

STUDI KOMPENSASI DAYA REAKTIF TERHADAP KENAIKAN FAKTOR DAYA

Oleh:

Syafuruddin HS ¹⁾

Janter Napitupulu ²⁾

Joslen Sinaga ³⁾

Banuara Sitorus ⁴⁾

PT.Sinar Mutiara Engindo ¹⁾

Universitas Darma Agung, Medan ^{2,3,4)}

E-mail:

Syafuruddinhs94@gmail.com ¹⁾

jnapitupulu96@gmail.com ²⁾

josinaga1977@gmail.com ³⁾

banuarasitorus@gmail.com ⁴⁾

ABSTRACT

The use of commercial electric current to supply electrical equipment, especially inductive ones, will cause a decrease in power factor (cos ϕ). The quality of the power system supply is highly dependent on the stability of the voltage and frequency, as well as the perfection of its power factor. The decrease in the quality of the supply is generally caused by several factors including overload, nonlinear loading characteristics, unbalanced load impedance, the number of inductive loads (absorb Var from the system). The main purpose of load compensation is Improve power factor (cos ϕ), Improve voltage regulation, Balance load current (phase). A capacitor bank is a reactive power source (supply) that functions as a compensator for a system or load and using a control rating can regulate reactive power, in such a way that there is a balance between demand and supply. In capacitor banks, regulation of supply and demand for reactive power is carried out using a power regulator. Compensation with capacitor banks can be applied to a group of loads, such as load networks in factories and industries.

Keywords: *Cos ϕ , Capacitor, Power, Current.*

ABSTRAK

Penggunaan arus listrik secara komersial untuk mencatu peralatan listrik terutama yang bersifat induktif akan menyebabkan terjadinya penurunan factor daya (cos Φ). Kualitas catu sistem tenaga sangat tergantung kepada kestabilan tegangan dan frekuensi, serta kesempurnaan faktor dayanya. Penurunan kualitas catu umumnya disebabkan oleh beberapa faktor antara lain Beban lebih, Karakteristik pembebanan yang nonlinear, Impedansi beban yang tidak seimbang, Banyak nya beban induktif

(menyerap Var dari sistem). Tujuan utama dari kompensasi beban adalah memperbaiki faktor daya ($\cos \Phi$), memperbaiki regulasi tegangan, menyeimbangkan arus beban (fasa). Bank kapasitor adalah sumber (catu) daya reaktif yang berfungsi sebagai kompensator bagi suatu sistem atau beban dan menggunakan rankayan kontrol dapat mengatur daya reaktif, sedemikian rupa sehingga terjadi keseimbangan antara kebutuhan dan supply. Pada bank kapasitor pengaturan suplay dan kebutuhan terhadap daya reaktif dilakukan dengan menggunakan power paktor regulator Kompensasi dengan bank kapasitor dapat diterapkan pada sekelompok beban, seperti jaringan beban pada pabrik dan industri.

Kata Kunci : Cos phi, Kapasitor, Daya, Arus.

1. PENDAHULUAN

Sistim distribusi adalah bagian dari sistim tenaga listrik yang menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Salah satu masalah yang timbul pada penyaluran daya listrik atau sistim tenaga listrik ialah terjadinya tegangan jatuh. Hal ini terjadi karena adanya perubahan beban yang tidak normal, reaktansi saluran dan faktor daya yang rendah. Bila drop tegangan yang terjadi melebihi batas toleransi yang di ijin, maka akan mengganggu kepada konsumen. Pada pemakaian peralatan dalam bangunan dan gedung pemakaian daya listrik berpengaruh terhadap faktor daya sistem tenaga listrik [1].

