

Analisis Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor Bank Di Plant 6 PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. Unit Citeureup

Ibnu Hajar¹, Suninda Megi Rahayuni¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Institut Teknologi PLN, Jakarta.

Informasi Artikel

Naskah Diterima : 12 Mei 2020

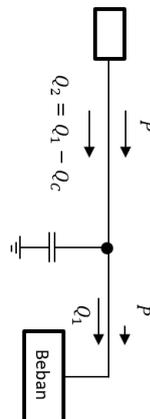
Direvisi : 29 Mei 2020

Disetujui : 15 Juni 2020

*Korespondensi Penulis :

ibnu.hjr@gmail.com

Graphical abstract



Abstract

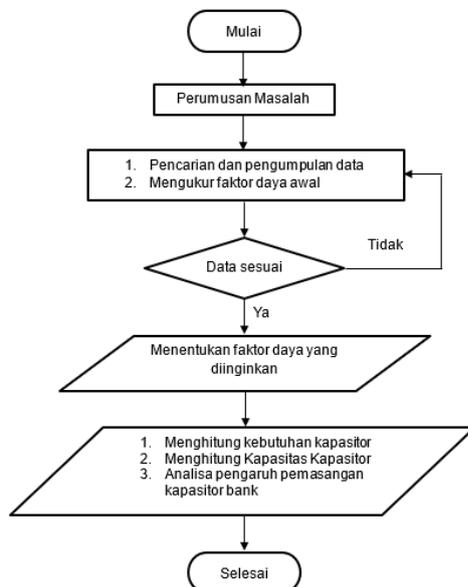
PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. is a company that produces cement. Large electrical power requirements are a major factor in running production process. The low power factor caused load system in Plant 6 not to run optimally. For industries, low power factor conditions could not be avoided due to varying motor loads. The power factor improvement used capacitor banks. The power factor is the ratio of active power with apparent power. Capacitor banks are a set of several capacitors connected in parallel to improve the quality of electrical power by increasing the power factor. This study used a quantitative method in which there was clarity of purpose, approach, data sample, and abundantly use of number. Moreover, data analysis was undertaken after all data had been collected. By raising the $\cos \phi$ to 0.95, for the main feeder AA 5 (from main transformer 6.1), a capacitor of banks with a capacity of 6172.33 kVAR must be installed, and for main feeder AA 8 (from main transformer 6.2), a capacitor of banks with a capacity of 5388.88 kVAR must be installed in order that the quality power produced was more optimal.

Keywords: power factor, capacitor bank, power quality

Abstrak

PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. merupakan perusahaan yang memproduksi semen. Kebutuhan daya listrik yang besar merupakan faktor utama dalam berjalannya proses produksi. Faktor daya yang rendah mengakibatkan pembebanan di Plant 6 ini tidak berjalan dengan maksimal. Bagi industri kondisi faktor daya rendah tidak dapat dihindari karena beban motor yang bervariasi. Perbaikan faktor daya ini menggunakan kapasitor bank. Faktor daya merupakan perbandingan daya aktif dengan daya semu. Kapasitor bank adalah sekumpulan beberapa kapasitor yang disambung secara paralel untuk memperbaiki kualitas daya listrik dengan menaikkan faktor daya [1]. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dimana terdapat kejelasan tujuan, pendekatan, sampel data, banyak menggunakan angka, dan analisis data dilakukan sesudah semua data terkumpul. Dengan menaikkan $\cos \phi$ menjadi 0,95, untuk main feeder AA 5 (from main transformer 6.1) harus dipasang kapasitor bank berkapasitas 6172,33 kVAR dan untuk main feeder AA 8 (from main transformer 6.2) harus dipasang kapasitor bank berkapasitas 5388,88 kVAR agar kualitas daya yang dihasilkan lebih optimal.

