

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Dalam kaitan dengan perbaikan faktor daya (PF) ada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan baik dalam bentuk skripsi maupun jurnal, diantaranya, jurnal teknik Elektro vol 2, no 1 tahun 2013 Perancangan Kebutuhan Kapasitor Bank Untuk Perbaikan Faktor Daya Pada Line Mess I Di PT. Bumi Lamongan Sejati (WBL) yang disusun oleh Khadafi Alland dari Teknik Elektro Jurusan Fakultas Teknik Industri Universitas Negeri Surabaya dimana dalam jurnal ini membahas tentang metode perbaikan faktor daya dengan pemasangan kapasitor *bank*. dalam jurnal ini membahas tentang perencanaan kebutuhan kapasitor yang akan digunakan untuk memperbaiki faktor daya pada PT Bumi Lamongan Sejati (WBL) agar konsumsi kVARh dapat minimalkan. Skripsi yang membahas tentang faktor daya yang disusun oleh Windu Nur Hardiranto dengan NIM 1215031077 Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Lampung tahun 2017 yang berjudul Analisa Optimasi Perbaikan Faktor Daya Dan *Drop* Tegangan Dengan Menggunakan Kapasitor *Bank* Pada *Line* 5 PT Bukit Asam (PERSERO) Tbk. Dalam Skripsi ini menjelaskan tentang bagaimana cara memperbaiki faktor daya dan mengoptimalkannya sehingga selisih dengan faktor daya 0,85 yang ditetapkan PT PLN (PERSERO) berkurang sehingga dapat mengurangi konsumsi kVARh dan menekan biaya operasi pada PT BUKIT ASAM (PERSERO) Tbk.

2.2 LANDASAN TEORI

2.2.1 Kapasitor Tenaga

Kapasitor tenaga adalah kumpulan dari beberapa kapasitor yang biasanya memiliki spesifikasi yang sama dan dihubungkan secara rangkaian seri paralel supaya didapatkan suatu nilai kapasitas tertentu. Penggunaan paling banyak kapasitor tenaga adalah untuk memperbaiki *power factor* pada rangkaian listrik arus bolak balik, sedangkan pada rangkaian listrik arus searah khususnya *power supply* untuk menekan faktor "*ripple*" serta meningkatkan

jumlah energi yang tersimpan karena fungsi utama kapasitor sebagai komponen yang dapat menyimpan arus listrik.



Gambar 2.1. Kapasitor Tenaga

1. Cara Kerja Kapasitor Tenaga

Dalam ilmu listrik sering kita dengar istilah faktor daya atau sering juga disebut *power factor* yaitu nilai perbandingan antara daya aktif (P) dengan besarnya daya semu (S). Penggunaan kapasitor tenaga pada instalasi listrik pada pemakai dimaksudkan untuk memperbaiki faktor daya. Pengertian daya aktif (P) adalah daya yang diserap oleh komponen R jika komponen R dilewati oleh arus, dimana besarnya P yaitu :

$$P = I^2 \cdot R \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

P = Daya Aktif (W)

I = Arus Listrik (A)

R = Hambatan (Ohm)

Penggunaan daya aktif selama periode waktu tertentu adalah energi aktif dan merupakan energi reaktif yang didalam peralatan listrik akan diubah menjadi panas, seperti pada setrika, kompor listrik, alat pemanas air. Atau diubah menjadi tenaga gerak/torsi misalnya motor. Sedangkan daya reaktif itu adalah daya yang diserap oleh komponen X reaktansi L/C apabila komponen L/C dilewati arus. L menyerap daya atau energi yang akan diubah menjadi medan magnet atau medan listrik. Penjumlahan secara vector dari P dan Q adalah daya semu (S). Di dalam rangkaian listrik bisa diwakili dengan suatu induktansi Z, dimana :

$$Z = R + jX \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

Z = Induktansi

R = Resistansi

j = Bilangan imajiner

X = Reaktansi

- Jika $X = 0$ berarti $Z = R$, maka bersifat resistif,
- Jika $X > 0$ maka bersifat induktif,
- Jika $X < 0$ maka bersifat Kapasitif,
- Jika $X > 0$; $R = 0$ maka bersifat induktif murni,
- Jika $X < 0$; $R = 0$ maka bersifat kapasitif murni.

