

ANALISIS HUBUNGAN VARIABEL PADA SISTEM EKSITASI TERHADAP PERFORMA GENERATOR SINKRON: STUDI KASUS PADA PLTU KALTIM TELUK

Setyo Purnomo*¹, Ramadhoni Syahputra*², Kunnu Purwanto*³

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Kampus Terpadu UMY, Jl. Lingkar Selatan, Kasihan Bantul, Yogyakarta 55183,
Indonesia *Corresponding author, e-mail: Setyopurnomo95@gmail.com

Abstract – PLTU Kaltim Teluk is a steam power plant that supplies electrical energy needs in the East Kalimantan region, especially in Balikpapan city, with a capacity of 2x110 MW. There are two synchronous generators that work in parallel. A generator is a machine that can produce electrical energy, an excitation system is needed in generator for produce electrical energy. Excitation system is the process of giving a direct current to the rotor generator as a trigger for the occurrence of magnetic fluxes in the magnetic field that is on the stator so that the anchor reaction occurs and produces alternating electric voltage, so that the voltage generated depends on the size of the excitation current in supply to the rotor generator. One way to see the reliability of the excitation system and the characteristics of the relationship of each generator output variable to the excitation system at the East Kalimantan power plant can be analyzed by supply voltage percentage. The highest supply voltage percentage in one month is + 2.97% and the loading value is 86 MW and the output voltage is 14.21 kV. While for the smallest percentage value is + 1.23%, the loading value is 52.61MW and the output voltage is 13.97 kV. It can be concluded that the percentage value of the supply voltage on the synchronous generator unit 2 is in good condition based on the standard of PLN, which is -5% and + 10%. Therefore, by understanding the characteristics of the relationship of each variable on the generator to the excitation system so the good maintenance can be done and minimizing the occurrence of disturbances in the excitation system such as under excitation and over excitation. **Copyright** © 2019 Universitas Muhammadiyah Yogyakarta- All rights reserved.

Keywords: system, excitation, generator, supply

I. Pendahuluan

Salah satu cara produsen listrik untuk bisa memenuhi kebutuhan tenaga listrik yang selalu meningkat setiap tahunnya adalah dengan cara mengoptimalkan produksi tenaga listrik yaitu salah satu caranya adalah dengan cara meningkatkan dan memperbaiki sistem produksi tenaga listrik yang ada pada pembangkitan tenaga listrik dan cara yang bisa dilakukan salah satunya adalah pengoptimalan

nilai-nilai output dari generator itu sendiri misalnya tegangan dan daya yang keluar.

Salah satu sistem pada generator yang bisa mempengaruhi output energi listrik yang bisa dihasilkan dari generator adalah sistem eksitasi. Sistem eksitasi itu sendiri adalah proses mengalirnya pasokan arus listrik searah atau biasa disebut arus DC sebagai penguatan pada generator listrik, agar mendapatkan nilai keluaran tegangan yang stabil dari generator maka perlu di atur arus yang mengalir pada sistem eksitasi karna semakin besar arus eksitasi yang mengalir ke generator maka semakin besar juga tegangan yang dihasilkan

dari generator tersebut, sehingga suatu generator bisa memproduksi energi listrik dengan besar tegangan yang stabil maka hal itu bergantung pada nilai eksitasinya.

Diharapkan dengan adanya hasil dari Analisis hubungan variabel pada sistem eksitasi maka kita bisa mengetahui bagaimana hubungan sistem eksitasi terhadap hasil dari energi listrik yang dihasilkan oleh generator agar keluaran yang dihasilkan bisa selalu stabil dan mendapatkan energi listrik yang stabil pada beban yang bervariasi.

II. Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

II.1 Tinjauan Pustaka

1. Muzayyin (2018), melakukan analisis tentang sistem eksitasi pada PLTA Wonogiri. Berdasarkan analisis di dapatkan bahwa secara otomatis nilai dari proses sistem eksitasi akan meningkat agar dapat menstabilkan keluaran tegangan dari generator yang di sebabkan oleh beban yang berubah-ubah yang mengakibatkan ketidak stabilan pada tegangan.
2. Sentosa (2018), melakukan analisis sistem eksitasi terhadap performa generator sinkron PLTU Suralaya unit 3, bahwa nilai arus eksitasi (i_f) mengalami kenaikan yang menyebabkan nilai arus jangkar juga meningkat. Lalu arus eksitasi (i_f) sebanding dengan tegangan eksitasi (v_t) dan GGL induksi (E_a).
3. Thomas W. Eberly, dkk (2002) dalam tulisannya yang berjudul *Voltage Versus Var/Power-Factor Regulation on Synchronous Generator* menyatakan bahwa generator sinkron yang menggunakan *brush* dalam proses sistem eksitasinya harus mengoptimalkan penggunaan dan pemeliharannya agar bisa melakukan perawatan seminimum mungkin untuk alasan efisiensi waktu dan kualitas dari sikat *carbon brush*.
4. Bandri (2013) dalam penelitian yang di lakukan oleh penulis bahwa nilai GGL induksi yang di hasilkan dari proses sistem eksitasi sangat berpengaruh pada performa hasil dari generator sinkron, penulis menyatakan bahwa Nilai GGL induksi pada factor daya *lagging* lebih besar dari nilai GGL induksi pada factor daya *leading*. Dari perbandingan Analisa yang penulis lakukan diketahui bahwa semakin besar beban yang ditempatkan pada sistem, maka arus medan akan semakin besar, yaitu lebih besar pada saat nilai *lagging* dari pada saat nilai arus saat *leading*. Perubahan arus beban juga terjadi akibat adanya perubahan nilai beban yang terpakai sehingga juga akan mempengaruhi nilai tegangan yang dihasilkan oleh generator itu sendiri.
5. Irawan (2010), dalam penelitian yang berjudul sistem penguatan dengan sikat pada generator unit 1 PLTU Cilacap menyatakan bahwa Nilai arus eksitasi harus selalu di jaga agar selalu sesuai dengan arus dasar pada sistem eksitasi sehingga bisa mendapatkan kestabilan sistem secara keseluruhan, selain itu penulis menyatakan bahwa sistem eksitasi yang baik adalah sistem eksitasi yang memiliki respon yang cepat ketika terjadi gangguan internal maupun eksternal yang mampu mengganggu kinerja generator.
6. Bindar (2016), dalam penelitian yang berjudul Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Keluaran Daya Reaktif Generator Sinkron, penulis menyampaikan bahwa ketika generator sinkron bekerja secara parallel, dimana dengan diaturnya arus eksitasi sedangkan nilai putaran (n) tetap, maka akan menyebabkan kenaikan nilai fluktuasi magnetic sehingga mengubah daya reaktif serta tegangan yang keluar dari generator namun tidak merubah dan tidak berdampak pada keluarannya daya aktif sehingga akan merubah nilai factor daya. Penelitian ini menyimpulkan bahwa sifat arus eksitasi berbanding lurus dengan keluaran tegangan dari generator dan daya reaktifnya.

II.2 Dasar Teori

A. Pengertian sistem eksitasi

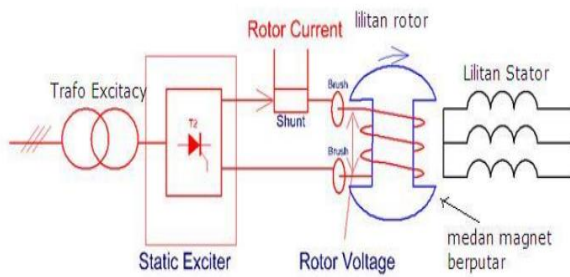
Sistem eksitasi adalah sistem mengalirnya pasokan listrik arus searah sebagai penguatan pada generator listrik, sehingga menghasilkan tenaga listrik yang mana nantinya besar tegangan keluaran dari generator sinkron bergantung pada besarnya arus eksitasi yang di *supply* oleh sistem eksitasi ke rotor generator.

Eksitasi memegang peranan penting dalam mengendalikan kestabilan suatu pembangkit karena apabila terjadi fluktuasi beban maka eksitasi sebagai pengendali akan berfungsi mengontrol keluaran generator seperti tegangan, arus dan faktor daya dengan cara mengatur kembali besaran-besaran

input guna mencapai titik keseimbangan baru agar generator sinkron tetap bisa bekerja secara optimal dan selalu tersinkronisasi dengan jaringan. Sistem eksitasi pada generator listrik terdiri dari 2 macam, yaitu:

a. Sistem eksitasi dengan sikat

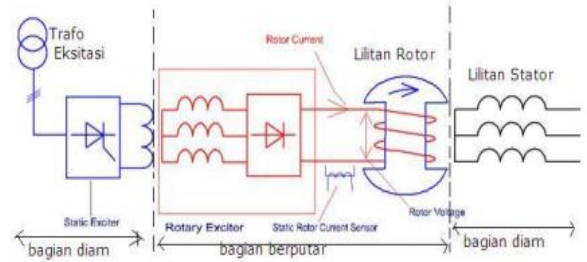
Sistem eksitasi menggunakan sikat, sumber tenaga listrik berasal dari sumber listrik yang berasal dari generator arus searah (DC) atau generator arus bolak balik (AC) yang disearahkan terlebih dahulu dengan menggunakan *rectifier*. Jika menggunakan sumber listrik yang berasal dari generator AC atau menggunakan *Permanent Magnet Generator* (PMG) medan magnetnya adalah magnet permanen. Dalam *rectifier cubicle*, tegangan listrik arus bolak balik diubah atau di searahkan menjadi tegangan arus searah untuk mengontrol kumparan medan exciter utama (*main exciter*). Untuk mengalirkan arus eksitasi dari *main exciter* ke rotor generator menggunakan slip ring dan sikat arang, demikian juga penyaluran arus yang berasal dari *pilot exciter* ke *main exciter*.



Gambar 1 Eksitasi dengan *brush*
(Sumber: Syahrial, 2015)

b. Sistem eksitasi tanpa sikat

Penggunaan sikat atau *slip ring* untuk menyalurkan arus eksitasi ke rotor generator mempunyai kelemahan karena besarnya arus yang mampu dialirkan pada sikat arang relatif kecil. Untuk mengatasi keterbatasan sikat arang, pada generator pembangkit menggunakan sistem eksitasi tanpa menggunakan sikat (*brushless excitation*). Gambar skema diagram system eksitasi tanpa sikat dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2 Eksitasi tanpa *brush*
(Sumber: Syahrial, 2015)

Sistem eksitasi tanpa sikat ini menggunakan dua buah generator yaitu generator penguat pertama (*pilot exciter*) dan generator penguat kedua yaitu *genetrator penguat utama* (*main exciter*).

B. Komponen-komponen unit sistem eksitasi

Struktur Sistem eksitasi sebagian besar tersusun oleh lima komponen sebagai berikut:

a. Komponen suplai tenaga, trafo eksitasi (TE)

Dalam sistem eksitasi, trafo eksitasi adalah suatu komponen dalam sistem eksitasi yang berfungsi untuk menurunkan tegangan (*Step Down* trafo) dari generator utama atau dari trafo auxilaury sebelum di ubah menjadi arus DC.

Trafo ekitasi juga berfungsi untuk mengisolasi peralatan eksitasi dari terminal generator secara elektrik. Sisi tegangan tinggi dihubungkan dengan terminal generator dan sisi tegangan rendah dihubungkan dengan sisi AC penyearah. Kapasitas dan rasio transformasi ditentukan menurut karakteristik eksitasi generator. Agar dapat memenuhi operasi generator yang disyaratkan,

b. Komponen Kontrol: *automatic voltage regulator/Regulator Cubicle*(AVR)

AVR terletak di bagian dalam lemari pengatur. Fungsi AVR adalah untuk menjaga tegangan generator tetap konstan, sehingga kuantitas umpan baliknya adalah tegangan keluaran terminal generator. Mikroprosesor komputer mengatur semua jenis simulasi pengaturan nilai tegangan dan nilai switching, kemudian menghitung dan melatih semua jenis simulasi dan nilai switching untuk mengontrol keluaran SCR dan untuk mengatur sistem eksitasi.

