

## PERHITUNGAN DAYA REAKTIF (kVAr<sub>C</sub>) PADA TRAIN A, B DAN C SISTEM KELISTRIKAN RSG-GAS

Kiswanto, Teguh Sulistyio

### ABSTRAK

**PERHITUNGAN DAYA REAKTIF (kVAr<sub>C</sub>) PADA TRAIN A, B DAN C SISTEM KELISTRIKAN RSG-GAS.** Perhitungan kVAr<sub>C</sub> ini dilakukan untuk memperoleh kebutuhan kapasitas kapasitor bank pada train A, B dan C sistem kelistrikan RSG-GAS sehingga dapat menaikkan faktor daya ( $\text{Cos } \varphi$ ) menjadi 0,95. Metoda perhitungan ini menggunakan data-data yang tertera dalam beban train A, B dan C meliputi daya terpasang,  $\text{Cos } \varphi$ , daya semu dan daya reaktif. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa masing-masing trian A, B dan C membutuhkan kapasitas kapasitor bank rerata 500 kVAr<sub>C</sub> untuk menaikkan faktor daya menjadi 0,95.

### ABSTRACT

**CALCULATION OF REACTIVE POWER (kVAr<sub>C</sub>) TRAINS A, B DAN C SYSTEM ELECTRIC OF RSG-GAS.** Calculation of this kVAr<sub>C</sub> to obtain requirement of bank capacitor capacities at A train, B and of C system electric of RSG-GAS so that can boost up power factor ( $\text{Cos } \varphi$ ) becoming 0,95. this Calculation method use dates which as described in burden of train A, B and of C cover energy attached, power factor, sham energy and energy of reactive. Result of calculation indicate that each A train, B and of C require average bank capacitor capacities 500 kVAr<sub>C</sub> to boost up power factor become 0,95.

**PENDAHULUAN**

Sejalan dengan upaya meningkatkan efisiensi dan penghematan pemakaian energi listrik di lingkungan Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy (RSG-GAS) maka perlu dilakukan perhitungan kebutuhan kapasitas kapasitor *bank* yang dinyatakan dalam satuan kVAr<sub>C</sub> pada masing-masing train A, B dan C.

Menurut hipotesis penulis, meningkatnya biaya pemakaian energi listrik yang ditunjukkan dari data rekening listrik RSG-GAS tahun 2006 karena fluktuasinya daya nyata, semu dan reaktif serta rendahnya nilai faktor daya (Cos φ) pada masing-masing train. Perubahan daya ini sering kali tidak dapat dihindari karena penggunaan beban induktif maupun kapasitif yang cukup besar. Untuk mengetahui besarnya perubahan yang terjadi pada beban pada masing-masing train A, B dan C maka perlu dilakukan perhitungan daya nyata (P, watt), daya semu (S, VA), daya reaktif (Q, VAr) serta kebutuhan kapasitas kapasitor *bank* pada masing-masing train. Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh hasil perhitungan kebutuhan kapasitas kapasitor *bank* pada masing-masing train A, B dan C.

**TEORI**

Pasokan daya listrik untuk memenuhi kebutuhan operasi RSG-GAS disuplai dari Gardu Distribusi Serpong melalui jaringan tegangan menengah kabel bawah tanah PLN ke panel hubung tegangan menengah. Untuk melayani kebutuhan energi listrik pada fasilitas RSG-GAS digunakan 3 (tiga) unit transformator daya penurun tegangan (*step down transformer*) yang terdiri atas BHT01, BHT02 dan BHT03 dengan rating tegangan 20 kV, 3 Φ, 50 Hz dan tegangan pada sisi sekunder 400 V, dengan kapasitas 1600 kVA untuk masing-masing unit. Distribusi daya dilakukan oleh masing-masing transformator tersebut dengan jalur beban yang terpisah satu sama lainnya secara redundan dalam tiga jalur yang terdiri atas train A, train B dan train C. Beban-beban yang dilayani oleh ketiga jalur tersebut meliputi motor pompa

pada sistem pendingin primer, sistem pendingin sekunder, motor-motor katup, lampu penerangan, crane dan lain sebagainya. Pada masing-masing jalur disediakan rel daya darurat (*emergency bus*) yang selain dipasok oleh transformator juga dipasok oleh tiga unit pembangkit listrik tenaga disel (*generating set, genset*) BRV10, BRV 20 dan BRV 30.

