

ANALISA PERFORMA DAYA DAN KARAKTERISTIK OPERASI GENERATOR TURBIN UAP SST 400 TYPE AMS 1250 ALB 4 L BS DI PLTGU TG.UNCANG (PT.PLN BATAM)

Jimmy Lesmana Yusuf¹, Toni Kesuma Wijaya², Reza Nandika³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau Kepulauan Batam

*Email : jimmy_lesmana@rocketmail.com, tonikusuma26@yahoo.co.id, rezanandikameng@gmail.com

Abstrak

Teknologi pembangkit tenaga listrik dewasa ini sudah semakin maju, dengan ada nya teknologi combine cycle pada PLTG yang memanfaatkan gas buang pada gas turbine yang kemudian di bangkitkan kembali tenaga listrik. Di batam teknologi PLTGU digunakan oleh PT.PLN batam yang berlokasi di tanjung uncang dengan kapasitas 130 MW. Dengan kapasitas yang cukup besar PLTGU menjadi salah satu penopang ketenaga listrikan di kota batam. Maka dari itu performa pada pembangkit tersebut harus lah baik. Salah satu equipment yang harus di perhatikan adalah performa dari generator. Generator yang yang di gunakan pada PLTGU adalah SST-400 Type AMS 1250ALB4L BS dengan kapasitas peak load nya ada lah 40 MW. Dalam pengoperasian generator itu sendiri harus mengikuti batas – batas dari kurva kapabilitas agar performa generator dapat terus terjaga. Dengan melakukan pengujian dan perhitungan daya reaktif penulis membandingkan persentase error dari daya yang reaktif yang di hasilkan melalui pengujian dan perhitungan terhadap kurva kapabilitas generator itu sendiri. Dari hasil pengujian didapatkan persentase error tertinggi performa daya reaktif generator sebesar 11.6 % pada beban 20 MW dan $\cos\phi$ 0.99.

Kata Kunci : Generator, SST-400 Type AMS 1250ALB4L BS, kurva kapabilitas, persentase error'.

Abstract

Today's power generation technology is getting more advanced, with the combined cycle technology in PLTG which utilizes exhaust gas in the gas turbine which is then generated again by electric power. In Batam, PLTGU technology is used by PT PLN Batam which is located in Tanjung Uncang with a capacity of 130 MW. With a large enough capacity, PLTGU is one of the pillars of electricity in the city of Batam. Therefore, the performance of the generator must be good. One of the equipment that must be considered is the performance of the generator. The generator used in the PLTGU is SST-400 Type AMS 1250ALB4L BS with a peak load capacity of 40 MW. In the operation of the generator itself, it must follow the limits of the capability curve so that generator performance can be maintained. By testing and calculating the reactive power, the writer compares the error percentage of the reactive power generated through testing and calculations against the capability curve of the generator itself. From the test results, the highest error percentage of the generator reactive power performance is 11.6% at a load of 20 MW and a $\cos\phi$ of 0.99.

Keywords: Generator, SST-400 Type AMS 1250ALB4L BS, capability curve, error percentage'.

I. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga gas uap (PLTGU) merupakan sebuah pengembangan teknologi sebagai upaya peningkatan efisiensi unit PLTG yang dalam pengoperasiannya menghasilkan gas buang berupa energi panas dalam volume besar dan bertemperatur tinggi yang dibuang ke udara bebas dan dimanfaatkan kembali menjadi energi listrik dengan menggunakan *HRSG (heat recovery steam generator)* PLTGU berdasarkan statistik tahun 2017 total jumlah daya yang terpasang adalah 10,146.11 MW dengan penyumbang daya terbesar ada di DKI Jakarta dengan total daya 3.180 MW [1].

Saat ini di Batam teknologi dari sistem PLTGU diaplikasikan oleh PT. PLN Batam dengan konfigurasi 2-2-1 (2 *Gas Turbine Generator* 2 *HRSG* dan 1 *Steam Turbine Generator*). PLTGU Tanjung ungang terinterkoneksi dengan sistem jaringan transmisi 150 KV Batam-Bintan yang menjadi bagian penting dalam menjaga kehandalan suplai listrik kepada masyarakat untuk itu optimalisasi kinerja operasi unit PLTGU harus terjaga dengan memastikan performa daya generator yang dihasilkan harus sesuai dengan spesifikasi kurva kapabilitas generator tersebut di desain dan dengan memahami karakteristik operasi generator maka operator dapat mengoperasikan generator dalam mensuplai energi listrik ke jaringan dengan aman sesuai batas – batas parameter kemampuan yang dimiliki generator.

Semua ini diperlukan proses analisa dan serangkaian kegiatan penelitian dengan metode pengambilan data dari operasi generator dengan selanjutnya dilakukan perhitungan dan perbandingan terhadap spesifikasi desain. Berangkat dari latar belakang yang ada di atas penulis tertantang untuk meneliti performa daya generator terhadap spesifikasi kurva kapabilitas desain generator dan karakteristik operasi generator turbin uap dalam mensuplai energi listrik ke jaringan listrik 150 kv kota batam pada unit PLTGU Tanjung ungang maka dari itu penulis ingin mengangkat judul “Analisa performa daya dan karakteristik operasi turbin uap SST 400 type ams 1250alb 4l bs di pltgu tg.uncang (pt.pln batam)

II. LANDASAN TEORI

A. Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)

PLTGU adalah gabungan antara PLTG dengan PLTU, dimana panas dari gas buang dari PLTG digunakan untuk menghasilkan uap yang digunakan sebagai fluida kerja di PLTU. Dan bagian yang digunakan untuk menghasilkan uap tersebut adalah HRSG (Heat Recovery Steam Generator). PLTGU merupakan suatu instalasi peralatan yang berfungsi untuk mengubah energi panas (hasil pembakaran bahan bakar dan udara) menjadi energi listrik yang bermanfaat. Pada dasarnya, sistem PLTGU ini merupakan penggabungan antara PLTG dan PLTU.

