

# ANALISIS SISTEM EKSITASI GENERATOR SINKRON 3 PHASE DI PLTA WONOGIRI UNIT PEMBANGKIT MRICA

Akhmad Muzayyin (20140120040)

Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

E-mail : [AkhmadMuzayyin96@gmail.com](mailto:AkhmadMuzayyin96@gmail.com)

Intisari—Sistem eksitasi adalah proses dimana arus searah akan dialirkan ke generator sebagai arus penguatan, sehingga di hasilkan tegangan listrik dan besar kecilnya tenaga listrik yang di hasilkan oleh generator bergantung pada besarnya arus eksitasi. Pada sistem pembangkitan tenaga listrik sistem eksitasi memegang peran utama untuk menjaga kesetabilan dalam pembangkitan karena jika pada saat pembangkitan berlangsung terjadi fluktuasi, maka sistem eksitasi akan langsung bekerja sebagai pengatur keluaran generator agar di dapat keseimbangan baru. Sistem eksitasi juga mempengaruhi daya reaktif yang di salurkan ke sistem. Ketika arus eksitasi yang di alirkan tinggi maka nilai dari daya reaktif akan naik, begitu juga sebaliknya. Jika dalam pembangkitan arus eksitasi yang akan di alirkan bernilai terlalu kecil maka daya reaktif yang akan di alirkan ke sistem akan berbalik kembali ke generator.

Kata Kunci : Generator Sinkron, Sistem Eksitasi, Arus Eksitasi

*Abstrack—Excitation system is a process where direct current will flow to the generator as a reinforcement current, resulting in the electrical voltage and the amount of electricity generated by the generator depends on the amount of excitation current. In the power generation system, excitation system holds the main function to maintain the stability. Because if at the time of generation and fluctuation occurs, the excitation system will immediately work as a regulator of output generator in order to balance the stability. The excitation system also affects the reactive power that is channeled to the system. When the excitation current is high, the value of the reactive power increases, and vice versa. If in the generation of excitation current in the drain is too small then the reactive power will reverse back from the system to the generator.*

*Keywords : Synchronous Generator, Excitation System, Excitation Current*

## I.PENDAHULUAN

Generator yaitu komponen yang berfungsi sebagai pengubah energi gerak menjadi energi listrik yang akan di proses oleh sebuah sistem yang kemudian akan disalurkan kepada konsumen. Generator yang di gunakan pada pembangkit listrik biasanya menggunakan generator AC 3 fasa atau generator sinkron. Generator ini dinamakan sinkron karena dalam jumlah dari putaran rotor sama dengan medan magnet pada bagian statornya. Pada generator 3 fasa lilitan yang di gunakan berjumlah 3 buah lilitan 1 fasa dengan tegangan yang di bangkitkan berbeda sudut fasanya sebesar  $120^\circ$ .

Berdasarkan hukum faraday yang berbunyi "*Bila suatu konduktor bergerak atau berputar pada suatu medan magnet maka konduktor tersebut akan memotong garis-garis gaya magnet dan akan timbul gaya gerak listrik pada konduktor tersebut*" Hal ini di karenakan konduktor yang di gunakan tidak lagi tegak lurus dalam pergerakannya sehingga menimbulkan perpotongan garis pada kumparan medan magnet yang akan menghasilkan fluks medan pada sudut tertentu saat konduktor berputar mengelilingi garis-garis gaya.

Di lihat dari hukum Faraday di atas, prinsip kerja dari sebuah generator yaitu

bergantung pada besar induksi yang di alirkan pada kumparan.

Secara umum prinsip kerja dari generator sinkron yaitu dengan memanfaatkan kumparan medan yang berada pada rotor yang di hubungkan dengan sistem eksitasi melalui *slip ring* yang terpasang pada dua ujung rotor. Sistem eksitasi ini akan menghasilkan arus eksitasi yang di gunakan untuk mengalir kumparan medan. Dengan begini akan terjadinya fluks saat ada arus eksitasi yang mengalir pada kumparan medan.

