

PERANCANGAN ALAT PERBAIKAN FAKTOR DAYA LISTRIK PADA INSTALASI LISTRIK RUMAH TINGGAL DAN EVALUASI DAMPAK PEMASANGANNYA

Agus Supardi¹, Aris Budiman²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

Email : agsums@gmail.com

Abstrak

Pada instalasi listrik sering dijumpai faktor daya listrik yang rendah akibat pengoperasian beban induktif. Faktor daya yang rendah akan berdampak negatif antara lain naiknya biaya yang harus dikeluarkan pelanggan karena lebih besar arus yang diserap dan kemungkinan terkenanya denda dari PLN. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan ukuran kapasitor yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya listrik pada suatu instalasi listrik rumah tinggal serta mengevaluasi dampak pemasangannya. Penelitian diawali dengan mengamati karakteristik faktor daya listrik dan kebutuhan daya reaktif pada suatu instalasi rumah tinggal berdaya 900 VA. Berdasarkan hasil pengamatan awal tersebut kemudian ditentukan ukuran kapasitor yang diperlukan untuk memperbaiki faktor dayanya. Setelah itu dilakukan evaluasi pengaruh pemasangan kapasitor tersebut terhadap daya semu, daya nyata, dan arus yang diserap dari PLN serta rugi-rugi energinya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa instalasi listrik yang diteliti membutuhkan kapasitor berukuran 4,64 - 23,94 μF menyesuaikan beban listrik yang dihidupkan. Pemasangan kapasitor sebagai alat untuk memperbaiki faktor daya dapat menaikkan daya semu (VA) dan menurunkan arus listrik tetapi tidak dapat menurunkan daya nyata (watt) yang diserap dari PLN. Di samping itu, pemasangan alat ini juga dapat menurunkan rugi-rugi daya kabel sehingga dapat menurunkan rugi-rugi energi listrik. Dengan demikian dapat menghemat konsumsi energi listrik walaupun penghematannya tidak besar (83,91 1152,86 Wh).

Kata kunci: Kapasitor; faktor daya; dampak pemasangan

Pendahuluan

Kenaikan tarif dasar listrik telah mendorong pelanggan listrik mencari cara untuk mengurangi biaya listrik yang dikeluarkannya. Sebagian besar energi listrik diserap oleh motor listrik, seperti motor induksi, yang merupakan jenis motor listrik yang biasa digunakan di dalam industri. Menurut Ferreira, F.J.T.E. et al (2005), faktor daya dan efisiensi dari sebagian besar motor induksi 3 fase yang digunakan di industri adalah rendah. Motor ini digunakan sebagai penggerak mula untuk pompa, kompresor udara, sistem conveyor, sistem pemanas dan pendingin ruangan, dan banyak aplikasi yang lainnya. Pengoperasian motor induksi secara efisien dapat secara signifikan mengurangi pemakaian energi listrik dan biayanya..

Beban induktif yang terpasang pada fasilitas kelistrikan industri seperti motor induksi, transformator dan lampu penerangan dengan ballast akan menyebabkan faktor daya yang rendah. Dampak negatif yang ditimbulkannya meliputi naiknya biaya yang harus dikeluarkan pelanggan karena naiknya arus yang diserap dari jala-jala PLN, terjadinya pembebanan lebih peralatan listrik (generator, transformator dan penghantar listrik), naiknya susut tegangan dan susut daya pada sistem, turunnya kapasitas sistem pembangkit listrik dalam melayani beban, dan kemungkinan terkenanya denda dari perusahaan penyedia listrik jika faktor dayanya lebih kecil dari nilai yang ditetapkan.

Oleh karena itu diperlukan suatu usaha untuk memperbaiki faktor daya. Menurut Ortega J.M.M. (2000), kapasitor untuk memperbaiki faktor daya dapat diganti dengan *single tuned filter* untuk mengeliminasi fenomena resonansi. Suatu metode kompensasi faktor daya pada saluran tenaga listrik dengan menggunakan filter pasif juga diusulkan oleh Lin K. et al (1998) dan Cavalini, A. (1998). Filter pasif ini biasanya dihubungkan pada perangkat hubung bagi (PHB) untuk mengeliminasi arus harmonik yang diakibatkan oleh beban non linear. Heng N, et al (2008) mengusulkan suatu skema perbaikan faktor daya berbasis kontrol *back to back PWM converter* yang digunakan untuk menghubungkan generator sinkron magnet permanen dengan jala-jala listrik.