B. Siklus Kerja PLTGU (Pembangkit Listrik tenaga gas Uap) Combine Cycle

Siklus ini terdiri atas dua proses *adiabatic / isentropis* (kalor tetap) dan dua proses tekanan tetap atau *isobaris*. Udara atmosfer di hisap masuk dan di kompresikan oleh kompressor sehingga terjadi kenaikan tekanan dari p_1 ke p_2 dan kemudian udara tersebut dialirkan ke ruang bakar atau *combustor*, di dalam ruang bakar diinjeksikan bahan bakar sehingga dengan adanya suhu dan tekanan pada ruang bakar maka terjadilah pembakaran.

C. Generator

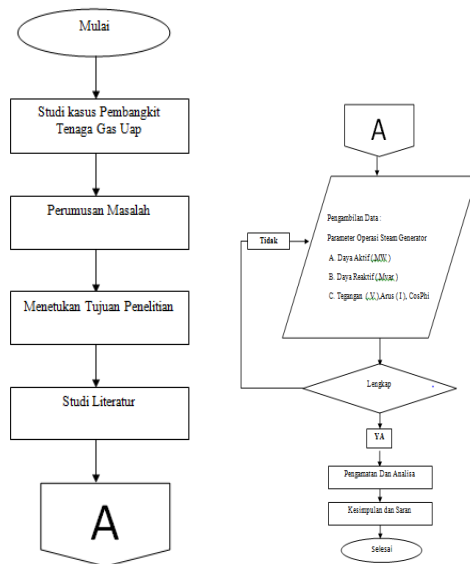
Generator merupakan suatu mesin yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator merupakan alat yang menghasilkan energi listrik hasil dari sumber mekanik dengan menggunakan induksi magnet. “Apabila dalam suatu medan magnet yang bergerak atau berputar terdapat konduktor yang memotong garis-garis fluks magnet, maka pada konduktor akan timbul gaya gerak listrik”. Bunyi hukum Faraday yang menjadi prinsip dasar generator listrik.

Generator yang paling sering digunakan adalah generator sinkron atau sering disebut alternator.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Alur Penelitian

Dalam melakukan penelitian dan analisa pada tugas akhir ini , terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan, berikut adalah gambaran umum tahapan penelitian yang akan dilakukan adalah :



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

1. Studi Kasus

Studi kasus di pembangkit listrik tenaga gas uap dilakukan untuk mengetahui operasi dan pola operasi PLTGU.

2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah adalah munculnya masalah yang ada pada PLTGU sehingga perlu diketahui penyebab nya

3. Menentukan Tujuan

Menentukan target akhir dari penelitian yang akan dilaksanakan

4. Studi Literatur

Mencari informasi dan mempelajari materi yang berhubungan dengan objek penelitian.

5. Pengambilan Data

Melakukan pengambilan data kuantitatif pada objek penelitian dan memiliki kelengkapan data yang diambil sebagai bahan analisa.

6. Pengamatan dan Analisa

Proses pengamatan yang dilakukan untuk melakukan pengumpulan data yang berguna sebagai data yang akan di analisa .

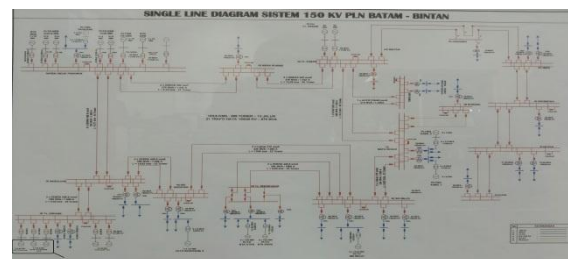
7. Kesimpulan Dan saran

Penelitian dapat menyimpulkan penyebab suatu permasalahan dari hasil perhitungan dan analisa dan akan memberikan beberapa saran yang mampu merubah permasalahan tersebut menjadi lebih baik.

B. Tempat dan Jadwal Penelitian

1. Tempat penelitian

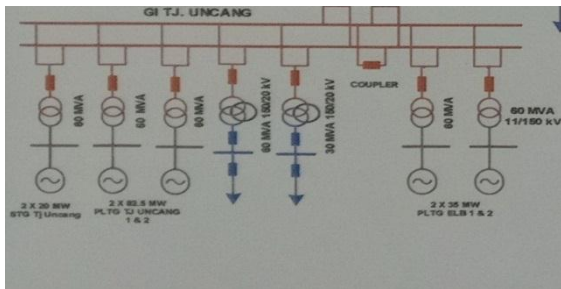
PLTGU tg ungang menjadi salah satu pembangkit listrik yang memasok listrik di Area Batam – Bintan (terlampir pada SLD 150 kv Batam – Bintan). PLTGU tergabung dalam transmisi 150 KV batam – bintan yang saat ini menjadi supply listrik terbesar ke dua di batam setelah PLTU tg.kasam. kelebihan dari PLTGU ini adalah pemanfaatan gas buang yang menjadi energy listrik kembali melalui teknologi HRSG. Pada SLD terlihat PLTGU Tg.uncang menjadi bagian penting dari transmisi 150 Kv Batam – Bintan karena memiliki daya yang cukup besar.