Dengan begitu apabila terjadi perubahan tegangan output genereator maka akan dapat langsung distabilkan oleh AVR secara otomatis dikarenakan AVR memiliki

kemampuan untuk mengendalikan penguatan medan serta memiliki batas pengaturan penguatan medan minimum dan maksimum.

c. Komponen tenaga: penyearah tenaga jembatan/*Rectifier cubicle*(SCR)

Generator membutuhkan penyearah untuk proses sitem eksitasi karena keluaran dari transformer eksitasi merupakan AC 3 fasa. Penyearah tenaga yang digunakan adalah thyristor (SCR) yang mengubah suplai tenaga AC yang disalurkan oleh transformator eksitasi ke suplai tenaga DC dan menyalurkannya ke rangkaian medan magnet generator.

Sistem kerja dari *thyristor* sama dengan saklar, yang mana *thyristor* mempunyai 2 keadaan yaitu ON (menghantarkan) dan OFF (tidak menghantarkan). Dalam operasi menyearahkan tegangan, thyristor dikendalikan oleh AVR. Pengaturan tegangan pada AVR akan menghasilkan sinyal pesaklaran yang diumpankan ke driver *thyristor* dengan tujuan untuk menguatkan arus pensaklaran atau disebut sebagai *buffer*. Setelah itu keluaran dari driver tersebut diumpankan pada terminal gate *thyristor* penyearah

d. Komponen lemari pemutus medan (FCB)

Field circuit breaker (FCB) terletak antara kumparan medan dan penyearah jembatan. Keluaran DC dari penyearah jembatan mengalir ke kumparan medan generator. Itu merupakan bagian penting rangkaian deeksitasi. Dibawah kondisi genting, itu dapat dipisahkan secara cepat dan mentransfer energi medan ke resistor pelepasan untuk menjamin keamanan generator.

e. Komponen *Battery*.

Battery adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang reversibel (dapat berbalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Yang dimaksud dengan proses elektrokimia reversibel, adalah didalam baterai dapat berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan), dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia, pengisian kembali dengan cara regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah

(polaritas) yang berlawanan didalam sel. *Battery* pada sistem eksitasi di PLTU Klatim teluk berfungsi untuk sistem *start up* eksitasi generator dan jenis *battery* yang digunakan adalah *battery* basah 220VDC

C. Generator sinkron

Dalam sebuah pembangkit tenaga listrik salah satu komponen yang paling penting adalah generator. Secara garis besar generator dalam proses pembangkitan listrik berfungsi sebagai pengubah energi mekanik menjadi energi listrik yang diproses di dalam sistem generator tersebut yang nantinya akan disalurkan ke konsumen. Generator yang digunakan pada pembangkit listrik biasanya merupakan generator AC 3 fasa Pada penggunaanya generator di aplikasikan dengan mesin atau turbin sebagai tenaga penggerak mula generator agar dapat menghasilkan energi listrik.

Dikatakan sebagai Generator Sinkron dikarenakan putaran dari rotor sama dengan kecepatan putaran medan magnetnya, yang menyebabkan kecepatan sinkron generator dihasilkan dari kecepatan rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada rotor. Kumparan medan generator terdapat pada rotor, sedangkan kumparan jangkar terdapat pada bagian yang diam yaitu stator. Bagian rotor generator yang terdiri dari belitan magnet akan mendapatkan arus sarah (DC) yang berasal dari sistem eksitasi yang mana arus searah ini akan menyebabkan timbulnya fluktuasi magnet pada kumparan medan yang ada di rotor yang memiliki putaran medan magnet sama dengan putaran rotornya, karena putarannya sama maka akan timbul listrik bolak balik (AC), Maka dari itu dapat dibuat hubungan antara kecepatan putar rotor dengan frekuensi ditunjukkan pada persamaan berikut ini:

$$f = \frac{N \times P}{120} \quad (1)$$

Dimana:

f = Frekuensi (hz)

N = Kecepatan putar (rpm)

P = Jumlah kutub

a. Konstruksi generator sinkron

Secara umum konstruksi generator sinkron sama dengan motor sinkron, yang

mana bagian-bagian dari generator sinkron terdiri dari rotor, stator dan celah udara, Tata letak keseluruhan dari rangkaian generator sinkron ini ditunjukkan pada gambar dibawah ini:

1. Rotor

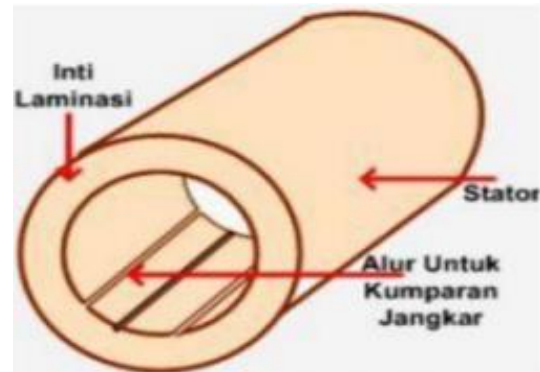
Rotor merupakan komponen yang bergerak pada generator yang bergerak secara berputar. Rotor yang bergerak akan di aliri arus searah (DC) pada kumparan medan yang berada pada rotor. Prinsip kerja dari rotor adalah sebagai medan magnet yang besar yang bergerak yang kemudian di gunakan oleh stator sebagai pemicu atau pembangkit tegangan listrik. Pada rotor terdapat kumparan koil yang berada pada bagian inti rotor yang mana pada bagian ujung rotor tersebut terhubung pada slipring yang mana dihubungkan dengan sistem eksitasi untuk membangkitkan medan magnet.



Gambar 3 Konstruksi rotor
(Sumber: Rizhal,2013)

2. Stator

Stator merupakan bagian yang diam yang berada pada generator sinkron, berfungsi sebagai pembangkit tegangan induksi yang akan di alirkan atau tempat terjadinya GGL induksi, Pada bagian stator terdapat alur kumparan jangkar yang mana pada alur tersebut terdapat belitan kumparan yang mengelilingi rotor. Kumparan akan bekerja ketika mendapatkan medan magnet yang dihasilkan dari putaran rotor yang mengelilingi stator.



Gambar 4 Kerangka stator
(Sumber: Wahyu,2013)

b. Jenis-jenis beban yang di tanggung generator

1. Beban Resistif ($\cos\phi = 1$)

Ketika generator sinkron dibebani oleh beban resistif maka putaran awal dan tegangan terminal pada reaksi jangkar akan menurun dikarenakan adanya perubahan pada daya aktif. Untuk menjaga tegangan yang keluar tetap konstan maka perlu dijaganya nilai eksitasi karena bisa berpengaruh pada daya reaktif, jika ingin menaikkan nilai tegangan maka menaikkan nilai arus eksitasi maka fluksi medan juga akan meningkat. Pada beban reaktif pengaruh fluks jangkar terhadap fluks medan hanya mendistorsi tanpa mempengaruhi kekuatannya.

2. BebanIndukti($\cos\theta = 0$ lagging)

Beban induktif hanya mengkonsumsi daya reaktif. Bila ingin memperbesar daya rekatif yang besar (MVAR) maka perlu mengatur arus eksitasi yang besar juga agar bisa meningkatkan nilai daya reaktif yang akan meningkatkan nilai dari fluks medan Reaksi jangkar, pada beban induktif ini memiliki nilai $\cos\theta = 0$ dan memiliki sifat *lagging*. Pada saat *lagging* ini arus akan tertinggal sebesar 90^0 dari tegangan. Fluks yang dihasilkan dari reaksi jangkar akan melawan fluksi arus pada medan sehingga fluks resultan pada celah udara akan berkurang dari fluks medan. Dengan kata lain reaksi jangkar akan melemahkan fluksi arus medan.

3. Beban Kapasitif ($\cos\theta = 0$

Leading)

Beban kapasitif adalah beban yang menyimpan tegangan maka dari itu pada saat *leading* menyebabkan arus akan mendahului tegangan sebesar 90° . Fluksi yang dihasilkan oleh arus jangkar akan searah dengan fluksi arus medan sehingga fluks resultan pada celah udara akan bertambah dari fluks medan. Reaksi jangkar yang terjadi ini akan menyebabkan *magnetizing* artinya pengaruh reaksi jangkar akan menguatkan fluksi arus medan.

c. Daya yang di hasilkan oleh generator

Daya adalah perkalian antara arus dan tegangan keluaran dari generator. Daya juga diartikan sebagai jumlah energi yang diserap ataupun dihasilkan dalam suatu rangkaian listrik. Sumber energi seperti tegangan listrik yang memiliki arus akan menghasilkan daya listrik sedangkan beban-beban yang terhubung dengan energi listrik akan menyerap daya listrik tersebut. Dengan kata lain daya listrik merupakan tingkat konsumsi energi dalam sebuah rangkaian listrik.

Daya bernilai positif apabila arus yang mengalirinya bernilai positif, yang artinya arus mengalir dari sumber tegangan listrik ke rangkaian beban listrik. Sedangkan daya dikatakan negative apabila arus yang mengalirinya bernilai negative juga yang artinya arus mengalir dari rangkaian listrik menuju sumber listrik. dalam suatu system pembangkit daya dapat dibagi mejadi tiga sebagai berikut:

1. Daya Aktif/Nyata (P)

Daya nyata atau aktif memilii satuan W (watt). Daya aktif adalah daya yang dibutuhkan oleh konsumen untuk mensuplai energi listrik ke beban-beban. maka daya yang tertulis pada KWh meter merupakan daya aktif dan merupakan daya yang harus dibayarkan oleh pelanggan. Dalam kati lain daya nyata adalah daya yang dibutuhkan oleh beban resistif, dimana daya ini akan menunjukan adanya aliran energi listrik dari pembangkit menuju ke beban.

Secara matematis rumus daya aktif (P) untuk system 3 fasa adalah sebagai berikut:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi \quad (2)$$

Keterangan:

P = Daya aktif (watt)

V = Tegangan (volt)

I = arus yang mengalir (ampere)

$\cos\phi$ = Faktor daya

2. Daya reaktif (Q)

Daya reaktif adalah daya yang tidak dimanfaatkan oleh konsumen, daya ini muncul karena diakibatkan oleh komponen yang pasif di luar resistor yang merupakan daya rugi-rugi atau daya yang tidak diinginkan. Namun daya reaktif ini juga dapat dimanfaatkan pada sistem pembangkitan energi listrik, dimana pada pembangkitan daya reaktif ini berfungsi untuk membangkitkan medan, magnet pada sistem eksitasi, sehingga dari pembangkitan itu di hasilkan fluks-fluks medan magnet. Daya rekatif memiliki satua (VAR) dan memiliki persamaan matematis sebagai berikut:

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

Keterangan:

Q = Daya reaktif (VAR)

V = Tegangan (V)

I = arus yang mengalir (Ampere)

$\sin\phi$ = Faktor daya

3. Daya Semu (S)

Daya semu merupakan daya yang sebenarnya dipakai ooleh PLN, yang merupakan resultan antara daya aktif (P) dan daya reaktif (Q). satuan dari daya semu adalah VA dan memiliki persamaan matematis sebagai berikut:

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (4)$$

Keterangan:

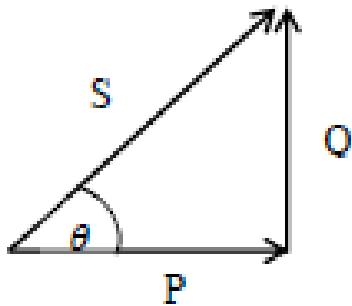
S = Daya semu (VA)

V = Tegangan (V)

I = arus yang mengalir (Ampere)

4. Segitiga daya

Hubungan antara ketiga daya yaitu daya aktif, daya reaktif dan daya semu dapat dinyatakan pada segitiga daya berikut ini dengan mempresentasikan ke-3 daya tersebut sebagai vector. Dapat dilihat pada gambar berikut ini:



III. Hasil dan Pembahasan

Data operasi harian sistem eksitasi di PLTU Kaltim Teluk digunakan untuk menganalisis karakteristik sistem eksitasi terhadap variabel keluaran yang berada pada generator sinkron unit 1 ini, data yang digunakan adalah data keluaran dari generator sinkron unit 2 PLTU Kaltim Teluk yang di ambil mulai darj tanggal 17 Agustus 2019 sampai dengan 15 Agustus 2019, data operasi harian ini di olah dari hasil rata-rata setiap satu jam dalam 1 hari

mulai dari pukul 00.00-23.00 sehingga di dapatkan hasil rata-rata per hari yang dijadikan bahan analisis dalam penulisan ini.