Dalam Penelitian ini diusulkan suatu peralatan untuk memperbaiki faktor daya listrik pada suatu instalasi rumah tinggal dengan menggunakan kapasitor. Diharapkan dengan pengimplementasian peralatan ini dapat menurunkan konsumsi energi listrik dan biaya listrik yang dibayar konsumen. Efisiensi konsumsi energi listrik ini

diperoleh karena daya reaktif (VAr) tidak lagi dipasok oleh perusahaan listrik sehingga kebutuhan daya semu (VA) akan berkurang. Dengan demikian pelanggan dapat melanggan listrik dengan daya (VA) yang lebih kecil dengan tarif/kWh dan biaya beban yang lebih murah.

Metode Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan untuk mendukung penelitian ini adalah:

1. Instalasi rumah tinggal dengan daya 900 VA
2. Beban listrik (motor induksi, lampu TL, lampu LHE, dan lain-lain)
3. Multitester
4. Seperangkat komputer dan software bantu untuk perancangan kontroler perbaikan faktor daya.

Jalannya penelitian adalah sebagai berikut :

1. Penelitian diawali dengan mengamati karakteristik faktor daya dan kebutuhan daya reaktif beban induktif yang merupakan penyebab utama rendahnya faktor daya pada instalasi listrik industri dan bangunan komersial.
2. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, dirancang kapasitor yang harus digunakan untuk memperbaiki faktor daya listrik.
3. Setelah itu dilakukan evaluasi pengaruh pemasangan kapasitor tersebut terhadap daya semu, daya nyata, dan arus yang diserap dari PLN serta rugi-rugi energinya.

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran besaran listrik pada beberapa jenis peralatan listrik yang biasa digunakan pada suatu instalasi listrik rumah tinggal ditunjukkan pada tabel 1. Peralatan yang diukur terdiri dari pompa air, kipas angin, pendingin ruangan (AC), lampu hemat energi (LHE), mesin cuci, TV, kulkas, *rice cooker*, dan setrika. Berdasarkan data tersebut terlihat bahwa faktor daya suatu peralatan listrik akan mempunyai nilai yang berbeda-beda (0,598 – 1). Untuk peralatan yang tergolong sebagai beban induktif mempunyai faktor daya antara 0,72 – 0,999. Untuk peralatan yang tergolong sebagai beban resistif mempunyai faktor daya antara 0,992 – 1. Untuk peralatan yang tergolong sebagai beban non linear mempunyai faktor daya 0,598 – 0,992. Selain beban induktif (seperti blower AC, lampu TL, dan kulkas), data juga menunjukkan bahwa peralatan listrik yang mempunyai faktor daya rendah adalah peralatan berdaya kecil yang menggunakan piranti elektronika di dalamnya seperti lampu LHE, TV dan LED. Biasanya peralatan tersebut jarang dihidupkan sendirian, tetapi dihidupkan bersama-sama dengan beban lainnya.

