

# **PERENCANAAN PFC PADA SISTEM TENAGA LISTRIK DI INDUSTRI BETON KETIKA DISUPLAI GENERATOR SET**

---

---

**Muhammad Fahmi Hakim<sup>1</sup>**

## **Abstrak**

Faktor daya pada sistem tenaga listrik di salah satu industri beton di Pasuruan ketika disuplai generator set nilainya sangat rendah, yaitu 0,5. Sehingga tujuan utama dari penelitian ini adalah menemukan penyebab rendahnya faktor daya tersebut, merencanakan rating PFC pada jaringan tenaga listrik yang disuplai oleh generator set untuk mengatasi penurunan faktor daya, dan menganalisis kebutuhan rating main switch, capacitor breaker, kontaktor magnetik, dan penghantar. Kesimpulan yang diperoleh, penyebab rendahnya faktor daya dikarenakan suplai daya yang berasal dari generator set tidak melewati capacitor bank yang ada. Oleh karena itu untuk mencapai  $\cos \phi$  0,85 diperlukan kompensasi daya reaktif 450 kVar. Regulator yang digunakan mempunyai lima steps dengan 1 step 50 kVar dan 4 steps masing-masing 100 kVar. Pengaman tiap step adalah MCCB 100 A untuk 50 kVar dan 200 A untuk 100 kVar dengan pengaman utama adalah 800 A. Kontaktor untuk 50 kVar adalah 100 A dan untuk 100 kVar adalah 200 A. Penghantarnya NYA 50 mm<sup>2</sup> untuk kapasitor 50 kVar dan NYA 95 mm<sup>2</sup> untuk kapasitor 100 kVar.

**Kata-kata kunci:** faktor daya, PFC, kompensasi daya reaktif

## ***Abstract***

*Power factor at one of concrete-mixing factory electrical power system when supplied by a generator set is very low, that is 0,5. So the main purpose of this research is to find the cause of the problem, to calculate rating PFC on the electric power grid supplied by a generator set overcome the decline in power factor, and analyze the needs of main switch, capacitor breaker, magnetic contactor, and the conductor*

---

<sup>1</sup> *Dosen Program Studi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang*

rating. The conclusion, the cause of the problem is the supply of power from the generator sets do not pass through the existing capacitor bank. So, for improving power factor to 0,85 it's required 450 kVar reactive power compensation. Regulators used has five steps with one step is 50 kVar each capacitor bank 100 kVar. The protection is MCCB 100 A for 50 kVar and 200 A to 100 kVar and main protection is MCCB 800 A. The contactor for 50 kVar is 100 A and for 100 kVar is 200 A. The conductor is NYA 50 mm<sup>2</sup> for 50 kVar and NYA 95 mm<sup>2</sup> for 100.

**Keywords:** Power factor, PFC, reactive power compensation

## 1. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik yang baik sangat dibutuhkan di dalam kehidupan sehari-hari terutama di bidang industri. Salah satu syarat sistem tenaga listrik yang baik adalah mempunyai faktor daya pembebanan mendekati satu atau lebih dari sama dengan 0,85 jika mengacu ketentuan dari PLN. Faktor daya dinyatakan pada range nilai 0-1. Apabila sistem tenaga listrik mempunyai nilai faktor daya yang sangat rendah maka akan menyebabkan penurunan kualitas daya, penggunaan energi listrik semakin besar, dan menimbulkan rugi-rugi daya. Salah satu penyebab rendahnya faktor daya adalah terlalu banyak beban induktif seperti motor listrik, lampu TL, dan lain-lain. Beban induktif itu akan menimbulkan daya reaktif yang bersifat lagging.

Peningkatan nilai faktor daya dapat dilakukan dengan mengatur nilai dari daya reaktif dengan menggunakan metode kompensasi daya reaktif. Metode ini diaplikasikan dengan menggunakan suatu alat yang bernama *capacitor bank*. Pada dasarnya, *capacitor bank* ini menghasilkan daya reaktif kapasitif yang mampu mengkompensasi daya reaktif induktif yang ada di jaringan. Biasanya *capacitor bank* diintegrasikan dengan *Power Factor (PF) Controller* menjadi sebuah alat yang biasa disebut *Power Factor Correction (PFC)*. Jenis kompensasi yang digunakan adalah kompensasi semi otomatis dengan menggunakan kontaktor.