Kata kunci: faktor daya, kapasitor bank, kualitas daya



© 2020 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Pada suatu industri dibutuhkan penggunaan energi listrik dengan kapasitas besar. Penyaluran energi listrik sering menimbulkan masalah karena faktor daya pada beban terpasang cukup rendah diakibatkan penggunaan beban induktif cukup besar. Beban induktif diantaranya yaitu transformator,

motor induksi, lampu TL dan lain-lain. Beban dikatakan induktif apabila beban tersebut membutuhkan daya reaktif dan disebut kapasitif apabila menghasilkan daya reaktif. Dengan meningkatnya beban yang bersifat induktif maka daya reaktif yang sangat besar diperlukan sehingga pembangkit listrik harus mensuplai daya yang besar. Dengan begitu diperlukan perbaikan faktor daya menggunakan kapasitor bank [1].

1.1 Faktor Daya

Faktor daya adalah perbandingan antara daya aktif (W) dengan daya semu (VA), atau cosinus sudut antara daya aktif dan daya semu [2]. Menurut sejarahnya, penggunaan konsep daya semu dan faktor daya diperkenalkan oleh kalangan industri penyedia daya listrik, yang bisnisnya memindahkan energi listrik dari satu titik ke titik lain. Efisiensi proses pemindahan daya listrik ini terkait langsung dengan biaya energi listrik yang pada gilirannya menjelma menjadi biaya yang harus dibayarkan oleh konsumen. Hal yang mempengaruhi perpindahan energi listrik tersebut adalah faktor daya. Untuk mencapai efisiensi pemindahan energi 100 % maka rangkaian harus memiliki faktor daya sebesar 1 [3]. Namun hal ini sulit dicapai karena adanya rugi-rugi yang ditimbulkan oleh penghantar listrik, terutama beban induktif.

1.2 Kapasitor Bank

Kapasitor bank adalah sekumpulan beberapa kapasitor yang disambung secara paralel untuk memperbaiki kualitas daya listrik dengan menaikkan faktor daya ($\cos \phi / \cos \phi_i$). Besaran yang dipakai untuk kapasitor ini adalah *Kilo Volt Ampere Reaktif* (kVAR). Kapasitor memiliki sifat listrik yang kapasitif sehingga mempunyai sifat mengurangi / menghilangkan terhadap sifat induktif. Dengan dasar inilah nilai faktor daya dapat diperbaiki. Sebelum dipasang kapasitor bank, daya aktif (kW) dan daya reaktif (kVAR) yang diserap oleh beban induktif seluruhnya disuplai oleh sentral listrik (Trafo PLN), sehingga daya semu (kVA) dari sentral harus besar. Setelah pemasangan kapasitor bank, seluruh atau sebagian daya reaktif yang diperlukan oleh beban induktif akan disuplai oleh kapasitor bank. Sehingga tugas sentral listrik akan menjadi lebih ringan karena hanya menyuplai daya aktif saja.

1.3 Metode Pemasangan Kapasitor Bank

Cara pemasangan instalasi kapasitor untuk kapasitas tegangan rendah dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu:

a. Global Compensation

Metode ini kapasitor dipasang di induk panel (MDP / *Main Distribution Panel*). Arus reaktif yang mengalir dari pemasangan model ini hanya di penghantar antara panel MDP dan transformator. Sedangkan arus yang lewat setelah MDP tidak turun dengan demikian rugi akibat disipasi panas pada penghantar setelah MDP tidak terpengaruh [3].

b. Sectoral Compensation

Metode ini kapasitor yang terdiri dari beberapa panel kapasitor dipasang di panel SDP (*Sub Distribution Panel*). Cara ini cocok diterapkan pada industri dengan kapasitas beban terpasang besar sampai ribuan KVA dan terlebih jarak antara panel MDP dan SDP cukup berjauhan [4].