Rel daya darurat, selain melayani secara sendiri-sendiri beban yang terhubung pada dirinya sendiri juga secara bersama-sama melayani beban pada rel daya sistem DC untuk melayani RPS dan *emergency control room*. Tiap unit pembangkit listrik tenaga disel (*genset*) membangkitkan daya yang sama kapasitasnya dengan daya utama yang disuplai dari jaringan PLN untuk setiap rel daya darurat sebesar 800 amper. Dengan demikian diharapkan bahwa seluruh beban yang dipasok oleh rel daya darurat dalam keadaan normal (catu daya PLN ada) dapat dilayani oleh genset tersebut bilaman catu daya utama gagal.

**Daya**

Beban pada sistem kelistrikan RSG-GAS terdiri atas dua jenis, yaitu beban satu fasa dan beban tiga fasa. Beban tiga fasa merupakan beban yang dominan digunakan pada sistem kelistrikan RSG-GAS untuk melayani motor-motor listrik pada sistem pendingin primer, sistem pendingin sekunder, motor-motor katup, lampu penerangan, crane dan lain sebagainya, sementara beban satu fasa meliputi lampu-lampu penerangan.

Energi yang diserap oleh beban disebut daya listrik, dimana besarnya energi tersebut dibagi atas dua jenis daya sesuai dengan jenis beban yang dipasoknya. Besarnya masing-masing daya dituliskan dalam bentuk persamaan dasar yaitu:

$$P_{1\phi} = VI.Cos\phi \dots\dots\dots(1)$$

dengan:

- P<sub>1φ</sub> = daya satu fasa (watt)
- V = tegangan efektif (volt)
- I = arus efektif (amper)

$\cos \Phi$  = faktor daya (dalam kisaran 0,5 sampai dengan 0,85)

$$P_{3\phi} = \sqrt{3}.V_{3\phi}.I.Cos\phi \dots\dots(2)$$

dengan:

$P_{3\phi}$  = daya tiga fasa (watt)

$V_{3\phi}$  = tegangan tiga fasa (volt)

Apabila besarnya efisiensi ( $\eta$ ) peralatan diperhitungkan maka persamaan (1) dan (2) besarnya daya masing-masing fasa yaitu:

$$P_{1\phi} = VI.\eta.Cos\phi \dots\dots(3)$$

$$P_{3\phi} = \sqrt{3}.V_{3\phi}.\eta.I.Cos\phi \dots\dots(4)$$

dengan:

$\eta$  = efisiensi

Sehingga besarnya arus beban I tiga fasa dapat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$I_{ph} = \frac{P_{3\phi}}{\sqrt{3}.V_{3\phi}.\eta.I.Cos\phi} \dots\dots(5)$$

dengan:

$I_{ph}$  = arus fasa (amper)

Beban pada tiga fasa dan satu fasa yang meliputi motor-motor listrik pada sistem pendingin primer, sistem pendingin sekunder, motor-motor katup, lampu penerangan, crane, lampu-lampu penerangan, dan lain sebagainya menghasilkan tiga jenis daya yaitu daya nyata P (watt), daya semu S (VA) dan daya reaktif Q (VAr). Masing-masing daya ini memiliki karakteristik yang berbeda karena masing-masing beban pada rangkaian arus bolak-balik memiliki sifat resistif, induktif dan kapasitif.

**Daya Nyata P (watt)**

Besarnya daya nyata dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4). Daya nyata (P) ini diperoleh dari hasil perkalian antara tegangan efektif, arus efektif dengan faktor daya.