Dalam rangka meningkatkan faktor daya, salah satu industri beton di Pasuruan telah memasang *capacitor bank* untuk mengkompensasi daya reaktif yang ada. Kondisi sistem kelistrikan yang ada saat ini terdapat suplai daya utama dari PLN dan suplai daya cadangan dari generator set. Pada saat kondisi normal, suplai daya dari PLN mempunyai faktor daya lebih dari 0,85 karena pada jaringan telah terpasang *capacitor bank* yang terhubung dengan tiap-tiap transformator. Namun, ketika suplai daya dari PLN padam dan kemudian disuplai oleh generator set, nilai faktor daya menurun drastis mencapai nilai di bawah 0,85. Sehingga tujuan utama dari penelitian ini adalah menemukan penyebab rendahnya faktor daya tersebut, merencanakan rating PFC pada jaringan tenaga listrik yang disuplai oleh generator set untuk mengatasi penurunan faktor daya, dan menganalisis kebutuhan rating *main switch*, *capacitor breaker*, kontaktor magnetik, dan penghantar yang akan digunakan.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Sifat Beban Listrik dan Daya Listrik

Dalam sistem listrik AC sifat beban dibedakan menjadi tiga sifat sebagai berikut (Mazur, 1995).

- Beban Resistif

Beban resistif merupakan suatu beban resistor murni, contoh: lampu pijar dan pemanas. Beban ini hanya menyerap daya aktif dan tidak menyerap daya reaktif sama sekali. Secara matematis dinyatakan:

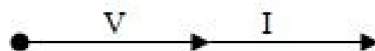
$$R = V / I \quad (1)$$

dimana:

R = nilai resistansi ( $\Omega$ )

V = tegangan (volt)

I = arus (A)



GAMBAR 1. VEKTOR DIAGRAM BEBAN RESISTIF

- Beban induktif

Beban induktif adalah beban yang mengandung kumparan kawat yang dililitkan pada sebuah inti biasanya inti besi, contoh: motor listrik, induktor, dan transformator. Beban ini

mempunyai faktor daya antara 0 – 1 “*lagging*”. Beban ini menyerap daya aktif (kW) dan daya reaktif (kVAR). Tegangan mendahului arus sebesar  $\varphi^\circ$ . Secara matematis dinyatakan:

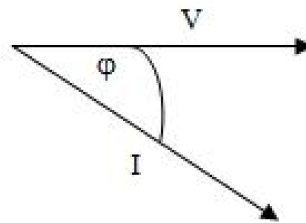
$$X_L = 2\pi f \cdot L \quad (2)$$

dimana:

$X_L$  = reaktansi induktif ( $\Omega$ )

f = frekuensi (Hz)

L = nilai induktansi (Henry)



GAMBAR 2. VEKTOR DIAGRAM BEBAN INDUKTIF

- **Beban Kapasitif**

Beban kapasitif adalah beban yang mengandung suatu rangkaian kapasitor. Beban ini mempunyai faktor daya antara 0 – 1 “*leading*”. Beban ini menyerap daya aktif (kW) dan mengeluarkan daya reaktif (kVAR). Arus mendahului tegangan sebesar  $\varphi^\circ$ . Secara matematis dinyatakan:

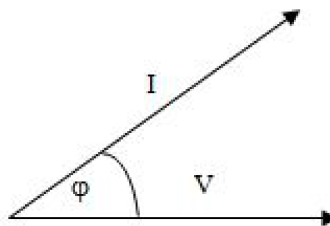
$$X_C = 1 / 2\pi f C \quad (3)$$

dimana:

$X_C$  = reaktansi kapasitif ( $\Omega$ )

f = frekuensi (Hz)

C = nilai kapasitansi (Farad)



GAMBAR 3. VEKTOR DIAGRAM BEBAN KAPASITIF

Daya listrik terdiri dari tiga macam, yaitu (Ramdhani, 2002):

1. **Daya Aktif (P)**

Daya ini sebenarnya adalah daya yang dipakai oleh komponen pasif resistor yang merupakan daya yang terpakai atau

terserap. Satuan daya aktif adalah Watt. Secara matematis dinyatakan:

$$P = V_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \cos \Theta \quad (4)$$

dimana:

