

## **PERHITUNGAN KEBUTUHAN KAPASITOR DAYA (CAPACITOR BANK) PADA SISTEM KELISTRIKAN GEDUNG RSG-GAS**

Teguh Sulisty, Kiswanto, Yuyut Suraniyanto, M. Taufik

### **ABSTRAK**

**PERHITUNGAN KEBUTUHAN KAPASITOR DAYA (CAPACITOR BANK) PADA SISTEM KELISTRIKAN GEDUNG RSG-GAS.** Dalam rangka menjaga agar nilai faktor daya tidak turun dan tetap berada di atas nilai yang disyaratkan oleh PLN yaitu  $> 0,85$  serta melaksanakan program penghematan pemakaian energi listrik khususnya pada gedung RSG-GAS maka salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah melalui pemasangan kapasitor daya (*capasitor bank*) yang ditempatkan pada masing-masing jalur (*train*) sistem kelistrikan gedung RSG-GAS sesuai dengan kebutuhan. Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan data kwitansi dari rekening pemakaian listrik PRSG pada tahun 2006, kebutuhan kapasitor daya untuk sistem kelistrikan gedung RSG-GAS pada masing-masing *train* sebesar 400 kVAr, dan faktor daya ( $\cos \phi$ ) dapat dinaikkan dari 0,75 menjadi 0,95. Dengan adanya kenaikan faktor daya ini maka biaya rekening pemakaian kVArh gedung PRSG dapat kurangi.

Kata kunci : kapasitor daya.

### **ABSTRACT**

**CALCULATION OF REQUIREMENT OF CAPACITOR ENERGY (CAPACITOR BANK) ELEKTRICAL SYSTEM AT RSG-GAS BUILDING.** In order to taking care of power factor value do not go down and reside in of required value that is  $> 0,85$  and also execute program thrift of usage of electric energy specially at building of RSG-GAS hence one of the effort able to be by is to installation of energy capacitor (capacitor bank) placed at each band (system train) electrical system of building of RSG-GAS as according to requirement. Pursuant to result of calculation by using receipt data of account usage of electric of PRSG in the year 2006, requirement of energy capacitor for the system of electrical of building of RSG-GAS at each train equal to 400 kVAr, and power factor ( $\cos \phi$ ) can be boosted up from 0,75 becoming 0,95. With existence of raising of this power factor hence expense of account usage of building kVArh of PRSG can lessen.

Key words : capasitor bank

## PENDAHULUAN

Turunnya nilai faktor daya ( $\cos \phi$ ) yang berdampak kepada tingginya nilai kVAr pada sistem kelistrikan gedung RSG-GAS sering kali tidak dapat dihindari karena penggunaan beban induktif yang cukup besar. Untuk mengatasi hal ini maka perlu dilakukan perbaikan faktor daya dengan cara menggeser sudut fasa atau yang lebih dikenal dengan istilah kompensator daya reaktif yang hilang. Hingga saat ini kapasitor daya (*capacitor bank*) merupakan salah satu komponen yang dapat memproduksi dan memperbaiki daya reaktif kVAr sehingga dapat mengkompensasi daya reaktif yang hilang tersebut secara efektif.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menjaga agar nilai faktor daya tidak turun atau hilang sehingga tetap berada di atas nilai yang diizinkan yaitu  $> 0,85$  serta melaksanakan langkah-langkah program penghematan pemakaian energi listrik khususnya pada gedung RSG-GAS adalah melalui pemasangan kapasitor daya yang ditempatkan pada masing-masing jalur (*train*) sistem kelistrikan gedung RSG-GAS.

Untuk memperoleh data akurat tentang berapa besarnya kebutuhan kapasitor daya untuk sistem kelistrikan gedung RSG-GAS maka perlu dilakukan analisa dan perhitungan. Salah satu metoda perhitungan yang dapat digunakan untuk mengetahui besarnya kebutuhan kapasitor daya tersebut adalah metoda kwitansi yang diperoleh berdasarkan rekening pemakaian listrik PLN setiap bulannya. Parameter-parameter yang diperlukan dalam metoda perhitungan ini antara lain data LWBP (Lewat Waktu Beban Puncak), WBP (Waktu Beban Puncak) dan data kVArh.