Tabel 1 Hasil pengukuran besaran listrik pada peralatan listrik rumah tinggal

No	Jenis Beban	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya Nyata (W)	Daya Semu (VA)	Faktor Daya
1.	Pompa air	225,7	1,09	221	246	0,904
2.	Kipas angin (speed 3)	227,1	0,26	60	60	0,999
3.	Kipas angin (speed 2)	227,1	0,23	50	52	0,954
4.	Kipas angin (speed 1)	227,7	0,21	44	47	0,930
5.	AC ½ PK	226,8	1,48	300	357	0,911
6.	Blower AC ½ PK	227,8	0,13	22	30	0,737
7.	Lampu LHE 1	228,1	0,14	21	33	0,647
8.	Lampu LHE 2	227,5	0,07	10	16	0,598
9.	Lampu LHE 3	227,5	0,09	12	20	0,615
10.	Lampu LHE 4	227,7	0,09	12	20	0,609
11.	Lampu LHE 5	228,9	0,09	12	19	0,607
12.	Lampu LHE 6	228,0	0,16	24	37	0,639
13.	Lampu LHE 7	228,3	0,29	44	66	0,661
14.	Lampu LHE 8	228,6	0,34	51	78	0,663
15.	Lampu LHE 9	229,0	0,41	62	94	0,66
16.	Lampu TL	227,2	0,22	33	48	0,695
17.	Mesin cuci	227,5	1,3	238	298	0,81
18.	TV 20 inchi	229,8	0,22	51	51	0,992
19.	TV LED 32 inchi	227,1	0,35	52	80	0,66
20.	Kulkas	229,8	0,69	114	159	0,72
21.	Rice cooker	229,9	1,92	444	444	1,00
22.	Magic jar	229,8	0,22	51	51	0,992
23.	Setrika	229,9	1,67	385	385	1,00

Tabel 2 Ukuran kapasitor untuk memperbaiki faktor daya peralatan listrik agar menjadi bernilai 1

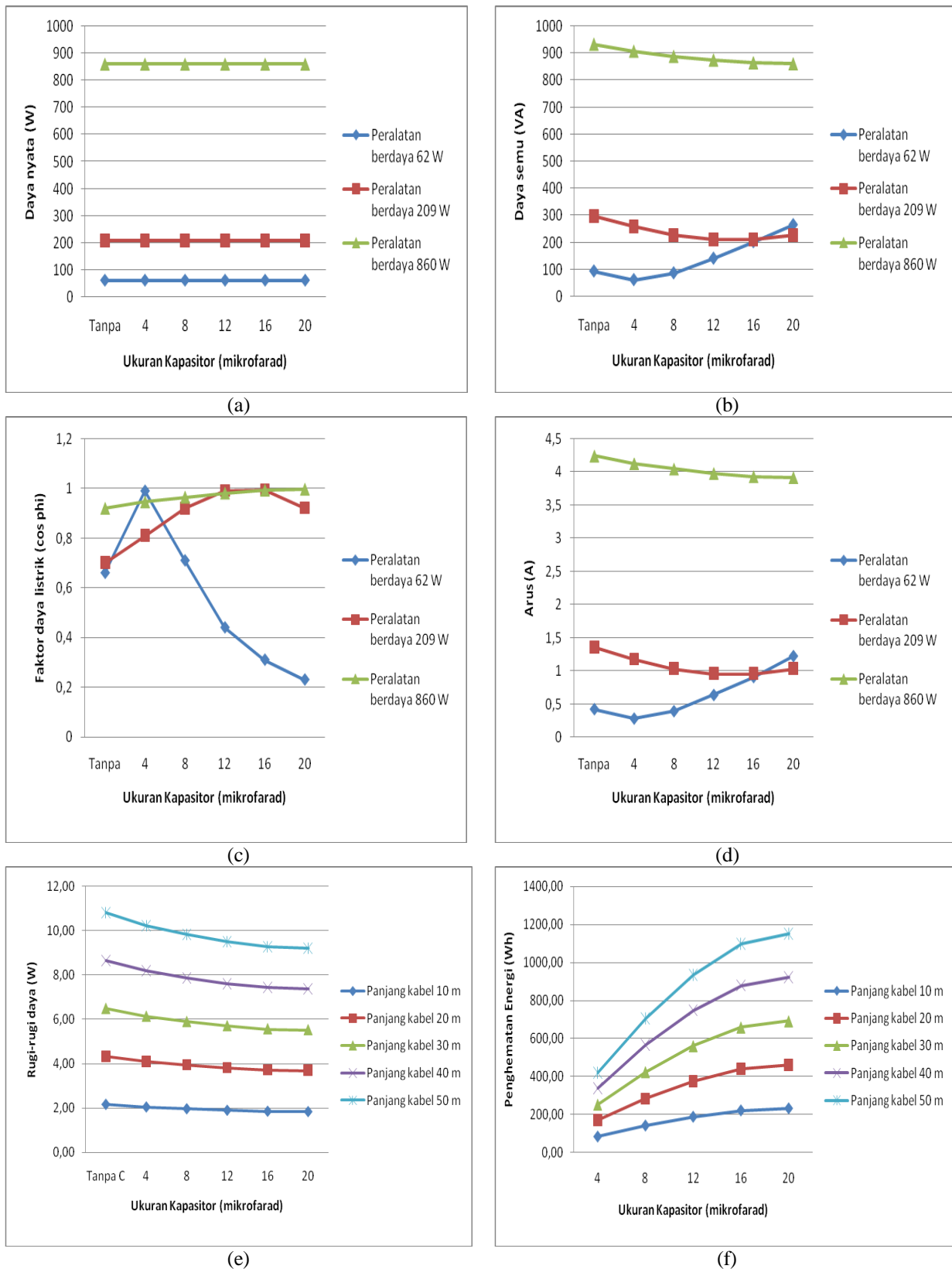
No	Jenis Beban	Daya Nyata (W)	Faktor Daya Awal	Ukuran kapasitor (μF)
1.	Pompa air	221	0,904	6,88
2.	Kipas angin (speed 3)	60	0,999	0,18
3.	Kipas angin (speed 2)	50	0,954	1,03
4.	Kipas angin (speed 1)	44	0,930	1,14
5.	AC $\frac{1}{2}$ PK	300	0,911	8,94
6.	Blower AC $\frac{1}{2}$ PK	22	0,737	1,33
7.	Lampu LHE 1	21	0,647	1,63
8.	Lampu LHE 2	10	0,598	0,88
9.	Lampu LHE 3	12	0,615	1,01
10.	Lampu LHE 4	12	0,609	1,03
11.	Lampu LHE 5	12	0,607	1,03
12.	Lampu LHE 6	24	0,639	1,90
13.	Lampu LHE 7	44	0,661	3,29
14.	Lampu LHE 8	51	0,663	3,79
15.	Lampu LHE 9	62	0,66	4,64
16.	Lampu TL	33	0,695	2,25
17.	Mesin cuci	238	0,81	11,34
18.	TV 20 inchi	51	0,992	0,43
19.	TV LED 32 inchi	52	0,66	3,89
20.	Kulkas	114	0,72	7,23
21.	Rice cooker	444	1,00	-
22.	Magic jar	51	0,992	0,43
23.	Setrika	385	1,00	-