$V_{\text{eff}}$  = tegangan (Volt)

$I_{\text{eff}}$  = arus (Ampere)

$\Theta$  = sudut fasa antara arus dengan tegangan

## 2. Daya Reaktif (Q)

Daya ini adalah daya yang muncul diakibatkan oleh komponen pasif diluar resistor yang merupakan daya rugi-rugi atau daya yang tidak diinginkan. Satuan daya reaktif adalah Var. Secara matematis:

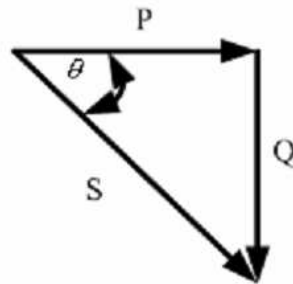
$$Q = V_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \sin \Theta \quad (5)$$

## 3. Daya Semu (S)

Daya yang sebenarnya disupply oleh PLN, merupakan resultan daya antara daya rata-rata dan daya reaktif. Satuan daya nyata adalah VA. Secara matematis:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (6)$$

Ketiga macam daya tersebut dapat dihubungkan dengan menggunakan segitiga daya seperti pada Gambar 4 di bawah ini.



GAMBAR 4. SEGITIGA DAYA

## 2.2 Faktor Daya

Faktor daya atau *power factor* (pf) adalah rasio perbandingan antara daya aktif (Watt) dan daya nyata (VA) yang digunakan dalam sirkuit AC atau beda sudut fasa antara tegangan (V) dan arus (I).

$$\begin{aligned} \text{Faktor Daya} &= \text{Daya Aktif (P)} / \text{Daya Nyata (S)} \\ &= \text{kW/kVA} \\ &= V \cdot I \cos \phi / V \cdot I \end{aligned} \quad (7)$$

$$= \cos \phi$$

Faktor daya terdiri dari dua sifat yaitu faktor daya “*leading*” dan faktor daya “*lagging*” (Jamali, 2014).

- Faktor Daya “*leading*”.

Apabila arus mendahului tegangan, maka faktor daya ini dikatakan “*leading*”. Faktor daya *leading* ini terjadi apabila bebannya kapasitif, seperti kapasitor, generator sinkron, motor sinkron, dan *synchronocus condensor*.

- Faktor Daya “*lagging*”

Apabila tegangan mendahului arus, maka faktor daya ini dikatakan “*lagging*”. Faktor daya *lagging* ini terjadi apabila bebannya induktif seperti motor induksi, AC dan transformator.

Jika *pf* lebih kecil dari 0,85 maka kapasitas daya aktif (kW) yang digunakan akan berkurang. Kapasitas itu akan terus menurun seiring dengan menurunnya *pf* sistem kelistrikan. Akibat menurunnya *pf* maka akan timbul beberapa persoalan di antaranya (Jamali, 2014):

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

Beberapa strategi untuk perbaikan faktor daya antara lain:

- meminimalkan operasi beban motor yang ringan atau tidak bekerja;
- menghindari operasi peralatan listrik di atas tegangan rata – ratanya;
- mengganti motor – motor yang sudah tua; dan
- memasang kapasitor pada jaringan AC.

Selain itu, pemasangan kapasitor tersebut juga dapat menghindari:

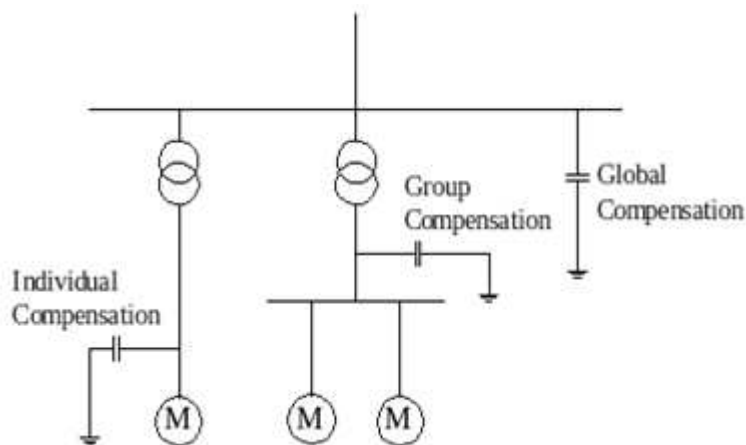
- trafo kelebihan beban (*overload*), sehingga memberikan tambahan daya yang tersedia;
- *voltage drops* pada *line ends*; dan
- kenaikan arus / suhu pada kabel, sehingga mengurangi rugi – rugi.