Berdasarkan hasil evaluasi rekening pemakaian listrik, biaya pemakaian energi listrik yang harus dibayarkan oleh PRSG Batan sepanjang tahun 2006 dihitung sejak bulan Januari 2006 sampai Desember 2006 mencapai Rp. 6.248.752.150,- (enam miliar dua ratus empat puluh delapan juta tujuh

ratus lima puluh dua ribu seratus lima puluh rupiah), jika dirata-ratakan per bulanya mencapai Rp. 520.729.346,- (lima ratus dua puluh juta tujuh ratus dua puluh sembilan ribu tiga ratus empat puluh enam rupiah), sedangkan biaya kVArh-nya dalam kurun waktu tahun 2006 mencapai Rp. 1.221.232.510,- (satu miliar dua ratus dua puluh satu juta dua ratus tiga puluh dua ribu lima ratus sepuluh rupiah), jika dirata-ratakan per bulanya mencapai Rp. 101.769.375,- (seratus satu juta tujuh ratus enam puluh sembilan ribu tiga ratus tujuh puluh lima rupiah) dengan pemakaian kVArh per tahunnya rata-rata sebesar 156.897,5 kVArh. Untuk kawasan PPTN Serpong, PRSG menempati urutan pertama dan tertinggi di dalam biaya pemakaian energi listrik yang harus dibayarkan per tahunnya.

Sasaran penelitian ini adalah diperolehnya data akurat tentang besarnya kebutuhan kapasitor daya yang dapat mengkompensasi daya reaktif yang hilang secara efektif untuk masing-masing *train* sistem kelistrikan gedung RSG-GAS sehingga secara keseluruhan dapat menurunkan biaya pemakaian energi listrik gedung PRSG serta diharapkan dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam kegiatan program penghematan energi listrik.

## TEORI

### Daya listrik

Dalam rangkaian arus bolak-balik dikenal adanya daya nyata ( $P$ , watt), daya semu ( $S$ , VA) dan daya reaktif ( $Q$ , VAR). Ketiga jenis daya tersebut timbul karena adanya beban listrik pada rangkaian arus bolak-balik yang terdiri dari beban resistif, induktif dan kapasitif.

### Daya nyata ( $P$ , watt)

Besarnya daya nyata 3 fasa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$P = \sqrt{3} V \cdot I \cdot \cos \phi \dots\dots\dots(1)$$

dengan :

- P = daya nyata (W)
- V = tegangan efektif (V)
- I = arus efektif (A)
- $\cos \varphi$  = faktor daya (untuk daya nyata faktor dayanya sama dengan 1)
- $\varphi$  = perbedaan sudut fasa antara tegangan dengan arus

**Daya semu (S, VA)**

Besarnya daya semu 3 fasa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$S = \sqrt{3} V \cdot I \dots\dots\dots(2)$$

dengan :

- S = daya semu (volt amper, VA)
- V = tegangan efektif (V)
- I = arus efektif (A)

**Daya Reaktif (Q, VAR)**

Besarnya daya reaktif 3 fasa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

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

dengan :

- Q = daya reaktif (volt amper reaktif, VAR)
- V = tegangan efektif (V)
- I = arus efektif (A)
- $\sin \varphi$  = perbedaan sudut fase antara tegangan dengan arus

**Segitiga Daya**

Dalam bentuk diagram vektor, hubungan antara daya nyata, daya semu dan daya reaktif dikenal dengan istilah segitiga daya, yang dinyatakan sebagai berikut :

$$S = P + Q \dots\dots\dots(4)$$

dengan :

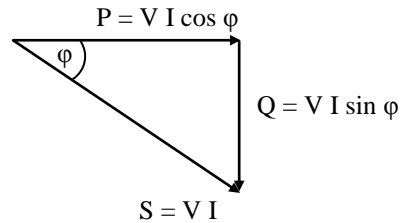
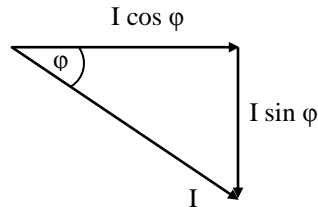
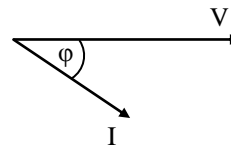
$$P = S \cos \varphi \dots\dots\dots(5)$$

$$Q_L = S \sin \varphi \dots\dots\dots(6)$$

$$Q_C = S \sin \varphi \dots\dots\dots(7)$$

Untuk beban induktif, tegangan mendahului arus sebesar  $90^\circ$  atau *lagging*, yaitu :

