

BAB IV

IDENTIFIKASI MASALAH DAN ANALISA

4.1 Pengumpulan Data Uji Operational Generator Unit 1

Uji coba pengoperasian optimalisasi output generator dalam pembangkitan MVar dilakukan pada tanggal 19 Juli 2017 mulai jam 08:00 – 09:00 pada waktu beban maksimum (710 MW_{Gross} dan 660 MW_{Nett}) dan PLTU Tanjung Jati B diminta untuk mensuplai tegangan (MVar) ke jaringan Jawa-Bali maksimum. Untuk menaikkan tegangan keluaran generator dengan menaikkan setting MVar melalui AVR control sistim dilakukan secara bertahap dari 213 VAr – 245 VAr dan tegangan keluaran generator dari 22.87 KV – 23.30 KV sampai suhu winding rotor mencapai 92.5°C dari 87.48°C. Dari hasil uji coba diperoleh data-data dari DCS (*Distributed Control System*), dimana setiap kenaikan setting MVar uji diambil tiga kali data uji sampai dengan lima kali kenaikan setting MVar uji, jadi totalnya ada lima belas kali pengambilan data uji. Sehingga diperoleh data-data sebagai berikut:

Tabel 4.1 Hasil Data Uji Coba Optimalisasi Output Unit 1 Generator Dalam Pembangkitan MVAR

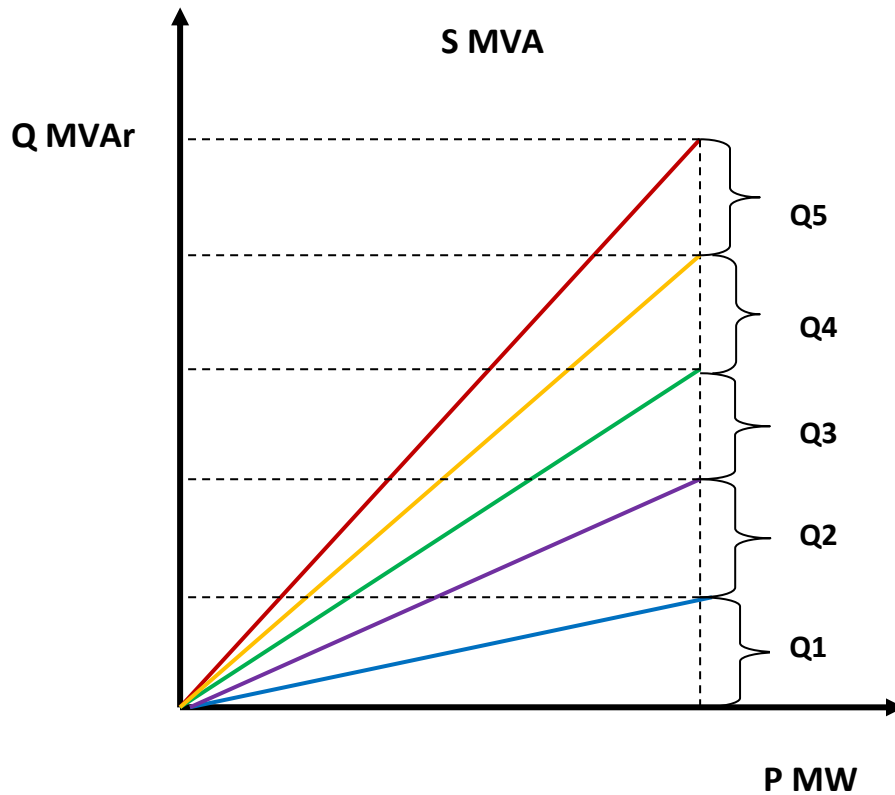
	GENERATOR OUTPUT								Stator Coil Temp. deg C	Data Ke-
	MW Gross	VAR	Field Current	Field Voltage	Rotor Temp	Voltage	Current	Power Factor		
Waktu Data Uji	MW	Mvar	A	V	deg C	KV	KA		deg C	
7/19/2017 08:18:47	710.8	213.6	4465.3	422.4	87.489	22.87	19.01	0.956	69.2	1
7/19/2017 08:18:50	711.2	226.3	4516.2	427.4	88.175	23.10	19.01	0.956	70.2	
7/19/2017 08:19:01	708.9	231.7	4533.7	430.3	88.764	23.15	18.91	0.948	70.2	
7/19/2017 08:19:04	701.1	223.0	4476.0	423.4	88.980	23.28	18.50	0.950	70.2	2
7/19/2017 08:19:12	709.4	229.5	4521.0	430.0	89.420	23.31	18.70	0.950	70.2	
7/19/2017 08:19:18	710.0	234.1	4545.0	432.0	89.774	23.31	18.81	0.947	70.2	
7/19/2017 08:19:26	713.8	239.3	4587.6	436.8	90.479	23.30	18.91	0.946	70.2	3
7/19/2017 08:19:35	713.6	237.5	4582.0	436.4	90.479	23.32	18.91	0.946	70.2	
7/19/2017 08:19:46	710.5	235.0	4539.0	432.1	90.383	23.30	18.80	0.946	71.2	
7/19/2017 08:19:57	706.1	239.0	4551.6	431.5	90.145	23.30	18.69	0.942	71.2	4
7/19/2017 08:20:03	701.6	243.9	4566.0	435.8	90.738	23.30	18.69	0.942	71.2	
7/19/2017 08:20:08	703.6	250.3	4600.5	438.8	90.981	23.30	18.69	0.940	71.2	
7/19/2017 08:20:20	707.3	251.7	4620.1	443.3	91.526	23.29	18.79	0.939	71.2	5
7/19/2017 08:20:31	707.6	253.7	4629.8	443.6	91.659	23.30	18.90	0.939	71.2	
7/19/2017 08:20:36	708.5	251.1	4628.0	440.2	91.659	23.31	18.90	0.939	71.2	

