

PERFORMANCE ANALYSIS OF AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR (AVR) AS A 3-PHASE AC GENERATOR EXCITATION VOLTAGE SUPPLY CONTROLLER

Analisis Kinerja Automatic Voltage Regulator (Avr) Sebagai Pengontrol Suplai Tegangan Eksitasi Generator Ac 3 Phasa

Liliana^{1*}, Benedicto F², Bandri S³

^{1,2} UIN Suska Riau, Indonesia

³Institut Teknologi Padang, Indonesia

Corresponden E-Mail: ¹lili_fst@yahoo.co.id

Makalah: Diterima 23 Mei 2021; Diperbaiki 18 Juni 2021; Disetujui 20 Juni 2021

Corresponding Author: Liliana

Abstrak

Tegangan yang dihasilkan oleh generator akan senantiasa berubah karena beban yang terus berfluktuasi. Tegangan keluaran harus dijaga agar tetap konstan dalam nilai yang diinginkan untuk menjamin pasokan daya keluaran generator agar dapat memenuhi kebutuhan beban., maka dibutuhkan alat yang disebut dengan AVR (*Automatic Voltage Regulator*). AVR bertujuan mengatur besarnya arus eksitasi yang dipasok ke generator dan besarnya arus eksitasi berbanding lurus dengan besarnya tegangan yang dihasilkan oleh generator. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis unjuk kerja AVR dalam menjaga kestabilan tegangan dan daya keluaran generator. Pemantauan kinerja AVR yang dipasang pada generator dilaksanakan selama 31 hari. Hasil pemantauan dan analisis setelah generator dipasang AVR dapat diketahui bahwa tegangan keluaran berada dalam kestabilan dengan variasi nilai antara 11,59 kV sampai dengan 11,8 kV sedangkan daya keluaran generator juga masih dalam kestabilan dengan variasi nilai antara 38,1MW sampai dengan 38,3 MW.

Kata Kunci : Generator, *Automatic Voltage Regulator*, arus eksitasi, daya keluaran, tegangan keluaran

Abstract

The voltage generated by the generator will always change due to the fluctuating load. The output voltage must be kept constant within the desired value to ensure the supply of generator output power to meet the load requirements, a device called an AVR (Automatic Voltage Regulator) is needed. AVR aims to regulate the amount of excitation current supplied to the generator and the amount of excitation current is directly proportional to the amount of voltage generated by the generator. This study aims to analyze the performance of the AVR in maintaining the stability of the generator output voltage and power. Monitoring the performance of the AVR installed on the generator is carried out for 31 days. The results of monitoring and analysis after the generator installed AVR, it can be seen that the output voltage is in stability with a variation in the value between 11.59 kV to 11.8 kV while the generator output power is also still in stability with a variation in values between 38.1 MW to 38.3 MW

Keywords: generator, Automatic Voltage Regulator, excitation current, output voltage, output power

1. Pendahuluan

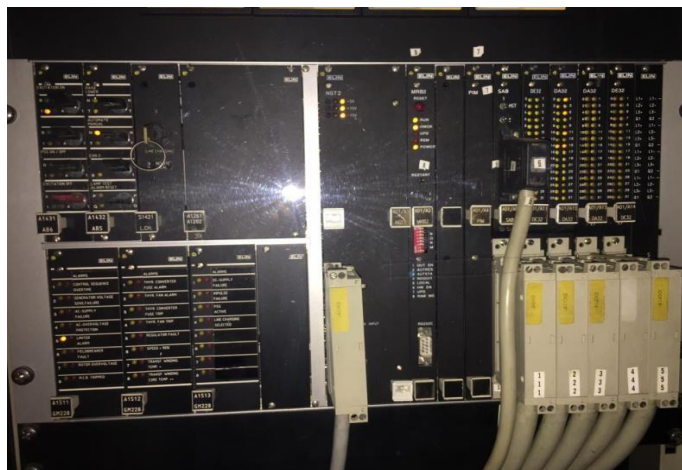
Ketidakstabilan tegangan keluaran generator sering kali terjadi akibat beban yang terus berfluktuasi. Pada saat pembangkitan berlangsung terjadi fluktuasi, maka sistem eksitasi akan langsung bekerja sebagai pengatur keluaran generator agar didapat keseimbangan baru. Sistem eksitasi juga mempengaruhi daya reaktif yang disalurkan ke sistem. Sistem eksitasi ini memiliki kelemahan dimana jika putaran nominal generator tidak dapat dipenuhi maka akan menyebabkan tegangan eksitasi turun dan akibatnya tegangan keluaran generator tidak dapat stabil berdasarkan kapasitas generator baik pada saat berbeban maupun tidak berbeban [1]. Penjagaan tegangan terus diupayakan tetap konstan dalam nilai yang diinginkan.