2. TINJAUAN PUSTAKA

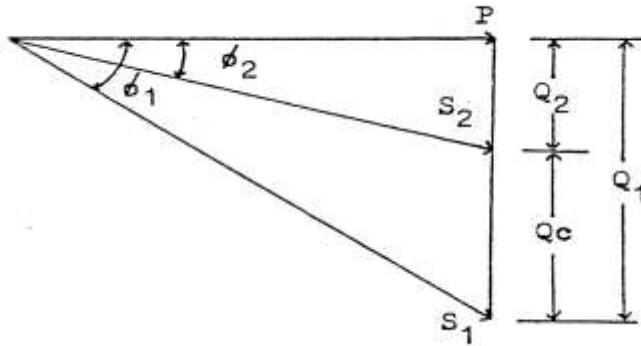
Untuk pemasangan kapasitor shunt pada feeder distribusi di kenal 2 (dua) macam instalasi kapasitor yaitu:

1. Kapasitor tetap (fixed capasitor)
2. Kapasitor variabel (swiched capasitor)

Dan jenis hubungan bank kapasitor ada 3 macam yaitu:

- a. Hubungan delta
- b. Hubungan bintang dengan titik netral di tanahkan
- c. Hubungan bintang yang tidak di tanahkan.

Daya listrik yang disalurkan pada beban terdiri dari dua komponen yaitu komponen daya aktif dan komponen daya reaktif. Pada umumnya sifat beban adalah berupa beban induktif. Beban induktif akan menyebabkan faktor daya menjadi rendah karena menarik arus magnetisasi dari jala-jala listrik. Bila daya reaktif hanya disuplai oleh pembangkit saja tanpa memakai sumber daya yang lain maka komponen-komponen sistim tenaga listrik seperti generator dan transformator haruslah mempunyai kapasitor yang besar.



Gambar-1. Diagram daya setelah pemasangan kapasitor shunt

Keterangan gambar :

P = daya aktif (kw)

S1 = daya yang nyata sebelum pemasangan kapasitor

S2 = daya nyata setelah pemasangan kapasitor shunt (kVA)

Q1 = daya reaktif sebelum pemasangan kapasitor shunt (kVAR)

Q2 = daya reaktif setelah pemasangan kapasitor shunt (kVAR)

Qc = daya reaktif yang diberikan kapasitor shunt (kVAR)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

II.1. Menaikkan Kemampuan Gardu Induk Distribusi

Kenaikan kemampuan gardu induk distribusi yang disebabkan pemakaian kapasitor shunt pada sistim distribusi dapat dihitung dari rumus berikut :

$$\Delta K_g = \left[\left(1 - \frac{Q_c^2 \phi}{K_g^2} \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{Q_c \sin \phi}{K_g} - 1 \right] K_g \quad \text{Untuk } Q_c > 0,1 K_g$$

$$\Delta K_g = Q_c \cdot \sin \Phi \quad \text{Untuk } Q_c \leq 0,1 K_g$$

Dimana :

ΔK_g = besar kenaikan kemampuan gardu induk distribusi (kVA)

K_g = kapasitas gardu induk distribusi (kVA)

Keuntungan tahunan akibat kenaikan kemampuan gardu induk distribusi ialah :

$$\Delta K_{kg} = \Delta K_g \cdot B_g \cdot I_g$$

Dimana :

ΔK_{kg} = keuntungan tahunan akibat kenaikan kemampuan gardu induk distribusi (Rp/thn)

B_g = biaya gardu induk distribusi (Rp/kVA)

Ig = biaya tetap tahunan gardu induk distribusi

II.2. Meningkatkan Kemampuan Feeder

Kenaikan kemampuan feeder yang disebabkan pemakaian kapasitor shunt pada sistim distribusi dapat dihitung dari rumus berikut :

$$\Delta K_f = \frac{(Qc.3\phi).x}{x \sin \phi + r \cos \phi}$$

Dimana :

ΔK_f = besar kenaikan kemampuan feeder (kVA)

x = reaktansi jaringan ($\Delta \Omega/m$)

r = tahanan jaringan ($\Delta \Omega/mi$)

Keuntungan tahunan akibat kenaikan kemampuan feeder ialah :

$$\Delta K_{kf} = \Delta K_f \cdot B_f \cdot I_f$$

Dimana :

ΔK_{kf} = keuntungan tahunan akibat kenaikan kemampuan feeder (Rp/thn)

Bf = biaya feeder (Rp/kVA)

If = biaya tetap tahunan feeder

II.3. Mengurangi Rugi-rugi Daya

Pemasangan kapasitor pada feeder distribusi mengakibatkan rugi-rugi tembaga berkurang dan mengurangi rugi-rugi daya.