Dari data uji coba yang terdapat pada table 4.1, dimana setiap kenaikan setting MVAR uji diambil data tiga kali, dari tiga kali data uji diambil data nilai rata-rata atau *average*, maka didapat lima data uji coba sebagai bahan analisa dan perhitungan secara manual, yang dimasukkan atau dibuat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Nilai Rata-rata Data Hasil Uji Coba Pengoperasian Unit 1 Generator

Diskripsi	Satuan	Nilai Keluaran Generator				
		Data Uji Ke-				
		1	2	3	4	5
Generator Output	MW	710.3	706.8	712.6	703.8	707.8
Generator Field Voltage	V	426.7	428.5	435.1	435.4	442.4
Generator Field Current	A	4505.1	4514.0	4569.5	4572.7	4626.0
Generator Power Factor		0.953	0.949	0.946	0.941	0.935
Generator Outlet VAr	MVAr	223.9	228.9	237.3	244.4	252.2
Rotor Temperature	°C	88.1	89.4	90.4	90.6	91.6
Generator Voltage	KV	23.04	23.30	23.30	23.30	23.31
Generator Current	KA	18.98	18.67	18.87	18.69	18.86
Generator Stator Coil Temperature	°C	69.87	70.2	70.5	71.2	71.2

Data Tabel 4.2 adalah nilai rata-rata data hasil uji coba yang didapatkan dari data pada Tabel 4.1, yang akan digunakan sebagai data perhitungan secara manual menggunakan prinsip segitiga daya. Yang nantinya dapat digunakan sebagai data bahan analisa dan pembandingan dari data pada tampilan di DCS.



Gambar 4.1 Segitiga Daya Kenaikan Q MVar Data Uji Coba

4.2 Menghitung Secara Manual Data Hasil Uji Coba Dari Tabel 4.2

1. Hasil Uji Coba Data Ke- 1

a. Menghitung Daya Aktif P1 (MW)

$$P1 = V1 \times I1 \times \cos \varphi \times \sqrt{3}, \dots\dots\dots (1)$$

$$P1 = 23.04 \times 18.98 \times 0.953 \times \sqrt{3}$$

$$P1 = 720.97 \text{ MW}$$

b. Menghitung Daya Reaktif Q1 (MVar), $\cos \varphi = 0.953$; $\angle 17.636^\circ$

$$Q1 = V1 \times I1 \times \sin \varphi \times \sqrt{3}, \dots\dots\dots (2)$$

$$Q1 = 23.04 \times 18.98 \times \sin 17.636 \times \sqrt{3}$$

$$Q1 = 23.04 \times 18.98 \times 0.303 \times \sqrt{3}$$

$$Q1 = 229.2 \text{ MVar}$$

c. Menghitung Daya Semu S1 (MVA)

$$S1 = \sqrt{P1^2 + Q1^2}, \dots\dots\dots (3)$$

$$S1 = \sqrt{720.97^2 + 229.2^2}$$

$$S1 = \sqrt{572330.38}$$

$$S1 = 756.53 \text{ MVA}$$

d. Suhu Generator Rotor T1 (°C), dengan Fwr = 0.09028 Ω

$$T1 = \{[(Vf - Bdv) \times (235 + Fwrt)] \div (Fc \times Fwr)\} - 235, \dots\dots\dots (4)$$

$$T1 = \{[(426.7 - 2) \times (235 + 75)] \div (4505.1 \times 0.09028)\} - 235$$

$$T1 = \{[424.7 \times 310] \div 406.72\} - 235$$

$$T1 = \{131657 \div 406.72\} - 235$$

$$T1 = 323.70 - 235$$

$$T1 = 88.70^\circ C$$

2. Hasil Uji Coba Data Ke-2

a. Menghitung Daya Aktif P2 (MW).