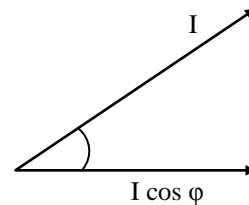
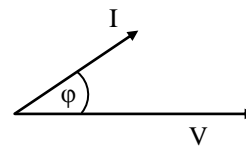
$$S = P + j Q_L \dots\dots\dots(8)$$

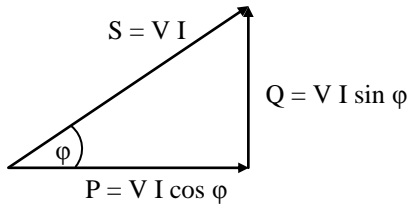


Gambar 1. Segitiga daya untuk beban induktif (*lagging*)

Sedangkan untuk beban kapasitif, arus mendahului tegangan sebesar  $90^\circ$  atau *leading*, yaitu :

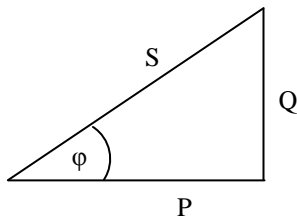
$$S = P - j Q_L \dots\dots\dots(9)$$





Gambar 2. Segitiga daya untuk beban kapasitif (*leading*)

Dengan demikian bentuk diagram segitiga daya dapat dituliskan sebagai berikut :



Gambar 3. Diagram daya

Karena daya reaktif dan daya nyata rata-rata selalu bersudut  $90^\circ$  terhadap yang lain, maka dengan menggunakan teori Pythagorean, diperoleh persamaan :

$$S^2 = P^2 - jQ^2 \dots\dots\dots(10)$$

**Faktor Daya**

Faktor daya didefinisikan sebagai perbandingan antara daya nyata dengan daya semu, dalam bentuk persamaan dituliskan sebagai berikut :

$$\text{Faktor daya } (\cos \varphi) = \frac{\text{daya nyata (P, watt)}}{\text{daya semu (S, VA)}} \quad (11)$$

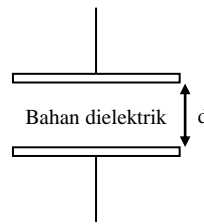
dengan :  
 $\varphi$  = perbedaan sudut fase antara V dengan I

**Kapasitor Daya (*capacitor bank*)**

Kapasitor daya adalah kumpulan dari beberapa unit kapasitor yang terhubung

secara paralel (*shunt*) dan mempunyai kemampuan untuk mengkompensasi daya reaktif dari beban induktif secara statis dan diskrit tanpa menggunakan komponen bergerak.

Pada dasarnya kapasitor adalah komponen listrik yang terdiri dari dua buah lempengan logam yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik. Besarnya kapasitansi kapasitor ditentukan oleh dimensi luas dan jarak antar plat kapasitor dan bahan dielektrik yang terletak diantara kedua plat tersebut. Pada Gambar 4, ditunjukkan konstruksi dasar dari sebuah kapasitor.



Gambar 4. Bentuk kapasitor

Besarnya kapasitansi sebuah kapasitor dinyatakan dengan persamaan :

1. Jika diantara lempengan plat adalah hampa udara

$$C_0 = \epsilon_0 \frac{A}{d} \text{ (Farad) } \dots\dots\dots(12)$$

2. Jika diantara lempengan plat berisi bahan dielektrik

$$C = K C_0 = K \cdot \epsilon_0 \frac{A}{d} \text{ (Farad) } \dots\dots(13)$$

dengan :

