

---

Yudistira Heri Istanto. 2019. Analisis Pengaruh Arus Eksitasi pada Generator Sinkron Terhadap Pembebanan di PLTA Wlingi PT PJB Up Brantas.  
Jurnal *Qua Teknika*, (2019), 9 (1) : 43-55

---

## ANALISIS PENGARUH ARUS EKSITASI PADA GENERATOR SINKRON TERHADAP PEMBEBANAN DI PLTA WLINGI PT PJB UP BRANTAS

Yudistira Heri Istanto  
Fakultas Teknik, Universitas Islam Balitar Blitar  
Jl. Majapahit No 04 Blitar

### ABSTRAK

Penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh arus eksitasi generator sinkron PLTA Wlingi pada setiap masing – masing perubahan beban untuk menjaga tegangan outpun nominal generator dengan besaran tegangan transmisi 150 kV yang berubah – ubah. Data analisa diperoleh dari Laporan Harian Operasi (LHO) PLTA Wlingi sesuai dengan terjadinya perubahan beban pembangkit atau perubahan nilai tegangan transmisi untuk mengetahui pengaruhnya terhadap perubahan arus eksitasi AVR. Data harian yang diperoleh berikutnya dibandingkan dengan *setting* awal atau karakteristik AVR pada saat *Commissioning Test*, deviasi yang dihasilkan akan dijadikan bahan masukan untuk *Engineering* UP Brantas dalam melakukan tindakan *corrective* berikutnya. Dengan demikian kehandalan PLTA Wlingi dalam melayani P2B untuk menjaga kestabilan sistem transmisi 150 kV Jawa – Bali tetap terjaga. Sehingga dapat berkontribusi dalam peningkatan kinerja perusahaan.

Kata kunci : generator, energi listrik, sistem eksitasi, AVR, medan magnet, rotor, stator, gaya gerak listrik, daya reaktif, kehandalan, kinerja perusahaan.

### PENDAHULUAN

Fluktuasi perubahan tegangan pada sistem transmisi 150 kV sangat sering terjadi seiring dengan perubahan pembebanan pada sistem inter koneksi Jawa – Bali, sehingga sebuah generator pembangkit dituntut untuk selalu dapat menstabilkan besaran tegangan keluaran generator yang dihasilkan sesuai dengan tegangan nominal yang diijinkan melalui sebuah Automatic Voltage Regulator (AVR). Dengan pentingnya fungsi sistem eksitasi pada suatu pembangkit tenaga listrik, maka pada kesempatan ini, penulis akan membahas Pengaruh Arus Eksitasi Pada Generator Sinkron Terhadap Pembebanan di PLTA Wlingi PT PJB UP Brantas. (Meidensha Electric Mfg, 1978)

Sesuai dengan identifikasi masalah dan masalah yang telah diuraikan maka dalam penulisan proyek akhir ini dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana perbandingan data *commissioning test* dengan parameter kinerja AVR PLTA Wlingi saat ini.
2. Bagaimana fluktuasi tegangan line 150 kV dan perubahan beban generator PLTA Wlingi terhadap kinerja AVR.
3. Bagaimana pengaruh besarnya arus eksitasi beban terhadap pembebanan generator.

Adapun maksud dan tujuan penelitian yang dilakukan antara lain adalah sebagai berikut :

1. Membandingkan data *commissioning test* dengan parameter kinerja AVR PLTA Wlingi saat ini.
2. Mengetahui fluktuasi tegangan line 150 kV dan perubahan beban generator PLTA Wlingi terhadap kinerja AVR.
3. Menganalisis pengaruh perubahan beban terhadap besarnya tegangan eksitasi

### Alternator Sinkron

Generator merupakan salah satu peralatan utama dalam suatu pembangkit tenaga listrik, baik pada pembangkit listrik tenaga air, pembangkit listrik tenaga gas, pembangkit listrik tenaga uap, dan pembangkit listrik tenaga diesel (Weedy, 1988). Generator berfungsi untuk mengubah energi mekanik berupa putaran oleh turbin atau penggerak mula (*prime mover*) yang dikopel dengan rotor generator menjadi energi listrik.

Generator AC sinkron (alternator sinkron) merupakan salah satu jenis mesin listrik yang menghasilkan tegangan bolak-balik dengan mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan jangkar atau stator dengan kumparan medan atau rotor pada generator sinkron.

Dinamika dengan generator sinkron karena pada generator tersebut, frekuensi listrik yang dihasilkan oleh generator sinkron terhadap putaran mekanis generator. Kumparan medan atau rotor yang terdiri atas belitan medan yang disuplai arus searah atau arus eksitasi akan menghasilkan medan magnet yang diputar dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan putar rotor (Ennopati, 2009). Hal ini dapat ditunjukkan seperti pada Persamaan 2.1.

Yudistira Heri Istanto. 2019. Analisis Pengaruh Arus Eksitasi pada Generator Sinkron Terhadap Pembebanan di PLTA Wlingi PT PJB Up Brantas.  
 Jurnal *Qua Teknika*, (2019), 9 (1) : 43-55

$$f = \frac{np}{120} \quad (2.1)$$

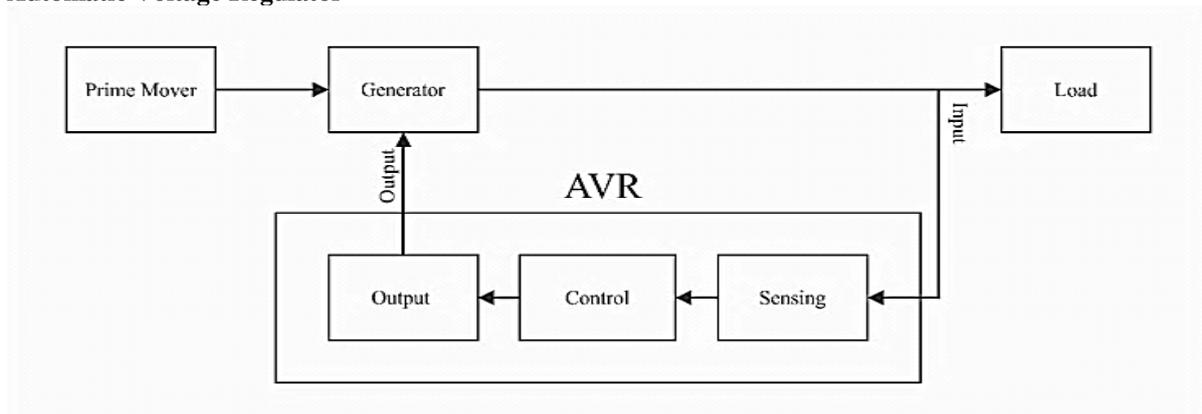
Keterangan:

- $f$  = Frekuensi (Hz)  
 $n$  = Kecepatan Sinkron Medan Magnet (rpm)  
 $p$  = Jumlah Kutub

Generator sinkron dengan kapasitas besar biasanya digunakan pada pusat-pusat pembangkit listrik dengan kapasitas yang relatif besar, seperti pada Pusat Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pusat Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pusat Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), dan berbagai macam jenis pusat pembangkit lainnya. Adapun generator yang memiliki kapasitas relatif kecil semisal *generator set* (genset) yang sering digunakan untuk penerangan darurat ataupun keperluan darurat lainnya.