Gambar 3.2 Single Line Diagram 150 KV Batam – Bintan

PLTGU tg.uncang memiliki tiga Generator yang menghasilkan listrik, yang dihasilkan oleh gas turbin dan steam turbin (terlampir SLD 150 KV GI.TG.uncang) yang terkoneksi di area Gardu induk tanjung ungang. Dari 2 gas turbin generarot menghasilkan 45 MW per unit sedangkan dari steam turbin menghasilkan 38 MW. Pengambilan data akan dilakukan kurang lebih 2 minggu operasional PLTGU

secara continue agar bias mendapatkan data yang akurat.

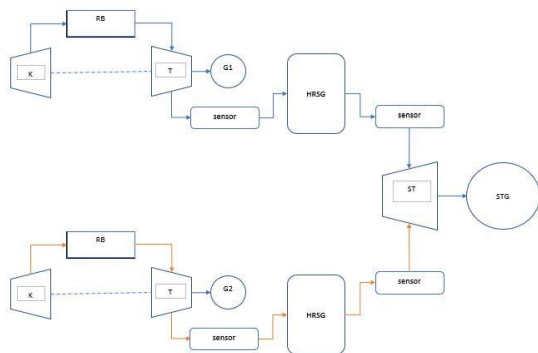


Gambar 3.3 Single Line Diagram 150 KV GI.Tg.Uncang

2. Jadwal penelitian

Waktu penelitian akan dilakukan selama 3 hari operasional PLTGU secara continue agar data yang dihasilkan akurat

3. Blok Diagram PLTGU Tg.Uncang (2-2-1)



Gambar 3.4 Blok diagram Combine cycle 2-2-1 PLTGU

Ket :



K = compressor

RB = Ruang Bakar

T = Turbin

G = Generator

HRSG = Heat Recovery Steam Generator

Sensor = untuk pembacaan temperature dan pressure gas buang dan steam dari HRSG

ST = Steam Turbin

STG = Steam Turbine Generator

Berdasarkan gambar 3.4 compressor turbin menghasilkan tekanan ke ruang bakar yang menimbulkan panas yang dapat memutar sudu – sudu turbin yang di kopel dengan generator sehingga menghasilkan daya. Gas buang dari turbin 1 dan turbin 2 di peroleh, temperature dan flow . Gas buang yang di hasilkan gas turbin di dimanfaatkan kembali oleh system HRSG yang kemudian menghasilkan Steam bertekanan yang kemudian berguna untuk menggerakkan steam turbin sehingga dapat menghasilkan daya kembali.

4. Analisa data

Analisa data akan dilakukan dengan cara membandingkan antara efisiensi *simple cycle* pada saat combine dan efisiensi *combine cycle* dengan beberapa pembebanan dan pola operasi 2-2-1 PLTGU sehingga STG dapat menghasilkan daya Generator sebesar 38 MW. Analisa data tersebut akan menunjukkan seberapa besar pengaruh pembebanan terhadap efisiensi *simple cycle* pada saat *combine* dan efisiensi *combine cycle*. Analisa juga dilakukan berdasarkan laju energi setiap komponen. Hasil analisa tersebut menjabarkan pada saat kapan beban keluaran STG dapat maksimal.

Keperluan pengambilan data pada sistem pembangkit listrik dapat diperoleh dengan mengamati *HMI (Human Interface Machine)* yang di gunakan untuk mengoperasikan mesin pembangkit listrik. Setelah data data yang diperoleh sudah lengkap, data tersebut dapat di analisa.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Performa Daya Generator

Generator AMS 1250ALB 4L BS beroperasi untuk mensuplai sejumlah daya ke *Grid* atau jaringan sistem kelistrikan tegangan 150 kv kota Batam, kemampuan generator dalam mensuplai daya hendaknya sesuai dengan kurva kapabilitas desain generator tersebut dan untuk mengetahui performa daya

yang terbangkitkan oleh generator maka dilakukan sejumlah pengujian dengan pembebanan pada faktor daya yang bervariasi sehingga didapatkan data operasi generator yang akan digunakan untuk perbandingan terhadap kurva kapabilitas desain generator .

Pengujian dilakukan menyesuaikan kondisi operasi PLTGU sesuai instruksi *Dispatcher* PLNB atau petugas pengaturan beban jaringan kelistrikan kota Batam maka dari itu pengujian ditetapkan pada kondisi beban generator tertentu, sebagai berikut :

- a. Beban 20 MW pada cos phi 0.99 , 0.95, 0.90
- b. Beban 22 MW pada cos phi 0.99 , 0.95, 0.90
- c. Baban 25 MW pada cos phi 0.99 , 0.95, 0.90
- d. Beban 27 MW pada cos phi 0.99 , 0.95, 0.90
- e. Baban 30 MW pada cos phi 0.99 , 0.95, 0.90