Beban induktif mempunyai PF *lagging*, artinya gelombang arus tertinggal terhadap gelombang tegangan, sedangkan beban kapasitif mempunyai PF *leading*, artinya gelombang arus mendahului terhadap gelombang tegangan. Pada beban resistif mempunyai PF = 1, artinya tidak ada perbedaan sudut fasa antara gelombang arus dan gelombang tegangannya.

2. Fungsi Kapasitor Tenaga

Fungsi utama kapasitor tenaga dalam penggunaan listrik adalah untuk memperbaiki faktor daya listrik dan perbaikan tegangan. Pemasangan kapasitor pada jaringan tenaga listrik itu bisa memberikan beberapa efek, antara lain :

- a. Memperbaiki tegangan sistem
- b. Mengurangi beban (daya semu) (kVA) pada transformator atau pada beban
- c. Menurunkan temperatur peralatan
- d. Mengurangi rugi-rugi daya/energi listrik

3. Fungsi Kapasitor Tenaga di Industri

Dalam skala rumahan permasalahan faktor daya ini mungkin bisa diabaikan karena kapasitas daya memang kecil, namun pada industri dengan beban motor listrik yang besar maka akan sangat berpengaruh yaitu jika PF lebih rendah dari 0.85 maka energi reaktif dari industri tersebut akan dikenakan biaya tambahan energi reaktif berdasarkan pengukuran oleh kVARh-meter. Pemasangan kapasitor sebaiknya harus mempertimbangkan faktor ekonomis apakah keuntungan pengurangan biaya kVARh itu bisa menutup biaya pemasangan kapasitor.

2.2.2 Jenis Kapasitor

1. Kapasitor daya yang terdiri dari 3 (tiga) jenis yaitu kapasitor *shunt*, seri dan penyadap.

Kapasitor *shunt* (gambar 2.2) digunakan untuk kompensasi beban induktif dan untuk pengaturan tegangan ujung transmisi. Aplikasi kapasitor *shunt* akan memperbaiki faktor daya jaringan, mengurangi rugi-rugi (*losses*) jaringan, menetralkan/meniadakan jatuh tegangan dan memperbaiki stabilitas tegangan sehingga dengan kata lain suatu kapasitor *shunt* akan menaikkan angka efisiensi pada jaringan dengan memperbaiki faktor daya. Adapun kapasitor seri digunakan pada transmisi daya yang sangat panjang untuk mengkompensasi reaktansi induktif transmisi. Dan kapasitor penyadap digunakan untuk menyadap daya dari jaringan tegangan tinggi untuk keperluan daya yang tidak begitu besar.



Gambar 2.2 Kapasitor shunt

2. Kapasitor Gandeng

Kapasitor gandeng yaitu kapasitor yang digunakan untuk pembawa sinyal komunikasi antar gardu induk atau antar pusat pembangkit.

3. Kapasitor Pembagi Tegangan

Kapasitor pembagi tegangan yaitu kapasitor yang digunakan untuk pengukuran tegangan transmisi dan rel daya.

4. Kapasitor Filter

Kapasitor filter yaitu kapasitor yang digunakan untuk konverter, terutama pada sistem transmisi arus searah. Selain itu juga dapat digunakan sebagai filter harmonik yang akan mengurangi kandungan harmonik jaringan, memperbaiki faktor daya dan mengurangi rugi-rugi jaringan. Filter harmonik yang dipasang untuk mengurangi distorsi harmonik pada suatu jaringan memiliki kemampuan sebaik menyediakan daya reaktif yang dibutuhkan untuk kompensasi jaringan.



Gambar 2.3. Kapasitor Filter

5. Kapasitor Perata

Kapasitor perata, yaitu kapasitor yang digunakan untuk meratakan distribusi tegangan pada peralatan tegangan tinggi seperti pada pemutus daya (circuit breaker).

