

## PEMODELAN PENGOREKSI FAKTOR DAYA OTOMATIS UNTUK BEBAN LISTRIK BERVARIASI

Rahmat Adiprasetya Al Hasibi<sup>1</sup>, Freddy Kurniawan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

<sup>2</sup>Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto

### ABSTRACT

*The power factor is one of the problems in electric power quality improvement. In many cases, low power factor causes the waste of electrical energy. In large commercial and industrial sectors, usually used in a centralized system of capacitors in a room for power factor correction. However, changes in the electric power consumed by electrical equipment operated at any time require changes in the capacity of capacitors which must compensate for the inductive nature of the electrical equipment is being operated. A value system that can provide appropriate capacity of capacitors to improve power factor is needed on systems with dynamic changes in electrical load.*

**Keywords:** power quality, power factor, capacitor bank

### INTISARI

Faktor daya adalah salah satu masalah dalam peningkatan kualitas tenaga listrik. Dalam banyak kasus, faktor daya yang rendah menyebabkan pemborosan energi listrik. Dalam sektor komersial dan industri besar, bank kapasitor biasanya digunakan dalam suatu sistem kapasitor terpusat dalam sebuah ruang untuk keperluan koreksi faktor daya. Namun, perubahan daya listrik yang dikonsumsi oleh peralatan listrik yang dioperasikan setiap saat memerlukan perubahan dalam kapasitas kapasitor yang harus mengimbangi sifat induktif dari peralatan listrik yang dioperasikan. Sebuah sistem nilai yang dapat memberikan nilai kapasitas kapasitor yang sesuai untuk memperbaiki faktor daya dibutuhkan pada sebuah sistem dengan perubahan dinamis yang terdapat pada beban listrik.

**Kata Kunci:** kualitas daya, faktor daya, bank kapasitor

### PENDAHULUAN

Faktor daya merupakan salah satu permasalahan di dalam peningkatan kualitas daya listrik. Nilai faktor daya yang terlalu rendah dapat mengakibatkan beberapa peralatan listrik tidak dapat beroperasi dengan baik. Dalam banyak hal, faktor daya yang rendah membutuhkan biaya yang tidak murah. Rendahnya faktor daya mengakibatkan sistem pembangkit listrik harus membangkitkan daya yang lebih besar daripada daya yang digunakan oleh konsumen dan perusahaan listrik akan mengalami kesulitan dalam menentukan besar kebutuhan energi yang dikehendaki oleh pelanggan (Sukisno, 2007).

Pengoreksian nilai faktor daya harus dilakukan dengan cara yang tepat untuk setiap peralatan yang digunakan. Hal ini memunculkan masalah baru yaitu bagaimana merancang sebuah sistem pengoreksi faktor daya yang dapat digunakan untuk semua peralatan listrik yang digunakan. Dengan sistem ini, diharapkan faktor daya dapat diperbaiki dengan mudah dan sistem ini dapat digunakan untuk setiap pelanggan listrik (Sankaran, 2002).

Sebuah sistem yang dapat digunakan untuk memberikan nilai kapasitas kapasitor yang tepat untuk memperbaiki faktor daya sangat

diperlukan pada sistem dengan perubahan beban listrik yang dinamis. Selain memberikan nilai kapasitas kapasitor yang tepat, sistem harus dapat memberikan nilai kapasitor yang tidak melebihi nilai kapasitas tertentu yang dapat mengakibatkan naiknya tegangan sistem, yang pada akhirnya dapat mengganggu operasi dari peralatan listrik di dalam sistem tersebut (Thorne, 2001).

### Tinjauan Pustaka

#### 1. Daya Aktif dan Daya Reaktif

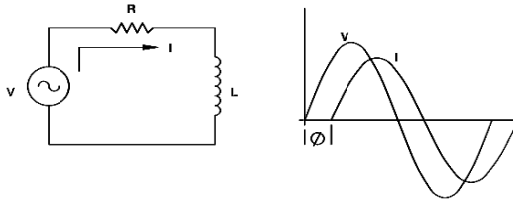
Hubungan antara daya nyata atau daya aktif (active power) atau  $P$ , daya reaktif (reactive power) atau  $Q$ , daya total (total power) atau daya semu atau  $S$  dan faktor daya atau  $\phi$  mengikuti Persamaan (1), (2), dan (3).

