari 2022. Data spesifikasi generator dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Data Spesifikasi Generator

Deskripsi	Nilai
Daya nominal	16100 VA
Tegangan nominal	6600 V
Frekuensi	50 Hz
Jumlah Kutub	16
Arus	1408 A
Kecepatan Putaran	375 rpm
<i>Excitation Voltage</i>	115 V
<i>Field Current</i>	640 A
Power Factor	0.85

Data untuk menganalisa sistem eksitasi generator dari ULPLTA Bili-Bili diambil dari data harian *logsheet* generator ULPLTA Bili-Bili pada tanggal 24 Januari 2022 yang meliputi data tegangan, frekuensi, daya aktif, daya reaktif, $\cos \phi$, arus dan tegangan eksitasi sebagaimana yang dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan *logsheet* ULPLTA Bili-Bili, didapatkan data unit 2 beroperasi pada beban penuh, yaitu daya aktif sebesar 12,2 MW, tegangan eksitasi 33 V, arus eksitasi 7 A dan tegangan keluaran generator 6,6 kV. Untuk mengetahui nilai sudut penyalan berdasarkan data logsheet dapat dilakukan dengan cara perhitungan.

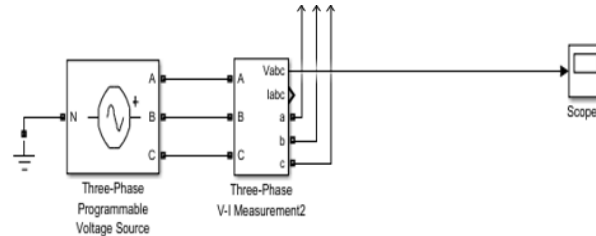
Tabel 2 Data harian logsheet generator ULPLTA Bili-Bili

Jam	Beban		Generator				AVR	
	Aktif (MW)	Reaktif (Mvar)	Teg. (kV)	Arus (A)	Cos ϕ	F (Hz)	T (V _{DC})	Arus (A _{DC})
07:00	12,2	-1,8	6,6	1078	-0,01	50	33	7,0
07:30	12,2	-1,8	6,6	1078	-0,01	50	33	7,0
08:00	12,2	-1,3	6,6	1077	-0,01	50	33	7,0
08:30	12,2	-0,9	6,6	1075	-0,01	50	33	7,0
09:00	12,2	-0,5	6,6	1075	-0,01	50	33	7,0
09:30	12,2	-0,5	6,6	1075	-0,01	50	33	7,0
10:00	12,2	-0,5	6,6	1075	-0,01	50	33	7,0
10:30	12,2	-0,5	6,6	1075	-0,01	50	33	7,0
11:00	12,2	-0,5	6,6	1075	-0,01	50	33	7,0
11:30	12,2	-0,5	6,6	1075	-0,01	50	33	7,0
12:00	12,2	-0,6	6,6	1075	-0,01	50	33	7,0
12:30	12,2	-0,6	6,6	1075	-0,01	50	33	7,0
13:00	12,2	-0,6	6,6	1075	-0,01	50	33	7,0
13:30	12,2	-0,6	6,6	1075	-0,01	50	33	7,0
14:00	12,2	-0,6	6,6	1075	-0,01	50	33	7,0
14:30	12,2	-0,6	6,6	1075	-0,01	50	33	7,0
15:00	12,1	-0,5	6,6	1070	-0,01	50	33	7,0
15:30	12,1	-0,5	6,6	1070	-0,01	50	33	7,0
16:00	12,1	-0,5	6,6	1070	-0,01	50	33	7,0
16:30	12,1	-0,5	6,6	1070	-0,01	50	33	7,0
17:00	12,1	-1,2	6,6	1066	-0,01	50	33	7,0
17:30	12,1	-1,5	6,6	1072	-0,01	50	33	7,0
18:00	12,1	-1,7	6,6	1072	-0,01	50	33	7,0
18:30	12,1	-1,5	6,6	1074	-0,01	50	33	7,0
19:00	12,1	-1,5	6,6	1070	-0,01	50	33	7,0
19:30	12,1	-1,5	6,6	1070	-0,01	50	33	7,0
20:00	12,1	-1,5	6,6	1076	-0,01	50	33	7,0
20:30	12,1	-1,5	6,6	1076	-0,01	50	33	7,0
21:00	12,1	-1,7	6,6	1073	-0,01	50	33	7,0
21:30	12,1	-1,1	6,6	1067	0,00	50	33	7,0
22:00	12,1	-0,9	6,6	1065	0,00	50	33	7,0
22:30	12,1	-0,9	6,6	1065	0,00	50	33	7,0
23:00	12,1	-1,0	6,6	1066	0,00	50	33	7,0
23:30	12,1	-1,0	6,6	1066	0,00	50	33	7,0
24:00	12,1	-1,0	6,6	1062	0,00	50	33	7,0