Selanjutnya pada penggerak mula yang telah di hubungkan dengan rotor akan segera di jalankan untuk memutar rotor hingga mencapai kecepatan nominal yang telah di tentukan untuk pembangkitan tenaga listrik. Pada saat rotor mulai berputar bersamaan pula dengan bekerjanya medan magnet pada kumparan medan. Medan yang di hasilkan selanjutnya dialirkan ke bagian kumparan jangkar yang berada di bagian stator. Medan putar tersebut akan mengakibatkan kumparan jangkar menghasilkan fluks magnetik yang tidak stabil atau berubah-ubah. Terbentuknya fluks yang berubah-ubah pada suatu kumparan ini akan memicu terbentuknya Gaya Gerak Listrik (GGL) yang terjadi pada ujung kumparan.

Kecepatan pada putaran rotor generator akan mempengaruhi frekuensi

arus listrik yang di hasilkan. Dengan kata lain semakin cepat putaran pada rotor maka tenaga listrik yang di hasilkan akan semakin besar juga.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem Eksitasi adalah sebuah rangkaian Exciter atau disebut juga dengan penguat yang mensupply medan penguat. Sistem eksitasi sangat berpengaruh terhadap daya reaktif yang di hasilkan. Jika sistem eksitasinya lemah daya reaktif yang di hasilkan menjadi rendah, sedangkan jika sistem eksitasi kuat daya reaktif akan menjadi naik. Prinsip kerja sistem eksitasi secara umum yaitu mengalirkan listrik searah sebagai penguat dari listrik yang di hasilkan oleh generator. Sehingga generator akan menghasilkan tegangan listrik yang lebih besar dari pada listrik yang di hasilkan oleh generator itu sendiri. Oleh karena itu besar kecilnya tegangan keluaran dari sebuah generator bergantung pada besar kecil arus eksitasinya.

Pada saat ini sistem eksitasi menjadi peran utama dalam pengendalian kestabilan pembangkit, karena jika terjadi fluktuasi beban maka eksitasi akan bekerja sebagai penyetabil keluaran. Sistem kerja eksitasi pada gangguan yaitu dengan mengontrol atau menstabilkan

besaran-besaran sehingga di dapat keseimbangan baru.

Namun terdapat juga keadaan dimana sistem eksitasi tersebut mengalami kerusakan dimana saat sistem eksitasi yang di salurkan terlalu kecil, maka yang terjadi adalah daya reaktif yang di hasilkan kembali mengalir atau di serap kembali oleh generator. Dampak penyerapan daya reaktif tersebut oleh generator mengakibatkan generator akan mengalami pemanasan yang berlebihan.

### Reaksi Jangkar

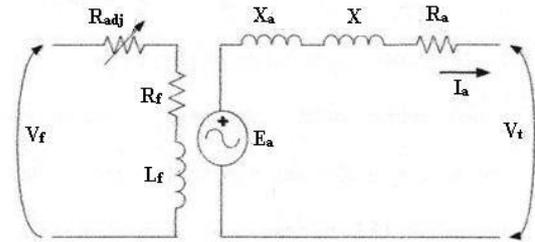
Pada waktu generator bekerja dan belum ada beban yang menggunakan tegangan yang di hasilkan generator, maka pada kumparan jangkar (*stator*) tidak ada arus yang mengalir. Oleh sebab itu pada bagian celah yang berada pada rotor hanya mengakibatkan fluks arus medan yang terbentuk dari rotor itu sendiri. Karena tidak adanya arus yang mengalir untuk menciptakan arus jangkar.