Pengujian operasi generator dilakukan pada tanggal 10 Januari 2021 sampai dengan 12 Januari 2021 pada generator turbin uap SST-400 di PLTGU Tanjung Ugang Batam, dimana generator ini merupakan peralatan yang berfungsi sebagai pembangkitan energi listrik hasil dari pemanfaatan energi panas keluaran dari turbin gas Siemens SGT-800 adapun *data sheet* spesifikasi generator yang akan diuji sebagai berikut :

Tipe mesin	AMS 1250ALB 4L BS
Output	49282 KVA
Factor daya	0.85
Tegangan	11.500V +/-5%
Frekuensi	50Hz +/- 3%
Arus	2477 A
Tipe exciter	GLC 60

Dari data operasi pengujian generator yang didapatkan selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mengetahui daya semu generator pada variasi pembebanan diatas dengan persamaan segitiga daya berikut :

Daya Semu (S) $S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots \dots \dots (1)$
 Daya Aktif (P) $P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi \dots \dots \dots (2)$
 Daya Reaktif (Q) $Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi \dots \dots \dots (3)$

Berdasarkan data operasi pengujian generator dan hasil perhitungan menggunakan persamaan segitiga daya diatas maka didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Pengujian operasi generator lagging

- a) Beban 20 MW pada cos phi 0.99 , 0.95, 0.90

Daya Aktif (P) $P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi$
 Daya Reaktif (Q) $Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi$

Daya Semu (S) $S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$
 Maka, $S = \sqrt{3} \cdot 11.483V \cdot 1100A$
 $S = 21.8 \text{ MVA}$

Daya Reaktif (Q) $Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi$
 $Q = \sqrt{3} \cdot 11483 \text{ V} \cdot 1100 \text{ A} \cdot 0.035$
 $Q = 0.707 \text{ Mvar}$

Daya Semu (S) $S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$
 Maka, $S = \sqrt{3} \cdot 11.766V \cdot 1075A$
 $S = 22 \text{ MVA}$

Daya Reaktif (Q) $Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi$
 $Q = \sqrt{3} \cdot 11.766 \text{ V} \cdot 1075 \text{ A} \cdot 0.309$
 $Q = 6.505 \text{ Mvar}$

Daya Semu (S) $S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$
 Maka, $S = \sqrt{3} \cdot 11.949V \cdot 1066A$
 $S = 22 \text{ MVA}$

Daya Reaktif (Q) $Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi$
 $Q = \sqrt{3} \cdot 11.949 \text{ V} \cdot 1066 \text{ A} \cdot 0.423$
 $Q = 9.400 \text{ Mvar}$

Tabel 4.1 Daya semu pada Beban 20 MW dengan cos phi 0.99 , 0.95,0.90

MW	cosphi	MVAR PENGUJIAN	MVAR PERHITUNGAN	VOLT	AMPERE	MVA	%error
20	0,99	0.8	0.707	11.483	1100	21.8	11.6 %
20	0,95	7	6.505	11.766	1075	22,00	7.1 %
20	0,90	9	9.400	11.949	1066	22,00	4.4 %

- b) Beban 22 MW pada cos phi 0.99 , 0.95, 0.90

Daya Aktif (P) $P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi$
 Daya Reaktif (Q) $Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi$
 Daya Semu (S) $S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$
 Maka, $S = \sqrt{3} \cdot 11.553V \cdot 1191A$
 $S = 23.5 \text{ MVA}$

Daya Reaktif (Q) $Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi$
 $Q = \sqrt{3} \cdot 11.468 \text{ V} \cdot 1191 \text{ A} \cdot 0.035$
 $Q = 0.778 \text{ Mvar}$

Daya Semu (S) $S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$
 Maka, $S = \sqrt{3} \cdot 11.691V \cdot 1185A$
 $S = 24 \text{ MVA}$

Daya Reaktif (Q) $Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi$
 $Q = \sqrt{3} \cdot 11.691 \text{ V} \cdot 1185 \text{ A} \cdot 0.309$
 $Q = 7.156 \text{ Mvar}$

Daya Semu (S) $S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$
 Maka, $S = \sqrt{3} \cdot 11.849V \cdot 1175A$
 $S = 24.1 \text{ MVA}$

Daya Reaktif (Q) $Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi$

$$Q = \sqrt{3} \cdot 11.849 \text{ V} \cdot 1175 \text{ A} \cdot 0.309$$

$$Q = 10.340 \text{ Mvar}$$

Tabel 4.2 Daya semu pada Beban 22 MW dengan cos phi 0.99 , 0.95,0.90

MW	cosphi	MVAR PENGUJIAN	MVAR PERHITUNGAN	VOLT	AMPERE	MVA	%error
22	0,99	0.8	0.708	11468	1191	23.5	11.5 %
22	0,95	7.5	7.156	11691	1185	24	4.6 %
22	0,90	10.2	10.340	11849	1175	24.1	1.4 %

c) Beban 25 MW pada cos phi 0.99 , 0.95, 0.90

Daya Aktif (P) $P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi$

Daya Reaktif (Q) $Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi$

Daya Semu (S) $S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$

Maka, $S = \sqrt{3} \cdot 11.458 \text{V} \cdot 1285 \text{A}$
 $S = 25.48 \text{ MVA}$

Daya Reaktif (Q) $Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi$
 $Q = \sqrt{3} \cdot 11.458 \text{ V} \cdot 1285 \text{ A} \cdot 0.035$
 $Q = 0.884 \text{ Mvar}$