**Daya Semu S (VA)**

Besarnya daya semu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (6). Daya semu (S) ini diperoleh dari hasil perkalian antara tegangan efektif dan arus efektif.

$$S = \sqrt{3}.V.I \dots\dots(6)$$

**Daya Reaktif Q (VAr)**

Besarnya daya reaktif dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (7). Daya reaktif (Q) ini diperoleh dari hasil perkalian antara tegangan efektif, arus efektif dengan sudut fasa.

$$Q = \sqrt{3}.V.I.Sin\phi \dots\dots(7)$$

**Kapasitas kapasitor bank (kVAr<sub>C</sub>)**

Kapasitor bank merupakan kumpulan dari unit-unit kapasitor yang terhubung paralel (shunt) yang mempunyai kemampuan mengkompensasi daya reaktif dan induktif secara statis tanpa menggunakan komponen bergerak seperti halnya motor sinkron.

Kapasitas kapasitor *bank* yang digunakan untuk mengkompensasi daya reaktif dan induktif dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$S = \frac{P}{Cos\phi} \dots\dots(8)$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \dots\dots(9)$$

**METODA PERHITUNGAN**

Untuk menghitung kapasitas kapasitor *bank* (kVAr<sub>C</sub>) yang digunakan pada masing-masing train A, B dan C sehingga dapat mengkompensasi daya reaktif dan induktif yang terjadi digunakan persamaan (8) dan (9). Dengan menggunakan data-data dari train A, B dan C tersebut, diperoleh hasil perhitungan daya aktif, daya reaktif, daya semu serta kapasitas kapasitor *bank* dari masing-masing train tersebut. Supaya hasil perhitungan ini lebih mudah dipahami maka hasil perhitungan ini disajikan dalam bentuk tabel hasil perhitungan pada masing-masing train.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Fungsi panel BHA/BHB/BHC yang dilengkapi dengan komponen-komponen sistem proteksi seperti CB, MCB dan fuse

adalah mendistribusikan daya listrik yang dipasok dari satu daya utama PLN melalui dua busbar utama yaitu busbar utama I (BHA, BHB, BHC) dan busbar utama II (BHD, BHE, BHF), yang dibagi dalam tiga kelompok beban yaitu kelompok A pada Train A dipasok oleh BHT01, kelompok B pada Train B dipasok oleh BHT02 dan kelompok C pada Train C dipasok oleh

BHT03, sedangkan apabila satu daya utama mengalami gangguan sehingga tidak dapat memasok daya listrik maka genset akan membangkitkan daya listrik dan mendistribusikannya melalui busbar darurat (BNA, BNB, BNC). Hasil perhitungan daya pada masing-masing train A, B dan C. seperti ditunjukkan pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 1. Hasil perhitungan daya reaktif pada Train A

Uraian	Daya Terpasang (kW)	Cos $\phi$	Daya Semu (kVA)	Daya Reaktif (kVAr)
<b>BHA</b>				
<i>Cilled water set</i>	135	0.81	166.7	97.7
<i>Secondary pump</i>	220	0.8	275	165.0
<i>Hidraulic booster plant</i>	5	0.75	6.7	4.4
<i>Cooling tower blower</i>	37	0.78	47.4	29.7
<i>Cooling tower blower</i>	37	0.78	47.4	29.7
<i>Cooling tower blower</i>	37	0.78	47.4	29.7
<b>BHD</b>				
<i>Prymary pump</i>	160	0.8	200	120.0
<i>Purification pump</i>	7.5	0.7	10.7	7.7
<i>Purification pump</i>	4	0.7	5.7	4.1
<i>Warm layer pump</i>	4	0.7	5.7	4.1
<i>Compressed ari plant</i>	35	0.75	46.7	30.9
<i>Sub-distribution operating building</i>	120	0.8	150	90.0
<i>reactor building</i>	50	0.9	55.6	24.2
<i>venting system</i>	125	0.75	166.7	110.2
<i>Pump</i>	5.5	0.7	7.9	5.6
<b>BNA</b>				
<i>Rectifier</i>	66	-	66	
<i>Rectifier</i>	11	-	11	
<i>UPS</i>	33	-	33	
<i>Sub-distribution -venting system</i>	38.5	0.75	51.3	34.0
<i>-venting system</i>	38.5	0.75	51.3	34.0
<i>-venting system</i>	8	0.7	11.4	8.2
<i>-reactor building</i>	25	1	25	0.0