$$P2 = V2 \times I2 \times \cos \varphi \times \sqrt{3}, \dots\dots\dots (1)$$

$$P2 = 23.30 \times 18.67 \times 0.949 \times \sqrt{3}$$

$$P2 = 714.2 \text{ MW}$$

b. Menghitung Daya Reaktif Q2 (MVA), Cos φ = 0.949; ∠18.377°

$$Q2 = V2 \times I2 \times \sin \varphi \times \sqrt{3}, \dots\dots\dots (2)$$

$$Q2 = 23.30 \times 18.67 \times \sin 18.377 \times \sqrt{3}$$

$$Q2 = 23.30 \times 18.67 \times 0.315 \times \sqrt{3}$$

$$Q2 = 237.3 \text{ MVA}$$

c. Menghitung Daya Semu S2 (MVA).

$$S2 = \sqrt{P2^2 + Q2^2} \dots\dots\dots (3)$$

$$S2 = \sqrt{714.2^2 + 237.3^2}$$

$$S2 = \sqrt{566392.93}$$

$$S2 = 752.59 \text{ MVA}$$

d. Menghitung Suhu Generator Rotor T2 ($^{\circ}\text{C}$), dengan $Fwr = 0.09028 \Omega$

$$\mathbf{T2} = \{[(Vf - Bdv) \times (235 + Fwrt)] \div (Fc \times Fwr)\} - 235, \dots \quad (4)$$

$$T2 = \{[(428.5 - 2) \times (235 + 75)] \div (4514 \times 0.09028)\} - 235$$

$$T2 = \{[426.5 \times 310] \div 407.524\} - 235$$

$$T2 = \{132215 \div 407.524\} - 235$$

$$T2 = 324.43 - 235$$

$$T2 = 89.43^{\circ}\text{C}$$

3. Hasil Uji Coba Data Ke-3

a. Menghitung Daya Aktif P3 (MW).

$$\mathbf{P3} = \mathbf{V3} \times \mathbf{I3} \times \mathbf{\cos \varphi} \times \sqrt{3}, \dots \quad (1)$$

$$P3 = 23.31 \times 18.87 \times 0.946 \times \sqrt{3}$$

$$P3 = 719.87 \text{ MW}$$

b. Menghitung Daya Reaktif Q3 (MVA), $\text{Cos } \varphi = 0.946$; $\angle 18.915^{\circ}$

$$\mathbf{Q3} = \mathbf{V} \times \mathbf{I} \times \mathbf{\sin \varphi} \times \sqrt{3}, \dots \quad (2)$$

$$Q3 = 23.31 \times 18.87 \times \sin 18.915 \times \sqrt{3}$$

$$Q3 = 23.31 \times 18.87 \times 0.324 \times \sqrt{3}$$

$$Q3 = 246.68 \text{ MVA}$$

c. Menghitung Daya Semu S3 (MVA).

$$\mathbf{S3} = \sqrt{\mathbf{P3}^2 + \mathbf{Q3}^2}, \dots \quad (3)$$

$$S3 = \sqrt{719.87^2 + 246.68^2}$$

$$S3 = \sqrt{579063.84}$$

$$S3 = 760.96 \text{ MVA}$$

d. Menghitung Suhu Generator Rotor T3 ($^{\circ}\text{C}$), dengan $Fwr = 0.09028 \Omega$

$$\mathbf{T3} = \{[(Vf - Bdv) \times (235 + Fwrt)] \div (Fc \times Fwr)\} - 235, \dots \quad (4)$$

$$T3 = \{[(435.1 - 2) \times (235 + 75)] \div (4569.5 \times 0.09028)\} - 235$$

$$T3 = \{[433.1 \times 310] \div 412.53\} - 235$$

$$T3 = \{134261 \div 412.53\} - 235$$

$$T3 = 325.46 - 235$$

$$T3 = 90.46^{\circ}\text{C}$$

4. Hasil Uji Coba Data Ke-4

a. Menghitung Daya Aktif P4 (MW).

$$P4 = V4 \times I4 \times \cos \varphi \times \sqrt{3} \dots\dots\dots (1)$$

$$P4 = 23.30 \times 18.69 \times 0.941 \times \sqrt{3}$$

$$P4 = 708.9 \text{ MW}$$

b. Menghitung Daya Reaktif Q4 (MVA), $\cos \varphi = 0.941$; $\angle = 19.779^{\circ}$

$$Q4 = V4 \times I4 \times \sin \varphi \times \sqrt{3} \dots\dots\dots (2)$$

$$Q4 = 23.30 \times 18.69 \times \sin 19.779 \times \sqrt{3}$$

$$Q4 = 23.30 \times 18.69 \times 0.338 \times \sqrt{3}$$

$$Q4 = 254.95 \text{ MVA}$$

c. Menghitung Daya Semu S4 (MVA).

$$S4 = \sqrt{P4^2 + Q4^2} \dots\dots\dots (3)$$

$$S4 = \sqrt{708.9^2 + 254.95^2}$$

$$S4 = \sqrt{567538.71}$$

$$S4 = 753.4 \text{ MVA}$$

d. Menghitung Suhu Generator Rotor T4 ($^{\circ}\text{C}$), dengan $Fwr = 0.09028 \Omega$

$$T4 = \{[(Vf - Bdv) \times (235 + Fwrt)] \div (Fc \times Fwr)\} - 235 \dots\dots (4)$$

$$T4 = \{[(435.4 - 2) \times (235 + 75)] \div (4572.7 \times 0.09028)\} - 235$$

$$T4 = \{[433.4 \times 310] \div 412.82\} - 235$$

$$T4 = \{134354 \div 412.82\} - 235$$

$$T4 = 325.45 - 235$$

$$T4 = 90.45^{\circ}\text{C}$$

5. Hasil Uji Coba Data Ke-5

a. Menghitung Daya Aktif P5 (MW).