Daya Semu (S) $S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$
 Maka, $S = \sqrt{3} \cdot 11.797 \text{V} \cdot 1275 \text{A}$
 $S = 26.0 \text{ MVA}$

Daya Reaktif (Q) $Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi$
 $Q = \sqrt{3} \cdot 11.797 \text{ V} \cdot 1275 \text{ A} \cdot 0.309$
 $Q = 8.054 \text{ Mvar}$

Daya Semu (S) $S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$
 Maka, $S = \sqrt{3} \cdot 11.967 \text{V} \cdot 1260 \text{A}$
 $S = 26.2 \text{ MVA}$

Daya Reaktif (Q) $Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi$
 $Q = \sqrt{3} \cdot 11.967 \text{ V} \cdot 1260 \text{ A} \cdot 0.423$
 $Q = 11.053 \text{ Mvar}$

Tabel 4.3 Daya semu pada Beban 25 MW dengan cos phi 0.99 , 0.95,0.90

MW	cosphi	MVAR PENGUJIAN	MVAR PERHITUNGAN	VOLT	AMPERE	MVA	%error
25	0,99	0.89	0.884	11458	1285	25.48	0.7%
25	0,95	8	9.054	11797	1275	26	0.7 %
25	0,90	11	11.053	11967	1260	26.2	0.5 %

d) Beban 27 MW pada cos phi 0.99 , 0.95, 0.90

Daya Aktif (P) $P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi$

Daya Reaktif (Q) $Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi$

Daya Semu (S) $S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$

Maka, $S = \sqrt{3} \cdot 11.534 \text{V} \cdot 1401 \text{A}$
 $S = 27.8 \text{ MVA}$

Daya Reaktif (Q) $Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi$
 $Q = \sqrt{3} \cdot 11.534 \text{ V} \cdot 1401 \text{ A} \cdot 0.035$

$Q = 0.955 \text{ Mvar}$

Daya Semu (S) $S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$
 Maka, $S = \sqrt{3} \cdot 11.778 \cdot 1394 \text{A}$
 $S = 28.3 \text{ MVA}$

Daya Reaktif (Q) $Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi$
 $Q = \sqrt{3} \cdot 11.778 \text{ V} \cdot 1394 \text{ A} \cdot 0.309$

$Q = 8.782 \text{ Mvar}$

Daya Semu (S) $S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$
 Maka, $S = \sqrt{3} \cdot 12.098 \cdot 1388 \text{A}$
 $S = 29.1 \text{ MVA}$

Daya Reaktif (Q) $Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi$
 $Q = \sqrt{3} \cdot 12.098 \text{ V} \cdot 1388 \text{ A} \cdot 0.423$

$Q = 12.039 \text{ Mvar}$

Tabel 4.4 Daya semu pada Beban 27 MW dengan cos phi 0.99 , 0.95,0.90

MW	cosphi	MVAR PENGUJIAN	MVAR PERHITUNGAN	VOLT	AMPERE	MVA	%error
27	0,99	0.9	0.955	11.534	1401	27.8	6.1 %
27	0,95	8.7	8,782	11778	1394	28.3	0.9 %
27	0,90	12.3	12.039	12098	1388	29.1	2.1 %

e) Beban 30 MW pada cos phi 0.99 , 0.95, 0.90

Daya Aktif (P) $P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi$

Daya Reaktif (Q) $Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi$

Daya Semu (S) $S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$

Maka, $S = \sqrt{3} \cdot 11.503 \text{V} \cdot 1553 \text{A}$
 $S = 30.8 \text{ MVA}$

Daya Reaktif (Q) $Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi$
 $Q = \sqrt{3} \cdot 11.503 \text{ V} \cdot 1553 \text{ A} \cdot 0.035$

$Q = 1.061 \text{ Mvar}$

Daya Semu (S) $S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$
 Maka, $S = \sqrt{3} \cdot 11.830 \text{V} \cdot 1549 \text{A}$
 $S = 31.8 \text{ MVA}$

Daya Reaktif (Q) $Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi$
 $Q = \sqrt{3} \cdot 11.830 \text{ V} \cdot 1549 \text{ A} \cdot 0.309$

$Q = 9.758 \text{ Mvar}$

Daya Semu (S) $S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$
 Maka, $S = \sqrt{3} \cdot 12.038 \text{V} \cdot 1545 \text{A}$
 $S = 32.3 \text{ MVA}$

Daya Reaktif (Q) $Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi$
 $Q = \sqrt{3} \cdot 12.038 \text{ V} \cdot 1545 \text{ A} \cdot 0.035$

$Q = 12.690 \text{ Mvar}$

Tabel 4.5 Daya semu pada Beban 30 MW dengan cos phi 0.99 , 0.95,0.90

MW	cosphi	MVAR PENGUJIAN	MVAR PERHITUNGAN	VOLT	AMPERE	MVA	%error Mvar
30	0,99	1	1.061	11503	1553	30.8	6.1 %
30	0,95	9.8	9.758	11830	1549	31.8	0.4 %
30	0,90	12.7	12.690	12038	1545	32.3	0.1 %

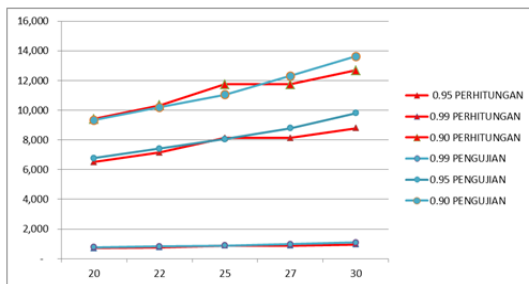
Data Perbandingan Mvar Pengujian dan Perhitungan pada Generator

