

PENGARUH SISTEM EKSITASI TERHADAP GENERATOR SINKRON TIGA FASA DI UNIT 1 PT. PLN INDONESIA POWER ULPL TA MUSI

Aziz Zuhakim¹, Yanolanda Suzantry Handayani², Irnanda Priyadi³

^{1,2,3}Universitas Bengkulu

E-mail: ajiss.zuhakim23@gmail.com, yanolanda@unib.ac.id, irnanda_p@unib.ac.id

Informasi Naskah:

Diterima:

24 – 03 – 2023

Direvisi:

22 – 05 – 2023

Disetujui Terbit:

29 – 06 – 2023

Diterbitkan:

Cetak

11 – 07 – 2023

Online

11 – 07 - 2023

Abstract: PLN Indonesia Power ULPL TA Musi utilizes the potential energy of water which is then used to drive a turbine connected to a generator rotor. Excitation system plays an important role in controlling the stabil of a generator as a controller and functions to control generator output such as voltage, current and power factor. The excitaton system for all units in the Musi hydroelectric power house uses a brush excitation system. Brush excitation is an excitation with a brush by utilizing the output of the generator itself as the excitation. There are 3 types of generator power, namely active power (MW), reactive power (MVAR), and apparent power (MVA). This data is taken from the daily operaing data of the Musi turbine hydropower unit 1. The highest power factor value is obtained in the early morning of 0,999 Cos φ with a reactive power value of 0,5 MVAR to 1,8 MVAR. While the lowest power factor value is 0,975 Cos φ with a reactive power value is 6,2 MVAR. The smaller the reactive power value, the greater the power factor.

Keyword: Generator, Excitation System, Brush Excitation

Abstrak: PT. PLN Indonesia Power ULPL TA Musi memanfaatkan energi potensial air kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin yang dihubungkan dengan rotor generator. Sistem eksitasi memegang peranan penting dalam mengendalikan kestabilan suatu pembangkit sebagai pengendali serta berfungsi mengontrol keluaran generator seperti tegangan, arus dan faktor daya. Sistem eksitasi untuk seluruh unit pada power house PLTA Musi menggunakan sistem eksitasi jenis *brush excitation*. Eksitasi jenis *brush excitation* merupakan eksitasi dengan sikat dengan memanfaatkan keluaran generator itu sendiri sebagai eksitasinya. Daya pada generator memiliki 3 macam, yaitu daya aktif (MW), daya reaktif (MVAR), dan daya semu (MVA). Data ini diambil dari data operasi harian *turbine hydro* PLTA Musi unit 1. Nilai faktor daya tertinggi yang didapat pada saat pagi dini hari sebesar 0,999 Cos φ dengan nilai daya reaktif 0,5 Mvar hingga 1,8 Mvar. Sedangkan nilai faktor daya terendah sebesar 0,975 Cos φ dengan nilai daya reaktif 6,2 Mvar. Semakin kecil nilai daya reaktif maka faktor daya akan semakin besar.

Kata Kunci: Generator, Sistem Eksitasi, Sistem Eksitasi Dengan Sikat

PENDAHULUAN

PT. PLN Indonesia Power ULPL TA Musi memiliki tiga unit mesin pembangkit, dari tiga unit tersebut masing-masing generator memiliki daya dengan kapasitas 3×70 MW. Pada PLTA Musi masing-masing generator memiliki spesifikasi yang berbeda, namun keluaran

tegangan dari 3 generator sama yaitu sebesar 11 kV. Sistem eksitasi merupakan suatu peralatan yang memegang tugas untuk mengatur tegangan pada generator supaya nilai kerja yang diinginkan tidak berubah. Sistem eksitasi generator adalah bagian penting yang akan membentuk profil tegangan

terminal generator yang konsisten dan stabil (Harahap dkk, 2021).

Tujuan dilakukan penelitian ini untuk mengetahui sistem kerja eksitasi dan juga untuk mengetahui pengaruh arus eksitasi terhadap tegangan, beban, nilai faktor daya, dan daya reaktif pada generator unit 1 PT. PLN Indonesia Power ULPL TA Musi.

TINJUAN PUSTAKA

1. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik oleh turbin kemudian diubah lagi menjadi energi listrik oleh generator dengan memanfaatkan ketinggian dan kecepatan jatuh aliran air. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) ini memiliki daya operasional yang terbilang sangat murah walaupun biaya pembangunannya sangat mahal dan memerlukan waktu yang lama dalam pengerjaannya (Tangkilisan dkk, 2015).

Prinsip kerja dari PLTA, aliran sungai yang dibendung dengan sebuah dam. Airnya ditampung dalam sebuah waduk yang kemudian dialirkan melalui terowongan tekan (*headrace tunnel*). Sebelum memasuki pipa pesat (*penstock*), air harus melewati tangki pendatar (*surge tank*) yang berfungsi mengamankan pipa pesat apabila terjadi tekanan kejut atau tekanan mendadak yang biasa disebut pukulan air (*water hammer*) saat katup utama (*inlet valve*) ditutup seketika. Setelah katup utama dibuka, aliran air memasuki rumah keong (*spiral case*). Aliran air yang bergerak memutar turbin menghasilkan suatu energi gerak (energi mekanik) kemudian dari turbin, air mengalir keluar melalui pipa lepas (*draft tube*) dan selanjutnya dibuang ke saluran pembuangan (*tail race*). Poros turbin yang berputar tersebut dikopel dengan poros generator sehingga menghasilkan energi listrik. Energi listrik dari generator tersebut kemudian diatur atau disalurkan atau ditansfer dengan alat yang dinamakan *main transformer* supaya sesuai dengan kapasitas dari *transmission line* yang meliputi tegangan, daya dan lainnya

untuk didistribusikan ke rumah-rumah warga melalui gardu induk (Sindang dkk, 2022).

