

## Analisis kegagalan kompensasi pemasangan kapasitor bank sistem sentral

Heri Sungkowo<sup>1</sup>, Slamet N.<sup>2</sup>, Epiwardi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

### Informasi Artikel

#### Riwayat Artikel

Diterima 10 Februari 2020

Direvisi 10 April 2020

Diterima 28 April 2020

#### Kata kunci:

Faktor Daya

Instalasi

Kapasitor Bank

KVARh

#### Keywords:

Power Factor

Capacitor Bank

Installation

KVARh

#### Penulis Korespondensi:

Heri Sungkowo,

Jurusan Teknik Elektro,

Politeknik Negeri Malang,

Jl. Sukarno Hatta No. 9, Malang, Jawa Timur, Indonesia.

Email: [heridalimin@gmail.com](mailto:heridalimin@gmail.com)

### ABSTRAK

Pelanggan PLN dengan golongan tarif I-3 yang mana pelanggan jenis ini dikenai denda pemakaian kVARh apabila pf rata-rata kurang dari 0.85 selama sebulan. Untuk itu, PT. Beiersdorf Indonesia ini memasang kapasitor bank berkapasitas 600 kVAR / 400 V yang berfungsi untuk memperbaiki faktor daya (pf). Sejak bulan Januari – Mei 2015, PT. Beiersdorf Indonesia ini tidak perlu membayar denda kVARh karena pf rata-rata berada di atas 0.85. Namun, pada bulan Juni 2015 PT. Beiersdorf Indonesia ini mendapat tagihan pemakaian kVARh dan tagihan pemakaian kVARh juga muncul pada bulan-bulan berikutnya. Sedangkan beban yang digunakan (motor-motor) sama.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah kapasitas kapasitor bank yang terpasang sudah sesuai kebutuhan daya reaktif beban atau belum. Selain itu juga untuk mengetahui apakah instalasi kapasitor bank sudah sesuai atau belum. Sehingga dengan pemilihan instalasi kapasitor bank yang tepat, diharapkan biaya pemakaian kVARh tidak tertagih.

Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa kontaktor kapasitor mengalami kerusakan. Hal ini terjadi karena kontaktor terpasang adalah kontaktor biasa, bukan kontaktor khusus kapasitor. Kerusakan kontaktor ini menyebabkan kapasitor bank tidak bisa mengkompensasi pf dan mengakibatkan timbulnya biaya pemakaian kVARh. Supaya kontaktor tidak rusak lagi, maka sebaiknya kontaktor yang digunakan merupakan kontaktor khusus kapasitor.

### ABSTRACT

*PLN's customers with I-3 price class. This customer must pay the kVARh usage if the average power factor is less than 0.85 in a month. For that, it installs 600 kVAR / 400 V capacitor bank to upgrade the low power factor. Since January – May 2015, this industry didn't need to pay the kVARh usage because the average pf was more than 0.85. However, in June 2015 it got the bill of kVARh usage and it also appeared in the following months.*

*The purpose of this research is to find out if the rating of the installed capacitor bank is correct or not. Besides, it is to understand if the installation of the capacitor bank is correct or not. So, if the installation of capacitor bank is appropriate, this industry doesn't need to pay the kVARh usage.*

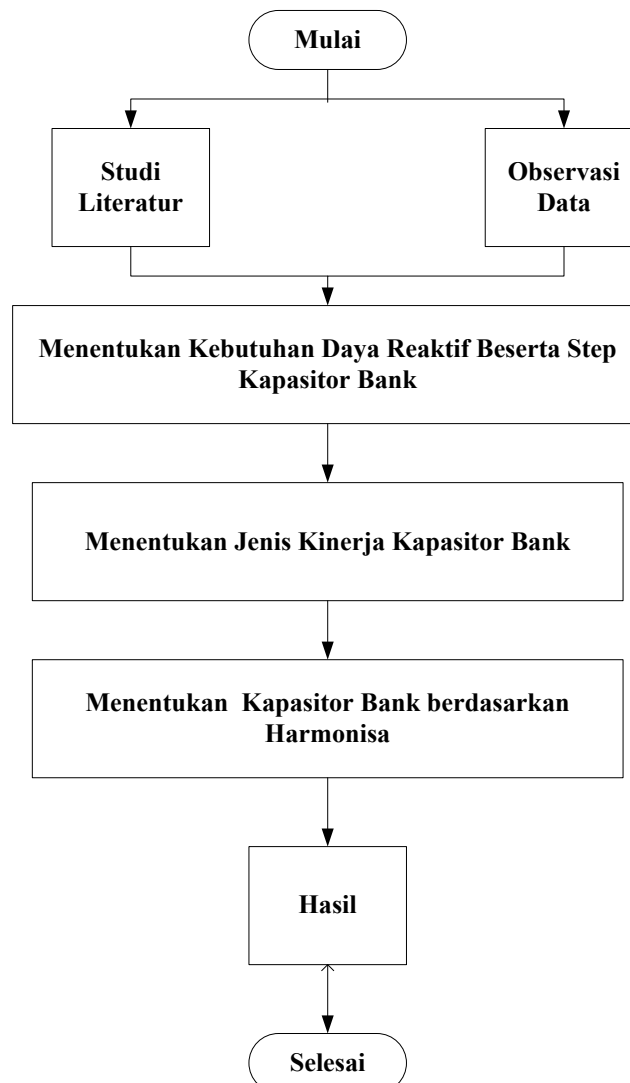
*According to the research, the capacitor contactor is damaged. It occurs because the installed contactor is the common contactor, not the special contactor for capacitor. It causes the capacitor bank can't upgrade the pf and the bill of kVARh usage is appears. In order to prevent the contactor from breaking down again, a special contactor for capacitor is better to use.*