Tabel 3 Ukuran kapasitor untuk memperbaiki faktor daya peralatan listrik gabungan agar menjadi bernilai 1

No	Nama Beban	Jenis-jenis Peralatan Listrik Yang digunakan	Daya Nyata (W)	Faktor Daya	Ukuran kapasitor (μF)
1.	Beban gabungan 1	5 lampu LHE	62	0,66	4,64
2.	Beban gabungan 2	5 lampu LHE, 1 lampu TL	95	0,674	6,85
3.	Beban gabungan 3	5 lampu LHE, 1 lampu TL, 1 kulkas	209	0,699	14,07
4.	Beban gabungan 4	1 AC $\frac{1}{2}$ PK, 1 lampu TL	333	0,77	18,16
5.	Beban gabungan 5	5 lampu LHE, 1 pompa air, 1 kipas angin	362	0,871	13,44
6.	Beban gabungan 6	5 lampu LHE, 1 lampu TL, 1 pompa air, 1 kipas angin	395	0,857	15,63
7.	Beban gabungan 7	1 pompa air, 1 AC $\frac{1}{2}$ PK, 1 lampu TL, 1 kulkas, 1 magic jar	718	0,936	17,77
8.	Beban gabungan 8	1 pompa air, 1 AC $\frac{1}{2}$ PK, 1 lampu TL, 1 kulkas, 1 magic jar, 1 TV LED 32 inchi	770	0,919	21,74
9.	Beban gabungan 9	1 pompa air, 1 AC $\frac{1}{2}$ PK, 1 lampu TL, 1 kulkas, 1 magic jar, 1 TV LED 32 inchi, 1 kipas angin	830	0,929	21,76
10.	Beban gabungan 10	1 pompa air, 1 AC $\frac{1}{2}$ PK, 1 kulkas, 1 magic jar, 1 TV LED 32 inchi, 1 kipas angin, lampu LHE	860	0,921	23,94

