

## KONSUMSI ENERGI LISTRIK PUSAT REAKTOR SERBA GUNA (PRSG) SAAT REAKTOR BEROPERASI

Koes Indrakoesoema

### ABSTRAK.

**KONSUMSI ENERGI LISTRIK PUSAT REAKTOR SERBA GUNA SAAT REAKTOR BEROPERASI.** Catu daya listrik Pusat Reaktor Serba Guna didapat dari PT PLN dengan kontrak daya 3030 kVA. Penyaluran ke beban-beban yang ada di PRSG dibagi dalam 3 (tiga) jalur yang masing-masing dipasok melalui transformator BHT01, BHT02 dan BHT03, dengan kapasitas masing-masing 1600 kVA. Pada saat reaktor beroperasi, hanya 2 jalur yang melayani beban-beban motor pompa pendingin primer dan sekunder, Daya listrik selama pengukuran 24 jam untuk BHT01, rata-rata adalah 288 kW, BHT02 adalah 641 kW dan BHT03 adalah 466 kW. Energi yang diserap masing-masing transformator selama 24 jam pengukuran, untuk BHT01 adalah 6,44 MWh, BHT02 menyerap 14,8 MWh dan BHT03 menyerap 10,9 MWh.

Kata kunci : Daya listrik, energy listrik, transformator

### ABSTRAC.

**ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION OF MULTI PURPOSE REACTOR GA. SIWABESSY DURING REACTOR OPERATION.** Electrical power supply of Reactor Center Multi Purpose obtained from PT PLN to 3030 kVA power contracts. Distribution to existing loads in PRSG divided into 3 (three) lines, each of which is supplied through a transformer BHT01, BHT02 and BHT03, each transformer have capacity of 1600 kVA. During reactor operation, only 2 lines that serve loads, each line serve 2 primary pump motor and 2 secondary pump motor. Electrical power for 24 hours for measurement BHT01, the average is 288 kW, for BHT02 is 641 kW and BHT03 is 466 kW. The energy absorbed by each transformer for 24 hours of measurement, for BHT01 is 6.44 MWh, BHT02 absorb 14.8 MWh and BHT03 absorb 10.9 MWh.

Key words : Electric power, electric energy, transformer

### PENDAHULUAN

Energi listrik sudah menjadi kebutuhan pokok baik bagi industri maupun rumah tangga sehingga dibutuhkan kelangsungan penyaluran sistem tenaga listrik secara handal dan baik. Kelangsungan penyaluran tenaga listrik yang diproduksi oleh Pusat Pembangkit dan disalurkan oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) harus dimanfaatkan secara bijaksana.

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.

Pada sistem tenaga listrik arus bolak-balik, frekwensi standard untuk Indonesia adalah 50 Hz,

dan sistem distribusi di kelompokkan kedalam dua bagian yaitu sistem jaring distribusi primer dan biasa disebut Jaring Tegangan Menengah (JTM), dan sistem jaring distribusi sekunder dan biasa disebut Jaring Tegangan Rendah (JTR). Fungsi pokok dari sistem distribusi adalah menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk ke pusat-pusat atau kelompok beban (gardu distribusi) dan pelanggan, dengan mutu yang memadai.

Gedung RSG GA. Siwabessy (Ged.No.30) adalah gedung reaktor beserta fasilitas laboratoriumnya dan Gedung Operasi (Ged.No.31) adalah gedung perkantoran tanpa fasilitas laboratorium, di mana kedua gedung tersebut di suplai oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) melalui 3 buah transformator yang terbagi dalam 3 jalur (busbar), yaitu BHA, BHB, dan BHC. Masing-masing jalur mencatu berbagai tipe beban antara lain motor pompa, motor katub, motor chiller, penerangan, lift, dll.

Sumber energi utama ke 2 gedung ini adalah berasal dari PLN dengan kapasitas 3030 kVA, dan

dibagi menjadi 3 buah busbar yang masing-masing dicatu transformator 1600 kVA, 20 kV/400 V, yaitu BHT01, BHT02 dan BHT03 artinya dalam kondisi normal seluruh keperluan dicatu dari PLN.

Spesifikasi dan kapasitas Feeder PLN tersebut adalah:

Kapasitas terpasang : 3030 kVA, 3 fasa  
Sistem Jaringan : Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 kV

Frekuensi kerja : 50 Hz  
Golongan Tarif : P2  
Meteran : Ganda LWBP dan WBP, serta kVArhmeter.

Pada makalah ini akan dipetakan penggunaan energi listrik di Gedung 30 dan 31 yang dapat memberikan gambaran mengenai pola penggunaan energi listrik dan mengevaluasi kontrak daya PLN terhadap pemakaian listrik aktual.

**TEORI**

Tegangan yang dihasilkan oleh pusat Pembangkit Tenaga Listrik seperti PLTA, PLTU, PLTD dan sebagainya, ini biasanya merupakan tegangan menengah (TM) dengan besar tegangan 20 kV, 12 kV atau 6 kV.

Sistem distribusi yang 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. Saluran listrik dari gardu induk hingga konsumen disebut saluran distribusi.