## 1. PENDAHULUAN

PT. PLN (Persero) sebagai pengelola energi listrik mensuplai ke semua pelanggan tidak terkecuali industri. Pada pelaksanaannya PT. PLN (Persero) menerapkan kepada industri denda jika terdapat pemakaian kVARh yang diakibatkan oleh pf yang nilainya  $<0,85$ . kVARh disebabkan oleh pemakaian daya reaktif. Daya reaktif ini merupakan daya tidak berguna sehingga tidak dapat dirubah menjaditenaga akan tetapi diperlukan untuk proses transmisi energy listrik pada beban. Jadi yang menyebabkan pemborosan energi listrik adalah banyaknya peralatan yang bersifat induktif[1]. Pada industri banyak beban daya listrik yang bersifat induktif, seperti Motor, Room Air Conditioner (RAC), lampu yang menggunakan ballast, semua ini akan menyebabkan pergeseran fasa pada gelombang tegangan dan arus, serta factor kerja daya listrik yang di gunakan akan turun hal ini menyebabkan pf turun[2]. Jika pf  $<0,85$  untuk mengatasinya adalah dengan pemasangan kapasitor bank. Kapasitor terdiri dari dua konduktor (lempengan logam) yang dipisahkan oleh bahan penyekat (isolator)[3]. Permasalahannya adalah apakah instalasi kapasitor bank sudah sesuai atau belum. Sehingga dengan pemilihan instalasi kapasitor bank yang tepat, diharapkan biaya pemakaian kVARh tidak tertagih. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengsnslisis perencanaan serta pemilihan kapasitor yang akan dipasang pada PT. Beiersdorf Indonesia.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian mengacu pada diagram alir dibawah ini :



Gambar 1. Flowchart Pengerjaan Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah dengan studi literatur serta observasi data sehingga dapat melakukan perencanaan serta pemilihan kapasitor bank yang benar

## 2.1. Daya

Daya listrik adalah laju hantaran energi listrik dalam sirkuit listrik. Arus listrik yang mengalir dalam rangkaian dengan hambatan listrik menimbulkan kerja. Peranti mengkonversi kerja ini ke dalam berbagai bentuk yang berguna, seperti panas, cahaya, energi kinetik, dan suara[4]. Daya listrik terdiri dari tiga macam, yaitu:

### 1. Daya Aktif (P)

Daya aktif (Active Power) adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah Watt. Persamaan untuk mendapatkan nilai daya aktif dalam sistem satu fasa adalah:

$$P = V_{eff} \times I_{eff} \times \cos \varphi = I_{eff}^2 \times R = \frac{V_{eff}^2}{R} \quad (1)$$

Sedangkan persamaan untuk mendapatkan nilai daya aktif dalam sistem tiga fasa adalah:

$$P = 3 \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi \quad (2)$$

### 2. Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluksmedan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, lampu pijar dan lain-lain. Satuan daya reaktif adalah Var. Persamaan untuk mendapatkan nilai daya reaktif dalam sistem satu fasa adalah:

$$Q = V_{eff} \times I_{eff} \times \sin \varphi = I_{eff}^2 \times X = \frac{V_{eff}^2}{X} \quad (3)$$

Sedangkan persamaan untuk mendapatkan nilai daya reaktif dalam sistem tiga fasa adalah:

$$Q = 3 \cdot V_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi \quad (4)$$