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1)$$

$$P = S \cos \phi \quad (2)$$

$$Q = S \sin \phi \quad (3)$$

Pada Gambar 1,  $V$  adalah tegangan yang diberikan pada sebuah rangkaian dan merupakan arus yang mengalir pada rangkaian tersebut. Di dalam rangkaian induktif, arus tertinggal terhadap tegangan dengan sudut  $\phi$ .



Gambar 1. Tegangan, arus, dan sudut faktor daya pada rangkaian resistif-induktif.

Sementara itu  $\phi$  merupakan beda fase antara tegangan dan arus. Nilai faktor daya ditentukan menggunakan 0 dan arus reaktif akan mengikuti 0.

$$pf = \cos \phi \quad (4)$$

$$I_x = I \sin \phi \quad (5)$$

## 2. Pengoreksian Faktor Daya

Arti sederhana dari pengoreksian faktor daya adalah penurunan daya reaktif yang tertinggal (Q) atau arus reaktif yang tertinggal (IQ). Bila tegangan V mensuplai beban resistif-induktif dengan impedans Z (Lou, 2005).

$$Z = R + j\omega L \quad (6)$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{V}{R + j\omega L} \quad (7)$$

Daya semu yang terjadi dinyatakan dengan Persamaan (8) dan (9).

$$S = V \times I = \frac{V^2}{R + j\omega L} \quad (8)$$

$$S = \frac{V^2 R}{(R^2 + \omega^2 L^2)} - j \frac{V^2 \omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} \quad (9)$$

Tanda negatif (-) pada bilangan imajiner Q menunjukkan daya reaktif tertinggal. Dengan memberikan daya reaktif mendahului sebesar Q akan mengoreksi faktor daya menjadi 1 (100%). Daya reaktif mendahului tersebut dapat ditimbulkan oleh kapasitor dengan nilai kapasitas sesuai Persamaan (10).

$$C = \frac{Q}{2\pi f V^2} = \frac{S \sin \phi}{2\pi f V^2} \quad (10)$$

Jika  $I_x$  merupakan arus reaktif, maka nilai C dapat ditentukan menggunakan **Error!**

**Reference source not found.**

$$C = \frac{I_x}{2\pi f V} \quad (11)$$

## Metode Penelitian

Data yang digunakan merupakan data primer yang diambil dari PT Adi Satria Abadi,

Yogyakarta. Data tersebut diperoleh dari pengukuran langsung menggunakan Power Quality Analyzer 3 Fase ANALYST 3Q pada panel utama MDP perusahaan ini seperti diperlihatkan pada Gambar 2.

### 1. Blok Diagram Sistem

Salah satu tujuan penelitian ini adalah merancang model sistem pengoreksi faktor daya otomatis yang dapat memberikan nilai faktor daya terbaik dari kombinasi kapasitor-kapasitor yang tersedia. Model sistem diharapkan dapat direalisasikan dalam penelitian berikutnya sehingga dihasilkan prototipe pengoreksi faktor daya otomatis (Automatic Power Factor Correction, APFC) berbasis mikrokontroler. Diagram blok sistem ini dapat dilihat pada Gambar 3.

Bagi sistem pengoreksi faktor daya, semakin besar daya yang digunakan atau semakin rendah faktor daya (yang semakin tinggi nilai beda fase  $\phi$ ), semakin berat pula usaha yang harus dilakukan untuk pengoreksian faktor daya dan nilai kapasitas kapasitor yang harus digunakan untuk pengoreksian faktor daya akan semakin besar pula. Nilai kapasitas kapasitor sebanding dengan nilai daya total sebagaimana Persamaan (10) dan Persamaan (11).

Daya kapasitif untuk melawan daya induktif dapat ditimbulkan oleh kapasitor dengan kapasitas mengikuti Persamaan dan nilai untuk kapasitor ke-i yang dinyatakan dengan  $C_i$  mengikuti Persamaan (12).