- C = kapasitansi kapasitor (Farad)
- C<sub>0</sub> = kapasitansi kapasitor bila antara platnya hampa udara (Farad)
- K = konstanta bahan dielektrik yang digunakan
- $\epsilon_0$  = permitivitas ruang hampa ( $8,845 \times 10^{-12}$  f/m)
- A = luas penampang masing-masing plat ( $m^2$ )
- d = jarak antara plat (m)

## METODA PERHITUNGAN

### Menghitung LWBP dan WBP

Berdasarkan data rekening listrik selama tahun 2006, data beban pemakaian energi listrik PRSG seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil pemakaian energi Lewat Waktu Beban Puncak (LWBP), Waktu Beban Puncak (WBP) dan kVArh maksimum yang terjadi digunakan sebagai nilai acuan pada perhitungan LWBP dan WBP.

Berdasarkan Tabel 1, pemakaian beban LWBP maksimum, dan WBP maksimum diperoleh pada bulan Oktober 2006, adalah :

$$\begin{aligned} \text{LWBP}_{\text{maks}} &= 695.760 \\ \text{WBP}_{\text{maks.}} &= 135.760 \\ \text{Total Beban} &= \text{LWBP}_{\text{maks.}} + \text{WBP}_{\text{maks.}} \\ &= 695.760 + 135.760 \\ &= 831,5 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Jika diasumsikan pemakaian energi listrik selama 1 bulan yang terdiri dari 30 hari dimana per harinya adalah 24 jam, diperoleh perhitungan :

$$\begin{aligned} \frac{\text{Total Beban}}{30 \text{ hari}} &= \frac{831.520}{30 \text{ hari}} = 27,72 \text{ kWh/hari} \\ \frac{27,72}{24 \text{ jam}} &= 1,15 \text{ kWh/jam} \end{aligned}$$

daya semu yang terpakai adalah :

$$\frac{1,15 \text{ kWh/jam}}{\cos \varphi} = \frac{1,15 \text{ kWh/jam}}{0,7} = 1,65 \text{ kVA}$$

agar pemakaian energi listrik pada gedung RSG-GAS tidak dikenakan biaya beban kVArh, PLN menyarankan pemakaian  $\cos \varphi \geq 0,85$ . Jika diasumsikan pemakaian  $\cos \varphi = 0,85$  atau setara dengan  $\sin \varphi = 0,66$ , maka besarnya arus yang terpakai adalah :

$$\frac{1.649,84 \text{ kVA}}{0,66} = 2.499,76 \text{ A}$$

dengan demikian besarnya arus yang digunakan pada masing-masing transformator yang terdiri dari 3 unit dengan kapasitas masing-masing 1600 kVA, adalah :

$$\begin{aligned} \frac{2.499,76 \text{ A}}{3 \text{ unit}} &= 833,25 \text{ A} \\ &\approx 900 \text{ A} \end{aligned}$$

### Menentukan kapasitas kapasitor daya

Besarnya total kapasitas kapasitor daya yang dibutuhkan oleh sistem kelistrikan gedung RSG-GAS, adalah :

$$\begin{aligned} \text{Kapasitaskapasitor daya} &= \\ &= \text{daya semu terpakai} \times 62 \% \\ &= 1.665,56 \times 62 \% \\ &= 1.032,65 \text{ kVAr} \end{aligned}$$

dimana : 62 % merupakan faktor pengali yang nilainya bergantung kepada kapasitas dan spesifikasi kapasitor daya menurut standarisasi PLN yang tersedia di pasaran.

Sehingga kapasitas kapasitor daya yang dibutuhkan untuk masing-masing train A, train B dan train C pada sistem kelistrikan gedung RSG-GAS, adalah :

$$\begin{aligned} \frac{1.032,65 \text{ kVAr.}}{3 \text{ unit}} &= 344,22 \text{ kVAr} \\ &\approx 400 \text{ kVAr} \end{aligned}$$

Karena kapasitas kapasitor daya yang tersedia dipasaran terdiri dari beberapa jenis yaitu 5 kVAr, 10 kVAr, 15 kVAr, 20 kVAr, 25 kVAr, 30 kVAr, 40 kVAr, 50 kVAr, 60 kVAr, 75 kVAr, dan 100 kVAr, maka untuk memenuhi kapasitas kapasitor daya yang dibutuhkan sebesar 400 kVAr, disusun dengan cara  $4 \times (50 + 50) = 400 \text{ kVAr}$ , dan dipasang secara paralel terhadap beban. Pada Tabel 2, ditunjukkan kompensasi penggunaan kapasitor daya faktor daya.