### 3. Daya Nyata (S)

Daya nyata (Apparent Power) adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan root mean square (rms) dan arus rms dalam suatu jaringan atau daya yang merupakan hasil penjumlahan trigonometri daya aktif dan daya reaktif. Satuan daya nyata adalah VA. Hal ini sesuai dengan rumus:

$$P = \sqrt{S^2 - Q^2} \quad (5)$$

## 2.2. Faktor Daya

Faktor daya atau power factor (pf) merupakan rasio perbandingan antara daya aktif (Watt) dan daya nyata (VA). Faktor daya mempunyai nilai range antara 0 – 1 dan dapat juga dinyatakan dalam persen.

$$\begin{aligned} \text{Faktor Daya} &= \text{Daya Aktif (P)} / \text{Daya Nyata (S)} \\ &= \text{kW/kVA} \\ &= V \cdot I \cos \varphi / V \cdot I \\ &= \cos \varphi \end{aligned} \quad (6)$$

Jika pf lebih kecil dari 0,85 maka kapasitas daya aktif (kW) yang digunakan akan berkurang. Akibat menurunnya pf maka akan timbul beberapa persoalan di antaranya:

1. membesarnya penggunaan daya listrik kWh karena rugi-rugi;
2. membesarnya penggunaan daya listrik kVAR; dan
3. mutu listrik menjadi rendah karena jatuh tegangan (voltage drops)

Beberapa strategi untuk koreksi faktor daya adalah:

1. meminimalkan operasi dari beban motor;
2. menghindari operasi dari peralatan listrik di atas tegangan rata-ratanya;
3. mengganti motor-motor yang sudah tua; dan
4. memasang kapasitor pada jaringan AC untuk menurunkan medan dari daya reaktif.

Metode yang digunakan untuk pemasangan capacitor bank yaitu:

### 1. Metode terpusat

Pada metode terpusat, capacitor bank ditempatkan di sisi primer dan sekunder transformator atau bisa juga ditempatkan di bus pusat pengontrol.

### 2. Metode tersebar

Pada metode tersebar, capacitor bank ditempatkan di feeder kecil, rangkaian pada cabang, ataupun langsung di beban.

### 2.3. Pemilihan Kapasitor berdasarkan Kondisi Operasional

Kapasitor adalah komponen elektronika yang dapat menyimpan muatan listrik dan umumnya memiliki beda fasa (arus mendahului tegangan) yang lebih mendekati 90 dibandingkan dengan induktor. Oleh karenanya kapasitor menyerap daya lebih sedikit dari pada induktor (dalam nilai yang sama). Kapasitor terdiri dari beberapa tipe, tergantung dari bahan dielektriknya. Untuk lebih sederhanya dapat dibagi menjadi 3 bagian, yaitu kapasitor electrostatic, electrolytic dan electrochemical [2].

Kondisi operasional memiliki pengaruh yang besar pada umur kapasitor. Karena alasan ini, kategori kapasitor yang berbeda, dengan tingkatan ketahanan yang berbeda, harus dipilih berdasarkan kondisi operasional.

Kapasitor harus dipilih berdasarkan parameter di bawah ini:

- Suhu lingkungan (°C)
- Perkiraan arus lebih, dihubungkan dengan gangguan tegangan, termasuk kemampuan maksimal menahan tegangan lebih
- Jumlah maksimal operasi penyaklaran per tahun
- Perkiraan umur yang diinginkan

Kompensasi pada system tegangan rendah 400V terdiri dari dua jenis yakni kompensasi manual dan kompensasi otomatis. Kompensasi manual adalah kinerja kapasitor dikendalikan secara manual dengan CB (*circuit breaker*) / LBS (*load break switch*), secara semi-otomatis dengan kontaktor, atau mengikuti kinerja peralatan yang terhubung langsung dengan kapasitor tersebut. Sedangkan pada kompensasi otomatis, kinerja kapasitor dikendalikan secara otomatis dengan *power factor regulator*. Kompensasi otomatis umumnya terhubung dengan panel distribusi utama / MDP suatu industri.