**Beban-Beban Listrik**

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

- Beban Resistif
- Beban Induktif
- Beban Kapasitif

**Beban Resistif (resistor)**

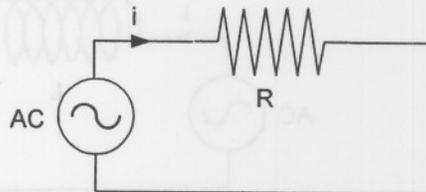
Beban resistif (resistor): adalah beban yang berasal dari suatu komponen tahanan murni dengan simbol (R), memiliki satuan Ohm ( $\Omega$ ). Beban resistif terdapat pada generator, bahan penghantar saluran, transformator, motor listrik, pemanas listrik (*heater*), dan lain sebagainya.

Resistansi untuk suatu bahan diberikan oleh rumus :

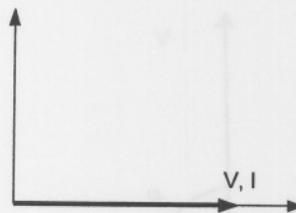
$$R = \frac{\rho \ell}{A} \Omega \dots\dots\dots(1)$$

- dimana : R = tahanan (resistor) satuan [ $\Omega$ ]  
 $\rho$  = tahanan jenis penghantar [ $\Omega .m$ ]  
 $\ell$  = panjang penghantar [m].  
 A = luas penampang penghantar [ $m^2$ ]

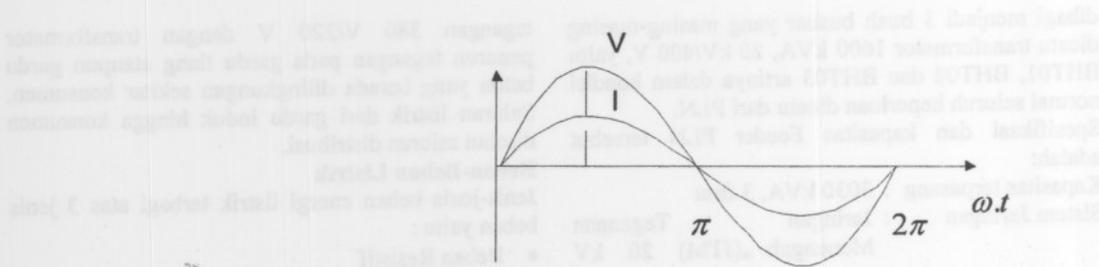
Bila dihubungkan pada sumber arus bolak-balik maka beban resistansi memiliki karakteristik sebagai berikut :



Gambar 1 Beban resistif pada sumber arus bolak-balik



Gambar 2. Diagram vektor beban resistif



Gambar 3. Diagram sinusoidal beban resistif

Resistansi suatu beban diberikan oleh rumus :

$$R = \frac{V(t)}{i(t)} \quad [\Omega] \dots\dots\dots(2)$$

dimana :

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

i(t) = besar arus yang mengalir dalam 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 :

$$V(t) = L \frac{di}{dt} \text{ dan } i(t) = \frac{1}{L} \int V \cdot dt \dots\dots\dots(3)$$

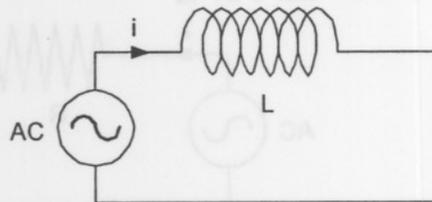
$$L = \frac{V(t)}{di/dt} \dots\dots\dots(4)$$

dimana :

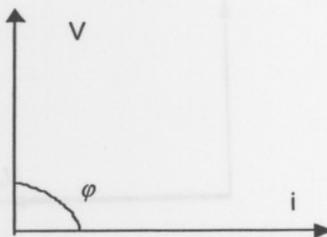
V(t) = besar tegangan listrik dalam fungsi waktu. [Volt].

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

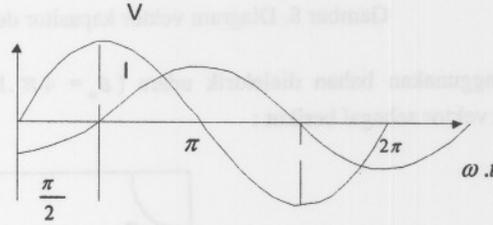
Bila dihubungkan pada sumber arus bolak-balik maka beban induktif memiliki karakteristik sebagai berikut :



Gambar 4. Beban induktif pada sumber arus bolak-balik



Gambar 5. Diagram vektor beban induktif



Gambar 6. Diagram sinusoidal beban induktif

Reaktansi Induktif suatu beban diberikan oleh rumus :

$$X_L = \omega L = \frac{V}{I} [\Omega] \dots\dots\dots(5)$$

maka

$$L = \frac{V}{I\omega} [\text{Henry}] \dots\dots\dots(6)$$

dimana :

- $\omega$  = kecepatan sudut [rad/sec] =  $2\pi f$
- $f$  = frekuensi tegangan.[Hertz]
- $X_L$  = reaktansi induktif [ $\Omega$ ]