$$C_i = \frac{2^{i-1}}{15} C_T \quad (12)$$

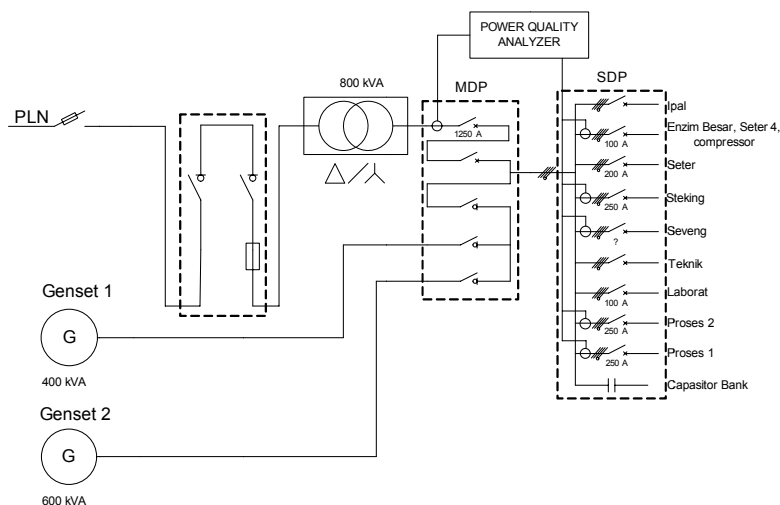
Dalam penelitian ini digunakan 4 buah kapasitor di C-bank, sehingga terbentuk 15 variasi kapasitor yang dinyatakan dengan  $C_{b1}, C_{b2}, C_{b3}, \dots, C_{b15}$ .

### 2. Program Simulasi Pengoreksian Faktor

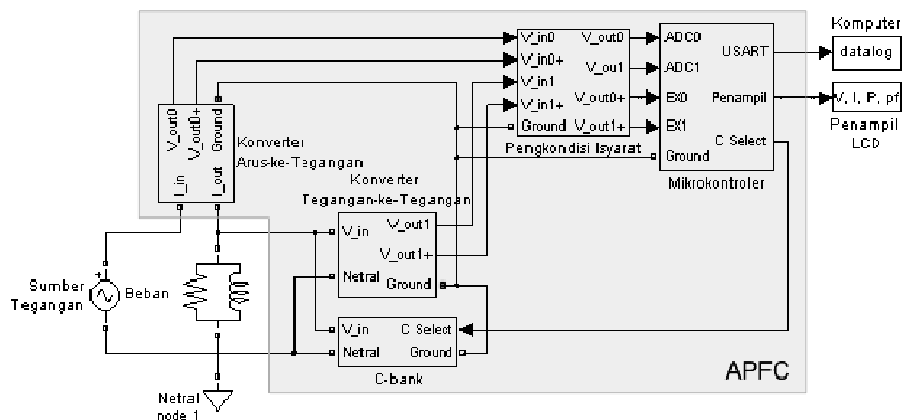
#### Daya

Model sistem pengoreksian faktor daya otomatis yang dibuat menggunakan MATLAB ini dapat dilihat pada Gambar 4. Model sistem ini terdiri dari beberapa subsistem dan S-Function dan dilengkapi dengan piranti masukan dari file dan piranti keluaran (data logger) ke workspace yang dapat disimpan ke suatu file.

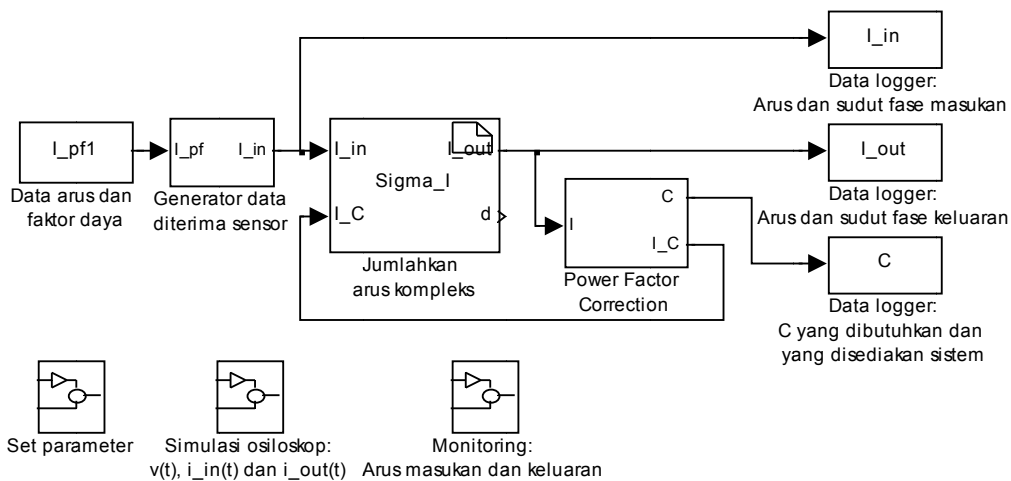
Pada sistem ini dijalankan algoritma simulasi pengoreksian faktor daya. Algoritma yang secara visual ditunjukkan dengan diagram alir di Gambar 5 ini dikerjakan oleh beberapa S-Function sehingga beberapa parameter dapat diamati secara waktu nyata.