c. Individual Compensation

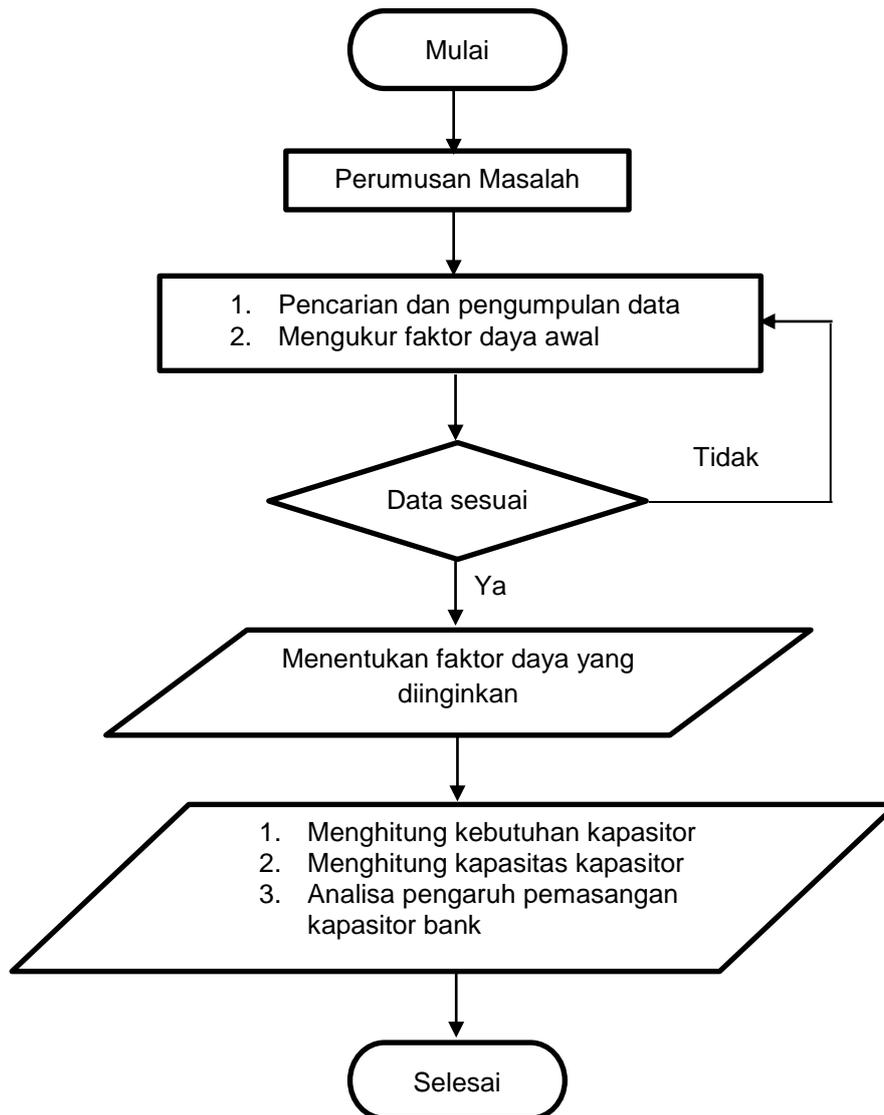
Metode ini kapasitor langsung dipasang pada masing masing beban khususnya yang mempunyai daya yang besar [5]. Cara ini sebenarnya lebih efektif dan lebih baik dari segi teknisnya. Namun ada kekurangannya yaitu harus menyediakan ruang atau tempat khusus untuk meletakkan kapasitor tersebut sehingga mengurangi nilai estetika [6]. Disamping itu jika mesin yang dipasang sampai ratusan buah berarti total biaya yang diperlukan lebih besar dari kedua metode diatas.

2. METODE PENELITIAN

Energi listrik yang tersedia di Plant 6 disuplai dari *Utility Division (Power Station)* dan PLN 150 kV. Energi listrik tersebut dikirim dengan menggunakan tegangan 33 kV yang kemudian diterima oleh 2 unit transformator daya (*main transformer*) 33kV/6.6kV yang masing-masing berkapasitas 22,5 MVA yang berada di *main switchgear Plant 6*. Kemudian energi listrik tersebut didistribusikan dengan menggunakan tegangan 6.6 kV ke area *storage hall, raw mill, kiln, cement mill, dan packing house* serta area operasional lainnya yang berada di *Plant 6* sesuai kebutuhan untuk proses produksi semen.