2.2.3 Kapasitor Fix, Variabel Dan Fix Variabel

Jenis kapasitor yang akan di pasang ada tiga macam, yaitu kapasitor fix, kapasitor variabel dan kapasitor fix variabel. Kapasitor fix adalah kapasitor yang tidak memiliki *main switch control* atau sistem kontrol yang bisa membuka atau menutup dalam memasukkan daya Q ke dalam sistem sehingga daya Q akan terus masuk ke dalam sistem. Kapasitor jenis ini digunakan dalam sistem yang memiliki nilai PF di bawah standar (0,85) yang cukup konstan pada setiap periode waktu nya. Kapasitor variabel adalah kapasitor yang memiliki *main switch control* atau sistem kontrol yang bisa membuka atau menutup dalam memasukkan daya Q ke dalam sistem sehingga ketika sistem butuh tambahan daya Q maka sistem kontrol pada kapasitor akan otomatis terbuka dan memberikan daya Q, sedangkan ketika tidak dibutuhkan maka sistem kontrol pada kapasitor akan otomatis tertutup dan tidak memasukkan daya Q ke dalam sistem. Kapasitor jenis ini digunakan dalam sistem yang memiliki perbedaan nilai PF pada setiap periodenya cukup signifikan, ada yang di atas standar

(0,85), setara dengan standar (0,85), dan jauh di bawah standar (0,85). Kapasitor fix variabel adalah perpaduan antara kapasitor fix dan kapasitor variabel dimana ada kapasitor yang memiliki *main switch control* dan kapasitor yang tidak memiliki *main switch control*. Kapasitor jenis ini digunakan dalam sistem yang nilai PF nya semuanya di bawah standar (0,85), tetapi ada yang konstan dalam periode waktu tertentu dan ada yang memiliki perbedaan yang cukup signifikan dalam periode waktu tertentu.

2.2.4 Daya

Daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan Watt atau *Horsepower* (HP), *Horsepower* merupakan satuan daya listrik dimana 1 HP setara 746 Watt atau lbf/second. Sedangkan Watt merupakan unit daya listrik dimana 1 Watt memiliki daya setara dengan daya yang dihasilkan oleh perkalian arus 1 Ampere dan tegangan 1 Volt. Daya dinyatakan dalam P, Tegangan dinyatakan dalam V dan Arus dinyatakan dalam I, sehingga besarnya daya dinyatakan :

$$P = |V| \times |I| \times \cos \phi \dots\dots\dots(2.3)$$

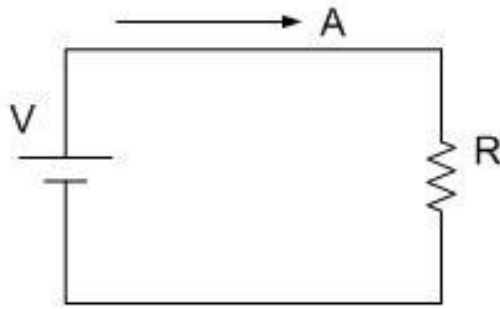
Dimana :

P = Daya (Watt)

|V| = Besarnya Tegangan (Volt)

| I | = Besarnya Arus (Ampere)

Φ = Sudut Fasa



Gambar 2.4. Arah Aliran Arus Listrik

2.2.5 Daya Aktif

Daya aktif (*Active Power*) adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah Watt. Misalnya energi panas, cahaya, mekanik dan lain – lain.

$$P_{1 \text{ fasa}} = |V| \cdot |I| \cdot \cos \phi \dots \dots \dots (2.4)$$

$$P_{3 \text{ fasa}} = 3 \cdot |V| \cdot |I| \cdot \cos \phi \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

P = Daya Aktif (W)

|V| = Besarnya Tegangan (V)

|I| = Besarnya Arus (A)

Φ = Sudut Fasa

Daya ini digunakan secara umum oleh konsumen dan dikonversikan dalam bentuk kerja.