Bersambung

Tabel 1. Lanjutan

Uraian	Daya Terpasang (kW)	Cos φ	Daya Semu (kVA)	Daya Reaktif (kVAr)
-venting system	42	0.75	56	37.0
-venting system	12	0.75	16	10.6
Air heater	3	1	3	0.0
Fan	11	0.75	14.7	9.7
Pump	4	0.7	5.7	4.1
Fan	7.5	0.7	10.7	7.7
Fan	7.5	0.7	10.7	7.7
Jumlah	1.289	0.82	1.575.39	905.73

Jumlah daya terpasang pada train A sebesar 1.289 kW, Jumlah daya semu pada train A sebesar 1.575.39 kVA, Jumlah daya reaktif pada train A sebesar 905.73 kVAr, Rata-rata Cos φ pada train A sebesar 0.82, Untuk menaikkan nilai Cos φ pada train A sebesar 0,95 dihitung dengan cara:

$$S = \frac{P}{\cos\phi}$$

$$= \frac{1.575.4}{0.95}$$

$$= 1.356.8 \text{ kVA}$$

dan

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$= \sqrt{(1.356.8)^2 - (1.289)^2}$$

$$= 423.7 \text{ kVAr}$$

sehingga:

$$Q_c = (905.73) - (423.7)$$

$$= 482.05 \text{ kVAr}_c$$

$$\approx 500 \text{ kVAr}_c$$

Tabel 2. Hasil perhitungan daya reaktif pada Train B

Uraian	Daya Terpasang (kW)	Cos φ	Daya Semu (kVA)	Daya Reaktif (kVAr)
<b>BHB</b>				
Cilled water set	135	0.81	166.7	97.7
Secondary pump	220	0.8	275	165.0
Process water pump	4.4	0.7	6.3	4.5
Cooling tower blower	37	0.78	47.4	29.7
Cooling tower blower	37	0.78	47.4	29.7
Cooling tower blower	37	0.78	46.3	27.8
Demineral water supply	25	0.7	35.7	25.5

Bersambung

Tabel 2. Lanjutan

Uraian	Daya Terpasang (kW)	Cos $\phi$	Daya Semu (kVA)	Daya Reaktif (kVAr)
<b>BHE</b>				
<i>Primary pump</i>	160	0.8	200	120.0
<i>Purification pump</i>	7.5	0.7	10.7	7.7
<i>Warm layer pump</i>	4	0.7	5.7	4.1
<i>Hot cells</i>	7.2	0.7	10.3	7.3
<i>Sub distribution</i>				
<i>-operating building</i>	120	0.8	150	90.0
<i>-reactor building</i>	30	0.9	33.3	14.5
<i>-venting sistem</i>	50	0.9	55.6	24.2
<i>Pump</i>	5.5	0.7	7.9	5.6
<i>Pump</i>	11	0.8	13.8	8.3
<i>Pump</i>	7.5	0.7	10.7	7.7
<i>Flooding system</i>	3	0.8	3.8	2.3
<b>BNB</b>				
<i>Rectifier</i>	-	-		
<i>Rectifier</i>	-	-		
<i>Rectifier</i>	-	-		
<i>Sub-distribution</i>				
<i>-reactor building</i>	-	-		
<i>-venting system</i>	38.5	0.75	51.3	34.0
<i>-venting system</i>	38.5	0.75	51.3	34.0
<i>-venting system</i>	8	0.7	11.4	8.2
<i>-venting system</i>	36	0.7	51.4	36.7
<i>-venting system</i>	12	0.7	17.1	12.2
<i>Pump</i>	3.6	0.7	5.1	3.7
<i>Air heater</i>	3	1	3	0.0
<i>Fan</i>	11	0.75	14.7	9.7
<i>Ramp test</i>	10	0.75	13.3	8.8
<i>Pump</i>	4	0.7	5.7	4.1
<i>Fan</i>	7.5	0.7	10.7	7.7
<i>Fan</i>	7.5	0.7	10.7	7.7
Jumlah	1.080,7	0.79	1.367,6	838.1