2.1 Diagram Alir Penelitian

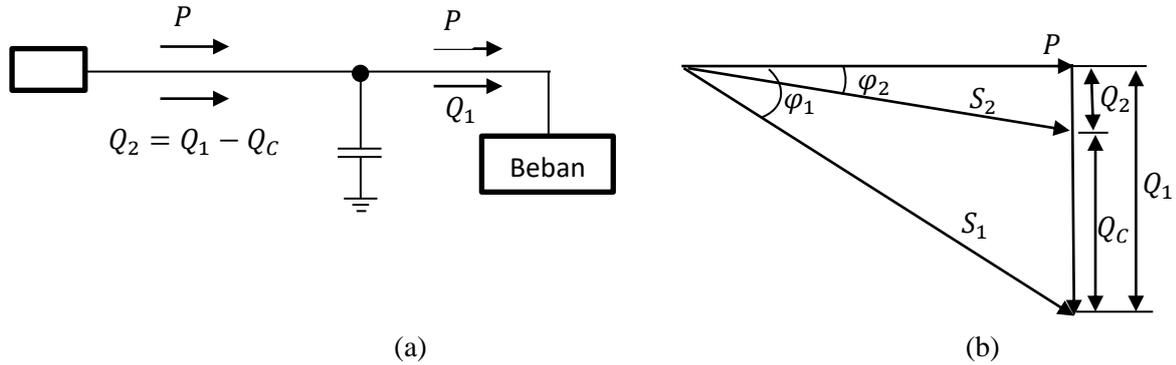
Secara sederhana proses penelitian perbaikan factor daya menggunakan kapasitor bank di Plant PT. Indocement Tunggal Prakasa Tbk. Unit Citeureup dapat dijelaskan melalui diagram alir pada Gambar 2.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Metode Perhitungan Kebutuhan Kapasitor Untuk Perbaikan Faktor Daya

Analisa data yang dilakukan untuk menentukan kebutuhan kapasitor pada peningkatan faktor daya dapat dilakukan dengan metode sebagai berikut [7].



Gambar 2. Ilustrasi Perbaikan Faktor Daya

Pada gambar 3.1, digambarkan bagaimana ilustrasi perbaikan faktor daya dari sistem. Dari gambar, terlihat bahwa kapasitor merupakan sumber daya reaktif – kapasitif, dan akan menekan daya reaktif dari beban.

Dengan asumsi bahwa beban disuplai oleh daya nyata (P), daya reaktif (Q₁), dan daya semu (S₁), maka persamaan faktor daya ditunjukkan pada persamaan [8] :

$$\cos\phi_1 = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_1^2}}$$

Bila kapasitor parallel dengan kapasitas Q_C kVAR dipasang pada sisi beban, maka faktor dayanya diperbaiki menjadi :

$$\cos\phi_2 = \frac{P}{S_2} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_2^2}}$$

atau

$$\cos\phi_2 = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_1 - Q_C)^2}}$$

Bila faktor daya awal disebut $\cos\phi_1$ dan diperbaiki menjadi $\cos\phi_2$ maka besarnya kapasitor = Q_C dapat ditentukan sebagai berikut [9]:

$$Q_C = P(\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \text{ kVAR}$$

dimana :

- S₁ = Daya semu awal (sebelum dikompensasi) (VA)
- P = Daya aktif beban (Watt)
- cosφ₁ = Faktor daya awal (sebelum dikompensasi) (Rad/Deg)
- Q₁ = Daya reaktif (sebelum dikompensasi) (VAR)
- S₂ = Daya semu yang diinginkan (setelah dikompensasi) (VA)
- cosφ₂ = Faktor daya yang diharapkan (Rad/Deg)
- Q₂ = Daya reaktif yang setelah dikompensasi (VAR)
- Q_C = Rating kapasitor (kVAR)