2. Generator

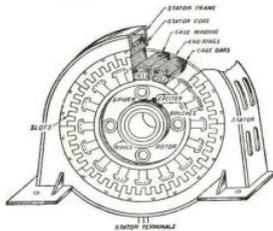
Generator adalah suatu alat yang dapat mengubah tenaga mekanik menjadi energi listrik. Tenaga mekanik bisa berasal dari panas, air, uap, dan lain-lain. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator bisa berupa listrik AC ataupun DC. Generator sinkron adalah suatu mesin listrik yang digunakan untuk memproduksi energi listrik dari sumber mekanikal dengan menggunakan induksi elektromagnetik.

Dikatakan generator sinkron karena kecepatan putaran medan magnet sama dengan kecepatan putaran rotor generator, sehingga kecepatan sinkron dihasilkan dari kecepatan putar rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator. Kumparan medan generator sinkron terdapat pada rotor, sedangkan kumparan jangkar terdapat pada stator. Rotor generator sinkron yang terdiri dari belitan medan yang suplai dengan arus searah akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan putar rotor. Karena kecepatan putaran medan magnet sama dengan kecepatan putaran rotor generator, maka generator sinkron ini akan menghasilkan energi listrik bolak balik (AC) (Sarlianti, 2017).

Prinsip kerja dari generator sinkron adalah apabila kumparan medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi yang akan mensuplai arus searah (DC) terhadap kumparan medan, maka dengan adanya arus searah yang mengalir melalui kumparan medan akan menimbulkan fluks. Penggerak mula (*prime mover*) yang sudah terkopel dengan rotor generator segera dioperasikan, sehingga rotor akan berputar dengan kecepatan tertentu sesuai dengan jumlah putaran yang diharapkan. Perputaran dari rotor generator tersebut akan sekaligus memutar medan magnet yang dihasilkan

oleh kumparan medan rotor. Medan putar yang terdapat pada rotor tersebut, selanjutnya akan diinduksikan pada kumparan jangkar, sehingga kumparan jangkar yang terdapat pada stator generator akan menghasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah nilainya setiap waktu. Adanya perubahan fluks yang terdapat suatu kumparan medan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung kumparan medan tersebut (Bandri, 2013).

Konstruksi generator sinkron terdiri sebagai berikut.



Gambar 1. Konstruksi Generator Sinkron

Secara umum konstruksi generator sinkron sama dengan motor sinkron, dimana konstruksi generator sinkron terdiri dari rotor, stator dan celah udara.

1). Rotor

Rotor berfungsi sebagai tempat ketika medan magnet dibangkitkan, secara umum rotor juga dapat disebut sebuah electromagnet yang besar. Rotor memiliki beberapa komponen seperti :

a. Sikat (*Brush*)

Ada dua jenis generator sinkron yaitu yang menggunakan sikat (*brush*) dan tanpa menggunakan sikat (*brushless*). Sikat pada generator sinkron berguna sebagai saklar putar untuk mengalirkan arus searah ke kumparan medan. Namun daya yang dihasilkan dengan menggunakan sikat pada generator ini sangat terbatas tidak sebesar seperti daya yang dihasilkan oleh generator yang menggunakan sistem brushless. Penggunaan sikat pada generator dengan daya yang besar dapat menimbulkan losses yang besar dan loncatan api yang dapat menimbulkan kebakaran pada sistem pembangkit tersebut.

b. Slip Ring

Slip ring berfungsi untuk mengaliri arus searah menuju medan magnet pada rotor. *Slip ring* ini terbuat dari bahan yang kuat dan tahan terhadap panas sehingga *Slip ring* ini mampu mengaliri arus ke rotor generator dengan baik. Kemudian *Slip ring* dipasangkan pada terminal kumparan rotor dan dihubungkan ke sumber arus searah menggunakan sikat (*brush*).

c. Kumparan Medan

Kumparan medan merupakan tempat terjadinya medan magnet pada generator. Kumparan medan terbuat dari tembaga berlapisan perak yang dibuat dengan rapi. Kumparan ini berfungsi untuk menghasilkan medan magnet pada rotor yang mendapat sumber dari eksitasi.

d. Poros

Rotor Poros rotor adalah sebagai tempat untuk meletakkan kumparan medan, dimana pada poros rotor generator tersebut berbentuk slot-slot secara paralel terhadap poros rotor.

2. Stator

Stator (*armature*) adalah bagian yang berfungsi sebagai tempat untuk menerima induksi magnet dari rotor. Arus AC yang menuju ke beban disalurkan melalui stator. Komponen ini berbentuk sebuah rangka silinder dengan lilitan kawat konduktor yang sangat banyak (Armansyah & Sudaryanto, 2016)

Terdapat beberapa komponen utama dalam stator generator sinkron yaitu sebagai berikut:

a. Rangka stator (*Stator Frame*)

Rangka stator merupakan sebagai tempat dari kumparan jangkar pada generator. Rangka stator berupa kerangka (rumah pembangkit) yang terbuat dari elemen plat baja yang dibentuk sedemikian rupa hingga diperoleh rangka stator yang sesuai dengan kebutuhan. Pemasangan rangka stator dilakukan dengan cermat agar diperoleh kedudukannya yang tepat dan mampu menahan hal-hal dan kondisi yang tidak menguntungkan baik pada saat gangguan seperti hubung singkat maupun gangguan bencana alam.

b. Inti Stator

Inti stator merupakan tempat mengalirnya fluks magnet yang memotong kumparan jangkar di stator. Dimana inti stator terbuat dari laminasi-laminasi baja campuran atau besi magnetik khusus yang terpasang ke rangka stator. Tujuan dari laminasi-laminasi tersebut adalah untuk mengurangi besarnya arus pusar (*eddy current*), karena arus pusar ini dapat menimbulkan panas pada inti stator yang dapat merusak inti stator dan isolasi kumparan penghantar.

c. Slot (alur) dan Gigi

Slot (alur) dan gigi adalah tempat konduktor berada yang letaknya pada bagian dalam sepanjang keliling stator. Pada slot (alur) dan gigi terdapat tiga bentuk yaitu, slot terbuka, slot setengah terbuka dan slot tertutup.