$$P5 = V5 \times I5 \times \cos \varphi \times \sqrt{3} \dots \dots \dots (1)$$

$$P5 = 23.30 \times 18.86 \times 0.935 \times \sqrt{3}$$

$$P5 = 710.81 \text{ MW}$$

b. Menghitung Daya Reaktif Q5 (MVA), $\cos \varphi = 0.935$; $\angle = 20.772^\circ$

$$Q5 = V5 \times I5 \times \sin \varphi \times \sqrt{3} \dots \dots \dots (2)$$

$$Q5 = 23.30 \times 18.86 \times \sin 20.772 \times \sqrt{3}$$

$$Q5 = 23.30 \times 18.86 \times 0.355 \times \sqrt{3}$$

$$Q5 = 269.88 \text{ MVA}$$

c. Menghitung Daya Semu S5 (MVA).

$$S5 = \sqrt{P5^2 + Q5^2} \dots \dots \dots (3)$$

$$S5 = \sqrt{710.81^2 + 269.88^2}$$

$$S5 = \sqrt{578086.1}$$

$$S5 = 760.3 \text{ MVA}$$

d. Menghitung Suhu Generator Rotor T5 ($^\circ\text{C}$), dengan $Fwr = 0.09028 \Omega$

$$T5 = \{[(Vf - Bdv) \times (235 + Fwrt)] \div (Fc \times Fwr)\} - 235 \dots \dots (4)$$

$$T5 = \{[(442.4 - 2) \times (235 + 75)] \div (4625.97 \times 0.09028)\} - 235$$

$$T5 = \{[440.4 \times 310] \div 417.63\} - 235$$

$$T5 = \{136524 \div 417.63\} - 235$$

$$T5 = 326.90 - 235$$

$$T5 = 91.90^\circ\text{C}$$

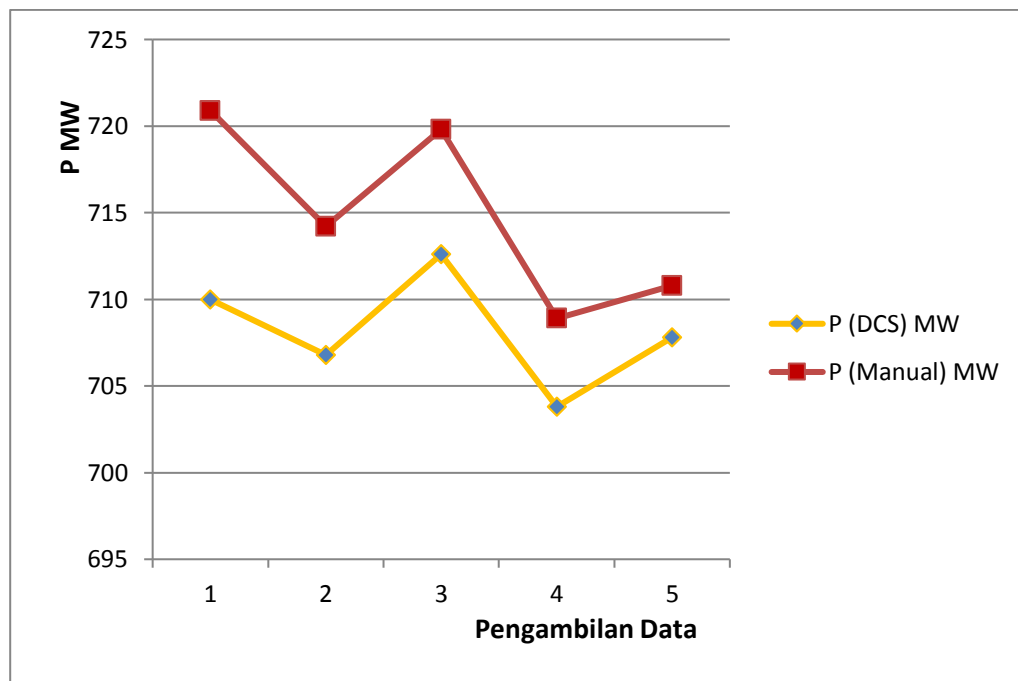
4.3 Analisa Masalah

a) Analisa Daya Aktif P (MW)

Dari data output generator yang ada di tampilan DCS dan dari hasil perhitungan secara manual, maka didapat data:

Tabel 4.3 Daya Aktif (P MW) di DCS dan Perhitungan Manual

	Satuan	Data Uji Ke-				
		1	2	3	4	5
P (DCS)	MW	710	706.8	712.6	703.8	707.8
P (Manual)	MW	720.9	714.2	719.8	708.9	710.8