Alternator sinkron yang digunakan pada PLTA Wlingi adalah tipe vertikal yang dilengkapi dengan bantalan dorong atau *thrust bearing* yang terletak di bagian bawah rotor (VTC-AC). Selain itu, generator pada PLTA Wlingi mempunyai bentuk kutub silindris dan berkutub menonjol dengan bagian yang menimbulkan medan magnet terletak pada belitan rotornya sedangkan yang menimbulkan gaya gerak listrik di bagian belitan stator.

### Automatic Voltage Regulator



Gambar 1. Diagram Blok Automatic Voltage Regulator (Altom: 2015)

Regulator tegangan otomatis atau disebut dengan *automatic voltage regulator* (AVR) merupakan 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 tersebut disesuaikan dengan tegangan ketika proses sinkronisasi dengan tegangan paralel.

AVR tidak langsung mengontrol tegangan *output* generator, tetapi AVR akan mengontrol sistem eksitasi pada generator. Hal ini karena jika terjadi nilai beban yang kecil maka putaran generator juga akan meningkat sehingga tegangan juga tak terkendali. Sistem eksitasi akan bekerja dengan mengurangi arus eksitasi yang disuplai ke kumparan medan dan governor sebagai brake semu pada generator sinkron. Ketika beban meningkat, AVR akan memerintahkan sistem eksitasi untuk meningkatkan nilai arus eksitasi sehingga *output* yang dihasilkan generator sinkron juga meningkat.

## METODE PENELITIAN

### Jenis Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan jenis Diskriptif Exploratory Resert, karena pada pembahasannya berupa pendiskripsian dan penjelasan akan masalah yang akan dianalisa dengan latar belakang sebagai berikut :

- Kenapa Diskriptif : Karena untuk menentukan besaran sesuatu atau frekuensi suatu kejadian, peneliti sudah memiliki definisi masalah yang jelas, hipotesis yang spesifik, dan informasi yang rinci.

Yudistira Heri Istanto. 2019. Analisis Pengaruh Arus Eksitasi pada Generator Sinkron Terhadap Pembebanan di PLTA Wlingi PT PJB Up Brantas.  
Jurnal *Qua Teknika*, (2019), 9 (1) : 43-55

---

- Kenapa Exploratory : Karena peneliti memiliki tujuan untuk mendapatkan keterangan, wawasan, pengetahuan, ide, gagasan, serta pemahaman sebagai upaya untuk merumuskan dan mendefinisikan masalah, menyusun hipotesis, serta dapat dilanjutkan dengan riset lanjutan yang lebih advance.

Metode yang digunakan dalam penelitian diskriptif exploratory ini adalah metode longitudinal (time series) yaitu penelitian yang dilakukan berulang-ulang pada sampel dan variabel yang sama.

Kegunaan metode ini yaitu :

- Membuat estimasi presentasi unit dalam suatu populasi yang menunjukkan perilaku tertentu
- Menggambarkan kelompok yang sesuai dengan konsument
- Menentukan karakteristik hasil penelitian
- Menentukan tingkatan variabel penelitian yang berhubungan satu sama lain
- Membuat prediksi

### **Peralatan Penunjang**

Dalam penelitian ini digunakan peralatan – peralatan penunjang untuk mengetahui berbagai parameter bahan penelitian yang diinginkan, antara lain :

- Power Meter
- Reactive Power Meter
- Cos Phi Meter
- Ampere Meter
- Volt Meter
- Speed Meter

### **Sumber Data**

Penelitian ini memiliki dua sumber yang digunakan sebagai bahan utama pembuatan dan penyusunannya yaitu :

1. Sumber data primer berupa ;
  - Data pada pencatatan laporan harian operasi operator CCR PLTA Wlingi
  - Data laporan bulan perusahaan (Operasi) PLTA Wlingi
  - Hasil Pengamatan & Pencatatan visual pada saat penelitian di CCR Wlingi
2. Sumber data sekunder berupa ;
  - Manual book dan *Commissioning Test AVR* (Automatic Voltage Regulator) Generator PLTA Wlingi
  - SOP (Standart Operating Procedure) Generator PLTA Wlingi

### **Teknik Pengambilan Sampling**

Pada penelitian ini, penulis menggunakan teknik pengambilan sampling “ Nonprobabilitas Quota Sampling “ yang artinya teknik pengambilan sampling yang ditentukan atau ditentukan sendiri oleh peneliti atau menurut pertimbangan pakar dengan atas dasar jumlah atau jatah yang telah ditentukan, (sampel penelitian adalah subjek yang mudah ditemukan sehingga memudahkan dalam proses pengumpulan data).

### **Teknik Pengambilan Data**

Teknik pengambilan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan :

1. Judgemental  
Metode pengambilan data “ Judgemental “ (keputusan), yaitu pemilihan sejumlah item tertentu dari seluruh item yang ada dengan tujuan mempelajari sebagian item tersebut untuk mewakili seluruh itemnya. Sebagian item yang dipilih disebut sampel-sampel (samples), sedang seluruh item yang ada disebut populasi (population), secara Judgemental (keputusan) artinya penentuan sampel dan pemilihan masing – masing item sampelnya diambil dengan dasar keputusan yang masuk akal menurut si pengambil sampel. Di judgemental ini pengetahuan atau opini dan pengalaman si pengambil sampel digunakan untuk menentukan item – item sampel yang akan dipilih dari populasi.
2. Interview  
Menggunakan teknik interview artinya, dalam proses mendapatkan data primer maupun sekunder penulis menggali lebih dalam informasi yang berupa catatan maupun laporan dengan cara tanya jawab teknis maupun non teknis tentang materi yang dibutuhkan.
3. Observasi

---

Yudistira Heri Istanto. 2019. Analisis Pengaruh Arus Eksitasi pada Generator Sinkron Terhadap Pembebanan di PLTA Wlingi PT PJB Up Brantas.