Untuk pemasangan *capasitor bank* diperlukan:

- kapasitor dengan jenis yang cocok dengan kondisi jaringan;
- regulator, dengan pengaturan daya tumpuk kapasitor (*Capasitor Bank*) otomatis;
- kontaktor, untuk *switching* kapasitor; serta
- pemutus tenaga, untuk proteksi tumpuk kapasitor.

Cara pemasangan instalasi kapasitor bank dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu: *global compensation*, *individual compensation* dan *group compensation* (Alland, 2013).

1. *Global Compensation*. Kapasitor dipasang di *Main Distribution Panel* (MDP).
2. *Individual Compensation*. Kapasitor dipasang di *Sub Distribution Panel* (SDP).
3. *Individual Compensation*. Kapasitor langsung dipasang pada masing masing beban khususnya yang mempunyai daya yang besar



GAMBAR 5. PENEMPATAN KAPASITOR BANK

Terdapat beberapa metode untuk melakukan perhitungan kebutuhan kapasitor bank (Jamali, 2014).

### 1. Metode Perhitungan

Data yang diperlukan antara lain adalah daya aktif (P), pf sebenarnya ( $\cos \varphi_1$ ), dan pf yang diinginkan ( $\cos \varphi_2$ ). Daya reaktif yang dikompensasi oleh *capacitor bank* ( $Q_c$ ) adalah:

$$Q_c = Q_{\text{sebelum kompensasi}} - Q_{\text{setelah kompensasi}} \quad (8)$$

$$Q_c = P (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (9)$$

### 2. Metode Tabel Kompensasi

Untuk menghitung besarnya daya reaktif dapat dilakukan melalui tabel kompensasi, tabel ini menyajikan suatu data dengan input pf sebenarnya ( $\cos \phi_1$ ), dan pf yang diinginkan ( $\cos \phi_2$ ) maka besarnya faktor pengali dapat dilihat melalui tabel kompensasi.

### 3. Metode Kuitansi PLN

Metode ini memerlukan data dari kuitansi PLN selama satu periode (misalnya enam bulan sampai dengan satu tahun). Dari kuitansi PLN tersebut dapat diketahui daya aktif maupun reaktifnya sehingga bisa dihitung faktor daya dan kebutuhan daya reaktif untuk perbaikan faktor daya.

### 4. Metode Segitiga Daya

Metode ini dipakai jika data yang diketahui adalah Daya aktif (P) dan Daya nyata (S). Perhitungan metoda ini dilakukan dengan segitiga daya.

Selain kapasitor terdapat pula komponen tambahan untuk mengoptimalkan kerja dari kapasitor dan sebagai pengaman. Komponen-komponen tersebut antara lain:

#### 1. *Main switch/load break switch*

Main switch ini sebagai peralatan kontrol dan isolasi jika ada pemeliharaan panel. Sedangkan untuk pengaman kabel/instalasi sudah tersedia di sisi atasnya dari MDP. *Main switch* atau lebih dikenal *load break switch* adalah peralatan pemutus dan penyambung yang sifatnya on load yakni dapat diputus dan disambung dalam keadaan berbeban. Untuk menentukan kapasitas yang dipakai dengan perhitungan minimal 25 % lebih besar dari perhitungan kVAR terpasang.

#### 2. *Capacitor Breaker*

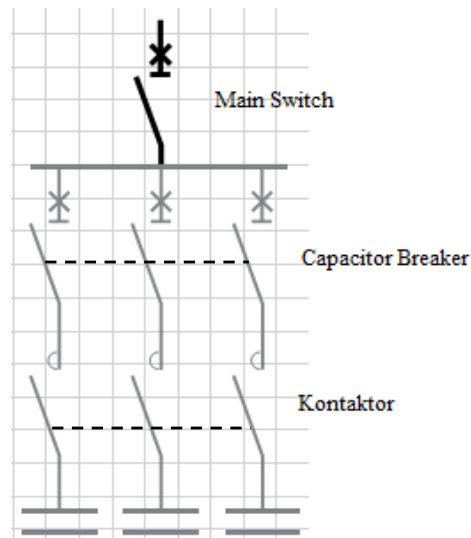
*Capacitor breaker* digunakan untuk mengamankan instalasi kabel dari breaker ke kapasitor bank dan juga kapasitor itu sendiri. Kapasitas breaker yang digunakan sebesar 1,5 kali dari arus nominal.