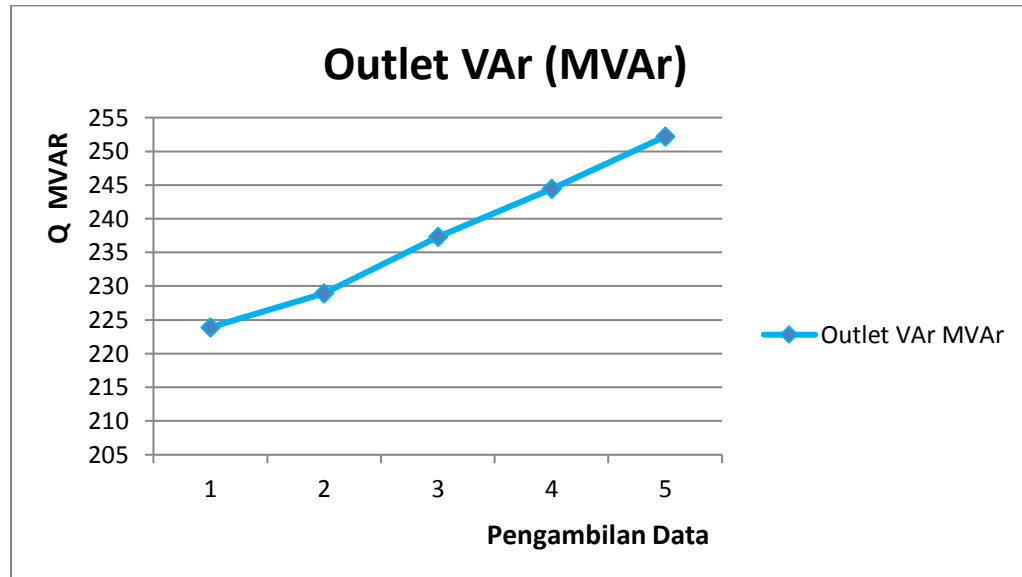
Gambar 4.2 Grafik Daya Aktif P (MW) Tampilan di DCS dan Hasil Perhitungan Manual

Dari data tabel 4.3 dan grafik 4.2 di dapat hasil bahwa daya aktif P (MW) dari tampilan DCS dan dari perhitungan secara manual terdapat perbedaan sekitar 5 – 9 MW, artinya output daya P aktif (MW) aktualnya lebih besar dari penunjukan peralatan yang ditampilkan di DCS, maka perlu diadakan pengecekan ulang atau kalibrasi terhadap peralatan yang berhubungan dengan keluaran daya aktif (P MWGross) generator.

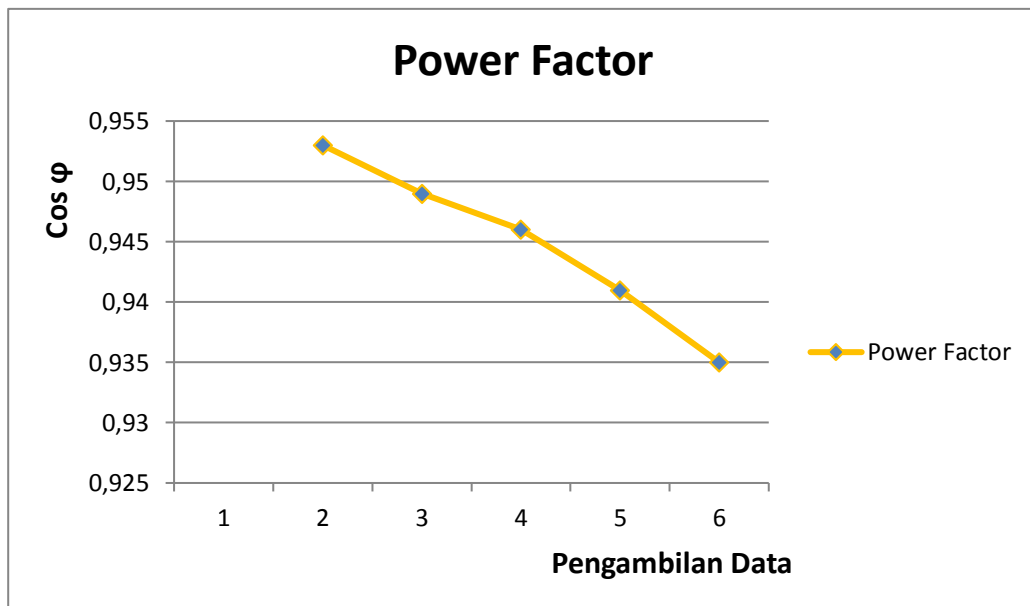
- b) Analisa Output Generator dalam Pembangkitan MVar dan pengaruhnya terhadap kenaikan suhu winding rotor.