Kenaikan energi akibat pengurangan rugi-rugi daya dapat dihitung dari rumus berikut:

$$\Delta K_e = \frac{Qc.3\phi.R (2B_{3\phi} \cdot \sin \phi - Qc.3\phi) 8760}{1000.V_{L-L}^2}$$

Dimana :

ΔK_e = besar kenaikan kemampuan energi (kWh/thn)

R = total tahanan jaringan ke pusat beban

$B_{3\phi}$ = besar daya yang terpasang sebelum pemasangan kapasitor (kVA)

V_{L-L} = tegangan fasa ke fasa (kV)

Keuntungan tahunan akibat kenaikan kemampuan energi ialah :

$$\Delta K_{ke} = \Delta K_e \cdot B_e$$

Dimana :

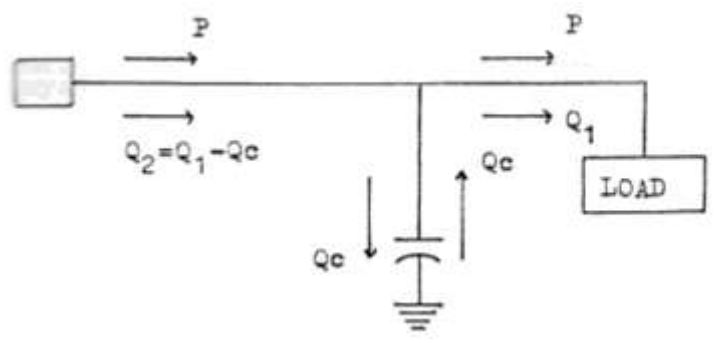
ΔK_e = keuntungan tahunan akibat kenaikan energy (Rp/thn)

Be = biaya emerge (Rp/kWh)

II.4. Memperbaiki Faktor Daya

Beban-beban induktif akan menyerap arus induktif dari jaringan sehingga arus terbelakang (langging) terhadap tegangan dengan sudut ϕ .

Dapat diketahui bahwa faktor daya diperbaiki dari $\cos \phi_1$ menjadi $\cos \phi_2$ setelah pemasangan kapasitor shunt pada feeder distribusi.



Gambar-2. Pemasangan kapasitor shunt pada feeder

Dimana :

Q_1 = daya reaktif sebelum pemasangan kapasitor shunt (kVAR)

Q_2 = daya reaktif setelah pemasangan kapasitor shunt (kVAR)

Q_c = daya reaktif yang diberikan oleh kapasitor shunt (kVAR)

S_1 = daya nyata sebelum pemasangan kapasitor shunt (kVA)

S_2 = daya nyata setelah pemasangan kapasitor shunt (kVA)

P = daya aktif (kw)

Faktor daya sebelum pemasangan kapasitor shunt adalah $\cos \Phi_1$

$$\cos \Phi_1 = \frac{P}{S_1}$$

dan daya nyata sebelum pemasangan kapasitor shunt adalah S_1

$$S_1 = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Sehingga:

$$\cos \Phi_1 = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

Daya faktor yang setelah pemasangan kapasitor shunt adalah $\cos \Phi_2$

$$\cos \Phi_2 = \frac{P}{S_2}$$

dan daya nyata setelah pemasangan kapasitor shunt : S_2

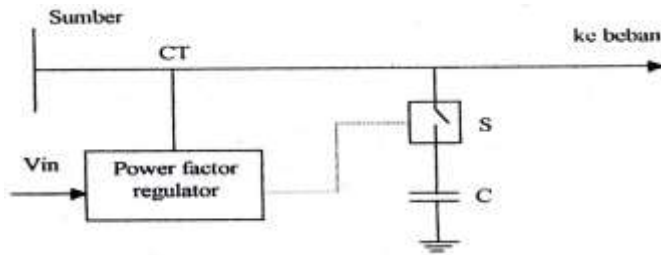
$$S_2 = \sqrt{P^2 + (Q_1 - Q_c)^2}$$

Sehingga:

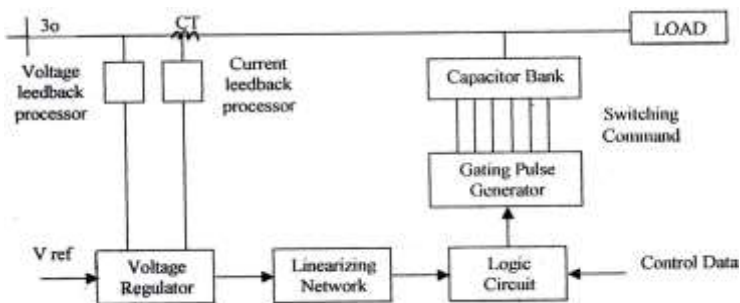
$$\cos \Phi_2 = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_1 - Q_c)^2}}$$

I. Pengaruh Kapasitor Shunt Terhadap Faktor Daya

Dasar rangkaian control sebuah bank kapasitor dapat dilihat sbb :



Gambar-3 Rangkaian Dasar Bank Kapasitor



Gambar-4 Diagram blok sistem pengaturan dari pf- Regulator

Jika faktor beban rendah ($\cos \phi$ langging) maka tegangan line akan turun (drop) disebabkan oleh jatuh tegangan pada reaktansi induktif beban. Voltage regulator akan merasakan perubahan tegangan melalui umpan balik (feed back) tegangan setelah dibandingkan dengan tegangan acuan, kemudian voltage regulator akan memberikan keluaran (output) berupa arus kontrol yang merupakan representansi langsung dengan reaktansi beban, kemudian arus kontrol diteruskan ke blok proses selanjutnya, terlebih dahulu dikoreksi oleh arus umpan balik yang di sensing melalui CT.

Untuk mendapatkan karakteristik pengaturan yang linier, keluaran dari blok voltage regulator dimasukkan ke blok proses Linearizing Network, kemudian sinyal kontrol yang sudah melalui proses Linearisasi dimasukkan ke blok logic Circuit. Rangkaian logic akan mengolah sinyal kontrol yang masuk sesuai data kontrol yang tersimpan dalam memori (data kontrol diberikan pada saat seting data diberikan). Kemudian, rangkaian logic akan memberikan konfigurasi penyaklaran yang akan diteruskan oleh *Gating Pulse Generator* ke *Gate thyristor*. Proses penyaklaran akan menutup atau membuka hubungan antara bank kapasitor dengan sistem yang akan menghasilkan nilai sesuai dengan kVar yang di butuhkan beban.

III.1. Contoh perhitungan (Analisis Kasus)

Sebuah pabrik menggunakan catu 3 Φ dari PLN dengan total daya 150 KVA total beban terpasang dalam pabrik 100 kW, dari kurva karakteristik pembebanan

diketahui bahwa beban terendah 25 kW, dengan $\cos \Phi = 0,65$ langging. Karena faktor daya yang rendah maka PLN mengenakan tariff tambahan dan kapaitas daya terpasang (KVA) tidak cukup melayani pada saat beban puncak.