Tabel 4.6 Mvar Perhitungan

P	COSPHI		
	0.99	0.95	0.90
20	0.707	6.505	9.400
22	0.708	7.156	10.340
25	0.884	8.054	11.053
27	0.955	8.782	12.039
30	1.061	9.758	12.690

Tabel 4.7 Mvar Pengujian

P	COSPHI		
	0.99	0.95	0.90
20	0.8	7	9
22	0.8	7.5	10.2
25	0.89	8	11
27	0.9	8.7	12.3
30	1	9.8	12.7



Gambar 4.1 Perbandingan Beban 20 Mw,22Mw,25Mw,27Mw,dan 30 Mw terhadap Mvar Perhitungan dan Pengujian

Tabel 4.8 Persentase Error Daya Reaktif Pengujian Dengan Perhitungan

MW	MVAR PENGUJIAN	MVAR PERHITUNGAN	%error
20	0.8	0.707	11,6 %
20	7	6.505	7,1 %
20	9	9.400	4,4 %
MW	MVAR PENGUJIAN	MVAR PERHITUNGAN	%error
22	0.8	0.708	11,5 %
22	7.5	7.156	4,6 %
22	10.2	10.340	1,498 %
MW	MVAR PENGUJIAN	MVAR PERHITUNGAN	%error
25	0.89	0.884	0,7 %
25	8	8.054	0,7 %
25	11	11.053	0,5 %
MW	MVAR PENGUJIAN	MVAR PERHITUNGAN	%error
27	0.9	0.955	6,1 %
27	8.7	8.782	0,9 %
27	12.3	12.039	2,1 %
MW	MVAR PENGUJIAN	MVAR PERHITUNGAN	%error
30	1,0	1.061	6,1 %
30	9.8	9.758	0,4 %
30	12.7	12.690	0,1 %

Data Daya semu operasi pengujian generator diatas digunakan untuk perbandingan kapasitas daya semu generator hasil perhitungan dari nilai parameter daya aktif dan daya reaktif yang tertera pada dokumen kurva kapabilitas generator AMS 1250ALB 4L BS menggunakan persamaan segitiga daya sebagai berikut :

$$\text{Daya Semu (S)} \quad S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{Daya Aktif (P)} \quad P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \text{Cos } \varphi \dots \dots \dots (2)$$

Maka, $S = P / \text{Cos } \varphi$ Atau

$$\text{Daya Reaktif (Q)} \quad Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \text{Sin } \varphi \dots \dots \dots (3)$$

Maka, $S = Q / \text{Sin } \varphi$

Selanjutnya dilakukan perhitungan daya semu pada kurva kapabilitas sebagai berikut :

a. Beban 20 MW pada cos phi 0.99 , 0.95, 0.90

$$S = P / \text{Cos } \varphi \quad S = P / \text{Cos } \varphi \quad S = P / \text{Cos } \varphi$$

$$S = 20 \text{ MW} / 0.99 \quad S = 20 \text{ MW} / 0.95 \quad S = 20 \text{ MW} / 0.90$$

$$S = 20.202 \text{ MVA} \quad S = 21.053 \text{ MVA} \quad S = 22.222 \text{ MVA}$$

b. Beban 22 MW pada cos phi 0.99 , 0.95, 0.90

$$S = P / \text{Cos } \varphi \quad S = P / \text{Cos } \varphi \quad S = P / \text{Cos } \varphi$$

$$S = 22 \text{ MW} / 0.99 \quad S = 22 \text{ MW} / 0.95 \quad S = 22 \text{ MW} / 0.90$$

$$S = 22.222 \text{ MVA} \quad S = 23.158 \text{ MVA} \quad S = 24.444 \text{ MVA}$$

c. Beban 25 MW pada cos phi 0.99 , 0.95, 0.90

$$S = P / \text{Cos } \varphi \quad S = P / \text{Cos } \varphi \quad S = P / \text{Cos } \varphi$$

$$S = 25 \text{ MW} / 0.99 \quad S = 25 \text{ MW} / 0.95 \quad S = 25 \text{ MW} / 0.90$$

$$S = 25.253 \text{ MVA} \quad S = 26.316 \text{ MVA} \quad S = 27.778 \text{ MVA}$$

d. Beban 27 MW pada cos phi 0.99 , 0.95, 0.90

$$S = P / \text{Cos } \varphi \quad S = P / \text{Cos } \varphi \quad S = P / \text{Cos } \varphi$$

$$S = 27 \text{ MW} / 0.99 \quad S = 27 \text{ MW} / 0.95 \quad S = 27 \text{ MW} / 0.90$$

$$S = 27.273 \text{ MVA} \quad S = 28.421 \text{ MVA} \quad S = 30.000 \text{ MVA}$$