**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 :

$$V(t) = \frac{1}{C} \int i dt \dots\dots\dots(7)$$

$$i(t) = \frac{dQ}{dt} = C \frac{dV}{dt} \dots\dots\dots(8)$$

$$Q(t) = C \cdot V(t) \dots\dots\dots(9)$$

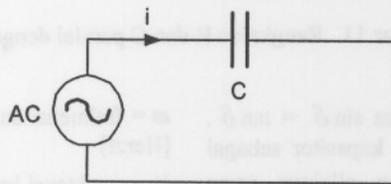
Maka :

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\epsilon A}{d} = \frac{\epsilon_o \epsilon_r A}{d} (\text{Farad}) \dots\dots\dots(10)$$

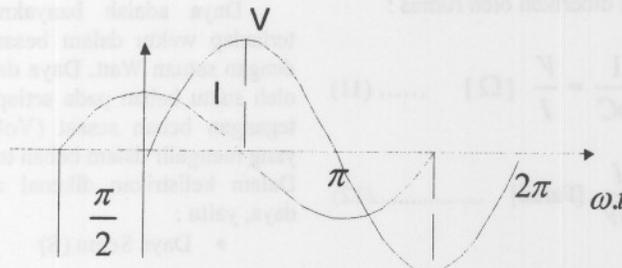
dimana :

- $V(t)$  = 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)
- $\epsilon$  = permitivitas bahan antara dua penghantar
- $\epsilon_o$  = permitivitas udara ( $4\pi \cdot 10^{-7}$ )
- $\epsilon_r$  = 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 :

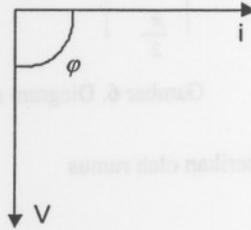


Gambar 7. Beban kapasitif pada sumber arus bolak-balik



Gambar 8. Diagram vektor kapasitor dengan dielektrik udara

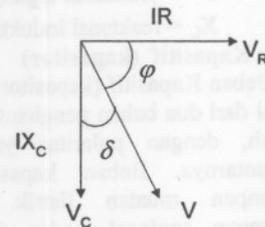
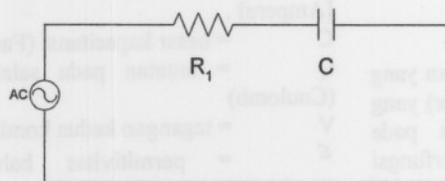
Jika menggunakan bahan dielektrik udara ( $\epsilon_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ ) diantara dua plat, maka kapasitor memiliki diagram vektor sebagai berikut :



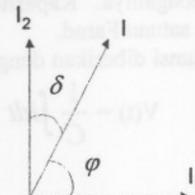
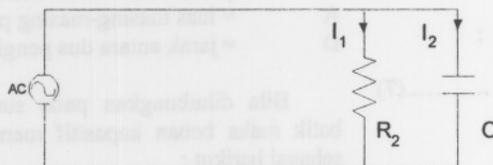
Gambar 9. Diagram sinusoidal beban kapasitif dielektrik udara

Tetapi jika menggunakan bahan dielektrik lain maka akan terjadi rugi-rugi yang hilang berupa panas. Adanya rugi-rugi ini menyebabkan arus tidak lagi mendahului (*leading*)  $90^\circ$  terhadap tegangan. Rugi akibat dielektrik pada suatu kapasitor

digambarkan sebagai suatu rangkaian yang terdiri kapasitor murni diserikan dengan suatu tahanan rendah  $R_1$  atau parallel dengan suatu tahanan tinggi  $R_2$ .



Gambar 10. Rangkaian R dan C seri dengan gambar fasornya



Gambar 11. Rangkaian R dan C paralel dengan gambar fasornya

Karena nilai  $\delta$  sangat kecil maka  $\sin \delta = \tan \delta$ . Sehingga daya yang hilang pada kapasitor sebagai rugi-rugi adalah  $V.I.\cos \phi$  yang nilainya sama dengan  $V.I.\tan \delta$  dan  $\tan \delta$  disebut sebagai faktor rugi (*loss factor*).

Kapasitansi suatu beban diberikan oleh rumus :

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{V}{I} \text{ [}\Omega\text{]} \dots\dots (11)$$

Maka

$$C = \frac{I}{\omega V} \text{ [Farad]} \dots\dots\dots(12)$$

dimana :

$\omega$  = frekuensi sudut [rad/sec] =  $2\pi f$  ;  $f$  = frekuensi [Herzt]

$X_C$  = reaktansi kapasitif [ $\Omega$ ]

**Daya Listrik**

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)

bersifat kapasitif dapat dilihat pada gambar berikut ini.

**Daya Semu**

Daya semu untuk sistem fasa tunggal dengan sirkuit dua kawat adalah perkalian skalar arus dan tegangan efektifnya.