Data-data operasi harian yang di ambil dari generator unit 2 tersebut terdiri dari, daya aktif generator (MW), daya reaktif generator (MVAR), tegangan generator (KV), frekuensi generator (HZ), arus generator (I), factor daya (COS PHI), arus eksitasi (If) dan tegangan eksitasi (V). Berikut adalah data rata-rata operasi harian PLTU Kaltim Teluk.

Tabel 1 Data operasi harian 8 september - 7 oktober 2019
Variabel Generator

TANGGAL	Daya aktif (MW)	Daya reaktif (MVAR)	Tegangan output generator (kV)	Frekuensi generator (hz)	Arus output generator (A)	Faktor daya	Arus Eksitasi (A)	Tegangan eksitasi (V)
08-09-2019	1.62	1.72	1.82	50.15	100.54	0.62	80.15	11.08
09-09-2019	52.61	15.55	13.97	50.06	2199.86	0.95	742.40	104.21
10-09-2019	68.53	14.87	14.07	50.03	2778.88	0.98	805.62	113.35
11-09-2019	85.50	16.56	14.06	50.08	3486.14	0.98	894.95	126.81
12-09-2019	90.05	17.63	14.05	50.02	3685.22	0.98	924.74	131.31
13-09-2019	89.94	18.12	14.05	50.09	3685.40	0.98	925.92	131.50
14-09-2019	89.99	17.61	14.11	50.12	3686.28	0.98	924.82	131.34
15-09-2019	90.01	18.29	14.13	50.09	3690.08	0.98	929.40	132.06
16-09-2019	90.02	29.32	14.13	50.05	3855.09	0.95	997.09	142.50
17-09-2019	89.99	23.70	14.11	50.05	3782.64	0.96	962.74	137.21
18-09-2019	90.74	27.86	14.10	50.04	3869.88	0.95	990.48	141.46
19-09-2019	90.86	26.89	14.10	50.05	3854.64	0.96	984.30	140.49
20-09-2019	90.87	30.23	14.11	50.05	3889.24	0.95	1004.63	143.72
21-09-2019	90.94	24.90	14.09	49.99	3832.47	0.96	974.07	139.02
22-09-2019	90.89	25.07	14.11	50.02	3853.79	0.96	975.87	139.34

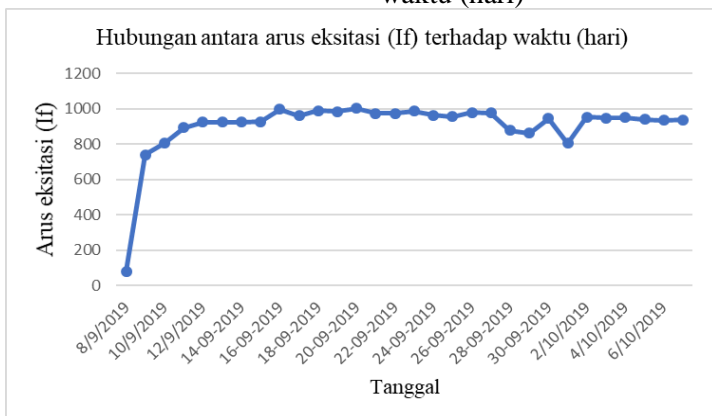
Tabel 2 Data operasi harian 8 september - 7 oktober 2019 (lanjutan)

23-09-2019	91.12	27.35	14.14	50.11	3860.82	0.95	988.56	141.37
24-09-2019	91.05	23.27	14.10	50.03	3810.20	0.97	964.79	137.66
25-09-2019	90.76	22.43	14.10	50.07	3792.05	0.97	957.99	136.65
26-09-2019	89.86	26.27	14.16	50.01	3785.32	0.95	979.30	140.05
27-09-2019	86.00	29.13	14.21	50.10	3665.17	0.95	976.87	139.62
28-09-2019	71.48	23.00	14.12	50.05	3080.39	0.94	878.21	124.51
29-09-2019	75.44	18.40	14.07	50.07	3175.62	0.97	862.67	122.24
30-09-2019	87.40	22.84	14.11	50.02	3655.59	0.97	945.40	134.89
01-10-2019	64.64	16.68	14.10	50.06	2711.33	0.96	804.95	113.48
02-10-2019	90.27	21.98	14.10	50.02	3755.83	0.97	952.97	135.91
03-10-2019	90.47	20.84	14.11	50.03	3771.08	0.97	948.21	135.25
04-10-2019	90.18	21.95	14.12	50.06	3758.77	0.97	952.33	136.14
05-10-2019	88.27	21.99	14.02	50.07	3730.44	0.97	941.61	134.56
06-10-2019	90.82	18.63	14.04	50.06	3789.72	0.98	935.64	133.58
07-10-2019	90.94	20.03	14.04	50.31	3812.09	0.98	938.68	133.98

III.1 Hubungan antara data operasi harian keluaran generator dan sistem eksitasi terhadap waktu

Tabel 1 merupakan tabel data operasi harian sistem eksitasi yang akan di jadikan bahan analisis untuk mengetahui hubungan karakteristik sistem eksitasi pada data tersebut terhadap waktu. Analisis yang pertama ialah analisis data pada setiap variabel terhadap waktu (hari) dan analisis yang kedua adalah perbandingan tegangan eksitasi dan daya aktif terhadap hari libur dan hari kerja. untuk mengetahui hubungan dari setiap variabel terhadap waktu maka dibuat grafik sebagai berikut.

A. Hubungan antara arus eksitasi (If) terhadap waktu (hari)



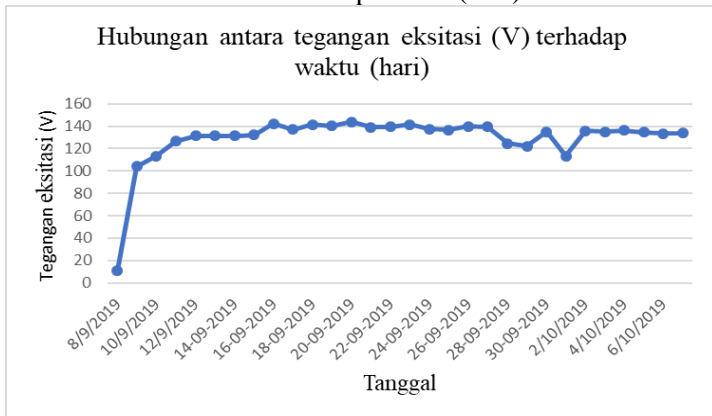
Gambar 5 Grafik hubungan antara arus eksitasi (If)

terhadap waktu (hari)

Dilihat dari grafik hubungan antara rata-rata arus eksitasi terhadap waktu menunjukkan setiap harinya nilai eksitasi berada pada kisaran nilai 800-1000 A, setiap harinya ada perubahan nilai eksitasi yang terjadi dan itu adalah hal yang sangat wajar di karenakan arus eksitasi sangat bergantung pada keluaran tegangan generator setiap waktunya sehingga jika setiap harinya permintaan tegangan generator berbeda maka arus eksitasi juga akan ikut berubah sehingga bisa di katakana berdasarkan grafik arus eksitasi setiap harinya pada grafik di atas bahwa arus eksitasi akan berbanding lurus dengan tegangan pada generator dan juga daya aktif dan reaktif yang di keluarakn oleh generator setiap waktu.

Permintaan beban yang berbeda-beda setiap harinya juga menyebabkan grafik antara arus eksitasi dan waktu tidak stabil karena besarnya arus eksitasi juga mengikuti besar kecilnya beban yang di tanggung oleh setiap daya.

B. Hubungan antara tegangan eksitasi (V) terhadap waktu (hari)

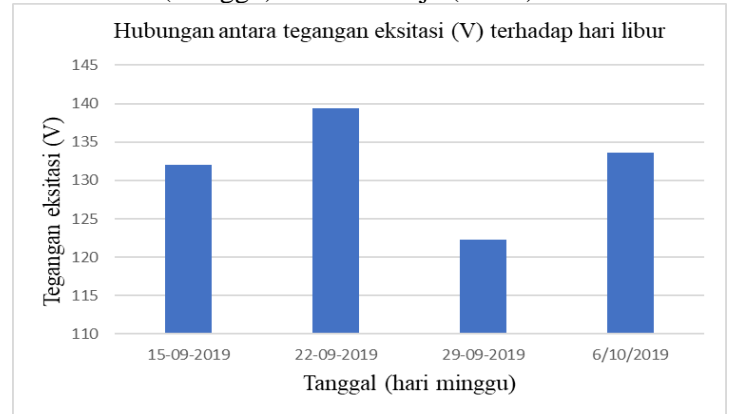


Gambar 6 Grafik hubungan antara tegangan eksitasi (V) terhadap waktu (hari)

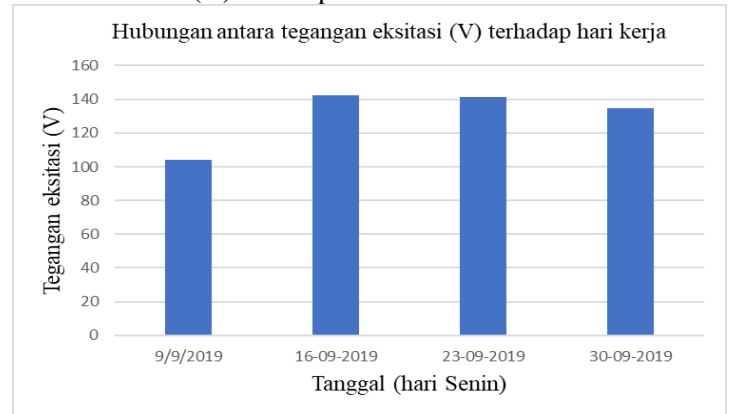
Setelah data tegangan eksitasi pada setiap jam di rata-rata dan didapatkan data perhari lalu selanjutnya di buat grafik hubungan antara waktu terhadap tegangan eksitasi, bisa dilihat pada gambar grafik 6 bahwa besar nilai tegangan eksitasi setiap harinya berkisar antara 100-140 V. besarnya nilai yang berbeda setiap harinya ini di sebabkan karena permintaan *supply* eksitasi yang berbeda-beda pula untuk menjaga agar tegangan keluaran dari generator tetap stabil sehingga hal itu yang menyebabkan setiap harinya nilai tegangan eksitasi berbeda-beda.

Nilai tegangan eksitasi terbesar adalah sebesar 143.72 yang berada pada tanggal 20-09-2019 besarnya nilai tegangan eksitasi ini berbanding lurus dengan besarnya nilai keluaran setiap variabel pada generator, maka bisa dikatakan bahwa besarnya nilai tegangan eksitasi sangat berpengaruh terhadap keluaran nilai generator sehingga besarnya nilai *supply* tegangan eksitasi harus selalu di jaga setiap waktunya.