Pembangkitan Sumatera Bagian Tengah Sumatera (Sumbagteng) yang interkoneksinya meliputi Provinsi Riau, Kepulauan Riau, Sumatera Barat, dan Jambi. Gardu Induk (GI) saat ini terus berbenah. Perkembangan sejauh ini untuk Perusahaan Listrik Negara Unit Induk Pembangunan Sumatera Bagian Tengah (PLN UIP Sumbagteng) selama 2019 telah membangun infrastruktur ketenagalistrikan dengan penambahan kapasitas daya mencapai 670 Mega Volt Ampere (MVA). Jumlah penambahan sebanyak 5 GI berada di Provinsi Riau, 1 GI di Provinsi Kepulauan Riau, 2 GI di Provinsi Sumatera Barat, dan 1 GI di Provinsi Jambi [2].

Salah satu sumber pembangkitan untuk Sumbagteng adalah PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN) Persero Unit Layanan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Kota Panjang. PLTA ini sendiri memiliki 3 unit generator dengan kapasitas 38x3 MW. Pusat Listrik Koto Panjang merupakan sistem jaringan transmisi utara yang terinterkoneksi langsung ke selatan melalui gardu induk Payakumbuh karena Pusat Listrik Koto Panjang beroperasi langsung ke sistem selatan yakni Sumatera Barat, maka pengaturan operasional Pusat Listrik Koto Panjang dilakukan oleh Pusat Pengaturan dan Penyaluran Beban Sumatera (P3BS) yang berada di Pekanbaru [2].

Generator di pembangkit ini sering mengalami keluaran tegangan yang fluktuatif yang tentunya sangat berdampak terhadap kestabilan sistem. Generator sinkron mempunyai kumparan jangkar pada stator dan kumparan medan pada rotor. Apabilakumparan jangkar dihubungkan dengan sumber tegangan tiga fasa akan ditimbulkan medan putar pada stator. Kumparan medan rotor diberi arus searah sehingga mendapatkan tarikan dari kutub medan stator hingga turut berputar dengan kecepatan yang sama [3]. Ada dua pengaturan yang dilakukan pada pembangkit energi listrik yang menggunakan generator sinkron yaitu pengaturan tegangan keluaran yang berhubungan dengan daya reaktif dan frekuensi keluaran yang berhubungan dengan daya aktif generator. Ketika beban naik terjadi penurunan tegangan keluaran dan ketika beban turun terjadi kenaikan tegangan keluaran maka diperlukan pengaturan tegangan keluaran dengan cara mengatur arus eksitasi [4].

Ketidakstabilan keluaran tegangan pada generator sinkron dapat dikendalikan dengan peralatan kontrol yaitu *Automatic Voltage Regulator* (AVR) [5]. AVR bertujuan mengatur besarnya arus eksitasi yang dipasok oleh generator. Dan besarnya arus eksitasi berbanding lurus dengan besarnya tegangan yang dihasilkan oleh generator. Sistem eksitasi pada generator berfungsi untuk menghasilkan medan magnet pada kumparan medan di rotor. PT. PLN (Persero) Unit Layanan PLTA Kota Panjang menggunakan sistem eksitasi menggunakan sikat (brush excitation) pada generatornya. Tegangan yang dihasilkan oleh generator akan senantiasa berubah karena beban yang terus berfluktuasi, sehingga dengan pemasangan AVR diharapkan mampu menjaga agar tegangan tetap konstan dalam nilai yang diinginkan [6].