Jadi daya semu (S) dinyatakan melalui persamaan :

$$S = |V| \cdot |I| \quad [VA] \dots\dots\dots (13)$$

Sedangkan untuk sistem 3 fasa daya semu dinyatakan dengan :

$$S = 3|V| \cdot |I| \quad [VA] \dots\dots\dots (14)$$

**Daya Aktif**

Daya aktif dinyatakan oleh persamaan :

$$P = \frac{V_{maks} I_{maks}}{2} \cos \varphi \dots\dots\dots (15)$$

Persamaan untuk daya beban tiga fasa yang seimbang dinyatakan oleh

$$P = \sqrt{3} |V_{jala - jala}| |I_{jala - jala}| \cos \varphi \quad [Watt] \dots\dots (16)$$

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

**Daya Reaktif**

Daya reaktif dituliskan dengan persamaan :

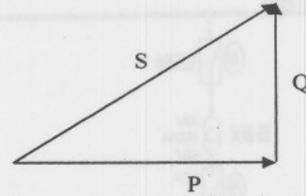
$$Q = \frac{V_{maks} I_{maks}}{2} \sin \varphi \dots\dots\dots (17)$$

atau

$$Q = |V| |I| \sin \varphi \quad [VAr] \dots\dots\dots (18)$$

**Segitiga Daya**

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



Gambar 12. Segitiga Daya

dimana :

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

$$S = V.I$$

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

Dari gambar di atas

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots (19)$$

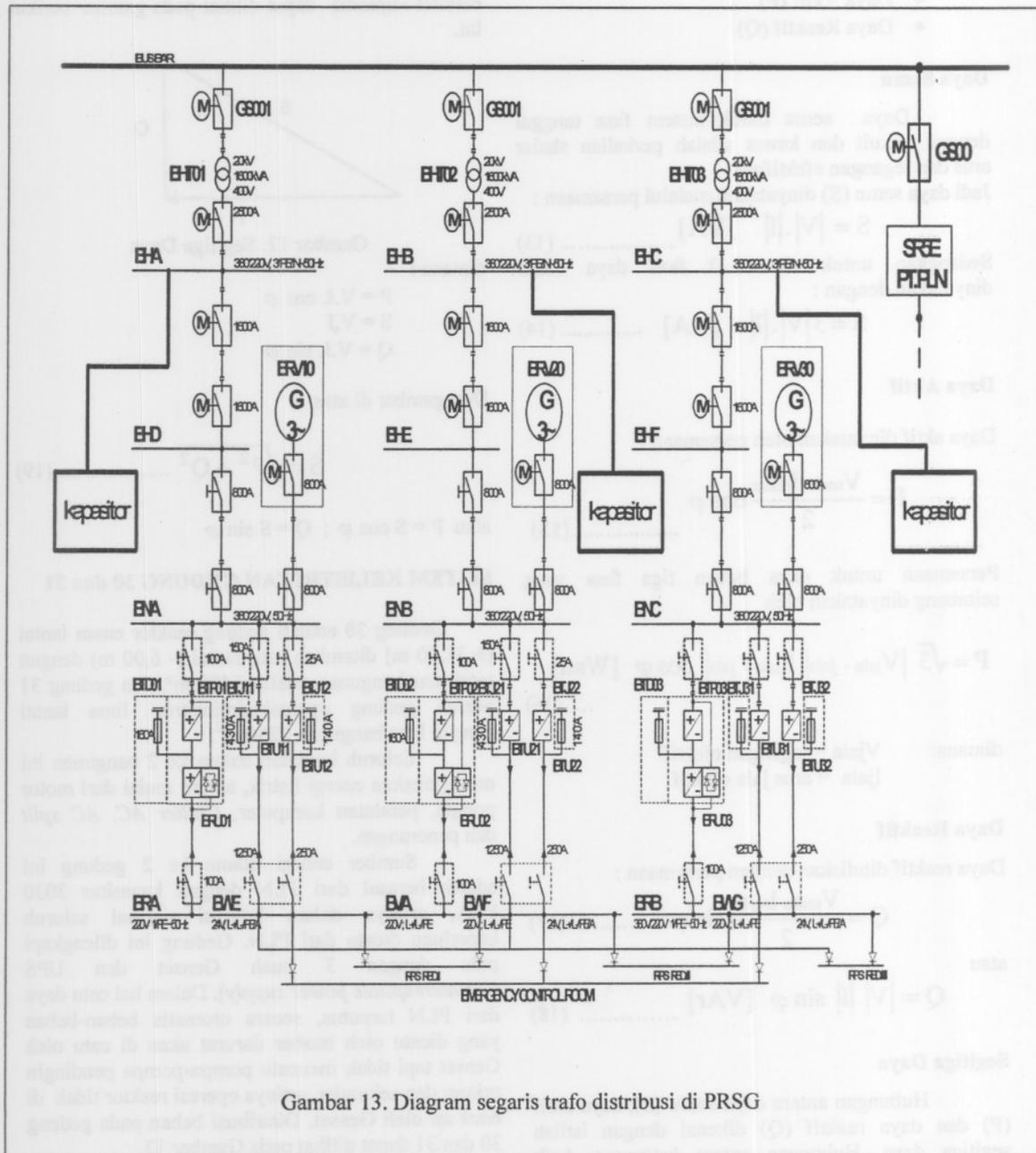
atau  $P = S \cos \varphi$  ;  $Q = S \sin \varphi$

**SISTEM KELISTRIKAN GEDUNG 30 dan 31**

Gedung 30 adalah gedung reaktor enam lantai ( $\pm 31,00$  m) ditambah satu lantai (- 6,00 m) dengan total luas bangunan adalah 6400 m<sup>2</sup>, dan gedung 31 adalah gedung operasi/administrasi lima lantai dengan luas bangunan 3250 m<sup>2</sup>.

