

Analisis Tinjauan Ekonomi Teknis dalam Pemasangan Kapasitor Bank untuk Memperbaiki Nilai Faktor Daya pada Beban Industri

Prastyono Eko P., Samuel Kristiyana*, Muhammad Suyanto, Maulana Maliq F,
Diky Rahmadi

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri
Institut Saint & Teknologi AKPRIND Yogyakarta
email: yanaista@akprind.ac.id

Abstract

Industry is one of the largest users of reactive power in the distribution of electric power. Industries use equipment such as induction motors, transformers and other equipment to support their production needs. Loads such as induction motors are inductive loads that require reactive power to operate. Reactive power in an electric power distribution network is a loss. Reactive power can reduce the effectiveness of the real power which is converted into active power so that the efficiency of real power usage is reduced. Installing a capacitor bank is one way to compensate for the use of reactive power in a load. Installing capacitor banks aims to improve the value of the power factor that has decreased due to the use of excessive reactive power loads. PLN has set a standard power factor value for consumers of 0.85 and reactive power consumption of 0.62 of the total power consumption. For this reason, it is necessary to carry out further analysis regarding the advantages and disadvantages of installing bank capacitors to improve the value of the power factor so that the ideal economic factor for consumers is obtained.

Keywords: capacitor bank, power factor, reactive power

1. Pendahuluan

Perkembangan industri yang saat ini sudah memasuki era modern, membuat banyak industri saling berlomba – lomba untuk menghasilkan produk dengan kualitas terbaik dan juga memaksimalkan peralatan produksi yang mereka miliki demi mencapai tujuan produksi yang mereka inginkan. Disisi lain, pada umumnya industri menggunakan peralatan produksi yang mengandung beban reaktif induktif dari beberapa peralatan yang mereka gunakan seperti motor listrik, kipas angin, pompa air, dan beberapa peralatan produksi lainnya.

Beban listrik yang bersifat reaktif dan induktif ini menyebabkan terjadinya penurunan nilai faktor daya sehingga akan membuat arus beban menjadi tinggi dan juga kualitas daya listrik menjadi menurun [1]. Perlu diperhatikan juga bahwa PLN sebagai penyedia daya listrik menetapkan standar penggunaan nilai faktor daya yaitu 0,85 atau maksimal penggunaan daya reaktif yaitu 0,62 dikalikan dengan daya total yang dimiliki oleh konsumen tersebut. Jika nilai faktor daya yang dimiliki oleh konsumen di bawah dari standar nilai tersebut maka terdapat *penalty* atau denda yang akan diberikan oleh PLN(Perusahaan Listrik Negara) kepada konsumen tersebut [2].

Untuk menghindari hal tersebut maka diperlukan untuk melakukan perbaikan nilai faktor daya yaitu salah satunya dengan memasang kapasitor *bank* yang dapat mengkompensasi penggunaan daya reaktif sehingga konsumen dapat menjaga nilai faktor daya yang dimiliki [3]. Tentunya di dalam pengaplikasiannya terutama bagi industri maka perlu diperhitungkan kembali terutama dari segi nilai ekonomis apakah pemasangan kapasitor bank untuk memperbaiki nilai faktor daya pada beban industri ini akan lebih menguntungkan dibandingkan dengan membayar denda yang dikenakan oleh pihak PLN secara berkala atautakah tidak.

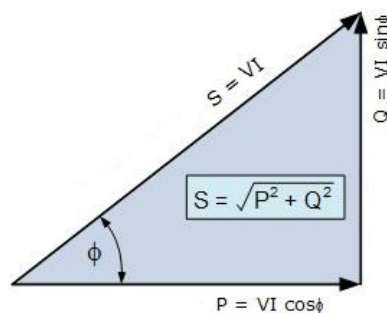
Di dalam penggunaan kapasitor untuk memperbaiki nilai faktor daya, kapasitor berfungsi sebagai penyedia atau sebagai suplai tambahan daya reaktif yang dibutuhkan oleh beban yang bersifat induktif untuk bekerja. Dengan dilakukan pemasangan kapasitor *bank* ini maka penggunaan daya reaktif yang dianggap sebagai rugi – rugi daya dapat dikurangi, sehingga penggunaan beban dapat dimaksimalkan tanpa harus menambah sumber yang baru [4].

1.1. Pengertian Daya

Daya listrik adalah jumlah energi atau tenaga yang dihasilkan atau digunakan didalam sebuah sirkuit atau rangkaian listrik [4]. Di mana sumber tenaga yang berupa tegangan akan menghasilkan daya listrik, sedangkan beban yang digunakan akan menyerap daya yang dihasilkan. Secara singkat daya dapat juga diartikan sebagai jumlah total energi atau tenaga yang dihasilkan untuk melakukan suatu usaha. Besarnya penggunaan beban yang digunakan ditentukan oleh reaktansi (R), induktansi (L), dan kapasitansi (C). Sedangkan banyaknya jumlah pemakaian daya ditentukan oleh jumlah beban yang digunakan.