Menurut *Schneider Electric Instalation Guide chapter L*, jika rating kVAR kapasitor  $\leq 15\%$  rating trafo yang menyuplainya, maka kompensasi manual adalah pilihan yang tepat. Jika rating kVAR kapasitor  $> 15\%$  rating trafo yang menyuplainya, maka lebih baik menggunakan kompensasi otomatis.

$$X = \frac{Q_c}{S_n} \times 100\% \quad (7)$$

Dengan,

X = persentase perbandingan rating kapasitor dengan rating trafo

Qc = rating kapasitor

Sn = rating trafo

Kapasitor sensitif terhadap harmonisa. Berdasarkan besar harmonisa di jaringan, konfigurasi yang berbeda sebaiknya digunakan. Menurut *Schneider Electric*, jenis kapasitor berdasarkan kondisi operasionalnya antara lain :

1. *EasyCan* : kapasitor dengan tugas standar untuk kondisi operasional yang standar dan ketika tidak terdapat beban non-linier yang cukup banyak.
2. *VarPlus* : kapasitor dengan tugas berat untuk kondisi operasional yang sulit, khususnya gangguan tegangan, atau ketika terdapat sedikit beban non-linier. Arus nominal kapasitor harus dinaikkan dengan tujuan untuk mengatasi sirkulasi harmonisa arus.
3. *VarPlus Box Energy* : kapasitor dengan desain spesial, untuk kondisi operasi yang keras, khususnya suhu yang tinggi.
4. Kapasitor dengan *detuned reactor* : dapat diaplikasikan ketika terdapat beban non-linier dengan jumlah yang signifikan.
5. *Tuned filter* : ketika beban non-linier belum menguasai, diinginkan mitigasi harmonisa. Desain spesial dirasa penting berdasarkan pada pengukuran lapangan dan simulasi komputer jaringan.

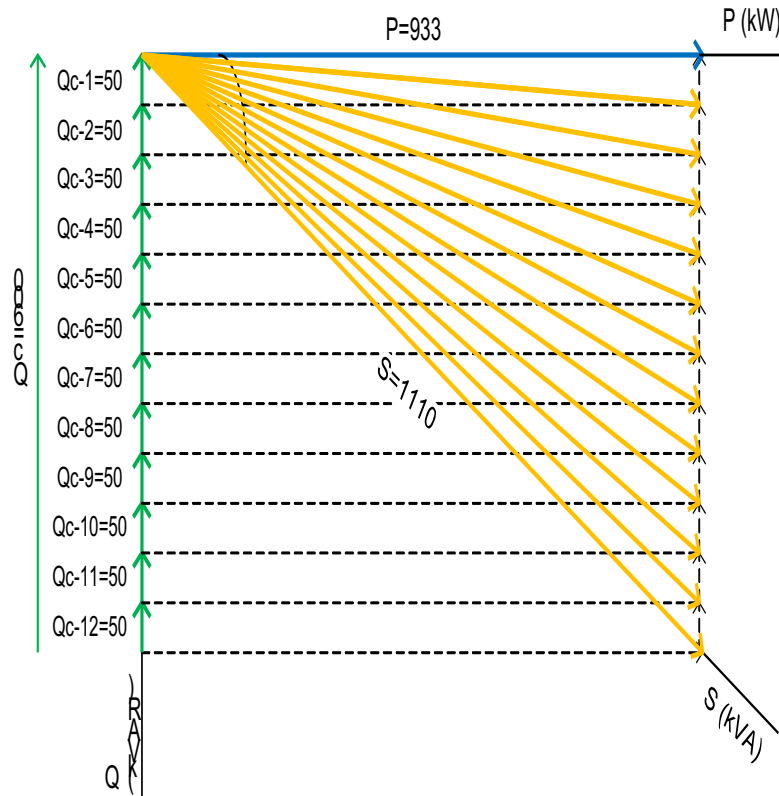
Karena harmonisa disebabkan oleh beban non-linier, indikator untuk besar harmonisa adalah perbandingan antara total daya beban non linier dengan daya pengenal trafo suplai. Perbandingan ini disebut  $N_{LL}$  dan bisa juga disebut Gh/Sn. Jika kurang dari 10% menggunakan tipe standart.

$$N_{LL} = \frac{\text{Total daya beban non linier (Gh)}}{\text{Daya pengenal trafo (Sn)}} \quad (8)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Kebutuhan Daya Reaktif Kapasitor Bank

PT. Beiersdorf Indonesia mendapatkan suplai energi listrik dari PLN dengan daya kontrak (daya semu) sebesar 1110 kVA. PT. Beiersdorf Indonesia ini memiliki kapasitor bank terpasang sebesar 600 kVAR / 400 V di MDP. Jumlah step kapasitor bank yang digunakan adalah memiliki 12 *step* dengan masing-masing *step*-nya berkapasitas 50 kVAR dengan kombinasi 1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1. maksudnya adalah jika terjadi penurunan pf maka kapasitor bank bekerja setiap *step*-nya adalah 50 kVAR sampai jika dirasa masih kurang akan melanjutkan ke *step* berikutnya sampai nilai pf mencapai nilai yang ditentukan. Apabila daya se kapasitor mampu mengkompensasi kebutuhan daya reaktif, maka daya aktif yang bisa digunakan beban adalah 933 hal ini sesuai dengan rumus 5.