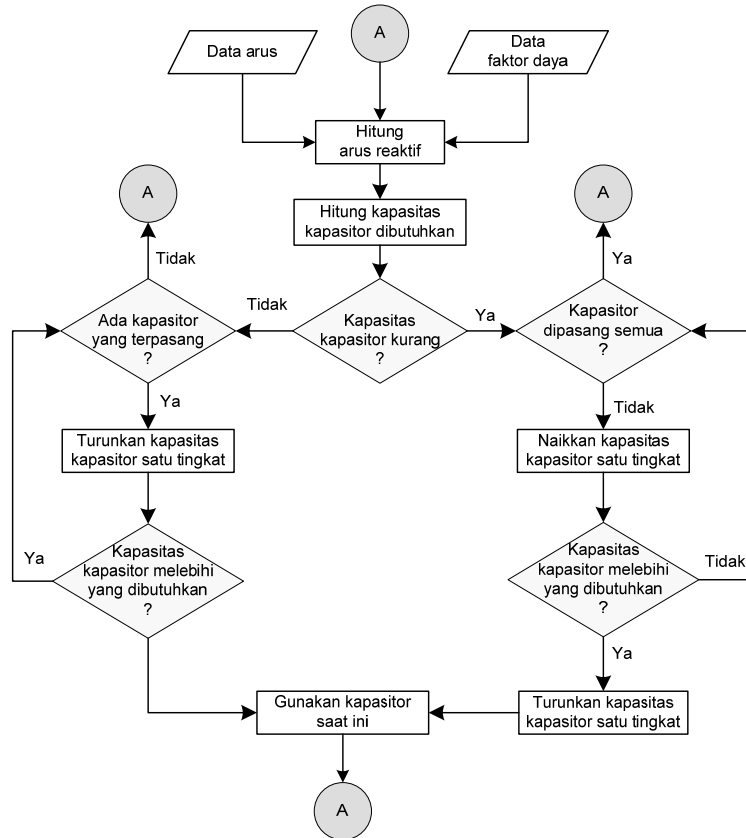
Gambar 2. Diagram Kelistrikan P.T. Adi Stria Abadi.



Gambar 3. Diagram blok sistem pengoreksi faktor daya otomatis.



Gambar 4. Model sistem pengoreksian faktor daya otomatis.



Gambar 5. Diagram alir algoritma pengoreksian faktor daya.

**PEMBAHASAN**

Dari data pengukuran di PT. Adi Satria Abadi, didapat nilai maksimal daya total yang terjadi adalah  $S = 108.196 \text{ VA}$ . Faktor daya terkecil yang terjadi adalah  $0,7$ . Dari nilai daya tersebut, daya nyata hanya sebesar  $0,7 \times 108.196 \text{ VA} = 75.737 \text{ W}$ . Dengan menggunakan Persamaan (1), dapat dihitung daya reaktif yang terjadi adalah  $Q_{maks} = \sqrt{108.196^2 - 75.737^2} \text{ VA} = 77.268 \text{ VA}$ . Inilah nilai daya reaktif terbesar yang terjadi selama pengamatan. Daya reaktif tersebut terjadi pada saat daya total  $S = 108.196 \text{ VA}$  dan faktor daya =  $0,7$ . Inilah daya terberat yang harus dapat dikoreksi sistem.

Agar  $Q_{maks}$  dapat ditiadakan, atau dengan kata lain, beban terberat dapat dikoreksi sehingga mempunyai faktor daya satu, maka dengan menggunakan Persamaan (10) dibutuhkan kapasitor sebesar  $C_T = 5.084 \mu\text{F}$ . Nilai tersebut dibagi-bagi ke keempat kapasitor yang tersimpan di *C-bank*. Berdasarkan Persamaan (12) dapat dihitung nilai setiap kapasitor, yaitu  $C_i$ . Dengan mengacu pada nilai preferensi kapasitor, nilai setiap kapasitor kadang harus diganti oleh nilai kapasitor terdekat yang ada di pasaran. Nilai-nilai kombinasi kapasitor yang digunakan di dalam model dapat dilihat di dalam Tabel 1.