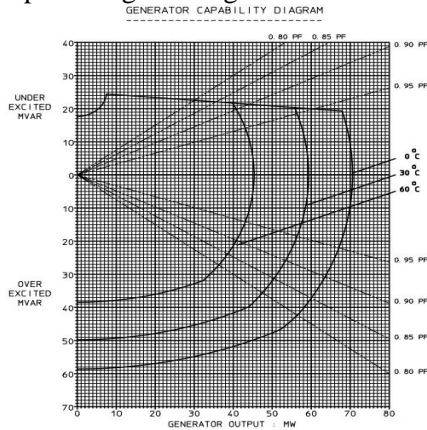
e. Beban 30 MW pada cos phi 0.99 , 0.95, 0.90

$$S = P / \cos \varphi \quad S = P / \cos \varphi \quad S = P / \cos \varphi$$

$$S = 30 \text{ MW} / 0.99 \quad S = 302 \text{ MW} / 0.95 \quad S = 30 \text{ MW} / 0.90$$

$$S = 30.303 \text{ MVA} \quad S = 31.759 \text{ MVA} \quad S = 33.333 \text{ MVA}$$

kurva kapabilitas yang digunakan sebagai acuan perhitungan sebagai berikut :



Gambar 4.2 Kurva Kapabilitas Generator

Dari perhitungan daya semu menggunakan data kurva kapabilitas generator dan daya semu hasil perhitungan data operasi pengujian generator maka didapatkan tabel data sebagai berikut :

Tabel 4.9 Daya semu operasi generator lagging

P	COSphi	S (1)	S (2)	Δ S
20	0.99	20.202	21.878	(1.676)
	0.95	21.053	21.907	(0.854)
	0.90	22.222	22.062	0.160
22	0.99	22.222	23.656	(1.434)
	0.95	23.158	23.996	(0.838)
	0.90	24.444	24.114	0.331
25	0.99	25.253	25.500	(0.248)
	0.95	26.316	26.051	0.264
	0.90	27.778	26.115	1.663
27	0.99	27.273	27.987	(0.714)
	0.95	28.421	28.437	(0.016)
	0.90	30.000	29.085	0.915
30	0.99	30.303	30.940	(0.636)
	0.95	31.579	31.738	(0.159)
	0.90	33.333	32.212	1.121

Dimana,

P : Daya Aktif (MW)

S1 : Daya semu hasil perhitungan kurva kapabilitas (MVA)

S2 : Daya semu hasil pengujian generator (MVA)

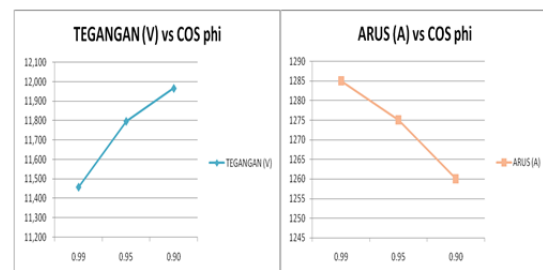
ΔS : Selisih S1 dan S2

Berdasarkan data tabel diatas nilai ΔS sangat kecil dimana rata – rata ΔS dimana rata –rata ΔS operasi generator lagging pada nilai 0.74, maka dari itu nilai selisih yang sangat kecil tersebut menunjukkan daya semu hasil pengujian operasi generator sangat identik atau mendekati nilai daya semu kurva kapabilitas desain generator. Sehingga dapat dikatakan performa daya generator masih sesuai dengan spesifikasi desain daya generator tersebut. Hal ini sangat penting untuk diketahui dalam pengoperasian generator sehingga generator dapat dioperasikan atau menghasilkan daya dengan aman dimana daya yang dihasilkan masih berada pada area kurva kapabilitas generator tersebut didisain.

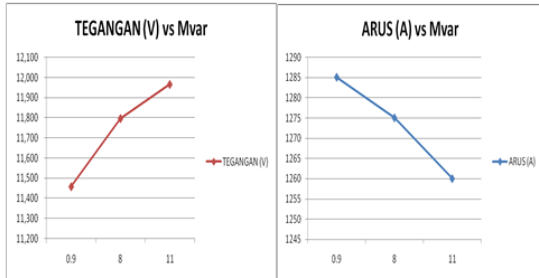
B. Analisa Karakteristik operasi Generator

Berdasarkan pengamatan dari data operasi pengujian generator didapatkan karakteristik operasi generator yang dapat dipahami sebagai acuan dalam operasi pembebanan dan menentukan nilai daya aktif, daya reaktif, faktor daya, tegangan dan arus generator sesuai ambang batas yang diijinkan pada spesifikasi generator. Dimana ada beberapa spesifikasi alarm generator seperti batas aman operasi tegangan +/- 5% dari tegangan nominal 11.5 Kv yang mengaktifkan sinyal *overvoltage alarm* dan *undervoltage alarm* atau *Generator stator temperature winding high alarm* yang merupakan peringatan suhu belitan yang tinggi akibat arus pada generator terlalu tinggi dalam jangka waktu yang lama.

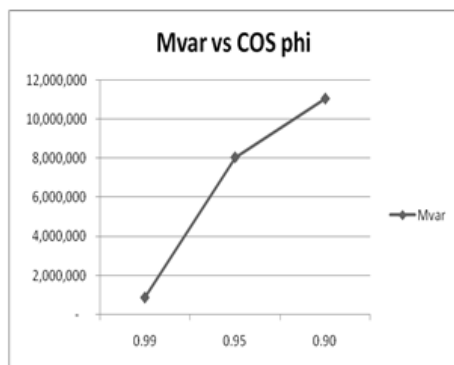
Karakteristik operasi generator dapat dilihat pada grafik hasil data pengujian berikut: Grafik data operasi generator lagging



Gambar 4.3 Grafik hubungan Cosphi dan Tegangan serta Cosphi dan arus pada generator lagging



Gambar 4.4 Grafik hubungan Mvar dan tegangan serta Mvar dan arus pada generator lagging



Gambar 4.5 Grafik hubungan Cosphi dan Mvar pada generator lagging

Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa perubahan nilai cosphi mempengaruhi nilai tegangan dan arus dimana pada operasi generator leading nilai cosphi yang semakin rendah mengakibatkan naiknya arus dan menurunnya tegangan, sehingga perlu diperhatikan bahwa turunnya tegangan dijaga pada ambang batas 5% dari 11.5 Kv.