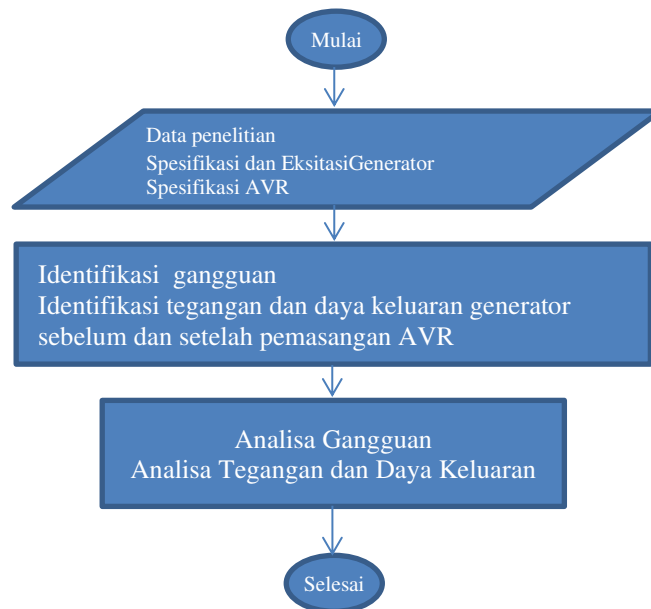
Gambar 1. AVR pada PLTA Koto Panjang

AVR yang berguna sebagai kontrol dan juga penyearah. Untuk sistem eksitasi brush exciter output AC disearahkan menggunakan thyristor AVR, fungsinya sebagai penyearah untuk eksitasi pada kumparan medan

yang terletak pada stator brush exciter. Hasil pembangkitan GGL pada stator ini disuplai pada stator exciter karena brush exciter ini merupakan generator sinkron kutub luar yang berarti kumparan medan terletak pada stator, yang kemudian putaran rotor yang memiliki kumparan jangkar ini akan berfluksi dengan medan magnet sehingga menimbulkan GGL pada penyearah thyristor yang dikontrol AVR. Rangkaian penyearah pada AVR ini merupakan penyearah gelombang penuh dengan rangkaian yang tersusun atas thyristor [7]. Pengaturan tegangan keluaran generator membutuhkan AVR untuk mengatur besar arus eksitasi yang mempengaruhi tegangan dan daya yang dihasilkan oleh generator. Bila arus eksitasi naik maka daya reaktif yang disalurkan generator akan berkurang, jika arus eksitasi yang diberikan terlalu kecil, aliran daya reaktif akan berbalik dari sistem, keadaan ini sangat berbahaya karena akan menyebabkan pemanasan berlebihan pada stator.

2. Materi dan Metode

Penelitian terkait kinerja AVR yang merupakan peralatan kontrol otomatis yang digunakan untuk menjaga dan mempertahankan kestabilan tegangan dan daya keluaran dapat dijabarkan dalam flowchart berikut ini



Gambar 2. Alur Penelitian

2.1 Data Penelitian

2.1.1. Data Spesifikasi dan Eksitasi Generator

Tabel 1. Data Spesifikasi dan Eksitasi Generator PLTA Koto Panjang [8]

Type	SSv 540 / 30-170
Ouput	45000 KVA
Rating	M.C.R
Voltage	11000 V $\pm$ 5 % / 440 V
Current	876 A
Number of phases	3
Number of poles	4
Frequency	50 Hz
Speed	200 rpm
Power factor	0.85 (lag)
Insulation class	F
Total weight	281000 kg
Exciting system	Brushless exciting system
Excitation voltage	216 volt

Generator pada Pusat Listrik Koto Panjang diberikan batasan beban (*power setting point*) sebesar 38 MW tiap generatormya. Pembebanan ini akan mempengaruhi putaran pada poros turbin, dimana putaran normal turbin untuk menghasilkan beba seimbang sebesar 200 rpm dengan frekuensi keluaran generator sebesar 50 Hz dimana yang telah ditetapkan pada standar indonesia. Tegangan yang dapat dihasilkan pada kumparan generator 3 fasa ini berkisar 11 Kvdengan *rated output* 45 MVA yang sinkron dengan tegangan di *line*, generator ini dikopel dengan 2 generator lai nnya yang terhubung secara paralel. Generator ini beroperasi padafrekuensi 50 Hz sama seperti frekuensi tegangan di *line*. Untuk menjaga agar frekuensi dari generator ini tetap pada kisaran 50 Hz rotor harus diputar dengan kecepatan 200 rpm, karena generator ini di desain 4 kutub.

