
PENGARUH KAPASITOR BANK PADA BUSBAR BHA, BHB DAN BHC DI PUSAT REAKTOR SERBA GUNA GA. SIWABESSY*)

Koes Indrakoesoema¹, Yayan Andryanto², Kiswanto³

^{1,2,3} Pusat Reaktor Serba Guna – BATAN
Kawasan Puspiptek Serpong Gedung No. 30, Kota Tangerang Selatan – Banten
Alamat email : koes@batan.go.id

ABSTRAK

PENGARUH KAPASITOR BANK PADA BUSBAR BHA, BHB DAN BHC DI PUSAT REAKTOR SERBA GUNA GA. SIWABESSY. Pemasangan kapasitor bank pada ke tiga jalur (BHA, BHB dan BHC) telah dilakukan, masing-masing dengan daya 500 kVAR yang terbagi dalam 10 step, dengan tiap step 50 kVAR. Pemasangan dilakukan karena selama reaktor beroperasi total faktor daya ($\cos \phi$) di bawah 0,85 sehingga terkena denda oleh PLN. Pengukuran telah dilakukan saat reaktor sedang beroperasi pada bulan Juli dan September 2011 di output 3 buah transformator yang terhubung ke masing-masing busbar dengan menggunakan Power Quality Analyzer Hioki 3197. Parameter listrik yang diukur adalah daya aktif (P), daya sumbu (S), daya reaktif (Q) dan faktor daya ($\cos \phi$). Kapasitor bank pada jalur BHA telah mengalami kerusakan, sehingga $\cos \phi$ turun hingga 0,8; sedangkan pada jalur BHB dan BHC $\cos \phi$ mencapai 0,92 dan 0,945.

Kata kunci : Kapasitor Bank, transformator, faktor daya

ABSTRACT

EFFECT OF CAPACITOR BANKS ON BUSBAR BHA, BHB AND BHC IN MULTI PURPOSE REACTOR GA. SIWABESSY. Installation of capacitor banks on the three lines (BHA, BHB and BHC) has been carried out, each with a power 500 kVAR which is divided into 10 steps, with each step 50 kVAR. The Purpose of installation capacitor banks is during the reactor operation the total power factor ($\cos \phi$) below 0.85, so incur a fine by PLN. Measurements have been done when the reactor is operating in July and August at the output of 3 transformers which connected to each busbar using Hioki 3197 Power Quality Analyzer, electrical parameters were measured are active power (P), apparent power (S), reactive power (Q) and power factor ($\cos \phi$). Capacitor banks on track BHA has been damaged, so that $\cos \phi$ drops to 0.8 while $\cos \phi$ of line BHB and BHC reaches 0.92 and 0.945.

Key wordas : Bank capacitor, transformator, power factor

1. PENDAHULUAN

Salah satu cara yang paling ekonomis, mudah, dan aman untuk mengirimkan energi adalah melalui bentuk energi listrik. Energi listrik sudah menjadi kebutuhan pokok baik bagi industri maupun rumah tangga sehingga dibutuhkan kelangsungan penyaluran sistem tenaga listrik secara handal dan baik.

Penggunaan yang efisien dan pemasangan peralatan listrik serta komponen yang tepat akan membantu dalam penggunaan energi listrik secara hemat dan mempunyai manfaat optimal seperti yang diharapkan.

Penerapan program penghematan energi di kantor-kantor pemerintah dapat memperkecil biaya energi untuk setiap satuan produk (*specific energy consumption*) disamping akan menghemat pemakaian energi nasional juga akan menghemat pemakaian anggaran.

Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG) terdiri dari 2 gedung, yaitu Gedung No.30 yang merupakan gedung reaktor beserta fasilitas laboratoriumnya dan Gedung No.31 yang merupakan gedung perkantoran, di mana energy listrik untuk ke dua gedung tersebut di catu oleh PLN melalui 3 buah transformator 20 kV/400 V ke masing-masing bus bar BHA, BHB dan BHC.