Jumlah daya terpasang pada train B sebesar 1.080,7 kW, Jumlah daya semu pada train B sebesar 1.367,6 kVA, Jumlah daya reaktif pada train B sebesar 838,1 kVA, Rata-rata Cos  $\phi$  pada train B sebesar 0,79,

Untuk menaikkan nilai Cos  $\phi$  pada train B sebesar 0,95 dihitung dengan cara:

$$S = \frac{P}{\cos\phi}$$

$$= \frac{1.080.7}{0.95}$$

$$= 1.137.6 \text{ kVA}$$

dan

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$= \sqrt{(1.137.6)^2 - (1.080.7)^2}$$

$$= 355.2 \text{ kVAr}$$

sehingga:

$$Q_c = (838.1) - (355.2)$$

$$= 482.84 \text{ kVAr}_c$$

$$\approx 500 \text{ kVAr}_c$$

Tabel 3. Distribusi Beban Train C<sup>[1]</sup>

Uraian	Daya Terpasang (kW)	Cos φ	Daya Semu (kVA)	Daya Reaktif (kVAr)
<b>BHC</b>				
<i>Cilled water set</i>	135	0.81	166.7	97.7
<i>Secondary pump</i>	220	0.8	275	165.0
<i>Process water pump</i>	4.4	0.7	6.3	4.5
<i>Sub-distribution</i>				
<i>-auxiliary building</i>	30	0.75	40	26.5
<i>Cooling tower blower</i>	37	0.78	47.4	29.7
<i>Pipe cleaning plant</i>	5	0.7	7.1	5.1
<i>Sub-distribution</i>				
<i>-Ventingsystem</i>	26	0.75	34.7	25.6
<i>Pump</i>	2.5	0.75	3.3	3.0
<b>BHF</b>				
<i>Primary pump</i>	160	0.8	200	120.0
<i>Purification pump</i>	4	0.7	40	39.8
<i>Warm layer heater</i>	60	0.9	66.7	29.1
<i>Sub-distribution</i>				
<i>-operating building</i>	120	0.8	150	90.0
<i>-reactor building</i>	70	0.9	77.8	33.9
<i>-venting system</i>	4.5	0.7	6.4	4.6
<i>-venting sistem</i>	12	0.7	17.1	12.2
<i>-venting sistem</i>	20	0.75	26.7	17.6
<i>Hot cell</i>	25	0.9	27.8	12.1
<i>Handling bridge</i>	1.5	0.8	1.9	1.1
<i>Pump</i>	3	0.7	4.3	3.1
<i>Pump</i>	3	0.7	4.3	3.1
<b>BNC</b>				
<i>Rectifier</i>	-	-		
<i>Rectifier</i>	-	-		
<i>Sub-distribution</i>				
<i>-venting system</i>	38.5	0.75	51.3	34.0

Bersambung

Tabel 3. Lanjutan

Uraian	Daya Terpasang (kW)	Cos φ	Daya Semu (kVA)	Daya Reaktif (kVAr)
-venting system	38.5	0.75	51.3	34.0
-venting system	8	0.7	11.4	8.2
-reactor building	-	-		
-auxiliary building	-	-		
-venting system	36	0.75	48	31.7
-venting system	12	0.7	17.1	12.2
-operating building	40	0.8	50	30.0
Fan	7.5	0.7	10.7	7.7
Heater	3	-		
Fan	11	0.8	13.8	8.3
Pump	4	0.7	5.7	4.1
Jumlah	1.141,4	0.80	1.428,6	865.1