Identifikasi masalah :

1. Kekurangan daya (KVA) disebabkan oleh faktor daya yang rendah (0,65)
2. Batas $\cos \Phi$ yang ditetapkan PLN agar tidak dikenakan tariff tambahan adalah 0,85

Pemecahan / solusi

1. Kekurangan daya pabrik memerlukan kompensasi kapasitif untuk meningkatkan faktor daya.
2. Spesifikasi bank kapasitor yang telah tepat untuk mengatasi masalah ini dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut :
 - a. Data teknis beban :
 - P maks = 100 kW
 - P min = 25 kW
 - $\cos \Phi_s = 0,65$
 - $\cos \Phi_c = 0,85$
 - b. Nilai besaran-besaran daya reaktif dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :
 - $Q_{\text{mak}} = P_{\text{mak}} \times \tan \Phi_s$
 $Q_{\text{mak}} = 100 \times 1,17 = \mathbf{117 \text{ kVar}}$
 - $Q_{\text{min}} = P_{\text{min}} \times \tan \Phi_c$
 $Q_{\text{min}} = 25 \times 0,62 = \mathbf{15,5 \text{ KVAR}}$
 - $Q_{c1} = Q_{\text{min}}/k$
 $Q_{c1} = 15,5/1,5 = 10,3 \text{ KVAR}$
 - $Q_{c \text{ total}} = Q_{\text{mak}} - Q_{\text{min}}$
 $Q_{c \text{ total}} = 117 - 15,5 = 101,5 \text{ KVAR}$

Dari hasil perhitungan maka, secara lengkap spesifikasi bank kapasitor yang direncanakan untuk pabrik dalam contoh kasus adalah sebagai berikut :

Spesifikasi Bank Kapasitor :

1. Ranting tegangan : 3 Φ , 380 V
2. Frekuensi : 50 Hz
3. Jumlah bank kapasitor : 6 unit(1x10 KVAR + 5x20 KVAR)
4. Mode kontrol : 5(11 step penyaklaran)
5. KVAR maksimum : 110 KVAR
6. Karakteristik kompensasi : diskontiniu
7. Level kontrol : 0,4
8. Rentang kontrol (ctrl range) : lag KVAR – 0 KVAR
 - Kapasitor on pada 15 KVAR lag
 - Kapasitor off pada 0 KVAR

III.2. Analisa Perhitungan Kompensasi

Berdasarkan karakteristik pembebanan dan hasil kompensasi pada tabel 4.6, maka selisih hasil daya kompleks (KVA) sebelum dan setelah kompensasi (ΔS) dan faktor daya setelah kompensasi ($\cos \Phi_k$) dapat dihitung sbagai berikut :

Untuk T1 :

Jika asumsikan $\cos \Phi_s$ rata-rata sebelum di kompensasi adalah 0,65 dan data lainnya adalah $Q_n = 30$ KVAR, $Q_{kap} = \text{lag } 20$ KVAR, dan $\cos \Phi = 0,86$ maka, daya efektif (P) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P = Q_n \cos \Phi_s$$

$$P = 30 \times 0,86$$

$$P = 26,66 \text{ KVAR}$$

Daya kompleks (S_n) sebelum kompensasi dapat dihitung sebagai berikut :

$$S_n = P / \cos \Phi^2$$

$$S_c^2 = (12,83)^2 + (10)^2$$

$$S_c^2 = 264,6089$$

$$S_c = \underline{16,26 \text{ KVA}}$$

Selisih daya kompleks (ΔS) sebelum dan setelah kompensasi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\Delta S = S_n - S_c$$

$$\Delta S = 19,74 - 13,77$$

$$\Delta S = \underline{5,95 \text{ KVA}}$$

Faktor daya setelah kompensasi ($\cos \Phi_c$) dapat dihitung sbagai berikut :

$$\cos \Phi_c = P / S_c$$

$$\cos \Phi_c = 12,83 / 13,78$$

$$\cos \Phi_c = \underline{0,931 \text{ lagging}}$$

Perhitungan kompensasi untuk T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 secara lengkap dapat dilihat pada tabel perhitungan sebagai berikut :