Tabel 1. Variasi kapasitas kapasitor yang digunakan di dalam model (dalam  $\mu\text{F}$ )

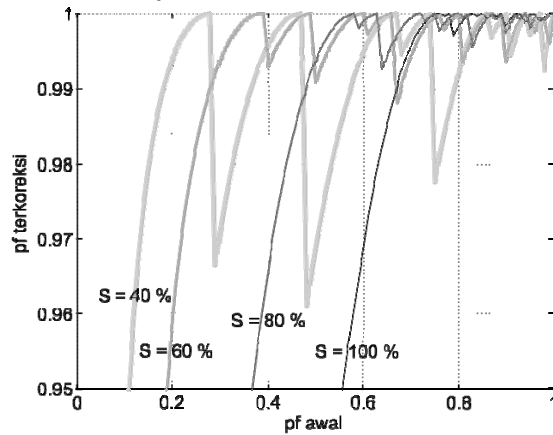
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$C_{b_i}$	220	680	900	1200	1420	1880	2100	2500	2720	3180	3400	3700	3920	4380	4600

1. Pengoreksian Faktor Daya di PT. Adi Satria

Dari hasil simulasi pada Gambar 6 terlihat, bahwa pada saat daya 100 % yaitu 108 kVA, nilai faktor daya di atas  $0,7$  dapat dikoreksi menjadi di atas  $0,997$ . Namun jika faktor  
 Jurnal Teknologi, Volume 4 Nomor 2, Desember 2011, 146 152

daya masukan di bawah  $0,6$ , hasil pengoreksian faktor daya tidak akan dapat melebihi  $0,97$ . Sedangkan untuk beban lebih rendah, misalnya 60 %, yaitu sekitar 65 kVA, hasil pengoreksian kemungkinan tidak akan lebih dekat ke nilai satu. Namun jika nilai

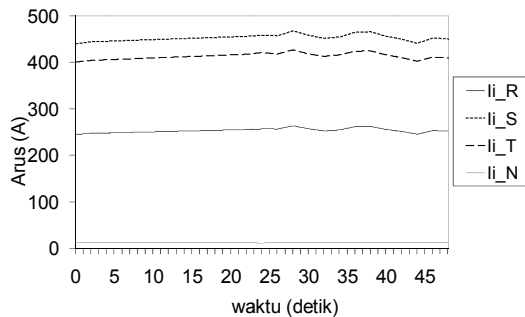
faktor daya masukan cukup rendah misalnya 0,3, maka kadang sistem tetap dapat mengoreksinya sehingga faktor daya keluaran menjadi di atas 0,97.



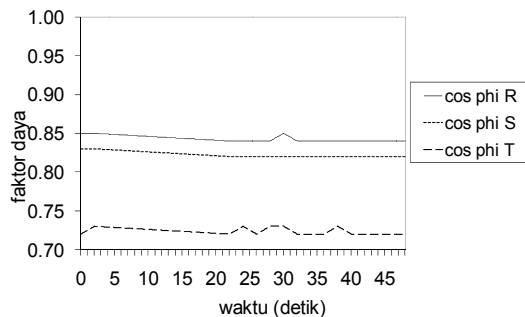
Gambar 6. Hasil pengoreksian faktor daya.

## 2. Simulasi Pengoreksian Faktor Daya Real-Time

Program ini telah disimulasikan untuk digunakan di PT Adi Satria Abadi. Grafik arus fase R ( $I_{i_R}$ ), S ( $I_{i_S}$ ), T ( $I_{i_T}$ ) dan netral ( $I_{i_N}$ ), beserta faktor daya sebelum terkoreksi fase R ( $\cos \phi_R$ ), S ( $\cos \phi_S$ ) dan T ( $\cos \phi_T$ ) untuk waktu selama 45 detik dapat dilihat pada Gambar 7 (a) dan Gambar 7 (b).