Arus jangkar akan mengalir pada kumparan saat generator bekerja dan ada beban yang menggunakan tegangan generator tersebut. Pada saat itulah arus jangkar ( $I_a$ ) akan mengalir pada kumparan jangkar yang akan membentuk fluks jangkar. Fluks jangkar yang mengalir pada kumparan jangkar akan mempengaruhi arus medan yang kemudian akan

menyebabkan perubahan nilai pada tegangan pada terminal generator sinkron. Reaksi tersebut yang kemudian di sebut dengan reaksi jangkar pada generator sinkron. Fluks jangkar yang mengalir setelah adanya beban dapat berpengaruh terhadap celah yang ada pada rotor yaitu berupa distorsi, penguatan ataupun pelemahan arus medan. Karena dengan adanya beban akan mempengaruhi perbedaan pengaruh yang di timbulkan.

### Rangkaian Ekuivalen Generator sinkron

Pada bagian stator terdapat belitan tembaga yang merupakan belitan yang menghasilkan arus jangkar atau di sebut juga dengan belitan jangkar yang di letakan pada bagian sela-sela yang terdapat pada stator. Pada sebuah belitan stator yang ada akan mengandung tahanan (R) dan induktansi (L), maka dalam belitan stator dalam sebuah generator pembangkit akan memiliki tahanan ( $R_a$ ) dan Induktansi ( $L_f$ ) sendiri. Karena dalam sebuah generator pembangkit terdapat adanya reaktansi reaksi jangkar ( $X_a$ ) dan juga reaktansi bocor jangkar ( $X$ ) maka rangkaian ekuivalen dapat di gambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.1 Rangkaian Ekuivalen Generator Sinkron

Berdasarkan gambar di atas Persamaan tegangan generator dapat di tuliskan sebagai berikut :

$$E_a = V_t + jX_a I_a + jX I_a + R_a I_a$$

Sedangkan persamaan terminal generator sinkron dapat di tuliskan persmaan sebagai berikut :

$$V_t = E_a - jX_a I_a - jX I_a - R_a I_a$$

Dengan menyatakan reaktansi reaksi jangkar dan reaktansi fluks bocor sebagai reaktansi sinkron, atau  $X_s = X_a + X$  maka persamaan menjadi:

$$V_t = E_a - jX_s I_a - R_a I_a$$

Dimana :

$V_f$  = Tegangan Eksitasi (Volt)

$R_f$  = Tahanan Belitan Medan (Ohm)

$L_f$  = Induktansi Belitan Medan (Henry)

$R_{adj}$  = Tahanan Varibel (Ohm)

$E_a$  = Ggl yang dibangkitkan generator sinkron (Volt)

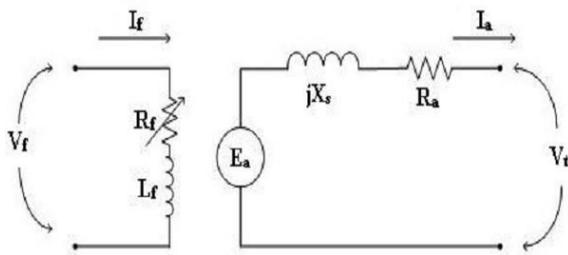
$V_t$  = Tegangan terminal generator sinkron (Volt)

$X_a$  = Reaktansi armatur (Ohm)

$X$  = Reaktansi Bocor (Ohm)

$X_s$  = Reaktansi sinkron (Ohm)

$I_a$  = Arus Jangkar (Ampere)



Gambar2.2 Rangkaian Penyederhanaan generator Sinkron

### III.PEMBAHASAN

#### Prinsip Kerja Sistem Eksitasi Generator PLTA Wonogiri

Pada PLTA Wonogiri menggunakan sistem eksitasi *statis* yang artinya generator pembangkit tidak menggunakan magnet permanen. Namun medan magnet yang ada di gunakan sebagai pembangkit tenaga induksi. Medan magnet tersebut di dapat saat mesin sedang beroperasi dengan cara menyalurkan arus searah (DC) pada saat mesin sedang beroperasi ke bagian kumparan medan yang berada pada rotor melalui bantuan dari komponen berupa *karbon brush* dan *slip ring* yang terletak pada generator.