Tabel 4.4 Output Generator, VAr, Power Factor dan Winding Temperatur

Generator Output	Satuan	Data Uji Ke-				
		1	2	3	4	5
Outlet VAr	MVar	223.9	228.9	237.3	244.4	252.2
Power Factor		0.953	0.949	0.946	0.941	0.935
Rotor Temperature Tampilan DCS	°C	88.1	89.4	90.4	90.6	91.6
Rotor Temperature Hasil Perhitungan	°C	88.70	89.43	90.46	90.45	91.90
Stator Temperature	°C	69.87	70.2	70.5	71.2	71.2

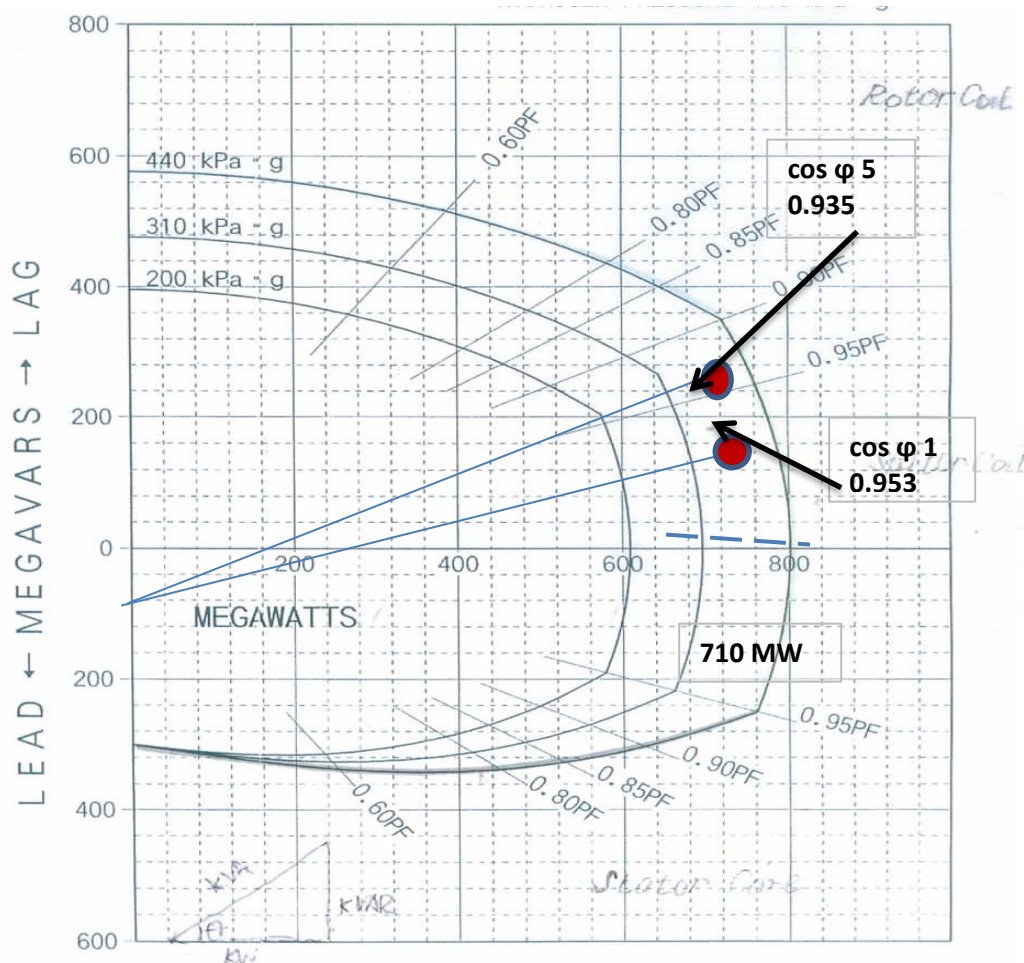


Gambar 4.3 Grafik kenaikan setting Q (MVAR)