Jurnal *Qua Teknika*, (2019), 9 (1) : 43-55

---

Menggunakan teknik Observasi guna melengkapi wawasan penulis agar lebih mengetahui secara riil, nyata, dan langsung mendapatkan pengetahuan visual tentang materi / data yang dibutuhkan.

4. Dokumentasi

Dokumentasi dibutuhkan guna memperjelas, melengkapi, dan memberikan gambaran nyata dalam penyusunan skripsi yang merupakan hasil dari penelitian ilmiah selama di lokasi penelitian.

5. Studi Literatur

Studi literatur digunakan sebagai data pendukung dan penyelarasan analisa kuantitatif yang disusun agar lebih terarah serta sesuai dengan kaidah – kaidah yang berlaku dan menjadi ketetapan umum.

### Penentuan Populasi Sampling

Penelitian ini dilakukan di Area PLTA Wlingi, maka dapat dengan mudah di tentukan populasi sampling yang akan digunakan sebagai bahan pembahasan dalam analisa yang terkait dengan judul skripsi ini. PLTA Wlingi adalah salah satu pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas terpasang 54 MW, memiliki dua buah generator dengan kapasitas masing – masing 27 MW. Di dalam lingkungan PLTA terdapat beberapa area, diantaranya adalah power house dimana di dalamnya terdapat ruang CCR yang merupakan area kerja para operator untuk melaksanakan seluruh kegiatan pengoprasian, pengendalian, dan pemantauan terkait operasional PLTA pada khususnya, dan interkoneksi dengan jaringan line 150 KV Jawa Bali pada umumnya.

Maka dari uraian diatas penulis menentukan populasi yang akan di teliti dalam analisa skripsi ini yaitu seluruh item yang terdapat di CCR, baik yang berupa fisik maupun non fisik, diantaranya adalah :

- Para personil operator baik dengan latar belakang elektro maupun mesin
- Seluruh area dan perangkat elektrik di CCR
- Seluruh meter – meter visual di area CCR
- Seluruh dokumen fisik maupun non fisik di area CCR

### Indikator Variable

Indikator variabel pembahasan menjadi dua variabel utama yaitu ;

1. Fluktuasi Tegangan line 150 KV pada sistem interkoneksi jawa bali yang merupakan jalur penransmision hasil produksi daya dari dua unit generator PLTA wlingi, yang dapat terpantau pada meter analog di panel unit generator di CCR Wlingi, serta pada data real time pencatatan di laporan harian operasi CCR.
2. Data kinerja AVR (Automatic Voltage Regulator) yang terpantau pada monitor AVR serta pada data real time pencatatan di laporan harian operasi CCR.

### Klasifikasi Variable

Pada analisa ini penulis mengklasifikasikan variable menjadi dua variabel utama, yaitu :

1. Variabel primer yaitu Data kinerja AVR (Automatic Voltage Regulator)
2. Variabel sekunder yaitu Fluktuasi Tegangan line 150 KV serta perubahan pembebanan daya PLTA Wlingi

### Analisa Data

Analisa data merupakan bagian terpenting dalam penyusunan jawaban dari rumusan masalah yang telah ditetapkan pada awal pembahasan topik penelitian. Di dalamnya berisi ulasan teknik tentang pengaruh sistem eksitasi terhadap daya generator, analisa pengaruh fluktuatif tegangan line 150 KV terhadap kinerja AVR, serta pengaruh besarnya arus eksitasi pada generator sinkron terhadap perubahan pembebanan di plta wlingi. Ketiga topik analisa tersebut merupakan jawaban dari penjabaran masalah dari judul skripsi yaitu “Analisis Pengaruh Arus Eksitasi Pada Generator Sinkron Terhadap Pembebanan di PLTA Wlingi PT.PJB UP Brantas”

## HASIL DAN PEMBAHASAN

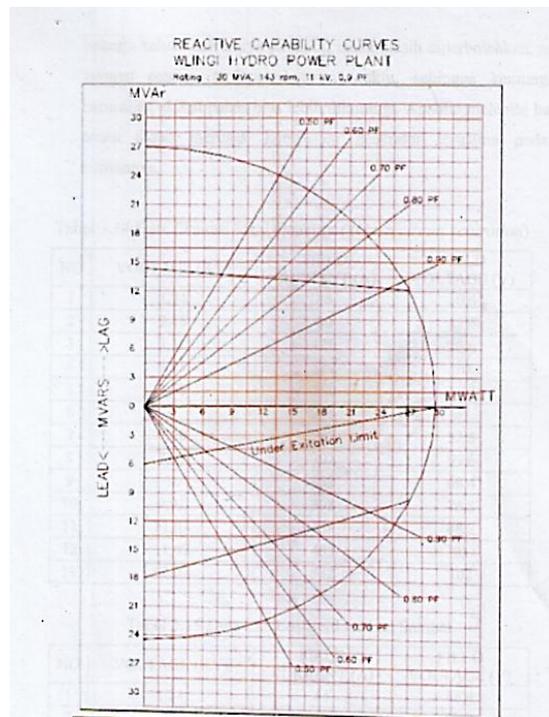
### Analisis Kurva Kapabilitas Generator

*Capability Curve* atau kurva kapabilitas merupakan sebuah kurva pembatas pengoperasian generator dalam menghasilkan daya reaktif generator yang terhubung parallel dengan sistem sebagai upaya untuk mempertahankan tegangan output generator sesuai dengan tegangan nominalnya dari fluktuasi tegangan sistem. Kurva kapabilitas dari setiap generator akan berbeda satu sama lain tergantung dari karakteristik serta kapasitas dari masing – masing

Yudistira Heri Istanto. 2019. Analisis Pengaruh Arus Eksitasi pada Generator Sinkron Terhadap Pembebanan di PLTA Wlingi PT PJB Up Brantas.

Jurnal *Qua Teknika*, (2019), 9 (1) : 43-55

generator, termasuk pada generator PLTA Wlingi memiliki kurva kapabilitas yang dapat ditunjukkan pada gambar 4.6 di bawah.