2.1. 2. Data Spesifikasi Automatic Voltage Regulator (AVR) [8]

No	Item	Spesification
a.	Type	Digital
b.	Setting range at auto mode	$\pm 5\%$ of generator rated voltage (on load), 50 % to 110 % of generator rated voltage (no load)
c.	Setting range at manual mode	25 % of generator rated field current/voltage at generator no load to 120 % of rated field current/voltage at generator rated load.
d.	Voltage Accuracy	$\pm 0.5\%$ or less
e.	Sampling Time	10 ms

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Identifikasi Gangguan pada Sistem Eksitasi Generator

Beberapa gangguan dan penyebab gangguan pada sistem eksitasi generator sehingga dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem [8] :

1. Tegangan yang terlalu tinggi diakibatkan oleh Volt-Ampere Reactive (VAR) yang tidak sesuai, lalu mengalami overload dan unbalanced .
2. Tegangan rendah diakibatkan karena adanya kerusakan pada sistem AVR yang bekerja.
3. Tegangan tidak menentu diakibatkan open circuit pada lilitan generator memiliki gangguan, dan AVR atau Exciter yang tidak berfungsi.
4. Kombinasi tegangan rendah diakibatkan karena mengalami kelebihan beban dan pf tinggi.
5. Rotor panas diakibatkan karena adanya sambungan kabel yang tidak sesuai, dan hilangnya sistem eksitasi.

3.2. Data Operasi Harian Generator Sinkron sebelum Penggunaan AVR

Data Operasi Harian Generator Sinkron PLTA Kota Panjang per
1 - 31 Januari 2020

Hari ke -	Daya Aktif	Daya Reaktif	Volt Generator	Frekuensi	Arus Jangkar	Faktor Daya	Arus Exciter	Volt Exciter
Pukul 17.00	MW	MVAR	KV	Hz	Amp.	Cos ϕ	Amp.	Volt
1	38.1	11.8	11.73	50	2356	0.97	685	113
2	38.3	10.6	11.59	50.1	2393	0.98	655	105
3	38.3	5.4	11.62	50	2384	1	618	94
4	38.2	10.5	11.6	50	2385	0.98	631	117
5	38.3	11.2	11.72	50	2373	0.97	641	103
6	38.3	8.1	11.73	50	2341	0.98	637	109
7	38.2	7.1	11.73	50	2328	0.99	609	94

8	38.2	11.2	11.67	50	2378	0.97	639	102
9	38.3	9.2	11.64	50	2376	0.98	627	99
10	37.8	9.3	11.59	50	2363	0.99	629	99
11	38.2	7.6	11.62	50	2360	0.97	636	104
12	38.2	5	11.68	50	2337	0.98	622	98
13	38.3	5.7	11.74	50.1	2320	0.99	639	91
14	38.2	12.1	11.71	50.1	2371	0.99	653	103
15	38.1	14	11.72	50	2392	0.99	649	109
16	38.1	10.2	11.67	50	2365	0.99	626	99
17	38.2	8.7	11.71	50	2344	0.97	616	97
18	38.1	14.1	11.74	50	2385	0.96	640	111
19	38.2	8.2	11.73	50	2337	0.98	607	95
20	38.1	8.1	11.73	50	2332	0.98	609	101
21	38.1	11.2	11.76	49.9	2351	0.99	644	105
22	37.6	5.3	11.72	50.1	2294	0.99	632	103
23	38.2	9.7	11.68	50	2363	0.98	661	112
24	38.3	10.6	11.7	50	2371	0.98	623	101
25	38.3	7.5	11.69	50	2353	0.99	627	98
26	38.2	11.3	11.7	50	2371	0.98	639	103