2.3 Perhitungan Nilai Kapasitas Kapasitor

Kapasitor adalah komponen yang hanya dapat menyimpan dan memberikan energi yang terbatas yaitu sesuai dengan kapasitasnya, pada dasarnya kapasitor terdiri atas dua keping sejajar yang dipisahkan oleh medium dielektrik. Kapasitor pada sistem daya listrik menimbulkan daya reaktif untuk memperbaiki tegangan dan faktor daya, karenanya memasang/menambah kapasitor pada sistem jaringan listrik akan mengurangi kerugian daya listrik [10]. Dalam kapasitor seri daya reaktif sebanding dengan kuadrat arus beban, sedangkan pada kapasitor paralel sebanding dengan kuadrat tegangan. Pemasangan komponen kapasitor seri dan paralel pada jaringan distribusi listrik mengakibatkan kerugian (*losses*) aliran daya reaktif pada jaringan dapat dikurangi sehingga kebutuhan arus menurun dan tegangan mengalami kenaikan sehingga kapasitas sistem jaringan bertambah [11]. Kapasitor seri tidak digunakan secara luas dalam jaringan distribusi, karena adanya berbagai permasalahan resonansi distribusi dalam transformator [12].

Untuk menghitung besarnya nilai kapasitas kapasitor dapat digunakan rumus [13] :

$$C = \frac{Q_C}{V^2 \times \omega}$$

dimana :

- C = Kapasitas kapasitor (Farad)
- Qc = Daya reaktif kapasitor (Var)
- V = Tegangan (Volt)
- $\omega = 2\pi f$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data beban

Data berikut adalah data yang tertera pada *power quality monitor analyser* di *Main Substation Plant 6*.

Tabel 1. Data Beban Pada Main Feeder Di Plant 6 (Main Transformer 6.1)

Cos φ = 0.79							
No	Feeder	Description	kV	I (A)	kVA	kW	kVAR
	AA 5 (3P1 1S1 UC1)	Feeder From Main Transformer 6.1					
1	AA 0 (5P21 TR1)	Feeder For Packing	6.6	57.33	655.35	517.73	401.80
2	AA 1 (3P1 1S1 UC2)	Feeder For Raw Mill	6.6	644.00	7361.69	5815.74	4513.50
3	AA 2 (3P1 1S1 UC3)	Feeder For Heat Exchanger	6.6	522.33	5970.86	4716.98	3660.77
4	AA 3 (3P1 1S1 UC4)	Feeder For Kiln Cooler	6.6	209.33	2392.89	1890.39	1467.09
5	AA 4 (3P1 1T1 UC1)	Feeder For Auxiliary Service	6.6	94.80	1083.68	856.11	664.40
Total				1527.79	17464.47	13796.95	10707.56



Tabel 2. Data Beban Pada Main Feeder Di Plant 6 (Main Transformer 6.2)

Cos φ = 0.77								
No	Feeder	Description	kV	I (A)	kVA	kW	kVAR	
	AA 8 (5P1 1S1 UC1)	Feeder From Main Transformer 6.2						
1	AA 10 (5P1 1S1 UC2)	Outgoing Feeder For DP 102 Mining	6.6	203.33	2324.31	1789.72	1483.01	
2	AA 11 (5P1 1S1 UC3)	Feeder For Cement Mill 1	6.6	396.67	4534.41	3491.50	2893.16	
3	AA 12 (5P1 1S1 UC8)	Feeder For Cement Mill 2 & Bag Packing	6.6	472.67	5403.19	4160.45	3447.47	
4	AA 13 (5P1 1S1 UC5)	Outgoing Feeder For Workshop Plant 7-8	6.6	27.07	309.44	238.27	197.44	
5	AA 14	Outgoing Feeder For Hambalang Mining	6.6	125.07	1429.70	1100.87	912.20	
Total					1224.81	14001.05	10780.81	8933.28

3.2 Perhitungan Kebutuhan Kapasitor

a. Untuk feeder AA 5 (from main transformer 6.1)

$$\begin{aligned} \text{Konsumsi daya aktif} &= 13796,95 \text{ kW} \\ \text{Konsumsi daya reaktif} &= 10707,56 \text{ kVAR} \\ \text{Konsumsi daya semu} &= 17464,47 \text{ kVA} \\ \cos \varphi_1 &= 0,79 \\ \varphi_1 &= 37,81 \\ \cos \varphi_2 &= 0,95 \\ \varphi_2 &= 18,19 \end{aligned}$$

