

PENGARUH PEMASANGAN KAPASITOR SHUNT TERHADAP KONSUMSI DAYA AKTIF INSTALASI LISTRIK

Oleh : Winasis, Azis Wisnu Widhi Nugraha
Program Sarjana Teknik Unsoed Purwokerto

Abstract

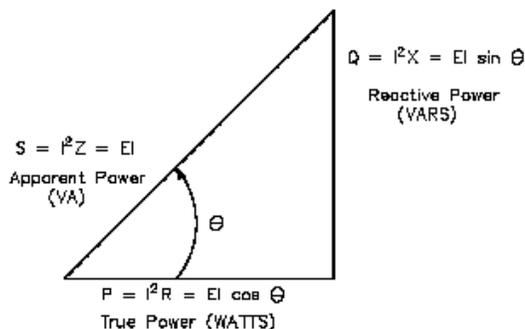
The application of shunt capacitor is an alternative solution in improving power factor on electrical installations, so the use of electric energy become more efficient. Here we hope that capacitor will give both technical and economical benefit from decreasing power consumption and electric bill. Contributions of installing shunt capacitor to active power consumption on residential installation, which one of electrical bill has been studied.

Based on experimental using 2-14 μF capacitors on installation model with inductive load show that shunt capacitors decrease total apparent power (VA) up to 58% dependent of its original power factor, but increase active power consumption (up to 10 W). From this, installing shunt capacitors will increase cost of kWh that consumer must paid. Application of shunt capacitors will give any benefits to residential consumer in case releasing power capacity installed.

Key word: capacitor, shunt, active power, consumption

PENDAHULUAN

Energi listrik mempunyai peranan yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari. Berbagai peralatan dengan energi listrik memberi kemudahan kepada manusia dalam melaksanakan aktivitasnya. Beban listrik umumnya merupakan beban induktif (misal trafo, AC dan lampu TL) yang membutuhkan daya reaktif disamping daya aktif. Daya reaktif itu merupakan daya tidak berguna sehingga tidak dapat dirubah menjadi tenaga akan tetapi diperlukan untuk proses transmisi energi listrik pada beban. Penjumlahan kedua daya aktif dan reaktif akan menghasilkan daya nyata yang merupakan daya yang disuplai oleh PLN.



Gambar 1. Segitiga daya

Faktor daya yang rendah pada suatu instalasi listrik merugikan sistem tenaga. Secara teoritis sistem dengan faktor daya yang rendah

tentunya akan menyebabkan arus yang dibutuhkan dari pensuplai menjadi besar (Almanda. 2000). Oleh karena itu PLN mensyaratkan pelanggan agar PF minimal adalah 0,86. Jika PF kurang dari angka tersebut, maka PLN akan menagih biaya KVAR yang dipakai konsumen (Roem, 2007). Pemasangan kapasitor secara shunt merupakan salah satu alternatif untuk mengkompensasi rugi daya reaktif yang disebabkan oleh beban-beban induktif. Kapasitor menyediakan daya reaktif yang diperlukan oleh induktor. Penggunaan kapasitor selain memperbaiki faktor daya sistem juga dapat mengurangi rugi-rugi daya pada hantaran, sebagai akibat penurunan nilai arus yang mengalir.

Dalam kenyataannya kapasitor sebagai elemen rangkaian listrik pada ada yang ideal (tanpa resistansi). Oleh karena itu pemasangan kapasitor dapat menambah konsumsi daya aktif instalasi listrik. Beberapa pengukuran/audit yang dilakukan di beberapa industri, antara lain textile, pabrik kabel, pabrik panci/sink, komponen mobil (work shop), gedung perkantoran >20 lantai, hotel bintang 4 dan lain lain menunjukkan pemakaian kWh konsumen pada saat kapasitor "on" adalah lebih besar daripada waktu kapasitor "off" (Roem,2007). Pada penelitian ini, dikaji pengaruh pemasangan kapasitor shunt pada instalasi listrik terhadap

konsumsi daya aktif dengan menggunakan model instalasi listrik.