Gambar 2. Bentuk-bentuk Alur Stator

d. Kumparan Stator

Kumparan stator (kumparan jangkar) adalah tempat terbentuknya GGL induksi yang diakibatkan adanya perpotongan medan magnet putar dari rotor yang memotong kumparan jangkar atau penghantar stator. Pada kumparan jangkar stator akan mengalirkan arus jangkar bolak – balik 3 fasa apabila pada kumparan tersebut terhubung dengan beban. Dimana arus tersebut akan menimbulkan panas pada kumparan yang dapat merusak isolasi kumparan jangkar dan memberi efek pemanasan pada inti besi. Kumparan tersebut dibagi menjadi 3 bagian yang berbeda fasa 1200 listrik. Dimana umumnya dihubungkan dengan sambungan bintang (Y) dan delta (Δ) (Syukur, 2013).

3. Pengertian Daya

Secara umum daya listrik adalah kecepatan aliran suatu energi listrik pada suatu jaringan listrik ke beban dalam tiap

satuan waktu. Daya listrik pada suatu pembangkit dibagi menjadi 3 daya.

a. Daya Aktif (P)

Daya aktif merupakan daya yang dibutuhkan oleh beban resistif, dimana daya ini akan menunjukkan adanya aliran energi listrik dari pembangkit ke beban.

Rumus daya aktif (P) untuk sistem 3 fasa:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \quad (1)$$

Ket:

P = Daya aktif (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

$\cos \varphi$ = Faktor daya

b. Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif merupakan daya yang tidak termanfaatkan oleh konsumen, namun hanya dapat termanfaatkan pada pembangkitan.

Rumus daya reaktif (Q) untuk sistem 3 fasa:

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \varphi \quad (2)$$

Ket:

Q = Daya reaktif (VAR)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

$\sin \varphi$ = Faktor daya

c. Daya Semu (S)

Daya semu merupakan daya sebenarnya yang disuplai oleh PLN, yang merupakan *resultan* antara daya aktif (P) dengan daya reaktif (Q).

Rumus daya semu (S) untuk sistem 3 fasa :

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (3)$$

Ket:

S = Daya aktif (VA)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

3.1 Faktor Daya

Faktor daya merupakan perbandingan antara daya nyata (P) terhadap daya semu (Q). Faktor daya menunjukkan besarnya rasio daya nyata yang bisa dimanfaatkan pada daya semu yang dihasilkan oleh sumber. Pernyataan tersebut berdasarkan persamaan berikut.

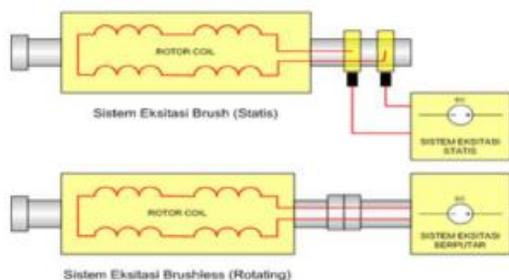
$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (4)$$

Dimana :

$\cos \phi$ = Faktor daya
 P = Daya aktif (Watt)
 S = Daya semu (VA)

4. Sistem Eksitasi

Sistem eksitasi merupakan suatu proses penguatan medan magnet dengan cara memberikan arus searah (DC) ke belitan medan pada rotor generator sinkron. Secara umum ketika suatu konduktor berupa kumparan dialiri arus searah (DC), maka kumparan tersebut akan menjadi magnet yang nantinya akan menghasilkan fluks magnet. Ketika kumparan medan sudah diberi arus searah yang di dapat dari arus eksitasi dan berputar dengan kecepatan tertentu, maka kumparan jangkar stator generator akan terinduksi dari fluks-fluks magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan, sehingga akan menghasilkan tegangan listrik bolak-balik (AC). Tegangan yang dihasilkan oleh generator sangat tergantung dari besarnya arus eksitasi dan putaran rotor, hal ini dikarenakan semakin besar arus eksitasi dan putaran yang diberikan, maka akan semakin besar tegangan yang dihasilkan oleh generator.



Gambar 3. Sistem Eksitasi Secara Sederhana

Secara umum dalam penyaluran sistem arus searah pada rotor, sistem eksitasi terbagi atas dua jenis yaitu sistem eksitasi menggunakan sikat (*brush excitation*) dan sistem eksitasi tanpa menggunakan sikat (*brushless excitation*) (Andri, 2013).

4.1 Sistem Eksitasi Menggunakan Sikat (*Brush Excitation*)

1. Sistem eksitasi konvensional

Untuk sistem eksitasi yang konvensional, arus searah diperoleh dari

sebuah generator arus searah berkapasitas kecil yang disebut dengan eksiter. Generator arus searah tersebut terkopel dengan generator sinkron dalam satu poros, sehingga putaran generator arus searah sama dengan putaran generator sinkron. Tegangan yang dihasilkan oleh eksiter diberikan ke belitan rotor generator sinkron melalui sikat karbon dan slip ring. Akibatnya arus searah mengalir ke rotor dan menimbulkan medan magnet yang dibutuhkan untuk menghasilkan tegangan arus bolak-balik pada kumparan utama yang terletak di stator generator sinkron.

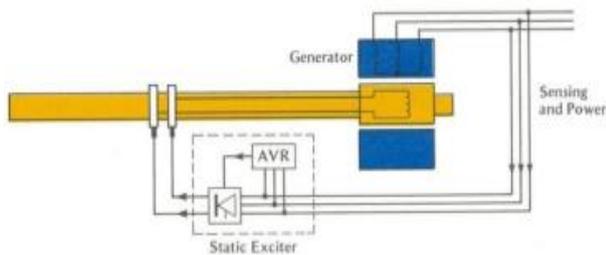
2. Sistem Eksitasi Statis

Statis Sistem eksitasi statis merupakan sistem eksitasi yang menggunakan peralatan eksitasi yang tidak bergerak (*static*), yang berarti peralatan eksitasi tersebut tidak ikut berputar bersama dengan rotor generator sinkron. Sistem eksitasi statis (*static excitation system*) ini biasa disebut juga dengan *self excitation* yang merupakan sistem eksitasi yang tidak memerlukan generator tambahan sebagai sumber eksitasi generator sinkron tersebut. Sumber eksitasi pada sistem eksitasi statis ini berasal dari tegangan output generator itu sendiri yang disearahkan terlebih dahulu dengan menggunakan penyearah thyristor.