Masing-masing bus bar mencatu berbagai tipe beban antara lain motor pompa, motor katub,

motor chiller, penerangan, lift, dll. Kontrak daya dengan PLN telah mengalami 2 (dua) kali perubahan, kontrak daya pertama adalah 4805 kVA kemudian dilakukan penurunan daya menjadi 3805 kVA dan terakhir diturunkan kembali menjadi 3030 kVA. Hal ini dilakukan karena daya yang digunakan di reaktor selama ini, rata-rata adalah 1834 kVA atau sekitar 60,5%.

Pemasangan kapasitor bank telah dilakukan pada tiap-tiap busbar, yaitu masing-masing 500 kVAr dengan tujuan memperbaiki faktor daya agar lebih besar dari 0,85 sehingga tidak terkena denda oleh PLN. Pada makalah ini akan dianalisis pengaruh kapasitor bank pada ke tiga jalur serta kegagalan 1 set kapasitor bank pada satu jalur, yaitu jalur BHA.

2. TEORI

Sistem distribusi dikenal dengan sistem distribusi primer yaitu tegangan dari tegangan tinggi (TT) diturunkan ke tegangan menengah TM dengan menggunakan *step down transformer*, dan sistem distribusi sekunder dimana tegangan TM diturunkan lagi ke tegangan rendah (TR).

Pemakaian (utilisasi) yang menggunakan tegangan rendah didapat dengan cara menurunkan tegangan menengah 20 kV, 12 kV atau 6 kV ke tegangan 380 V/220 V dengan transformator penurun tegangan pada gardu tiang ataupun gardu beton yang berada dilingkungan sekitar konsumen.

Penghematan pemakaian energi listrik (kWh) oleh konsumen dapat dilakukan dengan lima cara, yaitu :

1. Menggunakan pemanfaat listrik (beban listrik) yang hemat energi,
2. Meminimalkan waktu pemakaian energi listrik,
3. Meminimalkan rugi jaringan dengan menggunakan penghantar berpenampang besar dan atau menggunakan tegangan tinggi,
4. Mengurangi rugi konduktor dengan menggunakan material *super-conductor*,
5. Meminimalkan rugi jaringan dengan mengkompensir daya reaktif induktif/kapasitif.

Beban-Beban Listrik²⁾

Jenis-jenis beban energi listrik terbagi atas 3 jenis beban yaitu :

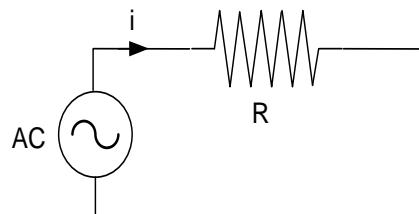
- Beban Resistif
- Beban Induktif
- Beban Kapasitif

Beban Resistif (resistor)

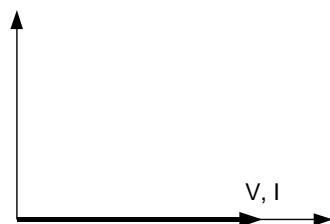
Beban resistif (resistor): adalah beban yang berasal dari suatu komponen tahanan murni dengan simbol (R), memiliki satuan Ohm (Ω). Beban resistif terdapat pada generator, bahan penghantar

saluran, transformator, motor listrik, pemanas listrik (heater), dan lain sebagainya.

Bila dihubungkan pada sumber arus bolak-balik maka beban resistif memiliki karakteristik sebagai berikut :



Gambar 1. Beban resistif pada sumber arus bolak-balik



Gambar 2. Diagram vektor beban resistif

Resistansi suatu beban diberikan oleh rumus :

$$R = \frac{V(t)}{i(t)} [\Omega] \quad (1)$$

dimana :

- $V(t)$ = besar tegangan listrik fungsi waktu. [Volt].
 $i(t)$ = besar arus yang mengalir fungsi waktu [Ampere].