Perhitungan kebutuhan kapasitor :

$$\begin{aligned} S_2 &= \frac{P}{\cos \varphi_2} \\ &= \frac{13796,95 \text{ kW}}{0,95} \\ &= 14523,10 \text{ kVA} \\ Q_2 &= \sqrt{S_2^2 - P^2} \\ &= \sqrt{(14523,10)^2 - (13796,95)^2} \\ &= 4534,82 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

Menghitung kompensasi daya reaktif :

$$\begin{aligned} Q_C &= P (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \\ &= 13796,95 (\tan 37,81 - \tan 18,19) \\ &= 6172,33 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

b. Untuk feeder AA 8 (from main transformer 6.2)

$$\begin{aligned} \text{Konsumsi daya aktif} &= 10780,81 \text{ kW} \\ \text{Konsumsi daya reaktif} &= 8933,28 \text{ kVAR} \\ \text{Konsumsi daya semu} &= 14001,05 \text{ kVA} \\ \cos \varphi_1 &= 0,77 \\ \varphi_1 &= 39,64 \\ \cos \varphi_2 &= 0,95 \\ \varphi_2 &= 18,19 \end{aligned}$$



Perhitungan kebutuhan kapasitor :

$$\begin{aligned}
 S_2 &= \frac{P}{\cos\phi_2} \\
 &= \frac{10780,81 \text{ kW}}{0,95} \\
 &= 11348,22 \text{ kVA} \\
 Q_2 &= \sqrt{S^2 - P^2} \\
 &= \sqrt{(11348,22)^2 - (10780,81)^2} \\
 &= 3543,47 \text{ kVAR}
 \end{aligned}$$

Menghitung kompensasi daya reaktif :

$$\begin{aligned}
 Q_C &= P (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \\
 &= 10780,81 (\tan 39,64 - \tan 18,19) \\
 &= 5388,88 \text{ kVAR}
 \end{aligned}$$

3.3 Perhitungan Nilai Kapasistas Kapasitor

a. Untuk *feeder* AA 5 :

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{Q_C}{V^2 \times \omega} \\
 &= \frac{6172,33 \times 10^3}{(6600)^2 \times (2 \times 3.14 \times 50)} \\
 &= 4,512 \times 10^{-4} \text{ Farad}
 \end{aligned}$$

b. Untuk *feeder* AA 8 :

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{Q_C}{V^2 \times \omega} \\
 &= \frac{5388,88 \times 10^3}{(6600)^2 \times (2 \times 3.14 \times 50)} \\
 &= 3,939 \times 10^{-4} \text{ Farad}
 \end{aligned}$$

3.4 Perhitungan Keuntungan Daya Semu

a. Untuk *feeder* AA 5

$$\begin{aligned}
 S_{(\text{selisih})} &= S_1 - S_2 \\
 &= 17464,47 - 14523,10 \\
 &= 2941,37 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

b. Untuk *feeder* AA 8

$$\begin{aligned}
 S_{(\text{selisih})} &= S_1 - S_2 \\
 &= 14001,05 - 11348,22 \\
 &= 2652,83 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

Faktor daya di Plant 6 harus diperbaiki karena faktor daya yang terukur yaitu sebesar 0,79 untuk *feeder* AA 5 (*from main transformer* 6.1) dan 0,77 untuk *feeder* AA 8 (*from main transformer* 6.2). Kondisi faktor daya tersebut masih dibawah ketentuan SPLN 70-1: 1985 yaitu <0,85 sehingga diperlukan perbaikan faktor daya. Faktor daya diperbaiki menjadi 0,95 dipilih karena untuk mengurangi *losses*, dan juga untuk mengantisipasi apabila ada beberapa beban penambahan beroperasi sehingga faktor daya masih dalam kondisi normal.