Gambar 2. Capability Curve

Dari gambar 2 kurva kapabilitas PLTA Wlingi dapat dilihat bahwa daya reaktif maksimum yang diijinkan sebesar lag 15 MVAR dan 18 MVAR lead, hal tersebut berarti generator PLTA Wlingi hanya diijinkan untuk mensupply daya reaktif ke sistem maksimal sebesar 15 MVAR untuk menjaga tegangan output generator tetap dalam besaran nominalnya, dapat dikatakan pada kondisi ini generator dalam keadaan kapasitif untuk mengimbangi beban induktif dari sistem yang lebih tinggi. Untuk dapat mencapai kondisi tersebut, maka arus medan / arus eksitasi generator harus dinaikkan melalui *control voltage regulator*. Penambahan arus eksitasi pada generator harus selalu memperhatikan batasan maksimal nilai daya reaktif yang diijinkan. Apabila generator memproduksi daya lagging reaktif lebih besar dari batasan yang diijinkan, maka akan generator akan mengalami eksitasi lebih atau *Over Excitation* hal ini dapat mengakibatkan panas yang berlebihan pada belitan rotor atau *rotor winding*.

Sebaliknya generator hanya mampu menyerap daya reaktif sebesar 18 MVar dari sistem untuk menjaga tegangan keluaran generator tetap pada besaran nominalnya. Dapat dikatakan pada kondisi ini generator dalam keadaan induktif untuk mengimbangi beban kapasitif dari sistem yang lebih tinggi. Hal ini sangat jarang terjadi pada generator yang terhubung parallel pada sistem, disamping untuk memenuhi permintaan P2B agar generator pembangkit harus mampu mensupply daya reaktif ke sistem, keadaan beban yang selalu bersifat induktif dari pembangkit juga membuat generator pembangkit jarang untuk bersifat leading. Untuk dapat menurunkan daya reaktif pembangkit, maka arus medan / arus eksitasi generator harus diturunkan melalui *control voltage regulator*. Penurunan arus eksitasi pada generator harus selalu memperhatikan batasan maksimal nilai daya leading reaktif yang diijinkan. Apabila generator memproduksi daya leading reaktif lebih besar dari batasan yang diijinkan, maka generator akan mengalami eksitasi kurang atau *Under Excitation* hal ini dapat mengakibatkan panas yang berlebihan pada belitan stator atau *stator winding*.

#### Analisis Pengaruh Beban Terhadap Faktor Daya

Pada Tabel 4.5 merupakan hubungan antara daya generator dengan sudut  $\cos\phi$  akibat pengaruh beban. Daya yang dihasilkan generator ada tiga macam, yaitu daya aktif (MW) dan daya reaktif (MVAR) dan hasil dari kedua daya tersebut adalah daya total/daya semu (MVA). Data ini diambil dari data *Commissioning* generator PLTA Wlingi. Data menunjukkan bahwa perubahan daya aktif maupun reaktif sangat berpengaruh terhadap besar

Yudistira Heri Istanto. 2019. Analisis Pengaruh Arus Eksitasi pada Generator Sinkron Terhadap Pembebanan di PLTA Wlingi PT PJB Up Brantas.

Jurnal *Qua Teknika*, (2019), 9 (1) : 43-55

$\cos\phi$  yang dihasilkan generator. Daya aktif dan daya reaktif di atas dapat dinyatakan sebagaimana Persamaan 4.1a dan Persamaan 4.1b.

$$P = VI\cos\phi \quad (4.1a)$$

$$Q = VI\sin\phi \quad (4.1b)$$

Adapun daya total atau daya semu di atas dapat dinyatakan sebagaimana Persamaan 4.1c.

$$S = VI \quad (4.1c)$$

Berdasarkan persamaan segitiga daya maka didapatkan persamaan 4.1d.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (4.1d)$$

$\cos\phi$  atau factor daya merupakan bagian penting dari rangkaian listrik AC yang dapat dinyatakan dalam rangkaian impedansi atau rangkaian daya. Faktor daya didefinisikan sebagai rasio daya aktif (P) terhadap daya semu (S) sehingga didapatkan  $\cos\phi$ . Untuk factor daya rasio dari daya reaktif (Q) terhadap daya semu (S) akan didapatkan  $\sin\phi$ . Rasio tersebut sebagaimana persamaan 4.1e dan 4.1f

$$\cos\phi = \frac{P}{S} \quad (4.1e)$$

$$\sin\phi = \frac{Q}{S} \quad (4.1f)$$

Tabel 1 Hubungan Daya Aktif Dan Daya Reaktif Generator Terhadap  $\cos\phi$

MW MVAR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10	0,99	0,98	0,95	0,93	0,89	0,85	0,82	0,78	0,74	0,7					
11	0,99	0,98	0,97	0,95	0,92	0,89	0,86	0,83	0,8	0,77	0,74	0,7			
13	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,9	0,88	0,85	0,82	0,79	0,76	0,73	0,7		
15	0,99	0,98	0,98	0,96	0,95	0,93	0,9	0,88	0,86	0,83	0,8	0,76	0,75	0,73	0,7
17	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,94	0,92	0,9	0,88	0,86	0,84	0,82	0,79	0,77	0,75
18	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87	0,85	0,85	0,81	0,79	0,77
20	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93	0,91	0,89	0,87	0,86	0,84	0,82	0,8
22	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92	0,91	0,89	0,87	0,86	0,84	0,82
23	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,95	0,94	0,93	0,92	0,9	0,88	0,87	0,85	0,83
25	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,9	0,88	0,87	0,86
26	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,89	0,89	0,86
27	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,96	0,95	0,94	0,92	0,91	0,9	0,88	0,88

Tabel 1 merupakan data *commissioning* dari generator yang digunakan di PLTA Wlingi. Data tersebut merupakan hubungan antara daya aktif maupun reaktif yang dihasilkan generator dan pengaruhnya terhadap perubahan  $\cos\phi$ . Dilihat pada Tabel 1 menunjukkan semakin besar nilai daya reaktif maka semakin kecil pula nilai factor daya atau  $\cos\phi$ .

Perhitungan Daya aktif dan daya reaktif di atas dapat dinyatakan sebagaimana Persamaan 4.1a dan Persamaan 4.1b menunjukkan bahwa perubahan daya aktif maupun reaktif sangat berpengaruh terhadap besar  $\cos\phi$  yang dihasilkan generator. Hal ini dapat ditunjukkan dengan perhitungan MW dan MVAR dengan mengambil data *Commissioning* generator PLTA Wlingi. Misal pada data MW = 10; MVAR = 2; dan  $\cos\phi$

$$P = V.I.\cos\phi \sqrt{3} \quad (4.1a)$$

$$10 = 10. I . 0,98$$

$$I = \frac{10 \text{ MW}}{10 \text{ KV} \cdot 0,98 \cdot \sqrt{3}} = 590$$

Yudistira Heri Istanto. 2019. Analisis Pengaruh Arus Eksitasi pada Generator Sinkron Terhadap Pembebanan di PLTA Wlingi PT PJB Up Brantas.