#### 3. Kontaktor Magnetik

Kontaktor magnetik diperlukan sebagai peralatan kontrol. Beban kapasitor mempunyai arus puncak yang tinggi, lebih tinggi dari beban motor. Untuk pemilihan kontaktor magnetik minimal 10 % lebih tinggi dari arus nominal (pada AC 3 dengan beban induktif/kapasitif). Pemilihan kontaktor magnetik dengan range



ampere lebih tinggi akan lebih baik sehingga umur pemakaian kontaktor magnetik lebih lama.

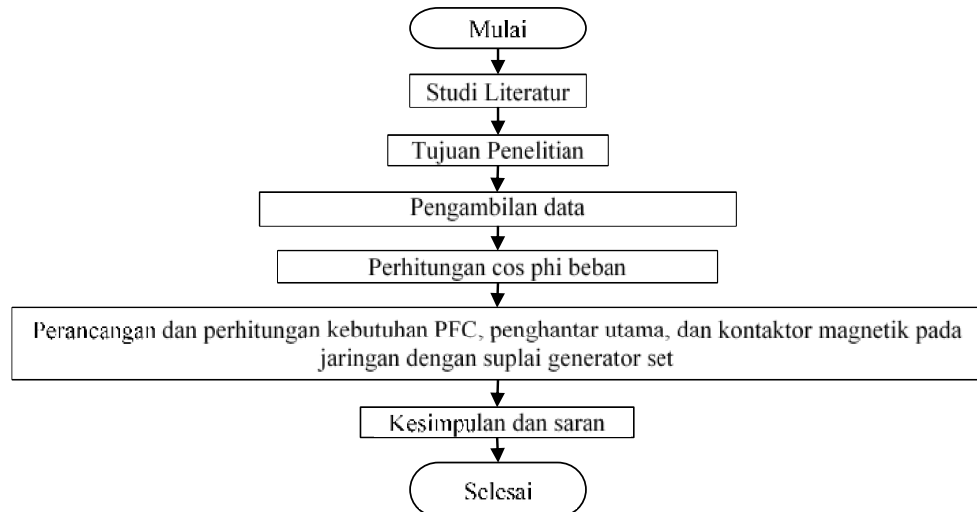


GAMBAR 6. SINGLE LINE DIAGRAM KAPASITOR BANK.

### 3. METODE

#### 3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 7. Penelitian diawali dengan studi literatur tentang pengertian daya dan faktor daya beserta perbaikannya. Dari hasil studi ini didapatkan rumusan tujuan penelitian. Kemudian diambil data-data yang diperlukan yaitu daya aktif dan daya reaktif pada waktu tertentu. Berdasarkan data-data tersebut maka dapat dilakukan perhitungan nilai dari faktor daya maupun nilai kapasitansi yang diperlukan untuk kompensasi agar faktor daya jaringan yang disuplai generator dapat diperbaiki. Kemudian dilakukan penentuan spesifikasi *capacitor bank*. Selanjutnya diambil kesimpulan dan saran.