METODOLOGI

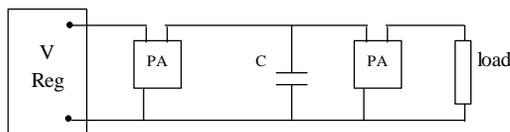
Peralatan Pengujian

1. Regulator tegangan untuk mengatur nilai tegangan instalasi listrik pada kisaran nilai konstan
2. Power Analyzer DW 6030 untuk mengukur besaran tegangan, arus, daya aktif, daya nyata dan faktor daya pada instalasi listrik
3. Hantaran

Bahan pengujian

1. Beban induktif (kombinasi lampu TL dan lampu pijar)
2. Kapasitor dipasang secara paralel dengan beban.

Model Pengujian



Gambar 2. Model pengujian

Keterangan Gambar

V reg : Regulator tegangan

PA : Power Analyzer

C : Kapasitor

Load : Beban induktif

Langkah Pengujian

Pengujian dilakukan dengan model instalasi listrik satu fasa 220 V diperlihatkan pada gambar 1. Sumber tegangan PLN 220 V dihubungkan ke regulator tegangan yang berfungsi mengatur tegangan pada pengujian dijaga konstan. Tegangan instalasi dipertahankan pada kisaran tetap guna menghindari faktor

perubahan daya beban akibat perubahan nilai tegangan. Toleransi perubahan nilai tegangan setelah pemasangan kapasitor sebesar 1 Volt dari nilai tegangan sebelum pemasangan kapasitor.

Beban listrik berupa beban listrik induktif menggunakan lampu TL dan lampu pijar dengan variasi nilai daya serta faktor daya beban. Besar daya beban ditentukan dengan memperhatikan kapasitas maksimum sumber, pada pengujian digunakan lampu TL dengan nominal daya TL dan balast sebesar 20W – 80W. Sementara desain nilai faktor daya beban sebelum pemasangan kapasitor dianggap rendah (berkisar antara 0.4 – 0.8 tertinggal). Variasi faktor daya instalasi sebelum pemasangan kapasitor didapatkan dengan merubah daya beban lampu pijar yang merupakan beban resistif.

Kapasitor dipasang secara paralel (*shunt*) terhadap beban. Ukuran kapasitor yang digunakan ditentukan berdasarkan kebutuhan kompensasi daya reaktif yang diperlukan oleh beban. Pada pengujian, digunakan kapasitor dengan faktor kompensasi 0.5, 0.7 dan 0.9 dari daya reaktif beban induktif. Faktor kompensasi adalah perbandingan antara reaktansi kapasitif dan reaktansi induktif.

$$f_c = X_c / X_L \text{ atau } f_c = VAR_{cap} / VAR_{ind}$$

Sehingga ukuran kapasitor yang digunakan adalah:

$$VAR_{cap} = f_c \times VAR_{ind}$$

Besaran daya (nyata dan aktif), faktor daya, tegangan dan arus listrik pada instalasi diukur sebelum dan setelah pemasangan kapasitor.

No	Beban		Data Pengukuran					
	Beban 1	Beban 2	P	S	Q	cos φ	i	V
1	TL Balast 20 W	-	29	77.00	71.33	0.38	0.35	219.8
	TL Balast 20W	L Pijar 10W	45	83.41	70.23	0.54	0.38	219.5
	TL Balast 20W	L Pijar 25W	53	87.88	70.10	0.60	0.40	219.4
	TL Balast 20W	L Pijar 40W	68	95.92	67.65	0.70	0.44	219.9
	TL Balast 20W	L Pijar 60W	85	109.50	69.03	0.76	0.51	218.8
2	TL Balast 40W	-	55	145.30	134.49	0.38	0.66	220.0
	TL Balast 40W	L Pijar 15W	70	147.30	129.60	0.47	0.68	219.8
	TL Balast 40W	L Pijar 40W	93	160.30	130.56	0.58	0.73	219.8
	TL Balast 40W	L Pijar 75W	126	182.20	131.61	0.70	0.83	219.4
	TL Balast 40W	L Pijar 115W	163	207.60	128.56	0.79	0.95	218.2
3	TL Balast 60W	-	80	211.90	196.22	0.37	0.97	220.7
	TL Balast 60W	L Pijar 70W	148	240.60	189.70	0.62	1.09	218.2
	TL Balast 60W	L Pijar 115W	188	264.10	185.49	0.71	1.22	218.6
	TL Balast 60W	L Pijar 175W	244	307.50	187.14	0.79	1.41	218.1
4	TL Balast 80W	-	103	278.00	258.22	0.37	1.27	219.4
	TL Balast 80W	L Pijar 40W	138	281.50	245.35	0.49	1.30	218.3
	TL Balast 80W	L Pijar 90W	187	314.40	252.74	0.61	1.41	218.3
	TL Balast 80W	L Pijar 140W	235	344.10	251.36	0.68	1.57	219.2
	TL Balast 80W	L Pijar 225W	314	392.40	235.33	0.79	1.93	218.2