Seluruh kegiatan dalam ke 2 bangunan ini menggunakan energi listrik, antara mulai dari motor pompa, peralatan komputer, *Chiller AC*, *AC split* dan penerangan.

Sumber energi utama ke 2 gedung ini adalah berasal dari PLN dengan kapasitas 3030 kVA, artinya dalam kondisi normal seluruh keperluan dicatu dari PLN. Gedung ini dilengkapi pula dengan 3 buah Genset dan UPS (*Uninterruptible power supply*). Dalam hal catu daya dari PLN terputus, secara otomatis beban-beban yang dicatu oleh busbar darurat akan di catu oleh Genset tapi tidak mencatu pompa-pompa pendingin primer dan sekunder, artinya operasi reaktor tidak di *back up* oleh Genset. Distribusi beban pada gedung 30 dan 31 dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Diagram segaris trafo distribusi di PRSG

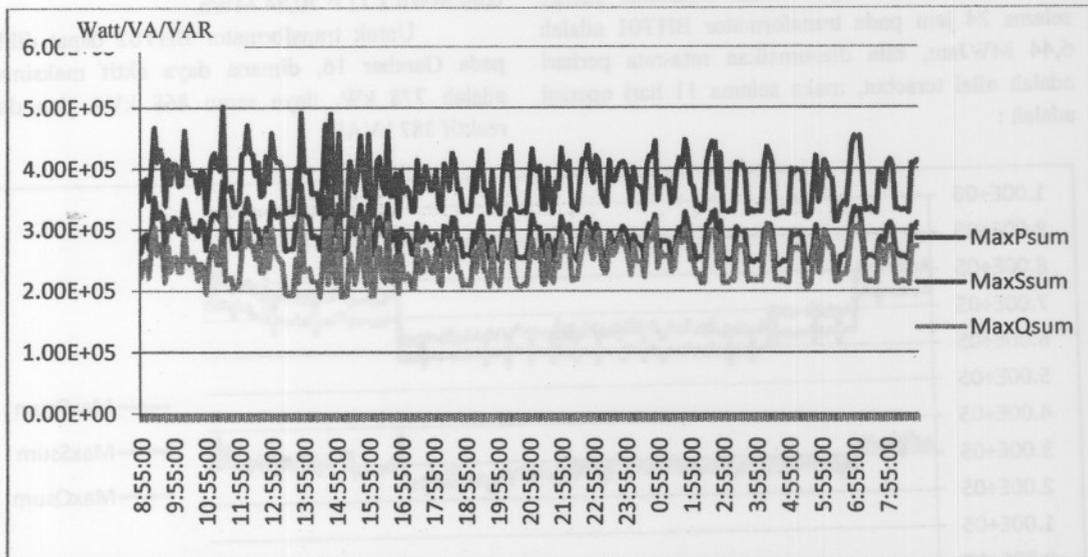
**TATA KERJA**

Pengukuran dilakukan pada masing-masing transformator BHT01/02/03. Untuk melihat profil beban listrik harian (24 jam) pada ke dua gedung tersebut, telah dilakukan pengukuran secara *On-line*. Pengukuran ini dilakukan saat reaktor beroperasi, yaitu BHT01 tgl. 16-17 Juli 2012, BHT02 tgl. 09-10 Juli 2012 dan BHT03 tgl. 02-03 Agustus 2012. Titik pengukuran pada masing-masing fasa tegangan rendah transformator. Alat ukur yang digunakan

adalah HIOKI 3169-20 Clamp On Power HiTester dan HIOKI 3197 PQA.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Transformator BHT01 dilakukan pengukuran saat pompa pendingin primer JE-01 AP002/003 dan pompa pendingin sekunder PA-02/03 AP001 beroperasi. Pengukuran dilakukan selama 24 jam. Daya aktif, reaktif dan semu dapat dilihat pada Gambar 14.