Untuk memperbaiki faktor daya listrik suatu peralatan agar nilainya mendekati 1 maka dapat digunakan kapasitor. Kapasitor digunakan sebagai kompensator daya reaktif yang diserap oleh peralatan listrik berjenis beban induktif. Nilai kapasitansi kapasitor yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya listrik ditentukan oleh nilai faktor daya awal sebelum diperbaiki. Hasil perhitungan kebutuhan kapasitornya ditunjukkan pada tabel 2. Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan kapasitor yang digunakan untuk perbaikan faktor daya maka ukuran kapasitansi kapasitor yang diperlukan untuk peralatan listrik tertentu berkisar antara 0,18 – 11,34 μF . Dalam kenyataannya, pada suatu waktu tertentu peralatan-peralatan listrik jarang dihidupkan cuma satu saja, tetapi sejumlah peralatan listrik dihidupkan bersama-sama. Tabel 3 menunjukkan ukuran kapasitor yang diperlukan bila sejumlah peralatan listrik (beban gabungan) dinyalakan bersama-sama. Ukurannya berkisar antara 4,64 – 23,94 μF . Kapasitor yang tersedia di pasaran yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut antara lain berukuran

4 μF , 8 μF , dan 12 μF . Oleh karena itu, dalam penelitian ini dirancang kapasitor bank yang terdiri dari 5 tingkat dengan ukuran 4 μF , 8 μF , 12 μF , 16 μF , dan 20 μF . Dalam implementasinya, proses pensaklaran dari kapasitor bank tersebut dikontrol secara otomatis dengan menggunakan mikrokontroler.



Gambar 1 Pengaruh kapasitor terhadap (a) Konsumsi daya nyata, (b) Konsumsi daya semu, (c) Faktor daya (d) Arus (e) Rugi-rugi daya (f) Rugi-rugi energi

Pengaruh pemasangan kapasitor sebagai komponen utama alat perbaikan faktor daya listrik ditunjukkan pada gambar 1.

Gambar 1(a) menunjukkan bahwa pemasangan kapasitor pada peralatan listrik tidak akan mengubah konsumsi daya nyata peralatan tersebut. Peralatan listrik berdaya 62 W yang dipasang kapasitor sampai 20 μF , konsumsi daya nyatanya tetap sebesar 62 W. Hal yang sama terjadi pada peralatan berdaya 209 W dan 860 W. Hal ini disebabkan karena kapasitor merupakan alat yang hanya dapat difungsikan sebagai kompensator daya reaktif saja. Kapasitor hanya dapat mensuplai kebutuhan daya reaktif saja sehingga kebutuhan daya nyata tetap akan disuplai dari PLN. Dengan demikian konsumsi daya nyata dari PLN akan tetap konstan.

Gambar 1(b) menunjukkan pemasangan kapasitor akan berpengaruh terhadap konsumsi daya semu yang diserap oleh peralatan listrik. Semakin besar ukuran kapasitor yang dipasang maka daya semu yang diserap akan semakin kecil hingga suatu saat konsumsi daya semunya akan naik lagi ketika kompensasi daya reaktif yang diberikan oleh kapasitor melebihi daya reaktif yang diperlukan oleh peralatan listrik. Hal ini sesuai dengan teori daya listrik. Daya semu merupakan hasil penjumlahan secara vektor dari daya nyata dan daya reaktif. Pada saat sudah terpasang kapasitor, kebutuhan daya reaktif peralatan listrik akan disuplai oleh kapasitor sehingga konsumsi daya reaktif dari PLN menjadi berkurang. Dampaknya konsumsi daya semunya juga akan berkurang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan kapasitor berukuran sampai 4 μF pada peralatan berdaya 62 W akan menurunkan konsumsi daya semunya, tetapi bila ukurannya dinaikkan terus maka konsumsi daya semunya akan naik seiring dengan kenaikan ukuran kapasitor. Pemasangan kapasitor berukuran sampai 12 μF pada peralatan berdaya 209 W juga akan menurunkan konsumsi daya semunya. Hal yang sama terjadi pada peralatan berdaya 860 W yang dipasang kapasitor berukuran sampai 20 μF .