Tabel di atas kondisi dimana generator belum menggunakan AVR. Kelebihan menggunakannya adalah dapat menjaga kesetabilan tegangan output generator, mengatur pembagian daya semu rektif saat kerja paralel, memberikan pengaturan arus esitasi dalam kondisi gangguan supaya tidak keluar dari sinkronisasi dan menurunkan tegangan dengan cepat apabila generator terlepas dari beban yang akan mengakibatkan terjadinya *over voltage*. Kekurangan adalah apabila terjadi beban daya berlebih (*Over Load*) maka dalam keadaan ini AVR akan bekerja lebih berat melampaui batas kemampuannya, sehingga dapat membuat kerusakan pada AVR. Hubungan arus pendek (*short circuit*) bisa berakibat fatal pada penggunaan AVR yang dapat membuatnya ini rusak dan sulit untuk digunakan kembali seperti semula. Memiliki masa pakai (*life time*) masa pakai dalam penggunaan AVR ini sangat lah relatif pendek, hal ini disebabkan karena mengalami proses kerja yang berat dan konstan [9].

3.3. Data Operasi Harian Generator Sinkron setelah Penggunaan AVR

Data Operasi Harian Generator Sinkron PLTA Kota Panjang per 1 - 28 Januari 2020								
Hari ke -	Daya Aktif	Daya Reaktif	Volt Generator	Frekuensi	Arus Jangkar	Faktor Daya	Arus Exciter	Volt Exciter
Pukul 17.00	MW	MVAR	KV	Hz	Amp.	Cos ϕ	Amp.	Volt
1	38.1	11.8	11.73	50	2356	0.97	834	113
2	38.3	10.6	11.59	50.1	2393	0.98	800	105
3	38.3	5.4	11.62	50	2384	1	763	94
4	38.2	10.5	11.6	50	2385	0.98	778	117
5	38.3	11.2	11.72	50	2373	0.97	791	103
6	38.3	8.1	11.73	50	2341	0.98	786	109

7	38.2	7.1	11.73	50	2328	0.99	758	94
8	38.2	11.2	11.67	50	2378	0.97	788	102
9	38.3	9.2	11.64	50	2376	0.98	777	99
10	37.8	9.3	11.59	50	2363	0.99	780	99
11	38.2	7.6	11.62	50	2360	0.97	788	104
12	38.2	5	11.68	50	2337	0.98	768	98
13	38.3	5.7	11.74	50.1	2320	0.99	784	91
14	38.2	12.1	11.71	50.1	2371	0.99	801	103
15	38.1	14	11.72	50	2392	0.99	799	109
16	38.1	10.2	11.67	50	2365	0.99	772	99
17	38.2	8.7	11.71	50	2344	0.97	764	97
18	38.1	14.1	11.74	50	2385	0.96	789	111
19	38.2	8.2	11.73	50	2337	0.98	754	95
20	38.1	8.1	11.73	50	2332	0.98	755	101
21	38.1	11.2	11.76	49.9	2351	0.99	789	105
22	37.6	5.3	11.72	50.1	2294	0.99	781	103
23	38.2	9.7	11.68	50	2363	0.98	811	112
24	38.3	10.6	11.7	50	2371	0.98	780	101
25	38.3	7.5	11.69	50	2353	0.99	774	98
26	38.2	11.3	11.7	50	2371	0.98	785	103
27	37.8	11.1	11.76	50	2334	0.98	783	102
28	37.9	8.6	11.77	50	2358	0.98	756	94