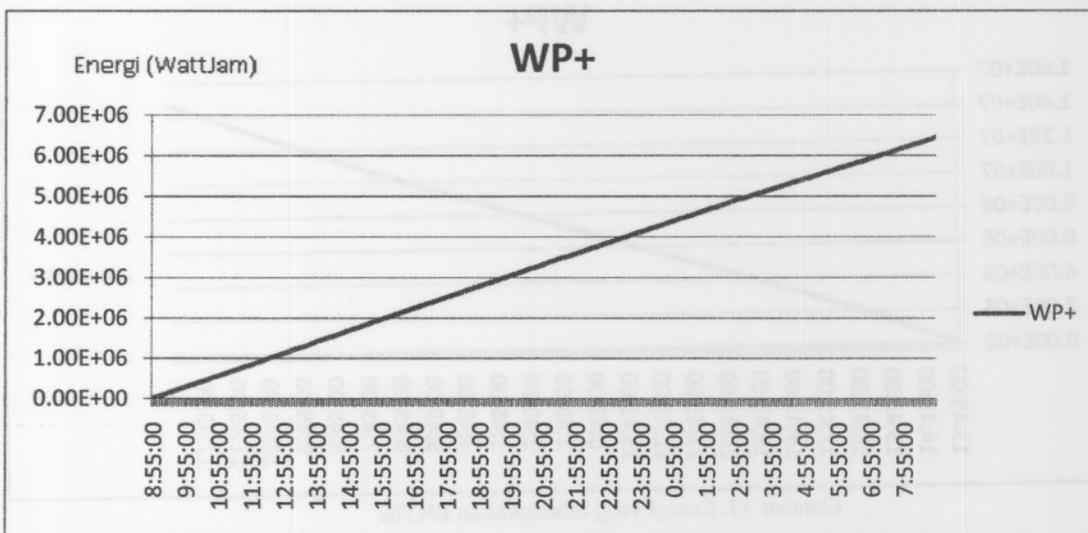
Gambar 14. Daya aktif, semu dan reaktif transformator BHT01

Dari gambar 14 terlihat daya aktif maksimum adalah 379 kW, daya semu maksimum adalah 502 kVA dan daya reaktif maksimum 330 kVAR. Dengan mengasumsikan selama 11 hari operasi daya maksimumnya 502 kVA, maka faktor kebutuhan adalah :

$$\text{Faktor Kebutuhan} = \frac{\text{Daya Maksimum (kVA)}}{\text{Daya Terpasang (kVA)}} \times 100\%$$

Faktor kebutuhan = ———

Pemakaian energy yang diserap transformator BHT01 selama 24 jam pengukuran seperti terlihat pada Gambar 15.

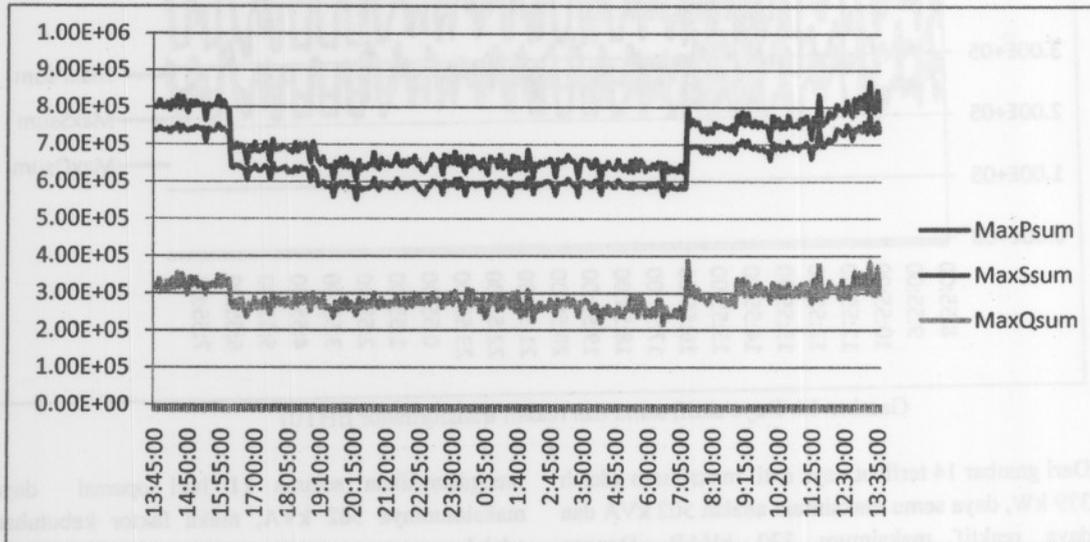


Gambar 15. Energi yang dibangkitkan BHT01

Dari Grafik diatas dapat dilihat konsumsi energy selama 24 jam pada transformator BHT01 adalah 6,44 MWJam, bila diasumsikan rata-rata perhari adalah nilai tersebut, maka selama 11 hari operasi adalah :

$$6,44 \text{ MWh} \times 11 = 70,84 \text{ MWh.}$$

Untuk transformator BHT02 dapat dilihat pada Gambar 16, dimana daya aktif maksimum adalah 778 kW, daya semu 868 kVA dan daya reaktif 387 kVAR.