2.2.6 Daya Reaktif

Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk *fluks* medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, lampu pijar dan lain – lain. Satuan daya reaktif adalah Var.

$$Q_{1 \text{ fasa}} = |V|. |I|. \sin \phi \dots\dots\dots(2.6)$$

$$Q_{3 \text{ fasa}} = 3 . |V|. |I|. \sin \phi \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

Q = Daya Reaktif (VAR)

|V| = Besarnya Tegangan (V)

|I| = Besarnya Arus (A)

Φ = Sudut Fasa

2.2.7 Daya Nyata

Daya nyata (*Apparent Power*) adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan rms dan arus rms dalam suatu jaringan atau daya yang merupakan hasil penjumlahan trigonometri daya aktif dan daya reaktif. Satuan daya nyata adalah VA.

$S = P + jQ$, mempunyai nilai/ besar dan sudut

$$S = S \angle \phi$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \angle \phi \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

S = Daya Semu (VA)

P = Daya Aktif (W)

Q = Daya Reaktif (VAR)

Untuk mendapatkan daya satu fasa, maka dapat diturunkan persamaannya seperti di bawah ini :

$$S = P + jQ \dots\dots\dots(2.9)$$

$$P = |V|. |I| \cos \phi \dots\dots\dots(2.10)$$

$$Q = |V|. |I| \sin \phi \dots\dots\dots(2.11)$$

maka :

$$S \angle \phi = V. I. \cos \phi + j V. I \sin \phi$$

$$S_{1\phi} = V \cdot I \cdot (\cos \phi + j \sin \phi)$$

$$S_{1\phi} = V \cdot I \cdot e^{j\phi}$$

$$S_{1\phi} = V \cdot I \cdot \phi$$

$$S_{1\phi} = |V| \cdot |I| \cdot \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

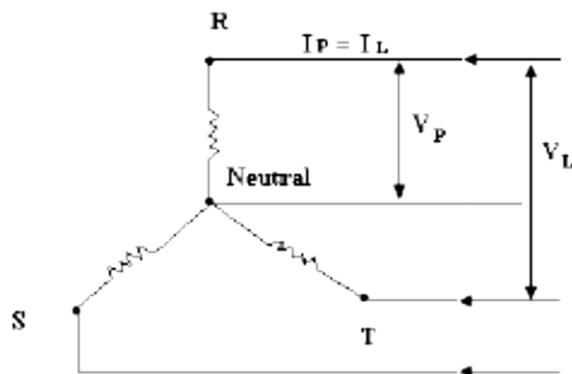
S = Daya Semu (VA)

$|V|$ = Besarnya Tegangan (V)

$|I|$ = Besarnya Arus (A)

Sedangkan untuk rangkaian tiga fasa mempunyai 2 bentuk hubungan yaitu :

Hubungan Wye (Y)



Gambar 2.5. Hubungan Bintang

Dimana :

$V_{RS} = V_{RT} = V_{ST} = V_L$; Tegangan antar fasa

$V_{RN} = V_{SN} = V_{TN} = V_P$; Tegangan fasa

$I_R = I_S = I_T = I_L (I_P)$; Arus fasa /Arus saluran

Bila I_L adalah arus saluran dan I_P adalah arus fasa, maka akan berlaku hubungan :

$$I_L = I_P$$

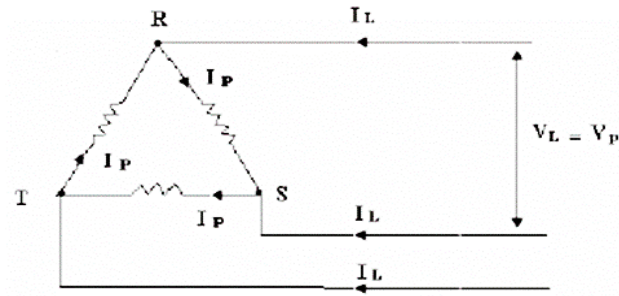
$$V_L = 3 V_P \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

V_L = Tegangan Fasa

V_P = Tegangan Antar Fasa

Hubungan Delta (Δ)



Gambar 2.6. Hubungan Delta

Dimana :