Pada gambar 4.4 dapat dilihat perubahan arus berbanding lurus dengan naiknya nilai Mvar dan nilai tegangan berbanding terbalik dengan nilai Mvar, dimana semakin tinggi nilai Mvar maka nilai arus akan naik dan mempengaruhi temperature belitan pada generator semakin panas dan dapat berpotensi merusak isolasi belitan pada generator.

Pada gambar 4.5 dapat dilihat menurunnya nilai cosphi mengakibatkan kenaikan nilai Mvar, dimana semakin tinggi nilai Mvar

efisiensi generator semakin rendah diakibatkan turunya factor daya yang dibatasi sesuai spesifikasi generator pada nilai 0.85.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisa yang dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

MW	MVAR PENGUJIAN	MVAR PERHITUNGAN	%error
20	0.8	0.707	11,6 %
20	7	6.505	7,1 %
20	9	9.400	4,4 %
MW	MVAR PENGUJIAN	MVAR PERHITUNGAN	%error
22	0.8	0.708	11,5 %
22	7.5	7.156	4,6 %
22	10.2	10.340	1,498 %
MW	MVAR PENGUJIAN	MVAR PERHITUNGAN	%error
25	0.89	0.884	0,7 %
25	8	8.054	0,7 %
25	11	11.053	0,5 %
MW	MVAR PENGUJIAN	MVAR PERHITUNGAN	%error
27	0.9	0.935	6,1 %
27	8.7	8.782	0,9 %
27	12.3	12.039	2,1 %
MW	MVAR PENGUJIAN	MVAR PERHITUNGAN	%error
30	1,0	1.061	6,1 %
30	9.8	9.758	0,4 %
30	12.7	12.690	0,1 %

1. Performa generator dalam menghasilkan daya reaktif (Mvar) identik dengan nilai daya reaktif kurva kapabilitas desain generator tersebut hal ini dapat dilihat dari tabel hasil penelitian diatas dimana setelah dilakukan pengujian operasi generator dengan berbagai variasi daya aktif (MW) didapati data nilai daya reaktif (Mvar) pengujian yang tidak jauh berbeda dengan data nilai daya reaktif hasil perhitungan selanjutnya perbandingan kedua data nilai reaktif dapat dilihat pada kolom persentase error diatas hal ini menjadi penting untuk diketahui agar generator sebaiknya dioperasikan sesuai dengan kapabilitas desain generator tersebut.

2. Berdasarkan data hasil pengujian operasi generator didapatkan karakteristik hubungan antara Beban , cosphi dan Mvar

dimana kenaikan daya reaktif berbanding terbalik dengan nilai $\cos \phi$ dengan kata lain nilai $\cos \phi$ yang semakin buruk menyebabkan generator menghasilkan daya reaktif yang semakin tinggi hal ini terjadi pada berbagai nilai daya aktif saat pengambilan data operasi generator dan sesuai dengan karakteristik kurva kapabilitas desain generator tersebut.

B. Saran

Adapun saran dari penulis untuk pengembangan penelitian ini adalah sebagai berikut ;

1. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan melakukan pengujian operasi generator pada beban yang lebih bervariasi lagi mulai dari beban terendah hingga beban tertinggi sesuai kemampuan generator sehingga dapat dilihat performa generator secara keseluruhan terhadap kurva kapabilitas desain generator tersebut.
2. Dengan memahami karakteristik generator ini penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengujian yang lebih detail pada perubahan daya, tegangan, arus, dan factor daya terhadap efisiensi operasi generator.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jendral Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber daya mineral Thn.2017 www.djk.esdm.co.id
- [2] Budi Santosa, Muchamad Nur Qosim, Fahmi Abdul Ajiz, Juni 2015, Efisiensi Pembebanan PLTGU PT Krakatau daya listrik dengan perhitungan specific fuel consumption untuk meminimalkan biaya produksi listrik
- [3] Rahmat Kurniawan, Mulfi Hazwi, 02 September 2014, Analisa Performansi Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) Sicanang Belawan
- [4] Novi Gusnita, Kaudir Saputra Said, Juni 2017, Analisa Efisiensi dan Pemanfaatan Gas Buang Turbin Gas Alsthom Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Kapasitas 20 MW
- [5] Chandra Buana, Sri Suwasti, Armand dan Hafizh, 2019, Analisis Pengaruh Tekanan dan

Temperatur Udara Terhadap Kinerja Turbin Gas Pada Sistem PLTGU pada PT.Consoldate Electric Power Asia

[6] Manual Book Steam Turbine Siemens SST-400

[7] Manual Book Gas Tubine SGT – 800

[8] Single Line Diagram Transmisi Batam – Bintan

[9] Ratih Listiyarini,ST 2018, Dasar Listrik dan Elektronika