Jumlah daya terpasang pada train C sebesar 1.141,4 kW, Jumlah daya semu pada train C sebesar 1.428,6 kVA, Jumlah daya reaktif pada train C sebesar 865,1 kVAr, Rata-rata Cos φ pada train C sebesar 0,8, Untuk menaikkan nilai Cos φ pada train B sebesar 0,95 dihitung dengan cara:

$$S = \frac{P}{\text{Cos}\phi}$$

$$= \frac{1.141.4}{0.95}$$

$$= 1.201.5 \text{ kVA}$$

dan

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$= \sqrt{(1.201.5)^2 - (1.141.4)^2}$$

$$= 375.2 \text{ kVAr}$$

sehingga:

$$Q_C = (865.1) - (375.2)$$

$$= 489.94 \text{ kVAr}_C$$

$$\approx 500 \text{ kVAr}_C$$

Tabel 4. Hasil perhitungan daya nyata, daya semu, daya reaktif dan kVAr<sub>C</sub> pada train A, B dan C

No	Uraian	Hasil
1	Train A a) Jumlah daya terpasang pada train A b) Jumlah daya semu pada train A c) Jumlah daya reaktif pada train A d) Rata-rata Cos φ pada train A e) Kapasitas kapasitor bank (kVAr <sub>C</sub> )	1.289 kW 1.575.39 kVA 905.73 kVAr 0.82 482.05 kVAr <sub>C</sub>
2	Train B a) Jumlah daya terpasang pada train B b) Jumlah daya semu pada train B	1.080.7 kW 1.367.6 kVA

Bersambung



Tabel 4. Lanjutan

No	Uraian	Hasil
	c) Jumlah daya reaktif pada train B	905.73 kVAr
	d) Rata-rata Cos $\phi$ pada train B	0.79
	e) Kapasitas kapasitor <i>bank</i> (kVAr <sub>C</sub> )	482.84 kVAr <sub>C</sub>
3	Train C	
	a) Jumlah daya terpasang pada train C	1.141.4 kW
	b) Jumlah daya semu pada train C	1.428.6 kVA
	c) Jumlah daya reaktif pada train C	865.1 kVAr
	d) Rata-rata Cos $\phi$ pada train C	0.8
	e) Kapasitas kapasitor <i>bank</i> (kVAr <sub>C</sub> )	489.94 kVAr <sub>C</sub>

### KESIMPULAN

Untuk mengkompensasi daya reaktif dan induktif yang timbul akibat penggunaan beban kapasitif maupun induktif serta menaikkan faktor daya dari 0,82 menjadi 0,95 maka berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, masing-masing train A, B dan membutuhkan kapasitas kapasitor *bank* sebesar 500 kVAr<sub>C</sub>, sehingga dengan naiknya faktor daya tersebut diharapkan beban reaktif kVAr<sub>h</sub> yang selama ini menjadi beban biaya pemakaian energi listrik pada RSG-GAS tidak dibayarkan.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonymous, *Electrical Safety Analysis Report of MPR-30*, Interatom, GmbH
- [2] Anonymous, GmbH, *Electrical Component of MPR-30*, Interatom, GmbH
- [3] Anonymous, Laporan operasi RSG-GAS teras LVIII, PRSG Batan, 2006
- [4] TEGUH S, *Perhitungan kebutuhan kapasitor daya pada gedung RSG-GAS*, REAKTOR Buletin Pengelolaan Reaktor Nuklir, Volume III No. 1, April 2007
- [5] KISWANTO, TEGUH S., *Perawatan sistem kelistrikan gedung reaktor RSG-GAS*, *Couching Perawatan Sistem Kelistrikan Gedung Reaktor RSG-GAS*, 2006
- [6] YAN BONY MARSAHALA, *Modifikasi Sistem Listrik RSG-GAS Menjelang 20 Tahun Operasi*, REAKTOR Buletin Pengelolaan Reaktor Nuklir, Volume III No. 1, April 2006