GAMBAR 7. DIAGRAM ALUR PROSES PENELITIAN

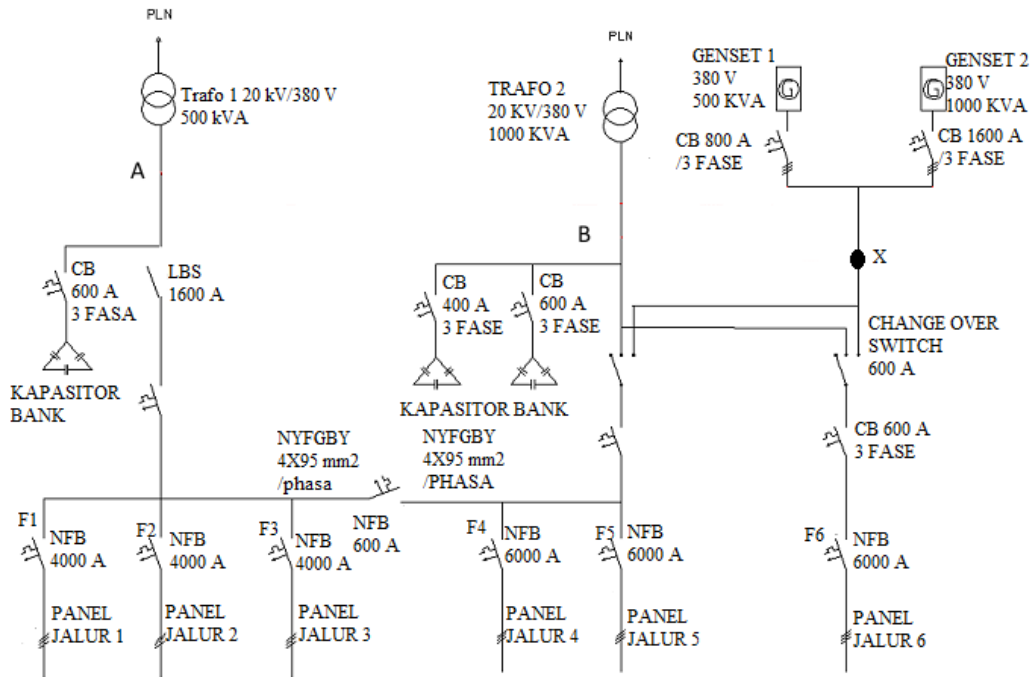
### 3.2 Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Teknik pengumpulan data menggunakan teknik pengumpulan data sekunder. Masing-masing data diambil sebanyak sepuluh kali pada tanggal dan jam tertentu. Data yang dianalisis berupa data daya aktif dan daya reaktif. Analisis data dilakukan dengan melakukan perhitungan terhadap kompensasi daya reaktif yang diperlukan dengan menggunakan metode perhitungan.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Penelitian

Kondisi jaringan sistem kelistrikan di industri beton Pasuruan dapat dilihat pada Gambar 8.



GAMBAR 8. DIAGRAM GARIS TUNGGAL SISTEM KELISTRIKAN

Dari Gambar 8 diketahui bahwa suplai daya yang berasal dari generator set tidak melewati *capacitor bank* yang ada sehingga perlu dilakukan pemasangan PFC di sisi generator tepatnya di titik X. Pada Tabel 1 ditampilkan data yang diperoleh yaitu daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) sedangkan daya semu (S) dan faktor daya ( $\cos \phi$ ) awal dihitung dengan Persamaan 6 dan Persamaan 7.

TABEL 1. DATA DAYA AKTIF DAN DAYA REAKTIF

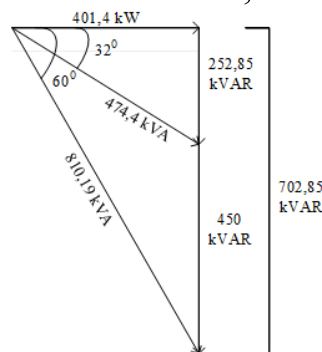
Hari ke-	Jam	P (kW)	Q awal (kVAR)
1	09.00	434,12	730,61
	13.40	461,34	793,422
2	09.00	360,38	700,53
	14.00	436,79	786,7
3	10.00	367,4	753,78
	14.00	510,75	812,15
4	10.00	308,22	562,01
	14.00	353,89	566,95
5	10.00	394,92	770,02
	14.00	386,23	552,35
Rata-rata		401,40	702,85

Berdasarkan Tabel 1 maka diperoleh daya semu (S) dan faktor daya (cos phi) awal yang dihitung dengan Persamaan 6 dan Persamaan 7.