Tabel 3. Perubahan faktor daya (Cos  $\varphi$  ) setelah menggunakan kapasitor daya

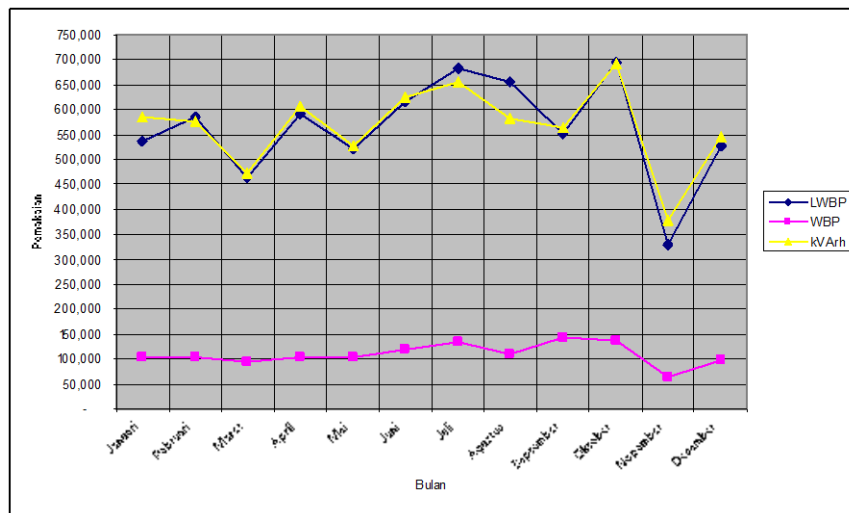
Sebelum Kompensasi		Cos $\varphi$ setelah menggunakan kapasitor daya					
Tan $\varphi$	Cos $\varphi$	0,80	0,90	0,93	<b>0,95</b>	0,98	1
1,98	0,45	1,230	1,501	1,592	1,659	1,784	1,988
1,73	0,50	0,982	1,248	1,337	1,403	1,529	1,732
1,52	0,55	0,769	1,035	1,124	1,190	1,316	1,519
1,33	0,60	0,584	0,849	0,939	1,005	1,131	1,334
1,17	0,65	0,419	0,685	0,774	0,840	0,966	1,169
1,02	<b>0,70</b>	0,270	0,536	0,625	<b>0,691</b>	0,811	1,020
0,88	0,75	0,132	0,398	0,487	0,553	0,673	0,882

Susunan pemasangan kapasitor daya pada sistem kelistrikan gedung RSG-GAS seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

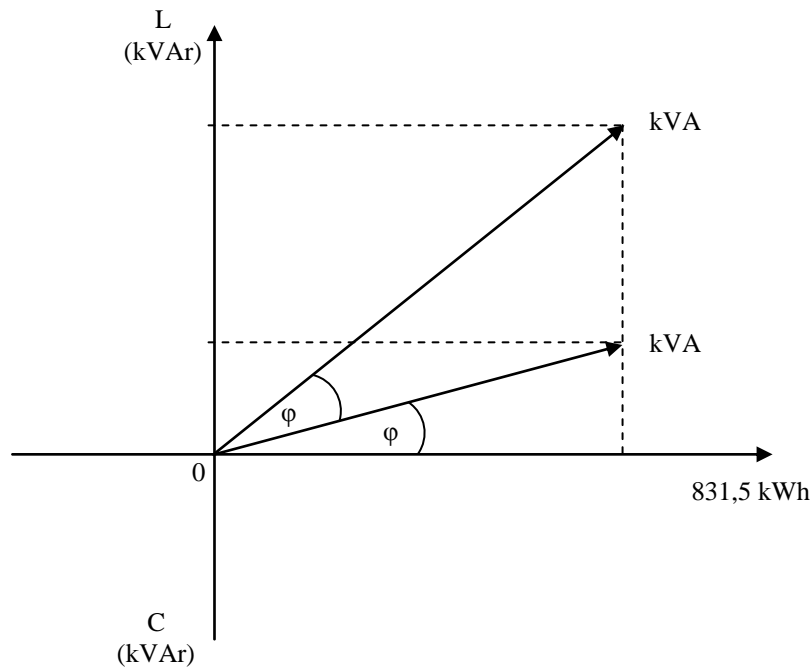
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pemakaian beban LWBP, WBP dan beban daya kVArh selama perioda tahun 2006 terhitung sejak bulan Januari 2006 sampai dengan bulan Desember 2006 dengan