Berikut hasil tegangan dan daya keluaran setelah penggunaan AVR

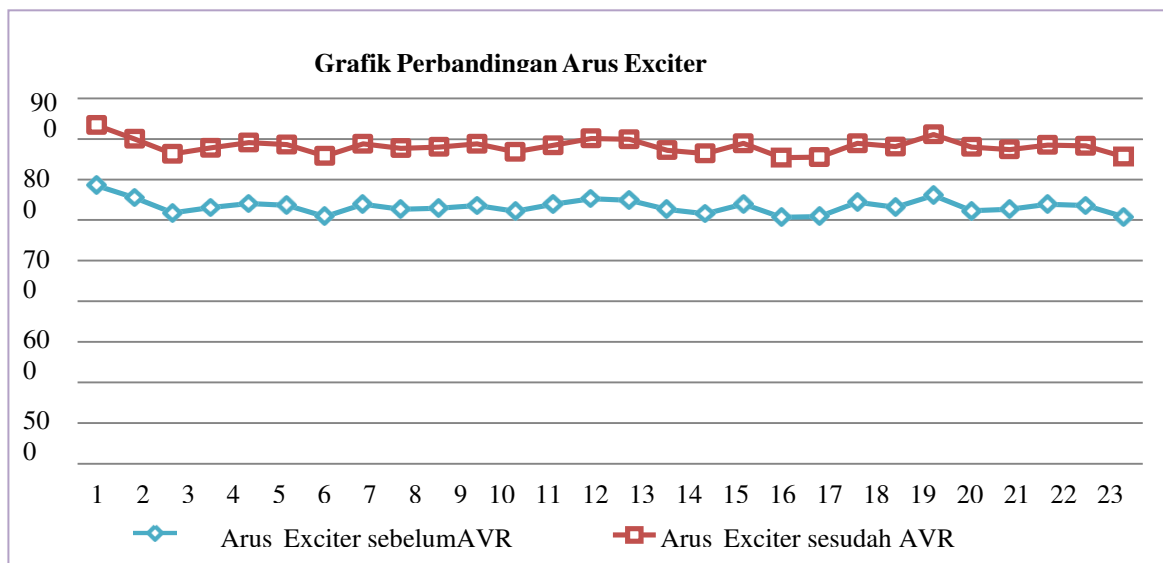
Tabel 3.4. Vout dan daya Generator

Hari ke -	Vout Generator (KV)	Daya Aktif(MW)
1	11.73	38.1
2	11.59	38.3
3	11.62	38.3
4	11.6	38.2
5	11.72	38.3
6	11.73	38.3
7	11.73	38.2
8	11.67	38.2
9	11.64	38.3
10	11.59	38.8
11	11.62	38.2
12	11.68	38.2
13	11.74	38.3
14	11.71	38.2
15	11.72	38.1
16	11.67	38.1
17	11.71	38.2

18	11.74	38.1
19	11.73	38.2
20	11.73	38.1
21	11.76	38.1
22	11.72	37.6
23	11.68	38.2
24	11.7	38.3
25	11.69	38.3
26	11.7	38.2
27	11.76	37.8
28	11.77	37.9
29	11.75	38.2
30	11.77	38.3
31	11.8	38.2

Kenaikan nilai daya aktif dipengaruhi oleh konsumsi energi listrik yang banyak digunakan beban. Untuk menaikkan daya aktif dapat dilakukan dengan cara menaikkan tegangan terminal generator yang disuplai dari arus eksitasi yang akan mempercepat putaran medan magnet dengan medan arus searah untuk menghasilkan fluks magnet di rotor generator. Ketika rotor berputar, maka fluks magnet yang timbul akibat arus searah tersebut mengakibatkan timbulnya ggl induksi di stator generator, sehingga akan menaikkan tegangan terminal dan daya generator sinkron. Dari tabel di atas tegangan keluaran berada dalam kestabilan dengan variasi nilai antara 11,59 kV sampai dengan 11,8 kV sedangkan daya keluaran generator juga masih dalam kestabilan dengan variasi nilai antara 38,1 MW sampai dengan 38,3 MW.

Berikut disajikan perbandingan arus eksitasi yang dihasilkan untuk dua keadaan sebelum dan setelah AVR



Gambar 3. Perbandingan Arus Eksitasi Sebelum dan Setelah Pemasangan AVR

Arus eksitasi sangat mempengaruhi tegangan dan daya yang dihasilkan generator, bila arus eksitasi naik maka daya reaktif yang disalurkan generator akan berkurang, jika arus eksitasi yang diberikan terlalu kecil, aliran daya reaktif akan berbalik dari sistem menuju ke generator sehingga generator menyerap daya reaktif dari sistem, keadaan ini sangat berbahaya karena akan menyebabkan pemanasan berlebihan pada *stator*. Pada *exciter synchronous generator* masalah yang juga sering terjadi adalah tegangan tinggi, ini sebabkan adanya *overload* (kelebihan beban). Tegangan tidak menentu juga menjadi masalah yang sering terjadi hal ini

dikarenakan *avr* dan *exciter* yang tidak berfungsi dengan baik sehingga tegangan tidak stabil serta terjadinya *open circuit* pada lilitan generator.