Perhitungan nilai sudut penyalan *thyristor* dilakukan untuk melihat besarnya nilai arus eksitasi dan tegangan eksitasi yang diinjeksikan pada generator. Perhitungan nilai sudut penyalan *thyristor* dapat dilakukan dengan menghitung Tegangan Maksimum (V_m) terlebih dahulu. Berdasarkan data pada ULPLTA Bili-Bili, tegangan sumber yang dialirkan pada AVR adalah 155 Volt maka tegangan maksimum $V_m = V_{in} \times \sqrt{2} = 219,17 V$. Berdasarkan data *logsheet* nilai tegangan eksitasi didapatkan sebesar 33 Volt dan untuk nilai tegangan maksimum didapatkan sebesar 219,17 V sehingga nilai sudut penyalan *thyristor* diperoleh $V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} \times V_m \times \cos \alpha = 33 = 361,63 \times \cos \alpha$. Berdasarkan persamaan tersebut diperoleh nilai sudut penyalan *thyristor* $\alpha = 84,8^\circ$ dengan tegangan keluaran generator sebesar 6,6 kV.

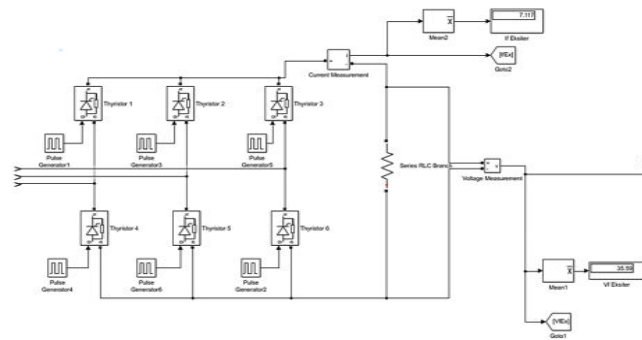
Sistem eksitasi yang digunakan pada ULPLTA Bili-Bili adalah jenis sistem eksitasi tanpa sikat (*Brushless Excitation*). Besarnya tegangan DC yang diinjeksikan menuju generator dapat diatur dengan mengatur *gate thyristor* secara otomatis sesuai perintah dari AVR. Pada AVR yang digunakan pada ULPLTA Bili-Bili didalamnya terdapat enam buah *thyristor* sehingga menjadi rangkaian konverter pengendali penuh.

Keluaran tegangan AC tiga fase generator yang sebesar 6,6 kV disalurkan ke trafo daya yang selanjutnya dinaikkan menjadi 20 kV. Setelah itu keluaran tegangan generator juga disalurkan ke trafo untuk diturunkan tegangannya dari 6,6 kV menjadi 155 V. Pemodelan rangkaian sistem eksitasi generator pada ULPLTA Bili-Bili di Simulink MATLAB untuk lebih jelas dibagi menjadi empat bagian. Bagian pertama dapat dilihat pada Gambar 1. Pada bagian ini terdapat *three phase voltage source* (sumber tegangan tiga fase) atau transformator eksitasi yang menurunkan tegangan keluaran generator. *Output* dari *three phase V-I measurement* tersebut masuk ke rangkaian *thyristor* yang selanjutnya menyearahkan tegangan AC menjadi DC. Tegangan tersebut yang digunakan untuk sistem eksitasi.