Beban Induktif (induktor)

Beban Induktif (induktor) adalah beban yang berasal dari suatu penghantar untuk menghasilkan medan magnet yang dipergunakan untuk: merubah energi mekanik ke energi listrik ataupun sebaliknya, menaikkan atau menurunkan tegangan listrik dan lain sebagainya. Induktor itu sendiri memiliki simbol (L) dengan satuan Henry. Beban induktif terdapat pada suatu saluran transmisi yang merupakan rugi-rugi dari saluran tersebut. Beban induktif juga terdapat pada generator, motor listrik, kontaktor magnet, dan lain sebagainya. Induktansi diberikan dengan persamaan :

$$V(t) = L \frac{di}{dt} \text{ dan } i(t) = \frac{1}{L} \int V.dt \quad (2)$$

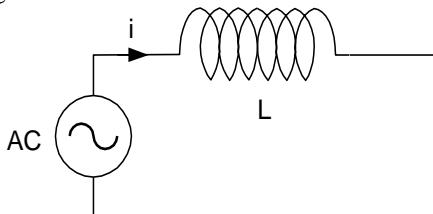
$$L = \frac{V(t)}{di/dt} \quad (3)$$

dimana :

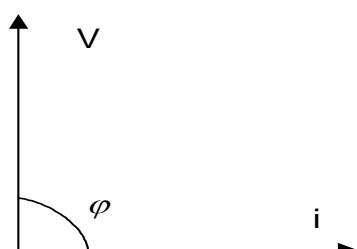
$V(t)$ = besar tegangan listrik dalam fungsi waktu. [Volt].

di/dt = turunan pertama dari arus terhadap waktu
[Ampere]

Bila dihubungkan pada sumber arus bolak-balik maka beban induktif memiliki karakteristik sebagai berikut :



Gambar 3. Beban induktif pada sumber arus bolak-balik



Gambar 4. Diagram vektor beban induktif

Reaktansi Induktif suatu beban diberikan oleh rumus :

$$X_L = \omega L = \frac{V}{I} [\Omega] \quad (4)$$

maka,

$$L = \frac{V}{I\omega} \text{ [Henry]} \quad (5)$$

dimana :

ω = kecepatan sudut [rad/sec] = $2\pi f$;

f = frekuensi tegangan.[Hertz]

X_L = reaktansi induktif [Ω]

Beban Kapasitif (kapasitor)

Beban Kapasitif (kapasitor) adalah beban yang berasal dari dua bahan penghantar (konduktor) yang terpisah, dengan polaritas yang berbeda pada penghantarnya. Beban kapasitif ini berfungsi menyimpan muatan listrik. Beban kapasitif diantaranya terdapat pada: saluran penghantar, mesin sinkron berpenguatan lebih, kapasitor, dan lain sebagainya. Kapasitor memiliki simbol (C) dengan satuan Farad.

Kapasitansi diberikan dengan persamaan :

$$V(t) = \frac{1}{C} \int idt \quad (6)$$

$$i(t) = \frac{dQ}{dt} = C \frac{dV}{dt} \quad (7)$$

$$Q(t) = C \cdot V(t) \quad (8)$$

Maka :

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\epsilon A}{d} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d} \text{ (Farad)} \quad (9)$$

dimana :

$V(t)$ = besar tegangan listrik dalam fungsi waktu. [Volt].

di/dt = turunan pertama dari arus terhadap waktu [Ampere].

C = besar kapasitansi (Farad)

Q = muatan pada salah satu konduktor (Coulomb)

V = tegangan kedua konduktor (Volt)

ϵ = permitivitas bahan antara dua penghantar

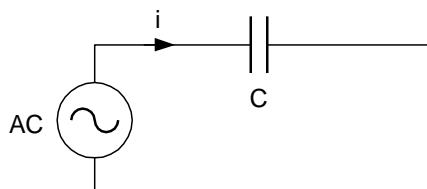
ϵ_0 = permitivitas udara ($4\pi \cdot 10^{-7}$)

ϵ_r = permitivitas relatif bahan.