Secara umum terdapat tiga jenis beban listrik yang mempengaruhi penggunaan daya yaitu beban resistif murni, beban induktif, dan beban kapasitif. Berikut penjelasan mengenai hubungan antara ketiga jenis beban tersebut terhadap daya listrik:

1. Beban resistif atau dapat juga dikatakan sebagai beban murni, karena beban yang bersifat resistif hanya mengandung hambatan murni atau resistor sehingga penggunaan beban ini tidak mengakibatkan pergeseran fase antara arus dan tegangan sehingga arus dan tegangan berada pada kondisi se-fase sehingga nilai faktor daya dikatakan sama dengan 1.
2. Beban induktif yang bersifat positif membutuhkan daya reaktif untuk bekerja. Peralatan yang biasanya mengandung beban bersifat induktif ini misalnya motor listrik, lampu TL, trafo, dan lain-lain.
3. Beban kapasitif yang bersifat negatif menghasilkan daya reaktif. Daya reaktif sendiri merupakan daya yang tidak dapat digunakan sebagai sumber tenaga sehingga sering disebut sebagai rugi – rugi daya, tetapi daya reaktif ini berfungsi untuk mentransmisikan energi listrik pada beban.



Gambar 1. Segitiga daya [5].

Dari Gambar 1 di atas diperlihatkan bagaimana hubungan antara 3 jenis daya listrik yaitu daya aktif, daya reaktif, dan daya semu terhadap besarnya sudut faktor daya [6]. Di sini penggunaan beban induktif yang menghasilkan daya reaktif (Q). Jika semakin besar penggunaannya maka terlihat sudut faktor daya atau ϕ juga akan semakin besar yang berarti nilai faktor daya menurun dikarenakan perbandingan antara daya aktif (P) terhadap daya semu (S) semakin besar. Inilah yang disebut sebagai rugi – rugi daya karena nilai daya aktif (P) atau daya nyata yang dapat digunakan tidak sama dengan nilai daya semu (S) atau total daya sesungguhnya.

1.2. Jenis Daya Listrik

1. Daya Aktif

Daya aktif merupakan daya yang terpakai untuk melakukan kerja yang sebenarnya dan dapat juga dikatakan sebagai daya nyata dan juga daya yang dibutuhkan oleh beban yang bersifat resistif [7]. Penggunaan daya aktif menunjukkan adanya pergerakan dan perubahan energi dari sumber kepada beban. Untuk menghitung nilai dari daya nyata maka dapat digunakan persamaan berikut.

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \quad (1)$$

Keterangan:

P = Daya Aktif (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

$\cos \varphi$ = Faktor Daya Aktif

2. Daya Reaktif

Daya reaktif adalah sebuah daya yang digunakan untuk membangkitkan sebuah medan magnet di dalam sebuah kumparan beban induksi [8]. Daya reaktif disebut juga sebagai rugi – rugi daya karena keberadaannya akan mengurangi jumlah daya aktif yang dapat digunakan dari daya total yang sesungguhnya. Untuk mencari daya reaktif maka dapat digunakan persamaan berikut.

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \varphi \quad (2)$$

Keterangan:

Q = Daya Reaktif (Var)

$\sin \varphi$ = Faktor Daya Reaktif

3. Daya Semu

Daya semu atau bisa disebut sebagai daya total atau *apparent power* secara sederhana dapat diartikan sebagai total keseluruhan daya yang disediakan atau tersedia didalam sebuah rangkaian listrik milik konsumen. Daya semu ini memiliki satuan VA (*volt-ampere*) dan biasa menggunakan notasi S [9]. Untuk mencari nilai daya semu maka dapat digunakan persamaan berikut.

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (3)$$

1.3. Faktor Daya

Faktor daya adalah rasio perbandingan antara Daya aktif (P) terhadap daya sesungguhnya atau daya semu (S) dan dapat dinyatakan ke dalam besaran sudut φ . Faktor daya dinyatakan dalam besaran nilai 0 hingga 1, di mana semakin nilai faktor daya mendekati satu maka dikatakan semakin baik karena sudut perbandingan antara daya aktif terhadap daya semu menjadi semakin kecil.

Dalam kondisi beban yang bersifat murni resistif, maka faktor daya dianggap tidak ada atau dikatakan faktor daya sama dengan satu, karena pada beban yang bersifat murni resistif tidak terjadi pergeseran antara gelombang tegangan dan gelombang arus sehingga gelombang tegangan dan gelombang arus berada dalam kondisi sejajar atau se-fase.