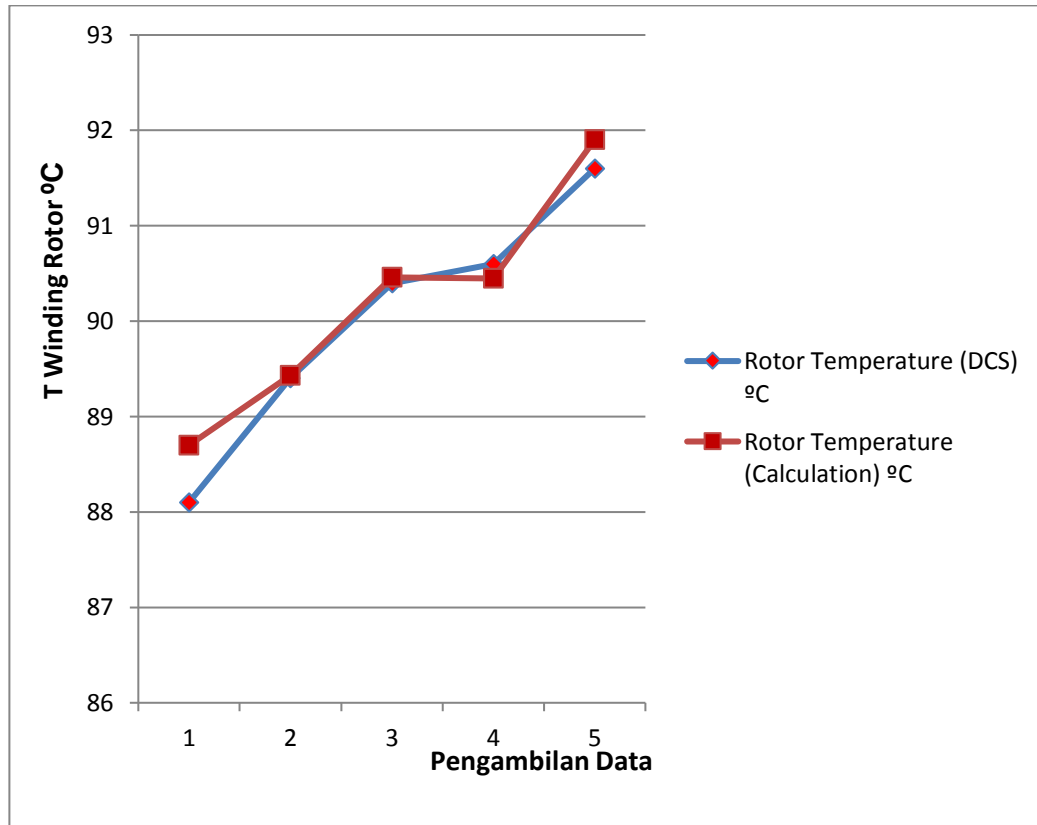
Gambar 4.4 Grafik Power Factor (Cos φ)

Dari tabel 4.4, grafik 4.3 dan grafik 4.4 didapatkan hasil bahwa setiap kenaikan MVAR maka power factor ($\cos \phi$) semakin turun, artinya sudut phase antara daya semu dan daya nyata semakin besar, sehingga beban generator semakin tinggi.



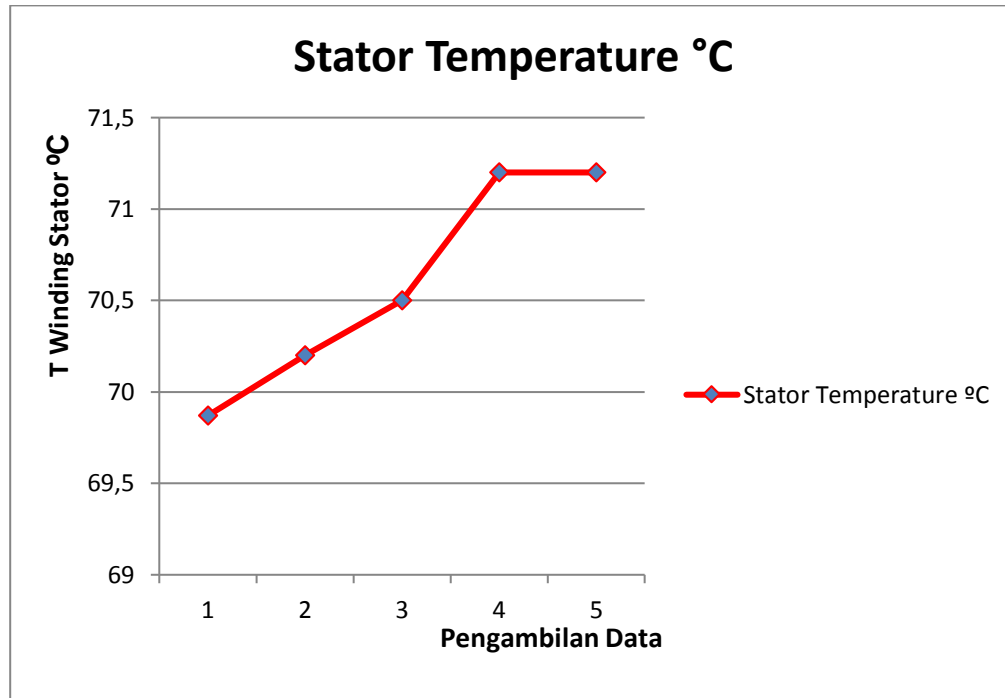
Gambar 4.5 Grafik Curva Capability Power Factor ($\cos \phi$)

Dan dari grafik 4.5 bahwa power factor ($\cos \phi$) dari data hasil uji ke-5 atau setting MVAR tertinggi masih di dalam area curve capability generator, artinya pengoperasian generator masih dalam batas aman.



Gambar 4.6 Grafik Generator Rotor Winding Temperatur

Dari data table 4.4 dan grafik 4.6 didapatkan hasil bahwa dari perhitungan secara manual dan tampilan DCS, semakin tinggi setting Q (MVA_r) semakin naik suhu di generator winding rotor, hal ini dipengaruhi oleh kenaikan tegangan dan arus (*generator voltage field* dan *generator current field*) di sistim eksitasi, dan juga sangat dipengaruhi oleh *winding resistance*, artinya beban di generator semakin tinggi.