C. Hubungan analisis perbandingan antara tegangan eksitasi (V) terhadap hari libur (Minggu) dan hari kerja (Senin)



Gambar 7 Grafik hubungan antara tegangan eksitasi (V) terhadap hari libur

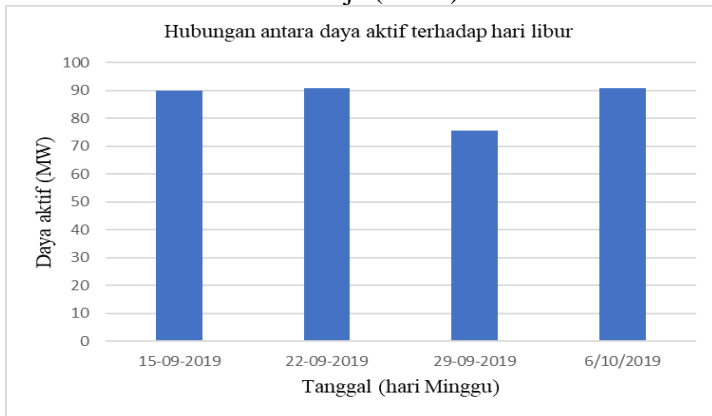


Gambar 8 Grafik hubungan antara tegangan eksitasi (V) terhadap hari kerja

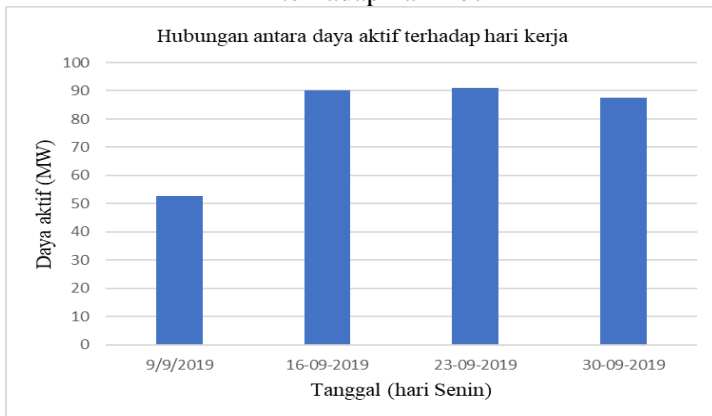
Setelah dibuat 2 grafik sebagai perbandingan seperti gambar 7 dan 8 yaitu grafik Hubungan antara tegangan eksitasi terhadap hari libur (hari Minggu) dan grafik Hubungan antara tegangan eksitasi terhadap hari kerja (hari Senin) maka bisa dilihat bahwa tidak ada perbedaan tegangan eksitasi yang sangat signifikan antara hari kerja dan hari libur sebagai contoh pada tanggal 22-09-2019 pada hari minggu tegangan eksitasi sebesar 139.34 V dan dan pada hari kerja yaitu hari senin pada tanggal 23-09-2019 tegangan eksitasi yang keluar adalah sebesar 141.37.

Dari perbandingan anatar hari libur dan hari kerja tersebut hanya ada selisih tegangan yang kecil yaitu sebesar 2.03 V maka bisa di katakan bahwa hari libur dan hari kerja tidak berpengaruh terhadap besarnya keluaran tegangan ekitasi di karenakan generator memang harus selalu mengeluarkan tegangan yang stabil sebagai salah satu syarat untuk sinkronisasi generator setiap waktunya.

D. Hubungan analisis perbandingan antara daya aktif terhadap hari libur (Minggu) dan hari kerja (Senin)



Gambar 9 Grafik hubungan antara daya aktif (MW) terhadap hari libur



Gambar 10 Grafik hubungan antara daya aktif (MW) terhadap hari libur

Setelah dibuat 2 grafik perbandingan antara daya aktif terhadap waktu libur dan daya aktif terhadap hari kerja bisa dilihat dari grafik tersebut bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara daya aktif yang keluar saat hari kerja (Senin) dan hari libur (Minggu). Sebagai contoh saat tanggal 15-09-2019 daya aktif yang keluar dari generator sebesar 90.01 MW dan daya aktif yang keluar saat hari kerja yaitu tanggal 16-09-2019 adalah 90.02 hanya ada perbedaan yang sangat sedikit yaitu sebesar 0.01 MW.

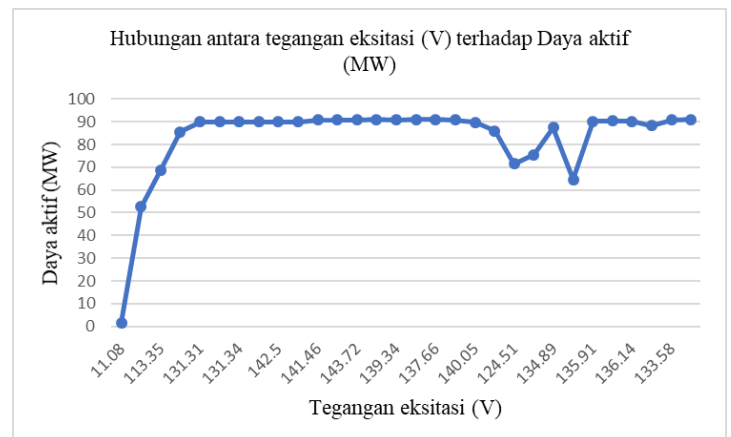
Bisa di katakan bahwa berdasarkan selisih daya aktif yang sedikit tersebut maka tidak ada pengaruh daya aktif yang keluar dari generator unit 2 pada PLTU Kaltim Teluk terhadap hari kerja dan hari libur karna sebagian besar pasokan listrik atau beban yang berada di kota Balikpapan Kalimantan timur adalah beban-beban untuk rumah dan sedikit untuk industry sehingga daya yang keluar setiap harinya hampir sama, tidak ada perbedaan yang menunjukkan bahwa saat hari libur daya yang keluar lebih kecil dari pada hari kerja karna saat hari libur

beban-beban yang bekerja sangat sedikit seperti di perkantoran dan di industry, ternyata hal yang terjadi adalah walaupun saat hari libur tetapi tetap ada beberapa beban tetap bekerja seperti hari -hari biasanya.

III.2 Hubungan antara variabel sistem eksitasi terhadap variabel keluaran generator

Berdasarkan Tabel 1 yang merupakan tabel data operasi harian sistem eksitasi yang akan di jadikan bahan analisis untuk mengetahui hubungan karakteristik antara variabel sistem eksitasi terhadap variabel keluaran generator. Analisis yang pertama ialah analisis data pada tegangan eksitasi (V) terhadap data keluaran generator dan analisis yang kedua adalah perbandingan arus eksitasi (A) terhadap data variabel keluaran generator unit 2. Untuk mengetahui hubungan antara variabel eksitasi terhadap variabel keluatan generator sonkron unit 2 pada PLTU Kaltim Teluk maka di buat grafik hubungan seperti di bawah ini.

A. Hubungan antara tegangan eksitasi (V) terhadap daya aktif (MW)



Gambar 11 Grafik hubungan antara tegangan eksitasi (V) terhadap Daya aktif (MW)

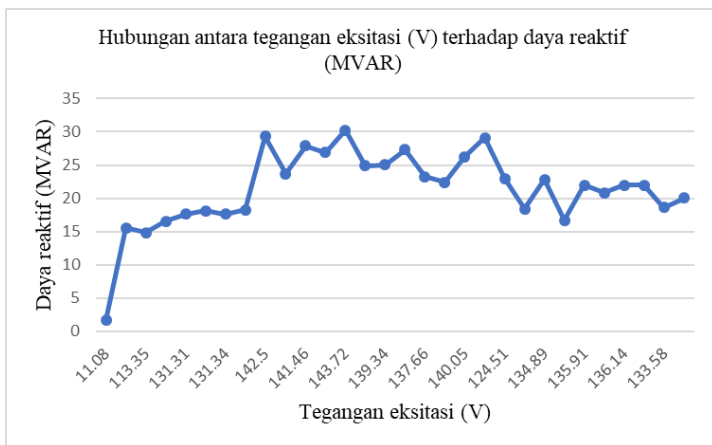
Berdasarkan gambar grafik 11 hubungan antara tegangan eksitasi terhadap daya aktif setiap harinya selama 30 hari seperti di atas bahwa berubahnya arus eksitasi juga akan berpengaruh kepada besarnya nilai daya aktif yang keluar dari generator dilihat dari grafik di atas bahwa semakin besar tegangan eksitasi maka daya aktif juga semakin besar atau bisa di katakan nilai tegangan eksitasi berbanding lurus dengan daya aktif (MW).

Sebagai pembuktian nilai eksitasi terbesar adalah 143.72 V dan nilai daya aktif nya adalah 90.87 MW sedangkan nilai tegangan eksitasi terkecil adalah sebesar 11.08 V dengan keluaran daya aktif dari

generator sebesar 1.06 MW. Sebenarnya secara umum besar kecilnya tegangan eksitasi yang di atur tidak berpengaruh atau tidak bergantung kepada besar kecilnya daya aktif yang akan keluar dari generator sebab pengaturan tegangan eksitasi hanya sangat berpengaruh kepada besar tegangan keluaran dari generator sinkron.

Berdasarkan grafik di atas bisa di analisis dan dibuktikan bahwa semakin besar nilai eksitasi yang di berikan maka daya aktif juga akan besar mengikuti besar kecilnya nilai tegangan eksitasi. Besar kecilnya daya aktif yang keluar akan menyebabkan berubahnya fluktuasi tegangan keluaran generator sehingga untuk menjaga tegangan keluaran generator agar tetap sinkron pada jaringan maka tegangan eksitasi harus selalu di jaga.

B. Hubungan antara tegangan eksitasi (V) terhadap daya reaktif (MVAR)



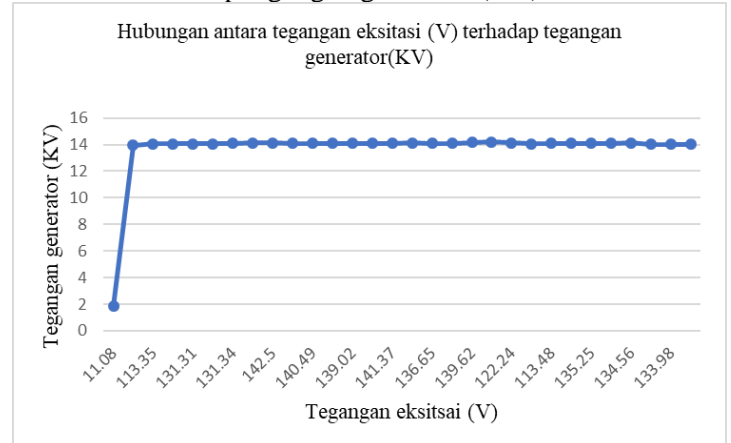
Gambar 12 Grafik hubungan antara tegangan eksitasi (V) terhadap daya reaktif (MVAR)

Pada grafik di atas di lihat grafik hubungan antara tegangan eksitasi (V) terhadap daya reaktif (MVAR) dilihat bentuk grafiknya yang naik turun atau tidak stabil maka bisa di katakan berubahnya nilai tegangan eksitasi setiap waktunya juga menyebabkan berubah juga nilai pada daya reaktif berdasarkan grafik di atas terlihat fluktuasi yang terjadi antara tegangan eksitasi terhadap daya reaktif tidak berbanding lurus hal ini wajar karena permintaan daya reaktif untuk mensuply beban induktif sangat berbeda-beda besarnya setiap waktu dan tegangan eksitasi yang keluar tidak sepenuhnya untuk mensupply daya reaktif karna tegangan eksitasi harus sepenuhnya mengontrol tegangan yang keluar dari generator.