$I_{RS} = I_{ST} = I_{TR} = I_P$; Arus phasa

$I_R = I_S = I_T = I_L$; Arus saluran

$V_{RS} = V_{ST} = V_{TR} = V_L$ (V_P) ; Tegangan antar phasa

Bila V_L adalah tegangan antar phasa dan V_P adalah tegangan phasa maka berlaku hubungan :

$$V_L = V_P$$

$$I_L = 3 \cdot I_P$$

Dari kedua macam rangkaian di atas, untuk mendapatkan daya tiga phasanya maka dapat digunakan rumus :

$$S_{3 \text{ fasa}} = 3 \cdot V_L \cdot I_L \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana :

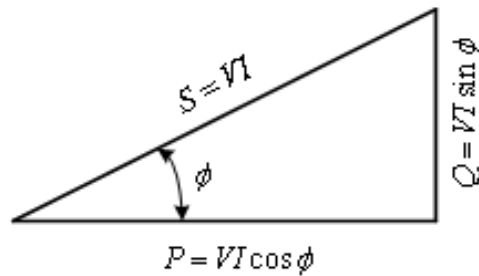
S = Daya Semu (VA)

V_L = Tegangan Fasa

I_L = Arus Fasa

2.2.8 Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematika antara tipe-tipe daya yang berbeda (*Apparent Power*, *Active Power* dan *Reactive Power*) berdasarkan prinsip trigonometri.



Gambar 2.7. Segitiga Daya

2.2.9 Faktor Daya

Faktor daya ($\cos \phi$) dapat didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (Watt) dan daya nyata (VA) yang digunakan dalam sirkuit AC atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya dinyatakan dalam $\cos \phi$.

$$\begin{aligned} \text{Faktor Daya} &= \text{Daya Aktif (P)} / \text{Daya Nyata (S)} \dots\dots\dots (2.15) \\ &= \text{kW} / \text{kVA} \\ &= V.I \cos \phi / V.I \\ &= \cos \phi \end{aligned}$$

Faktor daya mempunyai nilai *range* antara 0 - 1 dan dapat juga dinyatakan dalam persen. Faktor daya yang bagus apabila bernilai mendekati satu.

$$\begin{aligned} \tan \phi &= \text{Daya Reaktif (Q)} / \text{Daya Aktif (P)} \dots\dots\dots (2.16) \\ &= \text{kVAR} / \text{kW} \end{aligned}$$

Karena komponen daya aktif umumnya konstan (komponen kVA dan kVAR berubah sesuai dengan faktor daya), maka dapat ditulis seperti berikut :

$$\text{Daya Reaktif (Q)} = \text{Daya Aktif (P)} \times \tan \phi \dots\dots\dots (2.17)$$

Sebuah contoh, *rating* kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya sebagai berikut :

$$\text{Daya reaktif pada } pf \text{ awal} = \text{Daya Aktif (P)} \times \tan \phi_1$$

$$\text{Daya reaktif pada } pf \text{ diperbaiki} = \text{Daya Aktif (P)} \times \tan \phi_2$$

Sehingga *rating* kapasitor yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya adalah :

$$\text{Daya reaktif (kVAR)} = \text{Daya Aktif (kW)} \times (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \dots\dots\dots (2.18)$$

2.2.10 Pengaruh Harmonik Terhadap *Power Factor*

Beban tak linier seperti konverter statis, pengaturan kecepatan motor (*adjustable speed drives*) dan catu daya kontinu (*uninterruptible power systems*), merupakan beban yang paling banyak digunakan pada jaringan tenaga listrik suatu industri modern. Hal ini menimbulkan efek samping pada sistem tenaga listrik yaitu timbulnya arus harmonik sebagai akibat pengubahan energi listrik. Harmonik adalah gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Arus harmonik akan mengakibatkan distorsi bentuk gelombang tegangan sehingga tidak berbentuk sinusoidal murni lagi. Hal ini yang mempengaruhi faktor daya, karena faktor daya mempunyai gelombang arus dan tegangan yang sinusoidal sehingga nilai faktor daya akan menurun.