Pada mulanya pada rotor terdapat sedikit sisa magnet, magnet sisa ini akan menimbulkan tegangan pada stator, tegangan ini akan masuk dalam penyearah dan dimasukkan kembali ke rotor. Akibatnya medan magnet yang dihasilkan makin besar dan tegangan AC akan naik. Biasanya penyearah itu juga mempunyai pengatur yang dilakukan oleh peralatan yang disebut dengan AVR (*Automatic Voltage Regulator*).

Sistem eksitasi statis, apabila dibandingkan dengan sistem eksitasi konvensional memang sudah jauh lebih baik karena tidak ada generator arus searah (yang keandalannya rendah) dan beban pada penggerak utama berupa generator arus searah dihilangkan. Pada

sistem eksitasi statis ini, untuk keperluan eksitasi awal pada generator sinkron saat belum mampu menghasilkan tegangan keluaran, maka energi yang digunakan untuk sistem eksitasi diambil dari baterai. Dan proses ini dinamakan dengan proses field flashing. Di mana pada proses field flashing ini baterai menginjeksikan arus eksitasi ke rotor generator. Hal ini dibutuhkan karena generator sinkron tidak memiliki sumber arus dan tegangan sendiri untuk mensuplai kumparan medan. Dengan adanya arus eksitasi ini maka generator akan menghasilkan tegangan keluaran (Irawan, 2010).

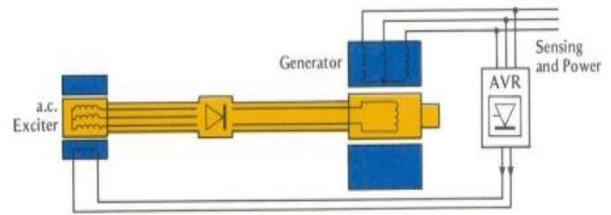


Gambar 4. Sistem Eksitasi Statis

4.2 Sistem Eksitasi Tanpa Sikat (Brushless Excitation)

1. Sistem eksitasi dengan menggunakan baterai

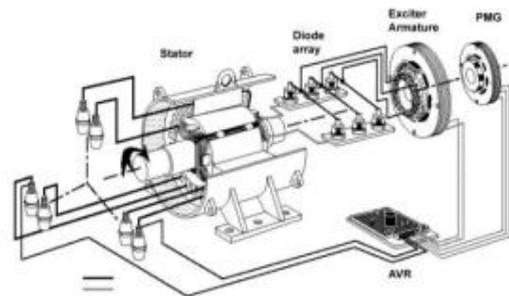
Sistem eksitasi tanpa sikat diaplikasikan pada generator sinkron, sebagaimana suplai arus searah ke belitan medan dilakukan tanpa melalui sikat. Arus searah yang digunakan untuk suplai eksitasi start awal generator menggunakan suplai dari baterai, dimana arus ini selanjutnya disalurkan ke belitan medan AC eksiter. Tegangan keluaran dari generator sinkron ini disearahkan oleh penyearah yang menggunakan dioda, yang disebut *rotating rectifier*, yang diletakkan pada bagian poros ataupun pada bagian dalam rotor generator sinkron, sehingga *rotating rectifier* tersebut ikut berputar sesuai dengan putaran rotor.



Gambar 5. Brushless Excitation

2. Sistem eksitasi dengan menggunakan Permanent Magnet Generator (PMG)

Suatu generator sinkron harus memiliki sebuah medan magnet yang berputar agar generator tersebut menghasilkan tegangan pada statornya. Medan magnet ini dapat dihasilkan dari belitan rotor yang disuplai dengan sumber listrik arus searah. Cara lain untuk menghasilkan medan magnet pada rotor adalah dengan menggunakan magnet permanen sebagai sumber eksitasinya ini disebut dengan Permanen Magnet Generator (PMG) (Pane, 2009).



Gambar 6. Sistem Eksitasi Menggunakan PMG

Dari Gambar 6, dilihat bahwa pada bagian mesin yang berputar (rotor) terdapat magnet permanen, kumparan jangkar generator eksitasi, kumparan medan generator utama. Hal ini memungkinkan generator tersebut tidak menggunakan slip ring dan sikat dalam pengoperasiaanya sehingga lebih efektif dan efisien. Permanent Magnet Generator akan berputar ketika rotor berputar, karena telah terhubung pada satu sumbu atau poros. PMG di sini berfungsi untuk membangkitkan tegangan atau arus AC yang selanjutnya disearahkan dan dimasukkan ke AVR untuk diatur dan dikontrol. Dikarenakan tegangan atau arus AC pada PMG sangat kecil, maka arus AC yang telah disearahkan dimasukkan ke eksiter yang

bertujuan untuk membangkitkan tegangan AC yang lebih besar. Arus keluaran dari eksiter kemudian akan disearahkan menggunakan *rotating diode*. Dan selanjutnya arus eksitasi diinjeksikan ke rotor sehingga terdapat medan magnet pada generator yang akhirnya menimbulkan fluks listrik yang menghasilkan tegangan keluaran pada generator.

5. AVR (*Automatic Voltage Regulator*)

Automatic Voltage Regulator (AVR) adalah sebuah divais pengaturan yang digunakan pada generator sinkron untuk menyetabilkan tegangan keluaran yang dihasilkan. AVR berfungsi untuk menjaga agar tegangan generator tetap konstan dengan kata lain generator akan tetap mengeluarkan tegangan yang selalu stabil tidak terpengaruh pada perubahan beban yang selalu berubah-ubah, dikarenakan beban sangat mempengaruhi tegangan output generator. Sistem AVR pada pembangkit sangat penting peranannya, dikarenakan sebuah generator tidak akan menghasilkan listrik jika didalamnya sistem tidak terdapat AVR.