TABEL 2. DAYA SEMUA DAN FAKTOR DAYA AWAL

Hari ke-	Jam	S (kVA)	Cos phi awal
1	09.00	849,85	0,51
	13.40	917,80	0,50
2	09.00	787,79	0,46
	14.00	899,82	0,49
3	10.00	838,55	0,44
	14.00	959,40	0,53
4	10.00	640,98	0,48
	14.00	668,33	0,53
5	10.00	865,39	0,46
	14.00	673,99	0,57
Rata-rata		810,19	0,50

Dari Tabel 1 diperoleh  $Q_{\text{awal}}$  rata-rata adalah 702,85 kVAR dan P rata-rata sebesar 401,4 kW. Dari Tabel 2 diperoleh cos phi awal rata-rata adalah 0,5 lagging. Dengan menggunakan Persamaan 9 maka kompensasi daya reaktif yang diperlukan agar minimal cos phi = 0,85 adalah 446,47 kVAR dibulatkan menjadi 450 kVAR dengan arus yang mengalir, diperoleh dengan menggunakan Persamaan 5, sebesar 683 A. Sehingga daya reaktif dan daya semu setelah kompensasi sebesar 252,85 kVAR dan 474,4 kVA.



GAMBAR 9. SEGITIGA DAYA SEBELUM DAN SESUDAH KOMPENSASI

Berdasarkan hasil perhitungan di atas maka regulator yang dipilih mempunyai lima steps dengan  $1 \times 50 \text{ kVar} + 4 \times 100 \text{ kVar} = 450 \text{ kVar}$ . Rating pengaman kapasitor bank tiap step adalah  $1,5 \times$  arus nominal yang mengalir pada tiap step. Sehingga digunakan MCCB 100 A untuk 50 kVar dan 200 A untuk 100 kVar. Sedangkan pengaman utama yang digunakan sebesar 800 A.

Kontaktor untuk kapasitor 50 kVar adalah 100 A dan untuk kapasitor 100 kVar adalah 200 A. Penghantar yang dipilih adalah jenis NYA dengan ukuran berdasarkan Tabel 7.3-1 di dalam PUIL-2000. Sehingga ukuran penghantar adalah  $50 \text{ mm}^2$  untuk kapasitor 50 kVar dan  $95 \text{ mm}^2$  untuk kapasitor 100 kVar.

## **5. PENUTUP**

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan, ketika jaringan sistem tenaga listrik di salah satu industri beton di Pasuruan disuplai oleh generator set,  $\cos \phi$  yang ada sebesar 0,5. Hal ini dikarenakan suplai daya yang berasal dari generator set tidak melewati capacitor bank yang ada. Oleh karena itu untuk mencapai  $\cos \phi$  0,85 maka diperlukan kompensasi daya reaktif 450 kVAR. Sehingga dipilih regulator yang mempunyai lima steps dengan  $1 \times 50 \text{ kVar} + 4 \times 100 \text{ kVar} = 450 \text{ kVar}$ . Rating pengaman kapasitor bank tiap step adalah MCCB 100 A untuk 50 kVar dan 200 A untuk 100 kVar dengan pengaman utama sebesar 800 A. Kontaktor untuk kapasitor 50 kVar adalah 100 A dan untuk kapasitor 100 kVar adalah 200 A. Penghantar yang dipilih adalah jenis NYA  $50 \text{ mm}^2$  untuk kapasitor 50 kVar dan NYA  $95 \text{ mm}^2$  untuk kapasitor 100 kVar.

## **6. DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Alland & Arfah. 2013. *Perancangan Kebutuhan Kapasitor Bank Untuk Perbaikan Faktor Daya Pada Line Mess I di PT. Bumi Lamongan Sejati (WBL)*. Surabaya: Jurnal Teknik Elektro Vol. 2 No. 1: 29-35.
- [2] Kadir, A. 2000. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*. Jakarta: UI-Press.
- [3] Jamali, 2014. *Analisis Perbaikan Faktor Daya di PT. Primer Indokencana Gorontalo*. Gorontalo: Universitas Gorontalo

- [4] Mazur, A. *Power Quality Measurement and Troubleshooting*. Homewood: American Technical Publishers, Inc., 1999
- [5] Panitia Revisi PUIL. *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000*. Jakarta. 2000.
- [6] Ramdhani, M. 2002. *Rangkaian Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- [7] Tinus, A, 2007, *Studi Pengaruh Capacitor Bank Switching Terhadap Kualitas Daya Listrik Di Gardu Induk Waru PLN P3B*, Surabaya: Universitas Kristen Petra.