Karena pada pembangkitan listrik PLTA Wonogiri tidak menggunakan generator tambahan sebagai pembangkit sistem eksitasinya maka sistem eksitasi akan di peroleh dari generator itu sendiri yang mana tegangan yang berasal dari generator tersebut akan di proses hingga dapat menjadi tegangan keluaran dari proses pembangkitan tenaga listrik. Berdasar pada proses yang di lakukan, generator pada pembangkitan tenaga listrik PLTA Wonogiri, generator menghasilkan tegangan sebesar 6,6 kV yang tentunya tidak dapat begitu saja di gunakan sebagai tegangan eksitasi karena tegangan eksitasi memerlukan arus searah. Oleh karena itu tegangan yang berasal dari generator tersebut akan di searahkan terlebih dahulu menjadi arus searah (DC).

Pada sistem eksitasi generator PLTA Wonogiri hanya memerlukan tegangan sebesar 110 V, maka tegangan yang di ambil dari tegangan generator tersebut akan di turunkan terlebih dahulu hingga tegangan yang di dapat sebesar 110 V. Tegangan yang di turunkan masih dalam tegangan bolak-balik (AC). Maka proses selanjutnya tegangan tersebut akan di searahkan menggunakan *Thyristor Rectifier*, yang mana fungsi dari *Thyristor Rectifier* dalam pengaplikasiannya pada sistem eksitasi sebagai pengubah tegangan dari yang mulanya tegangan arus bolak

balik kemudian di ubah menjadi tegangan searah.

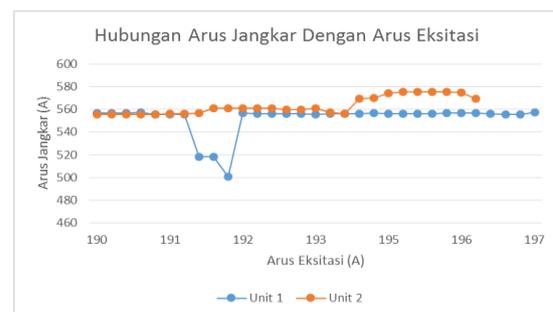
Setelah tegangan yang di dapat dari generator sudah layak untuk di gunakan maka tegangan tersebut akan di injeksikan ke dalam kumparan yang terletak pada generator melalui komponen berupa *karbion brush* dan *slip ring* yang berada pada generator. Pada saat generator akan di oprasikan ketika generator dalam keadaan mati dan akan melakukan pembangkitan tenaga listrik atau di sebut juga dengan *start up*, maka generator belum dapat menghasilkan tegangan keluaran karena generator belum menghasilkan tegangan. Maka pada sistem eksitasi yang di gunakan pada saat *start up* di PLTA Wonogiri menggunakan tegangan dari luar. Tegangan yang di maksud yaitu tegangan dari jaringan 22KV yang kemudian masuk ke dalam trafo untuk di turunkan menjadi 380 Volt. Untuk dapat di gunakan sebagai sistem eksitasi sementara pada saat *start up* di butuhkan tegangan searah maka tegangan 380 Volt tadi masuk ke dalam *inverter* untuk di searahkan menjadi 380 Volt DC untuk di gunakan sebagai sistem eksitasi.

Penggunaan tegangan keluaran ini tidak akan berlangsung lama. Pada saat generator sudah melakukan proses hingga mencapai putaran maximal atau putaran

rotor mencapai 273 RPM, maka generator sudah di katakan mampu untuk menghasilkan tegangan. Karena generator sudah dapat menghasilkan tegangan, maka tegangan dari luar yang di gunakan sebagai tegangan keluaran sementara tersebut akan di putus dan akan di gantikan dengan tegangan keluaran dari generator itu sendiri.