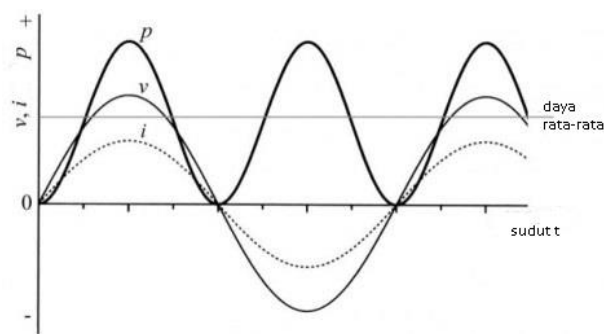
Namun, dalam sebuah rangkaian daya listrik yang memiliki beban induktif dan kapasitif, nilai faktor daya ini akan berpengaruh karena di dalam beban induktif maupun kapasitif akan terjadi pergeseran gelombang yang membuat kondisi arus bisa menjadi tertinggal oleh tegangan (*lagging*) maupun kondisi arus mendahului tegangan (*leading*).

1.3.1. Jenis Faktor Daya

Faktor daya terdiri dari tiga jenis yaitu faktor daya *unity*, faktor daya *lagging*, faktor daya *leading*. Berikut penjelasan mengenai perbedaan jenis faktor daya.

a. Faktor daya *unity*

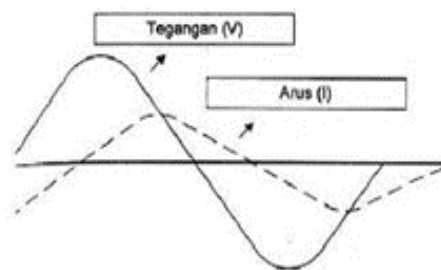
Faktor daya *unity* adalah kondisi di mana di dalam sebuah rangkaian beban listrik gelombang tegangan dan arus berada dalam kondisi yang sejajar atau se-fase, seperti pada gambar 2. Faktor daya ini memiliki beban yang bersifat murni resistif yang terdiri dari komponen yang bersifat resistansi murni atau hambatan murni sehingga tidak memungkinkan terjadinya pergeseran antara gelombang tegangan dan juga arus[10].



Gambar 2. Gelombang Faktor Daya Unity[10].

b. Faktor daya *lagging*

Faktor daya *lagging* ini memiliki nilai $\cos \phi$ yang positif. Karena bersifat menyerap daya reaktif pada rangkaian daya, maka dengan adanya faktor daya *lagging* seperti pada Gambar 3. merupakan sebuah rugi – rugi, karena dapat memperbesar penggunaan daya reaktif yang ada di dalam sebuah rangkaian daya. Keadaan tersebut membuat arus pada beban menjadi meningkat dan juga dapat menimbulkan jatuh tegangan didalam rangkaian daya itu sendiri, sehingga faktor daya *lagging* ini harus dikontrol keadaannya [11].

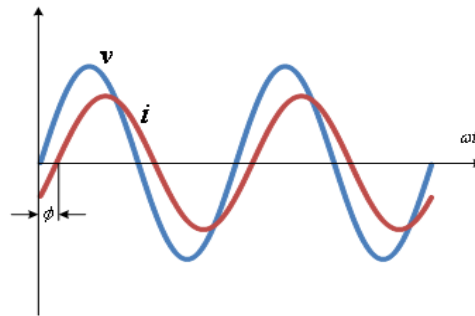


Gambar 3. Gelombang Faktor Daya *lagging*[10].

c. Faktor daya *leading*

Faktor daya mendahului atau faktor daya *leading* adalah kondisi rangkaian daya beban yang dimiliki cenderung bersifat kapasitif. Dengan beban yang cenderung kapasitif, maka sesuai dengan sifat bebannya yang membuat gelombang arus akan mendahului terhadap

gelombang tegangan. Faktor daya *leading* ini bersifat menciptakan daya reaktif dan memiliki arah yang berlawanan dari faktor daya *lagging* dikarenakan sifat beban kapasitif yang berlawanan dengan beban induktif seperti gambar di bawah ini.



Gambar 4. Gelombang Faktor Daya *Leading*[10].