Tabel-1. Tabel Perhitungan

| Tn | Qn leading KVAR | P(KW) | Sn(kVA) | QC (kVAr) | Sc(KVA) | ΔS (KVA) | Cos Φ_c |
|----|-----------------|-------|---------|-----------|---------|------------------|--------------|
| T1 | 30 | 25.66 | 39.48 | Lag 10 | 27.54 | 11.94 | 0.9317 |
| T2 | 38 | 32.50 | 50.00 | Lag 8 | 33.47 | 16.53 | 0.9710 |
| T3 | 45 | 38.49 | 59.22 | Lag 5 | 38.81 | 20.41 | 0.9918 |
| T4 | 52 | 44.48 | 68.43 | Lag 12 | 46.07 | 22.36 | 0.9651 |
| T5 | 39 | 33.36 | 51.32 | Lag 9 | 34.55 | 16.77 | 0.9656 |
| T6 | 47 | 40.20 | 61.85 | Lag 7 | 40.80 | 21.05 | 0.9653 |
| T7 | 30 | 25.66 | 39.48 | Lag 10 | 27.54 | 11.94 | 0.9317 |
| T8 | 36 | 30.29 | 47.37 | Lag 6 | 30.88 | 16.49 | 0.9809 |
| T9 | 50 | 42.77 | 65.80 | Lag 10 | 43.92 | 21.88 | 0.9738 |

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|-----------------------------|------------------------------|
| | | | | | | $\Sigma \Delta S$ 159.37 | $\Sigma \cos \Phi$ 8.6969 |
|--|--|--|--|--|--|-----------------------------|------------------------------|

4. SIMPULAN

1. Kualitas catu sistem tenaga sangat tergantung kepada kestabilan tegangan dan frekuensi, serta kesempurnaan faktor dayanya.
2. Penurunan kualitas catu umumnya disebabkan oleh beberapa faktor antara lain :
 - Beban lebih
 - Karakteristik pembebanan yang nonlinear
 - Impedansi beban yang tidak seimbang
 - Banyak nya beban induktif (menyerap Var dari sistem)
3. Salah satu cara memperbaiki kualitas catu adalah dengan kompensator kapasitor yakni memparalelkan bank kapasitor dengan sistem atau beban.
4. Tujuan utama dari kompensasi beban adalah :
 - Memperbaiki faktor daya ($\cos \Phi$)
 - Memperbaiki regulasi tegangan
 - Menyeimbangkan arus beban (fasa)
5. Bank kapasitor adalah sumber (catu) daya reaktif yang berfungsi sebagai kompensator bagi suatu sistem atau beban
6. Bank kapasitor yang menggunakan rankayan kontrol dapat mengatur daya reaktif ,sedemikian rupa sehingga terjadi keseimbangan antara kebutuhan dan supply.
7. Pada bank kapasitor pengaturan suplay dan kebutuhan terhadap daya reaktif dilakukan dengan menggunakan power paktor regulator
8. Kompensasi dengan bank kapasitor dapat diterapkan pada sekelompok beban, seperti jaringan beban pada pabrik dan industri.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] O Nasution, J Napitupulu, L Siahaan, Y Ginting, 2022. Tinjauan Perbandingan Pemakaian Daya Listrik Pada Bangunan Industri, Jurnal Darma Agung 30 (1), 131-141.
- [2] Gonen Turunan Electric Power Distribution System Engineering ,MC.Graw-Hill inc 1986.
- [3] Pansini Anthony J.Elektrikal Distribution, MC Graw-Hill book Compang 1986.
- [4] Weedy B.M.Electric Power System Jhon Willey dan sons inc,new work 1983.
- [5] Pabla A.S. Hadi Abdul ir,Sistim Distribusi daya listrik Penerbit Airlangga, Jakarta1996.

- [6]
Gupta P.Vatnam P.S,Substation Design End Equipment,khana Publishers,New
Dahli, 1985.
- [7] Tj.E.Miller, reactive Power Control in Electric System, Jhon Wiley & son.
- [8] Irving L. Kosow, PH.D, Control of electric Machines, Prentice Hall, Inc.
- [8] Matsushita Electric Industrial Co, LTD. Low Voltage Power Capacitor Catalogue
Book, Japan.