## Karakteristik Sistem Eksitasi PLTA Wonogiri

### 1. Hubungan Arus Jangkar Dengan Arus Eksitasi



Gambar 3.1 Grafik Hubungan Arus Jangkar Dengan Arus Eksitasi Bulan Januari 2018

Dari grafik yang terbentuk berdasar data yang di peroleh, hubungan antara arus eksitasi dengan arus jangkar yang di dapat saat pengoprasian secara penuh pada generator Unit 1 dan 2 PLTA Wonogiri pada bulan Januari dan Februari 2018. Pada setiap harinya dalam pembangkitan tenaga listrik akan mengalami fluktuasi tegangan yang di sebabkan adanya beban. Setiap grafik di atas menunjukkan

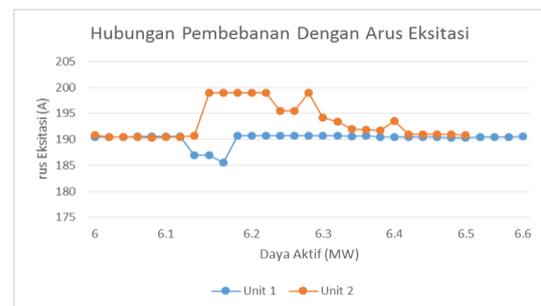
hubungan antara arus eksitasi dan arus jangkar pada sistem pembangkitan listrik PLTA Wonogiri.

Dapat di lihat grafik untuk generator unit 1 dan 2 saat beroperasi penuh pada bulan Januari dan bulan Februari memiliki perbedaan arus. Hal ini di pengaruhi oleh sistem itu sendiri dan arus eksitasi yang di alirkan pada kumparan. Pada grafik di atas dapat di lihat hubungan antara arus eksitasi dengan arus jangkar sebanding, hal ini dapat di artikan bahwa besarnya arus jangkar yang terbentuk di pengaruhi oleh besaran dari arus eksitasi yang di injeksikan pada kumparan yang ada pada generator sinkron, karena pada pembangkitanya arus eksitasi tidak akan selalu sama dikarenakan adanya beban sehingga akan mempengaruhi besarnya arus jangkar.

Dalam grafik di atas dapat di lihat juga adanya fluktuasi atau bisa di artikan sebagai ketidakstabilan arus yang mengalir pada saat proses pembangkitan tenaga listrik. Fluktuasi yang di maksud yaitu dimana pada saat pembangkitan tenaga listrik berdasar grafik di atas sesuai dengan data pembangkitan PLTA Wonogiri dalam kurun waktu satu bulan menunjukkan turunya arus jangkar sedangkan pada arus eksitasinya mengalami kenaikan atau bertambah besar.

Fluktuasi tersebut bisa saja terjadi pada setiap pembangkitan karena ketika proses pembangkitan sudah berlangsung, maka sistem akan langsung di hubungkan dengan jaringan yang secara langsung sistem akan melayani beban, dan beban yang di layani akan berubah-ubah setiap waktunya.

## 2. Hubungan Pembebanan Dengan Arus Eksitasi



Gambar 3.2 Hubungan Arus Eksitasi Dengan Pembebanan Bulan Januari 2018

Pada grafik hubungan antara arus eksitasi dan pembebanan di atas dapat terlihat perbedaan pembebanan pada setiap hari selama 2 bulan pada generator unit 1 dan 2 PLTA Wonogiri dalam pengoprasian pembangkitan tenaga listrik. Hal ini menunjukkan bahwa jika nilai dari pembebanan atau kebutuhan konsumen akan tenaga listrik yang berbeda pada setiap harinya maka akan mempengaruhi arus eksitasi yang di alirkan pada kumparan generator akan semakin besar juga. Kenaikan arus eksitasi yang di sebabkan oleh semakin bertambahnya

beban ini di lakukan agar kesetabilan dari tegangan terminal pada generator sinkron akan tetap terjaga selama pengoprasian generator untuk pembangkitan tenaga listrik.