Tabel 1 Data beban lampu TL dan lampu pijar

No	Beban	QL	fc	C (VAR)	C (μF)	nilai C Pengujian
1	TL Balast 20 W	71.33	0.50	35.67	2.35	2
		71.33	0.70	49.93	3.29	3
		71.33	0.90	64.20	4.22	4
2	TL Balast 40W	134.49	0.50	67.24	4.42	4
		134.49	0.70	94.14	6.19	6
		134.49	0.90	121.04	7.96	8
3	TL Balast 60W	196.22	0.50	98.11	6.46	6
		196.22	0.70	137.35	9.04	8
		196.22	0.90	176.60	11.62	11
4	TL Balast 80W	258.22	0.50	129.11	8.50	8
		258.22	0.70	180.75	11.89	11
		258.22	0.90	232.39	15.29	14

Tabel 2 Ukuran kapasitor yang digunakan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Daya Nyata (VA) yang Dibeaskan dan Perbaikan Faktor Daya

Faktor daya rendah menyebabkan beban akan menarik daya reaktif yang cukup tinggi dan daya nyata secara keseluruhan yang ditarik dari instalasi menjadi besar. Pemasangan kapasitor shunt menurunkan daya nyata (VA) yang diserap dari sumber. Penurunan nilai VA ini merupakan selisih antara daya nyata terukur sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor shunt

$$\Delta S = S1 - S2$$

Besar penurunan daya nyata ini tergantung dari besar kompensasi kapasitor yang

diberikan dan faktor daya awal beban sebelum pemasangan kapasitor.

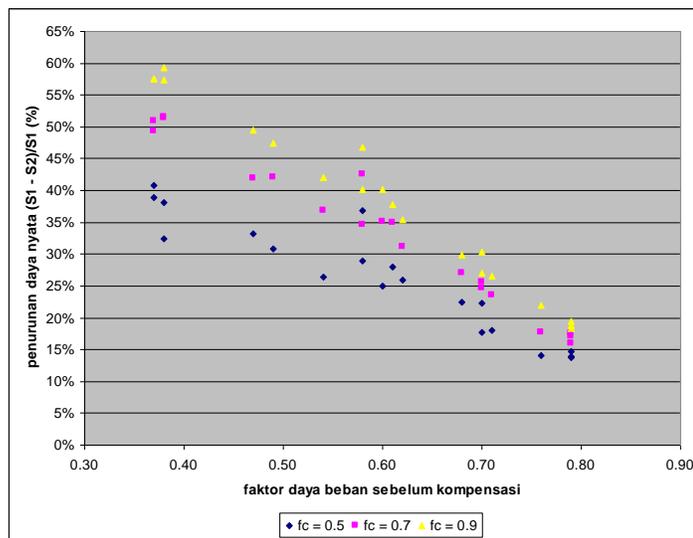
Kapasitor menyuplai daya reaktif yang dibutuhkan beban, sehingga mengurangi daya reaktif yang diperlukan dari sumber. Pengurangan daya ini sebanding dengan nilai kompensasi kapasitor. Pada pengujian dengan faktor daya awal beban sebesar 0.38, kapasitor memberi kontribusi terhadap penurunan daya nyata hingga 40% (fc = 0.5), 52 % (fc = 0.7) dan 59% (fc = 0.9) dari daya

nyata awal instalasi sebelum pemasangan kapasitor.