Gambar 2. Segitigadaya MDP setelahdikompensasiterhadapdayakontrak

Dengan adanya kapasitor bank 600 kVAR, daya aktif yang mampu dimanfaatkan beban sebesar 933 kW. Jika dibandingkan dengan data pembebanan rata-rata MDP tahun 2016, daya aktif rata-rata tiap bulannya berkisar antara 560 – 645 kW. Sehingga MDP PT. Beiersdorf Indonesia masih memiliki cadangan daya aktif sebesar 288 – 373 kW.

#### 3.2. Pemilihan Jenis Kinerja Kapasitor Bank

Jika kapasitas kapasitor bank yang digunakan PT. Beiersdorf Indonesia adalah 600 kVAR dan daya nominal trafo 1600 kVA, maka persentase perbandingan antara keduanya adalah 37.5 % hal ini sesuai dengan rumus (7). Karena perbandingan antara kapasitas kapasitor dengan kapasitas trafo >15% yakni 37.5%, maka sebaiknya menggunakan kompensasi otomatis.

#### 3.3. Pemilihan Kapasitor Berdasarkan Harmonisa

Kapasitor sensitive terhadap harmonisa. Berdasarkan besar harmonisa di jaringan, jenis kapasitor yang berbeda sebaiknya digunakan. Untuk mengetahui jenis kapasitor apa yang akan digunakan, terlebih dahulu harus menghitung persentase beban non linier di sistem. Jika total daya beban non linier ( $G_h$ ) = 74 kVA (asumsi) dan daya pengenal trafo = 1600 kVA, maka dengan menggunakan rumus (8) dapat diketahui persentase beban non linier. Persentase beban non linier ( $N_{LL}$ ) adalah:

- $N_{LL} = \frac{\text{Total daya beban non linier (Gh)}}{\text{Daya pengenalan trafo (Sn)}}$
- $N_{LL} = \frac{74}{1600} \times 100\% = 5\%$

$N_{LL} 5\% \leq 10\%$ , maka dipilih kapasitor tipe standar.

#### 4. KESIMPULAN

Kapasitor bank terpasang 600 kVAR / 400 V dengan 12 step dimanakapasitasmasing-masing step sebesar 50 kVAR. Kapasitor yang digunakan adalah jenis standar dan cara kerja kapasitor secara otomatis. Dengan kapasitas kapasitor bank, jenis kapasitor, dan cara kerja kapasitor sudah sesuai tidak akan menimbulkan tagihan kVARh.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] E.B. Hariyadi, “Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor Bank Pada Peralatan Rumah Tangga”, Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta, 2015.
- [2] S. Noor, N. Saputera, “Efisiensi Pemakaian Daya Listrik Menggunakan Kapasitor Bank”, Jurnal POROS TEKNIK, Volume 6, No. 2, Desember 2014 : 55 – 102.
- [3] D. Almada, N. Majid, “Studi Analisa Penyebab Kerusakan Kapasitor Bank Sub Station Welding di PT. Astra Daihatsu Motor”, RESISTOR (elektRONIKA kEndali telekomunikaSI tenaga liSTrik kOmpuTeR) Vol. 2 No. 1.
- [4] M. F. Hakim, “Analisis Kebutuhan Capacitor Bank Beserta Implementasinya Untuk Memperbaiki Faktor Daya Listrik Di Politeknik Kota Malang, Jurnal ELTEK, Vol 12 Nomor 01, April 2014.
- [5] Anonim, *Guide for the Design and Production of LV Power Factor Correction Cubicles*. -: Schneider Electric, 2015.
- [6] Anonim, Koreksi Faktor Daya. In *Daftar Harga 2012 PT Schneider Indonesia* (ch. 5). -: Schneider Electric, 2016.
- [7] Badan Standarisasi Nasional, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011)*, Yayasan PUIL, Jakarta 2011.
- [8] *Instalation Guide* (ch. L). -: Schneider Electric.
- [9] IEEE Power Engineering Society, *IEEE 18 Standard for Shunt Power Capacitors*. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineer, 2002.
- [10] IEEE Power Engineering Society. *IEEE 141 Recommended Practice for Electric Power System Distribution for Industrial Plants*. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers. 2010.
- [11] J. Arrilaga, Bradley D.A., Bodger P.S., *Power System Harmonics*, New York: John Wiley & Sons, 2014.
- [12] Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, H. Wayne Beaty, *Electrical Power System Quality*, New York : McGraw-Hill, 2000