Jurnal *Qua Teknika*, (2019), 9 (1) : 43-55

$$Q = VI \sin \phi \sqrt{3} \quad (4.1b)$$

Nilai factor daya (cos  $\phi$ ) pada MW = 10, dan MVAR = 2

$$MVAR = V. I. \sin \phi \sqrt{3}$$

$$\sin \phi = \frac{2 \text{ MVAR}}{10 \text{ KV} \cdot 590 \sqrt{3}}$$

$$= 0,195$$

$$\phi = \sin^{-1} 0,195$$

$$= 11,286$$

$$\cos \phi = 0,98$$

Nilai factor daya (cos  $\phi$ ) pada MW = 10, dan MVAR = 4

$$MVAR = V. I. \sin \phi \sqrt{3}$$

$$\sin \phi = \frac{4 \text{ MVAR}}{10 \text{ KV} \cdot 590 \sqrt{3}}$$

$$= 0,391$$

$$\phi = \sin^{-1} 0,391$$

$$= 23,04$$

$$\cos \phi = 0,92$$

Nilai factor daya (cos  $\phi$ ) pada MW = 10, dan MVAR = 6

$$MVAR = V. I. \sin \phi \sqrt{3}$$

$$\sin \phi = \frac{6 \text{ MVAR}}{10 \text{ KV} \cdot 590 \sqrt{3}}$$

$$= 0,587$$

$$\phi = \sin^{-1} 0,587$$

$$= 36,0$$

$$\cos \phi = 0,85$$

### Analisis Pengujian Generator Tanpa Beban

Pengujian tanpa beban pada sebuah generator dilakukan untuk mengetahui kondisi dari sistem eksitasi generator. Pengujian ini dilakukan dengan cara menaikkan arus medan bertahap sehingga didapatkan hasil tegangan terminal generator. Besarnya arus medan akan sebanding dengan tegangan terminal generator hingga didapatkan nilai saturasi atau daerah jenuh. Pada daerah saturasi atau tegangan terminal mencapai nominalnya maka tegangan akan melambat peningkatannya sedangkan arus medan tetap naik.

Pada Tabel 2 menunjukkan hubungan antara arus medan dengan tegangan output yang dihasilkan oleh generator. Data ini diambil dari data *commissioning* yang ada pada generator saat *open circuit* atau beban nol yang digunakan di PLTA Wlingi.

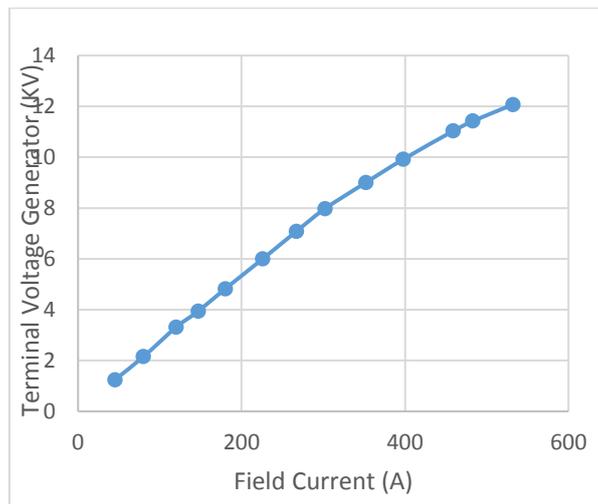
Tabel 2 Data Ideal Eksitasi Dan Tegangan Terminal Generator

No	Voltage (KV)	Field Current (A)	Field Voltage (V)
1	1.24	45	10.6
2	2.15	80	17.6
3	3.31	120	25.6
4	3.94	147	30
5	4.82	180	36.3
6	6	226	45
7	7.08	267	52.6
8	7.97	302	59.6
9	9	352	68.4
10	9.92	398	76.5
11	11.03	459	88.2

Yudistira Heri Istanto. 2019. Analisis Pengaruh Arus Eksitasi pada Generator Sinkron Terhadap Pembebanan di PLTA Wlingi PT PJB Up Brantas.  
 Jurnal *Qua Teknika*, (2019), 9 (1) : 43-55

12	11.42	483	93
13	12.07	532	102

Berdasarkan Tabel 2 dapat diambil grafik hubungan arus medan dengan tegangan terminal generator seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Data Ideal Arus Medan Dan Tegangan Keluaran Generator

Terlihat pada Gambar 3 menunjukkan bahwa peningkatan arus medan yang disuplai oleh sistem eksitasi mempengaruhi tegangan output atau terminal generator juga semakin meningkat. Arus medan tersebut digunakan untuk mensuplai atau membangkitkan fluks pada kumparan rotor. Hal ini membuktikan bahwa semakin besar medan magnet pada rotor maka akan semakin besar pula ggl induksi yang dihasilkan oleh kumparan stator hingga puncak saturasinya.

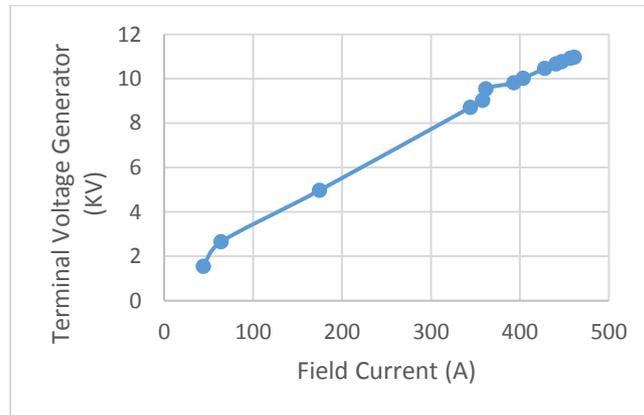
Kemudian pada tahun 2017 dilakukan pengujian beban nol terhadap generator. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan sistem eksitasi masih dalam kondisi baik karena pada saat itu AVR baru diperbaiki setelah *fuse* dari *thyristor* mengalami kerusakan. Tabel 4.7 menunjukkan hubungan arus medan dan tegangan output generator.