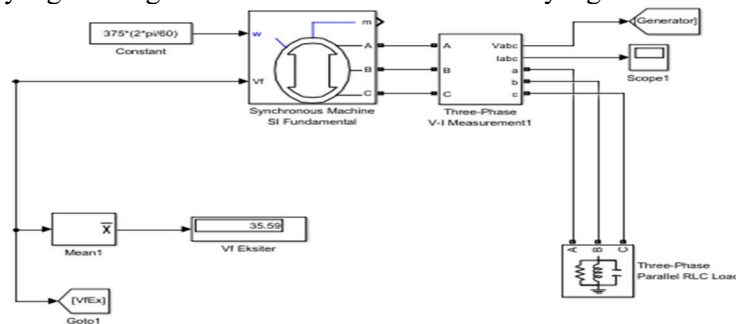
Gambar 1 Pemodelan Rangkaian Bagian Pertama (*Source*)

Bagian kedua dapat dilihat pada Gambar 2. Pada bagian ini, terdapat komponen pada AVR yang terdiri dari 6 buah *thyristor*, 6 buah *pulse generator*, dan resistor.



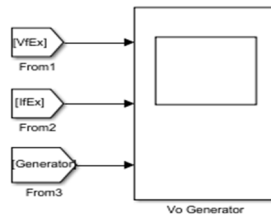
Gambar 2 Pemodelan Rangkaian *Thyristor*

Bagian ketiga merupakan rangkaian generator yang dapat dilihat pada Gambar 3. Pada bagian ini, arus dan tegangan keluaran dari AVR digunakan sebagai arus penguat medan magnet generator. Kemudian terdapat *block constant* yang berfungsi untuk memberikan suatu nilai yang konstan.

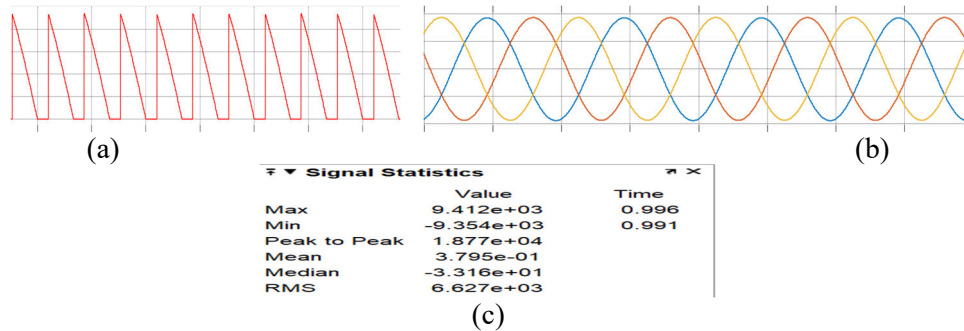


Gambar 3 Pemodelan Rangkaian Generator

Bagian terakhir dapat dilihat pada Gambar 4. Pada bagian ini terdapat *block scope* dengan 3 *port*, yang digunakan untuk melihat bentuk gelombang dari I_f eksiter, V_f eksiter dan V_{output} generator. Hasil simulasi gelombang tegangan keluaran pada AVR dan generator dapat dilihat pada Gambar 5. Pada gambar 5(a) dapat dilihat gelombang yang terbentuk pada keluaran *thyristor* adalah gelombang DC yang diatur pada sudut penyalaan $84,8^\circ$. Pada gambar 5(b), merupakan gelombang AC keluaran generator. Adapun hasil simulasi untuk keluaran tegangan generator pada Gambar 5(c) terbaca 6,627 kV.



Gambar 4 Block Scope Keluaran Arus Eksitasi, Tegangan Eksitasi dan Tegangan Generator



Gambar 5 (a) Gelombang keluaran tegangan eksitasi, (b) Gelombang keluaran tegangan generator, (c) Nilai tegangan keluaran generator

Pengaturan tegangan generator dilakukan dengan mengontrol tegangan eksitasi dari keluaran rangkaian *thyristor*. Tabel 3 memperlihatkan pengujian beberapa nilai sudut penyalan *thyristor*.