1.3.2. Perbaikan Nilai Faktor Daya

Perbaikan nilai faktor daya dapat dilakukan salah satunya dengan memasang kapasitor *bank* sebagai komponen untuk mengkompensasi penggunaan daya reaktif pada sumber. Kapasitor yang bersifat kapasitif akan menghasilkan daya reaktif yang dapat digunakan sebagai suplai daya reaktif tambahan di dalam sebuah rangkaian. Kompensasi daya reaktif (Q) yang dibutuhkan untuk mencapai nilai faktor daya (PF) yang diinginkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Q_c = P \times (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \quad (4)$$

Keterangan:

Q_c = Kompensasi Daya Reaktif (kVAR)

P = Daya Aktif (kW)

$\tan \phi_1$ = Faktor Daya Awal

$\tan \phi_2$ = Faktor Daya Kedua

1.4. Kapasitor Bank

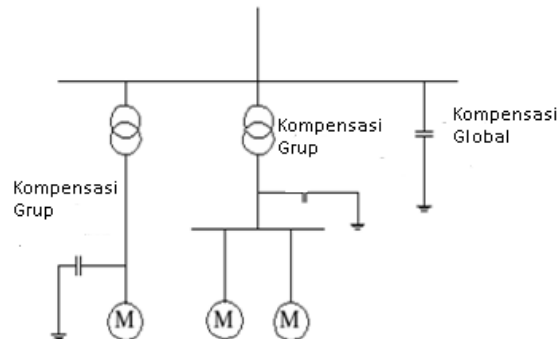
Kapasitor bank seperti pada Gambar 5, merupakan sebuah komponen elektronik yang digunakan untuk memperbaiki nilai faktor daya, yang akan mempengaruhi nilai daya reaktif sehingga memberikan keuntungan di dalam melakukan pemasangannya [12] yaitu:

- Meningkatkan kemampuan jaringan dalam mendistribusikan daya listrik.
- Mengurangi besarnya kemungkinan terjadi drop tegangan.
- Mengurangi naiknya arus/suhu pada kabel sehingga dapat mengurangi rugi



Gambar 5. Panel Kapasitor Bank

Di dalam pemasangan kapasitor bank bertujuan untuk memperbaiki nilai faktor daya dalam sebuah rangkaian listrik, terdapat tiga jenis metode yang digunakan dalam meletakkan kapasitor didalam sebuah rangkaian beban yaitu *individual compensation*, *group compensation*, dan *central compensation* [13]. Di mana salah satu metodenya dapat dilihat pada Gambar 6.



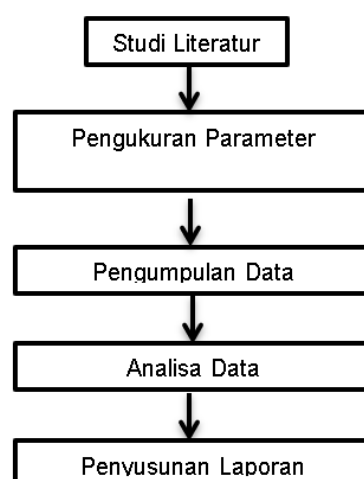
Gambar 6. Metode Pemasangan Kapasitor Bank [14].

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini penulis akan dilakukan analisa mengenai pengaruh kapasitor bank terhadap perbaikan nilai faktor daya di dalam sebuah industri beserta tinjauan dari segi ekonomi teknis yang didapatkan dalam pemasangan kapasitor bank dengan tujuan untuk memperbaiki nilai faktor daya pada kegiatan industri. Berikut ini adalah alat dan bahan yang digunakan di dalam penelitian ini:

1. *Power Analyzer* alat untuk pengambilan data nilai daya yang dibutuhkan.
2. Laptop untuk melakukan penulisan dan penyusunan laporan penelitian.
3. *Software Ms.Office* sebagai media untuk menyusun laporan penelitian.
4. Jurnal ilmiah dari penelitian sebelumnya mengenai judul dan konsep yang berkaitan sebagai bahan referensi.
5. Data yang sudah diambil pada saat proses pengumpulan data.

Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram Tahapan Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Sebelum Perbaikan Faktor Daya

Nilai faktor daya awal yang ada sebelum perbaikan adalah sekitar 0,59 sebagaimana Tabel 1. Nilai ini tentu masih jauh di bawah nilai standar yang sudah ditentukan yaitu 0,85 sehingga masih diperlukan perbaikan nilai faktor daya atau kompensasi nilai daya reaktif sehingga dapat memperbaiki nilai faktor daya yang digunakan.