Sehingga berdasarkan grafik di atas maka daya reaktif tidak bergantung kepada tegangan eksitasi melainkan bergantung kepada beban induktif yang di tanggung oleh generator pada PLTU Kaltim Teluk. Dalam 30 hari grafik di atas dilihat tegangan

eksitasi tertinggi adalah 143.72 V dengan daya reaktif yang keluar pada hari yang sama sebesar 30.23 MVAR dan daya reaktif terkecil sebesar 1.72 MVAR

C. Hubungan antara tegangan eksitasi (V) terhadap tegangan generator (KV)

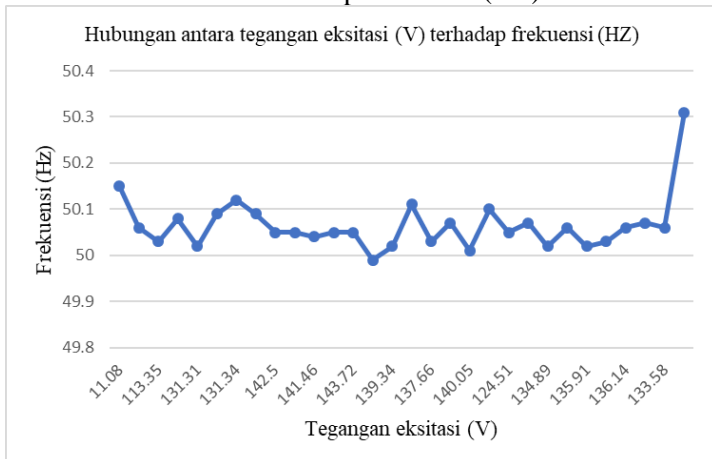


Gambar 13 Grafik hubungan antara tegangan eksitasi (V) terhadap tegangan generator (KV)

Setelah grafik hubungan antara tegangan eksitasi (V) terhadap tegangan keluaran generator (KV) di buat maka bisa dilihat dari gambar grafik 13 berbentuk garis lurus dan tidak menunjukkan adanya fluktuasi tegangan itu berarti tegangan eksitasi sama dengan tegangan keluaran generator atau saling berbanding lurus. Hal itu menunjukkan bahwa tegangan eksitasi yang berada di PLTU kaltim teluk pada generator unit 2 ini performanya sudah bagus di buktikan dengan stabilnya tegangan yang keluar dari generator yaitu di sekitaran 13-14 KV sesuai dengan *name plate* pada generator yaitu sebesar 13,8 KV dan juga menjaga stabilnya nilai tegangan keluaran generator ini menjadi bagian untuk menjaga sinkronisasi jaringan pada sistem.

Tegangan eksitasi memang sangat berpengaruh kepada tegangan yang akan keluar pada generator sehingga untuk menjaga nilai keluaran generator maka harus mengatur atau bisa di atur melalui system eksitasi. Jika tegangan pada generator drop atau di bawah batas normal maka harus menaikkan nilai masukan pada system eksitasi sehingga nilai keluaran generator juga akan ikut naik begitujuga sebaliknya jika tegangan terlalu tinggi maka system eksitasi bisa menurunkan tegangan eksitasinya dan tegangan keluaran generator juga otomatis akan ikut turun karna pada sistem eksitasi terdapat AVR (*Automatic voltage regulator*) yang berguna untuk mengatur besarnya tegangan arus searah (DC) yang akan masuk ke generator.

D. Hubungan antara tegangan eksitasi (V) terhadap frekuensi (HZ)

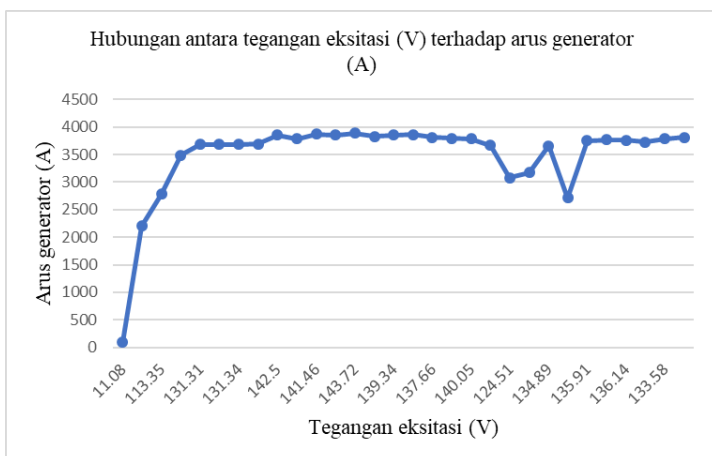


Gambar 14 Grafik hubungan antara tegangan eksitasi (V) terhadap frekuensi (HZ)

Setelah di buat grafik hubungan antara tegangan eksitasi (V) terhadap frekuensi (HZ) seperti gambar 14 bisa dilihat bahwa terjadi fluktuasi atau tidak stabil dilihat dengan naik turunnya nilai frekuensi yang ada namun berada di kisaran sebesar 50 Hz. Ini berarti tidak ada hubungan antara tegangan eksitasi terhadap frekuensi pada generator sinkron karena tidak ada data yang menunjukkan jika tegangan eksitasi nilainya besar maka frekuensi generator juga akan besar begitu pula sebaliknya.

Frekuensi nilainya harus selalu di jaga sebesar 50 Hz sesuai dengan name plate yang ada pada generator unit 2 di PLTU Kaltim Teluk sehingga untuk menjaga frekuensi yang keluar dari generator maka harus menjaga atau mengatur putaran pada rotor. Sehingga rotor pada generator harus berputar stabil sesuai dengan putaran yang di haruskan pada generator sinkron di PLTU Kaltim Teluk yaitu sebesar 3000 Rpm.

E. Hubungan antara tegangan eksitasi (V) terhadap Arus generator (A)

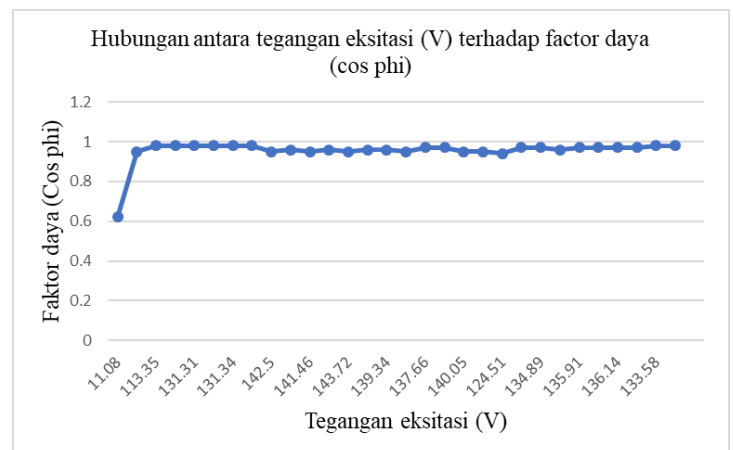


Gambar 15 Grafik hubungan antara tegangan eksitasi (V) terhadap arus generator (A)

Berdasarkan data table 1 mengenai data operasi harian generator sinkron PLTU Kaltim Teluk lalu di ambil data tegangan eksitasi dan arus generator atau arus jangkar kemudian di buat grafik hubungan antara keduanya untuk mempermudah dalam proses penganalisaan seperti gambar grafik 15.

Berdasarkan gambar grafik hubungan 15 antara tegangan eksitasi (V) terhadap arus generator (A), bahwa nilai tegangan eksitasi tertinggi adalah 143.72 V dengan arus generator sebesar 3889.24 A dan tegangan eksitasi terkecil adalah 11.08V dan arusnya adalah 100.54 A. berdasarkan nilai terbesar dan terkecil dari tegangan eksitasi tersebut menunjukkan juga bahwa nilai arus generatonya juga ikut besar dan kecil itu berarti nilai tegangan eksitasi berbanding lurus dengan nilai arus generator yang di buktikan dengan bentuk grafik di atas yang tidak menunjukkan adanya fluktuasi antara kedua variabel tersebut.

F. Hubungan antara tegangan eksitasi (V) terhadap factor daya (cos phi)



Gambar 16 Grafik hubungan antara tegangan eksitasi (V) terhadap factor daya (cos phi)

Berdasarkan data table operasi harian 1 dan kemudian di buat gambar grafik 16, maka dapat dilihat pada grafik bahwa grafik menunjukkan garis lurus dan hampir tidak ada fluktuasi antara tegangan eksitasi terhadap factor daya dari generator, dengan di buktikan dari nilai cos phi yang besarnya stabil di kisaran antara 0.9-0.98. yang mana pada setiap keluaran tegangan eksitasi di ikuti besarnya nilai factor daya yang selalu stabil sesuai parameter dari name plate yaitu 0.9.

Nilai factor daya tertinggi adalah sebesar 0.98 di ikuti dengan nilai tegangan eksitasi yang tinggi juga di beberapa hari sesuai tabel data operasi 1. Hal ini menunjukkan bahwa PLTU Kaltim Teluk selain selalu menjaga nilai tegangan eksitasi selalu stabil

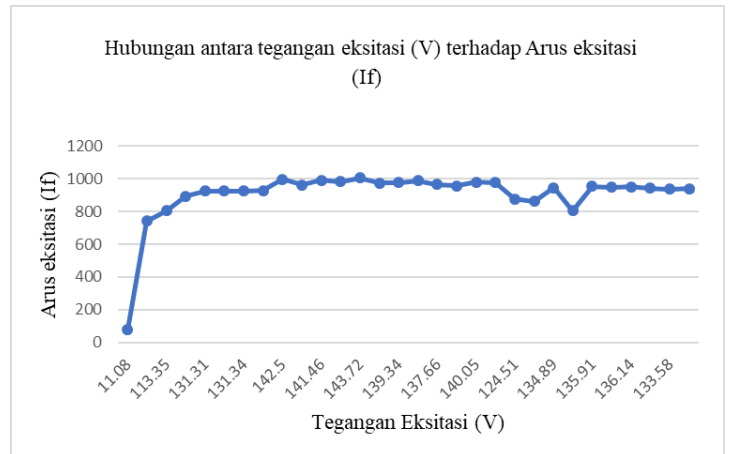
tetapi juga menjaga nilai factor daya yang keluar dari generator agar tetap konstan berada di kisaran angka 0.9 atau mendekati 1 dan bisa dikatakan performa generator sinkron bekerja dalam keadaan stabil, di mana nilai factor dayanya mendekati angka 1 yang diikuti dengan besarnya nilai tegangan eksitasi yang keluar juga.

Seharusnya di luar dari nilai tegangan eksitasi, PLTU Kaltim Teluk memang harus selalu menjaga nilai factor daya mendekati angka 1 di karenakan factor daya merupakan besaran yang menyatakan besarnya jaringan yang dimiliki dalam proses menyalurkan daya yang mana daya tersebut bisa dimanfaatkan oleh konsumen. Dalam arti lain semakin bagus atau semakin mendekati angka 1 nilai factor dayanya maka semakin banyak daya aktif yang bisa disalurkan dan dipakai oleh konsumen.

Pada grafik di atas menunjukkan adanya beberapa perbedaan antara tegangan eksitasi terhadap factor daya dimana saat factor daya tinggi namun nilai tegangan eksitasinya tidak ikut naik begitu pula sebaliknya hal itu merupakan hal yang wajar di karenakan adanya perubahan nilai pembebanan atau beban yang ditanggung oleh generator berubah-ubah yang menyebabkan nilai factor daya menjadi tidak stabil.

Walaupun dalam keadaan tersebut generator masih tetap bekerja dengan baik dan stabil di karenakan ketika system seperti generator sudah tersinkronisasi terhadap jaringan, maka system yang lain akan ikut melayani beban dan tegangan eksitasi akan menyesuaikan nilai pembebanan yang nantinya juga akan mempengaruhi nilai factor daya. Ketika permintaan beban meningkat maka nilai dari tegangan eksitasi juga akan diperbesar yang mana rotor pada generator juga akan ditingkatkan putarannya, sehingga tegangan dan daya generator yang dihasilkan akan meningkat dan nilai factor daya akan mendekati angka 1.