Gambar 4.7 Grafik Generator Stator Coil Temperatur

Dari data table 4.4 dan grafik 4.7 didapatkan hasil bahwa semakin tinggi Q (MVar), maka semakin tinggi suhu di winding stator, hal ini dipengaruhi oleh kenaikan tegangan dan arus (*generator voltage field* dan *generator current field*) di sistem eksitasi, artinya beban di generator semakin tinggi.

4.4 Studi Batas Aman Optimalisasi Output Generator Unit 1 dalam Pembangkitan MVar

Dari data-data hasil uji pengoperasian optimalisasi output generator dalam pembangkitan MVar, maka dibuatlah tabel data yang akan digunakan sebagai panduan dalam pengoperasian generator di unit 1 ketika beban maksimum di 710 MW Gross dan diminta untuk mensuplai tegangan dan MVar maksimum.

Tabel 4.5 Studi Batas Aman Pengoperasian Generator Dalam Pembangkitan MVar

	Satuan	Data Nilai Keluaran Generator					
		1	2	3	4	5	6
		Batas Aman Operasi				Emergency Operasi	
Generator Output	MW	710	710	710	710	710	710
Field Voltage	V	426.7	428.5	435.1	435.4	442.4	446.1
Field Current	A	4505.1	4514.0	4569.5	4572.7	4626.0	4661.1
Power Factor		0.953	0.949	0.946	0.941	0.935	0.933
Outlet Var	MVar	223.9	228.9	237.3	244.4	252.2	260.3
Rotor temperature (DCS)	°C	88.1	89.4	90.4	90.6	91.6	92.5
Rotor temperature (Calculation)	°C	88.7	89.43	90.46	90.45	91.9	92.0
Generator voltage	KV	23.04	23.30	23.30	23.31	23.31	23.31
Satator Coil Temperature	°C	69.87	70.2	70.5	71.2	71.2	72.1

Dari data tabel 4.5 studi batas aman pengoperasian generator dalam pembangkitan MVar, maka dibuat kajian dan analisa batas aman pengoperasian generator sebagai berikut:

- 1) Berdasarkan SOP (*Standard Operating Procedure*) “*Tanjung Jati B Unit 1, 2, 3 and 4 Adjustment of Reactive Power Output Procedure*” tanggal 22 Maret 2012 telah disepakati bahwa batasan-batasan pengoperasian generator pada

waktu beban maksimum yaitu 710 MW_{gross} atau 660 MW_{net} berdasarkan rekomendasi manufaktur adalah sebagai berikut sesuai copy surat kesepakatan bahwa generator winding rotor dioperasikan < 105°C.

- 2) Generator di Tanjung Jati B winding insulation adalah class F dan menurut NEMA batas maksimum pengoperasian adalah 10% ini berdasarkan prediktif penurunan efisiensi generator adalah 10% (Sumber: http://www.engineeringtoolbox.com/nema-insulation-classes-d_734.html).

Dari kedua landasan acuan diatas maka batas aman suhu generator *winding* rotor di Unit 1 adalah:

$$105^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C} = 95^{\circ}\text{C}$$

Dari data dan analisa untuk pengoperasian generator di unit 1 pada beban maksimum 710 MW_{Gross} dalam pembangkitan MVar, ketika P2B minta suplai tegangan dan MVar dari PLTU Tanjung Jati B maksimum untuk menaikkan tegangan line Jawa-Bali, setting MVar ≤ 245 MVar dan suhu generator winding rotor $\leq 92^{\circ}\text{C}$ (batas zona hijau), generator voltage ≤ 23.31 kV, pada field voltage $\pm 435,4$ V dan field current ± 4572.7 A. Tetapi dalam keadaan *emergency* direkomendasikan pengoperasian generator di zona kuning asalkan tidak dioperasikan dalam waktu yang lama (maksimal ± 2 jam), sehingga pengoperasian generator masih berada pada area atau limit batas aman.

Pada umumnya temperature winding tidak boleh dioperasikan diatas *temperature* maksimum, karena setiap kenaikan 10°C di atas temperature maksimal akan mengakibatkan winding lebih cepat rusak. Selain peningkatan *temperature*, penurunan efisiensi generator tidak diharapkan terjadi, batas maksimum yang ditentukan yaitu efisiensi generator turun sebesar 10 %. Jadi intinya generator jangan dioperasikan pada *temperature* atau suhu panas yang berlebih dan dalam waktu yang lama, karena setiap kenaikan *temperature* akan mempengaruhi efisiensi dari generator tersebut. Semakin besar *temperature winding* generator maka semakin kecil efisiensi

pada generator tersebut. Hal ini dikarenakan panas yang ditimbulkan akan mengakibatkan belitan rotor dan stator memuai sehingga panjang belitan akan bertambah dan menyebabkan nilai hambatan pada belitan tersebut meningkat. Selain itu kekuatan isolasi generator tersebut akan semakin berkurang sehingga akan mengurangi umur atau *life time* operasi generator tersebut.