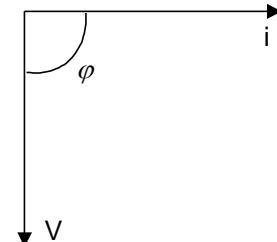
A = luas masing-masing plat penghantar

D = jarak antara dua penghantar

Bila dihubungkan pada sumber arus bolak-balik maka beban kapasitif memiliki karakteristik sebagai berikut :



Gambar 5. Beban kapasitif pada sumber arus bolak-balik



Gambar 6. Diagram vector beban kapasitif dielektrik udara

Daya Listrik²⁾

Daya adalah banyaknya perubahan tenaga terhadap waktu dalam besaran tegangan dan arus dengan satuan Watt. Daya dalam Watt yang diserap

oleh suatu beban pada setiap saat adalah hasil kali tegangan beban sesaat (Volt) dengan arus sesaat yang mengalir dalam beban tersebut (Ampere).

Dalam kelistrikan dikenal adanya beberapa jenis daya, yaitu :

- Daya Semu (S)
- Daya Aktif (P)
- Daya Reaktif (Q)

Daya Semu

Daya semu untuk sistem fasa tunggal dengan sirkuit dua kawat adalah perkalian skalar arus dan tegangan efektifnya. Daya semu (S) dinyatakan melalui persamaan :

$$S = |V| \cdot |I| \quad [\text{VA}] \quad (10)$$

Sedangkan untuk sistem 3 fasa daya semu dinyatakan dengan :

$$S = 3|V| \cdot |I| \quad [\text{VA}] \quad (11)$$

Daya Aktif

Daya aktif dinyatakan oleh persamaan :

$$P = \frac{V_{\text{maks}} I_{\text{maks}}}{2} \cos \varphi \quad (12)$$

P adalah daya rata-rata yang juga disebut sebagai daya aktif.

Persamaan untuk daya beban tiga fasa yang seimbang dinyatakan oleh

$$P = \sqrt{3} |V_{\text{jala-jala}}| |I_{\text{jala-jala}}| \cos \varphi \quad [\text{Watt}] \quad (13)$$

dimana: $V_{\text{jala}} = \text{tegangan efektif}$
 $I_{\text{jala}} = \text{arus jala efektif}$

Daya Reaktif

Daya reaktif dituliskan dengan persamaan :

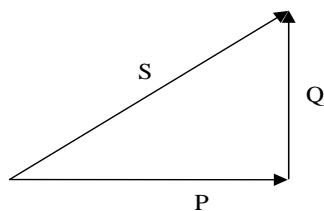
$$Q = \frac{V_{\text{maks}} I_{\text{maks}}}{2} \sin \varphi \quad (14)$$

atau

$$Q = |V| |I| \sin \varphi \quad [\text{VAr}] \quad (15)$$

Segitiga Daya¹⁾

Hubungan antara daya semu (S), daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dikenal dengan istilah segitiga daya. Hubungan antara ketiganya, baik untuk beban bersifat induktif maupun untuk beban bersifat kapasitif dapat dilihat pada gambar berikut ini.



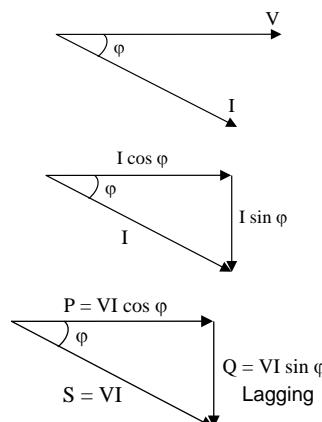
Gambar 7. Segitiga Daya

dimana :