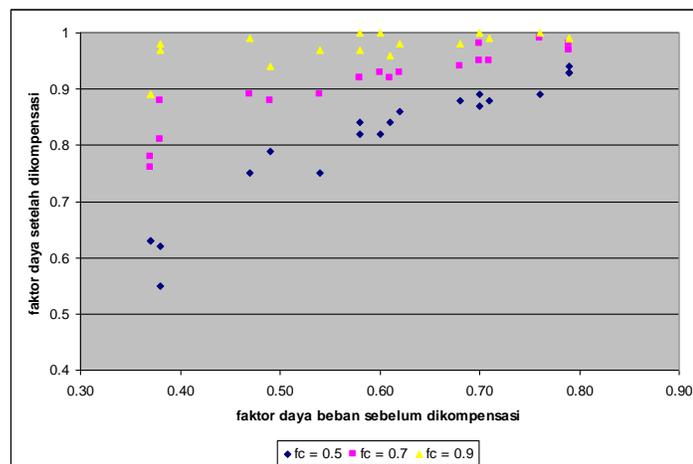
Besar pengurangan daya nyata yang ditarik dari sumber juga tergantung dari nilai faktor daya beban sebelum pemasangan kapasitor. Pada faktor daya rendah pemasangan kapasitor shunt menyebabkan penurunan nilai daya nyata yang cukup signifikan (hingga 58% pada faktor daya awal

0.38), sementara pada faktor daya tinggi prosentase penurunan daya nyata relatif lebih kecil (hanya 18% pada faktor daya awal 0.79).

Penurunan nilai daya nyata ini juga menyebabkan faktor daya instalasi meningkat, dengan nilai perbaikan sebanding faktor kompensasi kapasitor dan tergantung dari faktor daya awal instalasi sebelum pemasangan kapasitor.



Gambar 3. Penurunan daya nyata instalasi setelah pemasangan kapasitor



Gambar 4. Perbaikan faktor daya instalasi

Pengujian Konsumsi Daya Aktif

Sebelum pemasangan kapasitor daya aktif yang dikonsumsi oleh instalasi merupakan jumlah dari daya aktif beban dan daya rugi-rugi saluran.

$$P_1 = P_{load} + P_{loss}$$

$$P_{loss} = i^2 R_{saluran}$$

Dimana :

P_1 = daya aktif total instalasi (Watt) sebelum pemasangan kapasitor

P_{load} = daya aktif beban (Watt)

P_{loss} = rugi daya pada saluran (Watt)

i = arus saluran (A)

R_{load} = Resistansi beban

$R_{saluran}$ = Resistansi saluran (Ohm)

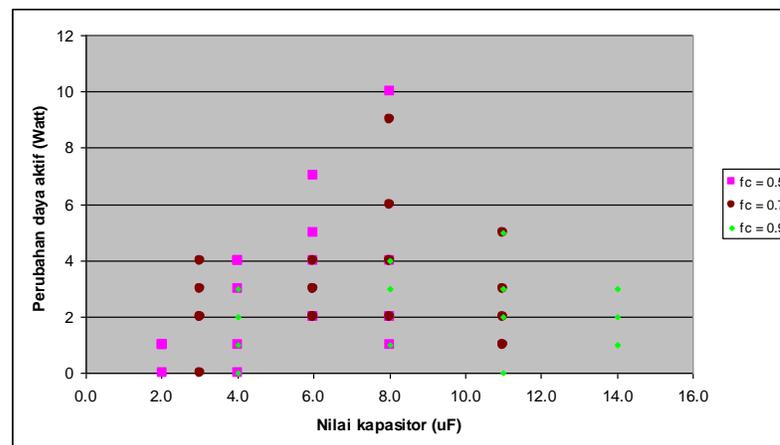
Daya aktif beban nilainya adalah tetap sejauh tidak ada perubahan pada tegangan yang diterapkan. Sedangkan rugi daya saluran besarnya tergantung pada arus yang mengalir dan resistansi saluran.