(a) Arus

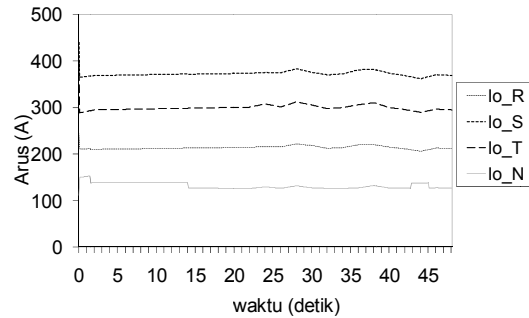


(b) Faktor Daya

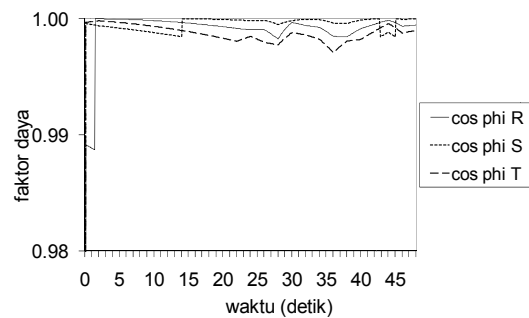
Gambar 7. Hasil pengoreksian faktor daya.

Pada model ini, untuk pengoreksian faktor daya, sistem tidak mencari nilai kapasitas

kapasitor terdekat, melainkan mencari nilai kapasitas kapasitor terdekat yang lebih rendah. Dalam kondisi ini, dimungkinkan beban masih sedikit bersifat induktif, namun tidak mungkin bersifat kapasitif. Adanya nilai galat, meskipun sangat kecil, menyebabkan tidak semua arus induktif dapat ditiadakan. Sehingga faktor daya keluaran dapat sedikit kurang dari satu. Grafik arus fase R ( $I_{o_R}$ ), S ( $I_{o_S}$ ), T ( $I_{o_T}$ ) dan netral ( $I_{i_N}$ ) dan faktor daya terkoreksi selama 45 detik dapat dilihat pada Gambar 8.



(a) Arus



(b) Faktor Daya

Gambar 8. Kondisi panel utama setelah terkoreksi.

Pada Gambar 7, saat  $t = 1,5$  detik, arus naik menjadi 246,6 A dengan faktor daya terukur tetap 0,85. Arus reaktif menjadi 128,9 A. Nilai kapasitas kapasitor yang dibutuhkan untuk pengoreksian faktor daya menjadi 1.865  $\mu\text{F}$ . Sesuai dengan Tabel 1, kapasitor terdekat yang digunakan sistem adalah 1.860  $\mu\text{F}$ . Kekurangan nilai kapasitas kapasitor hanya 5  $\mu\text{F}$ . Sebagaimana terlihat pada Gambar 8, faktor daya fase R menjadi 1,00.

Pada Gambar 7, saat  $t = 9$  detik terlihat bahwa arus total fase R bernilai sedikit di bawah 250 A dan faktor daya 0,85, sistem pengoreksi ini tidak selalu dapat mempertahankan nilai faktor daya menjadi di atas 0,990. Namun pada saat  $t = 15$  detik, arus total fase S bernilai 451 A dan faktor daya masukan 0,82, sistem pengoreksi ini

justru dapat mempertahankan nilai faktor daya menjadi di atas 0,995. Dari kedua kasus ini terlihat bahwa pada beban yang lebih tinggi, yang ditandai dengan arus yang lebih besar, sistem pengoreksi ini justru menunjukkan kinerja yang lebih tinggi.

Dengan diperbaikinya nilai faktor daya, maka arus reaktif menjadi hilang, paling tidak menjadi sangat kecil. Menghilangnya arus reaktif akan menurunkan arus total. Arus total fase R, S, dan T setelah terkoreksi sistem ini dapat dilihat pada Gambar 8(a).

Dengan membandingkan Gambar 7(a) dan Gambar 8(a) terlihat bahwa arus total turun secara signifikan. Setelah dikoreksi dengan sistem ini, arus rata-rata fase R yang semula 253,4 A dengan faktor daya 0,843, akan menjadi 213,9 dengan faktor daya 0,999. Arus setelah terkoreksi turun sebesar 15 %. Nilai rata-rata arus masukan dan keluaran beserta faktor dayanya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1 Hasil pengoreksian rata-rata

Nilai Rata-rata		Fase			N
		R	S	T	
Sebelum Koreksi	Arus (A)	253.4	452.8	413.4	12.2
	Faktor daya	0.843	0.823	0.724	-
Setelah Koreksi	Arus (A)	213.9	372.7	299.9	131.6
	Faktor daya	0.999	0.999	0.998	-
Perubahan		-15%	-17%	-27%	982%