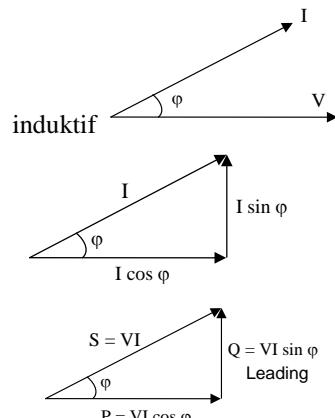
$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$S = V \cdot I$$

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi$$



Gambar 8. Segitiga Daya untuk beban



Gambar 9. Segitiga Daya untuk beban Kapasitif

Dari gambar-gambar di atas jelas bahwa $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$
atau $P = S \cos \varphi$ $Q = S \sin \varphi$

Faktor Daya¹⁾

Faktor daya pada dasarnya didefinisikan sebagai perbandingan daya reaktif dengan daya semu dan dapat dirumuskan dengan :

$$\text{faktor daya} = \cos \varphi = \frac{P(\text{daya aktif})}{S(\text{daya semu})} \quad (17)$$

Sudut φ adalah sudut fasa; dimana arus mendahului tegangan (leading) atau arus tertinggal dari tegangan (lagging) dari beban yang bersangkutan. Semua peralatan listrik, kecuali motor sinkron, tahanan-pemanas dan lampu pijar, mengkonsumsi daya listrik pada faktor kerja pengikut (lagging)

BEBAN PADA JALUR BHA, BHB DAN BHC

Gedung reaktor GA. Siwabessy di catu oleh 3 buah transformator (BHT01, BHT02 dan BHT03) masing-masing mempunyai kapasitas 1600 kVA, 20 kV/400 V. Tiga buah transformator ini masing-masing dihubungkan ke 3 buah busbar BHA, BHB dan BHC, seperti terlihat pada Gambar 10.

Tabel 1,2 dan 3 menunjukkan jenis beban dan dayanya yang melalui tiap-tiap jalur BHA, BHB dan BHC.

Tabel 1. Beban pada jalur BHA³⁾

BHA 01				
No.	Jenis Beban	Kode	Daya (kW)	Rated (A)
1.	Motor Katup	PA-01 AA001	1,1	3,2
2.	Motor Katup	PA-01 AA003	0,55	1,9
3.	Motor Katup	PA-01 AA010	0,55	1,9
4.	Motor Katup	PA-01 AA011	0,03	0,5
5.	Motor Katup	PA-01 AA012	0,55	1,9
6.	Motor Katup	PA-01 AA014	0,55	1,9
7.	Motor Katup	PA-01 AA016	0,55	1,9
8.	Motor Katup	PA-01 AA020	0,55	1,9
9.	Motor Katup	PA-01 AA022	0,55	1,9
BHA 02				
10.	Motor Fan	PA-01 AH001	30	70
11.	Motor Fan	PA-01 AH002	30	70
12.	Motor Fan	PA-01 AH003	30	70
BHA 05				
13.	Motor Pompa	PA-01 AP001	220	414
BHA 06				
14.	Hydraulic Booster	GHC02 GS001	5	125*/10**
15.	Chilled Water Plant	QKJ00 GS001	135	400*/300**
TOTAL			474,98	

Tabel 2. Beban pada jalur BHB³⁾

BHB 01				
No.	Jenis Beban	Kode	Daya (kW)	Rated (A)
1.	Motor Katup	PA-02 AA001	1,1	4
2.	Motor Katup	PA-02 AA003	1,1	4
3.	Motor Katup	PA-02 AA010	0,55	1,6
4.	Motor Katup	PA-02 AA011	0,03	1
5.	Motor Katup	PA-02 AA012	0,55	1,6
6.	Motor Katup	PA-02 AA014	0,55	1,6
7.	Motor Katup	PA-02 AA016	0,55	1,6
8.	Motor Katup	PA-02 AA020	0,55	1,6
9.	Motor Katup	PA-02 AA022	0,37	1,6
10.	Motor Katup	PA-02 AA004	0,03	1