Tabel 3 Simulasi pengujian rentang nilai sudut penyalan

No.	α ($^{\circ}$)	Eksitasi		Generator (kV)
		Tegangan (V)	Arus (A)	
1	0 $^{\circ}$	207,6	41,52	11,000
2	10 $^{\circ}$	203,8	40,77	10,900
3	20 $^{\circ}$	193,9	38,79	10,640
4	30 $^{\circ}$	178,2	35,64	10,240
5	40 $^{\circ}$	156,4	31,29	9,687
6	50 $^{\circ}$	130,5	26,1	9,029
7	60 $^{\circ}$	100,7	20,14	8,273
8	70 $^{\circ}$	70,81	14,16	7,517
9	75 $^{\circ}$	58,19	11,64	7,198
10	80 $^{\circ}$	45,94	9,188	6,889
11	84 $^{\circ}$	37,44	7,487	6,674
12	84,8 $^{\circ}$	35,59	7,117	6,627
13	85 $^{\circ}$	34,98	6,995	6,612
14	85,5 $^{\circ}$	34,37	6,875	6,597
15	90 $^{\circ}$	25,91	5,182	6,383
16	95 $^{\circ}$	17,68	3,536	6,175
17	100 $^{\circ}$	10,96	2,192	6,006
18	110 $^{\circ}$	2,43	0,485	5,791
19	120 $^{\circ}$	0,105	0,020	5,732
20	130 $^{\circ}$	0,061	0,0123	5,731
21	140 $^{\circ}$	0,022	0,004	5,730

Berdasarkan pada Tabel 3, dapat dilihat hubungan perubahan nilai sudut penyalaaan *thyristor* terhadap keluaran tegangan generator, yaitu jika semakin kecil nilai sudut penyalaaan *thyristor*, maka nilai tegangan keluaran generator akan semakin besar, begitu pula sebaliknya. Jika semakin besar nilai sudut penyalaaan *thyristor*, maka nilai tegangan keluaran generator akan semakin kecil.

4. KESIMPULAN

Pemodelan sistem eksitasi generator pada ULPLTA Bili-Bili dapat dimodelkan dengan menggunakan komponen *block voltage source*, *block thyristor*, *block pulse generator* dan *block synchronous machine* berdasarkan rangkaian skematik dan data spesifikasi ULPLTA Bili-Bili. Nilai sudut penyalaaan *thyristor* pada sistem eksitasi ULPLTA Bili-Bili ditentukan dengan menggunakan rumus yang kemudian nilainya diimplementasikan pada Matlab. Nilai sudut penyalaaan *thyristor* bekerja pada 84,8°. Pada simulasi didapatkan bahwa sudut penyalaaan bekerja pada rentang 84° hingga 85°. Pengaruh nilai sudut penyalaaan *thyristor* berbanding terbalik dengan arus dan tegangan eksitasi pada generator. Semakin besar nilai sudut penyalaaan *thyristor* pada rangkaian konverter pengendali penuh semakin kecil nilai arus eksitasi, begitu juga sebaliknya.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah ikut andil dalam berbagai aspek selama masa penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Farhan, M. dkk, "Pengaruh Pembebanan Terhadap Arus Eksitasi Generator Unit 2 PLTMH Curug," *Jurnal Simetrik*, pp. 388-397, 2021.
- [2] Septiawan, "Studi Sistem Eksitasi pada Generator Sinkron di Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Musi Bengkulu," Yogyakarta, 2017.
- [3] Dandhuru, F. "Analisis Sistem Eksitasi Generator PT. Makassar Te'ne," Makassar, 2015.
- [4] Nurdin, "Peranan Automatic Voltage Regulator sebagai Pengendali Tegangan Generator Sinkron," *Jurnal Ampere*, p. 163, 2018.
- [5] Tarmizi, "Desain Sistem Kontrol Sudut Penyalaaan Thyristor Komutasi Jaringan Berbasis Mikrokontroler PIC 16F877," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 2010.