Berdasarkan hasil perhitungan, untuk perbaikan faktor daya menjadi 0,95, maka kompensasi faktor daya ($\cos \phi$) yang dibutuhkan sebesar 11561,21 kVAR pada sistem energi listrik di Plant 6,

maka untuk memenuhi total beban daya aktif untuk *main feeder* AA 5 (*from main transformer* 6.1) sebesar 13796,95 kW, total daya semu yang terpakai menjadi 14523,10 kVA, total daya reaktifnya menjadi 4534,82 kVAR dan untuk memenuhi total beban daya aktif untuk *main feeder* AA 8 (*from main transformer* 6.2) sebesar 10780,81 kW, total daya semu yang terpakai menjadi 11348,22 kVA, total daya reaktifnya menjadi 3543,47 kVAR.

Untuk mencari kapasitas kapasitor menggunakan rumus $C = \frac{Qc}{V^2 \times \omega}$ sehingga diperoleh kapasitas sebesar $4,512 \times 10^{-4}$ Farad untuk *main feeder* AA 5 (*from main transformer* 6.1) dan $3,939 \times 10^{-4}$ Farad untuk *main feeder* AA 8 (*from main transformer* 6.2).

$$\begin{aligned} C_{\text{Total}} &= 4,512 \times 10^{-4} \text{ Farad} + 3,939 \times 10^{-4} \text{ Farad} \\ &= 8,451 \times 10^{-4} \text{ Farad} \end{aligned}$$

Pemasangan kapasitor bank untuk perbaikan faktor daya beban (lampu TL, motor listrik, transformator, dan lain-lain, bukan untuk mengurangi putaran kWh, melainkan pengguna daya listrik dapat memanfaatkan daya listrik secara optimal. Apabila PLN menerapkan sistem denda yaitu melalui alat ukur kVARh, maka konsumen akan membayar rekening listrik jauh lebih mahal. Hal ini disebabkan konsumen selain membayar kWh meter, juga harus membayar kVARh meter yang notabene putarannya akan lebih besar dibanding kWh meter. Peran kapasitor adalah sebagai pembawa sifat kapasitif yang dapat mengurangi atau menghilangkan sifat induktif pada beban. Kapasitor bertindak sebagai pembangkit daya kapasitif dan oleh karenanya akan mengurangi jumlah daya reaktif, juga daya semu yang dihasilkan oleh bagian utilitas.

3.5 Keuntungan Perbaikan Faktor Daya di Plant 6

Selain untuk mengurangi besarnya daya reaktif (VAR) pada sistem energi listrik, kapasitor bank berfungsi untuk :

1. Memaksimalkan daya terpasang (akan lebih besar daya yang tersedia untuk pembebanan).
2. Menurunkan penggunaan kVA total (karena menurunkan pemakaian arus dengan beban (kW) yang tetap).
3. Mengurangi naiknya arus/suhu pada kabel, sehingga mengurangi rugi-rugi daya.

4. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa data pada pembahasan sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Perbaikan faktor daya menjadi 0,95 pada sistem energi listrik di Plant 6 untuk *main feeder* AA 5 (*from main transformer* 6.1) harus dipasang kapasitor bank sebesar 6172,33 kVAR dan untuk *main feeder* AA 8 (*from main transformer* 6.2) harus dipasang kapasitor bank sebesar 5388,88 kVAR (kebutuhan total kapasitor bank sebagai kompensasi faktor daya yang harus dipasang adalah 11561,21 kVAR).
- 2) Kapasitas kapasitor sebesar $4,512 \times 10^{-4}$ Farad untuk *main feeder* AA 5 (*from main transformer* 6.1) dan $3,939 \times 10^{-4}$ Farad untuk *main feeder* AA 8 (*from main transformer* 6.2). Dengan total kapasitas kapasitor sebesar $8,451 \times 10^{-4}$ Farad, maka kapasitor yang akan dipasang di Plant 6 menggunakan 2 modul. Modul pertama menggunakan 16 step dengan tiap bank mengoreksi atau mengkompensasi 400 kVAR dengan nilai kapasitornya adalah $4,512 \times 10^{-4}$ Farad yang direkomendasikan dipasang di sisi *main feeder* AA 5 (*from main transformer* 6.1) dan modul kedua menggunakan 14 step dengan tiap bank mengoreksi atau mengkompensasi 400 kVAR dengan nilai kapasitornya adalah $3,939 \times 10^{-4}$ Farad direkomendasikan dipasang di sisi *main feeder* AA 8 (*from main transformer* 6.2).
- 3) Dengan menaikkan faktor daya menjadi 0,95 menyebabkan penghematan daya semu sebesar 2941,37 kVA pada sistem energi untuk *main feeder* AA 5 (*from main transformer* 6.1) dan 2652,83 untuk *main feeder* AA 8 (*from main transformer* 6.2), sehingga pengaruh penggunaan kapasitor bank yaitu mengurangi naiknya arus / suhu pada kabel sehingga mengurangi rugi-rugi daya, mengurangi arus start untuk mesin-mesin listrik pada saat