Nilai daya aktif yang terbaca setelah pemasangan kapasitor merupakan jumlah dari daya aktif beban, rugi saluran dan konsumsi daya aktif kapasitor (P_{cap}).

$$P_2 = P_{load} + P_{loss} + P_{cap}$$

P_2 = daya aktif total instalasi (Watt) setelah pemasangan kapasitor

P_{cap} = kontribusi daya aktif kapasitor (Watt)



Gambar 5. perubahan daya aktif

Gambar 5 menunjukkan perubahan daya yang terbaca yang merupakan kontribusi kapasitor terhadap konsumsi daya aktif yang merupakan selisih antara nilai daya yang terukur sebelum (P_1) dan sesudah pemasangan kapasitor (P_2).

$$\Delta P = P_2 - P_1$$

Dari hasil pengujian didapatkan besar perubahan daya aktif setelah pemasangan kapasitor yang nilainya bervariasi antara 0 – 10 W

(rata-rata antara 1 – 4 W), sehingga sulit didapatkan hubungan antara ukuran kapasitor, faktor kompensasi kapasitor ataupun nilai faktor daya awal beban dengan perubahan nilai daya aktif yang diserap dari instalasi.

Variasi nilai daya yang terbaca sangat dimungkinkan. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya nilai tegangan jala-jala PLN yang berubah-ubah besarnya. Perubahan nilai tegangan menyebabkan daya

aktif yang diserap oleh beban juga berubah. Tingkat ketelitian pembacaan alat ukur yang digunakan juga masih belum memadai, terutama untuk mengetahui perubahan daya aktif yang relatif kecil.

Aspek Ekonomi Pemasangan Kapasitor

Keuntungan yang dapat diperoleh dari pemasangan kapasitor antara lain dapat dilihat dari beberapa aspek:

1. Kapasitas daya yang dibebaskan akibat penurunan arus yang ditarik dari sumber
2. Perbaikan nilai faktor daya
3. Penurunan rugi-rugi daya saluran

Sedangkan aspek lain yang perlu diperhatikan adalah tambahan biaya investasi pemasangan kapasitor, konsumsi daya aktif kapasitor dan sistem penarifan listrik yang berlaku.

Pemasangan kapasitor untuk mengkompensasi daya reaktif beban dengan faktor daya rendah adalah sangat menguntungkan. Adanya kapasitas daya yang dibebaskan memungkinkan konsumen untuk memilih daya (kVA) terpasang yang lebih rendah, atau dengan kata lain daya riil yang terpakai (kW) akan mendekati daya listrik yang terpasang (kVA). Keuntungan ekonomi yang bisa didapat berupa penurunan tagihan listrik akibat berkurangnya biaya beban (kVA) yang harus dibayar. Penurunan tagihan listrik juga didapatkan konsumen industri dari terhindarnya konsumen dari penalti jika faktor dayanya rendah. PLN dalam hal ini mensyaratkan pelanggan agar faktor daya minimal adalah 0,86. Jika faktor daya kurang dari angka tersebut, maka PLN akan menagih biaya KVAR yang dipakai konsumen.

Sistem penarifan yang diberlakukan untuk konsumen rumah tangga berbeda dengan

penarifan untuk konsumen industri dan daya besar. Konsumen instalasi rumah tangga tidak dibebani biaya untuk pemakaian daya reaktif (VAr) berapapun faktor dayanya. Konsumen rumah tangga hanya membayar biaya beban dan biaya pemakaian daya aktif. Besar biaya beban adalah tetap tergantung dari daya (VA atau kVA) yang terpasang. Sementara biaya pemakaian daya aktif (dalam kWh) besarnya tergantung dari pemakaian beban.