G. Hubungan antara tegangan eksitasi (V) terhadap Arus eksitasi (If)

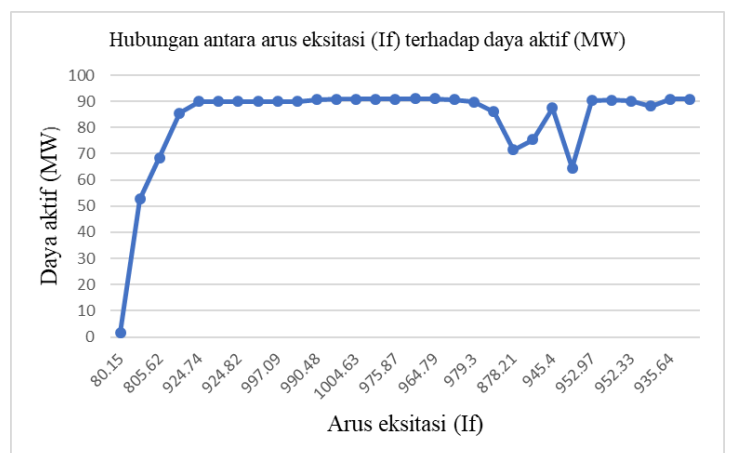


Gambar 17 Grafik hubungan antara tegangan eksitasi (V) terhadap Arus eksitasi (If)

Berdasarkan gambar grafik 17 menunjukkan bahwa hubungan antara tegangan eksitasi terhadap arus eksitasi berbanding lurus yang dibuktikan dengan jika nilai tegangan eksitasi besar maka nilai arus eksitasi juga harus ikut besar begitu pula sebaliknya. Nilai arus eksitasi terbesar adalah sebesar 1004.63 A diikuti dengan besarnya nilai tegangan eksitasi yang paling besar juga yaitu sebesar 143.72 V. Nilai kedua variabel tersebut sudah sangat membuktikan bahwa nilai tegangan eksitasi berbanding lurus dengan nilai arus eksitasi.

Hal ini menunjukkan berarti sistem eksitasi pada generator PLTU Kaltim Teluk dalam performa yang bagus karena kedua nilai variabel tersebut memang harus selalu di jaga agar berbanding lurus nilainya. Dengan stabilnya nilai tegangan eksitasi dan arus eksitasi yang dialirkan ke rotor generator maka generator akan mengeluarkan tegangan AC yang stabil yang sesuai dengan parameter yang berada pada generator yaitu sebesar 13.8 KV.

H. Hubungan antara arus eksitasi (If) terhadap daya aktif (MW)



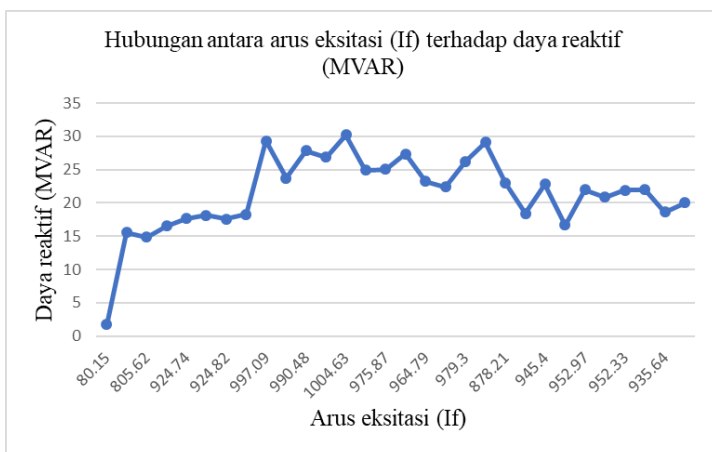
Gambar 18 Grafik hubungan antara arus eksitasi (If) terhadap daya aktif (MW)

Berdasarkan grafik hubungan antara arus eksitasi terhadap daya aktif seperti gambar grafik 18 terlihat bahwa dengan berubahnya nilai arus eksitasi pada generator, maka akan terlihat perubahan hubungan garis grafik antara arus eksitasi terhadap daya aktif yang di keluarkan oleh generator seperti grafik di atas. Nilai daya aktif tertinggi adalah 91.12 MW dan arus eksitasinya adalah sebesar 988.56 A sedangkan daya aktif terkecil adalah sebesar 1.72 MW dan arus eksitasinya adalah 80.15 A.

Kecilnya nilai keluran daya aktif yang diikuti pula dengan kecilnya nilai arus eksitasi ini adalah karena generator pada tanggal tersebut baru saja selesai *overhaul*, sehingga generator belum tersinkronisasi dengan jaringan yang menyebabkan generator belum bisa membebani beban yang ada sehingga masih mengeluarkan daya aktif yang sangat kecil dari putaran rotor pada generator. Begitupula dengan arus eksitasinya karena tegangan generator belum bisa sinkron maka arus yang keluar hanya sedikit.

Berdasarkan grafik di atas bisa dilihat bahwa hubungan antara arus eksitasi terhadap daya aktif adalah berbanding lurus karena semakin besar daya aktif yang keluar dari generator maka semakin besar juga nilai arus eksitasi yang di *supply* ke generator sinkron. Ikut naiknya nilai arus eksitasi ini di lakukan untuk tetap menjaga nilai tegangan generator agar tetap stabil walaupun daya aktif nya berubah-ubah. Naik turunnya daya aktif yang keluar dari generator di sebabkan oleh besarnya pembebanan yang selalu berbeda-beda setiap waktu dari kebutuhan daya aktif konsumen.

I. Hubungan antara arus eksitasi (If) terhadap daya reaktif (MVAR)



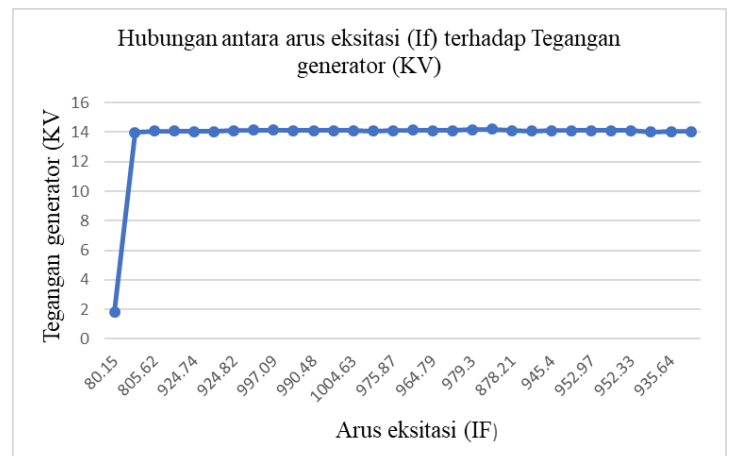
Gambar 19 Grafik hubungan antara arus eksitasi (If) terhadap daya reaktif (MVAR)

Dapat dilihat pada grafik hubungan antara daya aktif terhadap arus eksitasi seperti gambar 19. Grafik tersenut menunjukkan bahwa terjadi fluktuasi

anta kedua nilai variabel tersebut yang di buktikan dengan naik turunnya grafik karena nilai daya reaktif yang selalu berubah ubah sesuai dengan kebutuhan beban induktif yang tanggung oleh generator sinkron. Nilai terbesar dari daya reaktif adalah 30.23 MVAR di ikuti dengan nilai arus eksitasi yang terbesar pada hari yang sama yaitu sebesar 1004.63 A, sedangkan nilai daya reaktif terkecil sebesar 1.72 MVAR dan nilai arus eksitasinya juga kecil yaitu sebesar 80.15 A.

Hal ini berarti hubungan antara daya reaktif terhadap arus eksitasi adalah berbanding lurus di karenakan semakin tinggi nilai daya reaktif maka nilai arus eksitasi juga akan meningkat begitu pula sebaliknya. Daya reaktif juga di butuhkan dalam sistem eksitasi untuk mensuplai medan magnet pada rotor generator agar nantinya bisa memicu proses reaksi jangkar pada stator dan menghasilkan GGL induksi.

J. Hubungan antara arus eksitasi (If) terhadap Tegangan generator (KV)



Gambar 20 Grafik hubungan antara arus eksitasi (If) terhadap Tegangan generator (KV)

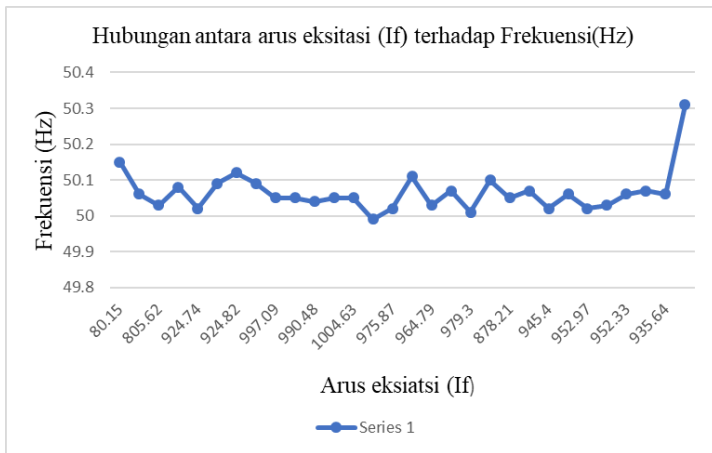
Berdasarkan grafik hubungan antara arus eksitasi terhadap Tegangan generator (K) seperti gambar grafik 20 terlihat bahwa dengan berubahnya nilai arus eksitasi pada generator, maka akan terlihat perubahan hubungan garis grafik antara arus eksitasi terhadap Tegangan generator yang di hasilkan oleh generator seperti grafik di atas. Nilai Tegangan generator tertinggi adalah 14.21 KV dan arus eksitasinya adalah sebesar 976.87 A sedangkan tegangan generator terkecil adalah sebesar 1.82 KV dan arus eksitasinya adalah 80.15 A.

Bisa di analisis berdasarkan grafik di atas berarti nilai hubungan antara tegangan keluaran generator terhadap arus eksitasi berbanding lurus yang di buktikan dengan semakin besar nilai tegangan generator maka nilai arus eksitasi juga akan ikut

besar, begitu pula sebaliknya. Ini berarti sistem eksitasi pada generator sinkron performanya bagus karena nilai arus eksitasi yang di supply ke generator bisa menjaga nilai tegangan keluaran generator tetap stabil sesuai parameter yang ada pada nameplate yaitu sebesar 13.8 KV.

Namun yang terlihat pada tabel operasi harian 1 menunjukkan nilai tegangan yang berada di atas angka 13.8, itu sangat baik itu berarti PLTU Kaltim Teluk selalu menjaga nilai keluaran tegangan generator sinkron unit 2 ini agar tetap stabil supaya sistem selalu tersinkronisasi dengan jaringan.

K. Hubungan antara arus eksitasi (If) terhadap Frekuensi(Hz)



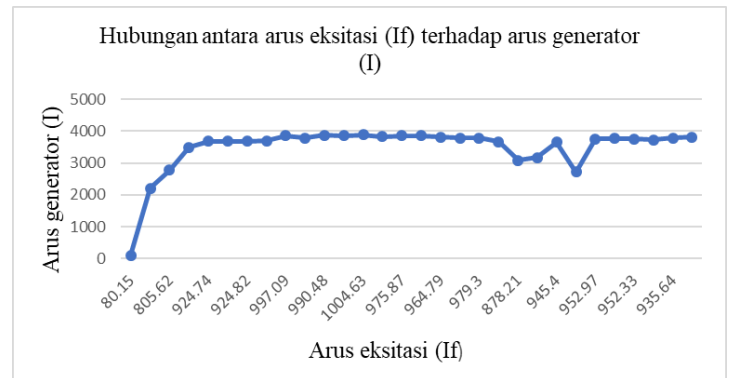
Gambar 21 Grafik hubungan antara arus eksitasi (If) terhadap Frekuensi(Hz)

Setelah di dapatkan data arus eksitasi (If) dan frekuensi generator (HZ) maka bisa dibuat grafik hubungan antara kedua variabel tersebut seperti gambar grafik 21 di atas. Nilai frekuensi tertinggi berada pada angka 50.31 Hz dengan nilai arus eksitasinya sebesar 938.68 A dan nilai frekuensi terendah yaitu 50.01 dan besar nilai arus eksitasinya adalah 979.30 A hal ini berarti semakin besarnya nilai frekuensi tidak di ikuti dengan besarnya nilai arus eksitasi, begitu pula sebaliknya.