Dapat di lihat dari grafik di atas menunjukkan adanya fluktuasi dalam sebuah pembangkitan dalam setiap bulanya. Fluktuasi ini di sebabkan oleh perbedaan pembebanan pada setiap harinya berdasarkan kebutuhan konsumen akan kebutuhan tenaga listrik. Oleh karena itu besar kecilnya beban akan mempengaruhi besaran arus eksitasi yang akan di injeksikan.

### 3. Pengaruh Fluktuasi Tegangan

Dalam analisis atau perhitungannya dalam mencari nilai dari fluktuasi tegangan pada generator sinkron, sebelumnya kita harus mengetahui nilai dari GGL induksi ( $E_a$ ) pada generator sinkron. Untuk mencari nilai dari GGL induksinya di gunakan persamaan sebagai berikut :

$$E_a = V = jX_s I_a - r_a I_a$$

Dalam menentukan nilai dari ggl induksi ( $E_a$ ) ini di pengaruhi oleh nilai dari jatuh tegangan yang di sebabkan oleh adanya reaktansi jangkar yang di sebabkan oleh arus jangkar dan juga resistansi jangkar. Namun dalam persamaanya nilai jatuh tegangan atau reaktansi jangkar yang

di hasilkan sangatlah kecil sehingga nilai dari reaktansi jangkar tidak mempengaruhi perhitungan yang di lakukan untuk menentukan GGL Induksi. Karena nilai dari reaktansi jangkar dapat di abaikan, dalam persamaan yang di gunakan untuk menghitung nilai dari GGL induksi dapat berubah menjadi persamaan sebagai berikut

$$E_a = V = jI_a X_s$$

Berdasarkan persamaan di atas dapat di tentukan nilai dari GGL Induksi pada generator sinkron dengan dasar dari spesifikasi pada generator sinkron dan data operasi pembangkitan tenaga listrik di PLTA Wonogiri pada generator unit 1 dan 2. Berikut adalah spesifikasi dari generator sinkron PLTA Wonogiri yang dapat di gunakan untuk menentukan nilai dari GGL Induksi :

$$X_s = 1.5 \text{ pu}$$

$$V = 6600 \text{ V}$$

$$I = 678 \text{ A}$$

Berdasarkan data spesifikasi yang di dapat, data spesifikasi di atas dapat di tentukan sebagai perhitungan untuk menentukan nilai dari impedansi ( $Z_{base}$ ) dari generator sinkron PLTA Wonogiri. Berikut adalah persamaan yang di gunakan

untuk menentukan nilai impedansi ( $Z_{base}$ ) pada generator sinkron :

$$Z_{base} = \frac{V_{base}/\sqrt{3}}{I_{base}}$$

$$Z_{base} = \frac{6600/\sqrt{3}}{678}$$

$$= 5,6$$

$$X_s(\Omega) = 1,5 \times 5,6$$

$$= 8,4\Omega$$

Dari data perhitungan yang di dapat di atas, nilai  $E_a$  dapat di tentukan bedasar pada data yang di peroleh dari tabel operasi pembangkitan PLTA Wonogiri. Sebagai contoh berikut adalah perhitungan dari nilai  $E_a$  pada data pembangkitan bulan Januari tanggal 1 2018:

$$V_t = 6200$$

$$I_a = 556,83$$

Dari data tersebut maka nilai  $E_a$  pada tanggal 1 bulan Januari 2018 adalah sebagai berikut :