menggunakan data kwitansi rekening listrik, seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Pemakaian beban LWBP, Waktu Beban Puncak WBP dan beban daya kVArh selama periode tahun 2006 cenderung mengalami kenaikan. Bentuk phasor dari hasil perhitungan kenaikan faktor daya dari 0,7 menjadi 0,95 seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 6. Grafik pemakaian beban LWBP, WBP dan kVArh



Gambar 7. Bentuk perubahan phasor kenaikan faktor daya

Faktor daya rendah yang dihasilkan dari catu daya utama PLN dan peralatan-peralatan atau beban yang terpasang dapat berdampak buruk pada sisi jaringan distribusi tegangan menengah dan rendah sistem kelistrikan gedung RSG-GAS.

Dampak yang ditimbulkan pada jaringan distribusi tegangan menengah dan rendah pada sistem kelistrikan gedung RSG-GAS akibat faktor daya rendah yang dihasilkan dari catu daya utama PLN, antara lain :

1. Pemakaian jaringan transmisi akan menjadi buruk karena arus yang besar, sehingga mengakibatkan daya yang hilang dan jatuh tegangan semakin besar
  2. Karena arus yang besar dan pemakaian tidak seimbang dengan daya nyata maksimum yang diperlukan dapat berakibat buruk terhadap kinerja generator dan transformator
  3. Karena hanya daya nyata saja yang dapat dipergunakan maka biaya produksi untuk penggerak mula menjadi mahal
- Sedangkan dampak yang ditimbulkan akibat pemakaian peralatan-peralatan atau beban yang menyebabkan faktor daya rendah, antara lain :
1. Jaringan penghantar memerlukan luas penampang yang besar
  2. Transformator terbebani oleh VA yang besar
  3. Rugi-rugi yang timbul menjadi besar karena pengaruh panas
  4. Kerugian tegangan lebih besar sedangkan efisiensi pada instalasi lebih kecil
  5. Penurunan tegangan pada sisi beban sehingga karakteristik beban berubah.





Sumber-sumber yang dapat menghasilkan faktor daya rendah pada konsumen antara lain motor induksi, ballast lampu, peralatan las listrik, mesin-mesin listrik dan lain sebagainya. Untuk membangkitkan medan magnet pada peralatan-peralatan tersebut memerlukan arus cukup besar sehingga tegangan dan arus tidak sefase. Akibat tegangan dan arus tidak sefase maka perkalian dayanya cenderung menghasilkan VA yang lebih besar dari pada daya nyatanya (watt). Oleh karena itu sistem kelistrikan RSG-GAS diharapkan memiliki faktor daya mendekati 1 (satu) sehingga baik dari segi teknis maupun ekonomis kinerjanya akan semakin handal.

#### V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan data kwitansi rekening listrik PLN yang diperoleh selama perioda tahun

2006, kebutuhan kapasitor daya untuk masing-masing train A, B dan C yang terdapat pada sistem kelistrikan gedung RSG-GAS adalah sebesar 400 kVAr.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Interatom, GmbH, *Electrical Safety Analysis Report of MPR-30*
2. Owen Bishop, *Dasar-dasar Elektronika*, Penerbit Erlangga, Jakarta
3. Kiswanto, *Perawatan dan Peningkatan Keandalan Sistem Elektrik*, Prosiding Seminar Hasil Penelitian Tahun 2005, Serpong 2006
4. Koes Indrakoesoema, Yayan A, *Kajian faktor daya ( $\cos \theta$ ) lampu TL pada penerangan di RSG-GAS*, REAKTOR Buletin Pengelolaan Reaktor Nuklir Vol. III, No. 1 April 2006