Dengan berubahnya nilai arus eksitasi dan nilai frekuensi maka bisa dilihat hubungannya seperti di atas bahwa, bahwa nilai frekuensi selama 30 hari selalu di jaga agar mendekati nilai 50 Hz sesuai dengan nilai dari PLN untuk frekuensi yaitu sebesar ± 0.5 dari 50 Hz. Sehingga besarnya nilai arus eksitasi tidak berpengaruh terhadap besarnya nilai frekuensi generator. Untuk menjaga nilai frekuensi tetap stabil maka perlu menjaga putaran dari rotor generator setiap waktu karena berubahnya nilai putaran rotor bisa menyebabkan nilai frekuensi berubah begitupula sebaliknya. Dengan bagus dan stabilnya nilai frekuensi maka bisa di katakan

kualitas listrik yang di dihasilkan oleh generator PLTU Kaltim Teluk sangat baik.

L. Hubungan antara arus eksitasi (If) terhadap arus generator (I)

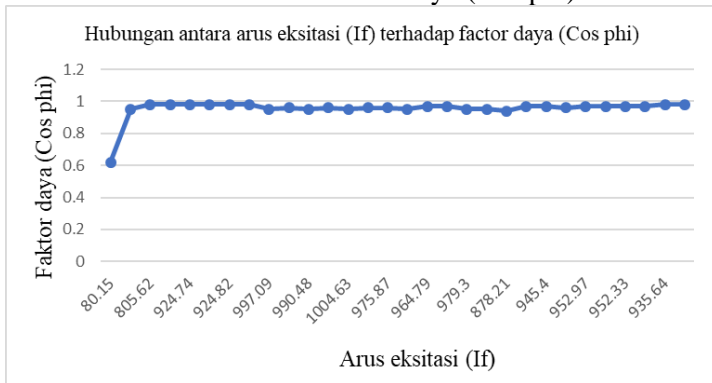


Gambar 22 Grafik hubungan antara arus eksitasi (If) terhadap arus generator (I)

Berdasarkan grafik hubungan antara arus eksitasi (If) terhadap arus generator (I), bahwa berubahnya nilai arus eksitasi maka bisa terlihat pengaruh hubungan antara kedua variabel tersebut. Dilihat dari gambar grafik 22 bahwa tidak terjadi perubahan atau fluktuasi yang signifikan antara arus generator dan arus eksitasi itu karena semakin besar nilai arus generator yang keluar maka diikuti dengan besarnya nilai arus eksitasi yang besar pula, begitu pula sebaliknya semakin kecil nilai arus generator maka nilai arus eksitasi juga kecil. Hal ini di buktikan dengan nilai arus generator terbesar adalah 3889.24 A dan nilai eksitasinya juga yang paling besar dalam 30 hari yaitu sebesar 1004.63 A sedangkan nilai arus generator yang paling kecil yaitu sebesar 100.54 A dan nilai arus eksitasinya juga kecil yaitu sebesar 80.15, hal ini sudah membuktikan bahwa hubungan antara arus generator dan arus eksitasi berbanding lurus.

Berubah-ubahnya nilai arus generator ini di sebabkan oleh permintaan beban yang berubah-ubah juga setiap waktunya sehingga arus harus mengikuti permintaan beban tersebut, sedangkan berubah-ubahnya nilai arus eksitasi di sebabkan karena permintaan untuk mengatur nilai tegangan keluaran generator agar tetap stabil.

M. Hubungan antara arus eksitasi (If) terhadap factor daya (Cos phi)



Gambar 23 Grafik hubungan antara arus eksitasi (If) terhadap factor daya (Cos phi)

berdasarkan tabel 1 tentang data operasi harian generator sinkron unit 2 pada PLTU Kaltim Teluk lalu di ambil data arus eksitasi (If) dan factor daya (cos phi) kemudian di buat grafik hubungan antara kedua variabel tersebut seperti gambar grafik 23 di atas. Berdasarkan grafik di atas maka berubahnya nilai factor daya dan arus eksitasi maka akan terlihat pengaruh hubungan antara keduanya.

Nilai factor daya tertinggi adalah sebesar 0.98 di ikuti dengan nilai arus eksitasi yang tinggi juga di beberapa hari sesuai table data operasi 4.1 di atas. Hal ini menunjukkan bahwa PLTU Kaltim Teluk selain selalu menjaga nilai arus eksitasi selalu stabil tetapi juga menjaga nilai factor daya yang keluar dari generator agar tetap konstan berada di kisar angka 0.9 atau mendekati 1 dan bisa di katakana performa generator sinkron bekerja dalam keadaan stabil, di mana nilai factor dayanya mendekati angka 1 yang di ikuti dengan besarnya nilai tegangan eksitasi yang keluar juga.

Seharusnya di luar dari nilai arus eksitasi, PLTU Kaltim Teluk memang harus selalu menjaga nilai factor daya mendekati angka 1 di karenakan factor daya merupakan besaran yang menyatakan besarnya jaringan yang di miliki dalam proses menyalurkan daya yang mana daya tersebut bisa di dimanfaatkan oleh konsumen. Dalam arti lain semakin bagus atau semakin mendekati angka 1 nilai factor dayanya maka semakin banyak daya aktif yang bisa di salurkan dan di pakai oleh konsumen.

Berdasarkan bentuk grafik di atas yang hampir berbentuk garis lurus itu berarti tidak terjadi perubahan atau fluktuasi yang signifikan karena kedua variable tersebut selalu di jaga besar nilai keluarannya yang mana agar factor daya bisa menghasilkan daya aktif yang tinggi dan nilai arus

eksitasi nantinya bisa menghasilkan tegangan generator yang stabil sehingga bisa dikatakan hubungan antara factor daya dan arus eksitasi adalah berbanding lurus antara satu sama lain.

III.3 prosentase Tegangan Supply Pada Generator Sinkron PLTU Kaltim Teluk

Analisis prosentase tegangan supply di lakukan untuk mengetahui seberapa banyak tegangan yang keluar dari generator berdasarkan *rated voltage* pada generator sinkron. Untuk mengetahui nilai prosentase tegangan sepply setiap harinya maka di gunakan rumus sebagai berikut

$$\% = \frac{V_{out\ Generator}}{Rated\ Voltage} \times 100\% \quad (5)$$

Setelah di dapatkan hasil dari perhitungan berdasarkan rumus di atas, lalu hasilnya di kurangi 100% agar nantinya di dapatkan hasil dari prosentase tegan supply apakah sesuai standar dari PLN dan ANSI atau tidak. Rated voltage yang di gunakan adalah sebesar 13.8 KV sesuai yang tertera pada *name plate* generator sinkron unit 2 PLTU Kaltim Teluk.

Berdasarkan tabel data operasi harian 1 maka dari tabel di lakukan perhitungan sebagai berikut

1. Data hari ke-1:

$V_{out\ generator} = 1.82\ KV = 1820\ V$
 $Rated\ voltage = 13.8\ KV = 13800\ V$
 Maka di peroleh

$$\begin{aligned} \% &= \frac{V_{out\ Generator}}{Rated\ Voltage} \times 100\% \\ &= \frac{1820}{13800} \times 100\% \\ &= 13.18\% \\ &= -86.82\% \text{ (kurang dari 100\%)} \end{aligned}$$

2. Data hari ke-2:

$V_{out\ generator} = 13.97\ KV = 13970\ V$
 $Rated\ voltage = 13.8\ KV = 13800\ V$
 Maka di peroleh

$$\begin{aligned} \% &= \frac{V_{out\ Generator}}{Rated\ Voltage} \times 100\% \\ &= \frac{13970}{13800} \times 100\% \\ &= 101.2\% \\ &= +1.95\% \text{ (lebih dari 100\%)} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya yaitu data hari ke-3 sampai dengan data hari ke-30 bisa di lanjutkan dengan menggunakan rumua yang sama seperti perhitungan di atas, kemudian setelah semua data selesai di hitung dan di dapatkan nilai prosentase tegangannya maka di buat table seperti di bawah ini

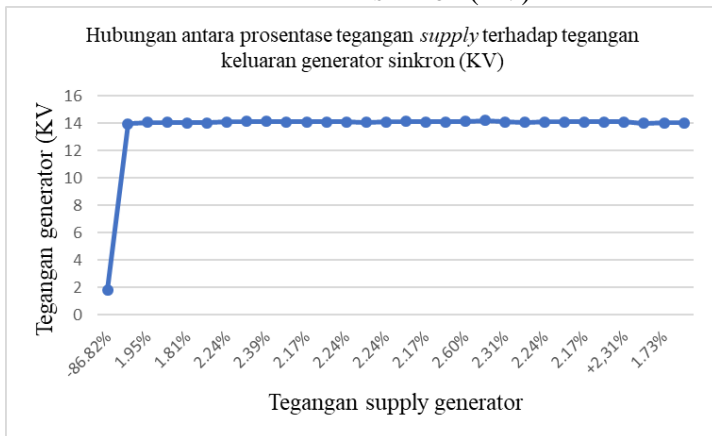
Tabel 2 Hasil perhitungan prosentase tegangan supply generator

Tanggal	Daya aktif (MW)	VOUT Generator (KV)	Prosentase tegangan supply	Tegangan eksitasi (V)
08-09-2019	1.62	1.82	-86.82%	11.08
09-09-2019	52.61	13.97	+1.23%	104.21
10-09-2019	68.53	14.07	+1.95%	113.35
11-09-2019	85.50	14.06	+1.88%	126.81
12-09-2019	90.05	14.05	+1.81%	131.31
13-09-2019	89.94	14.05	+1.81%	131.50
14-09-2019	89.99	14.11	+2.24%	131.34
15-09-2019	90.01	14.13	+2.39%	132.06
16-09-2019	90.02	14.13	+2.39%	142.50
17-09-2019	89.99	14.11	+2.24%	137.21
18-09-2019	90.74	14.10	+2.17%	141.46
19-09-2019	90.86	14.10	+2.17%	140.49
20-09-2019	90.87	14.11	+2.24%	143.72
21-09-2019	90.94	14.09	+2.10%	139.02
22-09-2019	90.89	14.11	+2.24%	139.34
23-09-2019	91.12	14.14	+2.46%	141.37
24-09-2019	91.05	14.10	+2.17%	137.66
25-09-2019	90.76	14.10	+2.17%	136.65
26-09-2019	89.86	14.16	+2.60%	140.05
27-09-2019	86.00	14.21	+2.97%	139.62
28-09-2019	71.48	14.12	+2.31%	124.51
29-09-2019	75.44	14.07	+1.95%	122.24
30-09-2019	87.40	14.11	+2.24%	134.89
01-10-2019	64.64	14.10	+2.17%	113.48
02-10-2019	90.27	14.10	+2.17%	135.91
03-10-2019	90.47	14.11	+2.24%	135.25
04-10-2019	90.18	14.12	+2,31%	136.14
05-10-2019	88.27	14.02	+1.59%	134.56
06-10-2019	90.82	14.04	+1.73%	133.58
07-10-2019	90.94	14.04	+1.73%	133.98

Seperti terlihat pada tabel 2 bahwa nilai prosentase tegangan supply generator sinkron unit 2 di PLTU Kaltim Teluk selalu dijaga agar generator dapat mengeluarkan tegangan yang stabil yang di tunjukan dengan nilai prosentase tegangan yang hampie setiap hari bernilai positive kecuali pada hari pertama yang nilainya negative karena kondisi generator yang belum tersinkron dengan sistem jaringan.

Untuk mempermudah proses analisis, maka selanjutnya dari table 2 di buat grafik hubungan antara prosentase tegangan supply terhadap tegangan keluaran generator sinkron (KV), prosentase tegangan supply generator terhadap daya aktif (MW) dan prosentase tegangan supply generator terhadap tegangan eksitasi (V).