BHB 02

11.	Motor Pompa	PA-04 AP002	4,4	16
12.	Motor Fan	PA-02 AH001	30	80*/125**
13.	Motor Fan	PA-02 AH002	30	80*/125**
14.	Motor Fan	PA-02 AH003	30	80*/125**

BHB 05

15.	Motor Pompa	PA-02 AP001	220	315*/400**
-----	-------------	-------------	-----	------------

BHB 06

16.	Panel	GCA01 GS001	25	50*/125**
17.	Motor Crane	SMK00	7	16*/125**
18.	Panel Motor Ventilasi	QKJ00 GS002	135	300*/400**
TOTAL				486,78

Tabel 3. Beban Pada Jalur BHC³⁾

BHC 01

No.	Jenis Beban	Kode	Daya (kW)	Rated (A)
1.	Motor Katup	PA-03	0,55	1,6
2.	Motor Katup	PA-03	0,06	1
3.	Motor Katup	PA-05	0,06	1
4.	Motor Katup	PA-03	0,55	1,6
5.	Motor Katup	PA-03	0,55	1,6
6.	Motor Katup	PA-03	0,55	1,6
7.	Motor Katup	PA-04	0,03	1
8.	Motor Katup	PD-01	0,55	1,6
9.	Motor Katup	PD-01	0,55	1,6
BHC 02				
10.	Motor Katup	PD-01	0,55	1,6
11.	Motor Katup	GBA01	0,06	1
12.	Motor Fan	PD-01	30	80*/12**
13.	Motor Pompa	PA-04	4,4	16

BHC 05

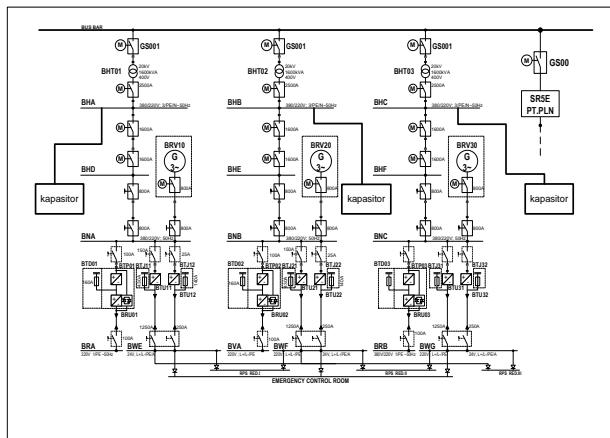
14.	Hydraulic Booster	GHC02 GS001	5	125*/10**
15.	Chilled Water Plant	QKJ00 GS001	135	400*/300**

BHC 05				
12	Motor Pompa	PA-05 AP001	2,5	6,3
.	.			
BHC 06				
14.	Panel	UKA04 GP101	33	63
15.	Panel	PAH01/02 GS001	5	10
16.	Panel Motor Ventilasi	KLC00 GS001	26	50
17.	Panel Motor Ventilasi	QKJ00 GS003	135	300*/ 400**
T O T A L			459,969	

*) Kapasitas MCB

**) Kapasitas arus hubung singkat

Total beban pada jalur BHD adalah 183,8 kW, jalur BHE adalah 198,12 kW dan jalur BHF adalah 172,5 kW.