Bagian AVR dibagi menjadi dua bagian utama yaitu :

- a. Bagian penyearah (*rectifier*) yang berfungsi mengubah energi AC menjadi DC yang dibutuhkan oleh generator sinkron dalam proses eksitasi. Pada bagian ini yang lebih diutamakan adalah kontrol sinyal yang untuk menyalakan transistor.
- b. Bagian pengatur tegangan berfungsi sebagai pengontrol tegangan DC generator sinkron. *Voltage regulator* merupakan bagian terpenting dalam proses eksitasi pada generator sinkron. Pada bagian ini terdapat kontrol PI yang berfungsi untuk mengatur tegangan DC yang akan diinjeksikan pada medan generator sinkron. Masukan dari pengatur tegangan merupakan tegangan DC yang berasal dari penyearah serta tegangan referensi yang diinginkan dengan kontrol PI yang digunakan maka didapat keluaran berupa tegangan eksitasi

yang menjadi masukan generator sinkron.

AVR (*Automatic Voltage Regulator*) memiliki fungsi sebagai berikut.

- a. Menjaga kestabilan tegangan output generator
- b. Mengatur pembagian daya semu reaktif saat kerja paralel
- c. Memberikan pengaturan arus esitasi dalam kondisi gangguan supaya tidak keluar dari sinkronisasi
- d. Menurunkan tegangan dengan cepat apabila generator terlepas dari beban yang akan mengakibatkan terjadinya over voltage.

Prinsip dari AVR (*Automatic Voltage Regulator*), apabila tegangan output generator dibawah tegangan normal tegangan generator, maka AVR akan memperbesar arus pengutan (excitation) pada exiter. 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. Tiga keadaan AVR, yaitu:

- a. Jika tegangan output tinggi maka error signal (+) AVR akan memberikan perintah untuk mengurangi arus eksitasi.
- b. Jika tegangan cocok dengan harga set point (0) maka AVR tidak akan memberikan perintah apapun.
- c. Jika tegangan output rendah maka error signal akan (-) maka AVR akan memberi perintah agar menambahkan arus eksitasi (Alam, 2015).

METODOLOGI PENELITIAN

Adapun tahapan metode yang harus dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Studi Literatur

Studi pustaka dilakukan untuk mengumpulkan data dan informasi mengenai penelitian terdahulu tentang sistem eksitasi pada generator melalui buku-buku, artikel ilmiah, jurnal, e-book dan internet.

2. Observasi

Pengamatan atau observasi ini dilakukan untuk mengetahui kondisi

lapangan secara langsung, agar dapat mengetahui langkah yang akan dilakukan selanjutnya.

3. Pengumpulan Data

Mengumpulkan data langsung pada objek dari penelitian, baik data berupa angka ataupun dokumentasi terkait objek penelitian. Pada penelitian ini data yang diperoleh langsung dari ruang kontrol pada PT. Indonesia Power ULPL TA Musi.

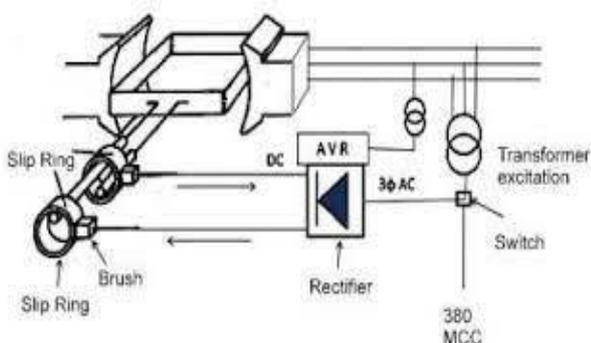
4. Hasil Analisis

Dari data tersebut, selanjutnya akan dilakukan analisis perhitungan menggunakan rumus-rumus teori sesuai dengan yang ada pada tinjauan pustaka.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Prinsip Kerja Sistem Eksitasi Generator Unit 1 PLTA Musi

Sistem eksitasi pada seluruh generator unit 1,2, dan 3 di PLTA Musi menggunakan sistem eksitasi jenis *brush excitation*. Eksitasi jenis *brush excitation* ini merupakan eksitasi dengan sikat yang memanfaatkan sumber dari output tegangan generator itu sendiri tanpa memerlukan generator tambahan. Eksitasi pada generator sinkron adalah pemberian arus searah pada belitan medan yang terdapat pada rotor. Sesuai dengan prinsip elektromagnetik yaitu apabila kumparan yang telah diberi arus eksitasi diputar dengan kecepatan tertentu, maka kumparan jangkar yang terdapat pada stator akan terinduksi oleh fluks-fluks magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan sehingga akan dihasilkan tegangan listrik bolak-balik.



Gambar 7. Sistem Eksitasi Generator Unit 1 PLTA Musi

Berdasarkan Gambar 7 diatas menjelaskan tahapan dari sistem eksitasi generator unit 1 PLTA Musi. Sistem eksitasi pada generator unit 1 PLTA Musi menggunakan sistem eksitasi statis dengan sikat (*brush excitation*), dimana sumber awal eksitasi berasal dari *output* tegangan generator itu sendiri. Tegangan keluaran dari generator unit 1 PLTA Musi adalah 11 kV. Selanjutnya tegangan keluaran tersebut diturunkan melalui transformator eksitasi dari 11 kV menjadi 280 V. Setelah tegangan generator diturunkan selanjutnya akan disearahkan menggunakan *rectifier* dengan rangkain penyearah berupa thyristor yang dihubungkan dengan AVR sebagai kontrol eksitasi generator agar dapat menjaga kestabilan dari tegangan tersebut. *Output* yang telah melewati *rectifeir* dan telah menjadi DC selanjutnya akan di salurkan pada stator AC *exciter*. Kemudian untuk rotor AC *exciter* satu poros dengan rotor generator utama sehingga pada saat turbin berputar maka kedua rotor akan ikut berputar.