Gambar 1(c) menunjukkan bahwa pemasangan kapasitor akan berpengaruh terhadap faktor daya listrik peralatan. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa ketika daya reaktif turun, maka daya semu juga akan turun sehingga faktor dayanya akan naik. Faktor daya listrik merupakan perbandingan antara daya nyata dengan daya semu. Ketika daya nyata tetap sedangkan daya semu turun, maka faktor daya akan naik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan kapasitor berukuran sampai 4 μF pada peralatan berdaya 62 W akan menaikkan faktor dayanya mendekati 1, tetapi bila ukurannya dinaikkan terus maka faktor dayanya akan semakin kecil dan menjadi *leading*. Kondisi *leading* terjadi ketika daya reaktif yang diberikan oleh kapasitor melebihi daya reaktif yang dibutuhkan oleh peralatan. Pada kondisi ini, kapasitor akan berlaku sebagai beban listrik. Kondisi yang sama terjadi pada peralatan berdaya 62 W, yang faktor dayanya akan terus naik seiring pemasangan kapasitor berukuran sampai 12 μF . Untuk peralatan berdaya 860 W, pemasangan kapasitor berukuran 4 – 20 μF akan terus menaikkan faktor daya listriknya dan tidak menyebabkan kondisi *leading*. Hasil ini juga sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Handriyani (2012), yang menyatakan bahwa untuk memperbaiki faktor daya listrik di KUD Tani Desa diperlukan kapasitor dengan kapasitas tertentu yaitu sebesar 9,18 kVAR.

Gambar 1(d) menunjukkan bahwa pemasangan kapasitor pada peralatan listrik akan berpengaruh terhadap nilai arus listrik yang ditarik dari sumber listriknya. Hal ini disebabkan kapasitor akan mensuplai sebagian arus yang diperlukan oleh beban listrik, sehingga arus listrik yang ditarik dari sumber akan berkurang. Sesuai dengan Hukum Kirchoff Arus maka arus yang diserap dari PLN adalah arus beban dikurangi dengan arus yang disuplai kapasitor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan kapasitor berukuran 4 μF pada peralatan listrik berdaya 62 W akan menurunkan arus listriknya, tetapi bila ukurannya dinaikkan maka arus listrik yang ditarik dari sumber listrik juga akan semakin besar. Hal yang sama terjadi pada peralatan listrik berdaya 209 W yang arus listriknya akan terus turun seiring dengan pemasangan kapasitor berukuran 12 μF . Khusus untuk peralatan listrik berdaya 860 W, pemasangan kapasitor berukuran 4 – 20 μF akan menyebabkan penurunan arus listriknya.

Secara umum hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan kapasitor akan berpengaruh terhadap konsumsi daya semu, arus listrik, dan faktor daya listriknya. Sebaliknya pemasangan kapasitor tidak akan berpengaruh terhadap konsumsi daya nyatanya. Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Yanky T. (2011) dan Suryanto A. (2011). Pemasangan kapasitor dengan ukuran yang tepat akan menurunkan konsumsi daya semu dan arus listriknya serta akan menaikkan faktor daya listriknya. Oleh karena itu, pemilihan ukuran kapasitor yang tepat akan sangat menentukan berapa nilai kenaikan faktor daya listrik, penurunan konsumsi daya semu dan penurunan arus listrik yang bisa diperoleh. Dengan demikian sangat diperlukan suatu peralatan yang dapat memindahkan hubungan ke bank kapasitor secara otomatis.

Gambar 1(e) menunjukkan bahwa ukuran kapasitor yang dipasang pada suatu instalasi listrik akan berpengaruh terhadap rugi-rugi daya kabel listrik. Sampai suatu nilai kapasitansi tertentu, kenaikan ukuran kapasitor akan menurunkan rugi-rugi daya listrik. Hal ini disebabkan dengan adanya pemasangan kapasitor maka arus listrik yang mengalir akan menjadi lebih kecil sehingga rugi-rugi daya kabel juga akan semakin kecil. Untuk ukuran kapasitor yang sama gambar 1(e) juga menunjukkan bahwa semakin panjang kabel yang digunakan maka rugi-rugi dayanya juga akan semakin besar. Hal ini disebabkan semakin panjang kabel, maka resistansinya akan semakin besar, sehingga rugi-rugi dayanya juga semakin besar.