Pada sistem eksitasi ini ULPLTA Kota Panjang menggunakan sikat (*Brush Excitation*). Penguat medan magnet disalurkan melalui *carbon brush* ke *slip ring*, dan juga sistem eksitasi yang digunakan menggunakan *automatic voltage regulator* (*avr*), jika penguat pada medan magnet menggunakan kawat penghantar, maka seiringnya putaran pada rotor kawat akan terputus. Untuk mengatasi hal tersebut, maka akan digunakan *carbon brush* sebagai penyalur tegangan ke *slip ring*. *Carbon brush* adalah bagian yang akan selalu bergesekan atau bersentuhan dengan *slip ring*.

Kelebihannya memiliki batasan eksitasi yang tinggi, sumber tegangan eksitasi diambil langsung dari generator, dan mempunyai respon yang cepat seiring kemampuan governor turbin. Kekurangannya adalah sistem eksitasi menggunakan sikat arang harus menjalankan pemeliharaan dan perawatan rutin karena bisa berdampak pada kerusakan isolasi yang disebabkan oleh debu *carbon brush* akibat sikat arang. Dilihat dari segi ekonomis, sistem eksitasi yang menggunakan sikat arang dan *slip ring* memerlukan biaya perawatan untuk mengganti sikat arang dan perbaikan *slip ring* yang tidak mampu dijadikan penghantar.

4. Kesimpulan

AVR berfungsi sebagai rangkaian penyearah dan *controller* eksitasi, dengan mengontrol eksitasi pada *brush exciter* yang didapat dari *slip ring*, AVR mengatur arus penguatan (eksitasi) dengan membandingkan *output* tegangan generator, maka AVR akan memperbesar arus penguatan (eksitasi) pada *exciter* dan begitu juga sebaliknya. Penelitian ini mengidentifikasi kondisi tegangan dan daya keluaran generator sebelum dan setelah pemasangan AVR. Penguatan arus eksitasi setelah pemasangan AVR diketahui mengalami peningkatan sehingga keluran tegangan dan daya pada generator menjadi lebih stabil. Tegangan keluaran berada dalam kestabilan dengan variasi nilai antara 11,59 kV sampai dengan 11,8 kV sedangkan daya keluaran generator juga masih dalam kestabilan dengan variasi nilai antara 38,1MW sampai dengan 38,3 MW.

Referensi

- [1] Azhar, Zaini Muhaimin, (2015). "*Design and Development of Micro Hydropower by Using Pump Centrifugal To Supply The Water Into Turbines*". Proceeding of The 1th Almuslim International Conference of Science, Technology and Society (AICSTS), pp.51-57. Bireuen, Aceh, Indonesia.
- [2] Sumatra Bisnis (2020), PLN UIP Sumbagteng Rampungkan Proyek 4 Provinsi <https://sumatra.bisnis.com/read/20200108/534/1188040/pln-uip-sumbagteng-rampungkan-proyek-4-provinsi>, diakses 23 Mei 2021
- [3] Zuhaili. (1991). "Dasar Tenaga Listrik". Bandung : Insitut Teknologi Bandung
- [4] Chapman, Stephen J (2002), *Electric Machinery and Power System Fundamentals*, New York : McGraw-Hill.
- [5] Nurdin A, Azis A, Rozal R.A (2018), Peranan Automatic Voltage Regulator sebagai Pengendali Tegangan Generator Sinkron, Jurnal Ampere, Vol.3 No.1, Program Studi Teknik Elektro, Universitas PGRI Palembang
- [6] Pangkungan A, Marhatang, Irlan C, N, Fasiha U (2018), Analisis Pengaruh Penggunaan AVR (*Automatic Voltage Regulation*) terhadap Sistem Eksitasi Generator pada BTG 1 (Boiler Turbin generator PT. Semen Tonasa. Jurnal Teknik Mesin Sinergi Vo.16 No.1, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- [7] Zulfiada, Hasnan D. (2014), Sistem Eksitasi Generator Dengan Menggunakan sikat AVR (*Automatic Voltage Regulator*), Semarang, Universitas Diponegoro.
- [8] PLN (2020). Manual Book PLTA Koto Panjang, UPB PLN Koto Panjang
- [9] Robandi, Imam (2009). Modern Power System Control. Yogyakarta: Andi Offset