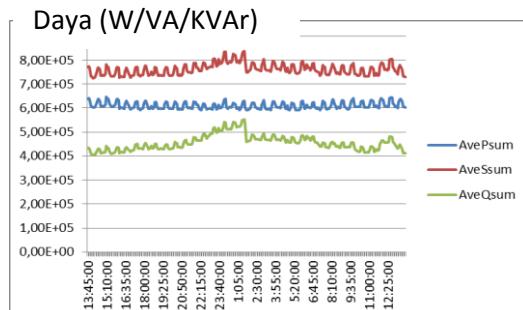
Gambar 10. Diagram segaris sistem listrik RSG-GAS

3. METODE PENELITIAN

Pengukuran parameter listrik dilakukan pada saat reaktor operasi, dimana beban-beban pada jalur BHA, BHB dan BHC pada keadaan maksimal. Peralatan yang digunakan adalah *Power Quality Analyzer Hioki 3197* dan dipasang pada *output* transformator BHT01, BHT02 dan BHT03. Lihat Gambar 10. Pengukuran pada jalur BHA dilakukan pada bulan September 2011 selama 24 jam, pada jalur BHB dan BHC pada bulan Agustus 2011 selama 24 jam

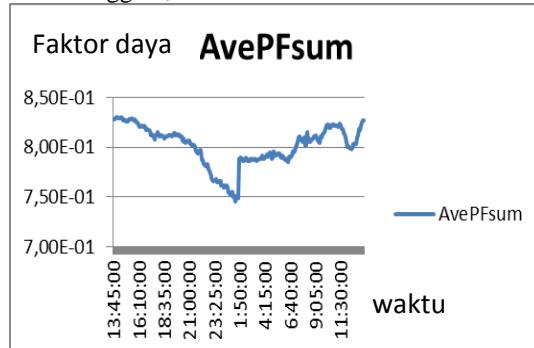
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Panel pada Busbar BHA, BHB dan BHC telah dipasang kapasitor Bank dengan daya masing-masing 500 kVAR. Hasil pengukuran daya dan faktor daya ($\cos \varphi$) pada busbar BHA dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12.



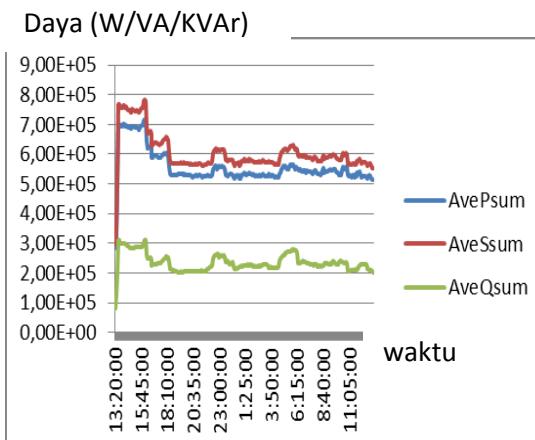
Gambar 11. Daya (P, S, dan Q) pada jalur BHA

Dari Gambar 11 terlihat rata-rata daya aktif (P) adalah 610 kW, daya semu (S) adalah 762 kVA dan daya reaktif (Q) adalah 455 kVAR. Tingginya daya reaktif disebabkan kegagalan kapasitor bank dalam memperbaiki faktor daya, hal ini bisa dilihat pada Gambar 12, dimana $\cos \varphi$ jatuh pada harga 0,8 dan sempat terjadi fluktuasi beban sesaat dimana $\cos \varphi$ turun hingga 0,74.



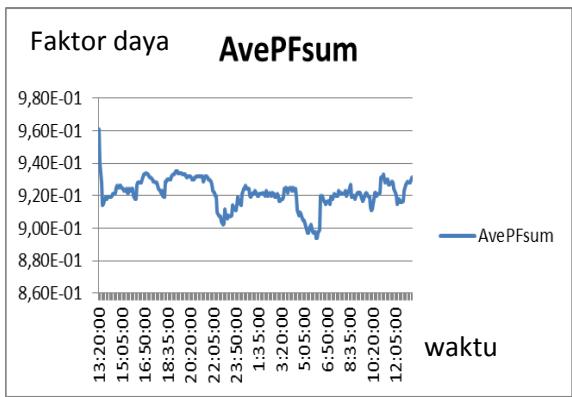
Gambar 12. Faktor daya ($\cos \varphi$) beban jalur BHA

Daya dan faktor daya pada jalur BHB dapat dilihat pada Gambar 13 dan Gambar 14.