Gambar 1(f) menunjukkan bahwa ukuran kapasitor akan berpengaruh terhadap penghematan konsumsi energi listrik. Sampai suatu nilai kapasitansi tertentu akan berlaku bahwa semakin besar ukuran kapasitor maka akan

diperoleh penghematan energi listrik yang semakin besar juga. Untuk ukuran yang sama, gambar 1(f) juga menunjukkan bahwa semakin panjang kabel yang digunakan maka penghematan energi listriknya juga akan semakin besar. Dalam penelitian ini, nilai penghematan energinya berkisar (83,91 - 1152,86 Wh).

Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan sebelumnya dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Faktor daya listrik suatu peralatan listrik akan mempunyai nilai yang berbeda-beda ($0,598 - 1$) tergantung dari jenis bebannya.
2. Pemasangan alat untuk memperbaiki faktor daya dapat menaikkan daya semu (VA), menaikkan faktor daya, dan menurunkan arus listrik tetapi tidak dapat menurunkan daya nyata (watt) yang diserap dari PLN. Di samping itu, pemasangan alat ini juga dapat menurunkan rugi-rugi daya kabel sehingga dapat menurunkan rugi-rugi energi listrik. Dengan demikian dapat menghemat konsumsi energi listrik walaupun penghematannya tidak besar (83,91 - 1152,86 Wh).

Saran

1. Pada penelitian ini masih belum direalisasikan alat kontrol untuk memindahhubungkan kapasitor bank secara otomatis. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mendesain dan mengimplementasikan suatu alat untuk memperbaiki faktor daya listrik secara otomatis.

Daftar Pustaka

- Cavalini, A., Mazzanti, G., Montanari, G.C., and Romagnoli, C., Design of Shunt Capacitor circuit for Power Factor Compensation in Electrical Systems Supplying Nonlinear Loads: A Probabilistic Approach, IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.34. No.4, July/August 1998
- Choi, B., Hong, S., and Park, H., Modeling and Small-Signal Analysis of Controlled On-Time Boost Power-Factor-Correction Circuit, IEEE Trans. On Industrial Electronics, Vol. 48, Issue 1, Feb. 2001
- Chow, M.H.L. and Tse, C.K., Theoretical Study of Performance of Continuous-Mode Boost Converters for Power-Factor-Correction Applications, Proc. 1997 International Conference Power Electronics and Drive Systems, Vol. 2, 26-29 May 1997
- Ferreira, F.J.T.E. de Almeida, A.T. Baoming, G. Faria, S.P. Marques, J.M., Automatic Change of the Stator-winding Connection of Variable-load Three-phase Induction Motors to Improve the Efficiency and Power Factor, IEEE International Conference Industrial Technology ICIT 2005, 14-17 December 2005
- Heng, N., Jiao, L., Yikang, H., 2008, Research on the unit power factor control of directly-driven PM wind generator, International Conference on Electrical Machines and Systems ICEMS 2008, 17-20 October 2008
- Matsui, K., Yamamoto, I., Kishi, T., Hasegawa, M., Mori, H., and Ueda, F., A Comparison of Various Buck-boost Converters and Their Application to PFC, Proc. IEEE 28th Annual Conference on Industrial Electronics Society, Vol. 1, Nov. 2002
- Mendis, S. R., Bishop, M. T., Blooming, T. M., Moore, R. T., Improving the System Operations with Installation of Capacitor Filter Banks in a Paper Facility with Multiple Generating Units, IEEE Paper No. 0-7803-9418, 1995
- Ortega, J.M.M. Payan, M.B. Mitchell, C.I., Power Factor Correction and Harmonic Mitigation in Industry, Conference Record of the Industry Applications Conference, 8-12 October 2000
- Sangsun, K. and Enjeti, P.N., A Parallel-connected Single Phase Power Factor Correction Approach with Improved Efficiency, Proc. 17th Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, Vol. 1, March 2002