A. Hubungan antara prosentase tegangan supply terhadap tegangan keluaran generator sinkron (KV)



Gambar 24 Grafik hubungan antara prosentase tegangan supply terhadap tegangan keluaran generator sinkron (KV)

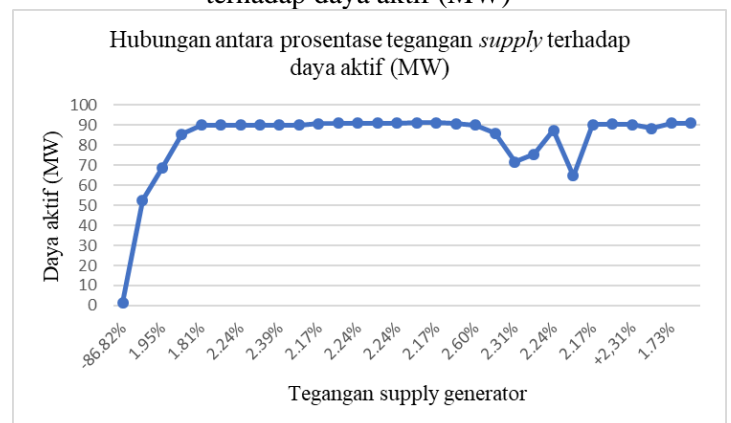
Setelah melakukan perhitungan terhadap prosentase tegangan supply generator sinkron pada PLTU Kaltim teluk selama 30 hari lalu selanjutnya di buat grafik hubungan antara prosentase tegangan supply terhadap keluaran tegangan generator sinkron. Berdasarkan gambar grafik 24 bahwa tidak ada fukuasi yang terjadi antara kedua hubungan variabel ini, yang mana dibuktikan dengan bentuk grafik yang berbentuk garis lurus, yang mana itu berarti hubungan antara tegangan terminal generator terhadap prosentase tegangan supply adalah berbanding lurus.

Nilai prosesntase tegangan supply tertinggi adalah sebesar +2.97% yang mana di ikuti dengan tegangan yang tertinggi pula yaitu sebesar 14.21 KV, sedangkan untuk prosentase tegangan supply terkecil adalah sebesar -86.82% yang mana di ikuti dengan tegangan terminal yang paling kecil yaitu

sebesar 1.82 KV. Berdasarkan perhitungan tegangan prosesntase supply bisa dikatakan bahwa tegangan supply generator di pengaruhi oleh tegangan terminal generator yang di dikeluarkan, sehingga untuk mengontrol supaya prosentase tegangan supply berada pada angka yang positive maka perlu menjaga dan mengatur nilai keluaran eksitasi yang baik juga.

Setelah melihat hasil prosentase dan bentuk grafik prosentase tegangan supply terhadap tegangan terminal maka bisa di simpulkan bahwa performa generator sinkron unit 2 yang berada di PLTU Kaltim Teluk ini dalam keadaan yang baik dan bagus karena berdasarkan standar dari PLN dan ANSI C 84.1 bahwa secara umum tegangan listrik di pusat pembangkit harus memiliki nilai prosentase yang sudah di tetapkan yaitu sebesar +5% dan -10% dalam kondisi normal yang di tetapkan oleh PLN, sedangkan menurut ANSI C 8.41 nilai prosentase yang baik berada pada nilai $\pm 4\%$ pada saat dalam kondisi normal.

B. Hubungan antara prosentase tegangan supply terhadap daya aktif (MW)



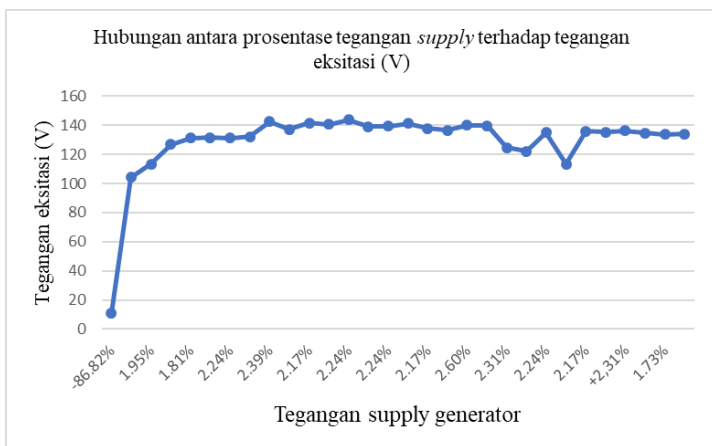
Gambar 25 Grafik hubungan antara prosentase tegangan supply terhadap daya aktif (MW)

Berdasarkan gambar grafik 25 tentang hubungan antara prosentase tegangan supply terhadap daya aktif (MW), bisa di lihat nilai daya aktif yang tertinggi adalah sebesar 91.12 MW yang mana di ikuti pula dengan nilai prosesntase tegangan supply yang tertinggi yaitu sebesar +2.97% , sedangkan nilai daya aktif terkecil beradada di nilai 1.62 MW dan prosentase tegangan supply nya juga kecil yaitu -86.82%. ini berarti hubungan antara daya aktif terhadap prosentase tegangan supply adalah berbanding lurus.

Namun bisa di lihat pada grafik bahwa terjadi sedikit flukuasi pada grafik di atas, namun hal tersebut sangat wajar karena daya aktif nilainya selalu berubah-ubah setiap waktu sesuai permintaan

dari konsumen dan juga beban yang di tanggung oleh generator, sehingga untuk menjaga dan menaikkan nilai daya aktif maka perlu menjaga dan menaikkan nilai tegangan generator yang di *supply* oleh arus eksitasi sehingga nantinya besarnya nilai tegangan yang keluar harus mengimbangi daya aktif yang keluar agar tegangan tetap selalu stabil dan selalu dalam keadaan sinkron walaupun daya aktif yang keluar selalu berubah-ubah.

C. Hubungan antara prosentase tegangan *supply* terhadap tegangan eksitasi (V)



Gambar 26 Grafik hubungan antara prosentase tegangan *supply* terhadap tegangan eksitasi (V)

Berdasarkan grafik hubungan antara prosentase tegangan *supply* terhadap tegangan eksitasi seperti gambar grafik 26 di atas bahwa dengan berubahnya nilai tegangan eksitasi pada generator, maka akan menimbulkan pengaruh hubungan terhadap kedua variabel tersebut yang di buktikan dengan bentuk garis grafik yang naik turun yang mana fluktuasi ini terjadi karena berubahnya nilai tegangan eksitasi yang di alirkan ke rotor pada generator agar selalu menghasilkan tegangan yang stabil, nilai eksitasi tertinggi adalah 143.72 V dan nilai prosentase tegangan *supply* nya juga tinggi yaitu sebesar 2.24%, sedangkan untuk nilai tegangan eksitasi yang terkecil adalah 11.08 dan nilai prosentase tegangan *supply* nya adalah -86.82% ini berarti hubungan antara kedua variabel ini adalah berbanding lurus.

Sehingga dapat di simpulkan bahwa agar generator mampu menghasilkan nilai prosentase tegangan yang baik yang sesuai dengan parameter dari PLN maka perlu menjaga dan mengatur nilai keluaran dari sistem eksitasi generator yang mana nantinya nilai sistem eksitasi ini akan mempengaruhi nilai keluaran tegangan generator, jika tegangan eksitasi yang di berikan besar maka tegangan keluaran

generator juga akan ikut besar dan nilai prosentase tegangan *supply* akan bagus dan tinggi, begitu juga sebaliknya, jika tegangan eksitasi kecil maka generator akan mengeluarkan nilai tegangan output yang kecil juga, yang nantinya akan mempengaruhi nilai prosentase tegangan *supply* menjadi kecil.

IV. Kesimpulan

Dari penelitian dan analisis yang sudah di lakukan tentang permasalahan yang di ambil pada tugas akhir ini yaitu tentang analisis hubungan variabel pada sistem eksitasi terhadap performa generator sinkron unit 2 PLTU Kaltim Teluk, maka di peroleh beberapa kesimpulan berdasarkan analisis yang sudah di lakukan seperti di bawah ini:

1. Berdasarkan dari analisis yang pertama di lakukan yaitu hubungan antara variabel sistem eksitasi terhadap waktu maka bisa disimpulkan bahwa arus eksitasi dan tegangan eksitasi setiap waktunya selalu berubah-ubah dan itu merupakan hal yang sangat wajar karena untuk menjaga tegangan keluaran generator selalu stabil setiap waktunya agar selalu tersinkron dengan jaringan.
2. Berdasarkan grafik dan analisis yang sudah di lakukan bisa di katakana bahwa hubungan antara arus dan tegangan eksitasi selalu berbanding lurus dengan variabel-variabel keluaran generator terutama hubungan antara tegangan eksitasi dan tegangan keluaran generator yang mana tegangan eksitasi terbesar yaitu 143.72 V dan diikuti dengan nilai tegangan generator yang besar juga yaitu sebesar 14.11 kV.
3. Setelah di lakukan perhitungan dan analisis prosentase tegangan *supply* setiap harinya maka bisa disimpulkan bahwa prosentase tegangan *supply* pada generator unit 2 PLTU Kaltim Teluk berada pada batas yang aman sesuai dengan standar dari PLN dan ANSI yang mana nilainya rata-rata berada di nilai yang positive yaitu sebesar +1-2% setiap harinya, kecuai pada tanggal 08-09-2019 nilai prosentase tegangan *supply* sangat kecil yaitu sebesar -86.82% karena generator baru saja selesai *overhaul* sehingga belum tersinkron dengan jaringan.
4. Berdasarkan dari data operasi harian generator sinkron unit 2 yang berada di PLTU Kaltim Teluk maka bisa di simpulkan bahwa generator unit 2 ini masih dalam

keadaan yang bagus yang di buktikan dengan keluaran nilai-nilai variabel generator yang

5. dalam keadaan baik dan sesuai dengan name plate yang berada pada generator unit 2, juga di buktikan dengan sistem eksitasi yang masih baik yang selalu menjaga agar nilai keluaran generator selalu setabil berada di angka 13,8 kV atau batas normsl sehingga generator selalu tersinkron dengan jaringan.
6. Setelah mengetahui dan memahami seluruh hubungan variabel generator unit 2 ini terutama nilai-nilai sistem eksitasi maka kerusakan pada generator sinkron unit 2 ini yang bisa di sebabkan akibat over excitation dan under excitation bisa di minimalisir.

Informasi Penulis



Setyo Purnomo lahir di Pontianak 05-April-1999. Saat melakukan penelitian ini penulis sedang menempuh Pendidikan S-1 di universitas Muhammadiyah Yogyakarta jurusan Teknik elektro. Penelitian ini membahas tentang sistem eksitasi pada generator sinkron.

Daftar Pustaka

- [1] esdm, d. (2018). statistik tenaga listrikan 2017 edisi N0. 23 tahun anggaran 2018.
- [2] irawan, h. (2010). sistem penguatan dengan sikat (brush excitation system) pada generator unit 1 PLTU Cilacap. *www.electro.undip.ac.id*.
- [3] jinan, s. (n.d.). installing instruction for static excitation air-cooled turbo-generator of WX21Z series. china: power equipment factory.
- [4] Kurniawan, Y. (2017). Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Daya Reaktif Generator Sinkron PLTA Sengguruh.
- [5] Marsudi, D. (2005). PEMBANGKITAN ENERGI LISTRIK. In D. Marsudi, *PEMBANGKITAN ENERGI LISTRIK* (pp. 33-35). Jakarta: Erlangga.
- [6] Marsudi, D. (2016). Operasi Sistem Tenaga Listrik. In D. Marsudi. Jakarta: Graha Ilmu.
- [7] muzayyin, a. (2014). analisis sistem eksitasi generator sinkron 3 phasa di PLTA Wonogiri unit pembangkit mrica. *repository.umy*.
- [8] sentosa, a. (2018). analisis sistem eksitasi terhadap performs generator di PLTU Suralaya. *repository.umy*.
- [9] thomas w eberly, r. c. (2002). voltage versus var/power factor regulation on synchronous generators. *files.engineering.com*.
- [10] users manual book EXC9000 static excitation system . (n.d.). china : guangzhou electrical apparatus research institute .