Tabel 3 Data Pengujian Arus Medan Dan Tegangan Terminal Generator 2017

No	Voltage (KV)	Field Current (A)	Field Voltage (V)
1	1.54	52	15.8
2	2.25	88	18.5
3	3.45	133	27
4	3.97	153	33
5	4.88	188	37.3
6	6.21	233	48.2
7	7.10	273	53
8	7.82	288	62.7
9	9.02	364	68
10	9.96	402	88.2
11	11.08	446	89.2
12	11.48	492	95.2
13	12.02	528	100

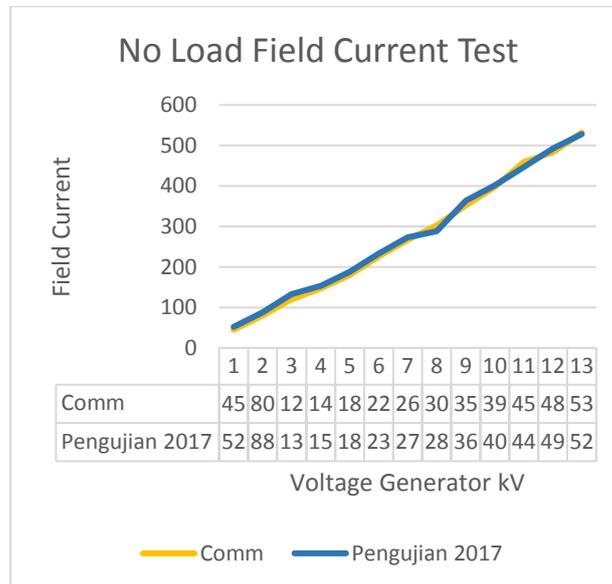
Yudistira Heri Istanto. 2019. Analisis Pengaruh Arus Eksitasi pada Generator Sinkron Terhadap Pembebanan di PLTA Wlingi PT PJB Up Brantas.  
 Jurnal *Qua Teknika*, (2019), 9 (1) : 43-55

Berdasarkan Tabel 3 dapat diambil grafik hubungan arus medan dengan tegangan keluaran generator seperti pada Gambar 4.



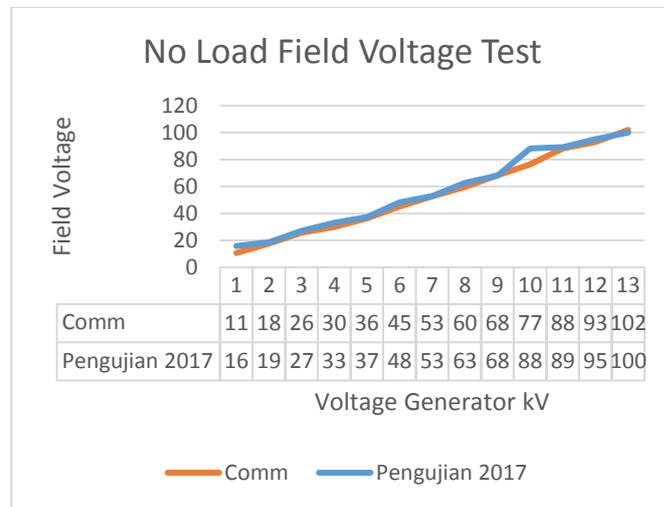
Gambar 4. Grafik Pengujian Tanpa Beban

Pada grafik pengujian tanpa beban seperti pada Gambar 4 terlihat terjadi sedikit deviasi atau penyimpangan nilai terhadap data ideal berdasarkan *commissioning test* yang pernah dilakukan. Namun demikian tampak bahwa nilai deviasi yang dihasilkan tergolong kecil, hal ini sangat mungkin terjadi mengingat usia pemakaian AVR PLTA Wlingi yang sudah lebih dari 30 tahun, serta kesalahan faktor pembacaan data dan set poin pengukuran juga menjadi salah satu penyebab terjadinya penyimpangan data hasil pengukuran. Untuk dapat melihat nilai penyimpangan dari ke dua pengujian tersebut, maka dapat dilihat pada grafik gambar 5 dan gambar 6 di bawah.



Gambar 5. Grafik Deviasi Arus Eksitasi Pengujian Tanpa Beban

Yudistira Heri Istanto. 2019. Analisis Pengaruh Arus Eksitasi pada Generator Sinkron Terhadap Pembebanan di PLTA Wlingi PT PJB Up Brantas.  
 Jurnal *Qua Teknika*, (2019), 9 (1) : 43-55



Gambar 6. Grafik Deviasi Tegangan Eksitasi Pengujian Tanpa Beban

#### Analisis Pengujian Arus Eksitasi Terhadap Daya Reaktif

Pengujian ini dilakukan di saat beban puncak dimana pada waktu tersebut sering terjadi kenaikan beban resistif maupun beban induktif. Tentunya pengaruh beban tersebut sangat berkaitan terhadap perubahan daya yang dihasilkan oleh generator. Beban induktif akan mempengaruhi daya reaktif yang dihasilkan oleh generator. Daya reaktif generator meningkat ketika beban induktif yang ditanggung oleh generator. Hal ini akan mempengaruhi tegangan terminal dari generator yang semakin turun sehingga perlu ditingkatkan arus medan yang disuplai oleh sistem eksitasi untuk menjaga agar tegangan *output* generator tetap berada pada nilai nominalnya.

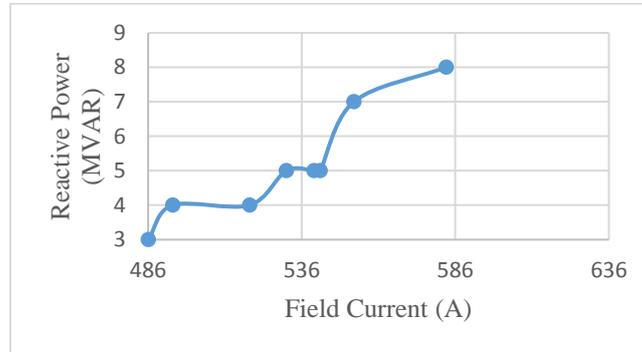
Tabel 4 Pengujian Eksitasi Pukul 17.00 - 22.00 WIB Pada Bulan April 2018

Jam	Excitation		SUTT (kV)	KV	A	MW	MVAR	Cosφ
	A	V						
17:00	519	100	138	10,1	650	10	4	0,93
18:00	531	101	138	10,3	670	10	5	0,9
19:00	540	106	138	9,9	680	10	5	0,9
20:00	542	105	138	10,2	680	10	5	0,9
21:00	553	108	135	10,1	750	10	7	0,84
22:00	583	115	135	10,3	750	10	8	0,82