Tabel 1. Penggunaan Daya

Minggu	kW	kVAR	kVA	$\cos \varphi$
Pertama	21,45	11,63	35,51	0,60
Kedua	21,31	11,83	36,52	0,58
Ketiga	22,12	11,47	36,83	0,60
Keempat	21,86	11,62	36,74	0,59
Kelima	22,51	11,51	36,85	0,61
Keenam	22,26	11,48	36,43	0,61
Ketujuh	22,48	11,33	36,2	0,62
Kedelapan	22,42	10,91	36,38	0,58
Rata - rata	21,92	11,47	36,43	0,59

Setelah dianalisis selama 8 minggu, maka dapat diketahui perubahan kompensasi nilai daya reaktif yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kompensasi Daya Reaktif

Minggu	$\cos \varphi_1$	$\cos \varphi_2$	Q_c
Pertama	0,60	0,95	21,514
Kedua	0,58	0,95	22,886
Ketiga	0,60	0,95	22,186
Keempat	0,59	0,95	22,690
Kelima	0,61	0,95	21,789
Keenam	0,61	0,95	21,547
Ketujuh	0,62	0,95	21,018
Kedelapan	0,58	0,95	24,079
Rata – rata	0,59	0,95	22,213

3.2 Analisa Kompensasi Daya Reaktif

- Minggu Pertama

Diketahui:

$$P = 21,45 \text{ kW}$$

$$\cos \varphi_1 = 0,60$$

$$\cos \varphi_2 = 0,95$$

Sehingga:

$$\varphi_1 = \cos^{-1} \varphi = 53,13$$

$$\varphi_2 = \cos^{-1} \varphi = 18,19$$

$$\tan \varphi_1 = 1,333$$

$$\tan \varphi_2 = 0,33$$

$$\begin{aligned}
 Q_c &= P \times (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \\
 &= 21,45 \times (1,333 - 0,33) \\
 &= 21,514 \text{ kVAR}
 \end{aligned}$$

- Minggu Kedua

$$\begin{aligned}
 P &= 21,31 \text{ kW} \\
 \cos \varphi_1 &= 0,58 \\
 \cos \varphi_2 &= 0,95 \\
 \text{Sehingga:} \\
 \tan \varphi_1 &= 1,404 \\
 \tan \varphi_2 &= 0,33 \\
 Q_c &= P \times (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \\
 &= 21,31 \times (1,404 - 0,33) \\
 &= 22,886 \text{ kVAR}
 \end{aligned}$$

- Minggu Ketiga

$$\begin{aligned}
 P &= 22,12 \text{ kW} \\
 \cos \varphi_1 &= 0,60 \\
 \cos \varphi_2 &= 0,95 \\
 \text{Sehingga:} \\
 \tan \varphi_1 &= 1,333 \\
 \tan \varphi_2 &= 0,33 \\
 Q_c &= P \times (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \\
 &= 22,12 \times (1,333 - 0,33) \\
 &= 22,186 \text{ kVAR}
 \end{aligned}$$

- Minggu Keempat

$$\begin{aligned}
 P &= 21,86 \text{ kW} \\
 \cos \varphi_1 &= 0,59 \\
 \cos \varphi_2 &= 0,95 \\
 \text{Sehingga:} \\
 \tan \varphi_1 &= 1,368 \\
 \tan \varphi_2 &= 0,33 \\
 Q_c &= P \times (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \\
 &= 21,86 \times (1,368 - 0,33) \\
 &= 22,69 \text{ kVAR}
 \end{aligned}$$

- Minggu Kelima

$$\begin{aligned}
 P &= 22,51 \text{ kW} \\
 \cos \varphi_1 &= 0,61 \\
 \cos \varphi_2 &= 0,95 \\
 \text{Sehingga:} \\
 \tan \varphi_1 &= 1,298 \\
 \tan \varphi_2 &= 0,33 \\
 Q_c &= P \times (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \\
 &= 22,51 \times (1,298 - 0,33) \\
 &= 21,789 \text{ kVAR}
 \end{aligned}$$

- Minggu Keenam

$$\begin{aligned}
 P &= 22,26 \text{ kW} \\
 \cos \varphi_1 &= 0,61 \\
 \cos \varphi_2 &= 0,95
 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\tan \varphi_1 = 1,298$$

$$\tan \varphi_2 = 0,33$$

$$\begin{aligned} Q_c &= P \times (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \\ &= 22,26 \times (1,298 - 0,33) \\ &= 21,547 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

- Minggu Ketujuh

$$P = 22,48 \text{ kW}$$

$$\cos \varphi_1 = 0,62$$

$$\cos \varphi_2 = 0,95$$

Sehingga:

$$\tan \varphi_1 = 1,265$$

$$\tan \varphi_2 = 0,33$$

$$\begin{aligned} Q_c &= P \times (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \\ &= 22,48 \times (1,265 - 0,33) \\ &= 21,018 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

- Minggu Kedelapan

$$P = 22,42 \text{ kW}$$

$$\cos \varphi_1 = 0,58$$

$$\cos \varphi_2 = 0,95$$

Sehingga:

$$\tan \varphi_1 = 1,404$$

$$\tan \varphi_2 = 0,33$$

$$\begin{aligned} Q_c &= P \times (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \\ &= 22,42 \times (1,404 - 0,33) \\ &= 24,079 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