Dari Tabel 2 tersebut terlihat bahwa pada saat sebelum terkoreksi, fase R dan S mempunyai faktor daya hampir sama namun perbedaan nilai arus keduanya cukup signifikan. Arus yang mengalir pada fase S lebih besar daripada arus yang mengalir pada fase R. Namun pengoreksian arus pada fase S justru menunjukkan kinerja lebih baik daripada fase R. Penurunan arus pada fase S lebih tinggi daripada fase R. Ini berarti sistem pengoreksi faktor daya otomatis ini akan menunjukkan kinerja lebih tinggi pada beban yang lebih tinggi. Hal ini sejalan dengan grafik pada Gambar 6. Pada grafik tersebut terlihat bahwa pada beban 100 %, fluktuasi faktor daya hasil pengoreksian cukup kecil. Faktor daya keluaran dijamin tidak akan kurang dari 0,996. Sedangkan pada beban yang lebih rendah, nilai faktor

daya hasil pengoreksian dapat mempunyai fluktuasi lebih besar.

Dari Tabel 2 juga terlihat bahwa arus sebelum terkoreksi pada fase S hampir sama dengan fase T. Namun nilai faktor daya fase T lebih rendah daripada nilai faktor daya fase S. Dengan menggunakan Persamaan (4) dan Persamaan (5) didapat bahwa rata-rata arus reaktif fase S dan T adalah 257,2 A dan 285,2 A. Kedua nilai arus reaktif tersebut dapat dikoreksi hingga mendekati nol. Pengoreksian arus reaktif pada fase T lebih besar daripada pada fase S. Hal ini menjadikan penurunan arus total fase T lebih tinggi daripada fase S. Meskipun demikian, faktor daya fase T sedikit lebih rendah daripada faktor daya fase S. Ini berarti sistem pengoreksi faktor daya otomatis ini akan menunjukkan kinerja lebih tinggi pada beban dengan faktor daya rendah meskipun hasil akhir pengoreksian kadang belum dapat menghasilkan faktor daya bernilai satu. Hal ini juga sejalan dengan grafik pada Gambar 6. Pada grafik tersebut terlihat bahwa pada beban 100 %, faktor daya awal yang rendah kadang tidak dapat menghasilkan nilai faktor daya mendekati satu. Semakin rendah faktor daya awal, faktor daya hasil pengoreksian dapat semakin rendah pula.

## KESIMPULAN

Dari Analisis yang telah dipaparkan di muka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Dengan mengasumsikan kapasitor pengoreksi dapat bernilai berapa saja, atau dengan kata lain cacah variasi nilai kapasitas kapasitor adalah tak terhingga, maka semakin tinggi daya semu beban atau semakin rendah faktor daya beban, usaha pengoreksian faktor daya akan semakin berat dan nilai faktor daya keluaran dapat masih bernilai jauh di bawah satu.
2. Namun dengan adanya keterbatasan cacah variasi nilai kapasitas kapasitor, selama masih dalam batas-batas maksimum pengoreksian, semakin tinggi daya semu beban, maka nilai faktor daya terkoreksi justru dijamin semakin mendekati satu dan mempunyai fluktuasi cukup kecil.
3. Pada kondisi dengan beban lebih berat dari yang telah ditentukan, maka sistem akan melakukan pengoreksian faktor daya menggunakan seluruh kapasitor yang ada dan kemungkinan faktor daya terkoreksi masih jauh lebih kecil dari satu.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Lou, Fang Lin, 2005, Digital Power Electronics and Applications, Elsevier Academic Press, London, UK
- Sankaran, C., 2002, Power Quality, CRC Press, New York, USA
- Sukisno, Toto, 2007, Pengaruh pemasangan Energy Saver pada Beban Rumah Tangga Ditinjau dari Potensi penghematan Energi dan Kualitas Daya, Jurnal Ilmiah Semesta Teknik, Vol 10, No. 2.
- Sutopo, Bambang, F. Danang Wijaya, Supari, 2000, Pengoreksi Faktor Daya Motor Induksi 3 fase menggunakan Mikrokontroler 68HC11, Jurusan Teknik Elektro UGM (tidak dipublikasikan), Yogyakarta
- Thorne, Tony, 2001, Displaced Power Factor Correction, Xantrex, Applications Engineering Xantrex Technology Inc.
- Tocci, Ronald J., Neal S. Widmer, 1988, Digital Systems, 7th edition, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, U.S.A.