Pada Tabel 4 menunjukkan bahwa saat terjadi beban puncak, yaitu saat permintaan beban induktif meningkat menyebabkan generator akan mensuplai daya reaktif ke beban yang semakin meningkat. Di sisi lain, peningkatan daya reaktif akan berpengaruh terhadap tegangan output atau terminal generator menjadi turun. Tegangan yang turun akan menyebabkan terganggunya kinerja dari generator. Untuk mencegah terjadinya gangguan maka sistem eksitasi akan bekerja meningkatkan nilai arus medan sehingga tegangan *output* generator masih pada nilai yang disarankan. Semakin meningkat daya reaktif maka eksitasi yang disuplai oleh sistem eksitasi juga akan meningkat untuk menjaga nilai tegangan terminal. Pada pengujian ini juga terlihat bahwa beban induktif sangat mempengaruhi nilai  $\cos\phi$ . Meningkatnya beban induktif menyebabkan nilai  $\cos\phi$  menurun.  $\cos\phi$  yang menurun seharusnya mempengaruhi nilai daya nyata. Akan tetapi daya nyata / aktif masih dalam keadaan konstan karena daya aktif juga bisa dipengaruhi oleh mekanis turbin dan pengaturan frekuensi *prime mover*. Berbeda halnya dengan nilai daya reaktif yang semakin besar akibat menurunnya  $\cos\phi$ . Pada saat  $\cos\phi = 0,82$  dengan nilai daya reaktif = 8 MVAR menyebabkan nilai arus medan harus bekerja di atas nilai yang disarankan untuk mengontrol tegangan terminal. Hasil pengujian ini dapat diperoleh grafik hubungan arus medan dan daya reaktif seperti Gambar 7.

Yudistira Heri Istanto. 2019. Analisis Pengaruh Arus Eksitasi pada Generator Sinkron Terhadap Pembebanan di PLTA Wlingi PT PJB Up Brantas.

Jurnal *Qua Teknika*, (2019), 9 (1) : 43-55



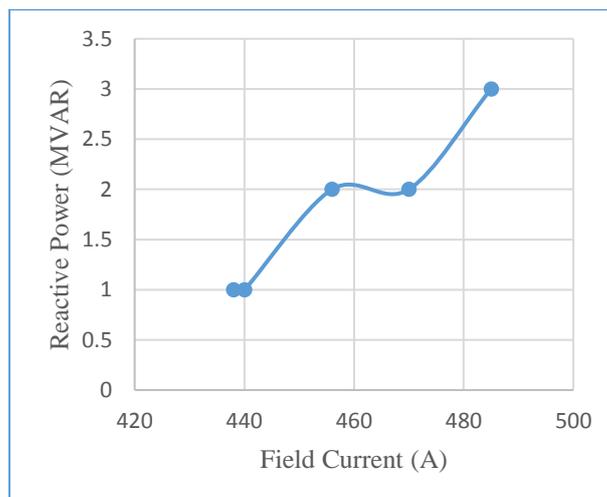
Gambar 7. Grafik Hubungan Arus Eksitasi Dengan Daya Reaktif Peak Load

Kemudian berikut adalah data pengujian pada saat beban induktif berada batas minimum dan beban resistif meningkat.

Tabel 5 Data Eksitasi Pukul 00.00-03.00 WIB Pada Bulan April 2018

Jam	Excitation		SUTT (kV)	KV	A	MW	MVAR	Cosφ
	A	V						
00:00	438	88	140	10,2	600	10	1	0,99
01:00	440	97	140	10,3	620	10	1	0,98
02:00	456	98	140	10,3	620	10	2	0,99
03:00	470	109	140	10,4	600	10	2	0,99
04:00	485	116	140	10,3	625	10	3	0,99

Pada Tabel 5 menunjukkan data eksitasi ketika beban resistif meningkat sehingga apabila dibandingkan dengan data sebelumnya besar daya reaktif pengujian kali ini cenderung kecil yang disebabkan menurunnya beban induktif atau beban induktif pada kondisi minimalnya. Hal ini akan mempengaruhi besarnya  $\cos\phi$ , yaitu antara 0,98 - 0,99. Karena daya reaktif yang kecil maka eksitasi yang disuplai ke generator mendekati nilai minimalnya dalam mengontrol tegangan terminal generator. Dari tabel 5 diatas diperoleh grafik seperti berikut :



Gambar 8. Grafik Hubungan Arus Eksitasi Dan Daya Reaktif Off Peak Load

Yudistira Heri Istanto. 2019. Analisis Pengaruh Arus Eksitasi pada Generator Sinkron Terhadap Pembebanan di PLTA Wlingi PT PJB Up Brantas.

Jurnal *Qua Teknika*, (2019), 9 (1) : 43-55

Dari data tabel 4 yang diambil ketika beban puncak dan data tabel 5 yang diambil diluar beban puncak, dapat menunjukkan bahwa daya reactive (MVAR) pada generator sinkron sangat berpengaruh untuk menjaga tegangan keluaran generator pada nilai nominalnya, yakni kurang - lebih 10,3 kV. Pada saat beban peak, tegangan sistem 150 kV relatif lebih rendah karena banyaknya beban – beban induktif yang harus dijaga oleh sistem, sehingga mengakibatkan tegangan keluaran generator menjadi lebih rendah dibawah tegangan nominalnya. Untuk itu, daya reactive (MVAR) generator perlu dinaikkan *lagging* agar generator mampu mengirim daya reactive ke sistem. Dengan demikian tegangan keluaran generator akan kembali meningkat sesuai nilai nominalnya. Untuk menaikkan daya reactive generator sinkron, maka AVR perlu meningkatkan nilai arus eksitasinya sesuai dengan besar daya reactive yang dibutuhkan oleh generator.

Sebaliknya, Pada kondisi diluar beban puncak, kebutuhan beban – beban induktif dari sistem mulai berkurang, sehingga nilai daya reactive generator relatif lebih kecil untuk menjaga tegangan keluaran generator tidak melebihi tegangan nominalnya, dengan kata lain AVR harus menurunkan pula arus eksitasi ke rotor generator untuk menurunkan daya reactive (MVAR) generator. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, didalam mengoperasikan pembebanan daya reactive (MVAR) generator perlu diperhatikan batasan – batasan karakteristik generator sesuai dengan tabel capability factor. Hal tersebut bertujuan agar tidak terjadi *under excitation* atau *over excitation* yang akan berperaruh pada meningkatnya suhu belitan generator.

#### Analisis Pengujian Arus Eksitasi Generator Berbeban

Pengujian dalam sub bab ini, dilakukan dengan membandingkan data operasi pada setiap perubahan beban terhadap nilai arus eksitasi yang dihasilkan. Hal ini dilakukan untuk melihat serta menganalisa pengaruh perubahan nilai arus eksitasi pada Generator PLTA Wlingi pada setiap perubahan beban guna memperoleh tegangan keluaran nominal generator. Data analisa diperoleh dari laporan harian operasi PLTA Wlingi pada beban beban yang diinginkan.