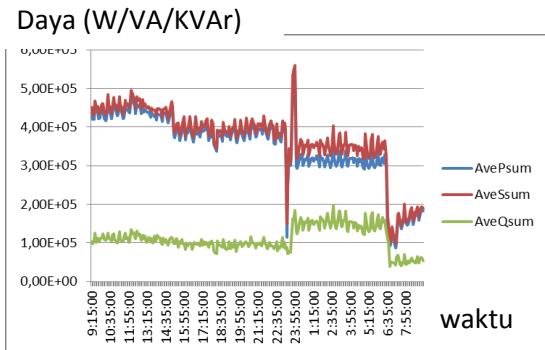
Gambar 13. Daya (P, S, dan Q) pada jalur BHB

Dari gambar di atas terlihat daya aktif jauh lebih besar dari daya reaktif, dimana $P = 558 \text{ kW}$, daya semu, $S = 605 \text{ kVA}$ dan daya reaktif, $Q = 235 \text{ kVAR}$. Hal ini menunjukkan kapasitor bank masih berfungsi baik dimana faktor daya lebih besar dari 0,85, seperti terlihat pada gambar 14, yaitu 0,92



Gambar 14. Faktor daya ($\cos \phi$) beban jalur BHB

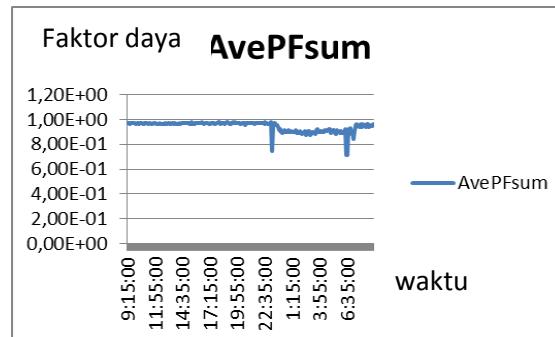
Pada jalur BHC, daya aktif, daya semu dan daya reaktif dapat dilihat pada Gambar 15 dan faktor dayanya pada Gambar 16.



Gambar 15. Daya (P, S, dan Q) pada jalur BHC

Pada Gambar 15 terlihat daya aktif P lebih besar dari daya reaktif Q , saat terjadi fluktuasi beban daya aktif

300 kW diikuti kenaikan daya reaktif menjadi 150 kVAR. Rata-rata daya aktif $P = 351 \text{ kW}$, daya semu $S = 369 \text{ kVA}$ dan daya reaktif $Q = 110 \text{ kVAR}$.



Gambar 16. Faktor daya ($\cos \phi$) beban jalur BHC

Faktor daya pada jalur BHC saat pengukuran sempat mengalami penurunan sampai di bawah 0,85 dalam waktu singkat, hal ini dikarenakan adanya fluktuasi beban, namun rata-rata $\cos \phi$ selama 24 jam adalah 0,945, dengan demikian kapasitor bank pada jalur BHC masih berfungsi baik.

5. KESIMPULAN

Kapasitor *bank* pada jalur BHA mengalami kerusakan sehingga faktor daya turun hingga 0,8 sedangkan pada jalur BHB dan BHC faktor daya masih berfungsi baik karena masih di atas 0,85, yaitu masing-masing 0,92 dan 0,945

6. REFERENSI

1. ZUHAL, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1995.
2. PABLA AS, ABDUL HADI, Sistem Distribusi Daya Listrik, Erlangga, Jakarta, 1986.
3. KOES INDRAKOESOEMA, dkk, *Optimasi Pemakaian Energy Listrik Pada Gedung 90 PKTN BATAN*, Prosiding PPI-PDIPTN 2008, Yogyakarta, 15 Juli 2008.
4. Maintenance and Repair Manual (MRM) MPR30, Interatom, Germany, 1988