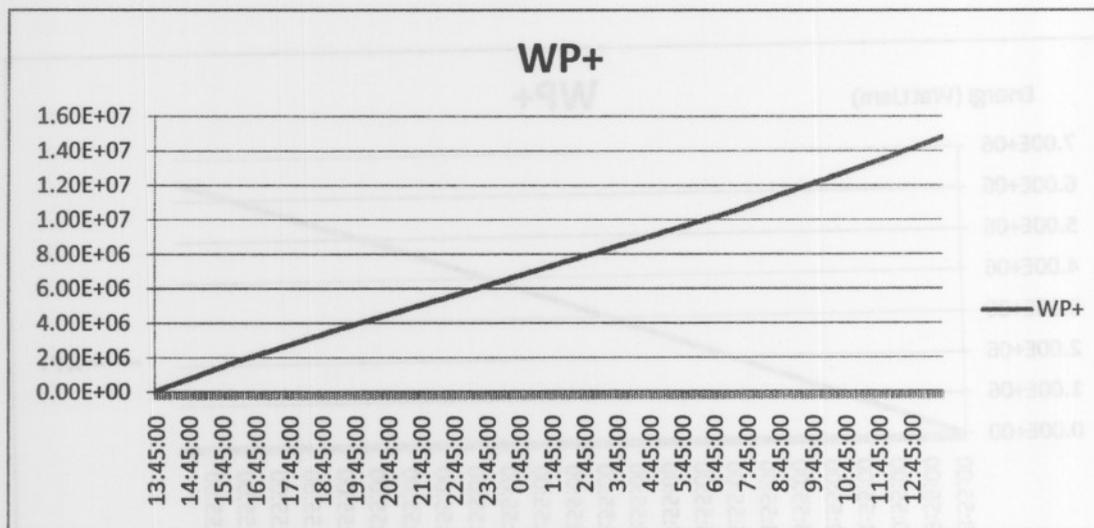


Gambar 16. Daya aktif, semu dan reaktif transformator BHT02

Dengan daya maksimum 868 kVA, selama 11 hari operasi maka faktor kebutuhan pada transformator BHT02 adalah

$$\text{Faktor kebutuhan} = \frac{868 \text{ kVA}}{1600 \text{ kVA}} \times 100\% = 54,25\%$$

Energi yang diserap oleh transformator BHT02, dapat dilihat pada Gambar 17.

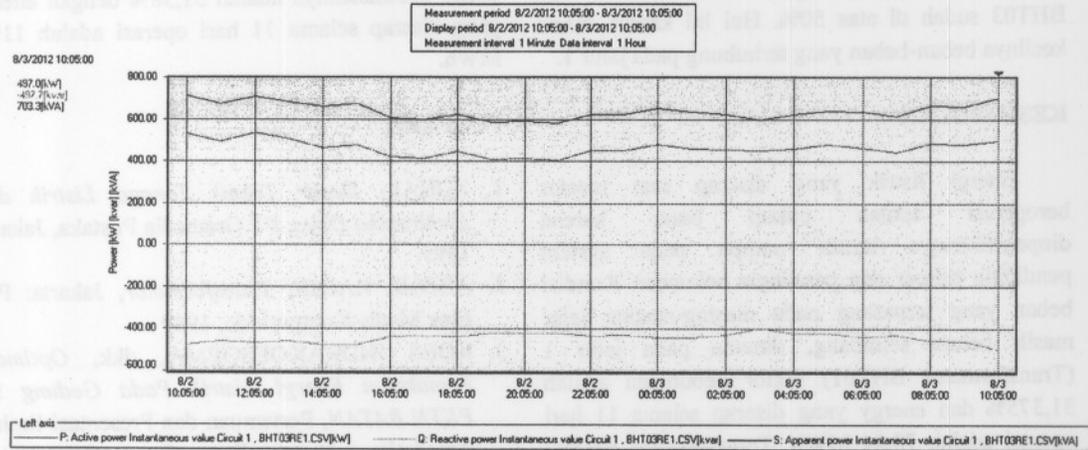


Gambar 17. Energi yang dibangkitkan BHT02

Dari Grafik diatas dapat dilihat konsumsi energy selama 24 jam pada transformator BHT02 adalah 14,8 MWh, bila diasumsikan rata-rata perhari

adalah nilai tersebut, maka selama 11 operasi energy yang dibangkitkan adalah : 14,8 MWJam x 11 = 162,8 MWh.

Pada transformator BHT03 pengukuran AP001/003 dan PA-01/03 AP001). Hasil dilakukan pada tanggal 2 s.d 3 Agustus (24 jam) pengukuran untuk daya aktif, reaktif, dan daya semu dengan jalur 1 dan jalur 3 yang dioperasikan (JE-01 dapat dilihat pada Gambar 18.