$$E_a = 6200 + (j I_a X_s)$$

$$= 6200 + (j556,83 \times 8,4\Omega)$$

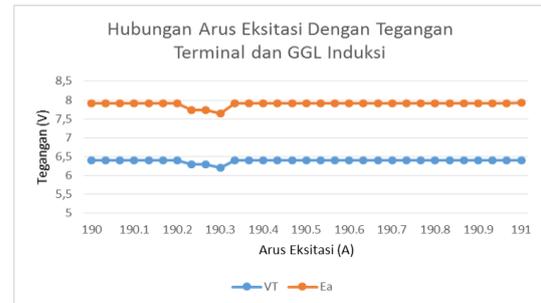
$$= \sqrt{6200^2 + 4677,12^2}$$

$$= 7926,88 < 36,16^\circ$$

$$= 7926,88 V$$

$$= 7,93 KV$$

Jadi nilai dari GGL Induksi ( $E_a$ ) pada tanggal 1 bulan Januari adalah 7,93 KV. Berdasar perhitungan yang telah di lakukan di buatlah grafik hubungan untuk mempermudah dalam analisis.



Gambar 3.3 Grafik Hubungan Arus Eksitasi Dengan Tegangan Terminal dan GGL Induksi unit 1 bulan januari 2018

Dari Grafik hubungan antara Arus Eksitasi dengan Tegangan Terminal dan GGL Induksi di atas yang berdasar pada data pembangkitan PLTA Wonogiri pada generator Unit 1 dan 2 yang beroperasi secara penuh pada bulan Januari dan Februari 2018 maka di dapat analisis yaitu ketika arus eksitasi meningkat pada GGL Induksi meningkat meskipun tidak terlalu besar. Hal ini di karenakan tegangan listrik yang di bangkitkan oleh PLTA Wonogiri hanya di salurkan ke Gardu Induk Pelem yang kemudian akan di distribusikan kepada konsumen, oleh karena itu tegangan terminal akan selalu setabil.

Pada grafik di atas dapat terlihat adanya kondisi dimana tegangan terminal turun. Hal ini di karenakan adanya

penggunaan tegangan untuk pemakaian sendiri yang akan mempengaruhi tegangan terminal ataupun perbedaan nilai tegangan yang di salurkan ke Gardu Induk.

#### IV.KESIMPULAN

Dari penelitian dan analisis yang di lakukan terkait permasalahan yang di ambil pada Tugas Akhir ini yaitu tentang sistem eksitasi generator 3 phase PLTA Wonogiri Unit Pembangkit Mrica, maka di dapat beberapa kesimpulan mengenai analisis permasalahan tersebut di antaranya yaitu :

1. Arus eksitasi yang digunakan akan mempengaruhi arus jangkar yang akan di injeksikan pada kumparan generator. Hal ini di karenaka pada waktu tegangan terminal pada generator mengalami penurunan maka pada saat itu juga nilai dari arus eksitasi yang di gunakan akan naik.
2. nilai dari pembebanan memiliki besaran yang berbeda setiap waktunya dimana nilai dari pembebanan tersebut tergantung dari beban yang di gunakan dan juga konsumen. Perubahan beban yang tidak teratur inilah yang menyebabkan terjadinya penurunan pada tegangan terminal yang secara otomatis nilai dari sistem eksitasi akan meningkat sebagai langkah untuk

mensetabilkan tegangan generator karena beban yang berubah-ubah.

3. Pada nilai perubahan tegangan terminal generator sinkron PLTA Wonogiri mencapai kisaran 7,92 KV hingga 7,94 KV. Hal ini dapat di katakan tegangan terminal di PLTA Wonogiri bernilai konstan karena perubahan setiap harinya hanya berbeda tipis dengan tegangan normal dari generator sebesar 6,2 KV.

#### V.DAFTAR PUSTAKA

- Pandjaitan, Bonar 2012. *Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta : Andi
- Laksono, Heru Dibyo 2014 *Pemodelan dan Analisa Sistem Eksitasi Generator*. Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang
- Ridzki, Imron 2013. *Analisis Pengaruh Perubahan Eksitasi Terhadap Daya Reaktif Generator*. Malang : Politeknik Negri malang
- Stevenson, William D 1983. *Analisi Sistem Tenaga Listrik*. Erlangga : Jakarta
- Syahputra, R 2016. *Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik*. Yogyakarta : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta