

## **BAB IV**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Hasil Penelitian**

##### **4.1.1. Sistem Eksitasi PLTGU GT 2-3**

Sistem eksitasi yang digunakan pada generator PLTGU UBP Priok Blok 2-3 menggunakan sistem eksitasi statis yang mengatur tegangan generator dan daya reaktif selama generator beroperasi paralel dengan sistem dengan jalan mengontrol secara langsung arus rotor menggunakan *thyristor converters*. Sistem eksitasi pada generator blok 2-3 bekerja dengan 2 channel. Channel 1 (*Automatic*) bekerja secara otomatis menggunakan *voltage regulator* dengan algoritma PID (*Proportional, Integral, Differential*) dan Channel 2 (*Manual*) bekerja manual menggunakan *field current regulator* dengan algoritma PI (*Proportional, Integral*) sebagai *back-up* bila terjadi masalah pada channel 1. Monitoring sistem eksitasi pada generator blok 2-3 menggunakan program SCADA.

##### **4.1.2. Monitoring Arus Eksitasi dan Daya Reaktif Generator GT Blok**

###### **2 Unit 3**

Data kinerja arus eksitasi ( $I_f$ ), tegangan keluaran (V), arus keluaran ( $I_a$ ) dan *power factor* diambil pada hari senin 12 Oktober 2015 jam 16.00 hingga selasa 13 Oktober 2015 jam 15.00. ditunjukkan pada tabel 4.1

Tabel 4.1. Hasil Pengukuran dengan SCADA

12 Oktober 2015				
Jam	If (A)	V (kV)	Ia (A)	PF
16.00	1145,5	16,021	5282,8	0,706
17.00	1002,9	16,030	4078,1	0,653
18.00	959,98	15,984	3829,6	0,690
19.00	977,53	15,965	3976,5	0,710
20.00	907,22	16,002	3698,4	0,725
21.00	904,29	15,965	3660,9	0,729
22.00	1098,6	15,975	5132,8	0,807
23.00	957,03	15,984	3829,6	0,736
13 Oktober 2015				
Jam	If (A)	V (kV)	Ia (A)	PF
00.00	915,03	15,984	3604,6	0,814
01.00	945,31	15,975	3829,6	0,824
02.00	913,08	15,993	3782,8	0,763
03.00	923,02	15,938	3782,8	0,826
04.00	944,33	15,975	3865,6	0,825
05.00	957,03	15,956	3904,6	0,819
06.00	963,86	16,002	3928,1	0,786
07.00	1063,9	15,947	5165,6	0,896
08.00	1122,0	15,993	5226,5	0,861
09.00	1147,4	15,993	5325	0,861
10.00	1176,7	16,030	5376,5	0,810
11.00	1217,7	16,039	5617,1	0,783
12.00	1166,9	16,030	5353,1	0,809
13.00	1109,3	16,002	5116,7	0,847
14.00	1149,9	16,021	5207,8	0,826
15.00	1016,6	16,058	3970,3	0,701
Rata-Rata	1034,51	15,99	4472,63	0,781
Maksimum	1217,7	16,058	5617,1	0,896
Minimum	904,29	15,938	3604,6	0,653

Dari pengambilan data yang dilakukan dapat dihitung nilai daya reaktif generator sebagai berikut:

Dari data:  $I_f = 1145,5 \text{ A}$

$$V = 16,021 \text{ kV}$$

$$I_a = 5282,8 \text{ A}$$

$$\cos \varphi = 0,706$$

$$\Phi = 45,08^\circ$$

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

$$= \sqrt{3} \times 16.021 \text{ V} \times 5282,8 \text{ A} \times \sin 45,08^\circ$$

$$= 103,81 \text{ MVAR}$$

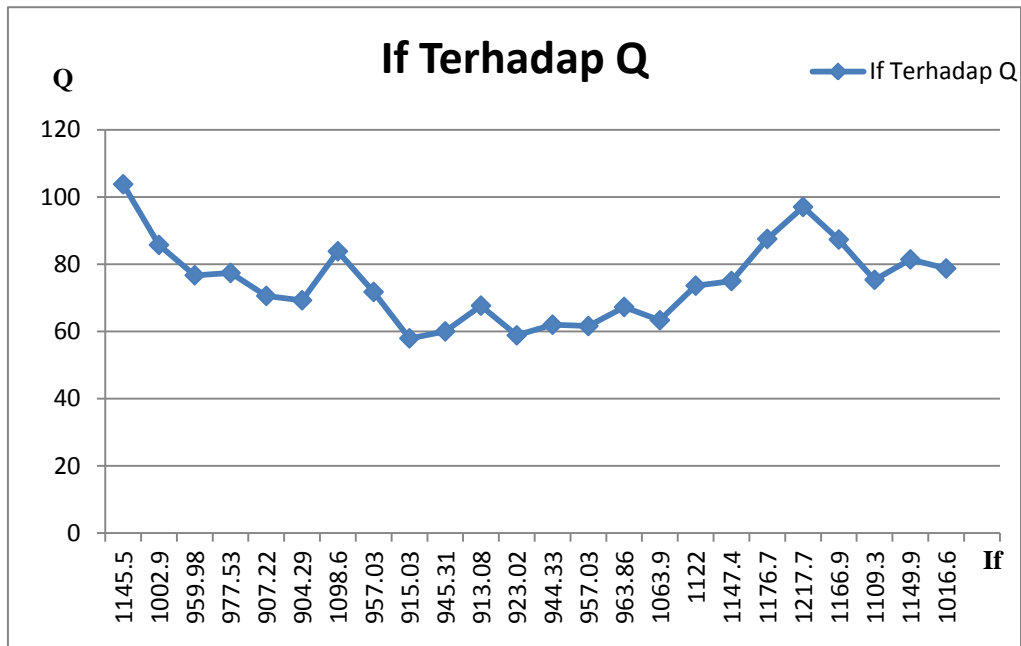
Berdasarkan perhitungan di atas dapat dibuat tabel kondisi generator sebagai berikut:

Tabel 4.2. Perhitungan Daya Reaktif (Q)

12 Oktober 2015					
Jam	$I_f$ (A)	V (kV)	$I_a$ (A)	PF	Q (MVAR)
16.00	1145,5	16,021	5282,8	0,706	103,81
17.00	1002,9	16,030	4078,1	0,653	85,75
18.00	959,98	15,984	3829,6	0,690	76,74
19.00	977,53	15,965	3976,5	0,710	77,43
20.00	907,22	16,002	3698,4	0,725	70,60
21.00	904,29	15,965	3660,9	0,729	69,29
22.00	1098,6	15,975	5132,8	0,807	83,87
23.00	957,03	15,984	3829,6	0,736	71,76
13 Oktober 2015					
Jam	$I_f$ (A)	V (kV)	$I_a$ (A)	PF	Q (MVAR)
00.00	915,03	15,984	3604,6	0,814	57,96
01.00	945,31	15,975	3829,6	0,824	60,03

02.00	913,08	15,993	3782,8	0,763	67,73
03.00	923,02	15,938	3782,8	0,826	58,86
04.00	944,33	15,975	3865,6	0,825	60,44
05.00	957,03	15,956	3904,6	0,819	61,92
06.00	963,86	16,002	3928,1	0,786	67,30
07.00	1063,9	15,947	5165,6	0,896	63,35
08.00	1122,0	15,993	5226,5	0,861	73,63
09.00	1147,4	15,993	5325	0,861	75,02
10.00	1176,7	16,030	5376,5	0,810	87,54
11.00	1217,7	16,039	5617,1	0,783	97,06
12.00	1166,9	16,030	5353,1	0,809	87,36
13.00	1109,3	16,002	5116,7	0,847	75,38
14.00	1149,9	16,021	5207,8	0,826	81,45
15.00	1016,6	16,058	3970,3	0,701	78,75
Rata-Rata	1034,51	15,99	4472,63	0,781	75,77
Maksimum	1217,7	16,058	5617,1	0,896	103,81
Minimum	904,29	15,938	3604,6	0,653	57,96

Dari tabel 4.2. di atas pada kolom perhitungan daya reaktif (Q) dan arus eksitasi (If) dapat diperoleh bahwa perubahan yang terjadi pada arus eksitasi mempengaruhi besarnya Q pada generator. Pada beberapa kondisi terjadi peningkatan pada arus eksitasi yang diikuti peningkatan pada besaran Q generator, dan penurunan pada arus eksitasi menyebabkan penurunan pada Q generator. Hal ini juga dapat diperjelas dengan grafik di bawah ini:



Gambar 4.1. Grafik Hubungan If Terhadap Q

Pada jam 02.00, 03.00, dan 07.00 terjadi perbedaan. Pada jam 02.00 terjadi penurunan besar arus eksitasi (If) pada generator, namun besarnya daya reaktif (Q) meningkat. Meningkatnya nilai daya reaktif ini diikuti dengan turunnya nilai faktor daya ( $\cos \phi$ ). Pada jam 03.00 dan jam 07.00 terjadi peningkatan pada arus eksitasi generator (If) namun terjadi penurunan pada daya reaktif generator (Q). Menurunnya nilai daya reaktif diikuti dengan naiknya besar faktor daya ( $\cos \phi$ )

#### 4.1.3. Persentase Perbandingan Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Daya Reaktif

Perhitungan persentase perbandingan arus eksitasi (If) terhadap daya reaktif (Q) adalah sebagai berikut:

### A. Persentase Perbandingan Arus Eksitasi

Dari data :  $I_{f1} = 1145,5 \text{ A}$

$$I_{f2} = 1002,9 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \% \Delta I_f &= \frac{I_{f2} - I_{f1}}{I_{f1}} \times 100\% \\ &= \frac{1002,9 - 1145,5}{1145,5} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\% \Delta I_f = -12,44\% = 12,44\%$$

### B. Persentase Perbandingan Daya Reaktif

Dari data :  $Q_1 = 103,81 \text{ MVAR}$

$$Q_2 = 85,75 \text{ MVAR}$$

$$\begin{aligned} \% \Delta Q &= \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1} \times 100\% \\ &= \frac{85,75 - 103,81}{103,81} \times 100\% \end{aligned}$$

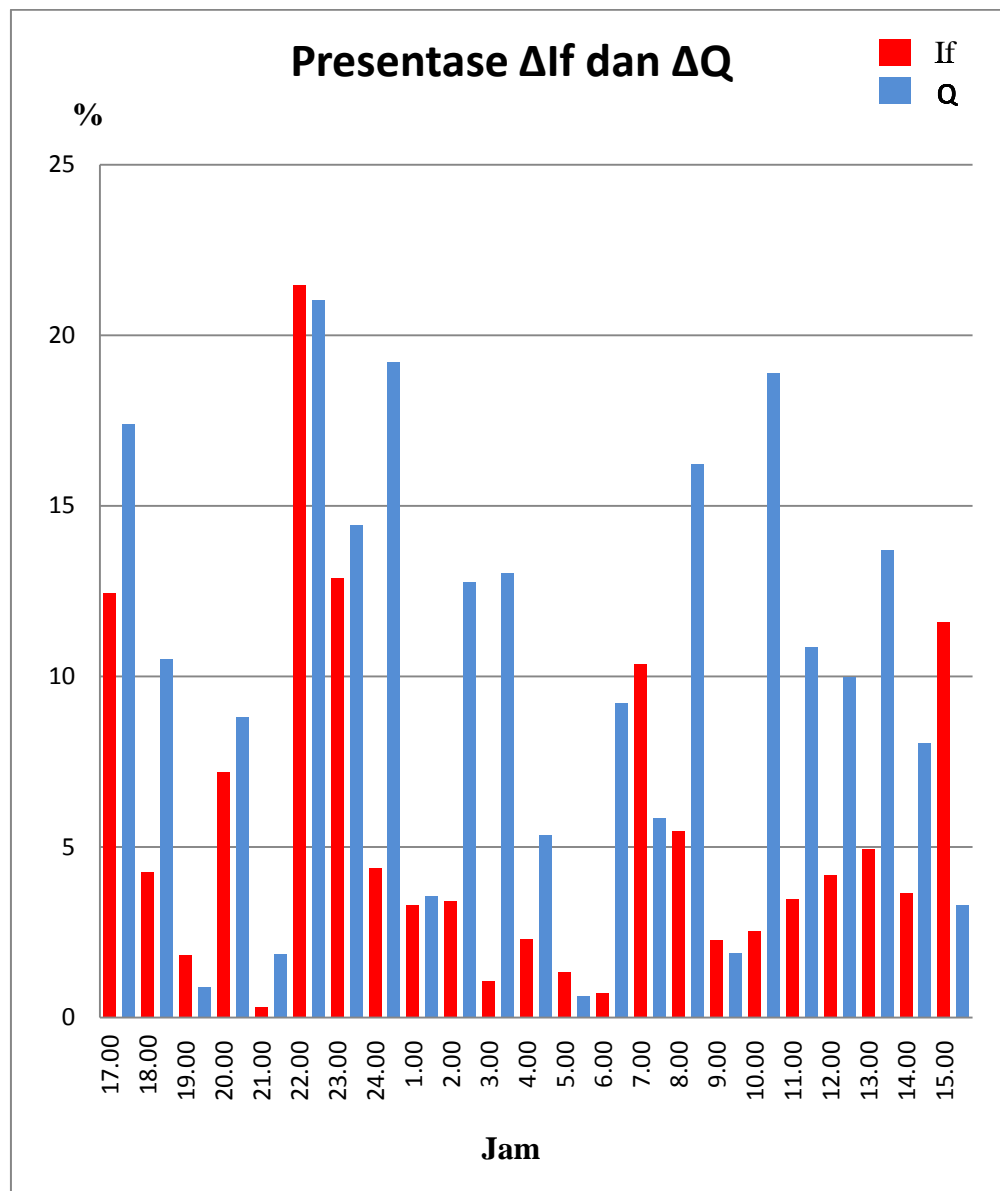
$$\% \Delta Q = -17,39\% = 17,39\%$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat dibuat tabel persentase perubahan arus eksitasi sebagai berikut:

Tabel 4.3. Persentase Perubahan Arus Eksitasi (If) dan Daya Reaktif (Q)

12 Oktober 2015				
Jam	If (A)	% $\Delta$ if	Q	% $\Delta$ Q
16.00	1145,5	-	103,81	-
17.00	1002,9	12,44	85,75	17,39
18.00	959,98	4,27	76,74	10,5
19.00	977,53	1,82	77,43	0,89
20.00	907,22	7,19	70,60	8,82

21.00	904,29	0,32	69,29	1,85
22.00	1098,6	21,48	83,87	21,04
23.00	957,03	12,88	71,76	14,43
13 Oktober 2015				
Jam	If (A)	% $\Delta$ if	Q	% $\Delta$ Q
00.00	915,03	4,38	57,96	19,23
01.00	945,31	3,31	60,03	3,57
02.00	913,08	3,41	67,73	12,82
03.00	923,02	1,08	58,86	13,09
04.00	944,33	2,31	60,44	2,68
05.00	957,03	1,34	61,92	2,44
06.00	963,86	0,71	67,30	8,68
07.00	1063,9	10,37	63,35	5,86
08.00	1122,0	5,46	73,63	16,22
09.00	1147,4	2,26	75,02	1,88
10.00	1176,7	2,55	87,54	18,89
11.00	1217,7	3,48	97,06	10,87
12.00	1166,9	4,17	87,36	9,99
13.00	1109,3	4,93	75,38	13,71
14.00	1149,9	3,65	81,45	8,05
15.00	1016,6	11,59	78,75	3,31
Rata-Rata	1034,51	5,47	75,77	9,83
Maksimum	1217,7	21,48	103,81	21,04
Minimum	904,29	0,32	57,96	0,62



Gambar 4.2. Diagram Presentase Perubahan Arus eksitasi dan Daya reaktif

Dari Tabel perhitungan persentase perubahan arus eksitasi dan daya reaktif di atas di dapat perubahan rata-rata nilai Q (daya reaktif) sebesar 9,83% (7,46 MVAR) akibat perubahan  $I_f$  rata-rata sebesar 5,47% (56,67 A). Perubahan terbesar pada eksitasi dan daya reaktif terjadi pada jam 22.00.



Perubahan pada eksitasi sebesar 194,31A dengan persentase 21,48% dan pada nilai Q (daya reaktif) sebesar 14,58 MVAR dengan persentase 21,04%. Sementara nilai perubahan minimum pada eksitasi sebesar 2,93 A dengan persentase 0,32% terjadi pada jam 21.00 dengan perubahan nilai Q (daya reaktif) sebesar 1,85%. Perubahan minimum pada nilai Q (daya reaktif) sebesar 0,39 MVAR dengan persentase 0,62% terjadi antara jam 05.00 dengan perubahan If sebesar 1,34%.

#### 4.1.4. Daya Reaktif Negatif

Dari data yang didapat selama sebulan didapatkan nilai Q (daya reaktif) yang bernilai negatif. Nilai Q negatif terjadi pada tanggal 24 September 2015 pukul 06.00 hingga 09.00. Dari data, didapatkan perhitungan sebagai berikut:

Data : If = 654

$$V = 15,5 \text{ kV}$$

$$I_a = 3100 \text{ A}$$

$$\text{Cos } \varphi = -0,9$$

$$\varphi = -25,84^\circ$$

Maka :  $Q = \sqrt{3} V.I. \sin \varphi$

$$= \sqrt{3} \times 15500 \text{ V} \times 3100 \text{ A} \times \sin (-25,84^\circ)$$

$$= \sqrt{3} \times 48,05 \text{ MVA} \times (-0,43)$$

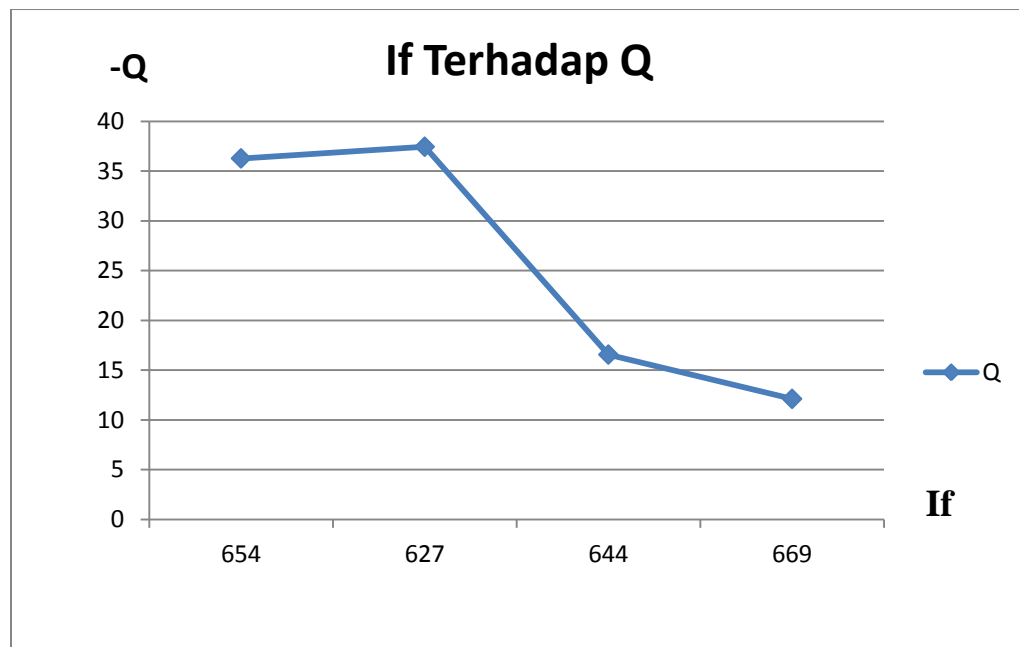
$$= -36,27 \text{ MVAR}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka dapat dibuat tabel sebagai berikut:

Tabel 4.4. Perhitungan Daya Reaktif (Q) Negatif

24 September 2015					
Jam	If (A)	V (kV)	Ia (A)	PF	Q (MVAR)
06.00	654	15,5	3100	-0,9	-36,27
07.00	627	15,5	3200	-0,9	-37,44
08.00	644	15,5	3100	-0,98	-16,56
09.00	669	15,5	3200	-0,99	-12,11

Berdasarkan Tabel 4.4 didapatkan kurva If terhadap Q sebagai berikut:



Gambar 4.3. Grafik Hubungan If terhadap Q Negatif

Berdasarkan Grafik 4.3 di atas, perubahan yang terjadi pada nilai  $I_f$  mempengaruhi besarnya  $Q$ , saat  $I_f$  naik maka diikuti kenaikan pada nilai  $Q$  dan saat  $I_f$  turun diikuti juga penurunan pada nilai  $Q$ .