Tabel 6 Data Pembebanan PLTA Wlingi

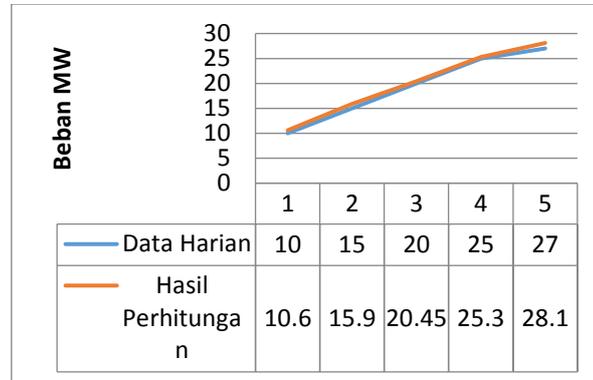
MW	Excitation		KV	A	SUTT 150 kV	MVAR	Cosφ
	A	V					
10	506	103	10,2	666	140	4.5	0,9
15	567	117	10,3	960	140	5.4	0,93
20	605	125	10,3	1233	140	5.2	0,96
25	662	133	10,4	1452	140	5.6	0,97
27	697	143	10,3	1625	140	6	0,98

Pengujian ini diambil pada saat generator telah parallel ke sistem dan telah dilakukan pembebanan. Dari data tabel 6 diatas tampak bahwa pada generator yang sudah parallel dengan sistem, maka tampak kenaikan arus eksitasi berbanding lurus dengan kenaikan beban. Artinya AVR akan memberikan arus medan lebih besar pada kumparan rotor generator ketika beban generator dinaikkan, besarnya kenaikan arus medan yang diberikan dari AVR ke rotor tidak linear, sesuai dengan kondisi tegangan sistem transmisi dimana generator tersebut parallel. Hal ini bertujuan untuk mempertahankan tegangan keluaran generator tetap sebesar 10 kV (sesuai tegangan nominal generator), kecepatan AVR untuk menghasilkan arus medan guna mempertahankan tegangan keluaran generator ini tergantung dari setting rangkaian *regulating device* yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

Dari uraian data tabel 6 diatas, diketahui bahwa penjelasan tersebut sesuai dengan persamaan 2.2b pada bab sebelumnya, yakni bahwa tegangan terminal yang dibangkitkan oleh generator akan berbanding lurus dengan besarnya GGL induksi pada kumparan medan. Karena putaran putaran generator dijaga konstan 143 Rpm untuk menjaga frekuensi tetap 50 Hz, maka pengaturan besarnya GGL induksi yang dibangkitkan hanya dipengaruhi oleh besarnya fluks yang dihasilkan oleh arus eksitasi. Sehingga semakin besar pembebanan yang dilakukan maka arus eksitasi yang diinjeksikan dari AVR ke rotor generator akan semakin besar pula.

Gambar 9 menunjukkan perbandingan Data Harian dengan perhitungan berdasarkan persamaan 4.1a

Yudistira Heri Istanto. 2019. Analisis Pengaruh Arus Eksitasi pada Generator Sinkron Terhadap Pembebanan di PLTA Wlingi PT PJB Up Brantas.  
 Jurnal *Qua Teknika*, (2019), 9 (1) : 43-55



Gambar 9. Perbandingan Data Harian

Dari hasil perhitungan menurut persamaan 4.1a, maka semakin besar daya aktif yang dibangkitkan generator akan menghasilkan arus generator yang semakin besar pula. Kenaikan arus pada generator mengakibatkan arus medan pada generator semakin besar pula.

## SIMPULAN

Berdasarkan analisis dan hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari pengujian yang telah dilakukan dengan membandingkan data commissioning test AVR PLTA Wlingi dapat disimpulkan bahwa AVR PLTA Wlingi tetap dalam keadaan baik, hal tersebut dibuktikan juga dari kemampuan AVR PLTA Wlingi dalam kecepatannya mempertahankan tegangan keluaran generator sesuai pada besaran nominalnya, serta menjaga daya reaktif generator dalam range sesuai dengan capability curve yang telah ditentukan.
2. Semakin rendah tegangan sistem mengakibatkan tegangan generator turun sehingga AVR harus mensuplai arus eksitasi yang lebih tinggi. Sehingga berdampak pada meningkatnya daya reaktif pada generator. Daya reaktif yang besar berpengaruh terhadap perubahan atau menurunnya tegangan terminal generator. Dengan mengatur suplai arus eksitasi atau arus medan ke generator maka tegangan keluaran juga dapat distabilkan sehingga daya reaktif juga dapat terkontrol.
3. AVR akan memberikan arus medan lebih besar pada kumparan rotor generator ketika beban generator dinaikkan, besarnya kenaikan arus medan yang diberikan dari AVR ke rotor tidak linear, sesuai dengan kondisi tegangan sistem transmisi, tegangan terminal yang dibangkitkan oleh generator akan berbanding lurus dengan besarnya GGL induksi pada kumparan medan.

## REFERENSI

- Allan, C Morse and C. Richard Mummert. 2000. *Digital Excitation System Provides Enhance Performance And Improved Diagnostics*. Eaton : IEEE.
- Anonim. 2001. *Single Line and Schematic Diagram Wlingi Power Station*.
- Anonim. 2015. *ALSTOM – Automatic Voltage Regulator (AVR)*. PLTA Wlingi. Blitar.
- Anonim. *Generator Control And Protection*. Shouthern Illinois University : Edward Ville.
- Azis, M., 1984, Operasi Generator Arus Bolak-Balik, Divisi Pemeliharaan PLTU Gresik, Gresik, hal. 46.
- J. Mozina Charles and Michael Reichard. 2007. *Coordination Of Generator Protection With Generator Excitation Control And Generator Capability*. IEEE power Engineering Society General Meeting.
- Jerkovic, V., Miklosevic, K., Zeljko, S., 2010, *Excitation System Models of Synchronous Generator*, Faculty of Electrical Engineering Osijek, Croatia, 142.
- Pane, Ennopati. 2009. Studi Sistem Eksitasi Dengan Menggunakan Permanent Magnet Generator (Aplikasi Pada Generator Sinkron Di PLTD PT. Manunggal Wiratama). Medan. Universitas Sumatra Utara.
- Ridzki, Imron. 2013. Analisa Pengaruh Eksitasi. Malang: Politeknik Negeri Malang.
- Weedy, B.M., Cory, B.J., 1998, *Electric Power System*, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, England, 77.