dioperasikan, memperpanjang usia peralatan kelistrikan yang ada (karena peralatan kelistrikan tidak sering *start – stop*).

4.2 Saran

Dalam penelitian ini masih banyak sekali kekurangan dan ketidaksempurnaan. Untuk itu, perlu dilakukan pengembangan agar ke depannya menjadi sempurna ataupun lebih baik lagi sehingga memiliki beberapa saran, diantaranya:

- a) Metode pemasangan kapasitor yang diterapkan di Plant 6 sebaiknya yaitu menggunakan metode *sectoral compensation*. Cara ini cocok diterapkan pada industri dengan kapasitas beban terpasang besar sampai ribuan KVA dan terlebih jarak antara panel MDP dan SDP cukup berjauhan. Selain itu metode *sectoral compensation* mempunyai kelebihan yaitu kapasitas pemasangan bisa dimanfaatkan sepenuhnya dimana ketika semua mesin beroperasi kompensasi daya reaktif dapat dimanfaatkan, dan biaya pemeliharaan rendah.
- b) Diharapkan penelitian ini dapat dilanjutkan oleh peneliti lain dengan metode yang berbeda.

REFERENSI

- [1] Abdi Bangun Buana. *ABB Capacitor Bank Manual Book*. 2002.
- [2] Basri, Hasan. *Sistem Distribusi Daya Listrik*. 1997. Jakarta : ISTN.
- [3] Charles, G. *Power System Analysis*, (pp. 39-42). 1986. Singapore: Auburn University.
- [4] Hafizd, Umar. Analisis Perbaikan Faktor Daya Di P10 PT Indocement Tunggul Prakarsa Tbk. Palimanan-Cirebon. *Tugas Akhir*. 2016. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- [5] Hayt, W. J. Jr., Kemmerly, J. E., & Durbin, S. M. *Rangkaian Listrik Edisi Keenam Edisi 1*. 2002. Jakarta: Erlangga.
- [6] Noor, S., & Saputera, N. Efisiensi Pemakaian Daya Listrik Menggunakan Kapasitor Bank. 2014. *Jurnal Poros Teknik*, 6, 55-102.
- [7] Pabla, A. *Sistem Distribusi Daya Listrik* (Abdul Hadi, Penerjemah). 1994. Jakarta: Erlangga.
- [8] Schneider Electric. *Capacitor Bank Training For Panel Builder*. 2007.
- [9] Stephen, O.O., Yanli, L., & Hui, S. Application of Switched Capacitor banks for Power Factor Improvement and Harmonics Reduction on the Nigerian Distribution Electric Network. 2011. *International Journal of Electrical & Computer Sciences IJECS-IJENS*, 11, 06.
- [10] Stevenson, William D., Jr. *Analisis Sistem Tenaga Listrik Edisi Keempat*. 1984. Jakarta: Erlangga.
- [11] Tobing, Bonggas. L. *Peralatan Tegangan Tinggi Edisi Kedua*. 2012. Jakarta: Erlangga.
- [12] Yani, A. Pemasangan Kapasitor Bank Untuk Perbaikan Faktor Daya. 2017. *Journal of Electrical Technology*, 2, 3.
- [13] Zulfikar, Ahmad. Analisa Pemasangan Kapasitor Di PT. Black Bear Resources Indonesia (BBRI) Untuk Memperbaiki Faktor Daya. 2017. *Skripsi*. Jakarta: STT – PLN.