Keuntungan yang bisa diperoleh oleh konsumen rumah tangga adalah dari kapasitas yang dibebaskan dan pengurangan rugi daya saluran. Keuntungan ekonomi dari pembebasan kapasitas daya bisa didapatkan pada kasus beban berlebih sementara faktor daya beban sangat rendah. Manakala kapasitas daya yang terpasang masih mencukupi kebutuhan beban dan atau faktor daya beban secara keseluruhan cukup baik, maka pemasangan kapasitor tidak diperlukan.

Pengurangan rugi daya pada saluran sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir dan resistansi. Akan tetapi penurunan rugi daya saluran yang dihasilkan masih cukup rendah jika dibandingkan dengan penambahan konsumsi daya aktif kapasitor. Dengan total daya aktif yang diserap dari instalasi merupakan jumlah daya aktif beban, rugi daya saluran dan kontribusi daya aktif kapasitor ($P_2 = P_{loan} + P_{loss} + P_{cap}$), maka secara keseluruhan daya aktif yang diserap dari instalasi justru dapat meningkat. Dengan demikian biaya pemakaian (kWh) bukan menjadi berkurang bahkan justru bertambah.

KESIMPULAN

1. Pemasangan kapasitor shunt mengurangi konsumsi daya nyata (VA) dan memperbaiki faktor daya instalasi yang besarnya sebanding dengan faktor kompensasi yang diberikan oleh kapasitor dan dipengaruhi oleh faktor daya beban sebelum pemasangan kapasitor. Pada faktor daya rendah pemasangan kapasitor berpengaruh signifikan terhadap penurunan daya nyata dan faktor daya instalasi, akan tetapi pada faktor daya yang sudah baik penurunan daya nyata yang dihasilkan relatif kecil.
2. Pemasangan kapasitor dapat menambah konsumsi daya aktif (watt) instalasi listrik. Pemasangan kapasitor shunt ukuran 2 – 14 μF (30 – 212 VAr pada tegangan nominal 220 V) memberikan kontribusi kenaikan konsumsi daya aktif hingga 10 Watt.
3. Terkait dengan biaya pemakaian listrik, pemasangan kapasitor pada instalasi rumah tangga tidak menguntungkan. Besar kWh per bulan yang harus dibayarkan justru dapat lebih besar karena penambahan konsumsi daya aktif kapasitor, sementara penurunan

rugi daya saluran adalah relatif kecil. Pemasangan kapasitor untuk instalasi rumah tangga dapat menguntungkan jika ditujukan untuk membebaskan kapasitas daya instalasi (menurunkan nilai VA) sehingga daya VA yang terpasang menjadi lebih kecil.

Saran

Konsumen listrik dalam melakukan Pemasangan kapasitor untuk mengkompensasi daya reaktif hendaknya memperhatikan aspek keuntungan dan kerugian yang bisa didapatkan. Pemasangan kapasitor shunt tidak dianjurkan untuk instalasi dengan faktor daya yang sudah cukup baik. Untuk instalasi dengan faktor daya yang rendah, pemasangan kapasitor dapat menjadi alternatif untuk mengurangi daya nyata yang terpasang dan memperbaiki faktor daya instalasi. Akan tetapi yang perlu digaris bawahi adalah bahwa kapasitor tidaklah mengurangi daya aktif, bahkan menambah besar kWh yang harus dibayarkan setiap bulannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Almanda, Deni. 2000. Peranan Kapasitor dalam Penggunaan Energi Listrik. *Elektro Indonesia* no. 20, April 2000. didownload dari <http://www.elektroindonesia.com/elektro/ener30a.html> tanggal 30 Desember 2006
- Roem, Prasetyo. 2007. *Capacitor Bank, Antara Mitos/Asumsi dengan Kenyataan*. Makalah seminar disampaikan pada Pemantapan Teknis Manajemen Energi Depdiknas, Banjarmasin 12 Mei 2007
- U.S. Departement of Energy. 1992. DOE Fundamentals Handbook Electrical Science
- Winasis; Nugraha, Azis W. 2008. Laporan Penelitian: Analisis Pengaruh Pemasangan Kapasitor Shunt Terhadap Konsumsi Daya Aktif Instalasi Listrik