3.3 Perhitungan Penggunaan Kapasitor

Berdasarkan data analisa perhitungan sebelumnya, yang mana mendapatkan hasil nilai kompensasi daya reaktif(Q) sebesar 22,213 kVAR. Sehingga untuk perencanaan pemasangan kapasitor bank nantinya akan digunakan satu modul dengan enam buah kapasitor bank yang masing-masing kapasitor bank akan mengoreksi daya reaktif sebesar 5 kVAR dengan susunan atau konfigurasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q_{\text{total}} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \\ 30 &= 5 + 5 + 5 + 5 + 5 + 5 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

- Dengan menggunakan persamaan:

$$I = \frac{kVAR}{V} \quad (5)$$

Sehingga:

$$\text{Daya reaktif} = 5 \text{ kVAR} = 5000 \text{ VAR}$$

$$\text{Tegangan rata – rata} = 185,28 \text{ V}$$

$$\text{Frekuensi} = 50 \text{ Hz}$$

Maka arus kapasitor (I_c):

$$I = \frac{5000}{185,28}$$

$$I = 26,98 \text{ A}$$

- Reaktansi kapasitif (X_c) adalah:

$$X = \frac{V}{I_c} \quad (6)$$

$$X = \frac{185,28}{26,98}$$

$$X = 6,86 \text{ Ohm}$$

- Kapasitor yang diperlukan:

$$C = \frac{1}{2\pi \times F \times X_c} \quad (7)$$

$$C = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 6,86}$$

$$C = \frac{1}{2.154,86}$$

$$C = 46 \times 10^{-4} \text{ F}$$

$$C = 46 \text{ microfarad}$$

3.4 Analisa Efek Ekonomis

3.4.1 Biaya tanpa kompensasi pada pemakaian bulan pertama

- Pemakaian bulan pertama:

$$\begin{aligned} \text{Waktu pemakaian} &= 24 \text{ jam} \\ \text{Lamanya pemakaian} &= 30 \text{ hari} \\ \text{Rata – rata pemakaian} &= 21,685 \text{ kW} \\ \text{Jumlah pemakaian:} \\ 24 \times 30 \times 21,685 &= 15.613,2 \text{ kWh} \end{aligned}$$

- Batas kVARh yang dibebaskan oleh PLN pada kondisi standar ($\cos \phi = 0,85$)
 $= 0,62 \times 15613,2$
 $= 9.680,184 \text{ kVARh}$
- Perbedaan biaya tanpa kompensasi pada $\cos \phi =$ rata-rata $\cos \phi$ bulan pertama yaitu 0,59
 $= \text{Daya beban} \times \tan \phi$
 $= 15.613,2 \times 1,36$
 $= 21.233,952$
- Maka berdasarkan tarif dasar listrik(TDL) pada tahun 2021 sesuai dengan golongan yaitu golongan P-1 / TR daya 6600VA – 200 kVA, maka jumlah pemakaian kelebihan daya reaktif adalah:
 $= (21233,952 - 9680,184) \times \text{Rp.}1444,70/\text{kWh}$
 $= 11.553,766 \times \text{Rp.}1444,70 / \text{kWh}$
 $= \text{Rp.}16.691.725$

3.4.2 Biaya tanpa kompensasi pada pemakaian bulan kedua

- Pemakaian bulan kedua:

Waktu pemakaian = 24 jam
 Lamanya pemakaian = 30 hari
 Rata – rata pemakaian = 22,417 kW
 Jumlah pemakaian:
 $24 \times 30 \times 21,417 = 16.140,6 \text{ kWh}$

- Batas kVARh yang dibebaskan oleh PLN pada kondisi standar ($\cos \phi = 0,85$)
 $= 0,62 \times 16.140,6$
 $= 10.007,6 \text{ kVARh}$

- Perbedaan biaya tanpa kompensasi pada $\cos \phi = \text{rata – rata } \cos \phi$ bulan kedua yaitu 0,60
 $= \text{Daya beban} \times \tan \phi$
 $= 16.140,6 \times 1,33$
 $= 21.466,998 \text{ kVARh}$

- Maka berdasarkan tarif dasar listrik(TDL) pada tahun 2021 sesuai dengan golongan yaitu golongan P-1 / TR daya 6600VA – 200 kVA, maka jumlah pemakaian kelebihan daya reaktif adalah:
 $= (21.466,998 - 10.007,6) \times \text{Rp.}1444,70/\text{kWh}$
 $= 11.459,398 \times \text{Rp.}1444,70 / \text{kWh}$
 $= \text{Rp.}16.555.392$

Sehingga total pembayaran daya reaktif adalah:

$\text{Rp.}16.691.725 + \text{Rp.}16.555.392 = \text{Rp.} 33.247.117$

3.4.3 Biaya tanpa kompensasi pada pemakaian bulan pertama

- Pemakaian bulan pertama:

Waktu pemakaian = 24 jam
 Lamanya pemakaian = 30 hari
 Rata – rata pemakaian = 21,685 kW
 Jumlah total pemakaian:
 $24 \times 30 \times 21,685 = 15.613,2 \text{ kWh}$

- Batas kVARh yang dibebaskan oleh PLN pada kondisi standar($\cos \phi = 0,85$)
 $= 0,62 \times 15.613,2$
 $= 9.680,184 \text{ kVARh}$

- Perbedaan biaya dengan kompensasi nilai $\cos \phi 0,95$ maka $\tan \phi = 0,33$ dan daya reaktif yang terpakai:
 $\text{Daya beban} \times \tan \phi$
 $= 15.613,2 \times 0,33$
 $= 5.152,356 \text{ kVARh}$

Denda pemakaian daya reaktif:

$= (5.152,356 - 9.680,184) \times \text{Rp.}1.444,70 / \text{kWh}$
 $= -6.541.353,11$

Hasil bernilai negatif berarti tidak ada pembayaran denda akibat kelebihan pemakaian daya reaktif.

3.4.4 Biaya tanpa kompensasi pada pemakaian bulan kedua

Waktu pemakaian = 24 jam

Lamanya pemakaian = 30 hari

Rata – rata pemakaian = 22,417 kW

Jumlah total pemakaian:

$24 \times 30 \times 22,417 = 16.140,24 \text{ kWh}$

- Batas kVARh yang dibebaskan oleh PLN pada kondisi standar ($\cos \phi = 0,85$)

$= 0,62 \times 16.140,24$

$= 10.006,94 \text{ kVARh}$

- Perbedaan biaya dengan kompensasi nilai $\cos \phi 0,95$ maka $\tan \phi = 0,33$ dan daya reaktif yang terpakai:

Daya beban $\times \tan \phi$

$= 16.140,24 \times 0,33$

$= 5.326,279 \text{ kVARh}$

Denda pemakaian daya reaktif:

$= (5.326,279 - 10.006,94) \times \text{Rp.}1.444,70 / \text{kWh}$

$= -6.762.150,95$

Hasil bernilai negatif berarti tidak ada pembayaran denda akibat kelebihan pemakaian daya reaktif. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan melakukan kompensasi nilai daya reaktif dapat menghindari denda pembayaran pemakaian daya reaktif berlebih.

3.5 Analisa Biaya Investasi

Berdasarkan dari *Comercial Offering* dari P.T. Schneider Indonesia yang mengungkapkan bahwa harga untuk melakukan kompensasi faktor daya yang terdiri dari panel, proteksi, *control device*, *switching system*, dan unit kapasitor 5500 kVAR / 6,6 kV adalah sebesar Rp.28.850.672 / unit[15]. Sehingga dari nilai tersebut dapat ditentukan nilai dari ROI (*Return Of Investment*) atau biaya pengembalian nilai investasi dengan menggunakan persamaan berikut:

$$ROI (\text{Return Of Investment}) = \frac{\text{Biaya Investasi}}{\text{Penghematan}}$$

Biaya Investasi = Rp.28.850.672. x 6 Unit

= Rp.173.104.032

Penghematan

= Rp.16.623.558

Sehingga:

$$ROI = \frac{173.104.032}{16.623.558/\text{Bulan}}$$

$ROI = 10,413$

$= \pm 10 \text{ Bulan}$

Dari perhitungan penghematan biaya di atas maka dapat diketahui bahwa dari pemasangan kapasitor bank adalah sebesar Rp.28.850.672,00 per unit dan berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan sebelumnya maka untuk perbaikan nilai faktor daya dibutuhkan sebanyak 6 unit kapasitor sehingga membutuhkan biaya sebesar Rp.173.104.032,00.