Pada saat berputar maka AC *exciter* akan menghasilkan tegangan yang kemudian disearahkan menggunakan *rotating* dioda yang selanjutnya akan digunakan sebagai penguat pada generator yang dialirkan pada rotor generator utama. Ketika aliran listrik DC masuk pada rotor generator maka akan menghasilkan medan magnet, sehingga putaran rotor akan mengakibatkan kumparan magnet pada rotor memotong kumparan jangkar pada stator yang menyebabkan terjadinya GGL. GGL yang dihasilkan pada stator generator adalah AC 3 phase dengan tegangan 11 kV yang selanjutnya keluaran tersebut akan diparalelkan antara trafo daya dan trafo eksitasi dan dinaikkan dari 11 kV menjadi 150 kV.

2. Perhitungan Nilai Faktor Daya dan Daya Reaktif

Nilai daya aktif dan daya reaktif dapat dinyatakan dengan Persamaan 2 dan Persamaan 4. Dari Persamaan 4 maka dapat dilakukan perhitungan nilai faktor daya yang didapatkan

berdasarkan data operasi harian generator dengan rata-rata per unit 1 PLTA Musi.

$$1. \text{ Diketahui: } Q = 0,5 \text{ MVAR}$$

$$V = 10,9 \text{ kV}$$

$$I = 2701 \text{ A}$$

Ditanya: $\cos \varphi$?

Penyelesaian:

$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \sin \varphi$$

$$0,5 \text{ MVAR} = \sqrt{3} \cdot 10,9 \text{ kV} \cdot 2701 \text{ A} \cdot \sin \varphi$$

$$\sin \varphi = \frac{0,5 \text{ MVar}}{\sqrt{3} \cdot 10,9 \text{ kV} \cdot 2701 \text{ A}}$$

$$= 0,009$$

$$\varphi = \sin^{-1} 0,009$$

$$= 0,57$$

$$\cos \varphi = 0,999$$

Setelah dilakukan perhitungan faktor daya setiap per jamnya menggunakan rumus daya reaktif, maka didapatkan data hasil perhitungan sebagai berikut.

Tabel 1. Data Hasil Perhitungan Faktor Daya Pada Generator Unit 1 PLTA Musi

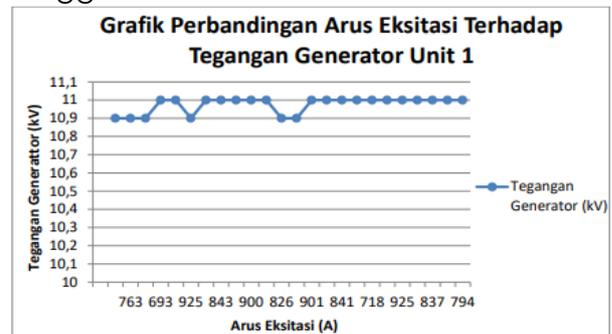
No	Jam	Excitation		Main Alternator				Cos φ
		Volt (V)	Curr (A)	P (MW)	Q (MVAR)	V (kV)	I (A)	
1	01.00	69,5	770	51,5	0,5	10,9	2701	0,999
2	02.00	71,8	763	50,8	1,8	10,9	2648	0,999
3	03.00	67,8	780	52,0	0,5	10,9	2722	0,999
4	04.00	62,2	693	27,2	1,0	11,0	1442	0,999
5	05.00	74,3	812	54,3	3,8	11,0	2829	0,997
6	06.00	84,8	925	69,8	9,7	10,9	3709	0,990
7	07.00	78,8	842	49,1	10,2	11,0	2632	0,979
8	08.00	78,6	843	52,0	8,7	11,0	2772	0,986
9	09.00	74,6	856	52,0	10,1	11,0	2788	0,999
10	10.00	83,7	900	61,7	11,4	11,0	3308	0,983
11	11.00	75,6	837	50,9	9,3	11,0	2750	0,984
12	12.00	73,7	826	50,9	8,7	10,9	2732	0,985
13	13.00	77,2	868	60,1	10,9	10,9	3219	0,984
14	14.00	83,9	901	61,2	11,3	11,0	3296	0,983
15	15.00	77,9	837	49,8	9,1	11,0	2649	0,983
16	16.00	77,4	841	51,2	9,4	11,0	2708	0,983
17	17.00	69,7	749	27,1	6,2	11,0	1465	0,975
18	18.00	65,0	718	28,2	4,8	11,0	1512	0,986
19	19.00	87,7	964	70,1	14,9	11,0	3802	0,978
20	20.00	87,3	925	62,1	13,3	11,0	3332	0,978
21	21.00	88,8	948	69,8	11,9	11,0	3655	0,985
22	22.00	76,5	837	52,1	6,3	11,0	2750	0,992
23	23.00	65,8	718	25,9	4,3	11,0	1363	0,986
24	24.00	70,3	794	51,7	3,4	11,0	2703	0,997

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui adanya perbedaan nilai faktor daya ($\cos \varphi$) yang bervariasi. Nilai faktor daya yang terbaik ada pada saat pagi dini hari sekitar jam 01.00 sampai 04.00 dengan nilai daya reaktif sebesar 0,5

sampai 2 MVar menghasilkan nilai faktor daya sebesar 0,999. Sedangkan nilai faktor daya terendah adalah sebesar 0,975 dengan nilai daya reaktif sebesar 6,2 Mvar yang terjadi pada saat sore hari. Untuk mendapatkan nilai faktor daya yang sempurna, nilai arus dan daya reaktif sangat berpengaruh pada nilai faktor daya untuk menentukan seberapa bagus nilai tersebut.

3. Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Tegangan Generator

Berdasarkan Tabel 1 maka dapat dibuat perbandingan antara arus eksitasi terhadap tegangan generator pada unit 1 PLTA Musi menggunakan data operasi harian generator rata-rata per jam pada tanggal 13 Maret 2023.