Generator yang mempunyai nilai daya reaktif ( $Q$ ) negatif berarti generator tersebut bertindak sebagai kapasitor dengan kata lain generator tersebut mengkonsumsi daya reaktif. Hal ini terjadi karena generator terlalu terbebani beban kapasitif. Kondisi ini disebabkan beroperasinya motor sinkron secara bersamaan pada sebagian besar pabrik.

Dalam sistem interkoneksi, jika ada generator lain yang diberi eksitasi berlebihan ketika menghadapi penambahan beban, maka pada generator lainnya akan menyerap daya reaktif (daya reaktif negatif).

#### **4.1.5. Pengaruh Fluktuasi Tegangan**

Gejala perubahan tegangan bukan berasal kesalahan atau gangguan sistem, tetapi disebabkan oleh perubahan beban pada sistem dan pada saat pengoperasian pensaklaran sistem. Dari nilai tegangan induksi pada jangkar yang dibangkitkan generator ( $E_a$ ) dapat terlihat besarnya fluktuasi tegangan. Dari data tegangan keluaran ( $V_t$ ) dan arus keluaran ( $I_a$ ) dan data spesifik generator dapat dihitung nilai  $E_a$  adalah sebagai berikut:

Dari data:  $V_t = 16,021 \text{ kV}$

$I_a = 5282 \text{ A}$

$X_s = 0,85 \text{ pu}$

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

$$Z_{base} = \frac{15750}{7698 \times \sqrt{3}}$$

$$= 1,18$$

$$X_s \text{ (dalam } \Omega) = 0,85 \times 1,18$$

$$= 1,003 \Omega$$

$$E_a = V_t + jI_a X_s$$

$$E_a = 16.021 + j5282,8 \times 1,003 \Omega$$

$$= 16.021 + j5298,64$$

$$= 16,874 \text{ kV} \angle 89,98^\circ$$

Berdasarkan perhitungan di atas dapat dibuat tabel fluktuasi tegangan sebagai berikut:

Tabel 4.5. Perhitungan Fluktuasi Tegangan

12 Oktober 2015			
Jam	V (kV)	Ia (A)	Ea (V)
16.00	16,021	5282,8	16874,48
17.00	16,030	4078,1	16543,63
18.00	15,984	3829,6	16439,05
19.00	15,965	3976,5	16455,66
20.00	16,002	3698,4	16426,33
21.00	15,965	3660,9	16381,82
22.00	15,975	5132,8	16784,06
23.00	15,984	3829,6	16439,05
13 Oktober 2015			
Jam	V (kV)	Ia (A)	Ea (V)
00.00	15,984	3604,6	16387,78
01.00	15,975	3829,6	16430,29
02.00	15,993	3782,8	16436,9

03.00	15,938	3782,8	16383,39
04.00	15,975	3865,6	16438,77
05.00	15,956	3904,6	16429,59
06.00	16,002	3928,1	16479,89
07.00	15,947	5165,6	16767,55
08.00	15,993	5226,5	16830,23
09.00	15,993	5325	16861,26
10.00	16,030	5376,5	16912,76
11.00	16,039	5617,1	16999,73
12.00	16,030	5353,1	16905,29
13.00	16,002	5116,7	16804,82
14.00	16,021	5207,8	16851,01
15.00	16,058	3970,3	16544,41
Rata-rata	15,99	4472,63	16616,99

Berdasarkan perhitungan  $E_a$  diatas maka dapat dilihat besarnya tegangan induksi ( $E_a$ ) yang dihasilkan generator pada pukul 16.00 sebesar 16,874 kV. Namun tegangan keluaran generator ( $V_t$ ) dijaga tetap konstan yaitu sebesar 16,021 kV untuk menjaga sinkronisasi dengan sistem. Hal ini juga menyebabkan generator bersifat kapasitif yaitu memberikan atau mensuplai daya reaktif yang berlebihan ke dalam sistem. Besarnya fluktuasi tegangan yang terjadi rata-rata sebesar 3,89% dari tegangan nominal

#### **4.1.6. Perbandingan Hasil Pengukuran dengan Hasil Perhitungan Daya Reaktif**

Terdapat perbedaan hasil pengukuran menggunakan SCADA pada PT. Indonesia Power dengan perhitungan rumus. Hal ini dapat ditunjukkan melalui tabel 4.6. berikut ini:

Tabel 4.6. Perbedaan Nilai Pengukuran dan Perhitungan Daya Reaktif, serta Pengukuran Daya Aktif

12 Oktober 2015			
Jam	Q (MVAR) Pengukuran	Q (MVAR) Perhitungan	P (MW) Pengukuran
16.00	82,874	103,81	121,16
17.00	74,794	85,75	84,236
18.00	63,318	76,74	83,496
19.00	63,757	77,43	88,599
20.00	56,726	70,60	84,424
21.00	57,056	69,29	83,496
22.00	65,186	83,87	125,43
23.00	62,109	71,76	83,125
13 Oktober 2015			
Jam	Q (MVAR) Pengukuran	Q (MVAR) Perhitungan	P (MW) Pengukuran
00.00	58,154	57,96	82,290
01.00	59,033	60,03	86,465
02.00	56,616	67,73	86,743
03.00	57,385	58,86	86,743
04.00	58,923	60,44	90,625
05.00	60,132	61,92	88,784
06.00	65,076	67,30	87,021
07.00	61,340	63,35	127,93
08.00	73,425	73,63	124,50
09.00	76,26	75,02	127,00
10.00	84,741	87,54	123,38
11.00	92,542	97,06	122,18
12.00	83,862	87,36	120,97
13.00	73,096	75,38	121,25
14.00	79,028	81,45	120,51
15.00	77,380	78,75	79,878

Dari tabel 4.6 terlihat adanya perbedaan antara nilai hasil pengukuran dengan perhitungan. Hal ini terjadi karena terdapat rugi-rugi pada instrumen

pengukuran. Perbedaan pengukuran dan perhitungan terbesar terjadi pada tanggal 12 Oktober 2015 Pukul 16.00. yaitu sebesar 20%. Perbedaan yang besar ini akibat dari rugi-rugi pada instrumen pengukuran dan adanya pembebanan yang besar pada generator serta tahanan dalam generator. Pembebanan ini menyebabkan generator harus bekerja lebih keras dengan menaikkan jumlah daya yang dihasilkan. Kenaikan jumlah daya yang dihasilkan generator menyebabkan perubahan tegangan keluaran generator. Sementara generator harus mempertahankan tegangan keluaran agar tidak lepas sinkron dengan jaringan. Pada pukul 16.00 tegangan keluaran generator sebesar 16,021 kV dan masih pada kondisi stabil dengan jaringan. Namun arus keluaran dari generator semakin besar yaitu 5282,8 A yang menyebabkan tahanan dalam generator meningkat dan panas pada instrumen pengukuran yang menyebabkan besarnya rugi rugi.

## **4.2. Pembahasan**

### **4.2.1. Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Daya Reaktif Generator Gas Turbin Blok 2 unit 3**

Pada gambar 4.1 grafik hubungan arus eksitasi dan daya reaktif terlihat bahwa perubahan pada arus eksitasi menyebabkan perubahan pada daya reaktif generator. Hal ini juga dibuktikan dengan presentase rata-rata perubahan daya reaktif yang terjadi pada tanggal 12 Oktober 2015 jam 16.00 hingga 13 Oktober 2015 jam 15.00 sebesar 9,83% karena perubahan pada arus eksitasi rata-rata sebesar 5,47%. Perubahan yang terjadi pada daya reaktif

guna mempertahankan tegangan keluaran generator yang berubah akibat perubahan permintaan daya serta fluktuasi tegangan rata-rata sebesar 3,89% dari tegangan nominal.

Terdapat kondisi *under excited* dimana generator bersifat *leading* dan menyerap daya reaktif dengan nilai terbesar -36,27 MVAR pada saat arus eksitasi sebesar 654 A. Ini terjadi karena pembebanan beban induktif yang terlalu besar atau bekerjanya motor sinkron pada sebagian besar pabrik secara bersamaan. Pada kondisi daya reaktif bernilai negatif perubahan eksitasi juga mempengaruhi nilai daya reaktif. Adanya perbedaan antara hasil pengukuran dengan menggunakan SCADA dan perhitungan diakibatkan adanya rugi rugi pada alat instrumen pengukuran.