Sedangkan jika tidak dilakukan perbaikan nilai faktor daya mengeluarkan biaya sebesar Rp.16.623.558,00 per bulan sebagai denda pemakaian beban reaktif yang digunakan oleh perusahaan tersebut. Sehingga dari hasil perhitungan ROI (*Return Of Investment*) dibutuhkan waktu sebanyak 10 bulan jika ingin mengembalikan biaya investasi pemasangan kapasitor bank tersebut.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka mendapatkan hasil rata-rata penggunaan nilai daya yaitu daya aktif, daya reaktif dan daya semu dari total delapan minggu pengumpulan data adalah nilai daya aktif (P) = 21,92 kW, daya reaktif (Q) = 11,47 kVAR, dan nilai rata – rata daya semu (S) = 36,43 kVA dengan rata-rata nilai faktor daya ($\cos \phi$) = 0,59. Kemudian setelah dilakukan perbaikan nilai faktor daya dengan cara mengkompensasi penggunaan nilai daya reaktif dengan nilai faktor daya target atau $\cos \phi_2 = 0,95$ maka didapatkan kompensasi nilai daya reaktif sebesar 22,213 kVAR. Dari hasil perhitungan analisa efek ekonomis dengan biaya tanpa kompensasi maka didapatkan total hasil pembayaran kelebihan penggunaan daya reaktif sebesar Rp.33.247.117. Dan dari hasil analisa *return of investment* untuk mengkompensasi daya reaktif maka diperlukan 6 unit kapasitor bank dengan biaya pemasangan sebesar Rp.173.104.032 dengan melakukan penghematan sebesar Rp.16.623.558 maka diperlukan jangka waktu sekitar 10 bulan untuk mengembalikan biaya investasi dari pemasangan kapasitor bank untuk memperbaiki nilai faktor daya pada beban industri.

Daftar Pustaka

- [1] İnci, M. (2020). Active/reactive energy control scheme for grid-connected fuel cell system with local inductive loads. *Energy*, 197, 117191.
- [2] Harold, B. (2016). Analisis Penempatan Capacitor Bank Untuk Meningkatkan Faktor Daya Akibat Pemasangan Distributed Generation (DG) Pada Jaringan Distribusi Radial Menggunakan Metode Genetic Algorithm (GA) (*Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*).
- [3] Davoodi, A., Abbasi, A. R., & Nejatian, S. (2021). Multi-objective dynamic generation and transmission expansion planning considering capacitor bank allocation and demand response program constrained to flexible-secure clean energy. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47, 101469.
- [4] Elmitwally, A., Elgamal, M., & Al-Zyoud, A. (2021). A linearized MOV model-based method for fault location on off-terminal series capacitor bank-compensated transmission line using one-end current. *Electric Power Systems Research*, 199, 107400.
- [5] Rusda, R., Karim, K., & Masing, M. (2018, January). Analisis Perbaikan Faktor Daya Untuk Penghematan Energi Listrik Pada Politeknik Negeri Samarinda. In *Prosiding Seminar Nasional Teknologi, Inovasi dan Aplikasi di Lingkungan Tropis*, 1(1), 1-9.
- [6] Barlian, T., Apriani, Y., Savitri, N., & Hurairah, M. (2020). Analisis Kapasitor Bank Untuk Memperbaiki Tegangan. *Jurnal Surya Energy*, 4(2), 391-396.
- [7] Howlader, A. M., Sadoyama, S., Roose, L. R., & Chen, Y. (2020). Active power control to mitigate voltage and frequency deviations for the smart grid using smart PV inverters. *Applied Energy*, 258, 114000.
- [8] Zhou, Y., Li, Z., & Wang, G. (2021). Study on leveraging wind farms' robust reactive power range for uncertain power system reactive power optimization. *Applied Energy*, 298, 117130.
- [9] da Silva Benedito, R., Zilles, R., & Pinho, J. T. (2021). Overcoming the power factor

- apparent degradation of loads fed by photovoltaic distributed generators. *Renewable Energy*, 164, 1364-1375.
- [10] L. Di and P. T. Bogowonto. 2019. Menggunakan Simulink pada Sistem Tenaga, 12(1).
 - [11] Windu, N. H., Herri, G., Lukmanul, H., & Khairudin, K. (2017). Optimasi Perbaikan Faktor Daya dan Drop Tegangan Menggunakan Kapasitor Bank Line 5 PT. Bukit Asam.
 - [12] Almanda, D., & Majid, N. (2019). Studi Analisa Penyebab Kerusakan Kapasitor Bank Sub Station Welding di PT. Astra Daihatsu Motor. *RESISTOR (elektRonika kEndali telekomunikaSI tenaga liSTrik kOmputeR)*, 2(1), 7-14.
 - [13] Home-Ortiz, J. M., Vargas, R., Macedo, L. H., & Romero, R. (2019). Joint reconfiguration of feeders and allocation of capacitor banks in radial distribution systems considering voltage-dependent models. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 107, 298-310.
 - [14] Mudjiono, M., Ridzki, I., & Surya, P. (2021). Aplikasi Particle Swarm Optimization Pada Pemasangan Kapasitor Bank Pada Jaringan Distribusi. *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 8(3), 65-71.
 - [15] S. S. Satu, N. Nim, Y. Eryuhanggoro, P. Studi, and T. Elektro. (2013) Perancangan Perbaikan Faktor Daya pada Beban 18,956 kW/ 6,600 V, Tugas Akhir.