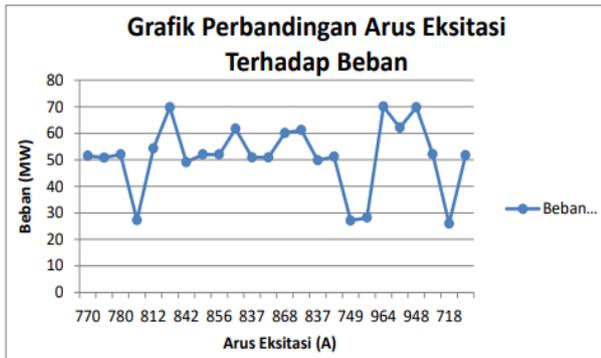


Grafik 1. Grafik Perbandingan Arus Eksitasi Terhadap Generator

Berdasarkan Grafik 1 diatas perbandingan arus eksitasi terhadap tegangan generator, maka dapat dianalisa pada saat tegangan generator sebesar 10,9 kV arus eksitasi yang dibutuhkan untuk menjaga frekuensi 50 Hz adalah antara rentang arus 690 sampai 700an dan pada saat tegangan mengalami kenaikan sebesar 11 kV untuk menjaga frekuensi 50 Hz maka arus eksitasi yang diberikan perlahan naik dimulai dari 800 A hingga 900 A . Sehingga AVR akan bekerja untuk membaca tegangan pada generator unit 1. Apabila terjadi penurunan tegangan AVR akan menaikkan arus eksitasi sebaliknya pada saat terjadinya penurunan tegangan maka AVR akan mensuply arus menjadi naik untuk mempertahankan frekuensi sebesar 50 Hz.

4. Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Beban

Berdasarkan Tabel 1 maka dapat dibuat perbandingan antara arus eksitasi terhadap beban generator pada unit 1 PLTA Musi menggunakan data operasi harian generator rata-rata per jam pada tanggal 13 Maret 2023.

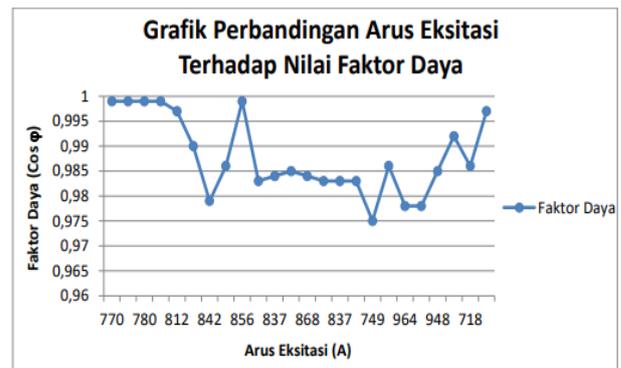


Grafik 2. Grafik Perbandingan Arus Eksitasi Terhadap Beban

Berdasarkan Grafik 2 diatas perbandingan arus eksitasi terhadap beban pada unit 1 PLTA Musi, dapat dianalisa bahwasannya beban yang didapat berubah-ubah. Adapun beban yang dihasilkan di rentang nilai 50 MW hingga 70 MW, sedangkan arus eksitasi yang diberikan AVR di rentang nilai 700 A hingga 900 A. Pada grafik dapat dilihat beban tertinggi yang didapat adalah sebesar 70,1 MW dengan arus eksitasi sebesar 964 A. Kemudian untuk nilai beban terendah yang didapat adalah sebesar 25,9 MW dengan arus eksitasi 718 A. Maka dari itu dari grafik dapat disimpulkan bahwa pada dasarnya beban yang dihasilkan akan semakin besar jika arus eksitasi yang digunakan semakin besar, begitupun dengan sebaliknya. Namun dikarenakan data yang diambil *real time* per jam menyebabkan grafik mengalami naik-turun sesuai dengan hasil data per jam.

5. Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Nilai Faktor Daya

Berdasarkan Tabel 1 maka dapat dibuat perbandingan antara arus eksitasi terhadap nilai faktor daya generator pada unit 1 PLTA Musi menggunakan data operasi harian generator rata-rata per jam pada tanggal 13 Maret 2023.

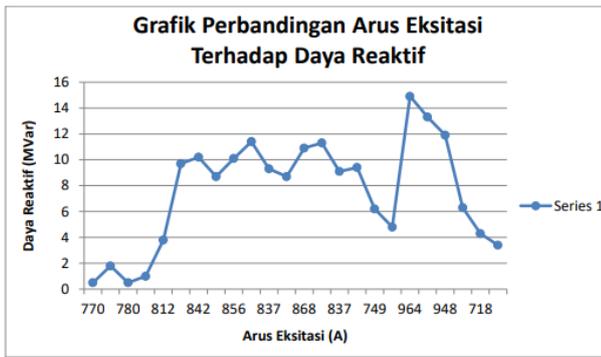


Grafik 3. Grafik Perbandingan Arus Eksitasi Terhadap Faktor Daya

Berdasarkan Grafik 3 maka dapat dianalisa bahwa nilai faktor daya berubah-ubah dan mengalami naik-turun per jamnya sedangkan arus eksitasi yang diberikan juga tidak konstan. Adapun nilai faktor daya ($\cos \varphi$) yang didapat hasilnya bagus dan mendekati 1 meskipun naik-turun. Nilai $\cos \varphi$ dapat dikatakan bagus apabila nilai $\cos \varphi \geq 1$. Nilai $\cos \varphi$ yang terbaik didapat pada saat pagi dini hari yaitu mendekati 1 sebesar 0,999 $\cos \varphi$. Sedangkan nilai faktor daya yang paling terendah sebesar 0,975. Arus eksitasi yang diberikan bervariasi setiap jamnya yaitu dengan rentang nilai 690 A hingga 900an A. sebesar 3.3 A maka nilai faktor daya sebesar 0,997 A hingga 0,988 A. Perubahan nilai arus eksitasi yang diberikan akan berpengaruh terhadap nilai faktor daya. Maka dapat disimpulkan nilai faktor daya yang diberikan pada generator semakin bagus jika arus eksitasi yang diberikan semakin besar.

6. Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Nilai Daya Reaktif

Berdasarkan Tabel 1 maka dapat dibuat perbandingan antara arus eksitasi terhadap nilai faktor daya generator pada unit 1 PLTA Musi menggunakan data operasi harian generator rata-rata per jam pada tanggal 13 Maret 2023.



Grafik 4. Grafik Perbandingan Arus Eksitasi Terhadap Daya Reaktif

Berdasarkan Grafik 4 diatas perbandingan arus eksitasi terhadap nilai daya reaktif maka dapat dianalisa bahwa nilai daya reaktif tertinggi pada saat sebesar 0,5 MVar A hingga 14 Mvar. Adapun nilai daya reaktif tertinggi sebesar 14,9 Mvar dengan arus eksitasi sebesar 964 A. Sedangkan nilai daya reaktif terendah yang dihasilkan pada saat arus eksitasi yang diberikan AVR terhadap generator sebesar 0,5 Mvar, dengan arus eksitasi 770 Mvar. Maka dari itu dapat disimpulkan nilai daya reaktif yang dihasilkan terhadap pengaruh arus eksitasi yang diberikan AVR terhadap generator Unit 4 PLTA Tes berubah-ubah. Serta dapat dianalisa pada waktu malam hari sampai sore hari arus eksitasi yang diberikan nilainya akan semakin besar mulai dari 718 A hingga 925 A.

KESIMPULAN

1. Sistem eksitasi yang digunakan pada unit 1 PT. PLN Indonesia Power ULPL TA Musi berjenis *brush excitation* yang merupakan sistem eksitasi dengan sikat, memanfaatkan *output* dari generator sendiri yang kemudian disearahkan menggunakan *rectifier*. Arus DC inilah yang akan membangkitkan medan magnet pada generator dan menghasilkan listrik, serta juga digunakan AVR sebagai kontrol untuk menjaga sistem eksitasi.
2. Berdasarkan analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa pengaruh arus eksitasi terhadap tegangan generator, tegangan akan jika arus eksitasi yang diberikan semakin besar. Sedangkan pengaruh terhadap

beban, beban yang didapat dari 50 MW hingga 70 MW seiring dengan semakin besar arus eksitasi. Selain itu pengaruh arus eksitasi terhadap faktor daya dan daya reaktif, jika arus eksitasi yang diberikan semakin besar, maka nilai faktor daya semakin baik mendekati 1 dan nilai daya reaktif akan semakin besar, nilai daya reaktif ini juga berpengaruh terhadap faktor daya yang mana semakin kecil daya reaktif maka faktor daya semakin baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan jurnal hasil penelitian di PT. PLN Indonesia Power ULPL TA Musi. Semoga nantinya jurnal ini dapat memberikan manfaat yang besar bagi para pembaca

Didalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan jurnal ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak, baik berupa kesempatan, bimbingan dan petunjuk-petunjuk yang diperlukan dalam usaha penyelesaian jurnal ini. Sehubungan dengan itu pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT atas nikmat yang luar biasa yang telah diberikan kepada saya, sehingga dapat menyelesaikan kerja praktek ini dalam keadaan yang sehat dan tanpa kekurangan apapun.
2. Kepada orang tua dan saudara saudara saya tercinta yang memberikan dukungan yang besar dan kepercayaan kepada saya.
3. Ibu Ika Novia Anggraini, S.T.,M.Eng selaku Koordinator Program Studi Teknik Elektro Universitas Bengkulu.
4. Ibu Yanolanda Suzantry Handayani, S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing.
5. Seluruh pihak yang telah membantu saya hingga terselesainya jurnal penelitian ini di PT. PLN Indonesia Power ULPL TA Musi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, A. (2015). Pemodelan dan Simulasi Automatic Voltage Regulator Untuk Generator Sinkron 3 KVA Berbasis Proportional Integral. *Jurnal Reka Elkomika*, 3(2), 97-110.
- Andri, S. (2013). *Analisa Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Generator Sinkron*. Institut Teknologi Padang.
- Armansyah., Sudaryanto. 2016. Pengaruh Penguatan Medan Generator Sinkron Terhadap Tegangan Terminal. *Journal of Electrical Technology*, 1(3), ISSN 2502-3624.
- Bandri, Sepanur. (2013). Analisa Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Generator Sinkron (Aplikasi PLTG Pauh Limo Padang). *Jurnal Teknik Elektro*, 2(1), 42-48.
- Harahap, Mucshin., dkk. (2021). Pengaruh Perubahan Variasi Eksitasi Tegangan Terhadap Daya Reaktif Pada Generator. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro*, 3(2), ISSN 2662-7002.
- Irawan, H. (2010). *Sistem Penguatan Dengan Eksitasi (Brush Excitation System) Pada Generator Unit 1 PLTU Cilacap*. Universitas Diponegoro.
- Pane, E. (2009). *Studi Sistem Eksitasi Dengan Menggunakan Magnet Permanent Generator*. Universitas Sumatera Utara.
- Sarlianti, S. S. (2016). *Analisis Karakteristik Sedimentasi di Waduk Plta Tes Sebagai Usaha Awal Dalam Perencanaan Penanggulangan* Diss. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam UNIB.
- Sindang, Kevin Chrisdaniel., dkk. (2022). Pengaruh Pembebanan Terhadap Sistem Eksitasi Generator Sinkron Sf 33.065 Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Posos 1 Energy. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*. Universitas Tadulako.
- Syukur, D. (2013). *Generator Sinkron Tiga Fasa*. Semarang: Politeknik Negeri Semarang.
- Tangkilisan, Peils Yusac., dkk. 2015. Analisa Perhitungan Specific Water

Consumption Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air Di Sistem Minahasa. *E-Journal Teknik Elektro dan Komputer*, 4(5), ISSN 2301-8402.