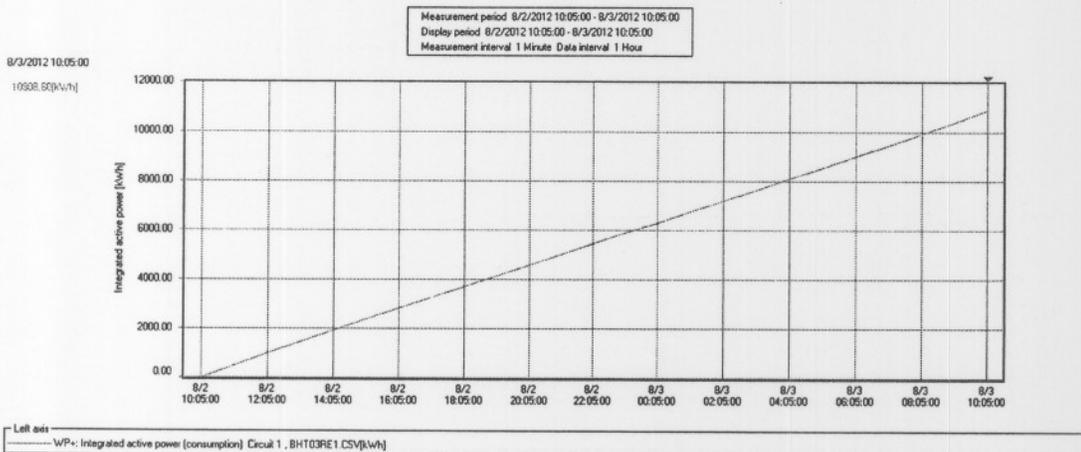
Gambar 18. Daya aktif, semu dan reaktif transformator BHT03

Dimana daya aktif maksimum adalah 502 kW, daya semu 822 kVA dan daya reaktif 501,2 kVAR. Grafik daya reaktif terlihat negative, hal ini karena terbaliknya kabel pengukuran arus dan tegangan pada masing-masing fasa.

Dengan daya maksimum 822 kVA, selama 11 hari operasi maka faktor kebutuhan pada transformator BHT03 adalah

Faktor kebutuhan = ———

Energi yang diserap oleh Transformator BHT03 dapat dilihat pada Gambar 19, dimana besar energy yang diserap adalah 10,9 MWh dalam 1 hari.



Gambar 19. Energi yang dibangkitkan BHT03

Bila diasumsikan rata-rata perhari daya yang diserap adalah 10,9 MWh, maka selama 11 hari operasi energy yang dibangkitkan oleh transformator BHT03 adalah : 10,9 MWJam x 11 = 119,9 MWh.

Energi listrik total selama 11 hari operasi adalah (70,84 + 162,80 + 119,90) MWh = 353,54

MWh dan transformator BHT02 menyerap energy lebih besar dari 2 buah transformator lainnya, hal ini karena beban-beban yang terpasang pada jalur 2 (BHT02) lebih banyak dibandingkan dengan BHT01 dan BHT03.

Faktor kebutuhan untuk transformator BHT01 adalah yang paling kecil, dimana dari daya nominal transformator 1600 kVA, factor kebutuhannya adalah 31,375%, sedangkan untuk BHT02 dan BHT03 sudah di atas 50%. Hal ini karena masih kecilnya beban-beban yang terhubung pada jalur 1.

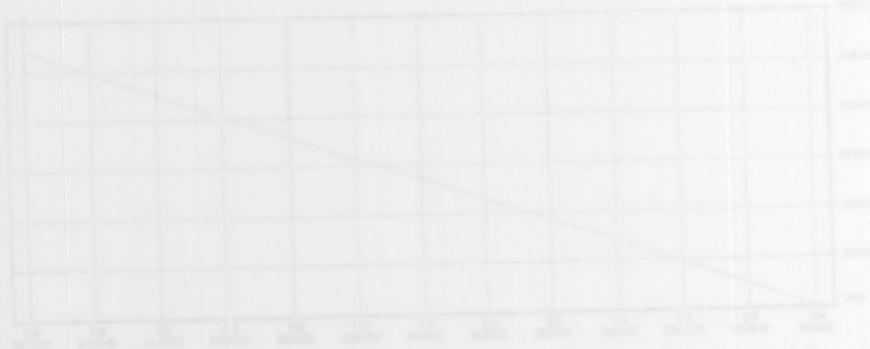
**KESIMPULAN**

Energi listrik yang diserap saat reactor beroperasi adalah cukup besar karena dioperasikannya motor pompa pada system pendingin primer dan pendingin sekunder. Kondisi beban yang terpasang pada masing-masing jalur masih belum seimbang, dimana pada jalur 1 (Transformator BHT01) faktor kebutuhan adalah 31,375% dan energy yang diserap selama 11 hari operasi adalah 70,84 MWh. Transformator BHT02 (jalur2 ) mempunyai beban terpasang yang lebih banyak, sehingga faktor kebutuhannya lebih besar

dari 2 transformator lainnya, yaitu 54,25%, dan energy yang diserap selama 11 hari operasi adalah 162,8 MWh. Sedangkan transformator BHT03, faktor kebutuhannya adalah 51,38% dengan energy yang diserap selama 11 hari operasi adalah 119,9 MWh.

**PUSTAKA**

1. ZUHAL, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, PT Gramedia Pustaka, Jakarta 1995.
2. ABDUL KADIR, *Transformator*, Jakarta: PT. Elex Media Komputindo, 1989
3. KOES INDRAKOESOEMA, dkk, *Optimasi Pemakaian Energi Listrik Pada Gedung 90 PKTN BATAN*, Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Peneliatian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, PTAB - BATAN, Yogyakarta, Juli 2008



Gambar 10. Energi yang dibutuhkan BHT01